

· 实验研究 ·

## 改性活性炭的制备及其对气态汞的吸附研究

罗锦英, 罗津晶

(厦门大学 近海海洋环境科学国家重点实验室, 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

**摘要** 采用高温热处理法去除活性炭表面含氧官能团, 并通过化学浸泡法分别将酚羟基和羧基添加到活性炭表面。利用氮气吸附-脱附、X射线衍射分析、X射线光电子能谱法对改性前后活性炭进行表征。研究发现: 经高温热处理的活性炭比表面积增大为  $1\ 139\ \text{m}^2/\text{g}$ , 孔径集中分布于  $1\ \text{nm}$  以下; 热处理后活性炭内部晶格结构更加完整。经过化学改性后, 酚羟基和羧基均可以一定比例负载到活性炭表面, 且比表面积随着负载量增多而下降。对气态汞的吸附实验表明: 经高温热处理的样品对气态汞的吸附能力与原始活性炭相比有所下降; 当达到吸附饱和时, 原始活性炭的吸附量为  $306.55\ \mu\text{g}/\text{g}$ , 而经热处理的样品的吸附量是  $243.5\ \mu\text{g}/\text{g}$ ; 负载羧基的活性炭样品, 其吸附容量高达  $865.3\ \mu\text{g}/\text{g}$ ; 负载酚羟基样品的吸附容量为  $133.1\ \mu\text{g}/\text{g}$ 。由此得出结论: 活性炭表面的含氧官能团对其吸附气态汞有重要影响, 其中羧基的存在有利于对气态汞的吸附, 而酚羟基的存在对气态汞的吸附不起促进作用。

**关键词** 改性活性炭; 表面官能团; 汞吸附

中图分类号: TQ424.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3741(2009)05-01-06

## PREPARATION OF MODIFIED ACTIVATED CARBONS FOR MERCURY VAPOR ADSORPTION

LUO Jin-ying, LUO Jin-jing

(State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Fujian Xiamen 361005, China)

**Abstract:** The oxygen-containing groups on activated carbon surfaces could be removed by heating in nitrogen atmosphere ( $1\ 000\ ^\circ\text{C}$ ). After heat treatment, carboxyl and phenol groups were added separately to the surface of activated carbons by chemical immersion method. And the surface physical-chemical properties of these carbons were characterized by nitrogen adsorption-desorption, X-ray diffraction and X-ray photoelectron spectroscopy. It was found that the BET surface area of the heat-treated samples was increased to  $1\ 139\ \text{m}^2/\text{g}$ , meanwhile they had more ordered structures and more narrow pore size distribution which was smaller than  $1\ \text{nm}$ . After chemical modification, phenol and carboxyl groups could be loaded on the surface of activated carbons in a certain proportion, and the BET surface area decreased as the amounts of phenol and carboxyl groups increased. The experiments were conducted to evaluate the capability of original activated carbons, heat-treated and modified carbons on the adsorption of mercury vapor at room temperature. The results show that there is some decrease of mercury adsorption for heat-treated samples compared to original activated carbons. When it reaches saturation, the mercury adsorption capacity of original activated carbons is  $306.55\ \mu\text{g}/\text{g}$ , while the capacity of heat-treated activated carbons is  $243.5\ \mu\text{g}/\text{g}$ ; the capacity of carboxyl-loaded activated carbons reaches  $865.3\ \mu\text{g}/\text{g}$ , while the capacity of phenol-loaded activated carbons is  $133.1\ \mu\text{g}/\text{g}$ . The assumption is that the oxygen-containing functional groups indicate significant effect on mercury adsorption ability of activated carbon. And the carboxyl groups are beneficial to the mercury adsorption, while the phenol groups may have no effect on mercury adsorption.

