

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

**2013**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O<sub>3</sub> 生成潜势 ..... 曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)

利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态 ..... 牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)

沈阳市降水化学成分及来源分析 ..... 张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)

秦皇岛大气污染物浓度变化特征 ..... 刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)

禽类肉鸡生长过程 NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放 ..... 周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)

碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能 ..... 王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)

生物滴滤塔净化多组分废气的研究 ..... 张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)

在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气 ..... 金圣, 黄立维, 李国平 (2121)

模拟大气 CO<sub>2</sub> 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响 ..... 赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)

一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法 ..... 华祖林, 汪靛 (2134)

HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究 ..... 李燕, 李兆富, 席庆 (2139)

基于非点源污染的水质监测方案研究 ..... 吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)

不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究 ..... 陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)

春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征 ..... 李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)

三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布 ..... 张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)

湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性 ..... 冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)

刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响 ..... 侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)

反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换 ..... 李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)

三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征 ..... 李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)

UV 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究 ..... 张一清, 周玲玲 (2205)

臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素 ..... 于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)

硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响 ..... 毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)

炔雌醇氯化反应的动力学和机制研究 ..... 王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆隽鹤 (2225)

金属离子对 δ-MnO<sub>2</sub> 去除对叔辛基酚抑制作用的研究 ..... 李非里, 牟华倩 (2232)

核壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除 ..... 刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)

有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究 ..... 闫梦玥, 庞志华, 李小明, 赵建宇, 罗隽 (2249)

纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征 ..... 于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 咎逢宇, 张靖天 (2256)

改性水凝胶的制备及其对 Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 吸附性能研究 ..... 吴宁梅, 李正魁 (2263)

直接大红 4BE 的磷钨酸均相催化还原脱色 ..... 魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)

基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究 ..... 张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)

Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究 ..... 郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)

二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响 ..... 李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)

进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究 ..... 陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)

接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究 ..... 刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)

聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究 ..... 杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)

体积分数传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析 ..... 李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)

我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价 ..... 汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)

麦穗鱼物种敏感性评价 ..... 王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)

不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究 ..... 雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)

桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究 ..... 钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)

直流电场处理后降线藻趋光性对 Cl<sup>-</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 的响应 ..... 王飞翔, 袁玲, 黄建国 (2350)

UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响 ..... 宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)

7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聃聃 (2361)

溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析 ..... 于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)

不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp<sup>TM</sup> 方法 ..... 陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)

典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究 ..... 陈建刚, 曹雪 (2383)

三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究 ..... 刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙旻 (2390)

北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征 ..... 陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永锋, 田青 (2399)

季节变化对贵阳市不同功能区地表灰尘重金属的影响 ..... 李晓燕 (2407)

东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征 ..... 王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)

模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响 ..... 段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)

甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究 ..... 孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)

胶质芽胞杆菌对印度芥菜根际土壤铜含量及土壤酶活性影响 ..... 杨榕, 李博文, 刘微 (2436)

长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征 ..... 吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)

有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究 ..... 张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)

北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析 ..... 王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)

氨对垃圾焚烧灰渣浸出特性的影响及地球化学模拟 ..... 官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)

焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究 ..... 朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛义典 (2473)

富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能 ..... 李坤权, 李焯, 郑正, 张雨轩 (2479)

生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估 ..... 姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)

基于物质流分析的钾素流动与循环研究 ..... 白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)

《环境科学》征订启事 (2115) 《环境科学》征稿简则 (2224) 信息 (2217, 2289, 2349, 2398) 专辑征稿通知 (2478)

# Fenton 法处理竹制品废水生化出水的研究

郭庆稳, 张敏, 王伟, 杨治中, 吴东雷\*

(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

**摘要:** 采用 Fenton 法对竹制品废水生化出水的脱色和有机物去除进行了研究. 在综合考虑经济性和去除效果的基础上, 起始 COD 质量浓度为  $430 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、色度为 1 500 倍的废水, 在反应条件:  $t = 30^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}$  为 3.5,  $\rho(\text{H}_2\text{O}_2) = 1\ 665 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.072$ , 反应时间 3 h 的情况下, Fenton 氧化处理后, COD 和色度的去除率分别高达 87.5% 和 94.4%. 研究发现, 色度的去除率要优于有机物(以 COD 计)的去除率, 且受外界因素影响小. GC-MS 分析结果表明: 经过 Fenton 处理后, 废水中的发色团和助色团基本上完全被去除. 中间产物主要是脂类衍生物, 副产品有 1-碘十三烷和正辛基醚等.

