

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431)	
《环境科学》征订启事 (2532)	
信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究

王小蓉, 吴平霄*

(华南理工大学环境科学与工程学院, 工业聚集区污染控制与生态修复教育部重点实验室, 污染控制与生态修复广东省教育厅重点实验室, 广州 510006)

摘要: 采用共沉淀法制备了 Zn/Cr 摩尔比为 1:1 ~ 5:1 的 Zn/Cr 型阴离子黏土 (Zn/Cr-LDHs), 选取 2:1 Zn/Cr-LDHs 分别在 300、400、500℃ 条件下放入马弗炉中煅烧 2 h, 制备了煅烧阴离子黏土 (Zn/Cr-LDO). 采用 X 射线衍射光谱 (XRD)、傅里叶红外光谱 (FTIR)、原子吸收法 (ASS)、比表面积测试法 (BET) 对上述制备的材料结构形态进行表征. 研究 2:1 Zn/Cr-LDHs 和 Zn/Cr-LDO 在紫外和避光条件下对活性艳橙 X-GN 的去除. 实验表明, 2:1 Zn/Cr-LDHs 的吸附效果不受紫外光照射的影响, 煅烧后形成的 Zn/Cr-LDO 在紫外光的照射下, 对活性艳橙 X-GN 的去除率是避光条件下的 2 倍, 说明煅烧后的 Zn/Cr 阴离子黏土具有光催化性能, Zn/Cr-LDO 对活性艳橙 X-GN 的去除是吸附和光催化的共同作用.

关键词: 阴离子黏土; 煅烧阴离子黏土; 表征; 活性艳橙 X-GN; 吸附; 光催化

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2432-06

Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN

WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao

(Key Laboratory of Environmental Protection and Eco-Remediation of Guangdong Regular Higher Education Institutions, Key Laboratory of Pollution Control and Ecosystem Restoration in Industry Clusters, Ministry of Education, College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Zn/Cr-LDHs with cationic ratios of 1:1 to 1:5 were prepared using the co-precipitation method. After preparation of the layered double hydroxides, 2:1 Zn/Cr-LDHs were calcined at 300, 400 and 500℃ in a Muffle furnace for 2 h. The obtained mixed oxides are also called calcined layered double hydroxides (Zn/Cr-LDO). Structures of the obtained materials were characterized by powder X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, atomic absorption spectrometry and BET analysis. Experiments were then carried out to investigate the removal of reactive brilliant orange X-GN by 2:1 Zn/Cr-LDHs and Zn/Cr-LDO under ultraviolet light and in dark conditions. The results showed that the removal capacity of 2:1 Zn/Cr-LDHs was not affected by ultraviolet light. Under the irradiation of ultraviolet light, the removal rate of reactive brilliant orange X-GN by Zn/Cr-LDO was twice as high as that in dark conditions, which demonstrated its photocatalysis property and its removal of reactive brilliant orange X-GN by the combined action of adsorption and photocatalysis.

Key words: layered double hydroxides; layered mixed oxides; characterization; reactive brilliant orange X-GN; adsorption; photocatalysis

合成染料被广泛应用于各个行业中, 如纺织业、制革业、造纸业、食品工艺、农业研究、光电化学电池、染发行业等. 染料废水由于排放量大, 成分复杂, 色度高, 毒性大, 且难生化降解而引起国内外学者的高度重视. 采用传统的处理方法如活性炭吸附法^[1,2]、臭氧氧化法^[3]、Fenton 反应^[4,5]、细菌处理法^[6,7]等, 一般存在费用高或处理过程复杂等不足, 因此, 选用高效、价格低廉且操作简单的材料去除印染废水中的染料具有重要的实践意义.

阴离子黏土 (LDHs) 又称水滑石类化合物或层状双金属氢氧化物, 是一类由带正电荷的金属氢氧化物层和层间填充可交换阴离子所构成的层柱状化

合物. LDHs 的化学组成通式为: $[M_{1-x}^{2+}M_x^{3+}(OH)_2][A_{x/n}^{n-} \cdot mH_2O]$, 其中 M^{2+} 和 M^{3+} 分别代表二价和三价金属阳离子, 下标 x 指金属元素含量的变化, A^{n-} 代表层间可交换的阴离子^[8,9]. 阴离子黏土具有碱性、层间阴离子的可交换性、热稳定性、吸附性能、结构记忆效应等性能^[10], 在催化^[11~13]、离子交换^[14]、

