

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, 李小微(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)

活性炭催化过硫酸钠降解金橙 G 动力学

杨梅梅¹, 周少奇^{1,2*}, 刘聃¹, 郑可¹

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006; 2. 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: 采用颗粒活性炭 (granular active carbon, GAC) 催化过硫酸钠 (sodium persulfate, PDS) 产生具有强氧化性的硫酸根自由基, 以偶氮染料金橙 G (orange G, OG) 为目标污染物, 研究了其降解过程及动力学. 结果表明, GAC/PDS 体系能通过氧化作用有效地去除金橙 G, 其中氧化降解速率主要与 PDS 投量、GAC 投加量、溶液的初始浓度及反应温度有关, 升高温度和 GAC 投量可以显著地加快 OG 的降解. 且在初始浓度为 $0.050 \sim 0.125 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pH 值为 5.0、 $n(\text{PDS})/n(\text{OG})$ 为 10/1 ~ 160/1、GAC 投量为 $0.1 \sim 1.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、温度为 298 ~ 338 K 的实验范围内, 反应的氧化降解符合一级动力学模型且与实验值吻合良好. 另外还对 GAC 重复使用之后的催化效果进行了初步考察.

关键词: 活性炭; 过硫酸钠; 非均相催化; 金橙 G; 动力学

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)03-0962-06

Degradation Kinetics of Activated Carbon Catalyzed Persulfate Oxidation Orange G

YANG Mei-mei¹, ZHOU Shao-qi^{1,2}, LIU Dan¹, ZHENG Ke¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The oxidation degradation of orange G (OG) in aqueous solutions by the activated carbon catalyzed peroxydisulfate (PDS) has been kinetically investigated. These processes are based on the generation of sulfate radicals, which are powerful oxidizing species found in nature. The results demonstrated that OG could be degraded by GAC/PDS reagent effectively. Moreover, the dosage of PDS and GAC, temperature and initial concentration of OG had an impact on OG oxidation, higher temperature and GAC dosage resulted in higher OG degrading rates. In addition, the empirical kinetic equation for OG oxidation by GAC/PDS combined system under the conditions of $0.050\text{-}0.125 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ of OG, 5.0 of pH, 10/1-160/1 of $n(\text{PDS})/n(\text{OG})$, $0.1\text{-}1.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ of GAC, 298-338 K of temperature, could be reasonably represented by the first order kinetics, which was fitted very well with the experimental data. In addition, the catalytic properties of reused GAC have been investigated.

Key words: activated carbon; sodium peroxydisulfate; heterogeneous catalysis; orange G; kinetic

偶氮染料是制革、印染工业最常用的染料, 占印染工业使用量的 50% ~ 70%, 由于它具有毒性, 难生物降解及潜在的致癌性^[1], 故其生产和使用过程中都对环境造成了严重的污染. 目前偶氮染料常用的处理方法包括活性炭吸附^[2]和膜过滤等一些工艺, 但是往往难以达到处理要求, 因此研究更加行之有效的处理方法日益受到人们的关注^[3].

基于硫酸根自由基 ($\text{SO}_4^{\cdot -}$) 的过硫酸盐 (PS) 活化技术可氧化去除难降解有机污染物, 是一类新型的高级氧化技术. 在 PS 的活化方法中, 热活化^[4,5-8]能耗高, 光活化^[9-11]对反应条件要求苛刻, 过渡金属离子活化引入的金属离子在反应结束后需要其他的措施加以去除, 活性炭 (AC) 不仅是良好的吸附剂, 也是催化剂载体和催化剂^[12,13], 有研究表明, AC 催化 PS 可以产生强氧化性的自由基^[14], 属于高级氧化的范畴. 国内外已有学者利用 AC 和 PS 联合起来降解有机物, Liang 等^[15]用 AC 激活 PS 的

方法降解 TCE, 在 PS $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、AC $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 条件下, TCE 在 4 h 内去除率达 80% 以上, 无 PS 情况下, 4 h 内 AC 吸附 TCE 不到 40%. 研究表明, PS 在 AC 存在条件下的分解符合一级反应动力学^[15]; Yang 等^[16]在微波催化活化过硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) 过程中加入 AC, 与不加 AC 的反应体系相比, AC 的存在显著加快了反应速率. 在 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ AC 存在的条件下, 微波活化 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 在 3 min 内可使 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的高浓度 AO7 100% 脱色. 由此可知, 利用 AC 活化 PS 降解有机物是一种极具前景的高级氧化技术.