**关键词:** Fenton 氧化; 竹制品废水; COD; 色度; 气相色谱-质谱联用

中图分类号: X712 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2283-07

## Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater

GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, YANG Zhi-zhong, WU Dong-lei

(College of Environmental and Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract:** The decolorization and organic matter reduction of bamboo wastewater using Fenton oxidation was studied. Considering the cost and the removal efficiency, the optimal conditions were  $t = 30^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 3.5$ ,  $\rho(\text{H}_2\text{O}_2) = 1\ 665 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.072$  and reaction time 3 h, with an initial COD and color concentration of wastewater of  $430 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and 1 500 times, under these conditions, the removal efficiency of COD and color could achieve 87.5% and 94.4%, respectively. It was found that the color reduction was higher than that of organics, and less affected by operation factors. The GC-MS analysis revealed that the chromophoric groups and auxochromic groups were greatly removed after Fenton treatment. The intermediates were mainly ester derivatives, and the by-products included 1-iodo-tridecane and 1,1'-oxybisoctane.

**Key words:** Fenton oxidation; bamboo wastewater; COD; color; GC-MS

近年来,竹制品行业得到快速发展,然而主要来源于蒸煮工序的竹制品废水却很难处理.该废水具有有机物浓度高(COD  $20\ 000 \sim 50\ 000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、pH 低(2.5~5)、色度高(800~1 500倍)等特点,其主要污染物包括糖分、有机酸、氨基酸、竹叶黄酮、酮类、单宁类和木质素类等物质<sup>[1]</sup>.目前我国对竹制品废水处理研究较少,国内通常采用 UASB-好氧生化处理工艺、厌氧发酵与生物接触氧化工艺、超临界水氧化法、气浮+A/O工艺等对竹制品废水进行集中处理<sup>[1~4]</sup>.但是,由于竹制品废水具有有机物浓度高、污染物成分复杂的特性,使得处理后出水的色度和化学需氧量(COD)两个指标难以达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)的一级标准.

Fenton 氧化是以  $\text{H}_2\text{O}_2$  在  $\text{Fe}^{2+}$  催化下生成的  $\cdot\text{OH}$  [ $E_h = 2.80 \text{ V}$ ] 为氧化剂,迅速有效地氧化废水中的大分子有机物及发色团、助色团等,达到去除 COD 与色度的效果<sup>[5,6]</sup>.  $\cdot\text{OH}$  可以破坏不饱和染料分子和偶氮键<sup>[7]</sup>,并且可以同时破坏有机和无机污

染物<sup>[8]</sup>. Fenton 法具有氧化活性高、反应速度快、氧化絮凝作用共同、处理成本低、无二次污染等特点<sup>[9,10]</sup>. 目前为止,已有大量文献报道 Fenton 能够有效地脱除可溶性和不可溶性染料色度,并且被广泛地应用于纺织行业去除高色度和 COD<sup>[11,12]</sup>,但是 Fenton 法处理竹制品废水生化处理后废水中有机物和色度效果的研究还尚未见报道.

本研究通过色度和 COD 两个指标,分析 Fenton 法氧化竹制品生化出水废水的可行性及处理效果.考察了  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  投加量、pH、反应时间、反应温度及废水中有机物浓度对去除效果的影响.此外,本研究还采用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)技术对 Fenton 氧化前后水样中主要污染物进行了分析测试.

收稿日期: 2012-09-15; 修订日期: 2012-11-05

基金项目: 浙江省科技厅重大科技专项计划项目(2012C03002-3)

作者简介: 郭庆稳(1989~),女,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制, E-mail: guoqw\_neu@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: wudl@zju.edu.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 废水水质与试剂

(1) 水样 实验用水取自浙江省安吉县逢春污水处理有限公司, 废水经 UASB-好氧生化处理. 测得水质指标:  $\text{pH} = 8.81$ ,  $\text{COD} = 1\,152\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 色度为 2 000.

(2) 试剂  $\text{Fe}^{2+}$  以  $\text{FeSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$  (分析纯) 投加; 30% 双氧水 (分析纯).

### 1.2 实验方法

用蒸馏水将所取废水 (初始 COD 质量浓度为  $1\,152\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 稀释为 COD 质量浓度  $430\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、色度 1 500 倍. 取 100 mL 稀释水样, 以  $0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的 NaOH 和  $0.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节 pH 为  $3.5 \pm 0.1$ , 固定双氧水的投加量, 改变  $\text{Fe}^{2+}$  溶液 [ $\rho(\text{Fe}^{2+}) = 1\,007.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ] 的投加量, 放置于  $25^\circ\text{C}$  的恒温水浴锅中, 每隔一段时间进行搅拌. 待反应结束后, 测定各水样上清液的 COD 和色度. 分别确定  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{H}_2\text{O}_2$  的最佳摩尔配比、 $\text{H}_2\text{O}_2$  的最佳投加量以及 pH、反应时间、反应温度及废水中有机物浓度对 COD 和色度去除效果的影响.

### 1.3 分析方法

COD 采用快速消解分光光度法测定, 其中消解仪型号为 DRB200 (HACH, USA), 分光光度计型号为 2802 UV-VIS, (UNIC, 上海); pH 采用 FE20 精密数显酸度计 (梅特勒-托利多仪器, 上海) 测定; 色度采用稀释倍数法测定.

