

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第3期

Vol.34 No.3

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

BP网络框架下MODIS气溶胶光学厚度产品估算中国东部PM_{2.5} 郭建平, 吴业荣, 张小曳, 李小文(817)

北京市近地层颗粒物浓度与气溶胶光学厚度相关性分析研究 林海峰, 辛金元, 张文煜, 王跃思, 刘子锐, 陈传雷(826)

气象因素对长三角背景地区甲烷浓度的影响分析 浦静姣, 徐宏辉, 顾骏强, 马千里, 方双喜, 周凌晔(835)

密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 张晓辉, 苏昭辉, 周小飞, 代占国, 卢旭飞, 郑斌, 沈凯, 卫潘明(842)

冬季中国东海海水中挥发性卤代烃的分布特征和海-气通量 何真, 陆小兰, 杨桂朋(849)

2000~2010年大鹏湾颗粒有机物的年变化和年际变化 李绪录, 周毅频, 夏华永(857)

渤海湾浮游植物与环境因子关系的多元分析 周然, 彭士涛, 覃雪波, 石洪华, 丁德文(864)

青藏高原淡水湖泊水化学组成特征及其演化 王鹏, 尚英男, 沈立成, 伍坤宇, 肖琼(874)

漳卫南运河流域非点源污染负荷估算及最佳管理措施优选 徐华山, 徐宗学, 刘品(882)

面向对象的湖泊污染控制智能工程设计方法 邹锐, 周璟, 刘永, 朱翔, 赵磊, 阳平坚, 郭怀成(892)

九龙江口湿地植物凋落物对沉积物有机质赋存的贡献 罗专溪, 邱昭政, 王振红, 颜昌宙(900)

修复达标土壤回填对地下水环境影响的层次化评估方法应用研究 钟茂生, 姜林, 姚珏君, 樊艳玲, 夏天翔, 李婷婷, 田美影(907)

去除地下水中硝酸盐的渗透性反应墙研究 李秀利, 杨君君, 卢晓霞, 张姝, 侯珍(914)

北京城区雨水管道沉积物污染负荷研究 李海燕, 徐波平, 徐尚玲, 崔爽(919)

城市污水处理厂及其受纳水体中5种典型PPCPs的赋存特征和生态风险 温智皓, 段艳平, 孟祥周, 陈玲(927)

城市景观娱乐水体微生物风险评价 孙傅, 沙婧, 张一帆, 刘彦华(933)

模拟曝气生物滤池去除邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯试验研究 李伟, 赵晶, 余健, 任文辉(943)

膜生物反应器处理工业废水中膜污染及膜过滤特性研究 范举红, 余素林, 张培帅, 兰亚琼, 刘锐, 陈吕军(950)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红3R的研究 岳琳, 王开红, 郭建博, 杨景亮, 刘宝友, 廉静, 王涛(955)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙G动力学 杨梅梅, 周少奇, 刘琳, 郑可(962)

ABR反应器处理碱减量印染废水的启动研究 杨波, 钟启俊, 李方, 田晴(968)

O₃-BAF深度处理制革废水中沿程污染物降解规律 余彬, 刘锐, 程家迪, 范举红, 李昌湖, 冉坤, 曹国华, 陈吕军(974)

规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究 王亮, 陈重军, 陈英旭, 吴伟祥(979)

连续流态下以城市污水培养好氧颗粒污泥及颗粒特性研究 牛姝, 段百川, 张祚薰, 刘士峰, 张家铭, 王聪, 周丹丹(986)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(I)——模型的建立 张超, 陈银广(993)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(II)——动力学模拟 张超, 陈银广(998)

乙酸/丙酸作为EBPR碳源的动力学模型研究(III)——模型的应用 张超, 陈银广(1004)

三峡水库两条支流水-气界面CO₂、CH₄通量比较初探 李哲, 白镭, 郭劲松, 方芳, 蒋滔(1008)

不同土地利用方式下土壤呼吸空间变异的影响因素 陈书涛, 刘巧辉, 胡正华, 刘艳, 任景全, 谢薇(1017)

黄土区农田和草地生态系统土壤呼吸差异及其影响因素 周小刚, 张彦军, 南雅芳, 刘庆芳, 郭胜利(1026)

层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 姜林, 钟茂生, 梁竞, 姚珏君, 夏天翔, 樊艳玲, 李敬东, 唐振强(1034)

海州湾滩涂重金属污染的历史记录 张瑞, 张帆, 刘付程, 尹福军, 丁迎军, 高金荣, 陈晶, 邵威(1044)

草海典型高原湿地表层沉积物重金属的积累、分布与污染评价 张清海, 林昌虎, 谭红, 林绍霞, 杨鸿波(1055)

大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析 程芳, 程金平, 桑恒春, 于金莲, 席磊, 皮帅帅(1062)

典型有色金属矿山城市小河流沉积物重金属形态分布及风险评估 李如忠, 姜艳敏, 潘成荣, 陈婧, 徐晶晶(1067)

典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 陈婧, 姜艳敏(1076)

城市表层土壤磁化率与重金属含量分布的相关性研究 陈秀端, 卢新卫, 杨光(1086)

典型热带林地土壤团聚体颗粒中重金属的分布特征及其环境意义 龚仓, 徐殿斗, 成杭新, 任雅阁, 刘志明, 刘应汉, 刘飞, 聂海峰, 郑祥, 马玲玲(1094)

生态沟渠底泥属性与磷吸附特性研究 张树楠, 贾兆月, 肖润林, 杨凤飞, 余红兵, 刘锋, 吴金水(1101)

三峡库区澎溪河底泥及消落区土壤磷的形态及吸附特性研究 孙文彬, 杜斌, 赵秀兰, 何丙辉(1107)

Triton X-100在黄土上的吸附行为及影响因素 钟金魁, 赵保卫, 朱琨, 钱小龙, 张杰西(1114)

新疆哈密地区有机氯农药大气、土壤残留特征、气-土交换及潜在生态风险 马子龙, 毛潇萱, 丁中原, 高宏, 黄韬, 田慧, 郭强(1120)

青海省西宁市与天峻县大气中得克隆与十溴联苯醚的水平与来源 何畅, 金军, 马召辉, 王英, 扎西卓玛, 马丽花(1129)

太湖沉积物中多溴联苯醚和类二噁英多氯联苯的水平垂直分布 马召辉, 金军, 元奎奎, 王英, 姜霞, 何松浩, 李明圆(1136)

典型电器工业区河涌沉积物中有机污染物特征分析 刘近, 邓代永, 许玫英, 孙国萍(1142)

柴油轿车颗粒多环芳烃的排放特性 谭丕强, 周舟, 胡志远, 楼狄明(1150)

机械炼焦过程生成飞灰中多环芳烃分布特征研究 牟玲, 彭林, 刘效峰, 白慧玲, 张建强(1156)

污泥干化床与芦苇床稳定化污泥中多环芳烃的含量比较 崔玉波, 孙红杰, 冉春秋, 李金凤, 谢瑶(1161)

固体添加剂对污泥焚烧过程中重金属迁移行为的影响 刘敬勇, 孙水裕, 陈涛(1166)

铸造废砂的环境毒性研究 张海凤, 王玉珏, 王劲磷, 黄天佑, 熊鹰(1174)

