

氯化锌活化大麻布活性炭纤维的孔结构

杨 儒¹ 于会敏¹ 罗玲玲¹ 张建春^{1,2} 李 敏¹ 郝新敏² 张 华²

(1. 北京化工大学 化工资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029; 2. 总后勤部军需装备研究所, 北京 100088)

摘 要: 以大麻布为原料, 氯化锌为活化剂, 在不同活化温度下制备大麻布活性炭纤维样品。采用低温氮气吸附和密度函数理论(DFT)等对样品的孔结构和表面能量分布等表面织构特征进行了研究。结果表明, 样品 BET 比表面积随活化温度的升高呈现先增大后减小的变化趋势, 800 ℃ 时达到最大值 915 m²/g; 样品是典型的微孔材料, 孔分布集中于 2 nm 以下的微孔范围内, 只有极少部分的中孔, 基本没有大孔; 样品的表面能量分布较宽, 为不均匀性表面; 随活化温度的升高, 样品碘吸附量呈先增大后减小的变化趋势, 与微孔孔容、总孔容以及由 BET 比表面积的变化趋势一致。

关键词: 大麻布活性炭纤维; 氯化锌活化法; 氮气吸附; 孔结构; 表面能量

中图分类号: TQ424. 1

引 言

活性炭纤维是一种新型高效的多功能材料, 与颗粒状和粉末状活性炭相比, 具有较大的比表面积、发达的孔隙结构、较大的吸附容量、丰富的表面基团、优良的吸附动力学性能和较高的化学稳定性, 而被广泛应用于气体净化, 水和废水的深度处理及环境保护等领域^[1-2]。

活性炭纤维的制备方法包括高温 CO₂ 和水蒸气活化(物理活化法), H₃PO₄、HNO₃ 和 KOH 活化(化学活化法)^[3], 以及物理化学双重活化法^[4]。目前, 活性炭纤维的制备原料大多采用石油化工产品——有机高聚物, 虽然制备出的产品具有较好的吸附性能, 但随着石油资源日益紧缺, 继续采用有机高聚物生产活性炭纤维, 生产成本逐渐增大, 而不具有可持续发展性。植物纤维因其纤维素含量高, 成本低廉, 且资源丰富, 已引起人们的广泛关注。研究表明剑麻基活性炭纤维的微孔含量能达到 80% 以上, 比表面积能达到 1713 m²/g, 在吸附性能上堪与聚合物基活性炭纤维相媲美^[5]。对黄麻基活性炭纤维的吸附性能研究的相关文献极少^[6]。通过对亚麻和汉麻纺织废料制成的毡片进行活化研究, 得到了微孔丰富、比表面积达到 2000 m²/g 以上的活

性炭产品, 但相关文献也不多^[7]。

磷酸活化大麻布制备活性炭纤维的研究结果表明^[8], 磷酸活化大麻布活性炭纤维样品以微孔为主, 比表面积和微孔孔容随温度的变化呈现先增大后减小的趋势, 孔径与表面能均呈多峰分布。为了更深入地研究大麻布活性炭纤维的孔结构特征, 本文以大麻布为原料, 采用氯化锌活化法制备大麻布活性炭纤维样品。利用低温氮气吸附和密度函数理论对活性炭纤维样品的孔结构及表面吸附能分布进行了分析, 探讨了活化温度对样品孔隙结构及表面能量分布的影响规律。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

大麻布, 14 支, 55 × 55, 总后勤部军需装备研究所提供; 氯化锌, 分析纯, 北京化工厂; 高纯氮, 纯度大于 99.999%, 河北省香河县瑞龙气体厂。

ASAP-2020M 自动吸附仪, 美国 Micromeritics 公司; SK410 型管式电阻炉, 北京电炉厂。

1.2 大麻布活性炭纤维的制备

定量称取干燥的大麻布, 置于 2.5 mol/L 的氯化锌溶液中, 加热煮沸预处理 5 h, 捞出烘干后, 移入管式电阻炉中, 高纯氮气气氛下, 分别在不同温度下(400 ~ 900 ℃)活化 2 h, 待冷却至室温后将产物取出, 用去离子水洗至 pH 值为 6.0 ~ 7.0 后烘干, 即得到大麻布活性炭纤维样品, 记为 HMZ_{xxx}, 其中 HM 代表大麻布, Z 代表氯化锌预处理, xxx 代表活