GC-MS 测试分析: 采用型号为 GC-2010 (日本岛津公司) 的 GC-MS 联用仪. 分析条件: 色谱柱为 HP5 石英毛细管柱 ( $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm i. d} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ ); 载气 He, 流量为  $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ; 进样口温度为  $250^\circ\text{C}$ , 柱温  $60^\circ\text{C}$ , 保持 2 min, 以  $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度升温至  $250^\circ\text{C}$ , 保持 5 min, 终温保持 3 min; 进样量  $0.2\text{ }\mu\text{L}$ , 分流比为 35:1; 质量扫描范围: 15 ~ 500 u; 电离方式 EI, 电子轰击能量为 70 eV, 倍增电压 2 400 V, 离子源温度  $250^\circ\text{C}$ .

## 2 结果与讨论

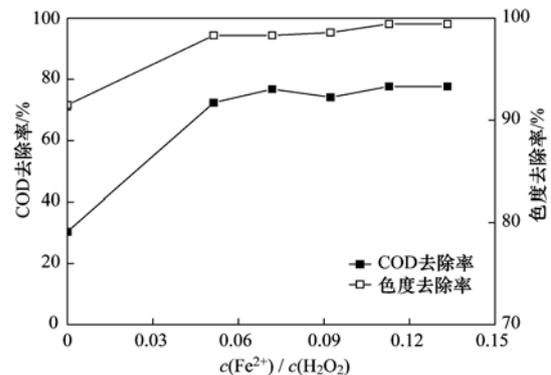
### 2.1 Fenton 法处理竹制品废水影响因素

#### 2.1.1 $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$ 的影响

固定  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量浓度为  $666\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 改变  $\text{Fe}^{2+}$  储备液 [ $\rho(\text{Fe}^{2+}) = 1\,007.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ] 的投加量, 考察  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  摩尔比对色度和 COD 去除的影响. 图 1 为 COD 和色度去除率随  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  的变

化情况.

从中可以看出, COD 和色度的去除率随着  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  的增加而增加. 当系统中不添加  $\text{Fe}^{2+}$  时, COD 和色度的去除率均为最低, 分别为 30.3% 和 91.5%. 这主要是因为体系缺少  $\text{Fe}^{2+}$  无法催化分解  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 产生高氧化性的  $\cdot\text{OH}$ . 当  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  增大到 0.072 时, 体系对 COD 和色度的去除率分别增大到 76.8% 和 98.3%. 随后继续升高  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$ , COD 和色度的去除率略有增加. 色度去除率高主要原因可归结于  $\cdot\text{OH}$  可以有效地氧化废水中的有机发色团、助色团, 从而降低废水中的色度<sup>[9]</sup>. 在 Fenton 试剂体系中, 具有强氧化能力的有效物质是中间产物  $\cdot\text{OH}$ , 正是  $\text{Fe}^{2+}$  在催化分解  $\text{H}_2\text{O}_2$  产生  $\cdot\text{OH}$  方面起关键作用, 当  $\text{Fe}^{2+}$  逐渐增加时, 催化效果也提升, 加快  $\text{H}_2\text{O}_2$  的分解, 增加了水中  $\cdot\text{OH}$  的浓度. 但是, 当  $\text{Fe}^{2+}$  过量时, 产生的  $\cdot\text{OH}$  就可能与  $\text{Fe}^{2+}$  或  $\text{H}_2\text{O}_2$  发生反应<sup>[13,14]</sup>:  $\text{H}_2\text{O}_2 + \cdot\text{OH} = \text{HO}_2\cdot + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}^{2+} + \cdot\text{OH} = \text{OH}^- + \text{Fe}^{3+}$ , 催化性能就不再继续提高<sup>[15]</sup>, 因而色度和 COD 去除率也不再大幅提高. 尽管  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  从 0.072 增大到 0.133 时, COD 和色度去除率都已经达到最大值, 但是  $\text{Fe}^{2+}$  投加量的增加, 不但会提高运行成本, 而且过量的  $\text{Fe}^{2+}$  会增加出水色度<sup>[16,17]</sup>. 因此, 本实验确定最佳  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  为 0.072.



