

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

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

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岍璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSC _s)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能

王秀娟, 王海增*, 孙宝维, 韩文军

(中国海洋大学化学化工学院, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 以镁铝水滑石 ($\text{Mg}/\text{Al-LDH}$) 为前驱物制备了粒状镁铝复合氧化物 ($\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$), 采用 BET、XRD、SEM 和 FT-IR 方法对其结构进行了表征, 考察了这种新材料对硫氰酸根 (SCN^-) 的吸附性能。 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的比表面积和平均孔径分别为 $269.4 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 和 13.25 nm , 成型造粒保留了层状结构且无新相生成。 Freundlich 等温式和准二级动力学方程能很好地描述 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的静态吸附过程, 25°C 初始浓度为 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时静态吸附量可达 $165.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; Yoon-Nelson 模型能很好地预测 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的穿透曲线, 初始浓度 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、流速 $5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 、床层高度 10 cm 和 $\text{pH} = 6$ 时穿透点吸附量可达 $50.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 重复使用 4 次对 SCN^- 的脱除率均保持在 98% 以上, 是一种可重复利用的高效吸附剂。

关键词: 镁铝复合氧化物; 粒状; 硫氰酸根; 吸附; 穿透曲线

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3182-07

Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides

WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, HAN Wen-jun

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Granular Mg/Al mixed oxides ($\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$) was successfully synthesized by using Mg/Al layered double hydroxide ($\text{Mg}/\text{Al-LDH}$) as the precursor. Its structure was characterized by analytical methods of BET, XRD, SEM and FT-IR. Adsorption properties of thiocyanate anion (SCN^-) on this new material were also investigated. Specific surface area and average pore width of $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ are $269.4 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ and 13.25 nm respectively. Molding and granulation retains the layer structure and generates no new phase. Freundlich isotherm equation and pseudo-second-order kinetic equation can describe the static adsorption process precisely and adsorption capacity reaches $165.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ at 25°C and $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Yoon-Nelson model can predict the breakthrough curves of SCN^- on $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ precisely. The breakthrough adsorption capacity reaches $50.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ under the conditions with initial concentration is $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, flow rate is $5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, bed layer altitude is 10 cm and initial pH is 6. The removal rates of SCN^- are all above 98% after reusing four times. Consequently, $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ is a reusable and high-efficient adsorbent.

Key words: Mg/Al mixed oxides; granular; thiocyanate anion; adsorption; breakthrough curve

硫氰酸盐作为重要的化工原料, 主要用于合成树脂、染料及电镀等领域, 工业废水中的硫氰酸根 (SCN^-) 毒性很大, 经氯化后产生毒性很大的氯化氰。目前处理含 SCN^- 废水的方法主要有: 吸附法^[1]、阴离子交换法^[2]和液-液萃取法^[3]等。阴离子交换树脂不耐酸碱对溶液 pH 要求较高且价格昂贵, 液-液萃取法使用过程用到的有机物易对环境造成二次污染, 而吸附法简单方便, 无二次污染, 广泛应用于工业废水的治理。

$\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 是一种重要的层状含镁功能材料^[4,5], 具有独特的结构和性能, 已经被深入广泛地研究^[6~9]。实际应用的吸附剂往往需要成型造粒, Asakura 等^[10]在低于结晶水脱除温度下将含水率 < 70% 的类水滑石物质干燥, 获得了粒径为 $> 0.24 \text{ mm}$ 的类水滑石颗粒物。本研究以 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 为前驱物, 制备了粒状镁铝复合氧化物^[11,12]并进行了结构表征, 考察了这种新型吸附材料对 SCN^- 的静态

和动态吸附性能, 以期为其在环保中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

乙酸镁、硅酸钠、硝酸铁、硫氰酸钾、盐酸、氨水等均为分析纯(上海埃彼化学试剂有限公司), 镁铝水滑石(实验室自制, 镁铝摩尔比为 3:1)和二次去离子水。

TBL-2 催化剂成型机(天大北洋化工实验设备有限公司); KSS-1400 $^\circ\text{C}$ 高温节能管式炉(洛阳市永泰实验电炉厂); BT100-2J 蠕动泵(保定兰格恒流

收稿日期: 2011-11-22; 修订日期: 2012-01-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAB03A11-1); 教育部博士点专项基金项目(20090132110009)

作者简介: 王秀娟(1983~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制和镁资源综合利用, E-mail: wangxiujuan0613@163.com

* 通讯联系人, E-mail: haizwang@ouc.edu.cn

泵有限公司); Unico 2000 分光光度计(上海尚阔仪器技术有限公司); ASAP2020 型比表面及孔隙度分析仪(美国麦克公司); D8ADVANCE 型 X 射线粉末衍射仪(德国 Bruker 公司); S-4800 冷场发射扫描电子显微镜(日立高新技术公司); Tensor 27 傅立叶红外光谱仪(德国布鲁克光谱仪器公司)。

