

UASB 与 ABR 工艺处理印染废水中试实验研究

刘伟京^{1,2},许明²,喻学敏^{2,3},顾晓东⁴,郭方峥²,叶阳阳²

(1.南京理工大学化工学院,江苏 南京 210094 2.江苏省环境科学研究院,江苏 南京 210036 3.南京大学环境学院,江苏 南京 210093 ;4.常熟市梅李污水处理有限公司,江苏 常熟 215511)

摘要 对上流式厌氧反应器(UASB)和折流式厌氧反应器(ABR)处理难降解印染废水进行中试研究。结果表明 :在厌氧反应器最佳水力停留时间为 24 h 条件下 ,UASB 和 ABR 稳定运行 2 个多月 ,在进水 COD 质量浓度波动较大的情况下($\rho_{\max} = 1\,020.0\text{ mg/L}$, $\rho_{\min} = 593.6\text{ mg/L}$, $\rho_{\text{均}} = 755.4\text{ mg/L}$) ,UASB 和 ABR 出水平均 COD 质量浓度分别为 409.3 mg/L 和 420.9 mg/L ,平均去除率分别为 45.5% 和 43.9%。两种厌氧反应器对色度去除效果较佳 ,进水平均色度 342 倍 ,出水平均色度分别 78 倍和 80 倍 ,平均去除率分别为 77.2% 和 76.6%。印染废水 B/C 由 0.29 分别提高到 0.46 和 0.43 ,废水可生化性明显改善 ,UASB 较 ABR 效果好。

关键词 :上流式厌氧反应器 ;折流式厌氧反应器 ;印染废水 ;中试研究

中图分类号 :X703 文献标识码 :B 文章编号 :1004-693X(2009)05-0074-04

Pilot-scale study on treatment of printing and dyeing wastewater by UASB and ABR

LIU Wei-jing^{1,2} , XU Ming² , YU Xue-min^{2,3} , GU Xiao-dong⁴ , GUO Fang-zhen² , YE Yang-yang²

(1. School of Chemical Engineering , Nanjing University of Science and Technology , Nanjing 210094 , China ; 2. Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science , Nanjing 210036 , China ; 3. School of the Environment , Nanjing University , Nanjing 210093 , China ; 4. Meili Sewage Treatment Company Limited , Changsu 215511 , China)

Abstract :A pilot-scale study was conducted on the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) and anaerobic baffled reactor(ABR) treatment of printing and dyeing wastewater which was difficult to degrade. With the optimal hydraulic retention time (HRT) of 24 hours , the experimental anaerobic reactor UASB and ABR was steadily operated for two months. In the case of mass concentration COD with large variation(the maximum $\rho_{\max} = 1\,020.0\text{ mg/L}$, the minimum $\rho_{\min} = 593.6\text{ mg/L}$, and the mean COD $\rho_{\text{average}} = 755.4\text{ mg/L}$) in the influent , the final mean concentrations were 409.3 mg/L and 420.9 mg/L in the effluent from the UASB and ABR , respectively. The mean removal rates were 45.5% and 43.9% , respectively. When the mean influent color was 342 times than normal , the mean final effluent colors were 78 times and 80 times than normal for UASB and ABR. The removal efficiencies were 77.2% and 76.6% , respectively. The BOD₅/COD ratios of printing and dyeing wastewater increased from 0.29 to 0.43 and 0.46 for UASB and ABR , which were raised 0.17 and 0.14 respectively. Wastewater biodegradability was greatly improved , and the UASB was shown to be more effective than the ABR.