收稿日期: 2011-09-07; 修订日期: 2011-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41073058, 40973075); 广东省科技计划项目 (2006B36601004, 2008B30302036); 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20100172110028); 广东省自然科学基金团队项目 (9351064101000001)

作者简介: 王小蓉 (1987 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境功能材料, E-mail: xiaorong0911@163.com

* 通讯联系人, E-mail: pppxwu@scut.edu.cn

吸附分离^[15~17]、医药^[18,19]、以及功能材料^[20,21]等领域广泛应用,是近年来吸引了越来越多关注的一类新型无机功能材料。

Zn/Cr 型阴离子黏土是阴离子黏土的其中一种,由于废水中 Cr 的污染比较严重且常见,若能将其制成吸附和光催化材料,将其固定并达到污染治理的目的,其应用前景将是非常广阔的。并且, Zn/Cr-LDHs 进行煅烧后形成的金属氧化物均具有光敏性,因此,可初步断定煅烧后 Zn/Cr-LDHs (即 Zn/Cr-LDO) 具有光催化性能。目前, Zn/Cr-LDHs 的制备和应用在国内外外的研究中均鲜有报道。为了推广 Zn/Cr 型阴离子黏土的应用以及开发阴离子黏土的新功能,例如光催化功能,同时为废水中的 Cr 的再利用奠定基础,因此本研究选取活性艳橙 X-GN 为目标污染物,利用 Zn/Cr-LDHs 和 Zn/Cr-LDO 对其进行吸附和光催化降解。

1 材料与方法

1.1 实验仪器与试剂

仪器:电子天平、精密酸度计、水浴恒温振荡器、离心机、电热恒温鼓风干燥器、X 射线衍射分析仪、傅里叶变换红外谱仪、紫外可见分光光度计、原子吸收分光光度计、0.45 μm 滤膜。

试剂:氢氧化钠 (NaOH, AR)、硝酸锌 [Zn(NO₃)₂·6H₂O, AR]、硝酸铬 [Cr(NO₃)₃·9H₂O, AR]、无水碳酸钠 (Na₂CO₃, AR); 去离子水; 活性艳橙 X-GN (AR), 结构式如图 1 所示, 分子式为 C₁₉H₉O₁₀N₆S₃Cl₂Na₃。

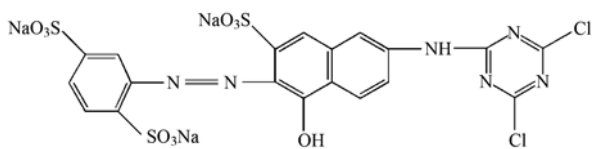


图 1 活性艳橙 X-GN 结构式

Fig. 1 Chemical structure of reactive brilliant orange X-GN

1.2 Zn/Cr 型阴离子黏土的制备

采用共沉淀法制备 Zn/Cr-LDHs^[22,23]。将 Zn(NO₃)₂·6H₂O 和 Cr(NO₃)₃·6H₂O 加入 60 mL 去离子水中, 记为溶液 A。其中, 锌铬摩尔比分别为 1:1、2:1、3:1、4:1、5:1, Zn²⁺ + Cr³⁺ = 2 mol·L⁻¹。将 3 mol·L⁻¹ NaOH 和 2.5 mol·L⁻¹ Na₂CO₃ 的混合液 (80 mL) 记为溶液 B, 将溶液 B 逐步滴加至溶液 A 中, 滴加过程中采用磁力搅拌器在 50℃ 条件下剧烈搅拌。反应完毕后, 将混合液在 60℃ 条件下老化 24 h。老化后用去离子水清洗并用离心机过滤, 重复 6

~8 次。把所得到的胶体置于烘箱中烘干, 烘干温度为 80℃。研磨并过 200 目筛, 保存备用。制得的材料分别记为 1:1 Zn/Cr-LDHs、2:1 Zn/Cr-LDHs、3:1 Zn/Cr-LDHs、4:1 Zn/Cr-LDHs、5:1 Zn/Cr-LDHs。

将烘干后的 2:1 Zn/Cr-LDHs 样品分别在 300、400、500℃ 条件下煅烧 2 h。所得样品分别记为 300 Zn/Cr-LDO、400 Zn/Cr-LDO、500 Zn/Cr-LDO。