1.2 粒状镁铝复合氧化物的制备

将一定量 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 和 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 加到 $\text{Mg}(\text{Ac})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶液中,固液比为 1:10,调节 $\text{pH} = 10$,强力搅拌后离心分离,烘干至能成团,用催化剂成型机成型并烘干,记作 $\text{M-Mg}/\text{Al-LDH}$, 450°C 焙烧 4 h,破碎过筛,选取 20 ~ 40 目的样品,记作 $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 。

1.3 镁铝摩尔比及零电荷点的测定

称取 2.0 g $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 溶解于 20 mL $\text{HCl}(1:1)$ 中,过滤洗涤,将滤液移入 250 mL 容量瓶中,稀释至刻度。用滴定法测定镁铝含量,计算其摩尔比。

将 0.1 g $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 分别加入到一系列不同 pH 值的 NaCl 的水溶液中,其浓度分别为 0.002、0.02 和 0.2 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,反应平衡后测定溶液的 pH 值,反应前后 pH 值的变化 ΔpH 对初始 pH 值作图,当 ΔpH 为 0 时对应的初始 pH 值即为 $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 的零电荷点,记作 $\text{pH}_{\text{PZC}}^{[13,14]}$ 。

1.4 吸附实验

1.4.1 静态吸附实验

分别称取 0.1 g $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 加入到一系列 50 mL 不同浓度的 SCN^- 溶液中,25 ~ 45°C 恒温振荡至平衡,采用分光光度法测定溶液中 SCN^- 的浓度并绘制吸附等温线,初始浓度为 50 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时测定不同时刻溶液中 SCN^- 的浓度绘制吸附动力学曲线。

$$r = [(c_0 - c_e)/c_0] \times 100\% \quad (1)$$

$$q_e = V(c_0 - c_e)/m \quad (2)$$

式中, c_0 和 c_e 分别为 SCN^- 的初始浓度和平衡浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; q_e 为平衡吸附容量, $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; r 为脱除率,%; V 为溶液体积, L; m 为吸附剂的用量, g。

1.4.2 动态吸附实验

吸附柱为内径 1.2 cm,长 50 cm 的酸式滴定管,在其底部放玻璃丝团作为支撑,装入一定量的 $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$,用去离子水冲洗后,在蠕动泵带动下将不同初始浓度、流速和 pH 的 SCN^- 溶液自上而下通过固定床进行吸附,测定不同时刻流出液中 SCN^- 的浓度,规定 $c_t/c_0 = 0.1$ 时为穿透点^[15],考察初始浓度、流速、床层高度和溶液 pH 值对穿透曲线的影响。

吸附量由下述公式计算:

$$q = \frac{Qc_0 \int_0^t r\% \cdot dt}{m} \quad (3)$$

式中, Q 为流速, $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$; t 为吸附时间, h; m 为 $\text{G-Mg}_x\text{AlO}_y$ 的质量, g。

2 结果与讨论

2.1 镁铝摩尔比及零电荷点的测定

分析测得改性成型前后镁铝摩尔比由 3:1 增至 3.3:1,因此该粒状镁铝复合氧化物的结构式为 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 。这是因为改性成型时加入的 $\text{Mg}(\text{Ac})_2$ 和高温分解后生成的 MgO 留在板层,使镁含量增加,碱性增强。

样品的表面碱性越强, pH_{PZC} 值越大,因此 pH_{PZC} 值方便地体现了样品的碱性强弱。由图 1 可知, $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 和 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的不同 NaCl 浓度曲线间有共同的交点,对应的 pH_{PZC} 值分别为 8.63 和 10.30,表明 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 比 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 的表面碱性强,与镁铝摩尔比的测定结果一致。

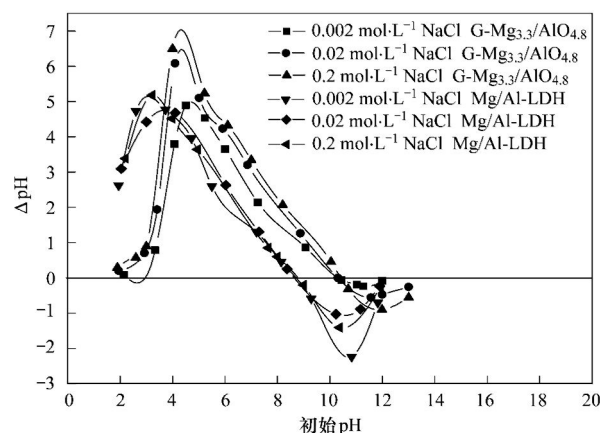


图1 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 和 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的零电荷点

