

SBR 工艺抗突发性油污染事故的能力

张光宇^{1,2}, 陈志强¹, 吴昌永¹, 周利², 祁佩时¹, 温沁雪¹

(1. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090, czqhit@163.com;

2. 青岛理工大学 环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033)

摘 要: 为了考察石油进入 SBR 工艺城市污水厂后对污水厂造成的影响, 选择石油产品同城市污水处理常用的 SBR 工艺为对象, 并通过试验验证了利用污水厂强化去除油污染的可行性, 从而为运用 SBR 工艺处理突发性石油污染提供决策参考和科学依据. 试验结果表明: SBR 工艺可以有效抵抗 50 mg/L 含量的石油污染冲击, 有机物、氮和油含量均可实现达标排放; 在 100 mg/L 与 200 mg/L 含量的石油污染冲击下, 出水 COD 和石油含量等重要指标出现超出国家标准情况, 需结合其他手段进行强化处理. SBR 工艺可承受一定程度的石油污染冲击, 其除油主要是通过污泥的吸附作用.

关键词: 石油; SBR 工艺; 突发性污染; 应急处理

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)06-0899-05

Impact resistance of SBR wastewater treatment plant in episodic oil pollution accident

ZHANG Guang-yu^{1,2}, CHEN Zhi-qiang¹, WU Chang-yong¹, ZHOU Li², QI Pei-shi¹, WEN Qin-xue¹

(1. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China, czqhit@163.com; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract: In this study, petroleum products and a typical SBR wastewater treatment plant were chosen to investigate the impact of episodic petroleum pollution accident on the performance of wastewater treatment of the plant. The feasibility of using wastewater treatment plant to remove oil pollution was investigated. The experimental results show that SBR wastewater treatment plant can effectively resist the impact of 50 mg/L oil pollution and the effluent water quality reaches the national discharge standards. However, the COD and oil concentrations are over the national discharge standards when the oil impact concentration is higher than 100 mg/L. In such a case, other technical methods combined with SBR are needed to enhance the treatment efficiency. SBR wastewater treatment plant can resist the effect of oil pollution when the petroleum concentration is within a threshold value.

Key words: petroleum; SBR process; episodic pollution accident; emergency treatment

石油污染物种类繁多, 成分复杂, 主要含有烷烃、环烷烃、芳香烃和不饱和烯烃、含氧化合物、含硫化合物、含氮化合物、胶质和沥青质等, 是一类污染范围广, 危害程度大的工业污染物^[1]. 石油中所含的稠环芳香烃对生物呈剧毒性, 能通过生

物富集和食物链的传递进一步加剧危害^[2]. 石油成品中的燃料油类会使人类产生麻醉、窒息、化学性肺炎、皮炎等, 如短期内吸入大量柴油雾滴可导致化学性肺炎^[3]. 由于石油对生物的毒性性质, 长期以来石油类污染物一直受到人们的高度重视. 2005 年 11 月, 中石油吉林双苯厂爆炸导致松花江发生重大环境污染事件, 造成严重的国际影响, 其主要原因在于缺乏有效的工程应对措施. 在非常情况下, 为避免跨界河流水质受到沿岸石化企业突发事故造成的污染, 可以将事故污染物排

收稿日期: 2010-03-01.

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目重大专项基金 (SQ2007AA06XK14114); 国家水专项研究项目 (2008ZX07207-005-003).

作者简介: 张光宇 (1982—), 男, 硕士研究生.

入沿江城市污水处理厂,利用现有城市污水处理厂的缓冲能力,应对突发情况下的油污染事故.

SBR 工艺是一种应用广泛的污水处理工艺,该工艺由于反应池内有滞留的处理水,对污水有稀释、缓冲作用,能有效抵抗水量和有机污染物的冲击^[4]. 基于上述背景,本文将 SBR 工艺应用于突发性油污染事故的应急处理中,考察石油污染对 SBR 工艺污染物去除及运行的影响,并对 SBR 污水厂抗突发性油污染事故的能力进行评估.