1.3 材料表征

实验样品采用日本理学公司出产的 Rigaku D/max-III 衍射光谱仪进行 X 射线衍射分析 (XRD) 表征, Cu 靶, Kα 射线源, 操作电压和电流分别为 40 kV 和 40 mA。红外光谱分析 (FTIR) 采用美国 PerkinElmer 公司出产的 1725X 傅立叶红外光谱仪进行扫描, 样品采用 KBr 压片法制成, 用电子分析天平称取样品和已烘干的溴化钾置于玛瑙研钵中研磨 10 min, 然后在固体压片机上压成小圆片, 扫描范围在 400 ~ 4 000 cm⁻¹。采用美国 Micromeritics 公司出产的 Gemini2360 比表面积与孔径测定仪测定材料比表面积, 110℃ 时脱气时间为 8 h。采用日本岛津公司出产的日立 Z-2000 塞曼原子吸收分光光度计测定材料中的锌铬比, 用空气-乙炔火焰, 火焰高度 7.5 mm 电压 40 kV 电流 30 mA, 光谱通带 2.6 nm, 空气压力 0.16 MPa, 乙炔压力 0.03 MPa。

1.4 吸附及光催化实验方法

分别称取 Zn/Cr-LDHs 与 Zn/Cr-LDO 0.5 g 各 2 份, 置于 500 mL 烧杯中, 分别加入 300 mg·L⁻¹ 的活性艳橙 X-GN 溶液 250 mL, 调节 pH 为 7.0, 摇匀后于 25℃ 条件下反应。上述反应体系分为 2 组, 一组避光, 一组在紫外光条件下反应。同时在紫外光条件下做空白实验。计时取样。用一次性针筒取样, 经 0.45 μm 滤膜过滤后, 采用日本岛津公司出产的 UV-2450 紫外分光光度计测定其吸光度, 计算活性艳橙 X-GN 溶液的剩余浓度。

2 结果与讨论

2.1 材料表征结果

2.1.1 不同 Zn/Cr 比的 XRD 分析

图 2 为样品的 XRD 图谱。样品中 Zn/Cr 摩尔比为 1:1 时, XRD 特征衍射峰强度不高、峰形不尖锐, 说明 1:1 Zn/Cr-LDHs 结晶度低。当 Zn/Cr 摩尔比增加至 2:1 时, 形成了尖锐的 003、006、012、015、018、110、116 晶面序列特征衍射峰, 表明生成的固体具有 LDHs 结构^[24]。相比 1:1 Zn/Cr-LDHs 的 XRD 图中衍射峰的强度明显增强, 由此可知, 2:1 Zn/Cr-LDHs 形

成的晶体结构良好,具有典型的阴离子结构.当 Zn/Cr 摩尔比增加至 3:1 时,012、015 面的 2 个特征衍射峰消失,被新出现的衍射峰取代,这些峰的位置分别在 31.7°、34.3°、36.2°、38.7° 附近出现.同时,在 47.5°、56.5°、62.8°、67.8° 附近出现了新的衍射峰,这些新出现的峰是由于在制备过程中 Zn 过量而出现的 ZnO 和 ZnCr₂O₄ 的衍射峰^[25].当 Zn/Cr 摩尔比增加至 4:1 时,阴离子黏土晶体结构峰强度减弱,ZnO 和 ZnCr₂O₄ 的衍射峰强度增加,这是由于 Zn 的增加引起的.当 Zn/Cr 摩尔比增加至 5:1 时,由于材料中的锌含量进一步增加,导致 LDHs 的特征衍射峰进一步减弱,而新出现的 ZnO 和 ZnCr₂O₄ 的衍射峰强度进一步增加.由此可知,本实验中制备铬锌阴离子黏土的最佳 Zn/Cr 配比为 2:1.

Zn/Cr-LDHs 的晶胞参数如表 1,材料中锌和铬的比例由 1:1 增加至 2:1 时,d₀₀₃ 值随之增加,这是由于在形成阴离子黏土的过程中,铬离子同晶取代锌离子的数量增加导致的.二价锌离子的离子半径为 74 pm,三价铬离子的离子半径为 61.5 pm.半径较大的锌离子被铬离子取代后,导致金属板变薄,从而使层间距略有增加.材料中锌和铬的比例持续增加时,铬离子取代量达到饱和,层间距逐渐趋于平稳.