本研究以偶氮染料金橙 G 作为目标污染物, 分析了 GAC/PDS 体系降解金橙 G 的主要影响因素, 拟合了实验数据并建立了动力学模型, 以期预测

收稿日期: 2012-05-10; 修订日期: 2012-06-25

基金项目: 广州市重大科技项目 (2008DLB2080500)

作者简介: 杨梅梅 (1986 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制, E-mail: yangmei0728@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: fesqzhou@scut.edu.cn

有机物的降解规律以及工程实践提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

过硫酸钠(分析纯,天津大茂化学试剂厂),偶氮染料金橙 G(BS,阿拉丁试剂有限公司),氢氧化钠(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司),浓 H_2SO_4 (分析纯,天津大茂化学试剂厂),甲醇(分析纯,天津大茂化学试剂厂),颗粒活性炭(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司)。活性炭为 20~40 目、微孔容积约 $0.6 \sim 0.8 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 、比表面积约 $500 \sim 1500 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,使用前先用稀盐酸清洗浸泡,以除去活性炭表面杂质,再用去离子水反复冲洗以去除表面的盐酸,于 105°C 烘箱中烘干 24 h 备用。

1.2 实验方法

在一定温度下,将 250 mL 配制好的金橙 G(OG)废水注入锥形瓶,用稀 H_2SO_4 或 NaOH 调节 pH 值,加入一定量的 PDS,再迅速加入一定量的 GAC,并以此作为反应的开始时间($t=0$),将锥形瓶置于恒温水浴振荡器上振荡,每隔一段时间取样,并迅速加入一定量甲醇(2 mL 水样约加 0.5 mL 甲醇)终止反应,然后用 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤后,收集滤液留待后续测定。

1.3 分析方法

本研究使用 Unico 2800 UV/VIS 紫外可见分光

光度计测定滤液吸光度 A ,金橙 G 在 478 nm 处具有最大的吸收峰,故用此吸光度来表征金橙 G 的相对含量,依据 Langmuir-beer 定律,根据下式计算金橙 G 反应 t 时间之后的浓度。

$$c_t = c_0 \times A_t/A_0 \quad (1)$$

式中, A_0 为初始吸光度值, A_t 为反应时间 t 后的金橙 G 吸光度值, c_0 为溶液的初始浓度。

2 结果与讨论

2.1 GAC/PDS 体系降解金橙 G 动力学模型的建立

有研究表明,GAC 活化 PS 降解低浓度有机物的过程遵循一级动力学反应^[17],为了描述 OG 的降解动力学过程,假定 GAC/PDS 体系对 OG 的降解为一级动力学过程,即 $\ln(c_t/c_0) = -kt$,式中 k 为表观动力学常数,本研究中 k 值主要受到 PDS 投加量,GAC 投加量、反应温度 T 及溶液初始浓度的影响,按照一般化学反应的动力学方程可知, k 与上述影响因素的关系可用如下经验公式表示:

$$k = f(T, [c_0], [\text{PDS}], [\text{GAC}]) \\ = A \exp(-E_a/RT) [c_0]^a [\text{PDS}]^b [\text{GAC}]^c \quad (2)$$

式中, A 为指前因子 [$\text{L} \cdot (\text{mol} \cdot \text{min})^{-1}$]; E_a 为反应活化能 ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$); R 为普适常数 [$R = 8.314 \text{ J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$]; a 、 b 、 c 分别为 PDS、GAC、OG 的反应分级数。OG 降解的动力学方程见表 1。

