

前置反硝化 BIOSTYR 工艺处理生活污水的效能研究

汪 荣 张有铭 杨卫东

(浙江欧美环境工程有限公司, 浙江 湖州 313000)

摘要 结合前置反硝化工艺研究缺氧-好氧两级 BIOSTYR 模型反应器处理生活污水的效能。采用对缺氧段反应器好氧预挂膜的两阶段复合式自然挂膜方法进行缺氧-好氧两级 BIOSTYR 模型反应器的挂膜启动。结果表明:(1)缺氧-好氧两级 BIOSTYR 模型反应器对 COD、NH₃-N、TN 和 TP 总去除率平均分别达到 91.9%、90.5%、55.1% 和 45.7%,出水 SS 较原水有所升高,但其为反冲洗周期的延长作出了积极的贡献。(2)单体反应器中,缺氧段对 COD、NH₃-N、TN、TP 的平均去除率分别为 71.6%、52.3%、45.8%、32.9%,好氧段对 COD、NH₃-N、TN、TP 的平均去除率分别为 71.3%、81.6%、17.2%、18.9%。(3)采用脉冲式反冲洗,反冲洗后 2~3 h 恢复正常处理效果。

关键词 前置反硝化 BIOSTYR 悬浮滤料 效能研究

Study on the performance of BIOSTYR process combing with prepositive denitrification for municipal sewage treatment WANG Rong, ZHANG Youming, YANG Weidong. (Zhejiang Omex Environmental Engineering Co., Ltd., Huzhou Zhejiang 313000)

Abstract: The performance of pre-denitrification combined anoxic-oxic two stage BIOSTYR reactor for municipal sewage treatment was researched in this paper. The anoxic-oxic two stage BIOSTYR model reactor was started up by using two phase composite natural inoculation process, during which the aerobic pre-coating of bio-film was performed in anoxic reactor. The test results manifested that the average COD, NH₃-N, TN and TP removal rate of anoxic-oxic two stages BIOSTYR model reactor was 91.9%, 90.5%, 55.1% and 45.7% respectively. Although the effluent SS increased a little comparing with influent SS, it made a positive contribute to the extension of backwashing cycle. In the monomer reactor, the average COD, NH₃-N, TN and TP removal rate of anoxic process was 71.6%, 52.3%, 45.8%, 32.9%, and in aerobic process they were 71.3%, 81.6%, 17.2%, 18.9%, respectively. The BIOSTYR model reactor could resume normal processing performance after 2-3 h of pulsed backwash.

Keywords: pre-denitrification; BIOSTYR; suspended filter medium; efficiency study

BIOSTYR 工艺是法国 OTV 公司新开发的污水处理工艺,主要采用了新型轻质悬浮滤料——BIOSTYRENE(主要成分为聚苯乙烯,密度小于 1 g/cm³)而得名^[1]。作为一种新型工艺能否在中小型点源污染控制和生活污水深度处理中得到推广应用,关键在于其处理的出水水质能否满足污水排放标准,同时良好的处理效能也是进一步深入研究和优化工艺的前提条件。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验结合前置反硝化工艺研究缺氧-好氧两级 BIOSTYR 模型反应器处理生活污水的效能,试验装置为直径 200 mm 的有机玻璃柱,滤料为聚苯乙烯球粒,密度 0.906~0.966 g/cm³,粒径 3~4 mm。BIOSTYR 模型反应器结构为气水同向,试验工艺

流程见图 1。

1.2 试验工况

试验工况:原水进水流量 10 L/h,回流比 100%,水力负荷 0.7 m³/(m²·h),水力停留时间 1.7 h(按单体反应器滤料段空塔计),气水比 5:1(体积比),好氧段反应器中的 DO 控制在 2~3 mg/L。