Fig. 1 pH_{PZC} of $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ and $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$

2.2 BET 分析

$\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 与 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的 N_2 吸附/脱附等温线和孔径微分分布曲线如图 2 所示, BET 参数见表 1。 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 与 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 对 N_2 的吸附/脱附等温线均属于 V 型^[16], A 类滞后环^[17]。在 p/p_0 较低时,等温线凸向相对压力轴,反映了 N_2 与 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的表面作用较弱,随着 p/p_0 上升到与该孔结构对应值时,吸附质在中孔内发生毛细凝聚现象,出现滞后环,此时吸附和脱附曲线较陡且两部分几乎平行,发生凝聚和脱附的相对压力比较居中,表明孔径分布较窄,属于典型的两端开口圆柱孔。

吸附量最终达到极限值,且 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 极限吸附量明显大于 $Mg/Al-LDH$, $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的比表面积由改性成型前的 $96.96 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 提高到 $269.4 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. $Mg/Al-LDH$ 与 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的孔结构主要

分布在中孔范围, $M-Mg/Al-LDH$ 中 COO^- 和氨水在高温时分解产生 CO_2 和 NH_3 , 使中孔数目增多, 比表面积增大, 成型操作使样品更加致密, 粒间大孔减少, 平均孔径减小.

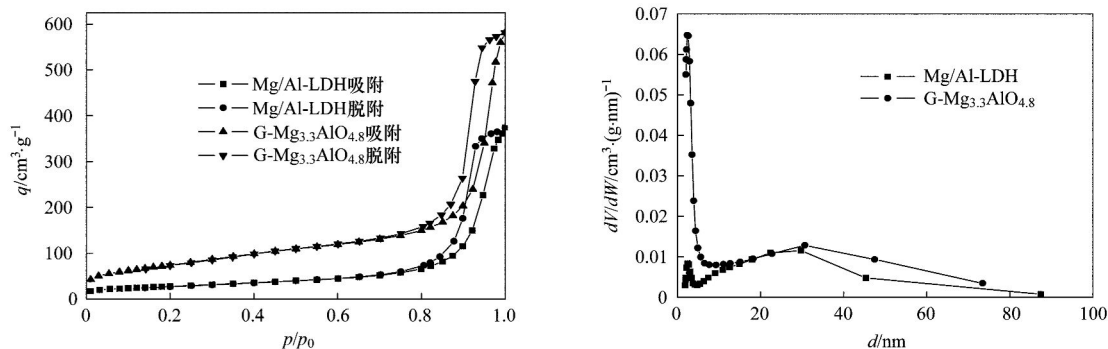


图2 $Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的 N_2 吸附/脱附等温线和孔径微分分布曲线

Fig. 2 Adsorption/desorption isotherms and pore diameter differential distribution curves of $Mg/Al-LDH$ and $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$

表1 $Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的 BET 参数

Table 1 BET parameters of $Mg/Al-LDH$ and $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$

样品	比表面积 $/\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	平均孔径 $/\text{nm}$	平均孔容 $/\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$
$Mg/Al-LDH$	96.96	21.18	0.51
$G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$	269.4	13.25	0.73

2.3 XRD 分析

$Mg/Al-LDH$ 、 $M-Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的 XRD 谱图如图 3 所示. $Mg/Al-LDH$ 和 $M-Mg/Al-LDH$ 的各衍射峰尖且窄, 基线平稳, 峰形相似, $M-Mg/Al-LDH$ 峰强度稍有降低, 说明改性成型后保留了原有的层状结构且无新相生成, 改性组分与 $Mg/Al-LDH$ 是以化学方式结合并非简单的物理混合. $Mg/Al-LDH$ 和 $M-Mg/Al-LDH$ 的 d_{003} 衍射峰分别出现在 11.40° 和 11.35° , 层间距为 0.776 nm 和 0.782 nm , 表明 COO^- 进入了层间使层间距增大, 这与镁铝摩尔比的测定结果一致, 当镁含量增加时, 层板电荷密度减小, 弱化了层板与层间阴离子的作用, 故层间距增大. $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的层状结构并没有完全消失, 只是有序度稍有下降^[18], 在 2θ 为 42° 和 63° 附近出现了 MgO 的衍射峰并未出现 Al_2O_3 物相, 表明 Al 在 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 中不是以 Al_2O_3 物相存在, 而是嵌入到 MgO 的晶格中, 取代了部分 Mg 的位置^[19].