表 1 不同操作条件下 OG 降解的动力学特征

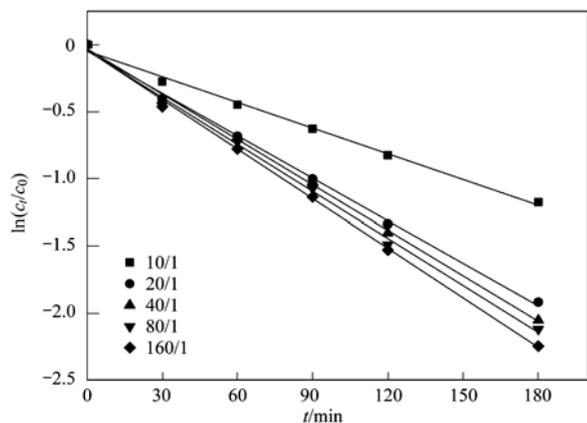
Table 1 Kinetic values for degradation of OG at various operating conditions

序号	$n(\text{PS})/n(\text{OG})$	GAC / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	OG / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	T / $^\circ\text{K}$	表观速率常数 (k)	R^2	动力学方程
P-1	10/1	0.8	0.100	298	0.006 29	0.993 24	$-0.006 39t - 0.048 64$
P-2	20/1	0.8	0.100	298	0.010 55	0.997 15	$-0.010 55t - 0.047 98$
P-3	40/1	0.8	0.100	298	0.011 27	0.998 05	$-0.011 27t - 0.031 71$
P-4	80/1	0.8	0.100	298	0.011 67	0.995 91	$-0.011 67t - 0.044 74$
P-5	160/1	0.8	0.100	298	0.012 30	0.998 08	$-0.012 30t - 0.041 70$
G-1	20/1	0.1	0.100	298	0.003 14	0.093 530	$-0.003 14t - 0.074 50$
G-2	20/1	0.2	0.100	298	0.003 95	0.916 31	$-0.003 95t - 0.010 51$
G-3	20/1	0.4	0.100	298	0.005 87	0.953 43	$-0.005 87t - 0.005 87$
G-4	20/1	0.8	0.100	298	0.010 55	0.997 15	$-0.010 55t - 0.004 79$
G-5	20/1	1.2	0.100	298	0.013 11	0.999 06	$-0.013 11t - 0.023 92$
G-6	20/1	1.6	0.100	298	0.020 84	0.995 98	$-0.020 84t - 0.057 93$
T-1	20/1	0.8	0.100	298	0.010 55	0.997 15	$-0.010 55t - 0.047 89$
T-2	20/1	0.8	0.100	308	0.013 28	0.987 29	$-0.013 28t - 0.011 88$
T-3	20/1	0.8	0.100	318	0.016 73	0.966 96	$-0.016 73t - 0.222 40$
T-4	20/1	0.8	0.100	328	0.024 81	0.998 81	$-0.024 81t - 0.077 14$
T-5	20/1	0.8	0.100	338	0.029 85	0.985 47	$-0.029 85t - 0.026 06$
O-1	20/1	0.8	0.050	298	0.008 82	0.926 71	$-0.008 82t - 0.225 68$
O-2	20/1	0.8	0.075	298	0.009 39	0.952 46	$-0.009 39t - 0.181 76$
O-3	20/1	0.8	0.100	298	0.010 55	0.997 15	$-0.010 55t - 0.047 89$
O-4	20/1	0.8	0.125	298	0.009 28	0.966 97	$-0.009 28t - 0.152 31$

2.2 PDS 投量对氧化降解的影响

为了研究 PDS 投加量对橙黄 G 氧化降解速率的影响,固定 GAC 投量为 $0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,当 PDS 投量在 10/1 ~ 160/1 范围内变化时,对 OG 的降解按表观一级动力学方程 $\ln(c_1/c_0) = -kt$ 进行拟合,OG 的降解动力学曲线与时间的变化情况如图 1 所示,结果表明该反应遵循一级动力学规律。