收稿日期: 2010-02-26

第一作者: 男, 1963 年生, 教授

E-mail: yangru@bbn.cn

化温度。

1.3 大麻布活性炭纤维的织构性能表征

采用美国 Micromeritics 公司 ASAP-2020M 自动吸附仪,以高纯氮气为吸附质,在液氮温度 -196°C 下测定相对压力 (p/p_0) $1 \times 10^{-7} \sim 0.995$ 范围内 N_2 的吸附体积。所有样品测试前经 250°C 脱气 12 h 处理。根据其吸附等温线,分别用 BET 法计算比表面积 (S_{BET}),由 t -plot 法计算微孔孔容 ($V_{\mu\text{p}}$),相对压力为 0.995 时的氮气吸附量为总孔容 (V_t)^[9-10]。用高分辨率 α_s 法分析吸附等温线得到 α_s 曲线、微孔孔容 $V_{\mu\text{p}}(\alpha_s, \text{N}_2)$ 、中孔孔容 $V_{\text{mp}}(\alpha_s, \text{N}_2)$ 、微孔表面积 $S_{\mu\text{p}}(\alpha_s, \text{N}_2)$ 和微孔以外表面积 $S_{\text{ext}}(\alpha_s, \text{N}_2)$ 。采用 Dubinin-Radushkevich (DR) 方程计算微孔孔容 $V_{\mu\text{p}}(\text{DR}, \text{N}_2)$ 、微孔表面积 S_{DR} 、特征吸附能 E_0 和微孔平均孔径 D 等。用 DFT 法计算全部样品的孔径分布,MDFT 法计算非微孔表面的吸附能分布状况。

2 结果与讨论

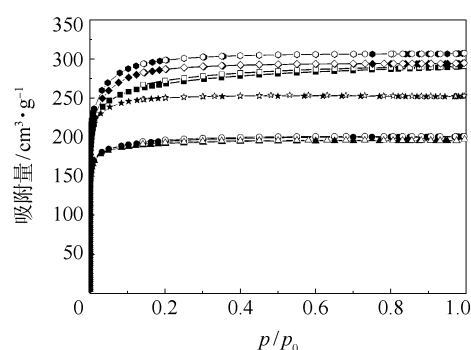
2.1 BET 表征

2.1.1 N_2 吸附等温线

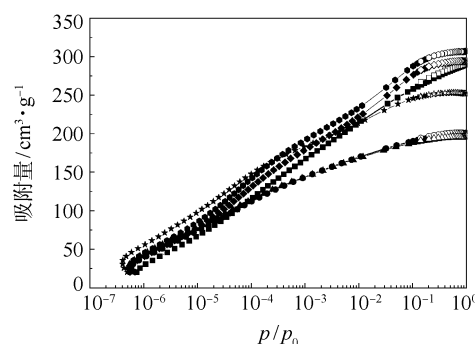
不同温度氯化锌活化大麻布活性炭纤维样品的氮气吸附等温线示于图 1,其中图 1(a)和 (b)分别为普通坐标和半对数坐标下的氮气吸附等温线。

由图 1(a)可以看出,依据 IUPAC 对吸附等温线的分类,所有样品均具有 I 型吸附等温线的典型特征。不同温度样品的等温线变化趋势基本相同,初始阶段吸附量随相对压力的增大急剧上升,并且吸附速率很快,表明存在大量微孔。随后吸附量随相对压力的逐渐增大而继续增加,但上升趋势变缓,之后达到吸附平台。吸附与脱附分支基本重合,未显示出明显的滞后环,表明样品中微孔占主导地位且分布集中,较大的孔隙极少或几乎不存在^[11]。氮气吸附量随着活化温度的升高而增加,800 $^{\circ}\text{C}$ 时达到最大值 $915 \text{ m}^3/\text{g}$,而活化温度为 900 $^{\circ}\text{C}$ 时吸附量有所下降。活化温度在 400 ~ 500 $^{\circ}\text{C}$ 以及 600 ~ 800 $^{\circ}\text{C}$ 2 个温度区间变化时,样品的 N_2 吸附量增加缓慢,而在 500 ~ 600 $^{\circ}\text{C}$ 之间变化时,吸附量迅速增加。600 $^{\circ}\text{C}$ 活化样品在较高相对压力下,其吸附等温线呈现出略微向上倾斜的趋势,说明样品存在一定数量的中孔,形成非微孔表面的多层吸附。