**Key words:** Modified-activated carbon; surface functional groups; mercury adsorption

活性炭是目前研究得最多的一种烟气脱汞吸附剂<sup>[1-3]</sup>。它的吸附性能主要由物理吸附和化学吸附决定。活性炭具有巨大的比表面积, 有利于它对

气态汞的物理吸附; 同时, 活性炭表面存在对气态汞吸附有利的表面官能团(如羧基, 内酯基等), 可加强它对气态汞的化学吸附<sup>[1,4]</sup>。此外, 活性炭表面

基金项目: 国家自然科学基金项目(20707018) 福建省科技重点项目(2008J0024) 福建省青年科技人才创新基金项目(2006F3118)

作者简介: 罗锦英 女 1983年出生, 福建人, 硕士研究生, 主要从事燃煤烟气中汞的脱除等方面的研究工作, E-mail: luojinying1104@163.com

通讯作者: 罗津晶 女 博士 副教授, 主要从事大气污染治理相关领域的研究工作, E-mail: luojj27@xmu.edu.cn

收稿日期: 2009-03-23

存在的如硫、氯、碘等元素也能加强它的化学吸附。

在烟气脱汞中，活性炭的吸附效率较低，因而目前很多学者通过化学改性来提高活性炭对气态汞的吸附能力。高洪亮等人<sup>[5]</sup>通过活性 MnO<sub>2</sub> 浸渍、FeCl<sub>3</sub> 浸渍和渗硫对活性炭进行改性，发现改性后活性炭的吸附能力有很大的提高。Lee 等人<sup>[6]</sup>研究了载碘载氯活性炭对气态汞的吸附能力，研究发现，改性后的样品对气态汞吸附能力有很大提高，而且随着吸附温度的升高，载碘活性炭对气态汞的吸附能力增强；而载氯活性炭的吸附能力随着温度升高而下降。董新等人<sup>[7]</sup>研究了经过 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 HNO<sub>3</sub> 氧化改性后的活性炭对气态汞的吸附能力，结果表明，改性后的活性炭对汞的吸附能力明显增强。目前研究的改性活性炭，虽然对气态汞都有较好的吸附能力，但由于制备成本较高（如载硫活性炭）或者制备工艺复杂、制备产物可能对环境造成二次污染等原因，大大地限制了这些改性活性炭的广泛应用。

本文采用高温热处理法去除活性炭表面的酸性含氧官能团，并通过化学浸渍法制备富含酚羟基和羧基的活性炭。通过各种表征方法，考察改性前后样品的物理化学特性；并通过吸附实验，研究样品对气态汞的吸附能力。期望通过本实验的研究，在活性炭表面复杂的官能团中初步筛分出对气态汞有选择性吸附效果的官能团，为进一步制备低成本高吸附能力的烟气脱汞活性炭提供理论依据。

### 1 实验

#### 1.1 材料

本实验活性炭是由 Calgon 公司提供的 BPL 样品。该样品的物理性质如表 1 所示。用去离子水洗至中性，烘干，研磨至 200 目备用，该样品记为 BPL。

#### 1.2 样品制备

##### 1.2.1 高温热处理样品的制备

将 BPL 置于石英管中，通氮气以 10 °C/min 的速率加热到 1 000 °C，恒温 2 h 后在氮气流中缓慢冷却至室温，于真空手套箱中保存。该样品记为 BPL-1000。

##### 1.2.2 改性活性炭的制备

本实验采用化学浸渍法制备富含酚羟基和羧基的活性炭样品。其改性步骤如下：称取一定量的 BPL-1000，将其浸泡于苯酚（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）或苯甲酸（分析纯，汕头市西陇化工厂有限公司）溶液中，常温，150 r/min 下振荡 24 h，过滤后滤液和初始溶液的浓度采用 Genesys

表 1 BPL 样品的物理性质  
Table 1 Physical properties of BPL sample

尺寸/ mm × mm	原 材 料	灰 分/ %	水 分/ %	比表 面积/ m <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup>	孔容 /cm <sup>3</sup> · g <sup>-1</sup>	平均 孔径 /nm
6 × 16	烟煤	≤ 8	≤ 2.0	870	0.417	0.68

注：用水蒸汽活化。

10UV 紫外可见分光光度计 (Thermo Electron Corporation, 美国) 分别在 270 nm 和 250 nm 下进行测定，根据初始溶液和滤液两者间的浓度差，算出每克 BPL-1000 样品上吸附的苯酚或苯甲酸量。滤饼在 110 °C 下干燥至恒重，置于干燥器中备用。

### 1.3 样品的表征

#### 1.3.1 比表面积及孔径测定

BPL-1000 测定前先在 250 °C 下抽真空处理 4 h，其余样品在 80 °C 下抽真空处理 24 h。采用 ASAP2010 (M + C) 型全自动吸附仪 (Micromeritics, 美国) 在 77 K 下用 N<sub>2</sub> 对样品进行吸附。比表面积采用低压 BET 法 (相对压力 0 ~ 0.1 间的数据) 进行计算，微孔孔径分布采用 H-K 法进行计算<sup>[8]</sup>。