Cr⁶⁺生物可利用度检测的微生物全细胞传感器CB10的构建及其响应特征 侯启会, 马安周, 庄绪亮, 庄国强(1181)

反硝化脱硫工艺中微生物群落结构及动态分析 于皓, 王爱杰, 陈川(1190)

农业废物好氧堆肥中环境因子对nirK、nirS和nosZ数量的影响 胡春晓, 陈耀宁, 张嘉超, 唐聪, 曾光明(1196)

蚯蚓体内过氧化物还原蛋白PRDX基因对土壤PAHs污染胁迫的转录响应 林康丽, 郑森林, 宋玉芳, 邱晓燕, 薛文玲(1204)

有序介孔碳载金/L-赖氨酸/纳米金修饰电极的制备及其对邻苯二酚、对苯二酚的检测响应研究 周耀渝, 汤琳, 李贞, 刘媛媛, 杨贵德, 伍梦诗, 雷晓霞, 曾光明(1211)

新建核电站风险信息沟通实证研究 贺桂珍, 吕永龙(1218)

《环境科学》征订启事(942) 《环境科学》征稿简则(992) 信息(932, 949, 1061, 1210) 专辑征稿通知(1173)

γ -Al₂O₃负载磷钨酸催化强化电化学法处理水中酸性大红 3R 的研究

岳琳¹, 王开红¹, 郭建博¹, 杨景亮¹, 刘宝友¹, 廉静¹, 王涛²

(1. 河北科技大学环境科学与工程学院, 石家庄 050018; 2. 河北省环境保护厅, 石家庄 050051)

摘要: 采用浸渍法制备 γ -Al₂O₃ 负载磷钨酸 (HPW/ γ -Al₂O₃) 催化剂. 运用红外光谱 (FTIR)、X 射线衍射 (XRD)、热重-差热分析 (TG-DTA)、扫描电镜 (SEM) 对催化剂的微观结构、形貌进行表征. 结果表明杂多阴离子保持 Keggin 结构. 将 HPW/ γ -Al₂O₃ 负载型催化剂填充于电化学反应器中, 考察催化剂强化电化学法降解酸性大红 3R 染料的效果. 研究表明, HPW/ γ -Al₂O₃ 催化剂对酸性大红 3R 溶液显示了良好的催化活性, 催化剂负载量为 4.6% 时, 在 pH 为 3、槽电压 25.0 V、空气流速 0.04 m³·h⁻¹、极板间距 3.0 cm 反应条件下, 60 min 后, 色度去除率达到 97.6%. 催化剂重复使用 10 次后, 体系脱色率仍可达到 80% 左右, 但会出现部分活性组分的流失现象. 采用可见-紫外光谱对反应中间产物进行定性分析显示, 在脱色反应过程中, 染料分子中的共轭体系已基本被破坏.

关键词: 磷钨酸; 催化剂; 电化学氧化; 酸性大红 3R; 脱色

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-0955-07

Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al₂O₃

YUE Lin¹, WANG Kai-hong¹, GUO Jian-bo¹, YANG Jing-liang¹, LIU Bao-you¹, LIAN Jing¹, WANG Tao²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

2. Environmental Protection Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Supported phosphotungstic acid catalysts on γ -Al₂O₃ (HPW/ γ -Al₂O₃) were prepared by solution impregnation and characterized by FTIR, XRD, TG-DTA and SEM. The heteropolyanion shows a Keggin structure. Electro-chemical oxidation of Acid Red 3R was investigated in the presence of HPW supported on γ -Al₂O₃ as packing materials in the reactor. The results show that HPW/ γ -Al₂O₃ has a good catalytic activity for decolorization of Acid Red 3R. When HPW loading was 4.6%, pH value of Acid Red 3R was 3, the voltage was 25.0 V, air-flow was 0.04 m³·h⁻¹, and electrode span was 3.0 cm, the decolorization efficiency of Acid Red 3R can reach 97.6%. The removal rate of color had still about 80% in this electro-chemical oxidation system, after HPW/ γ -Al₂O₃ was used for 10 times, but active component loss existed. The interim product was analyzed by means of Vis-UV absorption spectrum. It shows that the conjugated structure of dye is destroyed primarily.

Key words: phosphotungstic acid; catalyst; electro-chemical oxidation; Acid Red 3R; decolorization

印染废水具有有机物成分复杂、浓度高、难降解物质多以及色度高、毒性大、水质变化大等特点,传统方法的处理效果并不理想^[1~4]. 电化学氧化法 (electro-chemical oxidation, ECO) 是近年来广受关注的一种处理难降解有机废水的技术,该技术的特点是以外电压为化学反应推动力,迫使有机物分子在电极上失去电子,或通过电化学过程中产生氧化性极强的活性中间体破坏大分子的稳定性,使大分子断链,环状分子开环,达到去除污染物的目的^[5~8]. 但是,氧化效率相对较低、能耗较大决定了 ECO 技术仍不能在工业上广泛应用^[9~11].

作为新兴的催化材料,负载型杂多酸不仅具有强酸性与环境友好性,而且改善了杂多酸的低比表面积和热不稳定性,方便了工业操作且延长了使用

寿命,因此越来越受到国内外学者的广泛关注^[12~16]. 具有 Keggin 结构的磷钨酸 (phosphotungstic acid, HPW) 氧化还原状态稳定,可在不影响其结构的情况下,通过改变杂原子来调整氧化还原电势,尤其是能够进行可逆的、多电子氧化,这些特性使其可以作为间接电化学过程的氧化还原催化剂,强化电解过程中生成的二次氧化剂 O₃、H₂O₂ 对有机物的氧化效果,提高反应器的效率^[17~23]. 因此,本研究采用浸渍法将磷钨酸负载在具有高比表面积的 γ -Al₂O₃ 上,并将 HPW/ γ -Al₂O₃

收稿日期: 2012-05-16; 修订日期: 2012-07-30

基金项目: 河北省科技支撑计划项目 (10276737); 河北省高等学校科学研究计划项目 (2010127); 河北省高校重点学科建设项目

作者简介: 岳琳 (1980 ~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向水污染控制工程, E-mail: yuelintj@126.com

催化剂作为反应器填料填充于电化学反应器中催化降解水中酸性大红 3R 染料. 以脱色率为指标, 探讨 HPW/ γ - Al_2O_3 的催化性能; 优化反应条件, 并初步考察电化学体系的稳定性.

1 材料与方法

1.1 实验材料

酸性大红 3R, 分子式: $\text{C}_{20}\text{H}_{11}\text{N}_2\text{O}_{10}\text{S}_3 \cdot 3\text{Na}$, 工业纯, 天津一商化工贸易有限公司染料分公司生产; 采用酸性大红 3R 染料配制模拟染料废水(溶液质量浓度为 $1\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Na_2WO_4 、 Na_2HPO_4 、 H_2SO_4 、乙醚均为分析纯.