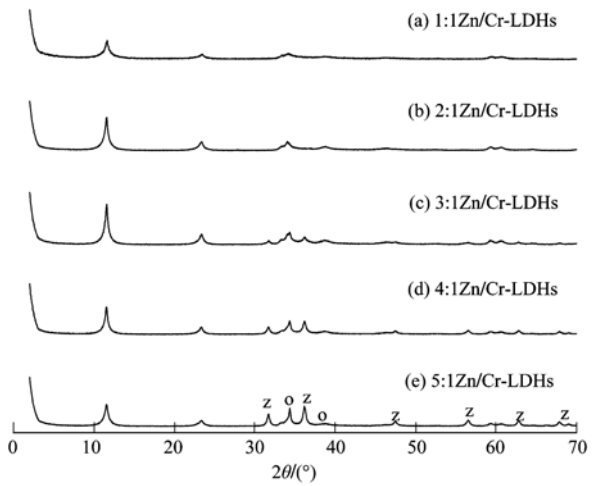
表 1 Zn/Cr-LDHs 的结构参数

Table 1 Structure parameters of the Zn/Cr-LDHs

Zn/Cr-LDHs	d ₀₀₃ /nm	d ₀₀₆ /nm	d ₁₁₀ /nm	层间距/nm	金属间距/nm
1:1	0.761	0.379	0.156	2.283	0.312
2:1	0.765	0.380	0.156	2.295	0.312
3:1	0.764	0.380	0.156	2.292	0.312
4:1	0.766	0.381	0.156	2.298	0.312
5:1	0.765	0.381	0.156	2.295	0.312

2.1.2 Zn/Cr-LDHs 和 Zn/Cr-LDO 的 XRD 分析

由于阴离子黏土具有再记忆的功能,煅烧后在水溶液中可重新形成具有阴离子黏土晶体结构.阴离子黏土在 300、400、500℃ 条件下煅烧后的 XRD 图如图 3.煅烧前,2:1 Zn/Cr-LDHs 在低角度具有尖锐的特征衍射峰,晶体形态结构良好.300℃ 煅烧后,2:1 Zn/Cr-LDHs 的晶体结构坍塌,基本没有衍射峰出现;煅烧温度为 400℃,亚稳态的金属氧化物逐渐转变成 ZnO 和 ZnCr₂O₄.但形成的 ZnO 晶体和 ZnCr₂O₄ 尖晶体晶形不明显;随着煅烧温度的增加,在高角度出现较多新衍射峰,这是由于形成了较为稳定的 ZnO 和 ZnCr₂O₄ 晶体的缘故.由于 ZnO 具有较好的光敏性^[26,27],因此选择煅烧温度为 500℃ 的 Zn/Cr-LDO 光催化材料为宜.



z 为 ZnO, o 为 ZnCr₂O₄,下同

图 2 Zn/Cr-LDHs 粉末 X 射线衍射图

Fig. 2 XRD patterns of the Zn/Cr-LDHs

2d₁₁₀是指相邻六方晶胞金属的距离,由 d₁₁₀ 值可以反映出金属板中原子的排列密度,排列密度与金属离子之间的距离呈负相关.材料中锌和铬的比例由 1:1 增加至 5:1 时,金属间距均无变化.可见,材料制备过程的金属配比与金属板中的原子排列密度无关.