#### 1.3.2 X 射线衍射分析 (XRD)

采用 X'pert PRO (荷兰 Panalytical 公司) X 射线衍射分析仪对 BPL 和 BPL-1000 两个样品进行测试。测试条件为：Cu 靶 Kα 线；管压/管流为 40 kV 和 30 mA；扫描范围为 10° ~ 90°。

#### 1.3.3 X 射线光电子能谱法 (XPS)

将活性炭样品压成薄片，固定于样品台上，抽真空。首先采用 Quantum 2000 X 射线扫描化学分析电子谱微探针能谱仪 (美国 PHI 公司) 进行全谱分析 (宽扫描)，随后对可选择的峰进行窄扫描，得到更精细的信息。仪器使用参数为：单色化 AlKα<sub>1,2</sub> X 射线源，能量 1 486.60 eV，电压：15 kV，功率 35 W；束斑直径：200 μm。光电子出射角 45°，仪器分析室基础真空 5 × 10<sup>-8</sup> Pa。

### 1.4 吸附实验

如图 1 所示，实验室模拟固定吸附床反应装置主要由模拟气态汞发生器、吸附柱、汞测试装置、尾

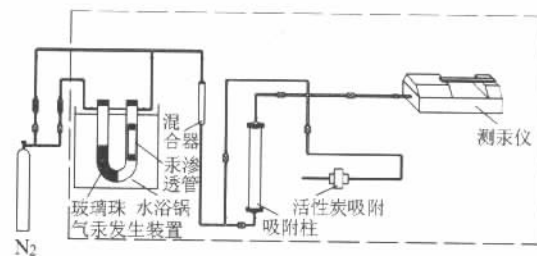


图 1 模拟烟气汞吸附试验台示意图

Fig. 1 Schematic of the bench-scale packed-bed reactor system

气处理单元等部分组成。本实验以汞渗透管(美国 VICI)作为汞蒸气发生源,置于 U 型管中。在 U 型管进口处放置数粒尺寸均一的玻璃珠,以增加气体停留时间,便于汞蒸气的扩散。高纯氮作为汞蒸气的载气及平衡气体,两者的混合气构成本实验模拟烟气。实验所需汞浓度由水浴温度和气体流量进行调节。本实验中气体总流量为 1 L/min,初始汞浓度为 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,吸附反应温度为 27  $^{\circ}\text{C}$ 。吸附柱由石英吸附管,活性炭样品,石英砂及滤膜组成,尾气处理单元由一个小型活性炭吸附柱组成。图中虚框部分均在通风橱中操作。

吸附实验步骤如下 称取 10 mg 活性炭与约 2 g 的石英砂充分混合后置于吸附柱中,模拟烟气通过混合器混合均匀,在通过石英吸附柱前,先经过 JEROME431-X 测汞仪(Arizona Instrument Corp., 美国)测定初始汞浓度( $C_0$ ),当汞浓度稳定后,关闭流向测汞仪的通路,将混合气转入吸附柱中进行吸附实验。

本实验以每克样品吸附的气态汞量作为活性炭吸附性能的一个评价指标。

某时刻  $t$  单位吸附量( $\mu\text{g}/\text{g}$ )的计算:从吸附开始到  $t$  时刻为止,吸附剂所吸附汞的总量,可用下式表达:

$$\zeta_{i+1} = \frac{(C_0 - \frac{C_{i+1} + C_i}{2}) \cdot (t_{i+1} - t_i) \cdot Q}{m} + \zeta_i$$

式中: $\zeta_{i+1}$ —— $t_{i+1}$  时刻的汞吸附量  $\mu\text{g}/\text{g}$ ;

$\zeta_i$ —— $t_i$  时刻的汞吸附量  $\mu\text{g}/\text{g}$ ;

$C_0$ ——初始汞浓度(进吸附柱前)  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$C_{i+1}$ —— $t_{i+1}$  时刻吸附柱出口汞浓度  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$C_i$ —— $t_i$  时刻吸附柱出口汞浓度  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;

$Q$ ——载气( $\text{N}_2$ )流量  $\text{L}/\text{min}$ ;

$m$ ——装载的活性炭质量  $\text{g}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改性样品