由图 1(b)可见,在极低的相对压力下(相对压力 $< 10^{-6}$),所有样品已经开始吸附,而且高活化温度样品有更低的初始吸附压力,大约在相对压力为



(a) 普通坐标



(b) 半对数坐标

▲ HMZ400; ● HMZ500; ■ HMZ600;
◆ HMZ700; ▲ HMZ800; ★ HMZ900

实心:吸附;空心:脱附

图 1 不同温度氯化锌活化制备的大麻布活性炭纤维样品的氮气吸附等温线

Fig. 1 Nitrogen adsorption-desorption isotherms of the hemp cloth activated carbon fibers prepared at different temperatures

4×10^{-7} 时就开始对氮气吸附,而低温样品在 8×10^{-7} 时才开始吸附行为。而且所有样品的半对数坐标吸附等温线大致可以分为 3 段,其分界点分别对应相对压力 2×10^{-5} 和 0.03。600 $^{\circ}\text{C}$ 活化样品比较特殊,其在相对压力 $< 2 \times 10^{-5}$ 时变化趋势与其它样品相同,而相对压力 $> 2 \times 10^{-5}$ 之后,吸附量急剧持续增加。由于孔结构特征决定非极性氮气分子的吸附行为,样品吸附行为的差异,表明各样品的孔分布也存在差异。

2.1.2 α_s 曲线

由氮气吸附等温线得到样品的 α_s 曲线示于图 2。由图 2 中 α_s 曲线的形状可以看出,所有样品均属于典型的微孔容积填充 (F 填充),由于受极微孔内强分子场的影响,在极低的相对压力下就发生了单分子层吸附。由图 2 可见,一开始吸附量随 α_s 的增大而快速增加且向上弯曲,表明样品中存在增强的吸附剂-吸附质相互作用,这是由于样品中微孔

的存在引起的^[12]。 $\alpha_s > 0.8$ 后,吸附量基本保持不变,在 $0.26 < \alpha_s < 0.46$ 和 $0.9 < \alpha_s < 2.0$ 范围内分别存在着线性区域。除 600 °C 活化样品略有差异外,其余样品的 α_s 曲线均出现了明显的平台。600 °C 活化样品在 $\alpha_s > 0.8$ 后, α_s 曲线呈向上倾斜的趋势,未出现明显的平台,表明样品含有一定数量的中孔,这与吸附等温线分析的结果一致。

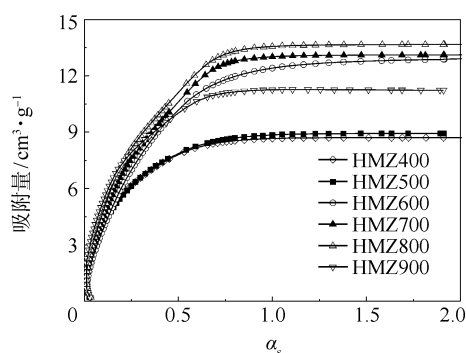


图2 不同温度氯化锌活化制备的大麻布活性炭纤维样品的 α_s 曲线

Fig. 2 α_s Plots of the ZnCl_2 -activated samples prepared at different temperatures

2.1.3 DR 曲线

表示样品转化分压 ($\lg^2(p_0/p)$) 与吸附量对数 ($\lg Q$) 关系的 DR 曲线示于图 3。

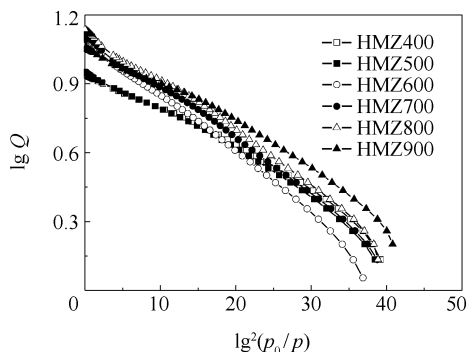


图3 不同温度氯化锌活化制备的大麻布活性炭纤维样品的 DR 曲线

Fig. 3 DR plots of the ZnCl_2 -activated samples prepared at different temperatures