1.2 催化剂的制备

$\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (HPW): 分别配制一定浓度的 Na_2WO_4 和 Na_2HPO_4 溶液, 2 种溶液混合后加热 30 min. 边搅拌边加入 1:1 的 H_2SO_4 , 调整溶液 pH = 2.0 左右, 冷却至室温. 加 50 mL 乙醚于反应液中, 振荡均匀后, 继续加入 H_2SO_4 振荡到没有油滴状液体滴下, 静置后溶液分为 3 层, 取下层物白色杂多酸乙醚油状物. 空气吹扫除去乙醚, 置于鼓风干燥箱中 55°C 下干燥至恒重, 即为 HPW.

HPW/ γ - Al_2O_3 : 采用“等体积浸渍法”将预处理后的 γ - Al_2O_3 载体浸渍于特定浓度的磷钨酸溶液中, 浸渍 24 h, 用水洗至中性, 然后在 90°C 下干燥 8 h, 即得 HPW/ γ - Al_2O_3 . 在水洗过程中记录水洗液的体积, 并在分光光度计上测定 248 nm 处的吸光度, 根据 HPW 在 248 nm 处吸光率的标准曲线, 可计算出水洗液中 HPW 的含量, 然后用 HPW 的最初用量减去水洗液中 HPW 的量, 可计算出 HPW 最终的负载量(质量分数计).

1.3 实验装置

电化学反应器主要由直流电源、电解槽、主电极板和床体填料 4 部分组成. DSA 做阳极, 阴极为石墨电极, 主极板规格 $8.0\ \text{cm} \times 12.0\ \text{cm}$. 负载型 HPW/ γ - Al_2O_3 催化剂(球状, 粒径 3 ~ 4 mm, 比表面积 $260 \sim 300\ \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) 作为床体填料.

实验运行前将催化剂在酸性大红 3R 溶液中浸泡至吸附饱和, 以消除吸附作用对去除效果的影响. 将催化剂置于两主电极之间, 然后将 350 mL 酸性大红 3R 溶液加入电解槽中, 打开空压机调节气体流量, 接通电源, 在电极两端施加额定电压, 开始电解实验. 本研究为间歇静态实验, 每隔一定时间取槽内溶液进行分析, 评价水处理效果.

1.4 分析方法

1.4.1 催化剂的表征

将 HPW 与 KBr 混合研磨后压片, 采用 NEXUS 670FT-IR 红外光谱分析仪(美国尼高力公司)在 $500 \sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 范围内测定透光率. 采用 Rigaku-D/Max-2500 型 X-射线粉末衍射仪(日本理学公司)测定催化剂晶相结构, Cu 靶, 步长 0.02, 管电压 40 kV, 管电流 100 mA. 采用 DTG-60H 型综合热分析仪(日本岛津)对催化剂进行 TG-DTA 分析. 采用 FEI Quanta 200 型扫描电镜(美国 FEI 公司)观察表面形貌, 电子枪钨灯丝, 分辨率 3.5 nm. 采用 IRIS INTREPID II XSP 型电感耦合等离子体发射光谱仪(美国热电公司)对反应出水做钨含量分析(ICP-AES)以确定催化剂活性组分的流失率(R), 计算见式(1).

$$R = \frac{\text{反应出水中累计测得的钨量(g)}}{\text{催化剂负载活性组分的钨量(g)}} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.2 水样分析

溶液 pH 值采用 METTLER TOLEDO 320 酸度计测定; 可见-紫外光谱扫描采用 HACH DR/4000U 型可见-紫外分光光度计测定.

先用紫外-可见分光光度计在紫外和可见光区域对酸性大红 3R 进行全波长(200 ~ 700 nm)扫描, 确定酸性大红 3R 最大吸收波长为 507 nm, 再用分光光度计在此波长下测定样品的吸光度. 判断电化学反应效果优劣是以试样的脱色率来比较, 试样脱色率(DC)的计算见式(2):

$$\text{DC} = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中, A_0 为反应前试样的吸光度; A 是电化学反应时间为 t 时试样的吸光度.

2 结果与讨论

2.1 催化剂的表征

2.1.1 红外表征

傅立叶红外光谱可以表征化合物中元素间的键合方式, 因而可以用于鉴别多金属氧酸盐的结构, 而且, Keggin 型多金属氧酸盐的红外特征峰会出现在 $700 \sim 1\ 100\ \text{cm}^{-1}$ 的指纹区^[24]. 图 1 为实验制备 HPW/ γ - Al_2O_3 的红外光谱图. 可以看出, Keggin 结构多金属氧酸盐的 4 个红外特征峰中, 钼系杂多酸的分别为 X-O_a $1\ 068\ \text{cm}^{-1}$; $\text{M}_o\text{-O}_b$ $864\ \text{cm}^{-1}$; $\text{M}_o\text{-O}_c$ $785\ \text{cm}^{-1}$; $\text{M}_o\text{-O}_d$ $958\ \text{cm}^{-1}$. 因此可以说明所制备的 HPW 为 Keggin 结构杂多酸.

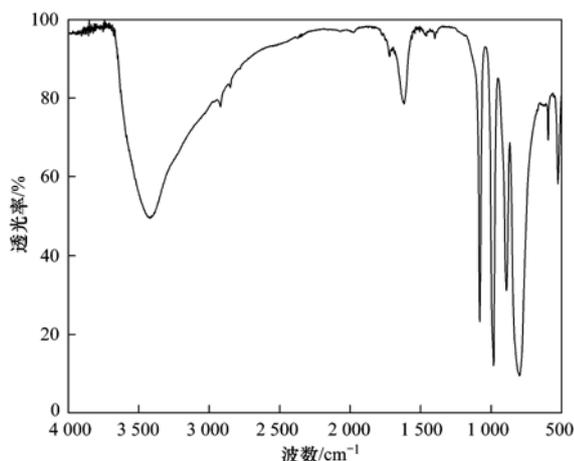


图1 HPW 的红外光谱图

Fig. 1 FTIR spectra of HPW

2.1.2 X-射线衍射表征

通过 X-射线衍射可以定性地判断多金属氧酸盐的结构类型. 图 2 为 HPW 的 X 射线衍射谱图. 可以看出, 在 $7^\circ \sim 10^\circ$ 、 $16^\circ \sim 22^\circ$ 、 $25^\circ \sim 30^\circ$ 内出现了 Keggin 型杂多酸阴离子的特征峰, 表明合成的 HPW/ γ - Al_2O_3 具有良好的 Keggin 结构.

2.1.3 热重分析

杂多酸化合物所带的水分为结晶水与结构水两部分, 在图 3 中可以看出, HPW/ γ - Al_2O_3 的热分解过程首先是脱水, 在 DTA 曲线上 $45 \sim 105^\circ\text{C}$ 之间出现 2 个吸热峰, 相应的 TG 曲线上连续失重然后变得平缓; 在 418.9°C 出现热分解放热峰, 这是 HPW 发生晶型改变所致. 500°C 出现放热峰, 说明 HPW 开始缓慢分解, 磷氧化物慢慢升华. 温度升至 690°C 后, 有一突出的失重曲线, 并伴有强烈的吸热过程, HPW 基本分解, 大部分以氧化物形式挥发.