反应条件:  $t = 25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} 3.5 \pm 0.1$

图 1 不同  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  下的 COD 和色度去除率

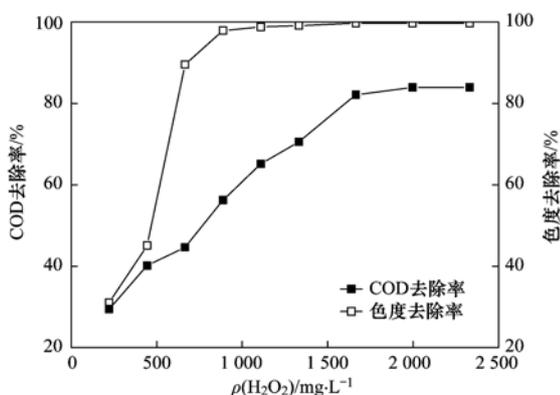
Fig. 1 Removal of COD and color with different  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$

#### 2.1.2 $\text{H}_2\text{O}_2$ 投加量的影响

图 2 为不同  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量浓度下 COD 和色度的去除情况. 从中可看出,  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量浓度从  $222\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增加到  $1\,665\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时, COD 的去除率由 29.5% 迅速增大到 82.1%, 继续增加双氧水的投加量至  $2\,331\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 去除效果略有增加. 而当  $\text{H}_2\text{O}_2$  质量浓度增加到  $888\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 色度的去除率已经达到

97.9%,之后继续增加 $H_2O_2$ 的投加量,其去除率略有增加至99.7%.

一般情况下, $H_2O_2$ 投加量越高,可以产生更多的 $\cdot OH$ ,能够更加充分的降解废水中污染物.但是, $H_2O_2$ 同时也是 $\cdot OH$ 捕捉剂,过量的 $H_2O_2$ 会与 $\cdot OH$ 发生反应: $OH + H_2O_2 \rightarrow HO_2\cdot + H_2O$ ,使部分 $\cdot OH$ 发生无效分解<sup>[10]</sup>.故COD和色度的去除率,在一定范围内会随着 $H_2O_2$ 投加量而增加,之后继续增加 $H_2O_2$ 的量,去除效果将不再明显增加.因此,从经济性和 $H_2O_2$ 利用率的角度分析, $H_2O_2$ 的最佳投加量确定为 $1\ 665\ mg\cdot L^{-1}$ .此时,COD和色度的去除率分别为82.1%和99.7%.



反应条件: $t = 25^\circ C, pH\ 3.5 \pm 0.1, c(Fe^{2+})/c(H_2O_2) = 0.072$

图2 不同 $H_2O_2$ 浓度下的COD和色度去除率

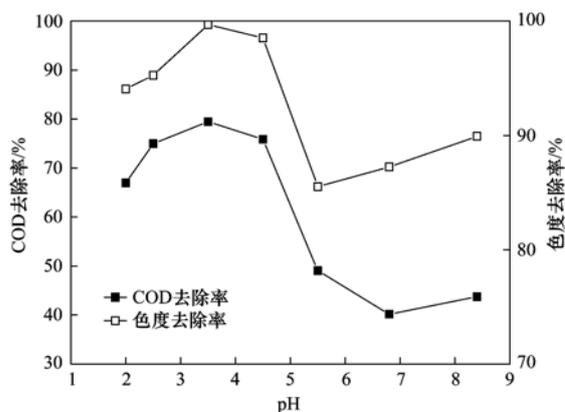
Fig. 2 Removal of COD and color with different  $H_2O_2$  dosages

### 2.1.3 pH值的影响

图3反映了pH对废水中COD和色度去除的影响.可以看出,pH对COD和色度的去除率影响很大.随着pH的增加,COD和色度的去除率均呈现先增后减的趋势.pH为3.5时,COD和色度的去除率最高,分别为79.5%和99.7%.这与文献报道的最佳pH为3~3.5相一致<sup>[18]</sup>.当pH增大至7.5时,COD和色度去除率大大降低.

可见,pH值对Fenton系统的影响较大,pH值太高或太低都不利于 $\cdot OH$ 的产生.这可能是因为在中性及碱性的环境中, $Fe^{2+}$ 不能催化 $H_2O_2$ 产生 $\cdot OH$ ,从而使得系统的氧化能力大大下降,而且碱性环境下溶液中的 $Fe^{2+}$ 容易以氢氧化物的形式沉淀.另外,当pH值过高时会抑制反应 $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + OH^-$ 的进行,使生成 $\cdot OH$ 的数量减少<sup>[19]</sup>.而当pH值过低( $pH < 3$ )时,溶液中的 $H^+$ 浓度过高, $Fe^{3+}$ 不能顺利地被还原为 $Fe^{2+}$ ,使产生羟自由基的反应 $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH +$

$OH^-$ 中 $Fe^{2+}$ 的供给不足,催化反应受阻<sup>[20]</sup>,也不利于 $\cdot OH$ 的产生.因此,确定本实验最佳的pH值为3.5.