由图 3 可以看出,DR 曲线大致可以分为 3 段,这 3 段基本均为直线,每一段对应着不同的吸附行为,3 段的分界点对应相对分压分别为: 2×10^{-5} 和 0.03。各曲线在较低的相对压力下与线性部分发生向下的背离,表明样品中存在着极微孔,在极低压力下进行 0.5 ~ 0.7 nm 的极微孔吸附过程。值得注意的是,600 °C 活化样品在较高相对压力下向上背离,

说明样品中存在中孔,其他样品的 DR 曲线则没有明显的向上偏离的现象。总之,不同活化温度样品的曲线走势基本一致,样品在极低分压处均产生了负偏离现象,低分压处的负偏离是活化扩散引起的,而高活化温度能加速活化扩散^[13],产生丰富的孔分布。

2.2 孔径分布及孔结构参数

2.2.1 孔径分布

样品的吸附等温线经密度函数理论 (DFT) 分析得到的全孔孔径分布图示于图 4, DFT 方法分析计算得到的微孔孔容和中孔孔容参数值列于表 1。

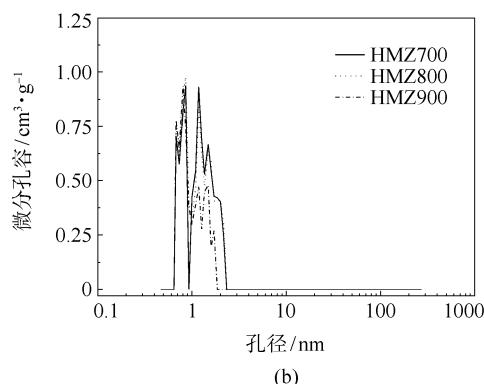
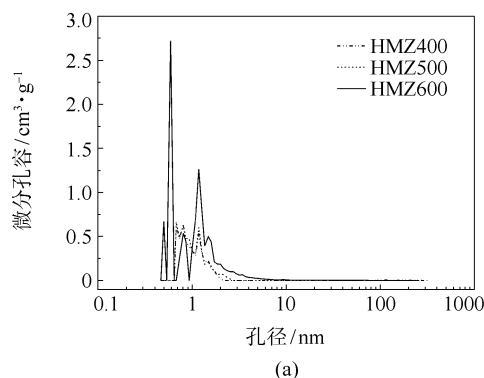


图4 不同温度氯化锌活化制备的大麻布活性炭纤维样品的 DFT 孔径分布

Fig. 4 Differential pore size distributions of the ZnCl_2 -activated samples prepared at different temperatures calculated by DFT method

由图 4 可以看出,样品的孔分布集中于 2 nm 以下的微孔范围内,既有极微孔又有超微孔,只有极少部分的中孔,基本没有大孔,而 600 °C 活化样品的中孔数量相对比较多,主要集中在 2 ~ 10 nm 之间。在微孔区域,孔径分布呈现多峰分布并伴随着各自不同的峰值。在孔径 $D < 1$ nm 的范围内,600 °C 活化的样品存在 3 个峰值,分别出现在 0.5、0.6 和 0.8 nm 处,而其余 5 个样品的峰值只有 2 个,分别出现在 0.7 和 0.8 nm 处,说明 600 °C 活化的样品可以产

生较多的极微孔。在孔径 $1\text{ nm} < D < 2\text{ nm}$ 的区域内,除 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活化样品外,所有的样品都呈现双峰分布,峰值分别在 1.2 和 1.5 nm 处。而 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活化样品呈现 3 峰分布,峰值分别在 $1.2, 1.5$ 和 1.7 nm 处。 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活化样品在 $3 \sim 8\text{ nm}$ 处还存在少量中孔

分布,这与前面的吸附等温线分析结果成对应关系。前驱体大麻布高温下炭化活化,趋于产生类石墨微晶体,类石墨微晶碳层面进一步刻蚀形成孔隙结构^[14],所以大麻布高温下炭化活化后易于形成类石墨微晶碳层面间距近似整倍数的孔径分布。

表 1 不同方法计算的氯化锌活化样品的孔结构参数

Table 1 Pore structure parameters of the ZnCl_2 -activated samples calculated by different methods