由图 1 可知,随着 PDS 投加量的增加,OG 的氧化降解速率也随之提高:当 $n(\text{PDS})/n(\text{OG})$ 从 10/1 上升至 20/1 时,OG 的降解速率有显著的提高,反应表观速率常数 k 由 0.002 41 提高到 0.010 55,但是当 $n(\text{PDS})/n(\text{OG})$ 从 20/1 到 160/1 时,虽然降解速率随着 PDS 投量的增加而提高,但增加趋势渐缓, k 值从 0.010 55 增加到 0.012 3;有研究表明,当 PDS 的投加量超过一定值,有机物的降解速率会出现缓慢下降^[18,19],因为当 PDS 浓度过高时,一方面瞬间产生的大量自由基会彼此反应湮灭,另一方面过量的 PDS 也会与 OG 竞争 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ^[20],这两方面的原因使得体系中的自由基浓度降低,从而导致氧化降解速率下降.设表观速率常数 k 与不同 PDS 投量存在如下关系: $k = k_p [\text{PDS}]^a$,根据表 1 中 PDS 投量与表观速率常数的数据,利用 Origin 软件对 k 与 $[\text{PDS}]$ 之间的关系进行了趋势模拟,可得 $k = 4.59 [\text{PDS}]^{0.0715}$.



$[\text{OG}] = 0.100 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, $[\text{GAC}] = 0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 5.0$, $T = 298 \text{ K}$

图 1 PDS 投量对 OG 氧化降解速率的影响

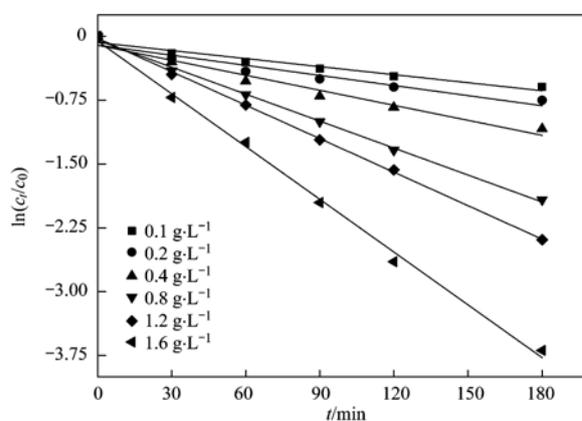
Fig. 1 Effects of PDS dosage on oxidation degradation rate of OG

2.3 GAC 投加量对氧化降解速率的影响

图 2 考察了固定 PDS 投量为 $n(\text{PDS})/n(\text{OG}) = 20/1$,当 GAC 投量在 $0.1 \sim 1.6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内变化时对氧化降解速率的影响,并对实验数据进行了拟合,反应遵循一级动力学模型且相关性良好.从中可看出,随着 GAC 投加量的增加,氧化降解速率也

随之提高,从表 1 可看出,表观速率常数 k 从 0.003 14 上升至 0.020 84,这是因为 GAC 投量增加时,活性位点也相应增多,一方面使得 GAC 的吸附容量增大,另一方面更多的活性位点也能更快地催化 PDS,产生更多的 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ^[17],从而加速反应的进行.但是考虑到当 GAC 投量 $> 0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时反应速率的急剧增加是 GAC 的吸附和 GAC/PDS 体系氧化共同作用的结果,因此 GAC 投量越多,吸附作用所占的比例也就越大^[21],故本实验选择 $0.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 作为 GAC 的投加量。

根据实验结果所得 k 值,进行趋势模拟,得出 $k = 4.45 [\text{GAC}]^{0.6917}$.