2.1.4 SEM 表征

图 4 是空白载体和 HPW/ γ - Al_2O_3 负载型催化

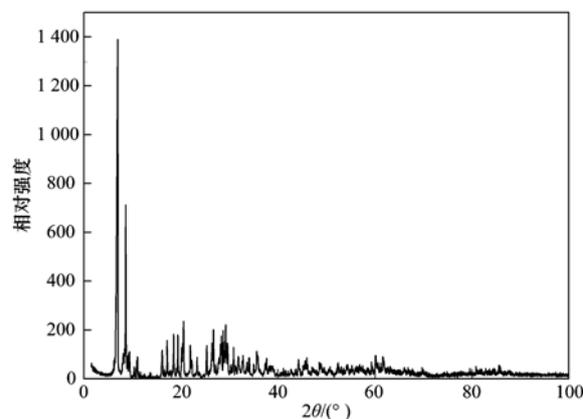
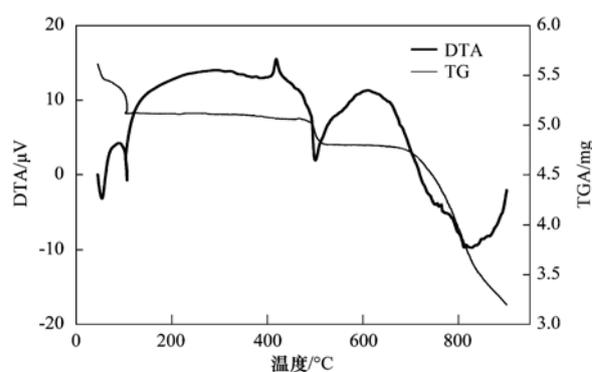


图2 HPW 的 X-射线衍射谱图

Fig. 2 XRD pattern of HPW

图3 HPW/ γ - Al_2O_3 的 TG-DTA 曲线Fig. 3 TG-DTA curves for HPW/ γ - Al_2O_3

剂表面的微观结构. 由两幅图的对比可见, 图 4(a) 为 γ - Al_2O_3 载体, 在未负载催化剂前表面凹凸不平, 结构松散. 负载 HPW 活性组分后, 如图 4(b), 载体粗糙的表面变得平滑, 并且能观察到较明显的晶形. 表面表现为均匀有序的微观结构, 活性组分颗粒较多, 大小与分布较均匀; 晶体结构牢固, 孔隙结构较丰富.

2.2 体系中各因素对酸性大红 3R 脱色效果的影响

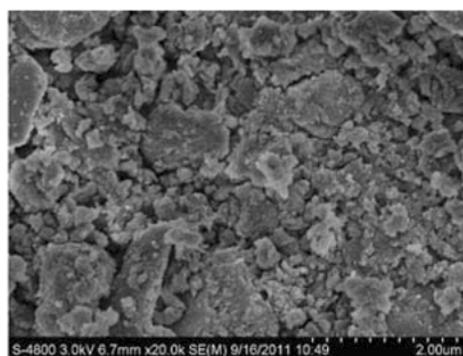
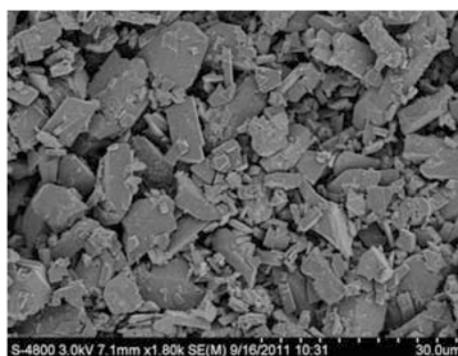
(a) γ - Al_2O_3 (b) HPW/ γ - Al_2O_3

图4 催化剂的电镜扫描图

Fig. 4 SEM images of support and supported catalyst

2.2.1 HPW 负载量对脱色效果的影响

由图 5 看出,不同负载量催化剂的催化效果较空白催化剂均有明显提高.当负载量较低时,起催化作用的活性组分含量少,故催化效果不明显;负载量增加为 4.6% 色度去除效果最好,达到 95.4%;但负载量继续增加,一方面由于活性组分的比表面积减少(活性组分团聚,大颗粒堵塞孔道),降低了催化效果;另一方面使得催化剂的活性位增多,过多的活性位会吸附更多的有机物分子和氧化剂,有机物分子还未与氧化剂发生反应,便在催化剂表面自身分解为 O_2 和 H_2O ,使酸性大红 3R 降解效果降低.在实验过程中,负载量为 6.2% 的催化剂可看见明显的活性组分脱落现象,反应器溶液浑浊,影响吸光度.因此,综合考虑,选用负载量为 4.6% 的 HPW/ $\gamma-Al_2O_3$ 为电化学体系多相催化剂.

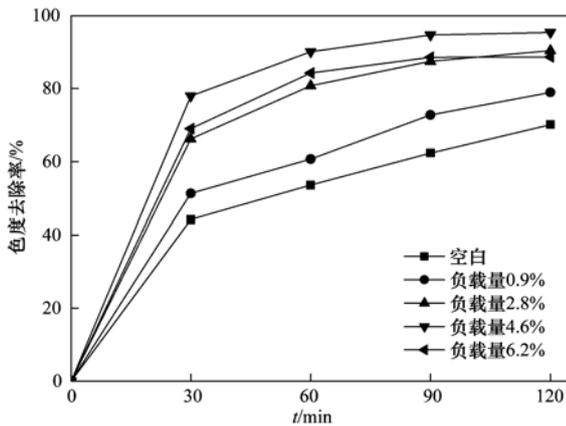


图 5 HPW 负载量对体系色度去除效果的影响

Fig. 5 Effect of HPW loading on decolorization of Acid Red 3R

2.2.2 电解时间对脱色效果的影响

由图 6 可以看出,电解时间越长色度去除效果越好.随着电解时间的增长,电化学产生基团速度加快并大量积累,反应随之加快.但电解时间过长,

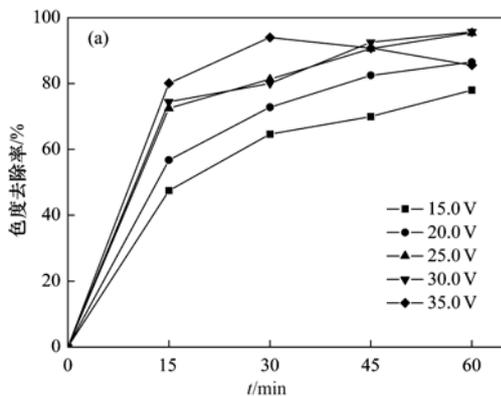


图 7 槽电压对体系脱色及耗电量的影响

Fig. 7 Effect of cell potential on the decolorization and power consumption in electrochemical reactor

能耗加大,相应运行成本大大增加;且超过 60 min 后色度去除率提高不明显,逐步趋于稳定.因此,选择最佳电解时间为 60 min.