本实验制备了不同含量的酚羟基和羧基样品,如表 2 所示。各样品的负载量以每克 BPL-1000 样品上负载的酚羟基或羧基含量表示( $\text{mg}/\text{g}$ )。对于酚羟基样品,本实验制备了 13.91, 34.26, 65.38  $\text{mg}/\text{g}$  3 种负载量样品。对于羧基样品,有 2.50, 28.89  $\text{mg}/\text{g}$  2 种样品。各样品的物理特征如表 3 所示。

### 2.2 比表面积及孔径分析

由图 2 可知,所选样品 BPL 是一种富含微孔的活性炭。经过改性后,样品内部孔径发生了较大变

化。由表 1 和表 3 可知, BPL-1000 的比表面积和孔容增大,平均孔径变小,并更多集中于 1 nm 以下。这主要是因为,活性炭表面存在多种官能团,如羧基、内酯基、羰基、酚羟基等。这些官能团的热稳定不同,其中羧基最不稳定<sup>[9]</sup>。经过 1 000  $^{\circ}\text{C}$  高温处理后,活性炭表面的酸性含氧官能团随之发生分解,从而导致 BPL-1000 的比表面积和微孔容积增大,平均孔径变小且分布更加集中。

负载不同表面官能团的样品,随着表面官能团负载量的增多,活性炭表面的孔洞会被这些物质“堵塞”,从而导致比表面积及微孔体积分别变小。由表 2、表 3 可知,虽然 BPL-1 和 BPL-5 负载的苯酚量(76.94  $\text{mg}/\text{g}$ )和苯甲酸量(78.34  $\text{mg}/\text{g}$ )相近,但是由于苯甲酸分子量较大,相同比表面积下负载苯甲酸的样品表面孔洞会“堵塞”得更多,因而导致

表 2 每克活性炭上负载的酚羟基或羧基量  $\text{mg}/\text{g}$   
Table 2 The amounts of phenol or carboxyl groups on the activated carbons

试剂	苯酚或苯甲酸	酚羟基或羧基	命名
苯酚	76.94	13.91	BPL-1
	189.44	34.26	BPL-2
苯甲酸	361.50	65.38	BPL-3
	6.78	2.50	BPL-4
	78.34	28.89	BPL-5

表 3 各样品的物理特征  
Table 3 Physical properties of different samples

样品	BET 比表面积/ 积/ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	微孔容积/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	平均孔径/ nm
BPL	870	0.417	0.68
BPL-1000	1139	0.490	0.63
BPL-1	705	0.307	0.74
BPL-2	334	0.142	0.80
BPL-3	239	0.110	0.88
BPL-4	950	0.405	0.69
BPL-5	600	0.250	0.74

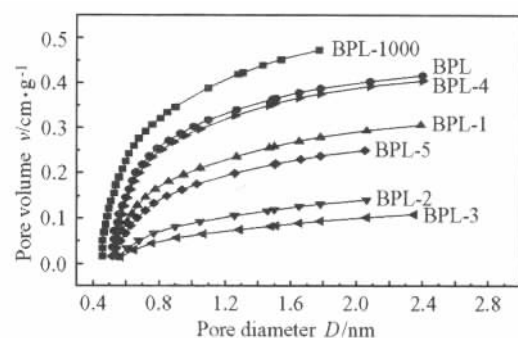


图 2 各活性炭样品的孔径分布图  
Fig. 2 Pore size distribution for all samples



在相近负载量下，BPL-1 的比表面积和孔容均比 BPL-5 大。

### 2.3 XRD 分析

活性炭是由类似石墨的碳微晶按“螺层形结构”排列，由微晶间的强烈交联形成发达的微孔结构。图 3 是 BPL 原碳和经过 1 000 ℃ 高温惰性气氛热处理后样品的 XRD 图。由图可知， $2\theta \approx 26^\circ$  处是 002 晶面。在该晶面处，BPL-1000 的衍射峰比 BPL 的衍射峰尖锐，同时高温处理后衍射峰的半高宽变窄，面间距变小，这说明经过高温加热处理的 BPL 活性炭，其表面结晶完整程度有所提高，孔径分布更均匀。这与比表面积测定结果相符，同时也与 Tessmer 等人<sup>[10]</sup>、Menendez 等人<sup>[11]</sup> 及乔志军等人<sup>[12]</sup> 的实验结果一致。