1.3 试验水质与分析方法

试验原水取自某公司办公楼的化粪池出水,试验中所涉及的分析监测项目均按照国家标准测定方法^[2]检测,试验水质及分析方法具体见表 1。

2 挂膜启动

采用在好氧条件下启动缺氧段反应器,使滤料表面形成良好的丝状菌结构,为反硝化菌的附着生长提供“膜基”,从而达到加速启动的目的,即好氧预

第一作者:汪 荣,男,1981 年生,硕士,工程师,研究方向为生物膜法污水处理及膜分离应用技术。

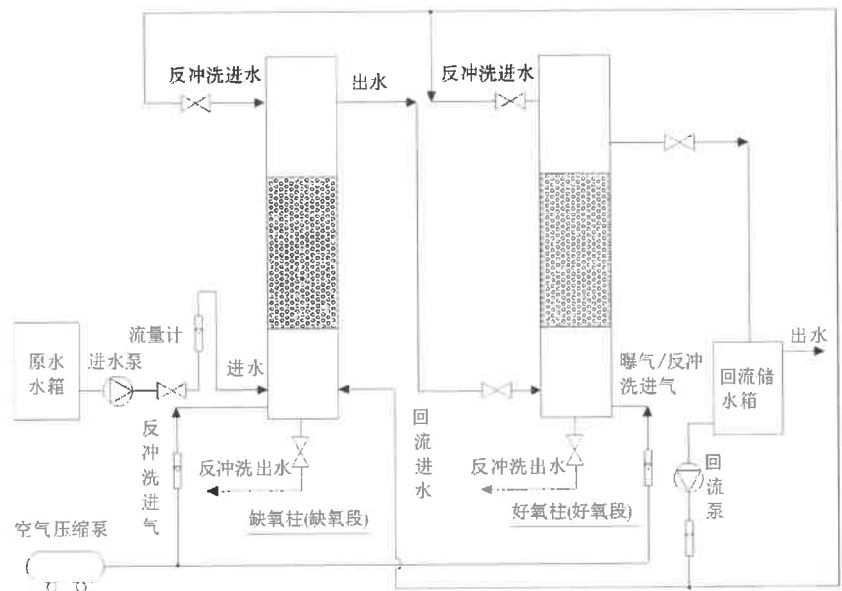


图 1 试验工艺流程示意图
Fig. 1 Test process flow diagram

表 1 试验水质及分析方法
Table 1 Quality of test water and analysis methods

监测项目	范围	分析方法
COD/(mg · L ⁻¹)	125.1~348.7	重铬酸钾法
NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	25.0~39.4	纳氏试剂光度法
TN/(mg · L ⁻¹)	37.8~47.3	过硫酸钾氧化—紫外分光光度法
TP/(mg · L ⁻¹)	2.62~5.86	钼锑抗分光光度法
SS/(mg · L ⁻¹)	39.7~56.8	称重法
pH	7.67~7.78	pH 计测定
温度/℃	17.5~30.3	温度计测定
DO/(mg · L ⁻¹)	0~0.1	DO 仪测定

挂膜^[3]。缺氧—好氧两级 BIOSTYR 模型反应器启动采用两阶段复合式自然挂膜方法。

3 结果与讨论

3.1 COD 的去除效果

从图 2 可以看出,在原水 COD 不高的条件下试验取得了非常理想的效果,好氧段出水 COD 基本稳定在 20 mg/L 以下,总去除率平均达 91.9%;即便有时原水 COD 波动高达 348.7 mg/L,但出水 COD 仍能维持在 20 mg/L 以下,表明该工艺不仅具有良好的去除有机物的效能,而且具有一定的抗 COD 负荷冲击能力。从图 2 还可以看出单体反应器对系统的贡献,缺氧段 COD 去除率平均为 71.6%,最高达 82.4%,分析主要贡献因子有:(1)回流硝化液对原水的稀释作用;(2)回流硝化液中携带的 DO 对有机物的氧化作用;(3)反硝化菌以有机物为碳源进行反硝化反应;(4)滤料层对不溶性有机物的过滤截留及生物絮凝作用;(5)生物膜自身增殖

的同化作用;(6)反硝化产生的氧对有机物的氧化作用。缺氧段对 COD 有 70% 的去除,这对整个工艺的处理效果是非常有意义的,它降低了后续好氧段 COD 负荷,为硝化菌创造了良好的增殖空间,从而为硝化反应的有效进行提供了保障。