$[\text{OG}] = 0.100 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, $n(\text{PDS})/n(\text{OG}) = 20/1$,
 $\text{pH} = 5.0$, $T = 298 \text{ K}$

图 2 GAC 投量对 OG 氧化降解速率的影响

Fig. 2 Effects of GAC dosage on oxidation degradation rate of OG

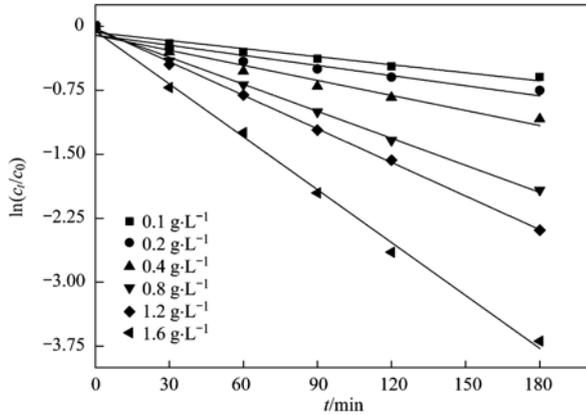
2.4 温度对 OG 氧化降解速率的影响

温度是化学反应的重要影响因素,一般来说,温度升高都有利于反应的进行.为了考察温度对 GAC/PDS 体系降解 OG 的影响,本实验在 $25 \sim 65^\circ\text{C}$ 下进行,并对实验结果进行了拟合,结果如图 3 所示,证明反应遵循一级动力学反应,且相关性良好.从中可知,随着温度的升高,氧化降解速率也随之提高,当温度从 298 K 升高到 318 K 时,表观速率常数 k 分别为 0.010 55、0.013 28、0.016 73,增加趋势相对平缓,但当温度 $> 318 \text{ K}$ 时,降解速率常数迅速上升,从 0.016 73 提高至 0.029 85,由此可知,升高温度对氧化降解速率有明显的促进作用,温度升高反应中的平均分子动能增加^[22],加速了 GAC 对 PDS 的催化作用,从而产生更多的 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ^[23,24],促使氧化反应更快速地进行.设 k 与温度之间存在如下关系:

$$k = k_T \exp(-E_a/RT)$$

根据实验结果所得 k 值,利用 Origin 软件对 $\ln k$

与 $1/T$ 之间的关系进行趋势模拟所得的直线斜率 -2719.98 , 即为 $-E_a/R$ 值, 由此可计算出反应活化能 $E_a = 22.61 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, 反应活化能较低, 说明该反应较易进行。



[OG] = 0.100 mmol·L⁻¹, n(PDS)/n(OG) = 20/1,
[GAC] = 0.8 g·L⁻¹, pH = 5.0

图3 温度对 OG 氧化降解速率的影响

Fig. 3 Effects of temperature on oxidation degradation rate of OG

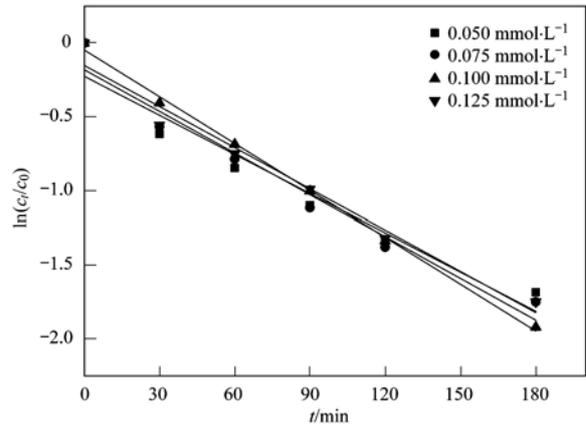
2.5 初始 OG 浓度对氧化降解速率的影响

在不改变 GAC 和 PDS 投量的情况下, 考察了不同初始 OG 浓度对氧化降解速率的影响, 并对实验结果进行了表观一级动力学拟合, OG 的降解动力学曲线与时间的变化情况如图 4 所示, 表明该反应遵循一级动力学反应规律。

当 OG 浓度从 0.050 mmol·L⁻¹ 上升到 0.100 mmol·L⁻¹ 时, 反应表观速率常数 k 分别为 0.008 82、0.009 39、0.010 55, 这是由于 GAC/PDS 体系可以提供足够的 $\text{SO}_4^{\cdot-}$ 将有机物氧化降解; 但是当浓度高于 0.100 mmol·L⁻¹ 时, 氧化降解速率呈现下降趋势, 这是因为初始浓度越高, 反应过程中生成的中间产物及最终矿化产物如 CO_3^{2-} 等自由基抑制剂浓度也越高^[25], 从而导致反应速率的下降. 假设表观速率常数 k 与不同浓度的溶液之间存在如下关系: $k = k_c c_0^a$, 根据表 1 中的初始浓度与表观速率常数的数据, 初始浓度在 0.050 ~ 0.100 mmol·L⁻¹ 之间时, 对 k 与 c_0 之间的关系曲线进行趋势模拟, 可得 $k = 5.52c_0^{0.2516}$.