2.4 SEM 分析

$Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 扫描电镜图如图 4 所示. $Mg/Al-LDH$ 形状规整, 表面光滑, 层状结构明显, 成型造粒焙烧后表面粗糙, 层状结构消失. 由 EDX 分析测得 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 镁铝摩尔比为 $3.36:1$,

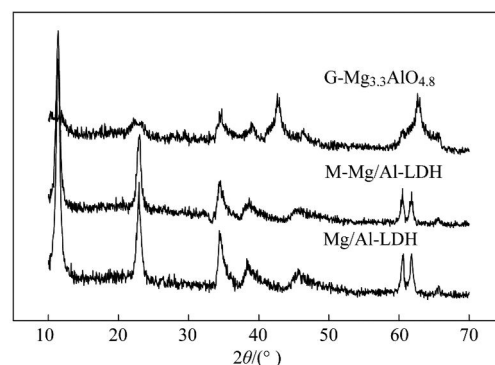
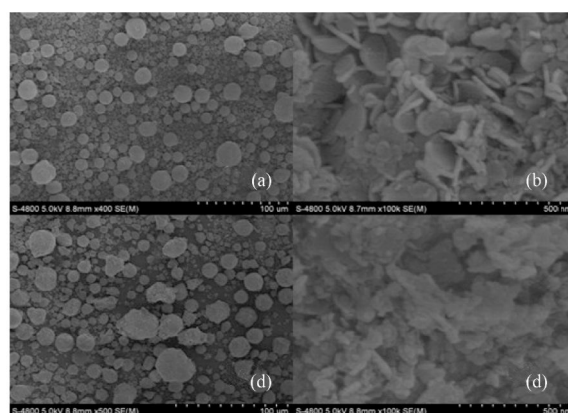


图3 $Mg/Al-LDH$ 、 $M-Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的 XRD 谱图

Fig. 3 XRD patterns of $Mg/Al-LDH$, $M-Mg/Al-LDH$ and $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$



(a) 和 (b) $Mg/Al-LDH$; (c) 和 (d) $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$

图4 $Mg/Al-LDH$ 和 $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$ 的 SEM 图

Fig. 4 SEM images of $Mg/Al-LDH$ and $G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}$

与前面镁铝摩尔比的测定结果相近, 进一步说明 $Mg/Al-LDH$ 经改性成型后镁含量增加.

2.5 FT-IR 分析

Mg/Al-LDH、M-Mg/Al-LDH 和 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 红外谱图如图 5 所示. 可以看出, Mg/Al-LDH 和 M-Mg/Al-LDH 在 3500 cm⁻¹附近均有一宽且强的吸收峰, 这是由羟基和层间水分子伸缩振动重叠所致. 1 630 cm⁻¹处的吸收峰对应于水滑石表层吸附水和层间结晶水的弯曲振动峰, 1 369、856 和 657 cm⁻¹吸收峰分别对应于 Mg/Al-LDH 中 CO₃²⁻ 的 3 种反对称伸缩振动模式. M-Mg/Al-LDH 在 1 651 cm⁻¹ 和 1 533 cm⁻¹处出现了 COO⁻ 的伸缩振动峰^[20], 焙烧时 COO⁻ 分解, 故 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 谱图中没有此峰,

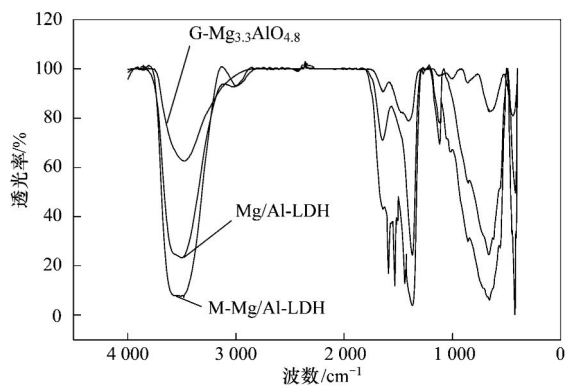


图 5 Mg/Al-LDH、M-Mg/Al-LDH 和 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 的红外谱图

Fig. 5 FT-IR spectrums of Mg/Al-LDH, M-Mg/Al-LDH and G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}

G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 在 700 ~ 1 200 cm⁻¹处出现的新峰归属于 Al-Mg 和 Al-O-Mg 键的伸缩振动峰.

2.6 静态吸附

2.6.1 吸附等温线

G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 对 SCN⁻ 的吸附等温线如图 6 所示. 25 ~ 45℃ 范围内 c₀ = 500 mg·L⁻¹ 时, 吸附量为 165.8 ~ 190.0 mg·g⁻¹ 明显大于粉末 Mg/Al-LDH 的焙烧产物^[21]. G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 与 SCN⁻ 的亲合力非常大, 低浓度范围内 SCN⁻ 完全被吸附, 吸附量随温度变化不明显; 在高浓度范围内, 吸附量随温度升高而增大, 表现为吸热吸附. 从表 2 中 R² 可知, Freundlich 等温式能很好地描述 SCN⁻ 在 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 上的等温吸附过程.