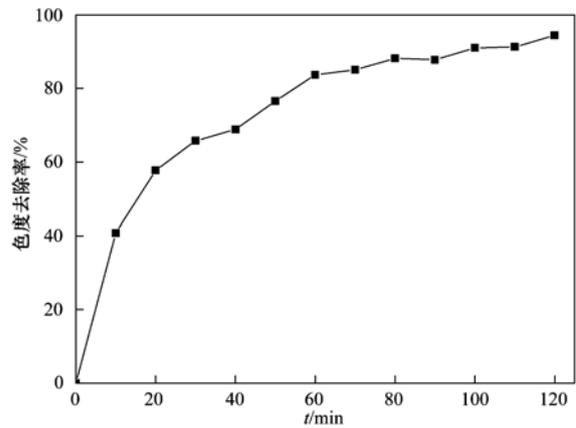


图 6 电解时间对体系色度去除效果的影响

Fig. 6 Effect of treatment time on decolorization of Acid Red 3R

2.2.3 槽电压对脱色效果的影响

槽电压对电化学催化具有关键性作用,它决定了电极是否发生反应、反应的类型以及反应速率.当工作电压超过电极电位时,就会产生较高电流,使得电极表面产生的 H_2O_2 和 $\cdot OH$ 浓度大大增加,加快污染物在电极表面的电子转移速率;但是槽电压过高会加速阳极极化和析氧副反应的发生,同时产生大量的焦耳热,减弱电流效率.考察槽电压对溶液脱色的影响,如图 7 所示.当槽电压 < 30.0 V 时,脱色率随着电压的增加几乎呈线性增大,槽电压为 30.0 V 时,脱色率达到最大值,为 95.7%;当电压继续增加时,脱色率反而降低.当槽电压分别为 25.0 V 和 30.0 V 时,脱色效果变化不大,但是耗电量却明显增大,因此,综合考察电流效率、催化剂寿命、耗电量等因素,选择槽电压为 25.0 V.

2.2.4 曝气量对脱色效果的影响

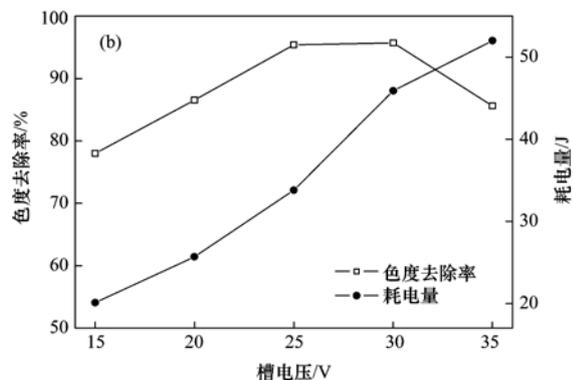


图 8 为曝气量对体系催化降解酸性大红 3R 的影响. 随着曝气量的加大, 脱色率逐渐增加; 但当曝气量超过 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 后, 去除效果反而略微有所下降.

分析原因, 随着曝气量的升高, 相关反应由动力学控制转变为热力学控制, 并且体系中溶解氧趋于稳定; 曝气不仅起到搅拌溶液的作用, 使催化剂与溶液充分接触, 而且为系统提供外源 O_2 , 进而在阴极表面通过电子还原反应产生 H_2O_2 , 加快有机物反应速率; 并且 HPW 中具有的最高氧化态配位原子 W, 其还原态可被分子态 O_2 可逆地氧化到氧化态并保持结构骨架不变, 强化了催化剂氧化还原能力. 但是, 有机物在催化剂表面的吸附是其高效降解的一个先决条件, 只有在有关的电子受体或电子供体预先吸附在催化剂表面时, 界面电荷的传递和被俘获才具有竞争性. 当曝气量超过 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 催化剂吸附有机物作用下降, 使得脱色效果有所降低. 可以认为, 适当的曝气有利于电化学体系对有机污染物的降解, 因此, 控制曝气量在 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 左右.

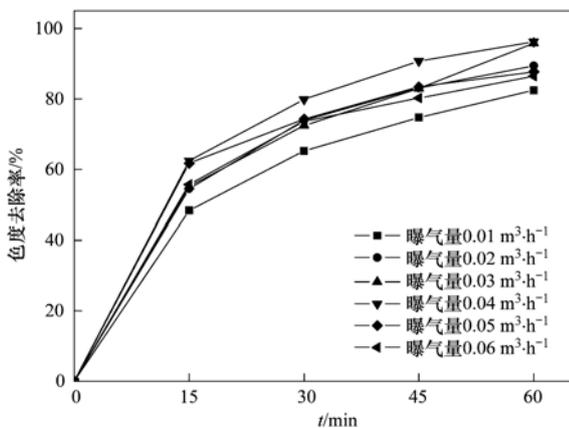


图 8 曝气量对体系色度去除率的影响

Fig. 8 Effect of airflow on decolorization of Acid Red 3R

2.2.5 初始 pH 对脱色效果的影响

由图 9 可以看出, 在酸性条件下体系的色度去除率均较高, 且 pH 越低色度去除效果越好, pH 为 2 时效果最好, 色度去除率达到 98.9%. HPW 本身为强酸, 其存在条件也为酸性, 降解反应的最适 pH 为 2~3; 随着 pH 值增大, 杂多酸变得不稳定, 当增大到一定程度时, 杂多酸发生分解, HPW 完全分解的 pH 值为 5.2, 催化氧化活性降低^[25]; 另外较低的 pH 有利于 O_2 在阴极还原为 H_2O_2 , 同时抑制阳极析氧副反应, 但由于 pH 越低, 消耗量过多且对设备的腐蚀亦大, 经济考虑最佳 pH 值为 3.

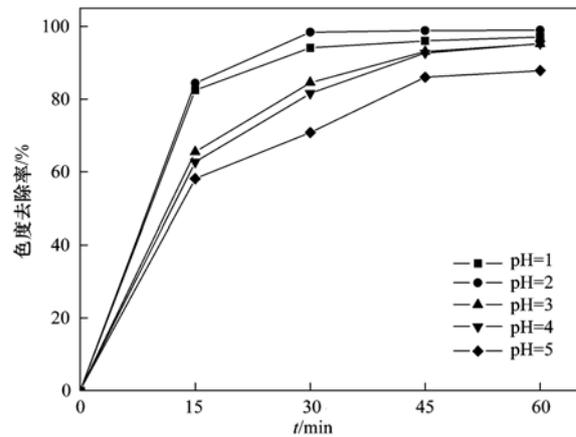


图 9 初始 pH 值对体系色度去除率的影响

Fig. 9 Effect of initial pH value on decolorization of Acid Red 3R

2.2.6 极板间距对脱色效果的影响

电化学反应器的传质主要表现为电迁传质和扩散传质, 而这种传质会随着极板间距的增加而减小. 在槽电压 25.0 V、初始 pH 为 3、曝气量 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 条件下, 考察了极板间距对染料处理效果的影响, 如图 10 所示. 随着极板间距的减小, 色度的去除效率均呈上升趋势; 但是极板间距太小易因电流密度太高而引起短路. 当极板间距减小到 2.0 cm 时, 随着反应时间的延长, 活性炭极板溶出现象严重, 析出粉末状微粒, 处理出水色度加深, 造成二次污染, 色度的脱除效果大大降低; 并且随着极板间距的减小, 耗电量急速增加. 为了保证正常的处理效果和能源效率, 在实验中选择极板间距为 3.0 cm.