样品	t -Plot	DFT 方法				α_s 方法				DR 方法			
	$V_{\mu\text{P}}/$	$V_{\mu\text{P}} < 1 /$	$V_{\mu\text{P}} < 2 \text{ nm}/$	$V_{\text{mp}}/$	$S_{\text{ext}}/$	$S_{\mu\text{P}}/$	$V_{\mu\text{P}}/$	$V_{\text{mp}}/$	$E_0/$	$V_{\mu\text{P}}/$	$S_{\text{DR}}/$	$W/$	
	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	nm	
HMZ400	0.26	0.09	0.16	0.00	0.30	175	0.15	0.15	22.14	0.34	954	0.90	
HMZ500	0.26	0.10	0.16	0.01	1.71	158	0.15	0.16	21.28	0.35	984	0.94	
HMZ600	0.31	0.18	0.33	0.03	20.2	41	0.13	0.29	18.41	0.46	1295	1.09	
HMZ700	0.36	0.11	0.27	0.02	1.63	188	0.16	0.29	18.96	0.49	1382	1.05	
HMZ800	0.36	0.13	0.28	0.02	2.12	238	0.18	0.29	19.09	0.52	1475	1.05	
HMZ900	0.34	0.12	0.21	0.00	1.10	264	0.20	0.19	21.37	0.50	1293	0.94	

2.2.2 孔结构参数

不同方法对样品的氮气吸附等温线进行分析处理得到的孔结构参数列于表 1。从表 1 可以看出,随着活化温度的升高,样品的孔容呈现先增大后减小的变化趋势, $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时达到最大值。活化温度高于 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,将使已形成的孔被扩宽,部分表面碳会被烧蚀,甚至有些孔坍塌而被烧结,从而导致比表面积和孔容下降^[15]。

从表 1 可以进一步看出,用 t -plot、 α_s 和 DR 3 种方法计算得到的微孔孔容具有相似的变化规律,微孔孔容随着活化温度的升高而显著增加,其中用 DR 法得到微孔孔容 $V_{\mu\text{p}}$ (DR, N_2) 的数值要明显大于其余两个, α_s 法分析得到的微孔孔容最小。而 DFT 法计算得到的微孔孔容则呈现先减小后增大的变化规律,这与样品的孔分布规律是一致的。其微孔孔容 $V_{\mu\text{p}} < 1\text{ nm}$ 和 $V_{\mu\text{p}} < 2\text{ nm}$ 呈现出与其他方法相反的变化规律,且总微孔孔容介于 $V_{\mu\text{p}}$ (DR, N_2) 和 $V_{\mu\text{p}}$ (α_s, N_2) 之间。中孔孔容 V_{mp} (α_s, N_2) 和 V_{mp} (DFT, N_2) 都随着活化温度的升高而波动增加,但整体数值变化不大,说明 α_s 法和 DFT 法的中孔孔容的变化趋势基本一致,表明升高活化温度对样品中孔孔道的形成影响不是很大。特征吸附能 E_0 随着活化温度的升高而先增加后减小,与微孔平均孔径 W 呈相反的变化趋势。

2.3 表面能量分布

DFT 方法计算得到的样品表面能量分布图示于

图 5。由图 5 可以看出, $600 \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活化样品的能量分布较宽,并且呈现 3 组不连续的多峰型分布,说明样品存在不同表面能量的吸附位,表明表面是不均匀的。而其他 3 个样品的表面能量分布较窄,表明样品的非微孔表面具有较为单一的吸附位,分布较均匀。文献[16]的结果认为 $50 \sim 65\text{ K}$ 范围内的能量分布对应于较小孔径的中孔, $70 \sim 100\text{ K}$ 归属于微孔。所以结合图 4 孔分布曲线可以看出,样品中均存在极微孔 ($< 0.7\text{ nm}$)、超微孔 ($0.7\text{ nm} \sim 2.0\text{ nm}$) 和少量中孔 ($2.0\text{ nm} \sim 10\text{ nm}$),综合分析孔分布和表面能量分布的变化规律,可以得出表面能量分布在 $\varepsilon/k = 100\text{ K}$ 附近的吸附位应归属于极微孔, $65 \sim 75\text{ K}$ 范围内的能量分布对应的吸附位应归属于超微孔,而 $50 \sim 65\text{ K}$ 范围内的能量分布对应的吸附位应归属于有限数量分布较宽的中孔。说明能量峰分布的位置可能不仅依赖于孔径大小,而且取决于孔径分布和表面特性。总之,宽的孔分布导致宽的表面能量分布和较多的能量峰值,并使吸附位也随之增多^[17]。