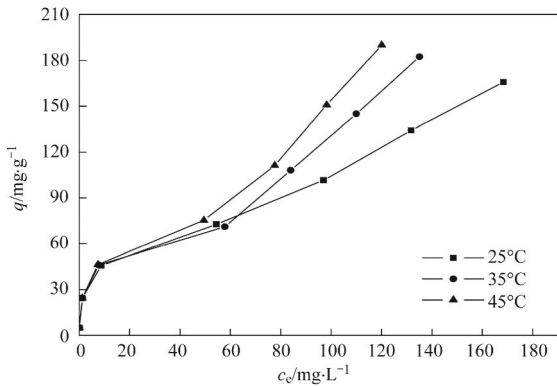


图 6 SCN⁻ 在 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 上的吸附等温线

Fig. 6 Adsorption isotherms of SCN⁻ on G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}

表 2 Langmuir 和 Freundlich 吸附等温式参数¹⁾

Table 2 Parameters of Langmuir and Freundlich isotherm

T/℃	q _e /mg·g ⁻¹	Langmuir c _e /q _e = 1/(K _L q _∞) + c _e /q _∞			Freundlich lnq _e = lnK _F + 1/n (ln c _e)		
		K _L	R _L ²	q _{e(cal)} /mg·g ⁻¹	K _F	R _F ²	n
25	165.8	0.070 0	0.984 6	164.5	15.99	0.993 6	2.33
35	182.4	0.062 0	0.953 0	181.8	18.86	0.987 8	2.41
45	190.0	0.060 0	0.930 1	188.7	21.52	0.989 6	2.54

1) q_∞ 为单层最大吸附量; K_L 和 K_F 为 Langmuir 和 Freundlich 吸附等温式常数; n 为与温度有关的常数

2.6.2 吸附动力学

图 7 是不同温度下 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 对 SCN⁻ 的吸附动力学曲线. 从中可知, 2 h 内吸附较快, 曲线呈直线上升, 随着表面覆盖度的增加和活性吸附位的减少, 曲线趋于平缓, 逐渐达到平衡. 由表 3 可知准二级动力学的 R² 更接近于 1 且 q_{e2(cal)} 与 q_{e(exp)} 更接近, 因此准二级动力学方程能更好地描述 SCN⁻ 在 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 上的吸附过程. 温度升高, 速率常数增大, 因此升温有利于吸附行为的进行.

2.7 动态吸附

2.7.1 实验参数对穿透曲线的影响

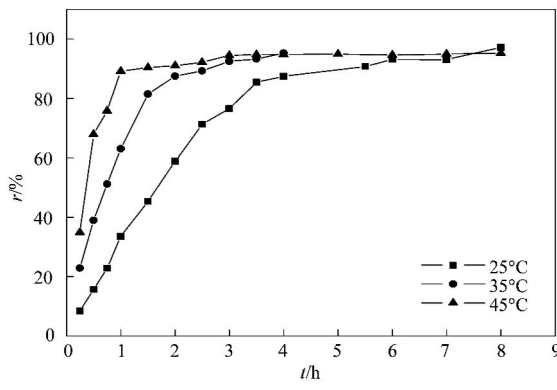


图 7 SCN⁻ 在 G-Mg_{3.3}AlO_{4.8} 上的吸附动力学曲线

Fig. 7 Kinetic curves of SCN⁻ on G-Mg_{3.3}AlO_{4.8}

表 3 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的动力学参数¹⁾Table 3 Kinetic parameters of SCN^- on $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$

$T/^\circ\text{C}$	$q_{e(\text{exp})}$	准一级动力学方程 $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$			准二级动力学方程 $t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e$		
		k_1	R_1^2	$q_{e1(\text{cal})}$	k_2	R_2^2	$q_{e2(\text{cal})}$
25	24.32	0.65	0.991 2	28.36	0.035	0.995 1	22.09
35	23.82	1.15	0.995 2	23.81	0.039	0.995 4	23.21
45	23.83	1.25	0.895 4	13.42	0.041	0.999 0	24.65

1) q_t 为 t 时刻的吸附量, k_1 和 k_2 分别为准一级和准二级动力学方程的速率常数

实验参数对穿透曲线的影响如图 8 所示. 从中可知, 初始浓度、流速、床层高度和 pH 均对穿透曲线有影响. 流速 $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 、床层高度 10 cm 和 $\text{pH} = 6$ 固定不变, 初始浓度增大, 穿透曲线变得陡峭且穿透点左移, 当初始浓度达到 $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 传质的驱动力急剧增大, 吸附剂很快达到饱和, SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上吸附不充分, 造成吸附剂的浪费. 初始浓度 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、床层高度 10 cm 和 $\text{pH} = 6$ 固定不变, 流速增大, 传质速率随之增大, 穿透曲线变得陡峭, SCN^- 与 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 接触时间缩短, 吸附不充分, 流量过大会导致传质区过长, 处理量减小, 故本实验所选取最佳流速为 $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. 初始浓度 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、流速 $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $\text{pH} = 6$ 固定时, 床