Key words :upflow anaerobic sludge blanket (UASB) ; anaerobic baffled reactor (ABR) ; printing and dyeing wastewater ; pilot-scale study

印染废水具有水质水量变化大、有机物浓度高、色度高、pH 值高等特点 ,化纤织物的发展和印染后整理技术的进步使 PVA 浆料、新型助剂等难生化降解有机物大量进入印染废水 ,进一步增加了废水处理

的难度^[1-6]。为治理太湖污染 ,江苏省政府颁布了 DB 32/1072—2007《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》,向太湖流域印染废水处理提出了新的挑战 ,当前印染废水处理主要

基金项目 :江苏省环保厅科研项目(2008018) ,国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-003-002) (2008ZX07313-005)
作者简介 :刘伟京(1967—) ,男 ,河北唐县人 ,高级工程师 ,主要从事水污染控制研究。E-mail :wjliu99@yahoo.com.cn
通讯作者 :许明(1982—) ,男 ,工程师 ,E-mail :yexumingbai@126.com

采用“ 高效厌氧 + 好氧 ”为主体的二级生化处理工艺 结合预处理和深度处理技术 ,而高效厌氧技术是达标的键和基础。

上流式厌氧反应器(UASB , upflow anaerobic sludge blanket)^[7]池内死区小 ,能很好地实现均匀布水 泥水混合接触更加充分 污泥浓度高 ,从而能保持较高的有机物降解能力 ,同时也有较好的抗冲击负荷能力。而折流式厌氧反应器(ABR , anaerobic baffled reactor)^[8-9]主要利用水流自身的上下流动搅动厌氧污泥 ,使之与污水发生混合 ,独特的分格式结构及流态使得每个反应室中可以驯化培养与流至该反应室中的污水水质、环境条件相适应的微生物群落 ,有良好的生物种群分布 ,从而提高了反应器的处理效果和运行的稳定性。

本文建立中试规模上流式厌氧反应器和折流式厌氧反应器处理难降解印染废水 ,重点考察对比两种厌氧反应器对 COD 和色度的去除效果 ,以及对废水可生化性的改善 ,为印染废水处理厌氧处理工艺选择和设计提供参考。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

中试研究装置示意图 1。

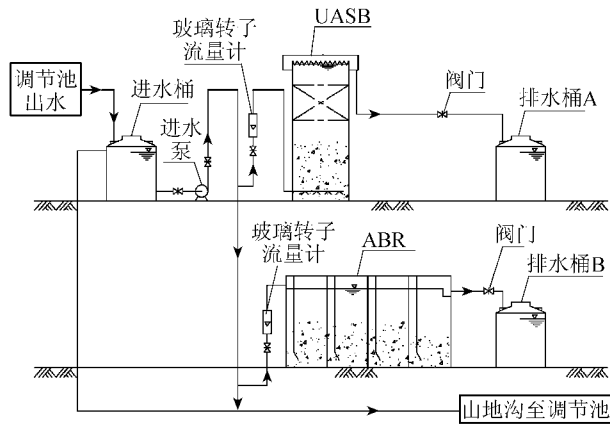


图 1 UASB 和 ABR 试验装置示意图

UASB 和 ABR 有效容积均为 7.2 m³。UASB 尺寸为 $D \times H = 1.6\text{ m} \times 3.9\text{ m}$,ABR 尺寸为 $L \times B \times H = 3.6\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ 。设计处理水量为 0.2 ~ 0.5 m³/h 水力停留时间(HRT)可控制在 14 ~ 36 h。调节池污水先进入进水桶 ,用泵打入两个厌氧反应器 ,安装玻璃转子流量计控制流量 ,2 个厌氧反应器出水分别进入排水桶 A 和排水桶 B。UASB 在 UASB 的基础上省去了三相分离器 ,在反应器不同高度设有 6 个采样口 ,反应器上端设置溢流堰 ,整个过程中无水力循环且无搅拌混合器。ABR 每室均由 1 个下流室和 1 个上流室组成 ,上流室与下流室宽度比为

4:1 ,通往上流室的挡板下部边缘安装 45°倒角的导流板进行布水 ,将水送至上流室的中心 ,使泥水充分混合接触 ,维持较高的污泥浓度。

1.2 试验水质

江苏省常熟市某污水处理厂设计处理能力为 1.0 万 m³/d ,其中印染废水占 80% 左右。当地的印染企业产品种类齐全 ,包括化纤、全棉、棉混纺产品的染色和印花 ,使用的染料种类复杂 ,以分散染料和活性染料为主。中试研究试验用水取自污水处理厂的调节池 ,具体水质情况见表 1。