### 2.4 XPS 分析

表 4 中 C, O, N 的含量采用灵敏度因子法算得。具体如下：分别求出各样品中碳、氧、氮特征峰的面积，其中碳、氧、氮的灵敏度因子分别为 0.314, 0.733, 0.499。用各元素的峰面积除以相应的灵敏度因子作为分子，各元素峰面积除以灵敏度因子的和作为分母，即可求出各元素的百分含量。

由表 4 可知，随着酚羟基或羧基负载量的增多，活性炭表面的含氧量呈上升趋势，由此可以证实酚羟基或羧基已负载到活性炭表面。此外，比较 BPL-1 和 BPL-5 2 种改性活性炭，它们分别负载的苯酚量 (76.94 mg/g) 和苯甲酸量 (78.34 mg/g) 相近。由于苯甲酸分子中含有 2 个氧原子，而苯酚分子中仅含 1 个氧原子，从而导致在相同负载量下，BPL-5 样品含有的氧百分含量比 BPL-1 样品高，由此说明：改性活性炭表面的含氧量与负载的含氧官能团的量呈正相关性。

### 2.5 改性样品对气态汞的吸附性能

#### 2.5.1 高温热处理样品对气态汞的吸附性能

气态汞的浓度为  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，模拟烟气的流量为

1 L/min，BPL 或 BPL-1000 样品用量为 10 mg，吸附温度为 27 ℃，得到的吸附动力学曲线如图 4 所示。

由图 4 可知，在吸附开始的最初 60 min 时间里，BPL-1000 的吸附量比 BPL 的吸附量大，随着吸附的进行，BPL 在气态汞吸附中的优势逐渐显现，在吸附床达到饱和时，BPL 的吸附量为  $306.55 \mu\text{g}/\text{g}$ ，而 BPL-1000 的吸附量为  $243.5 \mu\text{g}/\text{g}$ 。分析其原因可能是：在常温下，活性炭对气态汞的吸附既有物理吸附也有化学吸附<sup>[13]</sup>。在吸附过程的开始阶段，活性炭表面具有较多的“空位”，因而气态汞会优先吸附于这些活性位点，加之物理吸附的活化能低于化学吸附的活化能<sup>[14]</sup>，因而导致在吸附过程的开始阶段，物理吸附的竞争优势大于化学吸附。Skodras 等人<sup>[4]</sup> 的研究发现，相对中孔而言，微孔更有利于活性炭对气态汞的吸附，因此本实验采用微孔容积作为活性炭吸附性能的一个指标。由表 3 可知：BPL 样品的微孔容积为  $0.417 \text{ cm}^3/\text{g}$ ，而高温脱附后 BPL-1000 样品的微孔容积为  $0.490 \text{ cm}^3/\text{g}$ ，后者大于前者，因而在吸附的初始阶段，BPL-1000 的物理吸附能力优于 BPL。随着吸附过程的进行，BPL 的吸附能力高于 BPL-1000，这可能是由于随着吸附过程的进行，越来越多的气态汞吸附于活性炭孔洞中，导致物理吸附能力逐渐变弱，而活性炭

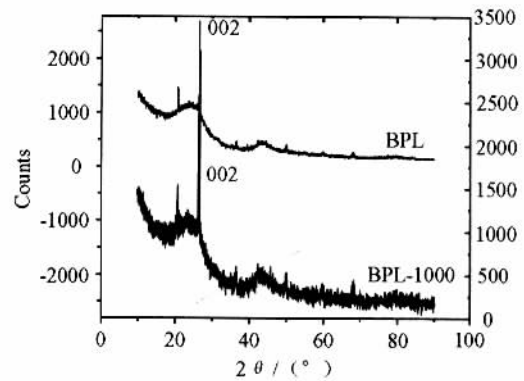


图 3 BPL 和 BPL-1000 的 XRD 图

Fig. 3 XRD spectra for BPL and BPL-1000 samples

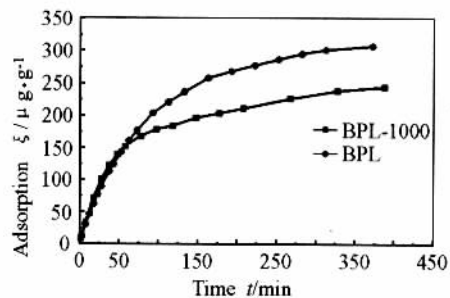


图 4 BPL 和 BPL-1000 的吸附动力学曲线

Fig. 4 Adsorption curves for BPL and BPL-1000 activated carbons

表 4 XPS 分析活性炭表面各元素的百分含量(灵敏度因子法)