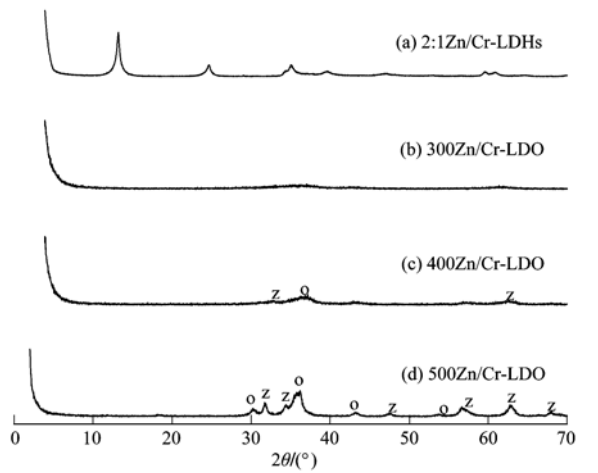


图 3 Zn/Cr-LDO 粉末 X 射线衍射图

Fig. 3 XRD patterns of the Zn/Cr-LDHs

2.1.3 FTIR 分析

Zn/Cr 型阴离子黏土 FTIR 图如图 4. 在 $3\ 000\sim 3\ 400\text{ cm}^{-1}$ 附近出现较强的吸收带, 这是由阴离子黏土的层状结构中的 OH^- 伸缩振动和层间水引起的. 在 $1\ 650\text{ cm}^{-1}$ 附近出现水-OH 的弯曲振动带, 是由于阴离子黏土表面吸附水和层间空隙插入了一定数量的水分子引起的^[28]. $1\ 557\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰是 N—H 键的峰, 说明层间有部分的 NO_3^- 进入. 在 $1\ 358\text{ cm}^{-1}$ 附近的吸收峰是由 CO_3^{2-} 中的 C—O 不对称伸缩振动引起^[29]. 低于 $1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 的峰都是由金属板层晶格吸收引起的. 其中, 787 cm^{-1} 附近的峰是 C—O—C 的振动; 在 572 、 516 、 418 cm^{-1} 附近的峰是由 M—O 与 O—M—O 的伸缩振动和弯曲振动引起的^[30, 31]. 锌铬比例对层间的阴离子官能团几乎没有影响.

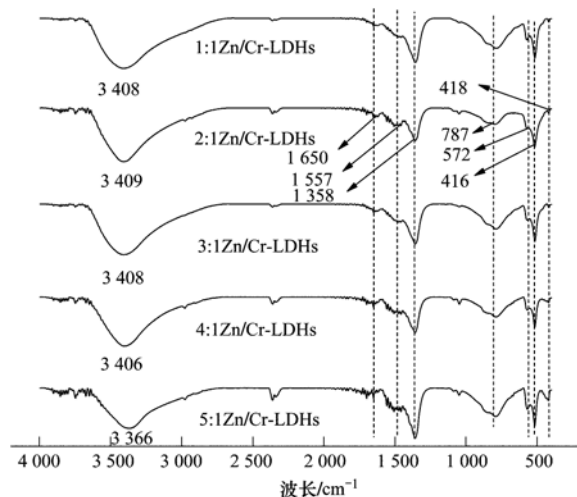


图 4 Zn/Cr-LDHs 粉末傅里叶红外光谱图

Fig. 4 FTIR patterns of the Zn/Cr-LDHs

2.1.4 AAS 及 BET 分析

1:1 Zn/Cr-LDHs、2:1 Zn/Cr-LDHs、3:1 Zn/Cr-LDHs、4:1 Zn/Cr-LDHs、5:1 Zn/Cr-LDHs 中锌铬摩尔比分别为 0.90、1.90、2.73、3.50、4.06. 所得比例均小于原设定比例, 这主要是材料制备过程中的损失造成的.

1:1 Zn/Cr-LDHs、2:1 Zn/Cr-LDHs、3:1 Zn/Cr-LDHs、4:1 Zn/Cr-LDHs、5:1 Zn/Cr-LDHs 的 BET 比表面积分别为 $167.71\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $109.42\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $90.20\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $68.48\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $70.39\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. 比表面积越大, 可提供更多的吸附点, 从而促进吸附.

2.2 吸附和光催化实验结果

2.2.1 Zn/Cr-LDHs 和 Zn/Cr-LDO 的吸附及光催化研究

2:1 Zn/Cr-LDHs 在 500°C 条件下煅烧 2 h 后, 将其应用于活性艳橙 X-GN 的去除研究中, 实验分别在避光和紫外光照射条件下进行. 煅烧前后 Zn/Cr 型阴离子黏土吸附及光催化去除活性艳橙 X-GN 随时间变化如图 5, 煅烧前, 阴离子黏土在避光和紫外光照射条件下对活性艳橙 X-GN 的降解率几乎没有变化, 可见, Zn/Cr-LDHs 在紫外光条件下对活性艳橙 X-GN 无光催化性能, Zn/Cr-LDHs 对活性艳橙 X-GN 的降解是吸附作用. 煅烧后, 在避光条件下, Zn/Cr-LDO 的吸附性能较 Zn/Cr-LDHs 低. 然而, 在紫外光条件下, 对活性艳橙 X-GN 的去除率明显增加, 这是由于煅烧后生成的氧化锌、氧化铬光催化降解活性艳橙 X-GN 的缘故. 在避光和紫外条件下, Zn/Cr-LDO 对活性艳橙 X-GN 的去除率分别为 27.33% 和 56.10%. Zn/Cr-LDO 在紫外光的照射下, 对活性艳橙 X-GN 的去除率是避光条件下的 2 倍, 且在 48 h 后仍未达到降解平衡, 说明 Zn/Cr-LDO 具有光催化性能且有较强的持续降解能力, Zn/Cr-LDO 对活性艳橙 X-GN 的去除是吸附和光催化的共同作用.