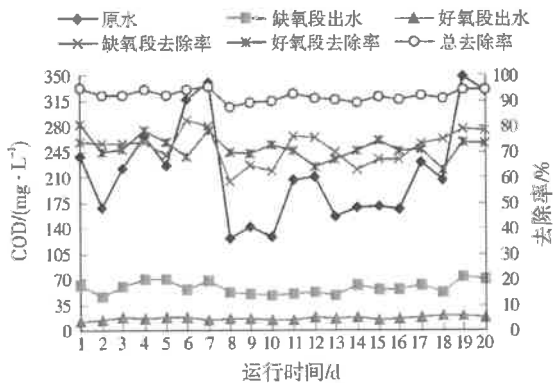


图 2 BIOSTYR 工艺对 COD 的去除
Fig. 2 COD removal of BIOSTYR process

原水经缺氧段反应器后,出水 COD 在 60 mg/L 左右,进入好氧段反应器后进一步被生物氧化去除。

尽管好氧段 COD 已经较低,但对 COD 的去除率平均仍有 71.3%,好氧段出水远优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级排放标准。

3.2 SS 的去除效果

传统以陶粒为载体的曝气生物滤池对 SS 能取得良好的去除效果^[4],而 BIOSTYR 工艺采用聚苯乙烯球粒为载体,在本试验条件下未能取得理想的效果。从图 3 可看出,在进水 SS 为 39~60 mg/L 的条件下,缺氧段出水 SS 基本稳定在 15 mg/L 以下,去除率基本为 70%~80%,表现出良好的深床过滤特征;但好氧段出水 SS 却升高(主要在 60~80 mg/L),从整个工艺系统来评价对 SS 没有去除效果。通过取样分析发现,好氧段出水 SS 成粘性稠状并具有良好的沉降性能,主要是反应器中随水流携带出来的脱落或悬浮态的生物膜,部分回流到缺氧段反应器中仍能表现出一定的生物氧化性能。这主要是因为悬浮滤料的附着性能差,生物膜易脱落,即便在较低的水力负荷下也未能克服此缺陷,但从反冲洗角度分析此特征又是 BIOSTYR 工艺的缺点之一,正因为运行过程中始终伴随着生物膜的脱落,从而延长了反冲洗的周期(可达 5~7 d)。

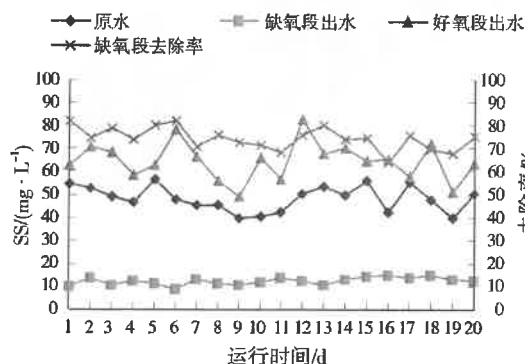


图3 BIOSTYR工艺对SS的去除
Fig. 3 removal of BIOSTYR process

3.3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

在进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 25.0~39.4 mg/L、COD 为 125.1~348.7 mg/L 条件下,系统在有效降解有机物的同时也取得了较理想的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除效果。从图 4 可以看出,系统对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的总去除率平均为 90.5%,好氧段出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均为 2.9 mg/L,即便进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 有较大波动,出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 仍然很稳定,表明 BIOSTYR 工艺具有良好的去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的性能和抗 $\text{NH}_3\text{-N}$ 负荷冲击的能力。另外,从图 4 还可以看出,好氧段对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率平均为 81.6%,表明好氧段反应器中硝化菌具有良好的硝化性能和

稳定性,而这正是整个工艺的前提和关键,硝化作用的好坏从根本上决定了整套工艺处理污水性能的优劣;同时发现,缺氧段反应器对系统的贡献非常不稳定,缺氧段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率在 39.8%~63.5%,波动较大(平均为 52.3%),分析主要原因是在该反应器中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除受多种因子共同作用:(1)回流硝化液的稀释;(2)回流硝化液中携带的 DO 提供了硝化反应的条件,通过对反应器的沿程取样分析发现,在进水端滤料层有一定的硝化反应发生;(3)氨氧化作用^[5];(4)氨化菌将污水中的有机氮转化为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。

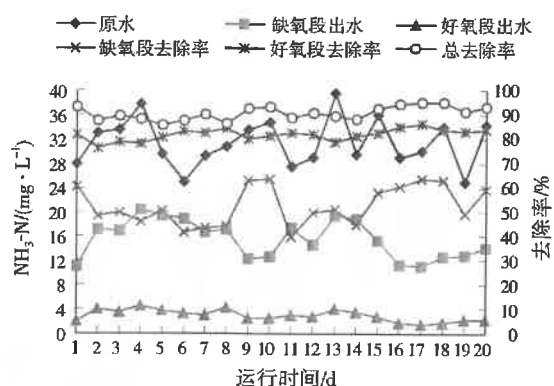


图4 BIOSTYR工艺对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除
Fig. 4 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal of BIOSTYR process