表 1 印染废水原水水质

水质指标	$\rho(\text{COD})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{BOD}_5)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$	色度/倍	pH
范围	593 ~ 1020	145 ~ 320	0.21 ~ 0.34	200 ~ 500	9 ~ 12
平均值	755	250	0.26	380	9.6

由表 1 可见 ,原水水质波动较大 ,pH 值较高 ,色度变化大。 $\rho(\text{BOD}_5)/\rho(\text{COD})$ 值在 0.2 ~ 0.3 左右 ,废水可生化性较差。

1.3 测试项目与方法

试验常规水质分析方法^[10] :COD 重铬酸盐法 ; BOD₅ 稀释与接种法 ;色度稀释倍数法 ;NH₃-N 纳氏试剂比色法 ;MLSS、MLVSS 重量法 ;DO、温度 ,便携式 DO 仪 ;生物相观察 ,光学显微镜 ;pH ,pH 计。紫外-可见分光光度扫描采用 Unic ,WFZ UV-2800AH 型。采用气质联用(GC-MS)分析废水中的有机物 ,首先对废水中有机物进行萃取 ,参照美国环保局(EPA)对工业污水的取样和分析步骤^[11]。

1.4 接种污泥

中试研究接种污泥取自污水处理厂厌氧水解池内厌氧污泥 ,MLVSS 为 12.8 g/L ,MLVSS/MLSS 为 0.46。

2 试验结果与讨论

2.1 运行效果对比

UASB 和 ABR 稳定运行 61 d 后对 COD 去除情况见图 2 和图 3。

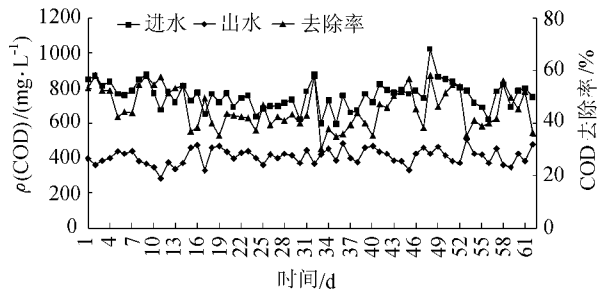


图 2 UASB 对 COD 去除情况

在进水 COD 质量浓度波动较大的情况下($\rho_{\text{max}} =$

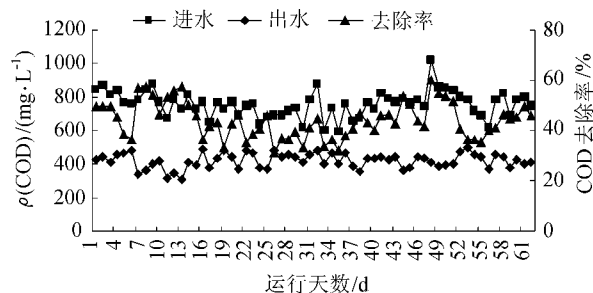


图3 ABR对COD去除情况

1020.0 mg/L, $\rho_{\min} = 593.6$ mg/L, $\rho_{\text{均}} = 755.4$ mg/L), UASB出水 $\text{COD}_{\rho_{\max}} = 508.0$ mg/L, $\rho_{\min} = 286.3$ mg/L, $\rho_{\text{均}} = 409.3$ mg/L, 平均去除率为 45.5%, 折流式厌氧反应器出水 $\text{COD}_{\rho_{\max}} = 486.0$ mg/L, $\rho_{\min} = 306.8$ mg/L, $\rho_{\text{均}} = 420.9$ mg/L, 平均去除率为 43.9%。从有机物去除效果看, UASB 较 ABR 稍好。两种厌氧反应器的出水 COD 质量浓度均大幅下降, 且出水 COD 质量浓度稳定, 起到了去除 COD 质量浓度和缩小其波动幅度的作用, 这不仅可以降低好氧生物处理的负荷压力, 还可以起到稳定系统的作用, 减轻负荷波动的冲击。