1 试 验

1.1 试验装置及运行方式

本试验采用的装置为 SBR 反应器,试验装置由有机玻璃加工而成. 如图 1 所示,上部为圆柱型,下部为圆锥体,高 465 mm,直径 185 mm,总有效容积 10.5 L,排水体积 8 L. 在反应器壁的垂直方向设置 1 排间隔 90 mm 的取样口,用于取样和排水. 底部设有放空管,用于放空和排泥. 采用砂头曝气器,由转子流量计调节曝气量. 通过电源定时装置,每周可自动定时控制进水、出水、搅拌、曝气与投加碳源.

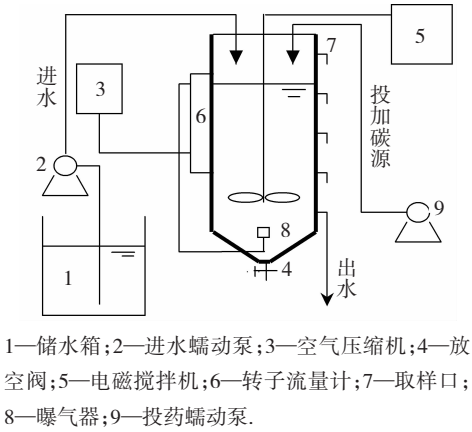


图 1 试验装置示意图

SBR 每天运行 3 个周期,每个周期 8 h,包括: 0.5 h 进水;4 h 好氧曝气;2.5 h 缺氧反硝化;0.5 h 沉淀;0.5 h 排水,随即进入下一个循环. 好氧曝气量为 $0.35\text{ m}^3/\text{L}$. 缺氧时投加外碳源进行反硝化,为保证反硝化的彻底,防止沉淀期间的污泥上浮,根据运行期间曝气结束时 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的含量来确定碳源投加量. 另外,为使外碳源得到充分利用,本试验选择在好氧结束后 10 min 投加外碳源,投加碳源为甲醇,投加量根据文献^[5]中的方法确定.

实验所用接种污泥取自哈尔滨某城市污水处

理厂,接种后污泥含量为 $3\,300\text{ mg/L}$. 采用试验用生活污水对污泥进行了培养,控制污泥为 10 d. 污泥含量一般维持在 $2\,900\sim 3\,300\text{ mg/L}$ 之间. 运行 10 d 后,COD 去除率 85% 以上,氨氮去除率 90% 以上,表明污泥已基本培养成功,试验正式运行.

1.2 试验用水及水质

试验所采用的污水取自哈尔滨市某生活小区的实际生活污水,其主要水质指标如表 1 所示.

表 1 污水水质指标

项目	pH	质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)					
		COD	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	$\text{NO}_2^- - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	TN	TP
范围	7.35 ~ 7.93	266.8 ~ 379.4	39.4 ~ 45.7	0 ~ 0.05	0.06 ~ 1.34	58.5 ~ 80.2	3.5 ~ 4.88
	平均值	305.3	42.1	0.03	0.68	67.4	4.49

1.3 试验设计

试验是要对正常运行的 SBR 反应器内,投加一定含量的含油污水,从而模拟在突发性应急事故中含油污水对于 SBR 工艺的冲击.

向 10 L 生活污水中投加 0[#]柴油 250 mL,搅拌 2、4、6 h 后静止 1 h,从液面下 15 cm 处取水样,从而配制出的含油的质量浓度约为 50、100、200 mg/L 的含油生活污水. 以含油质量浓度为 50 mg/L 的生活污水作为 SBR 进水,对 SBR 工艺进行 1 周期冲击,随后恢复进水,运行 30 个周期,待系统稳定后,再采用含油质量浓度为 100 mg/L 和 200 mg/L 的生活污水进行冲击. 在冲击试验周期中,每隔 0.5 h 取样对进行各项水质指标检测,同时取污泥样品进行 OUR 测定.

1.4 分析测定方法

COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、TN、TP 等含量的测定均采用国家规定的标准方法,水样经定量滤纸过滤后测定. 温度和 pH 测定采用德国 WTW-InoLab level2 在线测定仪,DO 采用德国 WTW-340i 在线测定仪. 油的测定采用 JDS100 红外测油仪. 耗氧速率(OUR)的测定采用溶解氧电极法^[6].