Table 4 XPS results for the amounts of C, O, N on the surface of activated carbons (sensitivity factors)

样品	C	O	N
BPL	89.46	7.93	2.61
BPL-1000	92.64	6.49	0.88
BPL-1	89.33	8.19	2.48
BPL-2	89.05	9.34	1.60
BPL-3	80.11	16.78	3.10
BPL-4	90.10	9.9	
BPL-5	79.10	15.98	4.92

表面含氧官能团的作用优势逐渐体现,因而当达到吸附饱和时,BPL的吸附能力大于BPL-1000的吸附能力。

### 3.5.2 富含酚羟基样品对气态汞的吸附性能

气态汞的浓度为  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,模拟烟气的流量为  $1 \text{ L}/\text{min}$ ,BPL-1000 或负载酚羟基样品用量为  $10 \text{ mg}$ ,吸附温度为  $27^\circ\text{C}$ ,得到的吸附动力学曲线如图 5 所示。

由图 5 可知,与负载酚羟基样品相比,BPL-1000 对气态汞的吸附性能最优。随着酚羟基负载量的增多,活性炭对气态汞的吸附能力显著下降。分析原因可能是在常温下,活性炭对气态汞的吸附是物理作用和化学作用的结果<sup>[13]</sup>。经过高温热处理后,BPL-1000 的微孔容积增大,为  $0.490 \text{ cm}^3/\text{g}$ 。而随着酚羟基负载量的增多,活性炭微孔容积不断下降,从物理吸附角度来说,导致活性炭的吸附量随着负载量的增大而减少。由图 5 和表 3 可知,负载酚羟基样品对气态汞吸附量的减少与样品微孔容积下降不成线性关系,这进一步显示了在常温下,活性炭对气态汞的吸附除物理作用外,还存在化学作用。由本实验结果可知,负载的酚羟基对气态汞的吸附不起促进作用。

### 3.5.3 BPL-4 对气态汞的吸附性能

气态汞的浓度为  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,模拟烟气的流量为  $1 \text{ L}/\text{min}$ ,各样品用量为  $10 \text{ mg}$ ,吸附温度为  $27^\circ\text{C}$ ,得到的吸附动力学曲线如图 6 所示。

由图 6 可知,在达到吸附饱和时,BPL-4 的吸附量为  $865.3 \mu\text{g}/\text{g}$ ,而 BPL-1000 的吸附量为  $243.5 \mu\text{g}/\text{g}$ ,前者吸附量明显大于后者。由表 3 可知,两者的微孔体积相差不大,分别是  $0.405 \text{ cm}^3/\text{g}$  和  $0.490 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,但羧基 10:1 样品的吸附性能却明显优于 BPL-1000,由此推测羧基对气态汞吸附起促进作用。

## 4 结论

(1) 经过  $1000^\circ\text{C}$  高温惰性氛围处理后,样品的晶格结构更加完整,孔径分布更加集中,且多数位于  $1 \text{ nm}$  以下。