3 GAC/PDS 体系氧化降解 OG 的动力学模型

GAC/PDS 体系对 OG 的降解符合一级动力学反应, 其氧化降解速率与 PDS 的投量、GAC 的投量、反应温度 T 及 OG 的初始浓度有着量的关系, 通过上述实验结果及讨论, GAC/PDS 体系降解 OG



n(PDS)/n(OG) = 20/1, [GAC] = 0.8 g·L⁻¹,
pH = 5.0, T = 298 K

图4 OG 初始浓度对氧化降解速率的影响

Fig. 4 Effects of initial concentration on oxidation degradation rate of OG

的动力学方程可用式(3)表示:

$$k = A \exp(-22163/RT) c_0^{0.2516} \cdot [\text{PDS}]^{0.0715} \cdot [\text{GAC}]^{0.6917} \quad (3)$$

将以上实验数据代入式(3), 可得出 A 平均值为 0.0146, 故 GAC 活化过硫酸钠降解 OG 的动力学方程可表示为:

$$\ln(c_t/c_0) = 0.0146 \exp(-22163/RT) c_0^{0.2516} \cdot [\text{PDS}]^{0.0715} \cdot [\text{GAC}]^{0.6917} t \quad (4)$$

从式(4)可以看出, 各因素对 OG 降解影响的顺序为 GAC 投量 > 初始浓度 > PDS 投量。

为了对该模型进行验证, 在 pH 为 5、OG 初始浓度 0.100 mmol·L⁻¹、 T 为 298 K, n(PDS)/n(OG) 为 40/1、GAC 投量为 1.0 g·L⁻¹ 时重复上述实验来验证该模型, 理论值与实际值比较结果如图 5 所示, 从中可知, 模型的理论值略低于实验值, 可能是加入的 GAC 较多的原故。

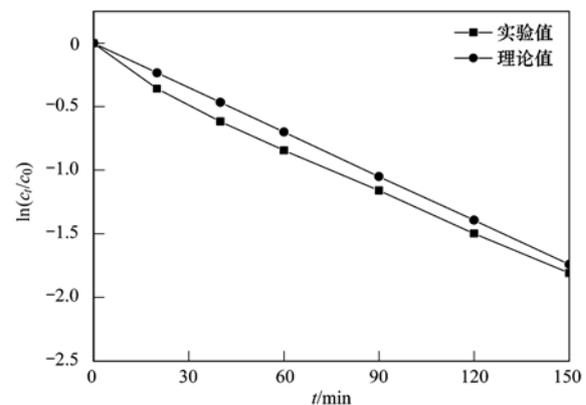
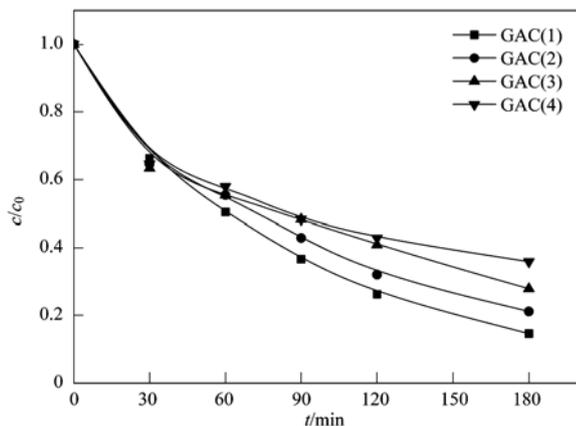