2 结果与分析

2.1 石油污染冲击对 SBR 有机物去除的影响

稳定高效的有机物去除是污水厂运行稳定的一个显著标志. 图 2 给出的是不同石油冲击质量浓度下 SBR 中 COD 的去除特征. 测定 COD 含量前,水样均经滤纸过滤,水中的柴油全部被滤纸截留,这样去除了柴油本身所产生的 COD. 图中显

示冲击在不同的石油质量浓度冲击条件下,SBR 前后 COD 含量变化规律相同,数值差异很小,说明石油冲击对微生物降解生活污水中的有机物产生影响较小。

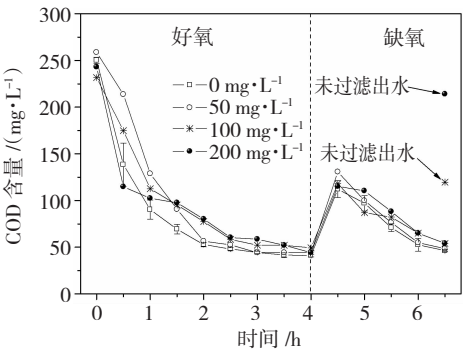


图2 不同石油冲击质量浓度下 COD 的去除特性

试验还对不同油污染冲击后 1 周期的出水进行了不过滤检测,结果表明,石油冲击质量浓度为 50 mg/L 的时候,出水 COD 含量为 48.52 mg/L,达到国家污水综合排放标准;当石油冲击质量浓度是 100 mg/L 的时候,出水 COD 含量为 119.64 mg/L,已经超出国家污水综合排放标准. 分析原因,柴油中含有大量难被微生物降解的烷烃和芳香烃化合物,进入 SBR 后一部分被污泥所吸附,另一部分以悬浮态或乳化态分散于水中,在 1 周期内没有被微生物所降解,大量存在于出水中导致出水 COD 含量变大;当石油冲击质量浓度为 200 mg/L 的时候,出水 COD 含量为 214.14 mg/L,也超出国家污水综合排放标准. 同 100 mg/L 油冲击的情况相同,在污泥降解有机物活性受影响不大的情况下,活性污泥对石油类物质的吸附达到饱和,短期冲击下污泥没有出现对油类物质的降解作用,石油类物质含量的超标导致了 COD 含量的超标。

2.2 石油污染冲击对 SBR 生物脱氮的影响

图 3 是不同质量浓度油污染冲击下 SBR 氮元素随着时间的变化. 从图 3 (b) 中可以看出在 50 mg/L 的油污染冲击时并没有在 1 周期内对硝化作用产生影响,油污染冲击后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量变化趋势没有大的改变,油污染冲击后 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率仍达到了平时稳定运行时的 90% 以上. 缺氧过程 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的变化同冲击前没有大的变化,出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量约为 1 mg/L,说明在 50 mg/L 油污染冲击时反硝化效果基本没有受到影响. 总体来看,1 个周期 50 mg/L 的油污染冲击未对生物脱氮过程造成影响. 同样,在油冲击含量为 100 mg/L 和 200 mg/L 时,即

在 1 个周期 200 mg/L 的油含量冲击下,SBR 工艺中硝化活性与反硝化活性都没有受到影响,短时 200 mg/L 以下的含油污水冲击不会对硝化反硝化微生物造成毒害作用而造成生物脱氮性能的下降。