层高度增加, $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的吸附位点增多, 停留时间增加, 有利于 SCN^- 的脱除. 初始浓度 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、流速 $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 和床层高度 10 cm 固定, $\text{pH} < 6$ 时, $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 部分溶解, 堵塞吸附柱, 吸附难以进行, $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 对 SCN^- 的吸附机制主要是层间阴离子的交换作用和表面吸附, 故 CO_2 的存在形式对 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的吸附有影响, 当 $\text{pH} > \text{p}K_{a1}(\text{H}_2\text{CO}_3, 6.38)$ 时, CO_2 主要以 HCO_3^- 或 CO_3^{2-} 的形式存在, 与 SCN^- 形成竞争吸附, pH 值继续增大时, 溶液中 OH^- 浓度增大, 也与 SCN^- 形成竞争吸附使穿透时间和穿透吸附量均减小. 故本实验选取最佳条件为: 初始浓度 $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 流速为 $5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 床层高度 10 cm 和 $\text{pH} = 6$.

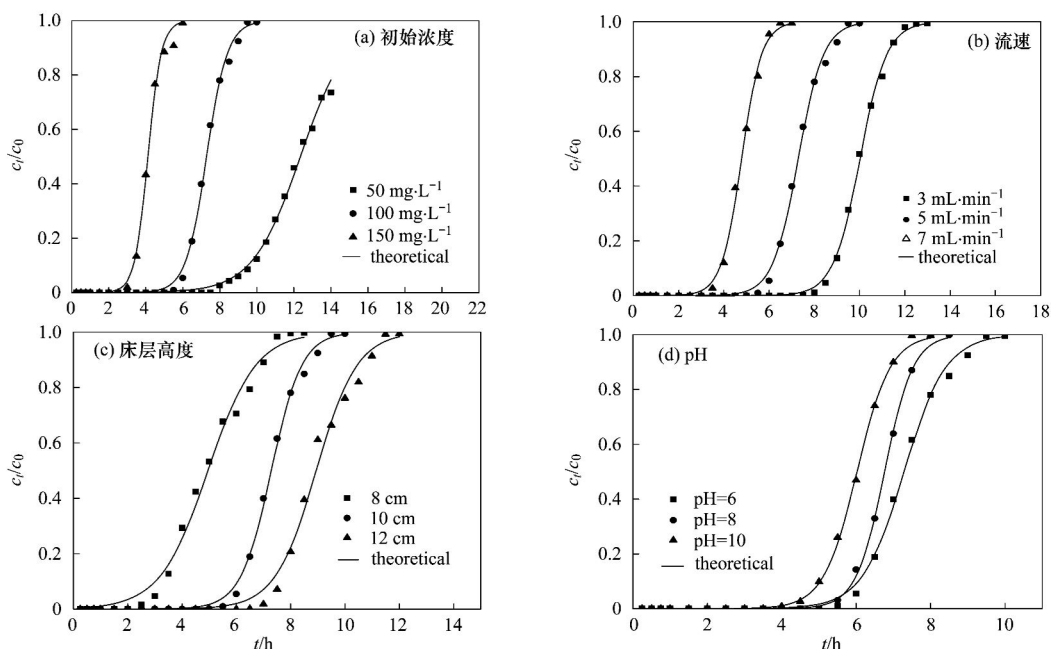


图 8 实验参数对穿透曲线的影响

Fig. 8 Effect of experiment parameters on breakthrough curves

2.7.2 固定床工艺参数模拟

穿透曲线的预测是固定床吸附过程设计和操作基础, Richard 等^[22]用数学模型很好地预测了固定床穿透曲线, 本研究用与吸附剂、吸附质及固定床

等性质参数无关的 Yoon-Nelson 模型^[23~25]对穿透曲线进行预测, 表达式为:

$$c_t/c_0 = 1/[1 + \exp(k't_{1/2} - k't)] \quad (4)$$

线性形式:

$$t = t_{1/2} + 1/k' \left[\ln \frac{c_i}{c_0 - c_i} \right] \tag{5}$$

式中, $t_{1/2}$ 为 $c_i/c_0=0.5$ 所需时间, h; k' 为流量常数, h^{-1} ; c_0 和 c_i 分别为初始浓度和 t 时刻流出液的浓度, $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

由 Yoon-Nelson 模型预测的理论穿透曲线如图 8 中的 theoretical 所示. 表 4 为不同实验参数下 Yoon-

Nelson 模型的拟合参数. 由 R^2 可知, $\ln[c_i/(c_0 - c_i)]$ 与 t 的线性关系较好且实验值 $t_{1/2\text{exp}}$ 与 $q_{1/2\text{exp}}$ 和理论值 $t_{1/2\text{theo}}$ 与 $q_{1/2\text{theo}}$ 非常接近, 因此 Yoon-Nelson 模型能很好地预测 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的穿透曲线. 在最佳实验条件下穿透点 $t_b=6.17\text{ h}$, 半穿透时间 $t_{1/2\text{exp}}=7.23\text{ h}$, 穿透点吸附量 $q_b=50.73\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 半穿透吸附量 $q_{1/2\text{exp}}=57.03\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$.