3.4 TN 的去除效果

前置反硝化缺氧—好氧两级 BIOSTYR 工艺通过对回流水中的硝酸盐氮、亚硝酸盐氮在缺氧状态下的反硝化作用达到脱氮目的。从图 5 可以看出,在进水 TN 为 40 mg/L 左右、回流比 100% 的条件下,好氧段出水 TN 在 20 mg/L 左右,总去除率平均达 55.1%,最高达 69.2%。系统对 TN 的去除主要发生在缺氧段反应器中,其缺氧段 TN 去除率平均为 45.8%,最高达 60.2%(好氧段 TN 去除率平均仅为 17.2%)。从活性污泥法 A^2/O 工艺中推导出反硝化率与回流比的理论关系(见式(1))^[6],即在回流比 100% 的条件下理论上缺氧段对 TN 的最大去除率为 50%,但试验中却有高于 50% 的现象,从理论上分析取得最大去除率的前提是原水中的氮化物被 100% 转化为硝态氮或亚硝态氮,而实际上试验并未取得这样的效果。对此现象主要基于 3 点解释:(1)从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果分析中可知,在进水端有硝化反应发生,即提高了反硝化中的硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的总量;(2)进水中含有少量硝酸盐或亚硝酸盐;(3)氨氧化作用;(4)微生物自身同化作用的贡献。由分析可知,选择合适的回流比是该工艺取得良好脱氮效果的关键。

$$E = \frac{R}{1+R} \quad (1)$$

式中: E 为缺氧段 TN 去除率, %; R 为回流比, %。

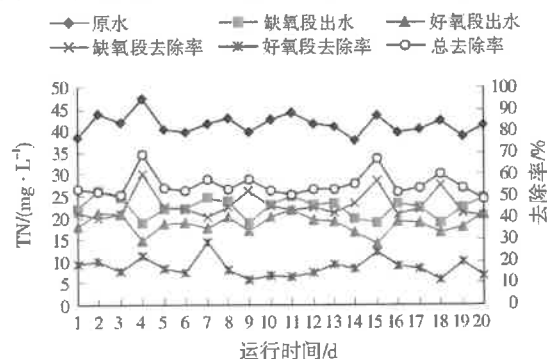


图 5 BIOSTYR 工艺对 TN 的去除

Fig. 5 TN removal of BIOSTYR process

3.5 TP 的去除效果

传统的生物脱氮除磷工艺存在自身难以解决的矛盾:聚磷菌和反硝化菌对碳源的竞争始终存在;硝化菌、反硝化菌、聚磷菌菌龄不同,各种菌群混合在一起互相制约,难以使系统达到最优的运行条件。为此各国水处理专家有针对性地进行了大量研究,在工艺形式和工艺流程上进行了一系列的革新,尤其是反硝化聚磷菌的发现使脱氮除磷工艺有了更为广阔的发展前景^[7]。基于此理论,试验中做了一些考察性的分析。从图 6 可以看出,系统对 TP 总去除率平均为 45.7%,好氧段出水 TP 平均为 2.14 mg/L。缺氧段 TP 去除率平均为 32.9%,最高达 44.7%;好氧段 TP 去除率平均为 18.9%,最高达 30.8%。缺氧段反应器中有效地实现了脱氮除磷的结合;此外,除生物除磷外,一部分非溶解状态的磷物质被滤料层截留、吸附而从污水中分离,最终以剩余污泥的形式排出系统外。

试验中好氧段反应器中未能取得较理想的除磷效果,传统除磷理论认为,聚磷菌在厌氧环境下对磷的释放是好氧条件下吸磷除磷的前提条件^[8]。而缺氧段反应器中以吸磷为主,未能实现聚磷菌对磷的有效释放,从而大大削弱了好氧段反应器中聚磷菌吸磷除磷的效能;此外,在好氧段反应器中发现有亚