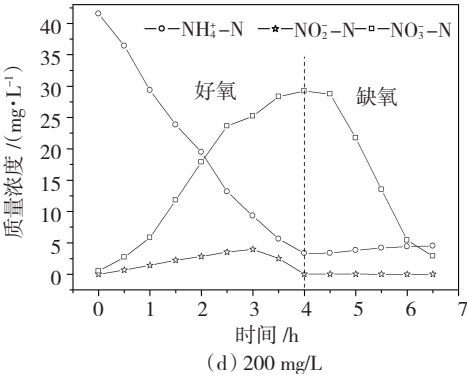
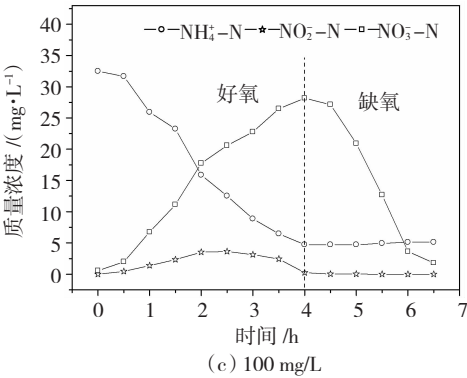
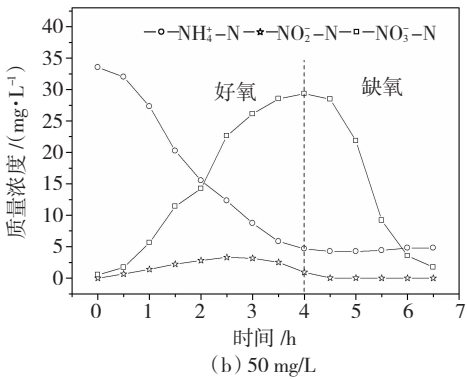
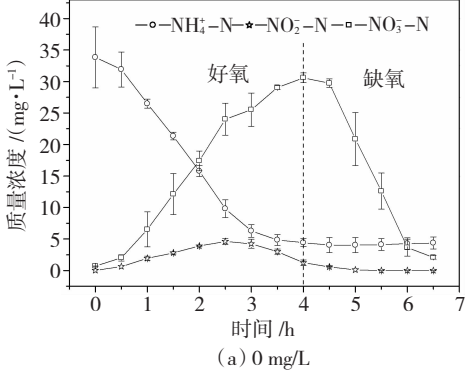


图3 不同石油冲击质量浓度时氮的去除特性

2.3 石油污染冲击对污泥活性的影响

表 2 是不同石油浓度冲击下 SBR 中活性污泥

的 OUR 变化.可以看出,在 1 个周期 50 ~ 200 mg/L 油污冲击下,污泥的碳氧化活性、硝化活性和总活性均略有降低,其中 200 mg/L 油冲击下微生物的硝化活性降低幅度较大些,从生物实验角度证明了 50 ~ 200 mg/L 的含油生活污水短期冲击对污泥的有机物降解作用和硝化作用有轻微抑制作用,但由于抑制作用较弱并没有影响到 SBR 工艺的出水水质,这从图 2 和图 3 中可得到证实.

活性污泥在曝气过程中,对有机物的降解(去除)过程可分为 2 个阶段:吸附阶段和降解阶段.污水与活性污泥混合后,污水中的有机物污染物等首先被吸附转移到活性污泥表面,在含油污水冲击下,活性污泥必定会吸附一定量的难降解的油类物质,这也就相对地降低了与可降解有机物接触的比表面积,使得活性污泥在降解有机物的吸附阶段吸附作用受阻,导致了污泥的活性受到轻微抑制作用.从本研究的数据可以得出,在试验条件下活性污泥在经历 50 mg/L 以上油质量浓度冲击时,吸附量将趋于饱和.由于活性污泥对于油类物质的吸附量相同,所占用的比表面大致相同,因此对于可降解有机物的吸附作用抑制程度相似,出现了污泥活性下降幅度相近的结果.

表 2 石油冲击对污泥 OUR 的影响

石油含量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总耗氧速率/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	有机物分解耗氧速率/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	硝化耗氧速率/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
0	18.71 ± 2.10	13.32 ± 1.65	5.39 ± 0.60
50	17.31	12.02	5.29
100	20.70	14.94	5.76
200	16.25	12.03	4.22

2.4 不同质量浓度含油污水冲击后水中油的变化情况

图 4 给出的是不同浓度油污冲击后 1 周期水中油质量浓度变化.从图中可以看出,虽然冲击油的质量浓度不同,但反应器中油的质量浓度在 1 h 内均出现较大幅度的降低,然后一直处于稳定值,直至排出系统.当冲击油质量浓度为 200 mg/L 左右时,出水油质量浓度为 120 mg/L 左右,约为国家排放标准的 12 倍;当冲击油质量浓度为 100 mg/L 左右时,出水油质量浓度稳定在 42.8 mg/L 左右,约为国家排放标准的 4 倍;当冲击油质量浓度为 50 mg/L 左右时,出水油浓度稳定在 5 ~ 10 mg/L 之间,满足国家排放标准.