表 4 Yoon-Nelson 模型的拟合参数
Table 4 Fitting parameters of Yoon-Nelson model

实验参数		k'/h^{-1}	t_b/h	$t_{1/2\text{theo}}/\text{h}$	$t_{1/2\text{exp}}/\text{h}$	$q_b/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	$q_{1/2\text{theo}}/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	$q_{1/2\text{exp}}/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	R^2
初始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	50	1.248	9.69	12.38	12.25	39.61	47.61	47.28	0.997 4
	150	0.382 3	3.36	4.11	4.10	41.33	47.67	47.79	0.981 1
流速/ $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$	3	0.500 1	8.80	10.00	9.96	43.44	47.51	47.59	0.992 9
	7	0.342 1	3.90	4.79	4.75	44.75	51.69	51.68	0.981 2
床层高度/cm	8	0.654 9	3.34	4.96	4.81	34.04	49.93	49.69	0.981 5
	12	0.539 0	7.61	8.91	8.75	52.16	57.73	57.79	0.969 5
pH	6	0.439 0	6.17	7.28	7.23	50.73	56.88	57.03	0.981 0
	8	0.293 1	5.81	6.77	6.98	47.79	53.64	54.65	0.977 2
	10	0.368 1	5.00	6.26	6.06	40.98	48.13	47.25	0.986 2

3 再生性能

本实验以 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液对静态吸附饱和的 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 进行解吸, 用去离子水洗至中性后烘干焙烧, 再次用于吸附. 由图 9 可知, 再生后 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 对 SCN^- 的脱除率均比首次使用时大, 因为强碱液会洗掉原来占据吸附活性位点的杂质离子, 使再生后的 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 具有更多的活性位点, 随着使用次数增加脱除率稍有减小, 这是因为前一次吸附的 SCN^- 没有被完全洗掉和部分 SCN^- 以化学方式与 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 结合, 无法用碱液洗脱, 但重复使用 4 次脱除率均在 98% 以上, 因此 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 是一种可重复利用的高效吸附剂.

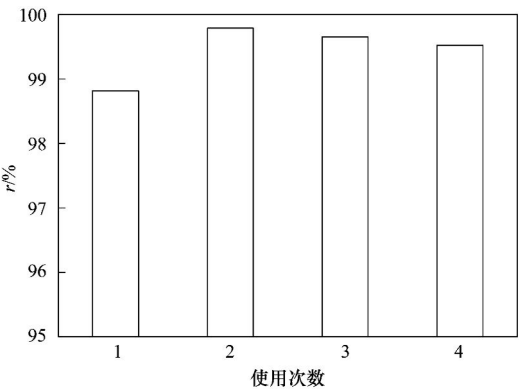


图 9 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的再生性能

Fig. 9 Regeneration performance of $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$

4 结论

(1) 以 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 为前驱物经改性成型造粒焙烧制备了 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$, 比表面积为 $269.4\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, 平均孔径为 13.25 nm , XRD 结果表明改性组分与 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 是以化学方式结合并非简单的物理混合, Al 是嵌入到 MgO 的晶格中, 取代了部分 Mg 的位置, 而不是以 Al_2O_3 物相存在于 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 中.

(2) SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的静态吸附过程符合 Freundlich 等温式和准二级动力学方程, $c_0=500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, $25\sim45^\circ\text{C}$ 范围内, 吸附量为 $165.8\sim190.0\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 明显大于粉末 $\text{Mg}/\text{Al-LDH}$ 的焙烧产物.

(3) 最佳动态实验参数为初始浓度 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、床层高度 10 cm 、流速 $5\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $\text{pH}=6$, 此时穿透点吸附量可达 $50.73\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, Yoon-Nelson 模型能很好地预测不同实验参数下 SCN^- 在 $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 上的穿透曲线.

(4) $\text{G-Mg}_{3.3}\text{AlO}_{4.8}$ 的再生性能较好, 重复使用 4 次对 SCN^- 的脱除率均保持在 98% 以上.