UASB 和 ABR 稳定运行 61 d 后对色度去除情况见图 4 和图 5。

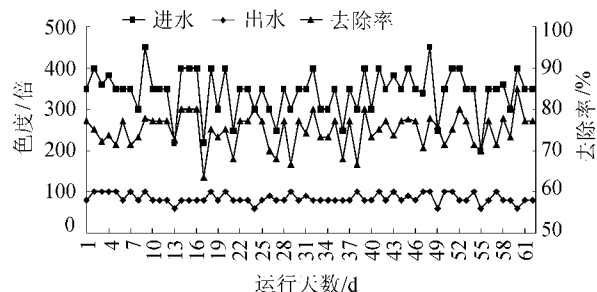


图4 UASB对色度去除情况

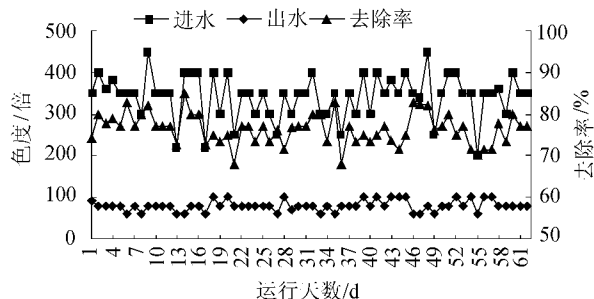


图5 ABR对色度去除情况

进水色度波动较大, 平均色度 342 倍, 最高 450 倍, 最低 200 倍。UASB 出水平均色度 78 倍, 最高 100 倍, 最低 60 倍, 平均去除率为 77.2%; ABR 出水平均色度 80 倍, 最高 100 倍, 最低 60 倍, 平均去除率为 76.6%。UASB 脱色效果稍好于 ABR。两种厌氧反应器的出水色度均得到了有效去除, 出水色度稳定, 为后续好氧处理打下基础。

UASB 和 ABR 稳定运行 61 d 后, $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 变化情况见图 6 和图 7。

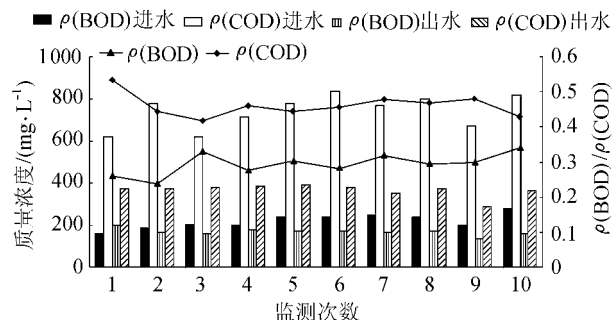


图6 UASB可生化性变化情况

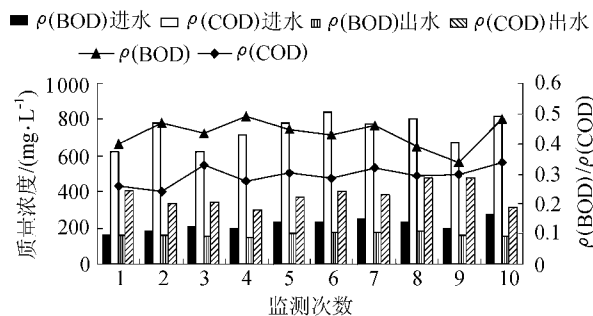


图7 ABR可生化性变化情况

由图 7 和图 8 可知, 印染废水 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 比较低, 可生化性较差, 进水平均 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 为 0.29, 最小 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 为 0.24, 最大 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 为 0.34。上流式厌氧反应器和折流式厌氧反应器出水平均 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 分别为 0.46 和 0.49, 均值较进水分别提高了 0.17 和 0.14。两种厌氧反应器处理后, 出水 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 均大幅提高, 说明废水可生化性明显改善。出水 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 都保持在 0.4 左右, 处于易生化降解范围内。这对好氧处理而言, 可生化性提高有利于好氧微生物对有机物的降解, 将有助于降低好氧处理成本。