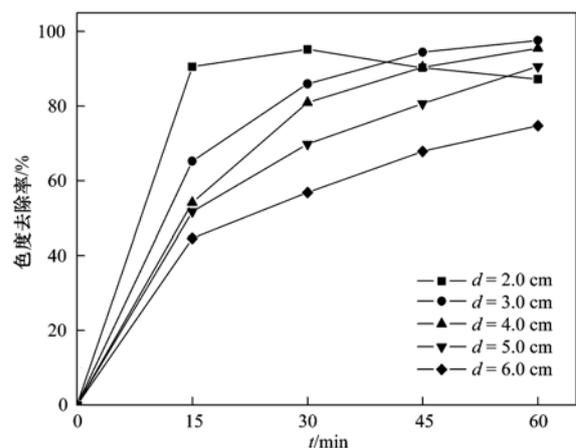


图 10 极板间距对体系色度去除率的影响

Fig. 10 Effect of electrode span on decolorization of Acid Red 3R

2.3 电化学体系稳定性

在优化条件下, 重复进行反应实验, 考察电化学体系降解酸性大红 3R 的稳定性, 实验结果如图 11 所示. 可以看出, 随着体系运行次数的增多, 溶液脱

色率有一定下降,重复使用 10 次之后,色度去除率基本维持在 80% 左右. 体系电化学效果下降与催化剂的失活密切相关. 一方面是由于在催化过程中, HPW 容易从载体上脱落,造成活性组分在反应过程中的流失. 第 3 次反应后,钨元素累计流失率达到 23.8%;但随着反应次数的增多,溶出量大幅度降低. 另一方面,电化学反应的降解产物覆盖了催化反应的活性中心,并堵塞载体 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 微孔通道,使反应物难以扩散到孔道内部的活性中心位上,导致催化剂活性下降.

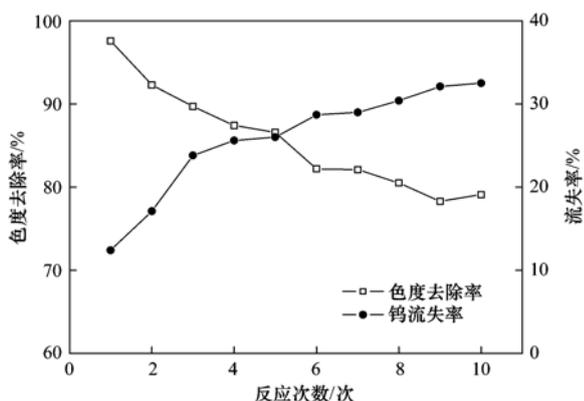


图 11 电化学体系稳定性实验

Fig. 11 Experiment on electro-chemical system stability

2.4 紫外光谱分析

考察 HPW/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 催化剂填料对酸性大红 3R 的降解效果,在优化的工艺参数下对水样进行光谱扫描分析,如图 12 所示. 其中 200 ~ 360 nm 处的吸收峰是由于酸性大红 3R 分子中的萘环或杂环不饱和体系所引起; 430 ~ 570 nm 处宽化的吸收峰是由酸性大红 3R 分子结构中 —N=— 基与萘环共轭体系引起,它使酸性大红 3R 呈现特有的红色. 随着

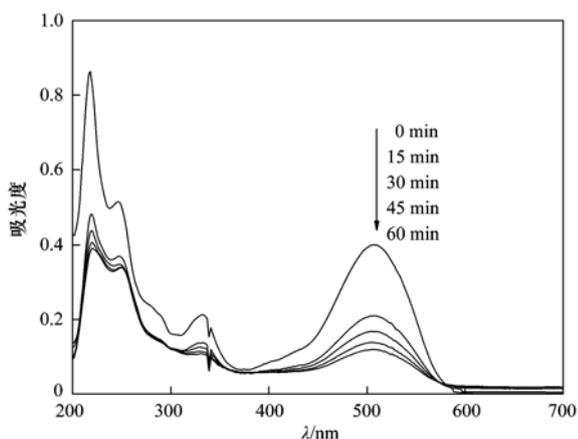


图 12 不同时间下可见-紫外吸收光谱曲线

Fig. 12 Vis-UV spectra of Acid Red 3R sample at different degradation time

电化学反应时间的延长,萘环的吸收峰显著降低; 507 nm 处染料分子结构中的共轭发色体系已基本被破坏,说明随着溶液中氧化还原反应的进行,偶氮键逐渐被断开,造成酸性大红 3R 溶液的脱色. 从谱图上还可以看出,溶液经处理后无其他的吸收峰出现,说明酸性大红 3R 在降解过程中没有转化为其他大分子,电化学体系能将有机大分子矿化为 CO_2 和 H_2O .

HPW 在电化学体系中能形成单电子还原态杂多蓝 $\text{PW}_{12}(\text{e}^-)$,并且通过迅速的分子内电子转移离域在配体氧化物框架上,接受有限数量的电子而不发生分解,具有良好的催化还原性能. 并且 HPW 中具有的最高氧化态配位原子 W,其还原态可被分子态 O_2 可逆地氧化到氧化态并保持结构骨架不变,强化了催化剂氧化还原能力^[26].

3 结论

(1) 对自制的 HPW/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 通过 IR、XRD、TG-DTA、SEM 进行表征,结果表明杂多阴离子保持 Keggin 结构,晶体结构牢固,空隙结构较丰富.

(2) 将 HPW/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 催化剂填充在电解槽两主电极之间,强化电化学法降解酸性大红 3R 溶液. 实验结果表明,该体系具有良好的脱色效果,在 HPW 负载量为 4.6%、槽电压 25.0V、pH 为 3、空气流速 $0.04 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 、极板间距 3.0 cm 反应条件下,电解 60 min 后,色度去除率达到最大,为 97.6%.

(3) HPW/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 作为催化填料的电化学体系稳定性较好,重复运行 10 次后,酸性大红 3R 溶液的脱色率仍能维持在 80% 左右. 可见-紫外光谱对反应中间产物分析显示,在脱色反应过程中,染料分子中的共轭体系已基本被破坏.

参考文献:

- [1] Wang X J, Gu X Y, Lin D X, *et al.* Treatment of acid rose dye containing wastewater by ozonizing-biological aerated filter[J]. *Dyes and Pigments*, 2007, **74**(3): 736-740.
- [2] Sirianuntapiboon S, Sansak J. Treatability studies with granular activated carbon (GAC) and sequencing batch reactor (SBR) system for textile wastewater containing direct dyes[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **159**(2-3): 404-411.
- [3] Wijetunga S, Li X F, Jian C. Effect of organic load on decolourization of textile wastewater containing acid dyes in upflow anaerobic sludge blanket reactor[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **177**(1-3): 792-798.
- [4] 许伟颖,高宝玉,王燕,等. Al_6 形态处理模拟染料废水的效果及机制研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 117-123.