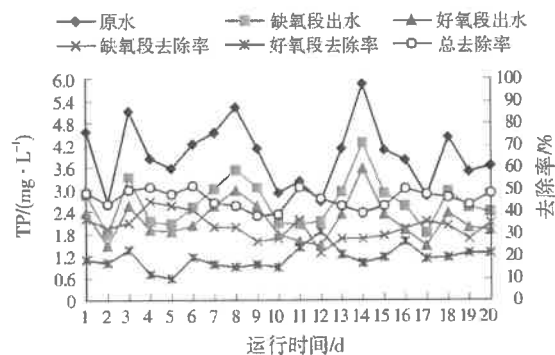


图 6 BIOSTYR 工艺对 TP 的去除

Fig. 6 TP removal of BIOSTYR process

硝酸盐的积累现象,研究表明,亚硝酸盐的积累对聚磷菌的过量摄磷有抑制作用^[9]。

3.6 反冲洗对处理效果的影响

试验考察了两级反应器在同时反冲洗的条件下处理效果的恢复情况,试验采用脉冲式反冲洗。工况:水洗强度 4~5 L/(m²·s),气冲强度 5~6 L/(m²·s),脉冲过程时间 2~3 min,清水漂洗时间 10~15 min。原水水质:COD 264.0 mg/L, NH₃-N 33.4 mg/L, TN 41.8 mg/L,反冲洗后每间隔 1 h 取样分析,试验结果见表 2。

由表 2 看出,在刚反冲洗后,系统出水污染物浓度均处于较低的水平,这是由反冲洗结束后反应器内残存的反冲洗水稀释造成的。反冲洗后 1 h 内出水 COD 迅速上升,至 2 h 后出水 COD 下降至小于 50 mg/L,说明系统在反冲洗后 2 h 就能恢复对 COD 的去除功能。系统硝化性能受反冲洗的影响较小,反冲洗后 1 h 内 NH₃-N 去除率只有少许降低,3 h 后系统对 NH₃-N 去除率已稳定在 90% 左右,说明该工艺对 NH₃-N 的去除效果较稳定,这是由硝化菌的生长特点所决定的,通常增殖速度慢的硝化菌生长在生物膜内层,而增殖速度快的异养菌包裹在其周围,对其形成一种保护,使其附着力增强,所以受水力作用影响小,即使在反冲洗过程中也不会脱落^[10]。反冲洗对 TN 的去除效果影响较大,反冲洗后 1 h 内 TN 去除率迅速下降,然后才逐渐升高至

表 2 反冲洗后 COD、NH₃-N、TN 去除效果

Table 2 COD, NH₃-N and TN removal efficiency after backwashing

反冲洗后 运行时间/h	出水 COD /(mg·L ⁻¹)	COD 去除率 /%	出水 NH ₃ -N /(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N 去除率 /%	出水 TN /(mg·L ⁻¹)	TN 去除率 /%
0	34.6	86.9	4.2	87.4	15.6	62.7
1	59.4	77.5	5.4	83.8	20.5	51.0
2	40.9	84.5	5.1	84.7	17.6	57.9
3	33.8	87.2	3.5	89.5	14.4	65.6
4	31.7	88.0	3.9	88.3	12.5	70.1

正常状态,分析其原因:(1)因为缺氧段反应器内所截留的大量悬浮物在反冲洗过程中会与填料上附着的生物膜产生剧烈的摩擦和撞击,使反硝化菌大量脱落并随反冲洗水流出滤池;(2)因为采用脉冲式反冲洗,使缺氧段反应器在反冲洗后的一段时期内仍存留大量的 DO,破坏了反硝化菌的生存环境。两方面的综合作用使得反冲洗后系统的反硝化能力受到了较大影响,但随着运行的继续,缺氧段反应器内的 DO 逐渐被消耗,反硝化菌数量逐渐增加,系统出水 TN 又逐步降低并稳定。综上分析,反冲洗后 2~3 h 恢复正常处理效果。

4 结 论

(1) 缺氧—好氧两级 BIOSTYR 模型反应器对 COD、NH₃-N、TN 和 TP 总去除率平均分别达到 91.9%、90.5%、55.1% 和 45.7%,出水 SS 较原水有所升高,但其为反冲洗周期的延长作出了积极的贡献。从整体对污染物的去除效果评价,该工艺具有良好的处理生活污水的效能,尤其对 COD 的去除表现出理想的深度净化性能。