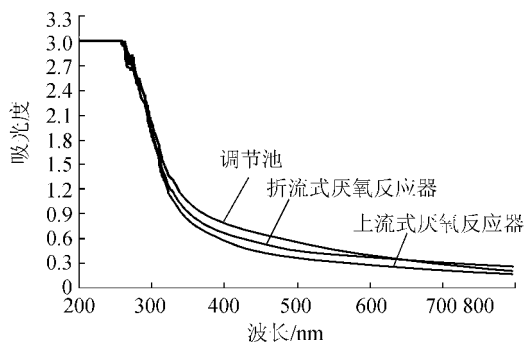


图8 印染废水紫外-可见吸收光谱扫描

2.2 污染物去除机理分析

为考察印染废水在两种厌氧反应器中色度被生物降解的程度以及其结构组分的变化, 对运行阶段两种厌氧反应器出水进行紫外-可见吸收光谱分析

(图 8)。

由图 8 可见,调节池进水吸光度较高,经过两种厌氧反应器后废水吸光度很快降低,说明染料分子结构改变(开环、断键、裂解、基团取代、还原等),发色基团打开,通过测试结果可判定,经过厌氧或兼氧菌的生物降解作用,染料结构发生了变化,从而使得染料废水的组分也相应的发生了变化。分析原因如下:首先,两种厌氧反应器对印染废水色度的去除主要是通过厌氧菌或兼性菌的作用,将染料结构中的发色基团破坏,从而实现对色度的去除。反应器内污泥量大,保证了厌氧水解的微生物量,对染料分子的降解能力强。其次,水力停留时间较长,且污泥与废水接触混合效果较好,充分发挥兼性和厌氧微生物对发色基团的破坏作用。并且 UASB 出水吸光度降低程度比 ABR 大,说明 UASB 对色度的去除优于 ASR。常规の色度指标也验证了这一点。

对 UASB 进出水进行 GC-MS 测试,进一步研究有机物降解规律。有机物在 GC-MS 测试中的总离子流谱图如图 9 所示。

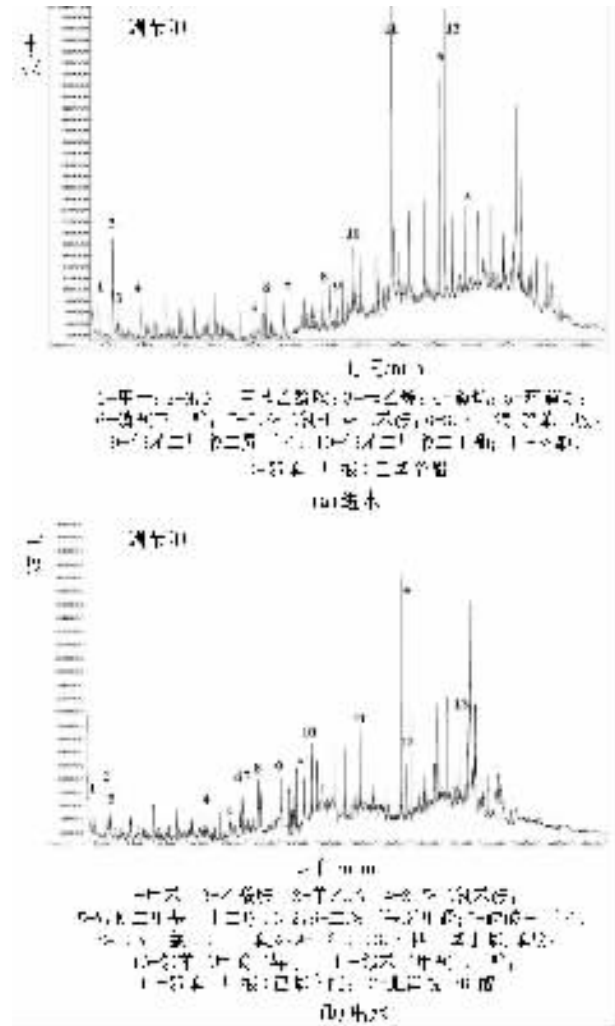
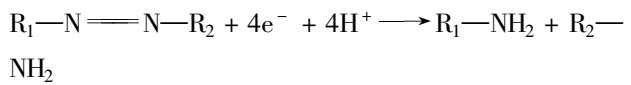