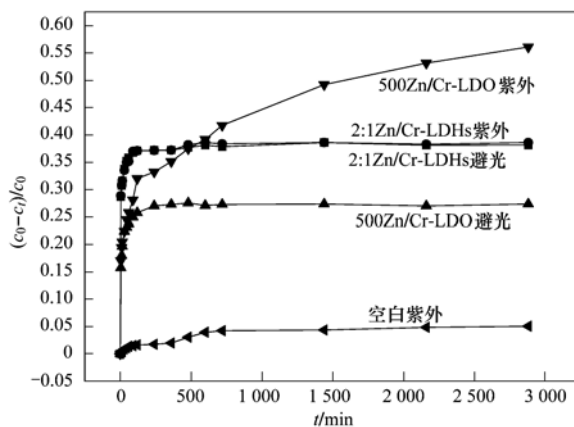


图 5 煅烧前后 Zn/Cr 型阴离子黏土吸附及光催化去除活性艳橙 X-GN 随时间变化

Fig. 5 Adsorption and photocatalysis of reactive brilliant orange X-GN monitored in removal rates vs treatment time with the Zn/Cr-LDHs and Zn/Cr-LDO

2.2.2 吸附和光催化后的 XRD 分析

2:1 Zn/Cr-LDHs 和 500 Zn/Cr-LDO 与活性艳橙 X-GN 反应前后 XRD 图如图 6, 其中, (a) 为 2:1 Zn/Cr-LDHs 原土; (b) 为吸附活性艳橙 X-GN 后 2:1 Zn/Cr-LDHs; (c) 为 500 Zn/Cr-LDO 原土; (d) 为吸附活性艳橙 X-GN 后 500 Zn/Cr-LDO; (e) 为光催化后的 500 Zn/Cr-LDO. 由图 6 可知, 2:1 Zn/Cr-LDHs 吸附活性艳橙 X-GN 后, 层间距由 2.292

nm 减少到 2.283 nm, 金属板块之间的距离未发生变化, 仍为 0.312 nm. 这可能是由于活性艳橙 X-GN 只是部分进入阴离子层间. 煅烧后形成的 500 Zn/Cr-LDO 结构坍塌, 吸附了活性艳橙 X-GN 后, 结构坍塌的 LDO 重新形成了阴离子黏土的结构, 但是新形成的 003、006、009 等衍射峰强度较弱, 不能很好地形成阴离子黏土的六方晶体结构, 这也是煅烧后 Zn/Cr 型阴离子黏土吸附性能低于 2:1 Zn/Cr-LDHs 的原因. 吸附了活性艳橙 X-GN 后原土中的 ZnO 相消失. 在紫外光条件下, 煅烧后形成的 500 Zn/Cr-LDO 与活性艳橙 X-GN 反应后亦重新形成了 LDHs 的结构, ZnO 和 ZnCr_2O_4 晶体同时存在, 这可能是受到紫外光照射影响的缘故. 因此, 500 Zn/Cr-LDO 与活性艳橙 X-GN 发生反应后, 溶液中的固体物质为 Zn/Cr-LDHs、ZnO 和 ZnCr_2O_4 的混合物.