(2) 单体反应器中,缺氧段对 COD、NH₃-N、TN、TP 的平均去除率分别为 71.6%、52.3%、45.8%、32.9%,好氧段对 COD、NH₃-N、TN、TP 的平均去除率分别为 71.3%、81.6%、17.2%、18.9%。

(3) 采用脉冲式反冲洗,反冲洗后 2~3 h 恢复正常处理效果。

参考文献:

- [1] 张忠波,陈吕军,胡纪萃. 新型曝气生物滤池——Biostyr[J]. 给水排水,2000,26(6):15-18.
- [2] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 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.
- [3] 何强,龙腾锐,林刚. 预挂膜加速厌氧生物膜反应器启动的试验研究[J]. 给水排水,2001,27(5):27-29.
- [4] 郑俊,吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [5] 吕锡武. 同时硝化反硝化的理论和实践[J]. 环境化学,2002,21(6):564-570.
- [6] 周霞,周丹. A²/O 除磷脱氮工艺设计计算(上)[J]. 给水排水,2003,29(3):26-29.
- [7] 李相昆,张杰,黄荣新,等. 反硝化聚磷菌的脱氮除磷特性研究[J]. 中国给水排水,2006,22(3):35-39.
- [8] 张自杰. 排水工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [9] 王亚宜,彭永臻,王淑莹,等. 反硝化除磷理论、工艺及影响因素[J]. 中国给水排水,2003,19(1):33-36.
- [10] LIU Yu, CARDEVILLE B. Specific activity of nitrifying bio-

film in water nitrification process[J]. Water Research, 1996, 30(7):1645-1650.

编辑:黄 苇 (修改稿收到日期:2013-08-26)

(上接第 48 页)

- [26] 蒋学先. 浅论我国危险废物处理处置技术现状[J]. 金属材料与冶金工程,2009,37(4):57-60.
- [27] JOHN V, RON M D. POPs technology specification and data sheets[EB/OL]. (2008-01-09). <http://www.ihpa.info/actions/projects/pops-technology-specification>.
- [28] RON M, CAROL B, BRUCE G, et al. Review of emerging, innovative technologies for the destruction and decontamination of POPs and the identification of promising technologies for use in developing countries[EB/OL]. (2004-01-15). <http://archive.basel.int/>.
- [29] SUN Guangri, HE Jinbao, PITTMAN JR C U. Destruction of halogenated hydrocarbons with solvated electrons in the presence of water[J]. Chemosphere, 2000, 41(6):907-916.
- [30] BOITTIAUX V, BOUCETTA F, COMBELLAS C, et al. Surface modification of halogenated polymers:3. Influence of additives such as alkali cations or nucleophiles on the magnesium reductive treatment of polytetrafluoroethylene[J]. Polymer, 1999, 40(8):2011-2026.
- [31] EPA. Reference guide to non-combustion technologies for remediation of persistent organic pollutants in soil, second edition-2010[EB/OL]. [2013-04-08]. <http://www.epa.gov>.
- [32] 张丽莉,陈丽,赵雪峰,等. 超临界水的特性及应用[J]. 化学工业与工程,2003,20(1):33-38.
- [33] 荆国林,霍维晶,崔宝臣. 超临界水氧化的技术研究进展[J]. 环境科学与管理,2007,32(10):69-73.
- [34] MARULANDA V, BOLAÑOS G. Supercritical water oxidation of a heavily PCB-contaminated mineral transformer oil: laboratory-scale data and economic assessment[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2010, 54(2):258-265.
- [35] ZOU Daoan, CHI Yong, FU Chao, et al. Co-destruction of organic pollutants in municipal solid waste leachate and dioxins in fly ash under supercritical water using H₂O₂ as oxidant[J]. Journal of Hazardous Materials, 2013, 248(12):177-184.
- [36] 李亚民,张凯,费庆志. 机械化学法降解持久性有机污染物——五氯酚[J]. 大连交通大学学报,2011,32(3):68-71.
- [37] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.
- [38] 赵娜娜,李丽,易爱华,等. POPs 废物处置技术多目标决策筛选研究[J]. 环境科学研究,2007,20(3):164-167.
- [39] 陈曦,陈扬. 国外杀虫剂类 POPs 处置技术研究综述[J]. 农药,2009,48(5):313-316.

编辑:黄 苇 (修改稿收到日期:2013-09-18)