(2) 经过化学改性后,酚羟基和羧基均可以一定比例负载到活性炭表面,且比表面积和微孔容积随着负载量增多而下降。

(3) 高温热处理前后样品对气态汞吸附实验表明,在常温下,活性炭对气态汞的吸附是物理和化学作用的结果。在吸附过程的最初阶段,物理吸附比化学吸附更具竞争力。

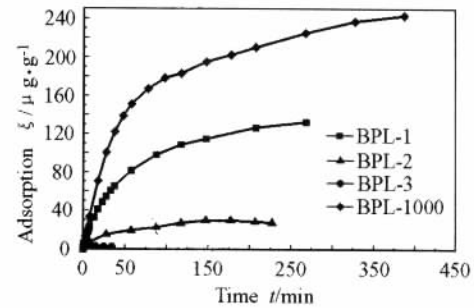


图 5 BPL-1000 和负载酚羟基样品的吸附动力学曲线

Fig. 5 Adsorption curves for BPL-1000 and phenol-modified samples

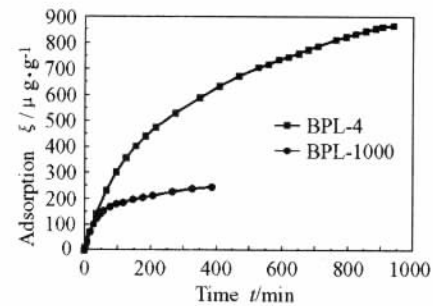


图 6 BPL-4 和 BPL-1000 的吸附动力学曲线

Fig. 6 Adsorption curves for BPL-4 and BPL-1000

(4) 改性样品对气态汞吸附实验表明,与高温脱附样品相比,负载酚羟基样品对气态汞的吸附能力降低,且随酚羟基负载量增大,其吸附性能降低,由此推测酚羟基对气态汞的吸附不起促进作用;而负载羧基的活性炭样品,其对气态汞的吸附能力显著增强,羧基成为气态汞吸附的活性中心,从而有效地增强了炭表面对气态汞的吸附能力。

### 参考文献:

- [1] LI Y H, LEE C W, GULLETT B K. Importance of activated carbon's oxygen surface functional groups on elemental mercury adsorption[J]. Fuel 2003, 82(4): 451 ~ 457.
- [2] 任建莉,周劲松,骆仲决,等. 活性炭吸附烟气中气态汞的试验研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 171 ~ 175.
- [3] 张鹏宇,曾汉才,张柳. 活化处理的活性炭吸附汞的试验研究[J]. 电力科学与工程, 2004(2): 1 ~ 3.
- [4] SKODRAS G, DIAMANTOPOULOU I, SAKELLARPOULOS G P. Role of activated carbon structural properties and surface chemistry in mercury adsorption[J]. Desalination, 2007, 210(1): 281 ~ 286.
- [5] 高洪亮,周劲松,骆仲决,等. 改性活性炭对模拟燃煤烟气中汞吸附的实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(8): 26 ~ 30.
- [6] LEE S F, SEO Y C, JURNG J, et al. Removal of gas-phase elemental mercury by iodine and chlorine-impregnated

activated carbons[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(29): 4887 ~ 4893.

[7] 童新, 王军辉. 氧化改性活性炭吸附脱除游离态汞[J]. 中国环保产业, 2007, (12): 52 ~ 54.

[8] 陆安慧, 郑经堂, 王茂章, 等. H-K法研究ACFs的微结构[J]. 新型炭材料, 2000, 15(1): 23 ~ 27.

[9] FIGUEIREDO J L, PEREIRA M F R, FREITAS M M A, et al. Modification of the surface chemistry of activated carbons[J]. Carbon, 1999, 37(9): 1379 ~ 1389.

[10] TESSMER C H, VIDIC R D, URANOWSKI L J. Impact of oxygen-containing surface functional groups on activated carbon adsorption of phenols[J]. Environmental Science and Technology, 1997, 31(7): 1872 ~ 1878.

[11] MENENDEZ J A, XIA B, PHILLIPS J, et al. On the modification and characterization of chemical surface properties of activated carbon: microcalorimetric, electrochemical, and thermal desorption probes[J]. Langmuir, 1997, 13(13): 3414 ~ 3421.

[12] 乔志军, 李家俊, 赵乃勤, 等. 高温热处理对活性炭纤维微孔及表面性能的影响[J]. 新型炭材料, 2004, 19(1): 44 ~ 47.

[13] CHANG R, OFFEN G. Mercury emission control technologies: an EPRI synopsis[J]. Power Engineering, 1995, 99(11): 51 ~ 57.

[14] 冯效庭. 吸附分离技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 3 ~ 4.

文 摘

罐式煅烧炉烘炉保温点的确定与控制 [刊, 中] / 赵天荣, 薛铁鹏, 王岩凯 // 轻金属, 2009(7): 42 ~ 45

针对山西华圣铝业有限公司采用的32罐顺流式煅烧炉, 在烘炉过程中硅砖晶型转化和炉体体积变化的有效控制进行了阐述, 同时对国内的铝用炭素罐式煅烧炉烘炉状况做了简单介绍, 并指出了炭素大型罐式煅烧炉烘炉温度控制的消化利用。表6参2