2.4 碘吸附性能

碘的吸附量参照中华人民共和国国家标准 GB/T 12496.8—1999 进行分析测定。碘分子的直径在 1 nm 左右,在吸附过程中,碘分子能进入活性炭纤维的微孔和中孔,因此,碘的吸附量可反映样品的孔隙发达程度。本工作对不同活化温度下,氯化锌活

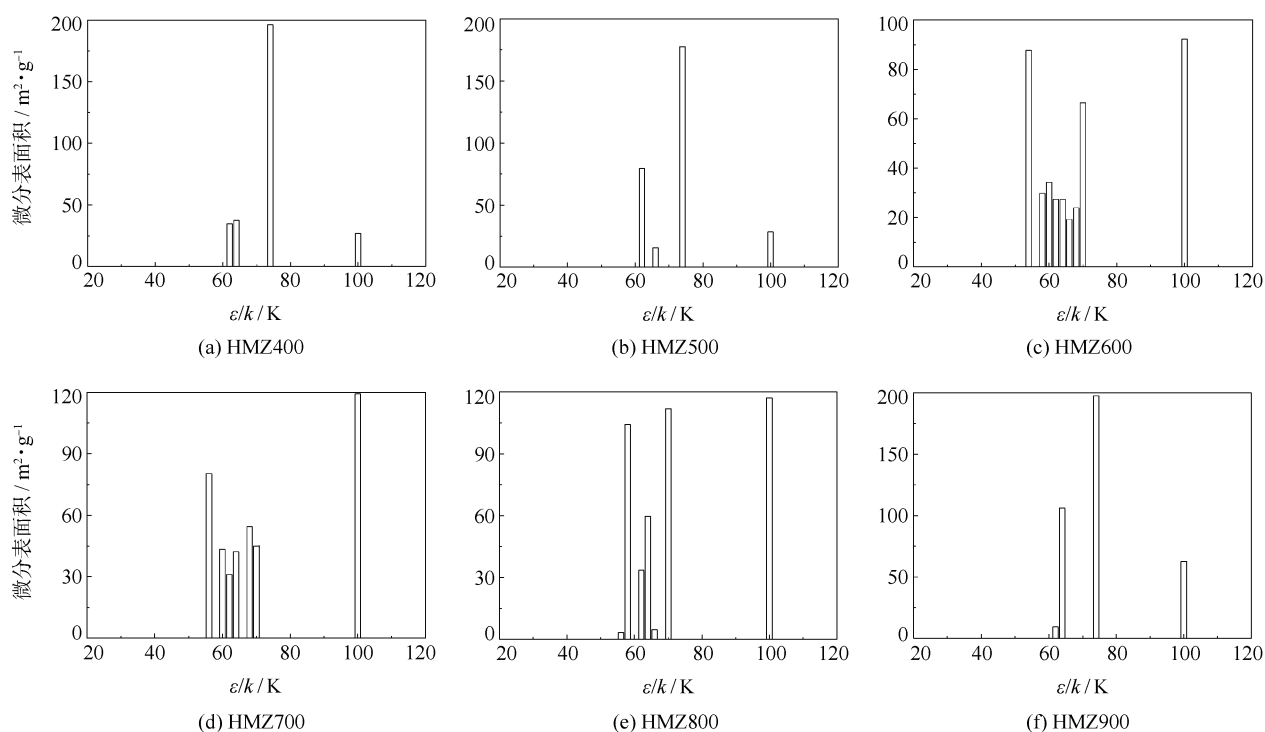


图5 不同温度氯化锌活化制备的大麻布活性炭纤维样品的 DFT 表面能量分布
Fig.5 Distribution of surface energy of the ZnCl_2 -activated samples based on DFT method

化制得的大麻布活性炭纤维作了碘的吸附研究,所有样品的碘吸附量在 1270 ~ 1841 mg/g 范围内,超过了国家标准一级产品的指标,表明氯化锌活化制得的大麻布活性炭纤维样品具有发达的孔隙结构,且样品中微孔含量比中孔含量大得多。