反应条件: $t = 25^\circ C, \rho(H_2O_2) = 1\ 665\ mg\cdot L^{-1}$ ,

$c(Fe^{2+})/c(H_2O_2) = 0.072$

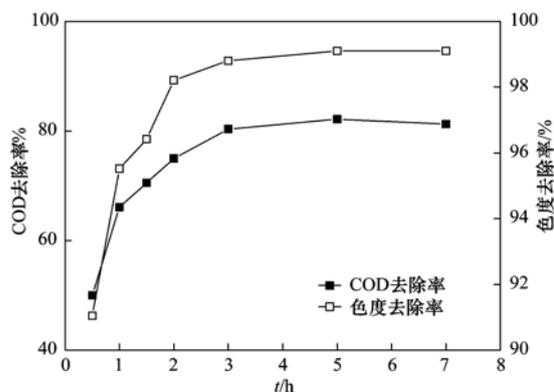
图3 不同pH值下的COD和色度去除率

Fig. 3 Removal of COD and color with different pH values

### 2.1.4 反应时间的影响

Fenton处理废水的反应时间取决于 $\cdot OH$ 的生成速率和 $\cdot OH$ 与有机物的反应时间.图4为反应时间对COD和色度去除率的影响变化.从中可以看出,随着反应时间的延长,COD和色度去除率都呈现逐渐上升最后稳定的趋势.经过3h反应后,COD和色度的去除率分别达到80.3%和98.8%.而延长反应时间,Fenton体系对COD和色度的去除率分别仅增加了0.9%和0.3%.因此,Fenton法处理竹制品废水生化出水的最佳反应时间为3h.

这一值要远大于Fenton法氧化市政垃圾渗滤液的30 min<sup>[21]</sup>和处理餐厨垃圾的10 min<sup>[22]</sup>.这是



反应条件: $t = 25^\circ C, pH\ 3.5 \pm 0.1, \rho(H_2O_2) = 1\ 665\ mg\cdot L^{-1}$ ,

$c(Fe^{2+})/c(H_2O_2) = 0.072$

图4 COD和色度去除率随反应时间变化情况

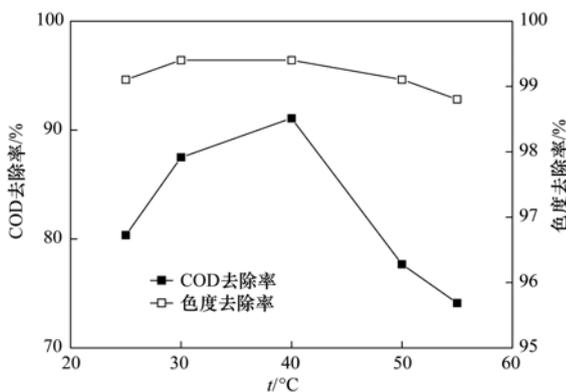
Fig. 4 Removal of COD and color with different reaction times

因为 Fenton 氧化法处理高有机浓度废水的反应时间与  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  存在很大关系<sup>[23]</sup>, 当  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  较大 ( $\geq 2$ ) 时,  $\cdot\text{OH}$  的产生主要依靠反应  $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$ , 因为此时存在大量  $\text{Fe}^{2+}$ , 故反应速度很快. 但是当  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  很小 ( $\leq 1$ ), 产生  $\cdot\text{OH}$  在很大程度上取决于  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 此时, Fenton 法的反应速率比较慢. 因为本实验优化得到的最佳  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2)$  为  $0.072 \ll 1$ , 因此所需反应时间较长.

### 2.1.5 反应温度的影响

图 5 反映了 COD 和色度去除率受温度的影响变化. 从中可以看出, 随着温度从 25℃ 增加到 55℃, COD 去除率呈现先上升后下降的趋势, 在 40℃ 去除率达到最大值 91.1%. 首先, 温度从 25℃ 增加到 40℃, COD 去除率从 81.1% 增加到 91.1%, 当增加至 55℃ 时, COD 去除率骤然下降至 74.1%. 这主要是因为一定范围内升高温度, 能够增大反应底物活度, 参与氧化反应的机会增加, 宏观上表现出 COD 去除率升高. 另一方面, 温度升高有利于有机物受热分解为小分子物质, 使 COD 去除率上升. 但是, 温度增大到一定值, 会使  $\text{H}_2\text{O}_2$  受热分解为  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{O}_2$ <sup>[24]</sup>, 将不利于  $\cdot\text{OH}$  的产生, 从而使得 COD 去除率下降. 在 25~55℃ 的范围内, 色度的去除效率都较高 ( $>99\%$ ), 这说明在优化条件下温度对色度去除率影响不大. 随着温度的升高, 设备投资和反应操作成本都会增加, 在 30℃ 时, COD 和色度的去除率能达到 87.5% 和 94.4%, 比 40℃ 时略低, 从经济分析的角度考虑, 选择 Fenton 处理的最佳温度为 30℃.