参考文献:

[1] Wu T, Sun D J, Li Y J, et al. Thiocyanate removal from aqueous solution by a synthetic hydrotalcite sol[J]. Journal of

- Colloid and Interface Science, 2011, **355**(1): 198-203.
- [2] 郑申声, 周小华, 陈迅. 用 D201 阴离子交换树脂从脱硫废液中分离硫氰酸根[J]. 化学工业与工程技术, 2007, **28**(4): 12-15.
- [3] 陈林, 周小华. 磷酸三丁酯萃取脱硫废液中硫氰酸根的初步研究[J]. 化学研究与应用, 2010, **22**(2): 213-217.
- [4] 段雪, 张法智. 插层组装与功能材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 356-375.
- [5] Olfs H W, Torres-Dorante L O, Eckelt R, *et al.* Comparison of different synthesis routes for Mg-Al layered double hydroxides (LDH): Characterization of the structural phases and anion exchange properties[J]. Applied Clay Science, 2009, **43**(3-4): 459-464.
- [6] Xing K, Wang H Z, Guo L G, *et al.* Adsorption of tripolyphosphate from aqueous solution by Mg-Al-CO₃-layered double hydroxides [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2008, **328**(1-3): 15-20.
- [7] 邢坤, 王海增. 硝酸盐在层状氢氧化镁铝及其焙烧产物上的吸附特性比较[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(7): 1340-1346.
- [8] 申震, 唐先进, 刘超, 等. 焙烧态镁铝水滑石处理阴离子染料废水研究[J]. 环境科学与技术, 2006, **29**(3): 89-110.
- [9] 邢坤, 王海增, 李晓玉. 焙烧层状氢氧化镁铝对水溶液中 As(Ⅲ)和 As(Ⅴ)的吸附性能比较[J]. 环境科学, 2009, **30**(3): 748-754.
- [10] Asakura T, Ono M, Kajimoto T. Hydrotalcite-like particulate material and method for production thereof[P]. Japan: 2007/000814, 2009-08-26.
- [11] 邢坤, 王海增, 李晓玉, 等. 改性成型的镁铝水滑石的制备方法及应用[P]. 中国专利: CN 101386424A, 2009-03-18.
- [12] 于艳伟, 王海增, 孙宝维, 等. 粒状复合镁铝氧化物对碘离子的吸附性能[J]. 盐业与化工, 2010, **39**(4): 18-23.
- [13] Reymond J P, Kolenda F. Estimation of the point of zero charge of simple and mixed oxides by mass titration [J]. Powder Technology, 1999, **103**(1): 30-36.
- [14] Park J, Regalbuto J R. A simple, accurate determination of oxide PZC and the strong buffering effect of oxide surfaces at incipient wetness[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1995, **175**(1): 239-252.
- [15] 陈远超. 斜发沸石工业热能系统离子交换除硬研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009. 37-38.
- [16] 赵振国. 吸附作用应用原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 71-73.
- [17] 陈永. 多孔材料制备与表征[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010. 40-44.
- [18] 赵芸, 矫庆泽, Evans D G, 等. 介孔镁铝复合氧化物的成孔机理及其结构特征[J]. 中国科学 B 辑, 2002, **32**(1): 67-73.
- [19] 杨锡尧, 任韶玲, 何晖, 等. 新型催化剂载体材料-镁铝复合氧化物的制备及其物理化学性质[J]. 分子催化, 1996, **10**(2): 88-94.
- [20] Guo S C, Li D Q, Zhang W F, *et al.* Preparation of an anionic azo pigment-pillared layered double hydroxide and the thermo-and photostability of the resulting intercalated material[J]. Journal of Solid State Chemistry, 2004, **177**(12): 4597-4604.
- [21] 宋卫得, 王海增, 郭鲁钢, 等. 层状氢氧化镁铝焙烧产物对 SCN⁻ 的吸附性能[J]. 化学研究, 2007, **18**(3): 75-79.
- [22] Richard D, De Lourdes Delgado Núñez M, Schweich D. Adsorption of complex phenolic compounds on active charcoal: breakthrough curves[J]. Chemical Engineering Journal, 2010, **158**(2): 213-219.
- [23] 孙晓峰, 高乃云, 徐斌, 等. 邻苯二甲酸二甲酯在颗粒活性炭中的穿透特性[J]. 环境科学, 2007, **28**(8): 1738-1745.
- [24] 王俊, 吴福安, 杨克迪, 等. 树脂吸附法分离纯化桑叶总黄酮(Ⅱ)动态法分离桑叶总黄酮的工艺条件及数学模拟[J]. 离子交换与吸附, 2008, **24**(4): 345-353.
- [25] Pan B C, Meng F W, Chen X Q, *et al.* Application of an effective method in predicting breakthrough curves of fixed-bed adsorption onto resin adsorbent [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, **124**(1-3): 74-80.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 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