- [5] Yi F Y, Chen S X, Yuan C E. Effect of activated carbon fiber anode structure and electrolysis conditions on electrochemical degradation of dye wastewater [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, **157**(1): 79-87.
- [6] Zhu X P, Ni J R, Wei J J, *et al.* Destination of organic pollutants during electrochemical oxidation of biologically-pretreated dye wastewater using boron-doped diamond anode[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **189**(1-2): 127-133.
- [7] El-Gohary F, Tawfik A. Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process [J]. Desalination, 2009, **249**(3): 1159-1164.
- [8] El-Ashtoukhy E-S Z, Amin N K. Removal of acid green dye 50 from wastewater by anodic oxidation and electrocoagulation—a comparative study [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, **179**(1-3): 113-119.
- [9] 张芳, 李光明, 盛怡, 等. 电催化氧化法处理苯酚废水的 Mn-Sn-Sb/ γ - Al_2O_3 粒子电极研制 [J]. 化学学报, 2006, **64**(3): 235-239.
- [10] An T C, Zhang W B, Xiao X M, *et al.* Photoelectrocatalytic degradation of quinoline with a novel three-dimensional electrode-packed bed photocatalytic reactor [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2004, **161**(2-3): 233-242.
- [11] Kong W P, Wang B, Ma H Z, *et al.* Electrochemical treatment of anionic surfactants in synthetic wastewater with three-dimensional electrodes [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, **137**(3): 1532-1537.
- [12] Misono M. A view on the future of mixed oxide catalysts; the case of heteropolyacids (polyoxometalates) and perovskites [J]. Catalysis Today, 2005, **100**(1-2): 95-100.
- [13] Kholdeeva O A, Maksimovskaya R I. Titanium-and Zirconium-monosubstituted polyoxometalates as molecular models for studying mechanisms of oxidation catalysis [J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2007, **262**(1-2): 7-24.
- [14] Cavani F, Ferroni L, Frattini A, *et al.* Evidence for the presence of alternative mechanisms in the oxidation of cyclohexanone to adipic acid with oxygen, catalysed by Keggin polyoxometalates [J]. Applied Catalysis A: General, 2011, **391**(1-2): 118-124.
- [15] Parida K M, Mallick S. Phosphotungstic acid promoted zirconia-alumina mixed oxides: a stable and reusable catalysts for epoxidation of *trans*-stilbene [J]. Catalysis Communication, 2009, **11**(1): 51-57.
- [16] Ninomiya W, Sadakane M, Ichi Y, *et al.* Influence of structural differences and acidic properties of phosphotungstic acids on their catalytic performance for acylation of pyruvate ester to α -acyloxyacrylate ester [J]. Catalysis Today, **164**(1): 107-111.
- [17] 黄丽, 陈悠, 董文博, 等. 磷钨酸光催化六氟苯脱氟的研究 [J]. 环境科学, 2006, **27**(8): 1501-1507.
- [18] Colicchio I, Wen F, Keul H, *et al.* Sulfonated poly(ether ether ketone)-silica membranes with phosphotungstic acid. Morphology and proton conductivity [J]. Journal of Membrane Science, 2009, **326**(1): 45-57.
- [19] Li Z Y, Liu Y, Liu H T, *et al.* Synthesis and ionic conductivity of polymeric ion gel containing room temperature ionic liquid and phosphotungstic acid [J]. Solid State Ionics, 2006, **177**(15-16): 1281-1286.
- [20] Ngaotrakanwivat P, Tatsuma T. Optimization of energy storage TiO_2 - WO_3 photocatalysts and further modification with phosphotungstic acid [J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2004, **573**(2): 263-269.
- [21] Wang Y G, Zhang X G. All solid-state supercapacitor with phosphotungstic acid as the proton-conducting electrolyte [J]. Solid State Ionics, **166**(1-2): 61-67.
- [22] Ferrell III J R, Kuo M C, Turner J A, *et al.* The use of the heteropoly acids, $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ and $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ for the enhanced electrochemical oxidation of methanol for direct methanol fuel cells [J]. Electrochimica Acta, 2008, **53**(14): 4927-4933.
- [23] Pito D S, Matos I, Fonseca I M, *et al.* Methoxylation of α -pinene over heteropolyacids immobilized in silica [J]. Applied Catalysis A: General, 2010, **373**(1-2): 140-146.
- [24] 杨天宇, 屠一峰, 狄俊伟. 磷钨钼杂多酸-3,3',5,5'-四甲基联苯胺电荷转移复合物的形成与光谱研究 [J]. 光谱实验室, 2003, **20**(4): 498-500.
- [25] 刘宗瑞, 王力, 彭爱红, 等. 可见光照射下取代型杂多酸盐对染料的催化降解 [J]. 化学研究与应用, 2009, **21**(10): 1423-1426.
- [26] 王振平. Keggin 结构钼磷酸的光电化学特性在修饰电极中的应用 [D]. 苏州: 苏州大学, 2007. 5-10.