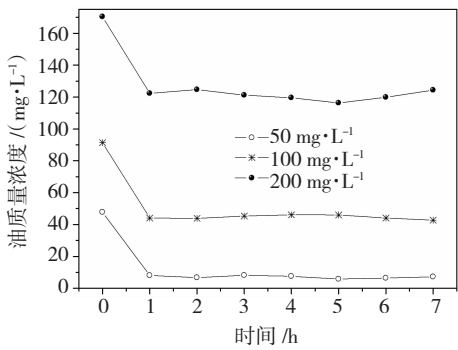


图 4 不同浓度油污冲击后 1 周期出水油质量浓度

油质量浓度在进水 1 h 内出现较大幅度下降,分析其原因为:1) 活性污泥是一种有多孔结构和胞外聚合物的絮体,有较大的比表面积^[7-9],对水中的污染物具有良好的吸附能力.活性污泥对于有机物的吸附平衡时间一般在 0.5 ~ 1 h 之间^[10],所以在污水进入反应器的 1 h 内,水中油质量浓度通过吸附作用迅速下降.2) 柴油中的主要成分为烃类化合物,细菌和真菌降解石油的关键步骤是底物被氧化酶氧化^[11].通常自然界中的微生物只有经过长时间的驯化,才有可能提高微生物对烃类有机物的降解效果,在突发性污染应急处理中,冲击时间较短,微生物很难降解柴油的主要成分,因此在 1 h 吸附达到平衡后整个周期内并没有出现柴油质量浓度降低的现象.从图 4 中还可以看出,不同质量浓度含油污水进入 SBR 后 1 h 内,油质量浓度降低的幅度大致相同,约为 40 ~ 50 mg/L.因此,当污泥质量浓度为 3 000 mg/L,油质量浓度大于 50 mg/L 时,污泥对于油的吸附趋于饱和,饱和吸附量约为 13.3 ~ 16.7 mg/g.

3 结 论

1) SBR 工艺在含柴油质量浓度为 50 mg/L 的生活污水 1 个周期冲击下,硝化作用、反硝化作用与有机物降解作用受到轻微抑制;但由于抑制作用较弱,COD、NO₂ - N、NO₃ - N、NH₄ - N 及油的质量浓度(石油类)等水质指标均达到国家污水综合排放标准,因此 SBR 工艺在 1 周期内可以有效抵御油质量浓度 ≤ 50 mg/L 的油污染冲击.

2) SBR 工艺在含油质量浓度为 100、200 mg/L 的生活污水 1 个周期冲击下,虽然硝化作用、反硝化作用与有机物降解作用受到轻微抑制,NO₂ - N、NO₃ - N、NH₄ - N 质量浓度仍能达到国家污水综合排放标准. COD、油的质量浓度(石油类)出现严重超标情况.单纯依靠 SBR 工艺不能有效抵御 100、200 mg/L 质量浓度的油污染冲击.

3) SBR 工艺除油主要是通过污泥吸附作用,

当污泥含量为 3 000 mg/L, 含油污水中油质量浓度大于 50 mg/L 时, 污泥对于油的吸附趋于饱和, 饱和吸附量约为 13.3 ~ 16.7 mg/g. 出水中由于含有难降解的烯烃和芳香烃而导致出水 COD 和油质量浓度(石油类)超出国家污水综合排放标准, 此时应使用其他手段辅助 SBR 工艺联合除油.