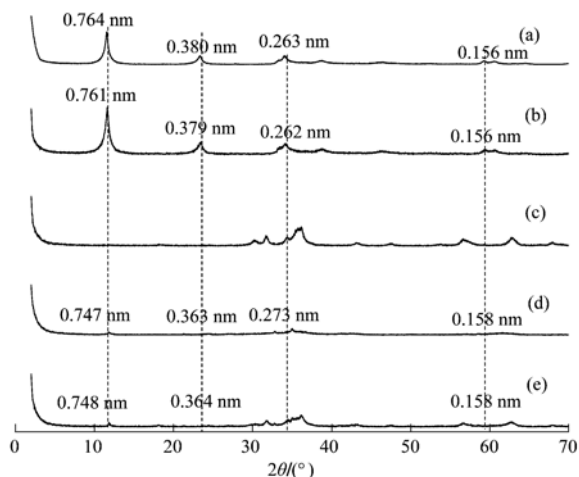


图6 Zn/Cr-LDHs 和 Zn/Cr-LDO 与活性艳橙 X-GN 反应前后干燥样品 XRD 图

Fig. 6 XRD patterns of the Zn/Cr-LDHs and Zn/Cr-LDO before and after reactive dye removal

3 结论

(1) 2:1 Zn/Cr-LDHs 晶型结构较好, Zn/Cr-LDHs 在 300℃ 条件下煅烧后结构完全坍塌, 在 500℃ 条件下煅烧后, 形成 ZnO 和 ZnCr_2O_4 晶体.

(2) 2:1 Zn/Cr-LDHs 的吸附效果不受紫外光照射的影响. 煅烧后形成的 Zn/Cr-LDO 在紫外光的照射下, 对活性艳橙 X-GN 的去除率是避光条件下的 2 倍. 说明煅烧后的 Zn/Cr 阴离子黏土具有光催化性能, Zn/Cr-LDO 对活性艳橙 X-GN 的去除是吸附和光催化的共同作用.

(3) 活性艳橙分子并不能全部进入阴离子黏土的层间, 有部分进入; 煅烧后形成的 Zn/Cr-LDO 在

吸附了活性艳橙 X-GN 后可重新形成阴离子黏土的六方晶体结构, 但是结晶度低、结构松散. 光催化后条件下, Zn/Cr-LDO 仍可重新形成 LDHs 的结构, 但是仍保留了 ZnO 相的结构.

参考文献:

- [1] Rodríguez A, García J, Ovejero G, *et al.* Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbon from aqueous solutions: equilibrium and kinetics [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **172**(2-3): 1311-1320.
- [2] 李坤权, 郑正, 蒋剑春, 等. 铅在棉秆基活性炭上的吸附动力学与热力学[J]. *环境科学*, 2010, **31**(5): 1402-1408.
- [3] Ruan X C, Liu M Y, Zeng Q F, *et al.* Degradation and decolorization of reactive red X-3B aqueous solution by ozone integrated with internal micro-electrolysis [J]. *Separation and Purification Technology*, 2010, **74**(2): 195-201.
- [4] Chen Q Q, Wu P X, Li Y Y, *et al.* Heterogeneous photo-Fenton photodegradation of reactive brilliant orange X-GN over iron-pillared montmorillonite under visible irradiation [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **168**(2-3): 901-908.
- [5] 李坤林, 陈武强, 李小婷, 等. UV/Si-FeOOH/H₂O₂ 氧化降解水中邻苯二甲酸二甲酯[J]. *环境科学*, 2010, **31**(9): 2075-2079.
- [6] Stolz A. Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes [J]. *Applied Microbiological and Biotechnology*, 2001, **56**(1-2): 69-80.
- [7] 郑慧, 王兴祖, 孙德智. 厌氧光生物转盘-好氧生物膜处理偶氮染料废水[J]. *工业水处理*, 2009, **29**(1): 49-52.
- [8] Hibino T, Ohya H. Synthesis of crystalline layered double hydroxides: precipitation by using urea hydrolysis and subsequent hydrothermal reactions in aqueous solutions [J]. *Applied Clay Science*, 2009, **45**(3): 123-132.
- [9] 陈天虎, 徐惠芳, 鲁安怀, 等. 凹凸棒石酸活化废液制备 LDH 实验研究 I: 合成方法和表征[J]. *矿物学报*, 2003, **23**(3): 199-204.
- [10] Del Hoyo C. Layered double hydroxides and human health: an overview [J]. *Applied Clay Science*, 2007, **36**(1-3): 103-121.
- [11] Valente J S, Tzompantzi F, Prince J. Highly efficient photocatalytic elimination of phenol and chlorinated phenols by CeO₂/MgAl layered double hydroxides [J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2011, **102**(1-2): 276-285.
- [12] Guo Y H, Li D F, Hu C W, *et al.* Preparation and photocatalytic behavior of Zn/Al/W (Mn) mixed oxides via polyoxometalates intercalated layered double hydroxides [J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2002, **56**(2): 153-162.
- [13] Kishore D, Kannan S. Catalytic isomerization of estragole to anethole over hydrotalcites and HT-like compounds [J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2006, **244**(1-2): 83-92.
- [14] Bouraada M, Lafjah M, Ouali M S, *et al.* Basic dye removal from aqueous solutions by dodecylsulfate-and dodecyl benzene sulfonate-intercalated hydrotalcite [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **153**(3): 911-918.