阳极焙烧炉节能型炉具的应用与研究 [刊, 中] / 杨正华 // 轻金属, 2009(8): 52 ~ 54

本文主要通过节能炉具在阳极焙烧炉上应用前后的对比, 分析节能炉具的节能、环保效果。并指出目前使用的节能炉具的不足之处和改进建议。图6表2

回转窑下料管冷却循环系统的技术改进 [刊, 中] / 钟丽君 // 有色冶金节能, 2009(4): 25 ~ 26

针对回转窑下料管经常发生开裂和烧损的现象, 本文分析了下料管开裂和烧损的原因, 提出将原使用的自循环工业改为软化水和改进冷却循环系统的进水管。改进后延长了下料管的使用寿命, 同时达到了有效利用余热的效果。图2

碳纤维复合材料新动向 [刊, 中] / 罗益锋 // 高科技纤维与应用, 2009, 34(3): 1 ~ 6

简述近期碳纤维面临的新形势, 指出今后推动碳纤维(CF)及其碳纤维复合材料(CFRP)的主要市场, 将来自飞机、风电叶片、汽车、高压气瓶等领域, 而工业罗拉所需碳纤维板以沥青碳纤维为主, 据预测, 到2010年全球CFRP的总产值将达到136亿美元, 而到2025年可望超过250亿美元。图8表1参12

样品位置对碳材料XRD测试结果的影响 [刊, 中] / 李同起, 杨晓光, 许正辉, 等 // 宇航材料工艺, 2009, 39(4): 76 ~ 80

为研究样品测试表面位置对碳材料XRD衍射峰特征和微结构的影响, 采用 $\theta-\theta$ 模式运行的X射线衍射仪对块状中间相沥青基碳材料进行了表征, 并分析了测试样品表面高低对XRD衍射峰峰形和碳材料微结构参数的影响。结果表

明: 测试样品表面位置对碳材料的衍射峰峰形和碳材料结构参数产生很大影响, 主要表现为衍射峰强度显著降低、峰位置有较大偏移、峰半高宽有较大变化, 造成了根据这些参数计算的碳材料微结构参数有较大变化。这些影响与X射线衍射仪的工作原理有关, 因此在利用XRD测试样品时需要严格控制表面在标准测试位置上。图9参3

基于预沥青烯的有序结构中孔炭及其电化学性能 / 周颖, 刘小雪, 王六平等 // 化工学报, 2009(9): 37

以预沥青烯为碳源、SBA-15为模板, 采用模板法合成了结构有序的中孔炭材料。用XRD、TEM、N<sub>2</sub>吸附和电化学工作站等对中孔炭的微观结构及电化学性能进行了研究。结果表明, 以预沥青烯为碳源合成的炭材料具有高度有序的二维六方孔道和一定的石墨化程度, 它反转复制了模板SBA-15的结构。中孔炭的比表面积为542 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>, 孔容为0.479 cm<sup>3</sup>·g<sup>-1</sup>, 孔径呈单峰分布, 集中在3.5 nm左右。这种预沥青烯基中孔炭作为电化学电容器电极材料, 显示出良好的性能, 在1 mA的电流强度下其单电极质量比电容高达310 F·g<sup>-1</sup>。

关于我国碳纤维用聚丙烯腈原丝质量的若干认识 [刊, 中] / 洪璋传 // 合成纤维工业, 2009(3): 20

分析了我国碳纤维用聚丙烯腈原丝质量欠佳的原因, 主要是生产工艺包括聚丙烯腈的聚合方法、聚合物相对分子质量及其分散性、纺丝原液的纯度及其流变性、纺丝方法以及拉伸工艺等存在弊端。指出我国碳纤维用聚丙烯腈原丝生产过程中, 应加强对聚合物及纺丝原液的质量控制, 开发干-湿法工艺, 从而提高原丝质量。

炭化条件对针状焦结构的影响 [刊, 中] / 程兴磊, 王保成 // 煤炭转化, 2009(3): 15

以除去喹啉不溶物的中温煤沥青为原料, 分别在不同的反应温度和保温时间下制备了中间相炭微球(MCMB); 在磁场条件下制备了有序结构针状焦; 通过扫描电镜(SEM)考察了不同反应条件下中间相炭微球和针状焦的形貌, 讨论了中间相形成影响因素对针状焦结构的影响。结果表明, 中间相形成阶段的反应温度、保温时间和体系黏度对针状焦的结构和性能具有重要影响, 磁场对针状焦的流线型结构有促进作用。