参考文献:

- [1] 王志强, 武强, 邹祖光, 等. 地下水石油污染曝气治理技术研究[J]. 环境科学, 2007, 28 (4): 754 - 760.
- [2] 方曦, 杨文. 海洋石油污染研究现状及防治[J]. 环境科学与管理, 2007, 32 (9): 78 - 80.
- [3] 谢关体, 路少鸣. 石油类污染源水的应急处理工艺研究[J]. 工业用水与废水, 2008, 39 (5): 19 - 20.
- [4] 彭永臻. SBR 法的五大优点 [J]. 中国给水排水, 1993, 9(2): 29 - 31.
- [5] WU C Y, CHEN Z Q, LIU X H, *et al.* Nitrification-denitrification via nitrite in SBR using real-time control strategy when treating domestic wastewater [J]. Biochem Eng J, 2007, 36: 87 - 92.

- [6] WANG B, LI J, WANG L, *et al.* Mechanism of phosphorus removal by SBR submerged biofilm system [J]. Water Res, 1998, 7(32): 2633 - 2638.
- [7] KEIDING K, NIELSEN P H. Desorption of organic macromolecules from activated sludge: effect of ionic composition [J]. Water Res, 1997, 31 (7): 1665 - 1672.
- [8] JULIAN C, IRENE J Y. Kinetic models for nitrification inhibition by ammonium and nitrite in a suspended and an immobilized biomass systems [J]. Proc Biochem, 2003, 50(6): 747 - 753.
- [9] PAK D, CHANG W. Simultaneous removal of nitrogen and phosphorus in a two-biofilter system [J]. Water Science Technology, 2000, 41(12): 101 - 106.
- [10] 吕昕, 张晓健, 瞿福平, 等. 生物处理过程中活性污泥对氯代芳香化合物吸附性能的研究 [J]. 环境化学, 1998, 17 (1): 34 - 37.
- [11] 夏北成. 环境污染物生物降解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

(编辑 魏希柱)

(上接第 889 页)

生物群落的 Shannon 指数达到最大值(0.95), 以脱氮为主的功能菌群成为优势菌种, 系统达到相对稳定的状态, 因此运行效能最高.

参考文献:

- [1] SHANNON M A, BOHN P W, ELIMELECH M, *et al.* Science and technology for water purification in the coming decades [J]. Nature, 2008, 452: 301 - 310.
- [2] GAO D W, FU Y, TAO Y, *et al.* Current research and development of controlling membrane fouling of MBR [J]. African Journal of Biotechnology, 2009, 8 (13): 2993 - 2998.
- [3] AN Y Y, YANG F L, BUCCIALI B, *et al.* Municipal wastewater treatment using a UASB coupled with cross-flow membrane filtration [J]. J Environ Eng-Asce, 2009, 135 (2): 86 - 91.
- [4] AN Y Y, YANG F L, CHUA H C, *et al.* The integration of methanogenesis with shortcut nitrification and denitrification in a combined UASB with MBR [J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 3714 - 3720.
- [5] AHN Y T, KANG S T, CHAE S R, *et al.* Simultaneous high-strength organic and nitrogen removal with combined anaerobic upflow bed filter and aerobic membrane bioreactor [J]. Desalination, 2007, 202: 114 - 121.
- [6] 王琳, 任南琪, 吴忆宁, 等. 一体式 UASB - MBR 反应

器处理高浓有机废水[J]. 中国给水排水, 2006, 22 (15): 33 - 36.

- [7] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8] OVREAS L, FOMEY L, DAAE F L, *et al.* Distribution of bacterioplankton in meromictic lake Saelevannet, as determined by denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA [J]. Applied Environmental Microbiology, 1997, 63 (8): 3367 - 3373.
- [9] 高大文, 李昕芯, 安瑞, 等. 不同 DO 下 MBR 内微生物群落结构与运行效果关系解析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(1): 1181 - 1185.
- [10] 张自杰. 排水工程下册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000: 308 - 315.
- [11] GAO D W, PENG Y Z, LI B K, *et al.* Shortcut nitrification-denitrification by real-time control strategies [J]. Bioresource Technology, 2009, 100 (7): 2298 - 2300.
- [12] SUN S P, NACHER C P I, MERKEY B, *et al.* Effective biological nitrogen removal treatment processes for domestic wastewaters with low C/N ratios: a review [J]. Environmental Engineering Science, 2010, 27 (2): 111 - 126.

(编辑 魏希柱)