图5 理论与实验结果的比较

Fig. 5 Comparison of theoretical and experimental results

4 GAC 的重复利用

GAC 作为吸附剂和催化剂,具有重复利用的功能,固定 PDS 投加量不变,图 6 考察了 GAC 在重复使用 4 次时催化功能的变化,从中可知,随着使用次数的增多,体系对 OG 的脱色率逐渐下降:第一次使用时,反应进行 3 h, GAC/PDS 体系对 OG 的脱色率达到 85.3%;第四次使用时,反应 3 h 体系对 OG 的脱色率为 64.1%,表明 GAC 经反复使用仍有较好的催化效果,GAC 的催化性能出现少许下降的原因主要有 2 方面:①GAC 的表面被具有强氧化性的 PDS 腐蚀,再次使用时 GAC 部分失活,从而导致催化性能的下降;②重复使用之后的 GAC,多孔结构里面吸附了较多的染料,这就使得氧化剂与活性位点接触的机会减少^[26],催化效果也随之下降。



[OG] = 0.100 mmol·L⁻¹, n(PDS)/n(OG) = 20/1,
T = 298 K, pH = 5.0

图 6 活性炭重复使用对 OG 氧化降解的影响

Fig. 6 Effects of reused GAC on oxidation degradation of OG

5 结论

(1) 利用颗粒活性炭活化过硫酸盐对金橙 G 有良好的降解效果. 在溶液初始浓度 0.050 ~ 0.125 mmol·L⁻¹、pH 5.0、n(PDS)/n(OG) 为 10/1 ~ 160/1、GAC 投加量 0.1 ~ 1.6 g·L⁻¹、温度为 298 ~ 338 K 时,反应的氧化降解符合一级动力学模型,且模型值与实验值吻合良好。

(2) GAC/PDS 体系降解 OG 的活化能 ($E_a = 22.61 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$) 较低,说明该反应易于进行. 且 GAC 的反应分级数(0.6917)高于 PDS 的反应分级数(0.0715),表明 GAC 投量比 PDS 投加量对氧化降解反应的影响大。

(3) GAC 的催化功能随着重复使用次数的增加

而减小,但是仍具有较好的催化性能,重复使用 4 次对 OG 脱色率还可以达到 60% 以上。

参考文献:

- [1] Suzuki T, Timofei S, Kurunzi L, *et al.* Correlation of aerobic biodegradability of sulfonated azo dyes with the chemical structure [J]. *Chemosphere*, 2001, **45**(1): 1-9.
- [2] 李颖, 岳钦艳, 高宝玉, 等. 活性炭纤维对活性染料的吸附动力学研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(11): 2637-2641.
- [3] Xu X R, Li X Z. Degradation of azo dye Orange G in aqueous solutions by persulfate with ferrous ion [J]. *Separation and Purification Technology*, 2010, **72**(1): 105-111.
- [4] Huang K C, Couttenye R A, Hoag G E. Kinetics of heat-assisted persulfate oxidation of methyl tert-butyl ether (MTBE) [J]. *Chemosphere*, 2002, **49**(4): 413-420.
- [5] Waldemer R H, Tratnyek P G, Johnson R L, *et al.* Oxidation of chlorinated ethenes by heat-activated persulfate: Kinetics and products [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(3): 1010-1015.
- [6] House D A. Kinetics and mechanism of oxidations by peroxydisulfate [J]. *Chemical Reviews*, 1962, **62**(3): 185-203.
- [7] Huang K C, Zhao Z Q, Hoag G E, *et al.* Degradation of volatile organic compounds with thermally activated persulfate oxidation [J]. *Chemosphere*, 2005, **61**(4): 551-560.
- [8] Oh S Y, Kim H W, Park J M, *et al.* Oxidation of polyvinyl alcohol by persulfate activated with heat, Fe²⁺, and zero-valent iron [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **168**(1): 346-351.
- [9] Maurino V, Calza P, Minero C, *et al.* Light-assisted 1, 4-dioxane degradation [J]. *Chemosphere*, 1997, **35**(11): 2675-2688.
- [10] Lau T K, Chu W, Graham N J D. The aqueous degradation of butylated hydroxyanisole by UV/S₂O₈²⁻: study of reaction mechanisms via dimerization and mineralization [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, **41**(2): 613-619.
- [11] Salari D, Daneshvar N, Niaei A, *et al.* The photo-oxidative destruction of C. I. Basic Yellow 2 using UV/S₂O₈²⁻ process in an annular photoreactor [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2008, **43**(6): 657-663.
- [12] Sánchez M L de L, Macías-García A, Díaz-Díez M A, *et al.* Preparation of activated carbons previously treated with hydrogen peroxide: study of their porous texture [J]. *Applied Surface Science*, 2006, **252**(17): 5984-5987.
- [13] Szymański G S. Catalytic destruction of methyl tertiary butyl ether (MTBE) using oxidized carbon [J]. *Catalysis Today*, 2008, **137**(2-4): 460-465.
- [14] Kimura M, Miyamoto I. Discovery of the activated-carbon radical AC⁺ and the novel oxidation-reactions comprising the AC/AC⁺ cycle as a catalyst in an aqueous solution [J]. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 1994, **67**(9): 2357-2360.
- [15] Liang C J, Lin Y T, Shin W H. Persulfate regeneration of trichloroethylene spent activated carbon [J]. *Journal of*