### 2.1.6 废水中有机物浓度的影响

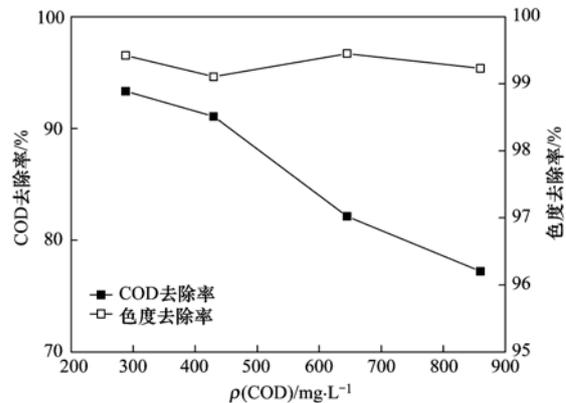


反应条件:  $\text{pH} = 3.5 \pm 0.1$ ,  $\rho(\text{H}_2\text{O}_2) = 1665 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  
 $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.072$

图 5 COD 和色度去除率随反应温度变化情况

Fig. 5 Removal of COD and color with different temperatures

用蒸馏水将废水稀释成 4 个 COD 质量浓度梯度 (分别为 288、430、645 和 860  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 探讨废水中有机物浓度 (以 COD 计) 对 Fenton 法处理的影响, 其结果如图 6 所示.



反应条件:  $t = 40^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 3.5 \pm 0.1$ ,  $\rho(\text{H}_2\text{O}_2) = 1665 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  
 $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.072$

图 6 不同有机物浓度下 COD 和色度去除率

Fig. 6 Removal of COD and color with different COD concentrations

从图 6 可以看出, 在优化条件下, COD 的去除率随废水中有机物浓度 (COD) 升高而降低, 废水中 COD 质量浓度从 288  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  增加到 860  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , COD 去除率从 93.3% 下降到 77.2%, 而当废水中 COD 质量浓度低于 430  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 采用 Fenton 法处理后的出水 COD 能够达到排放标准. 主要是因为随着有机物浓度的增加, 系统中  $\cdot\text{OH}$  的含量并没有变化, 因而污染物的去除效率降低. 另一方面  $\cdot\text{OH}$  作为氧化剂, 只能将部分有机物氧化降解为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 或者大分子有机物被降解为分子质量较小的有机物, 并不能彻底矿化有机物. 因此, 有机物不能彻底去除, Fenton 处理结束后还残留一部分小分子的有机物, 造成 COD 无法完全去除. 随着 COD 质量浓度的增加, Fenton 氧化对色度去除率始终保持很高 ( $>99\%$ ), 尤其是当 COD 从 430  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  增加到 860  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, COD 去除率从 91.1% 骤降至 77.2%, 而色度去除率却从 99.1% 略微增加至 99.2%, 这说明 Fenton 法处理竹制品废水时, 其脱色效果要优于其对有机物去除效果. Fenton 法产生的  $\cdot\text{OH}$  易于与废水中的发色团和助色团, 如共轭双键、羰基的大分子有机物及多环芳香类等化合物进行反应, 从而有效地降低废水色度<sup>[25]</sup>.

### 2.2 Fenton 处理前后废水成分的变化

为了更好地了解 Fenton 法深度处理竹制品废水的主要污染物和产物种类的变化, 采用 GC-MS 对

废水水样进行分析,主要物质如表 1 所示. 根据其  
主要官能团种类,将化合物进行分组. 反应前后物  
质的增减量( $R$ )根据峰面积按下式计算<sup>[26]</sup>:

$$R_i = \frac{S_i - S_{i_0}}{S_{i_0}} \times 100\%$$

式中, $R_i$ :反应前后  $i$  物质的增加量,% ;  $S_i$ : Fenton  
处理后  $i$  物质的相对峰面积,% ;  $S_{i_0}$ :原水中  $i$  物质  
的相对峰面积,% .

竹制品废水经过生化处理后主要污染物为烷烃类、  
苯类衍生物、脂类衍生物和噻唑类衍生物. 噻  
唑类衍生物不能被微生物完全降解,是原水中色度  
高的原因之一<sup>[27]</sup>. 此外,废水中含有少量苯乙烯和  
二甲苯,具有一定的生物毒性与致癌性<sup>[28,29]</sup>,废水  
中多种含有共轭双键、羰基的大分子有机物及多环

芳香类化合物<sup>[25]</sup>也是构成高色度废水的主要原因.

Fenton 处理后,较长碳链的烷烃完全被氧化,或  
者转化成较短碳链的烃类,但废水中的烷烃类有机  
物质并没有完全去除,所以 COD 的去除率未能达到  
100%. 发色团尤其是噻唑类衍生物基本上全部被  
分解,因而 Fenton 处理对色度去除率高,此结果与  
臭氧处理基本一致<sup>[26]</sup>. 同时也检测到一些无色的  
中间产物和副产品. 主要的中间产物是脂类衍生  
物,这与利用 UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>处理偶氮染料活性红 SBE 的  
中间产物一致<sup>[30]</sup>. 但是很多研究报道低分子量的  
有机酸是 Fenton 处理的中间产物<sup>[31,32]</sup>. 具有生物  
毒性和致癌性的苯乙烯完全被氧化分解. Fenton 处  
理竹制品生化处理后废水的副产品有 1-碘十三烷  
和正辛基醚等.