碘吸附量与孔容及比表面积随活化温度的变化关系示于图 6。

图 6(a)为各项孔容参数的变化规律,图 6(b)为比表面积的变化规律。由图 6 可以看出样品的碘吸附量随活化温度的升高呈先增大后减小的变化趋势,在 800 °C 达到最大值 1841 mg/g。微孔孔容、总孔容以及由 BET 法计算的比表面积与样品的碘吸

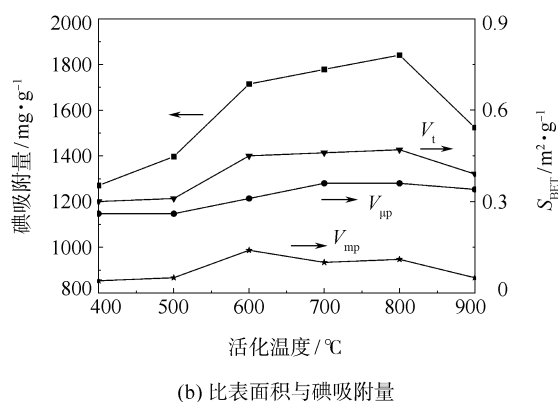
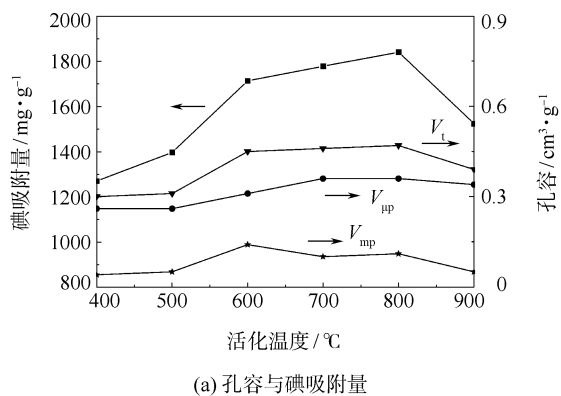


图6 样品孔容参数(a)及比表面积(b)与碘吸附量随活化温度的变化曲线

Fig.6 Pore volume parameters (a) and specific surface area (b) of the samples and their iodine uptakes as a function of activation temperatures



(a) 孔容与碘吸附量

3 结论

(1) 微孔孔容随着活化温度的升高而显著增

附量随活化温度的变化呈现相同的变化趋势,表明样品的微孔孔容、总孔容和比表面积的大小直接反映了样品碘吸附量的大小,是样品碘吸附量的主要参数。

加,而中孔孔容随着活化温度的升高先增加而后减小,呈现出与微孔孔容不同的变化趋势。

(2) 孔径分布均呈现多峰分布,但基本都只含有微孔和少量中孔。

(3) 样品的表面能量分布曲线出现了多个能量峰值,孔径的大小与能量峰值之间存在一定的关系,宽的孔径分布导致宽的表面能量分布和较多的能量峰值,并使吸附位也随之增多。

(4) 碘吸附量随活化温度的升高呈先增大后减小的变化趋势。

参考文献:

- [1] Jung M J, Kim J W, Im J S, et al. Nitrogen and hydrogen adsorption of activated carbon fibers modified by fluorination[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2009, 15: 410-414.
- [2] Zhang S J, Feng H M, Wang J P, et al. Structure evolution and optimization in the fabrication of PVA-based activated carbon fibers[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2008, 321: 96-102.
- [3] Huidobro A, Pastor A C, Rodríguez-Reinoso F. Preparation of activated carbon cloth from viscous rayon. Part IV: Chemical activation[J]. Carbon, 2001, 39: 389-398.
- [4] Suárez-García F, Martínez-Alonso A, Tascón J M D. Activated carbon fibers from Nomex by chemical activation with phosphoric acid[J]. Carbon, 2004, 42: 1419-1426.
- [5] Williams P T, Reed A R. Pre-formed activated carbon matting derived from the pyrolysis of biomass natural fibre textile waste[J]. J Anal Appl Pyrolysis, 2003, 70: 563-577.
- [6] 陈凤婷, 曾汉民. 几种植物基活性炭材料的孔结构与吸附性能比较:(I) 孔结构表征[J]. 离子交换与吸附, 2004, 20(2): 104-112.
Chen F T, Zeng H M. Comparison on pore structure and adsorption properties of several types of plant-based carbonaceous adsorbents: (I) Characterization of pore structure[J]. Ion Exchange and Adsorption, 2004, 20(2): 104-112. (in Chinese)
- [7] Senthilkumaar S, Varadarajan P R, Porkodi K, et al. Adsorption of methylene blue onto jute fiber carbon: Kinetics and equilibrium studies[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, 284: 78-82.
- [8] 杨儒, 罗玲玲, 张建春, 等. 磷酸活化汉麻布活性炭纤维的孔结构[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(3): 51-57.
- [9] Yang R, Luo L L, Zhang J C, et al. Property of pore structure of the hemp cloth activated carbon fibers activated by phosphoric acid[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science, 2010, 37(3): 51-57. (in Chinese)
- [10] Wang L H, Fujita M, Inagaki M. Relationship between pore surface areas and electric double layer capacitance in non-aqueous electrolytes for air-oxidized carbon spheres[J]. Electrochimica Acta, 2006, 51: 4096-4102.
- [11] Gomez-Serrano V, Cuerda-Correa E M, Fernandez-Gonzalez M C, et al. Preparation of activated carbons from chestnut wood by phosphoric acid-chemical activation. Study of microporosity and fractal dimension[J]. Materials Letters, 2005, 59: 846-853.
- [12] Kumagai S, Ishizawa H, Toida Y. Influence of solvent type on dibenzothiophene adsorption onto activated carbon fiber and granular coconut-shell activated carbon[J]. Fuel, 2010, 89: 365-371.
- [13] Wu Z B, Liu Z G, Tian P, et al. Template-assisted syntheses of two novel porous zirconium methylphosphonates[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2005, 81: 175-183.
- [14] Yang Q H, Liu C, Liu M, et al. Pore structure of SWNTs with high hydrogen storage capacity[J]. Science in China: Ser E, 2002, 45(6): 561-568.
- [15] Lu A H, Zheng J T. Study of microstructure of high-surface-area polyacrylonitrile activated carbon fibers[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2001, 236: 369-374.
- [16] 秦军, 陈明鸣, 王成扬, 等. 炭化温度对酚醛基活性炭纤维孔结构的影响[J]. 炭素, 2007(3): 3-6.
Qin J, Chen M M, Wang C Y, et al. Influences of carbonization temperature on pore structure of phenolic resin based activated carbon fibers[J]. Carbon, 2007(3): 3-6. (in Chinese)
- [17] Yang R, Liu G Q, Li M. Analysis of the effect of drying conditions on the structural and surface heterogeneity of silica aerogels and xerogel by using cryogenic nitrogen[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2010, 129: 1-10.
- [18] Nagaraja B M, Abimanyu H, Jung K D, et al. Preparation of mesostructured barium sulfate with high surface area by dispersion method and its characterization[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2007, 316: 645-651.

Pore structure of hemp cloth-derived carbon fibers activated by zinc chloride

YANG Ru¹ YU HuiMin¹ LUO LingLing¹ ZHANG JianChun^{1,2} LI Min¹
HAO XinMin² ZHANG Hua²

(1. State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. The Quartermaster Equipment Institute of General Logistics Department of CPLA, Beijing 100088, China)

Abstract: Hemp cloth-derived carbon fibers have been prepared by a ZnCl_2 activation method. The pore structure of the resulting samples was characterized by N_2 adsorption and the surface energy distribution was analyzed by the DFT method. The BET specific surface area of the hemp cloth-derived activated carbon fibers first increased and then decreased with increasing temperature, and reached a maximum of $915 \text{ m}^2/\text{g}$ at 800°C . The samples were all typical microporous materials. The pore size distribution was mainly within the 2 nm micropore region. All the samples possessed a small fraction of mesopores, but no macropores. The samples had wide surface energy distributions and heterogeneous surfaces. As the activation temperature was increased, the iodine adsorption amount of the materials showed an initial increase followed by a decrease, which follows the same trend as for micropore volume, total pore volume and BET specific surface area.

Key words: hemp cloth-derived activated carbon fibers; zinc chloride activation method; nitrogen adsorption; porous structure; surface energy