- Hazardous Materials, 2009, **168**(1): 187-192.
- [16] Yang S Y, Wang P, Yang X, *et al.* A novel advanced oxidation process to degrade organic pollutants in wastewater: microwave-activated persulfate oxidation [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, **21**(9): 1175-1180.
- [17] Yang S Y, Yang X, Shao X T, *et al.* Activated carbon catalyzed persulfate oxidation of Azo dye acid orange 7 at ambient temperature [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **186**(1): 659-666.
- [18] Hori H, Yamamoto A, Hayakawa E, *et al.* Efficient decomposition of environmentally persistent perfluorocarboxylic acids by use of persulfate as a photochemical oxidant [J]. Environmental Science & Technology, 2005, **39**(7): 2383-2388.
- [19] Chu W, Lau T K, Fung S C. Effects of combined and sequential addition of dual oxidants ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$) on the aqueous carbofuran photodegradation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, **54**(26): 10047-10052.
- [20] Yu X Y, Bao Z C, Barker J R. Free radical reactions involving Cl^- , Cl_2^- , and SO_4^- in the 248 nm photolysis of aqueous solutions containing $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ and Cl^- [J]. The Journal of Physical Chemistry A, 2004, **108**(2): 295-308.
- [21] 杨鑫, 杨世迎, 王雷雷, 等. 活性炭催化过二硫酸盐降解水中 A07 [J]. 环境科学, 2011, **32**(7): 1960-1966.
- [22] Tsitonaki A, Smets B F, Bjerg P L. Effects of heat-activated persulfate oxidation on soil microorganisms [J]. Water Research, 2008, **42**(4-5): 1013-1022.
- [23] 杨世迎, 邵雪婷, 韩强, 等. 活性炭/过一硫酸盐降解水中金橙 II: 活性炭的循环利用 [A]. 见: 第六届全国环境化学大会暨环境科学仪器与分析仪器展览会摘要集 [C]. 上海, 2011.
- [24] 杨鑫, 杨世迎, 邵雪婷, 等. 活性炭催化过氧化物高级氧化技术降解水中有机污染物 [J]. 化学进展, 2010, **22**(10): 2071-2078.
- [25] 祁巧艳, 王晓蕾, 孙剑辉, 等. Sn(IV) 掺杂纳米 TiO_2/AC 降解橙黄 G 的动力学与机理研究 [J]. 环境污染与防治, 2006, **28**(12): 908-910, 913.
- [26] Georgi A, Kopinke F D. Interaction of adsorption and catalytic reactions in water decontamination processes; Part I. Oxidation of organic contaminants with hydrogen peroxide catalyzed by activated carbon [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2005, **58**(1-2): 9-18.

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