图 9 UASB 进出水有机物的总离子流谱图(*为不确定物质)
由图 9 可知,原水经过 UASB 后含胺类物质很

多,说明废水中大分子长链有机物得到降解和转化。印染废水含偶氮键的染料,在厌氧水解的过程中容易发生偶氮断裂如下^[12-14]:



式中 R_1, R_2 表示不同的基因,偶氮断裂生成胺,进一步可以变成游离氨,常规监测试验中发现印染废水经过厌氧水解后氨氮浓度升高,由此可以证明染料分子结构改变(开环、断键、裂解、基团取代、还原等),使结构复杂难生物降解的有机物分子转化成可慢速或快速生物降解的有机物,后续好氧处理对有机物进一步氧化分解^[15]。厌氧水解工艺在印染废水的处理工艺中是必不可少的,一方面提高了废水的可生化性,另一方面有效降解了废水的 COD,将大分子有机物转化为小分子有机物,降低色度,改善废水的可生化性,同时相对于废水的物化处理工艺,有效削减了污泥的产生量^[16-17]。

3 结 论

a. UASB 和 ABR 稳定运行 61 d,在进水 COD 质量浓度波动较大的情况下($\rho_{\max} = 1\,020.0\text{ mg/L}$, $\rho_{\min} = 593.6\text{ mg/L}$, $\rho_{\text{均}} = 755.4\text{ mg/L}$),UASB 和 ABR 出水平均 $\rho(\text{COD})$ 分别为 409.3 mg/L 和 420.9 mg/L ,平均去除率分别为 45.5% 和 43.9% 。两种反应器对色度去除效果较好,进水平均色度 342 倍,出水平均色度分别为 78 倍和 80 倍,平均去除率分别为 77.2% 和 76.6% 。UASB 好于 ABR。

b. UASB 和 ABR 对印染废水 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 比提高较为明显,印染废水由进水平均 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 为 0.29 提高到出水平均 $\rho(\text{BOD})/\rho(\text{COD})$ 分别为 0.46 和 0.43,均值分别提高了 0.17 和 0.14, UASB 较 ABR 效果好,废水可生化性明显改善,有利于后续好氧处理,降低处理成本。

c. 通过紫外-可见吸收光谱分析和 GC-MS 测试揭示了厌氧反应器对难降解印染废水色度和有机物的去除规律。

参考文献:

[1] 周荣丰,肖华卢亮,马鲁铭,等.催化铁内电解-生化法处理印染废水[J].环境科学研究,2005,18(2):74-77.
[2] 戴日成,张统,郭茜,等.印染废水水质特征及处理技术综述[J].给水排水,2000,26(10):33-37.
[3] 沈东升,冯孝善,沈益民,等.我国印染废水处理技术的现状和发展趋势[J].环境污染与防治,1996,18(1):26-28.

(下转第 81 页)

级动力学较好的拟合。阴离子存在能对直接湖蓝溶液脱色过程产生抑制作用,多种阴离子共存时,离子间还会产生协同抑制光解。因此,在用 H_2O_2 /强化日光辐射处理前,需去除染料溶液中的阴离子。与传统的 $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 或 UV/O_3 相比, H_2O_2 /强化日光工艺所采用的氧化剂是 H_2O_2 ,且用强化日光取代高成本的紫外光,操作简单安全,是一项真正的节能环保型水处理技术。

参考文献：

[1] 刘琰,孙德智.高级氧化技术处理染料废水的研究进展[J].工业水处理,2006,26(6):1-5.

[2] BEHNAJADY M A,MODIRSHAHLA N,FATHI H. Kinetics of

.....

(上接第 77 页)

[4] 李莉.印染废水处理工艺设计探讨[J].工业水处理,2007,27(1):78-80.

[5] 刘梅红.印染废水处理技术研究进展[J].纺织学报,2007,28(1):116-119.

[6] 李家珍.染料、染色工业废水处理[M].北京:化学工业出版社,1997.

[7] LETTING G, Van VELSEN A F, HOBMA S W, et al. Use of the upflow sludge blanket(USB) reactor concept for biological wastewater treatment[J]. Biotechnol Bioengng, 1980, 22: 699-734.