- [15] Goswamee R L, Sengupta P, Bhattacharyya K G, *et al.* Adsorption of Cr (VI) in layered double hydroxides[J]. *Applied Clay Science*, 1998, **13**(1): 21-34.
- [16] Alekseeva T, Prevot V, Sancelme M, *et al.* Enhancing atrazine biodegradation by *Pseudomonas* sp. strain ADP adsorption to Layered Double Hydroxide bionanocomposites[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **191**(1-3): 126-135.
- [17] Park M, Choi C L, Seo Y J, *et al.* Reactions of Cu₂ + and Pb₂ + with Mg/Al layered double hydroxide [J]. *Applied Clay Science*, 2007, **37**(1-2): 143-148.
- [18] Choy J H, Choi S J, Oh J M, *et al.* Clay minerals and layered double hydroxides for novel biological applications[J]. *Applied Clay Science*, 2007, **36**(1-3): 122-132.
- [19] Ladewig K, Niebert M, Xu Z P, *et al.* Efficient siRNA delivery to mammalian cells using layered double hydroxide nanoparticles [J]. *Biomaterials*, 2010, **31**(7): 1821-1829.
- [20] Perioli L, Ambrogio V, Rossi C, *et al.* Use of anionic clays for photoprotection and sunscreen photostability: hydrotalcites and phenylbenzimidazole sulfonic acid [J]. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2006, **67**(5-6): 1079-1083.
- [21] Sun W, He Q, Lu L, *et al.* Synthesis and properties of layered double hydroxides intercalated with cinnamic acid series organic UV ray absorbents[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2008, **107**(2-3): 261-265.
- [22] Silva C G, Bouizi Y, Fornés V, *et al.* Layered double hydroxides as highly efficient photocatalysts for visible light oxygen generation from water [J]. *Journal of American Chemical Society*, 2009, **131**(38): 13833-13839.
- [23] Rojas R, Barriga C, De Pauli C P, *et al.* Influence of carbonate intercalation in the surface-charging behavior of Zn-Cr layered double hydroxides[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2010, **119**(1-2): 303-308.
- [24] Prinetto F, Ghiotti G, Graffin P, *et al.* Synthesis and characterization of sol-gel Mg/Al and Ni/Al layered double hydroxides and comparison with co-precipitated samples [J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2000, **39**(1-2): 229-247.
- [25] Hong X L, Ren S Z. Selective hydrogen production from methanol oxidative steam reforming over Zn-Cr catalysts with or without Cu loading [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, **33**(2): 700-708.
- [26] 郑爽, 李春萍. 一维纳米氧化锌的制备及光学性质的研究进展[J]. *材料导报*, 2010, **24**(94-97): 33-37.
- [27] 蒋建, 胡小艳, 黄新堂. 铝表面 ZnO/Zn-Al LDH 微米-纳米结构及其超级疏水性能[J]. *无机化学学报*, 2007, **23**(10): 1781-1783.
- [28] Saber O, Tagaya H. Preparation and intercalation reactions of nano-structural materials, Zn-Al-Ti LDH [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2008, **108**(2-3): 449-455.
- [29] Saiah F B D, Su B L, Bettahar N. Nickel-iron layered double hydroxide (LDH): Textural properties upon hydrothermal treatments and application on dye sorption [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **165**(1-3): 206-217.
- [30] Coronado E, Martí-Gastaldo C, Navarro-Moratalla E, *et al.* Intercalation of $[M(ox)_3]^{3-}$ ($M = Cr, Rh$) complexes into $Ni^{II}Fe^{III}$ -LDH[J]. *Applied Clay Science*, 2010, **48**(1-2): 228-234.
- [31] Del Arco M, Gutierrez S, Martin C, *et al.* Intercalation of $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ complex in Mg, Al layered double hydroxides [J]. *Inorganic Chemistry*, 2003, **42**(13): 4232-4240.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人