CONTENTS

Estimation of PM _{2.5} over Eastern China from MODIS Aerosol Optical Depth Using the Back Propagation Neural Network	GUO Jian-ping, WU Ye-rong, ZHANG Xiao-ye, <i>et al.</i> (817)
Comparison of Atmospheric Particulate Matter and Aerosol Optical Depth in Beijing City	LIN Hai-feng, XIN Jin-yuan, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i> (826)
Impacts of Meteorological Factors on Atmospheric Methane Mole Fractions in the Background Area of Yangtze River Delta	PU Jing-jiao, XU Hong-hui, GU Jun-qiang, <i>et al.</i> (835)
Dispersion and Analysis of Odor Pollution in Landfill Area Under the Enclosed Operation Condition	LU Peng, WU Shi-xing, DAI Zhi-feng, <i>et al.</i> (842)
Distribution Characteristics and Sea-Air Fluxes of Volatile Halocarbons in the East China Sea in Winter	HE Zhen, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng (849)
Intra- and Inter-annual Variabilities of Particulate Organic Matter in the Mires Bay from 2000 to 2010	LI Xu-lu, ZHOU Yi-pin, XIA Hua-yong (857)
Phytoplankton Assemblages and Their Relation to Environmental Factors by Multivariate Statistic Analysis in Bohai Bay	ZHOU Ran, PENG Shi-tao, QIN Xue-bo, <i>et al.</i> (864)
Characteristics and Evolution of Hydrochemical Compositions of Freshwater Lake in Tibetan Plateau	WANG Peng, SHANG Ying-nan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (874)
Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads and Optimization of the Best Management Practices (BMPs) in the Zhangweinan River Basin	XU Hua-shan, XU Zong-xue, LIU Pin (882)
An Object-Oriented Intelligent Engineering Design Approach for Lake Pollution Control	ZOU Rui, ZHOU Jing, LIU Yong, <i>et al.</i> (892)
Contribution of Plant Litters to Sediments Organic Matter in Julong River Estuary Wetland	LUO Zhuan-xi, QIU Zhao-zheng, WANG Zhen-hong, <i>et al.</i> (900)
Application of Tiered Approach to Assess the Impact of Backfilling Remediated Soil on Groundwater	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (907)
Removal of Nitrate from Groundwater Using Permeable Reactive Barrier	LI Xiu-li, YANG Jun-jun, LU Xiao-xia, <i>et al.</i> (914)
Research on Pollution Load of Sediments in Storm Sewer in Beijing District	LI Hai-yan, XU Bo-ping, XU Shang-ling, <i>et al.</i> (919)
Occurrence and Risk Assessment of Five Selected PPCPs in Municipal Wastewater Treatment Plant and the Receiving Water	WEN Zhi-hao, DUAN Yan-ping, MENG Xiang-zhou, <i>et al.</i> (927)
Microbial Risk Assessment of Urban Water Bodies for Aesthetical and Recreational Uses	SUN Fu, SHA Jing, ZHANG Yi-fan, <i>et al.</i> (933)
Study on Removal of Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate by Using of Small-Scale Biological Aerated Filter	LI Wei, ZHAO Jing, YU Jian, <i>et al.</i> (943)
Mechanism of Membrane Fouling and Filtration Characteristics in a Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment	FAN Ju-hong, YU Su-lin, ZHANG Pei-shuai, <i>et al.</i> (950)
Enhanced Electro-Chemical Oxidation of Acid Red 3R Solution with Phosphotungstic Acid Supported on γ -Al ₂ O ₃	YUE Lin, WANG Kai-hong, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (955)
Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G	YANG Mei-mei, ZHOU Shao-qi, LIU Dan, <i>et al.</i> (962)
Study on the Start-up of the Anaerobic Baffled Reactor for Treating Alkali-deweeding and Dyeing-printing Wastewater	YANG Bo, ZHONG Qi-jun, LI Fang, <i>et al.</i> (968)
Study on the Pollutants Removal Performance Along the Advanced Treatment in Tannery Wastewater by O ₃ -BAF	YU Bin, LIU Rui, CHENG Jia-di, <i>et al.</i> (974)
Effect of Pilot UASB-SFSBR-MAP Process for the Large Scale Swine Wastewater Treatment	WANG Liang, CHEN Chong-jun, CHEN Ying-xu, <i>et al.</i> (979)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Municipal Wastewater and Studies on Its Characteristics Under the Continuous Flow	NIU Shu, DUAN Bai-chuan, ZHANG Zuo-li, <i>et al.</i> (986)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (I) : Model Constitution	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (993)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (II) : Process Simulation	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (998)
Kinetic Model of Enhanced Biological Phosphorus Removal with Mixed Acetic and Propionic Acids as Carbon Sources (III) : Model Application	ZHANG Chao, CHEN Yin-guang (1004)
Comparative Study on Water-air CO ₂ , CH ₄ Flux in Two Tributaries in the Three Gorges Reservoir, China	LI Zhe, BAI Lei, GUO Jin-song, <i>et al.</i> (1008)
Factors Influencing the Spatial Variability in Soil Respiration Under Different Land Use Regimes	CHEN Shu-tao, LIU Qiao-hui, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1017)
Differences in Soil Respiration Between Cropland and Grassland Ecosystems and Factors Influencing Soil Respiration on the Loess Plateau	ZHOU Xiao-gang, ZHANG Yan-jun, NAN Ya-fang, <i>et al.</i> (1026)
Application and Benefit Evaluation of Tiered Health Risk Assessment Approach on Site Contaminated by Benzene	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, LIANG Jin, <i>et al.</i> (1034)
History of Heavy Metal Pollution from Tidal Flat in Haizhou Bay	ZHANG Rui, ZHANG Fan, LIU Fu-cheng, <i>et al.</i> (1044)
Accumulation, Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment of Caohai Plateau Wetland, Guizhou Province	ZHANG Qing-hai, LIN Chang-hu, TAN Hong, <i>et al.</i> (1055)
Assessment and Correlation Analysis of Heavy Metals Pollution in Soil of Dajinshan Island	CHENG Fang, CHENG Jin-ping, SANG Heng-chun, <i>et al.</i> (1062)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Stream Sediments from a Typical Nonferrous Metals Mining City	LI Ru-zhong, JIANG Yan-min, PAN Cheng-rong, <i>et al.</i> (1067)
Contamination and Health Risk for Heavy Metals via Consumption of Vegetables Grown in Fragmentary Vegetable Plots from a Typical Nonferrous Metals Mine City	LI Ru-zhong, PAN Cheng-rong, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1076)
Correlativity Study of the Distribution of Soil Magnetic Susceptibility and the Heavy Metal Contents in Xi'an City	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, YANG GUANG (1086)
Distribution Characteristics and Environmental Significance of Heavy Metals in Soil Particle Size Fractions from Tropical Forests in China	GONG Cang, XU Dian-dou, CHENG Hang-xin, <i>et al.</i> (1094)
Study on Phosphorus Adsorption Characteristic of Sediments in an Ecological Ditch	ZHANG Shu-nan, JIA Zhao-yue, XIAO Run-lin, <i>et al.</i> (1101)
Fractions and Adsorption Characteristics of Phosphorus on Sediments and Soils in Water Level Fluctuating Zone of the Pengxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir	SUN Wen-bin, DU Bin, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i> (1107)
Sorption Behavior of Triton X-100 on Loess and Affecting Factors	ZHONG Jin-kui, ZHAO Bao-wei, ZHU Kun, <i>et al.</i> (1114)
Residual Levels in Air, Soil and Soil-Air Exchange of Organochlorine Pesticides in Hami Region of Xinjiang and Its Potential Ecological Risk	MA Zi-long, MAO Xiao-xuan, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (1120)
Levels and Sources of Decabromodiphenyl Ether and Dechlorane Plus in Xining and Tianjun, Qinghai Province, China	HE Chang, JIN Jun, MA Zhao-hui, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of PBDEs and DL-PCBs in Sediments of Taihu Lake	MA Zhao-hui, JIN Jun, QI Xue-kui, <i>et al.</i> (1136)
Characteristics of Organic Pollutants in the Sediments from a Typical Electronics Industrial Zone	LIU Jin, DENG Dai-yong, XU Mei-ying, <i>et al.</i> (1142)
Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Exhaust Particles from a Diesel Car	TAN Pi-qiang, ZHOU Zhou, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (1150)
Characterization of PAHs in Fly Ashes from Coke Production	MU Ling, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (1156)
Comparison of PAHs Distribution in Stabilized Sludge by Sludge Drying Bed and Reed Bed	CUI Yu-bo, SUN Hong-jie, RAN Chun-qiu, <i>et al.</i> (1161)
Effects of Adsorbents on Partitioning and Fixation of Heavy Metals in the Incineration Process of Sewage Sludge	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, CHEN Tao (1166)
Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand	ZHANG Hai-feng, WANG Yu-jue, WANG Jin-lin, <i>et al.</i> (1174)
Construction and Properties of a Microbial Whole-cell Sensor CB10 for the Bioavailability Detection of Cr ⁶⁺	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xu-liang, <i>et al.</i> (1181)
Structure and Dynamics of Microbial Community in the Denitrifying Sulfide Removal Process	YU Hao, WANG Ai-jie, CHEN Chuan (1190)
Effects of Physico-chemical Parameters on the Abundance of the Denitrification-associated Genes <i>nirK</i> , <i>nirS</i> and <i>nosZ</i> During Agricultural Waste Composting	HU Chun-xiao, CHEN Yao-ning, ZHANG Jia-chao, <i>et al.</i> (1196)
Impact of PAHs on the Expression of PRDX in Earthworm (<i>Eisenia fetida</i>)	LIN Kang-li, ZHENG Sen-lin, SONG Yu-fang, <i>et al.</i> (1204)
Preparation of OMC-Au/L-Lysine/Au Modified Glassy Carbon Electrode and the Study on Its Detection Response to Hydroquinone and Catechol	ZHOU Yao-yu, TANG Lin, LI Zhen, <i>et al.</i> (1211)
Risk Communication in Construction of New Nuclear Power Plant	HE Gui-zhen, LÜ Yong-long (1218)

《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3月15日 34卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 3 Mar. 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