表 1 原水和 Fenton 法处理后废水中主要物质

Table 1 Main intermediates and byproducts identified in raw and Fentoned wastewater

物质名称	原水(峰面积)	Fenton 处理后(峰面积)	$R/\%$
烷烃类			
十二烷	5 104 304	3 671 161	-28 <sup>1)</sup>
十八烷	2 822 035	3 529 320	25 <sup>2)</sup>
二十烷	1 768 777	1 461 172	-17
二十二烷	0	365024	B <sup>3)</sup>
二十八烷	1 197 598	0	-100
三十五烷	1 301 938	0	-100
三十六烷	3 563 949	858 764	-76
酯类衍生物			
邻苯二甲酸二丁酯	1 708 257	0	-100
邻苯二甲酸二异辛酯	1 679 700	2 614 292	56
双 6-乙基-3-草酸酯	0	373 351	B
双-(2-乙基己基酯)3-硝基邻苯二甲酸	0	331 673	B
苯类衍生物			
2-苯甲基咪唑啉	167 382	289 375	73
二丁基羟基甲苯	158 891	0	-100
2,4-二叔丁基苯酚	3 172 663	0	-100
6-叔丁基-3-甲基苯酚	505 165	0	-100
卤化物类衍生物			
氯代十八烷	152 306	0	-100
1-碘-2-甲基十一烷	0	1 347 633	B
氨基和噻唑类衍生物			
3-甲基环己酮缩氨基脒	133 816	0	-100
十二酰胺	564 797	0	-100
苯并噻唑	642 654	0	-100
其他			
2-甲基-1-十二醇	135 956	0	-100
1-二十醇	283 122	339 858	20
十一基环戊烷	175 176	704 187	302
正辛基醚	0	274 258	B

1) 增加; 2) 减少; 3) 副产品

### 3 结论

(1)Fenton 氧化法作为一种后续处理竹制品废  
水生化出水的新方法,能够高效地降低废水中的

COD 和色度. Fenton 氧化的最佳工艺条件为: $t =$   
 $30^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 3.5$ , 反应时间 3 h,  $\rho(\text{H}_2\text{O}_2) = 1\ 665$   
 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $c(\text{Fe}^{2+})/c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.072$ .

(2)随着废水中起始 COD 质量浓度的降低,

COD 和色度的去除率都在增加,但是色度的去除率要比 COD 的去除率高,而且受 COD 质量浓度的影响比较小. 在最佳条件下,起始 COD 质量浓度在低于  $430 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  范围时,其 COD 和色度能够达到排放标准,其去除率分别达到 91% 和 99% 以上.