[8] ANDRE B, BEARD V L, MCCARTY P L. Performance characteristics of the anaerobic baffled reactor[J]. Water Res, 1985, 19(1): 99-106.

[9] BELL J, PLUMB J, BUCKLEY C, et al. Treatment and decolorization of dyes in an anaerobic baffled reactor[J]. Environ Eng, 2000, 126(11): 1026-1032.

[10] 国家环保总局.水和废水监测方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.

[11] 杨志,汪苹,张月琴,等.GC-MS 法对垃圾渗滤液生物处理前后微量有机物的研究[J].环境污染与防治,2005,27(3): 218-221.

decolorization of an azo dye in UV alone and $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ processes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 136(3): 816-821.

[3] KURBUS T, Le MARECHAL A M. Comparison of $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ and $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ processes for the decolorisation of vinylsulphone reactive dyes[J]. Dyes and Pigments, 2003, 58(3): 245-252.

[4] 周明华,吴祖成,施耀. $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 系统协同降解苯酚的动力学研究[J]. 高校化学工程学报, 2002, 16(5): 536-541.

[5] ABDULLAH F H, RAUF M A, ASHRAF S S. Kinetics and optimization of photolytic decoloration of carmine by $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ [J]. Dyes and Pigments, 2007, 75(1): 194-198.

(收稿日期 2008-08-04 编辑 高渭文)

.....

[12] GEORGIU D, METALLINO C, AIVASIDIS A. Decolorization of azo-reactive dyes and cotton-textile wastewater using anaerobic digestion and acetate-consuming bacteria[J]. Biochemical Engineering Journal, 2004, 19: 75-79.

[13] LUANGDILOK W, PANSWAD T. Effect of chemical structures of reactive dyes on color removal by an anaerobic-aerobic process[J]. Water Sci Technol, 2000, 42(3/4): 377-382.

[14] BROMLEY-CHALLENGER K C A, KNAPP J S, ZHANG Z, et al. Decolorization of an azo dye by unacclimated activated sludge under anaerobic conditions[J]. Water Res, 2000, 34(18): 4410-4418.

[15] 颜秀勤,张秀华,郑兴灿.印染废水集中处理厂的工艺选择与设计参数[J].中国给水排水,1999,15(10): 37-39.

[16] 高欢,蒋进元,胡翔,等.活性染料高温厌氧生物降解研究[J].环境科学研究,2007,20(4): 102-105.

[17] 薛志成.水解酸化-A/O-化学混凝沉淀工艺处理活性染料印染废水的设计与运行[J].上海染料,2008,36(4): 50-53.

(收稿日期 2009-03-24 编辑 高渭文)

欢迎订阅 2010 年《环境科技》

《环境科技》是由江苏省环保厅主管,江苏省环境科学研究院、江苏省徐州市环境监测中心站联合主办的集学术性与实用性于一体的环境科学技术类期刊,为“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。国内统一刊号:CN32-1786/X,国际标准刊号:ISSN 1674-4829。

本刊以直接为环境污染防治实践服务为宗旨,重点报道环境科学最新实用技术、科研成果、治理开发及国内外最新信息与动态,内容涉及水、气、声、固等污染处理技术及清洁生产、生态保护等实用技术的推广应用。栏目有:研究报告、污染防治、环境评价与规划、专论与综述、环境管理、环保论坛等,从多角度向读者介绍国内外环境保护新成果、新技术、新动态、新经验等。对环境保护管理、科研院所、污染防治技术开发设计、环保产业、工矿企业等部门从事环保工作的管理和专业技术人员以及大专院校师生均有较强的参考价值,欢迎有关单位和个人订阅。

本刊为双月刊,大 16 开国际标准版,80 页,每逢双月 25 日出版。邮发代号 28-179,国内定价(含邮费)定价 8 元/期,全年 48 元。全国各地邮局均可订阅,也可以直接向本刊编辑部邮购。

编辑部地址 221002 徐州市黄河南路 60 号 邮箱:jshkj@126.com

编辑部电话 0516-82365781、85635681 传真 0516-85737126