(3) 废水中主要的污染物质是烷烃类、脂类、苯类和噻唑类衍生物,经过 Fenton 处理后,废水中的发色团和助色团基本上完全被去除. 脂类衍生物是主要的中间产物,而 Fenton 处理后会产生副产品 1-碘十三烷和正辛基醚等.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 陈智远, 何炼, 姚建刚, 等. UASB/生化工艺处理竹制品废水[J]. 中国给水排水, 2010, **26**(24): 74-76.
- [ 2 ] 邓喜红. 竹制品蒸煮废水的处理[J]. 化工设计通讯, 2007, **33**(4): 58-60.
- [ 3 ] 马承愚, 姜安玺, 彭英利, 等. 超临界水氧化法处理竹子溶解浆生产废水的实验研究[J]. 环境保护科学, 2006, **32**(6): 37-40.
- [ 4 ] 李松, 单胜道, 陈斌, 等. 气浮 + A/O 工艺处理竹原纤维加工废水[J]. 环境工程, 2008, **26**(6): 29-30.
- [ 5 ] Gogate P R, Pandit A B. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions[J]. *Advances in Environmental Research*, 2004, **8**(3-4): 501-551.
- [ 6 ] Kang Y W, Hwang K Y. Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process[J]. *Water Research*, 2000, **34**(10): 2786-2790.
- [ 7 ] Hsueh C L, Huang Y H, Wang C C, *et al.* Degradation of azo dyes using low iron concentration of Fenton and Fenton-like system[J]. *Chemosphere*, 2005, **58**(10): 1409-1414.
- [ 8 ] Sedlak D L, Andren A W. Oxidation of chlorobenzene with Fenton's reagent[J]. *Environmental Science and Technology*, 1991, **25**(4): 777-782.
- [ 9 ] Feng F, Xu Z L, Li X H, *et al.* Advanced treatment of dyeing wastewater towards reuse by the combined Fenton oxidation and membrane bioreactor process [J]. *Journal of Environmental Science*, 2010, **22**(11): 1657-1665.
- [ 10 ] Lee H, Shoda M. Removal of COD and color from livestock wastewater by the Fenton method [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **153**(3): 1314-1319.
- [ 11 ] Kuo W G. Decolorizing dye wastewater with Fenton's reagent [J]. *Water Research*, 1992, **26**(7): 881-886.
- [ 12 ] Meriç S, Kaptan D, Ölmez T. Color and COD removal from wastewater containing Reactive Black 5 using Fenton's oxidation process[J]. *Chemosphere*, 2004, **54**(3): 435-441.
- [ 13 ] Benitez F J, Acero J L, Real F J, *et al.* The role of hydroxyl radicals for the decomposition of *p*-hydroxy phenylacetic acid in aqueous solutions[J]. *Water Research*, 2001, **35**(5): 1338-1343.
- [ 14 ] Ikehata K, El-Din M G. Aqueous pesticide degradation by hydrogen peroxide/ultraviolet irradiation and Fenton-type advanced oxidation processes: a review [J]. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2006, **5**(2): 81-135.
- [ 15 ] Su C C, Pukdee-Asa M, Ratanatamskul C, *et al.* Effect of operating parameters on the decolorization and oxidation of textile wastewater by the fluidized-bed Fenton process [J]. *Separation and Purification Technology*, 2011, **83**: 100-105.
- [ 16 ] Devi L G, Kumar S G, Reddy K M, *et al.* Photo degradation of methyl orange an azo dye by advanced Fenton process using zero valent metallic iron: Influence of various reaction parameters and its degradation mechanism[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **164**(2-3): 459-467.
- [ 17 ] Karatas M, Argun Y A, Argun M E. Decolorization of anthraquinonic dye, Reactive Blue 114 from synthetic wastewater by Fenton process; Kinetics and thermodynamics[J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2012, **18**(3): 1058-1062.
- [ 18 ] Malik P K, Saha S K. Oxidation of direct dyes with hydrogen peroxide using ferrous ion as catalyst [J]. *Separation and Purification Technology*, 2003, **31**(3): 241-250.
- [ 19 ] Li J, Luan Z K, Yu L, *et al.* Pretreatment of acrylic fiber manufacturing wastewater by the Fenton process [J]. *Desalination*, 2011, **284**: 62-65.
- [ 20 ] Lucas M S, Peres J A. Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation [J]. *Dyes and Pigments*, 2006, **71**(3): 236-244.
- [ 21 ] Gotvajn A Ž, Zagorc-Končan J, Cotman M. Fenton's oxidative treatment of municipal landfill leachate as an alternative to biological process [J]. *Desalination*, 2011, **275**(1-3): 269-275.
- [ 22 ] Guedes A M F M, Madeira L M P, Boaventura R A R, *et al.* Fenton oxidation of cork cooking wastewater-overall kinetic analysis[J]. *Water Research*, 2003, **37**(13): 3061-3069.
- [ 23 ] Neyens E, Baeyens J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, **98**(1-3): 33-50.
- [ 24 ] Lucas M S, Peres J A. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **168**(2-3): 1253-1259.
- [ 25 ] Figueroa S, Vázquez L, Alvarez-Gallegos A. Decolorizing textile wastewater with Fenton's reagent electrogenerated with a solar photovoltaic cell [J]. *Water Research*, 2009, **43**(2): 283-294.
- [ 26 ] Wu D L, Yang Z Z, Wang W, *et al.* Ozonation as an advanced oxidant in treatment of bamboo industry wastewater [J]. *Chemosphere*, 2012, **88**(9): 1108-1113.
- [ 27 ] Ha S K, Koketsu M, Lee M, *et al.* Inhibitory effects of 1, 3-thiazine derivatives on melanogenesis [J]. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2009, **61**(12): 1657-1663.
- [ 28 ] Tang W C, Hemm I, Eisenbrand G. Estimation of human exposure to styrene and ethylbenzene [J]. *Toxicology*, 2000, **144**(1-3): 39-50.

- [29] Kostianinen R. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses [J]. Atmospheric Environment, 1995, **29**(6): 693-702.
- [30] Xu H, Xu W G, Wang J F. Degradation kinetics of azo dye reactive Red SBE wastewater by complex ultraviolet and hydrogen peroxide process [J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2011, **30**(2): 208-215.
- [31] Xu G R, Zhang Y P, Li G B. Degradation of azo dye active brilliant red X-3B by composite ferrate solution [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, **161**(2-3): 1299-1305.
- [32] Xu H, Zhang D X, Xu W G. Monitoring of decolorization kinetics of Reactive Brilliant Blue X-BR by online spectrophotometric method in Fenton oxidation process [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **158**(2-3): 445-453.

## 关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

## CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> and CO <sub>2</sub> Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Hui-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, CAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Hui-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrain the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by $\delta$ -MnO <sub>2</sub>	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Posphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe <sup>2+</sup> on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxial Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr <sup>6+</sup> and Hg <sup>2+</sup>	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp <sup>TM</sup>	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- $\beta$ -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHANG Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军  
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明  
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞  
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行