

文章编号: 1007-8827(2005)04-0335-08

针状焦基活性炭的制备及其作为 EDLCs 电极材料的电化学性能

李强^{1,2}, 李开喜¹, 王芙蓉^{1,2}, 孙国华^{1,2},

(1. 中国科学院炭材料重点实验室 中国科学院山西煤炭化学研究所, 山西 太原 030001;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 以针状焦生焦为原料, 通过 KOH 化学活化法, 在不同活化条件下制备出一系列高比表面积活性炭, 并对这些活性炭进行了孔结构表征。而后以 30% KOH 溶液为电解液, 测试了由所获活性炭制备的一系列电极的电双层电容性能。结果表明: 在碱炭比 7:1、活化温度 850 °C 时, 所制活性炭的 BET 比表面积为 2 728 m²/g, 孔容为 2.14 cm³/g, 统计平均孔径为 4.4 nm, 大中孔孔容占总孔孔容约 50%。该活性炭电极的比电容达 305 F/g, 有相对较高的能量密度、良好的功率特性以及双电层电容特性。

关键词: 针状焦生焦; 活性炭; 双电层电容; 循环伏安

中图分类号: TQ 424.1 TB 242 **中图分类号:** A

1 前言

炭质多孔材料如石油焦基活性炭^[1]、煤焦基活性炭^[2]、纳米孔玻态炭^[3]、炭气凝胶^[4,5]、活性炭微球^[6]、纳米碳管^[7,8]等, 由于比表面积高、原料来源丰富、性能稳定, 而被广泛用作电化学电双层电容器 (Electrochemical Double Layer Capacitor, 简称 EDLC) 的电极材料^[9,10]。作为 EDLC 的电极材料, 要求活性炭既有高的比表面积, 同时又具有良好的导电特性^[10]。而活性炭的这些指标主要取决于制备活性炭前驱体的结构和性质。一般而言, 石墨化程度较低的焦易于活化得到 BET 比表面积高、孔隙发达的活性炭, 但导电性则不如石墨化程度较高的焦, 反之亦然。举一个极端的例子: 如石墨, 其导电性能优良, 但却难以活化。因此, 在某种程度上, 活化难易和导电性好坏是一对矛盾, 我们所能做的就是两者之间找到一个最佳点。

针状焦是富含芳烃重质油经预处理、延迟焦化和煅烧后生成的一种优质焦, 具有特殊的针状结构和良好的导电性能而被广泛用作大功率、特大功率电极材料^[11]。由此, 我们设想以针状焦作为前驱体通过 KOH 活化制备的活性炭将会有较常规活性炭更好的导电性。然而活化结果表明, 由于针状焦的

石墨化程度很高, 对其进行活化非常困难。由煅烧所起的作用^[11]可以判断延迟焦化后所得的生焦已经具备类似针状焦的独特结构, 那么以煅烧前的针状焦生焦作为前驱体进行活化应既在一定程度上保持针状有序排列的良好导电性能, 又可以通过化学或物理活化得到高比表面积活性炭, 为 EDLC 的电极材料提供了另一种选择。这正是本研究选用针状焦生焦作为制备活性炭原料的原因所在。

2 实验部分

2.1 活性炭制备

将针状焦生焦原料(针状焦生焦来源于鞍山沿海化工厂)破碎、筛分, 取一定粒度范围的炭粉, 与一定量的 KOH 均匀混合后在 850 °C 高温下恒温活化 60 min ~ 120 min。活化后的产品用水反复洗涤至 pH 值接近 7, 干燥, 备用。样品编号如 AC5, 即以针状焦生焦为原料、碱炭比 5:1 条件下制备的活性炭, 其余依此类推。

2.2 试样表征

2.2.1 活性炭孔结构

活性炭的比表面积及孔结构采用意大利 CE Instrument 公司生产的 Sorptomatic 1990 物理吸附仪

收稿日期 2005-11-06; 修回日期 2005-11-25

基金项目 国家自然科学基金(50272070)。

通讯作者 李开喜, 教授, 博导。Tel: +86-351-4250292, E-mail: likx99@yahoo.com

作者简介 李强(1979-), 男, 内蒙古人, 博士研究生, 主要从事电化学电容器电极材料的研究。

进行表征。利用低温(77 K) N_2 吸附法测定活性炭的吸附等温线,由 BET 法测定比表面积,HK 法求得孔径分布,t-plot 法测定孔容。

2.2.2 电极制备及电化学性能表征

以自制的不同比表面积及孔结构的活性炭为原料,加入适量的乙炔黑以改善电极的导电性能,用质量分数为 60% PTFE 乳液做黏结剂,以泡沫镍作为集电极,电极在一定的压力下成型,制成面积约为 1.13 cm^2 的圆片电极。

电化学电容器是以质量分数为 30% KOH 溶液做电解液,用聚丙烯薄膜做电极隔膜。电极的充放电性能用美国 ARBIN 公司的 BT-4 通道电池测试仪进行测试表征。分别考察双电极体系不同电流密度下电极的比电容量(换算为单电极的比电容)及其循环伏安特性,同时也考察了电极材料的能量密

度和功率特性。

3 结果与讨论

3.1 活化剂用量对针状焦基活性炭结构的影响

在活化温度为 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 、活化时间为 90 min、保护气氛为 N_2 的条件下,考察了活化剂用量对所制活性炭比表面积及孔结构的影响。图 1 为碱炭比(质量比)分别为 5:1、6:1、7:1、8:1 时活性炭的等温吸脱附曲线,图 1b 是图 1a 的局部放大。吸脱附等温线滞后环的出现表明活性炭含有相当一部分中孔。由活性炭的孔径分布(图 2)进一步得出,在不同碱炭比条件下,活性炭在 $2 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ 之间都有着较为丰富的中孔。

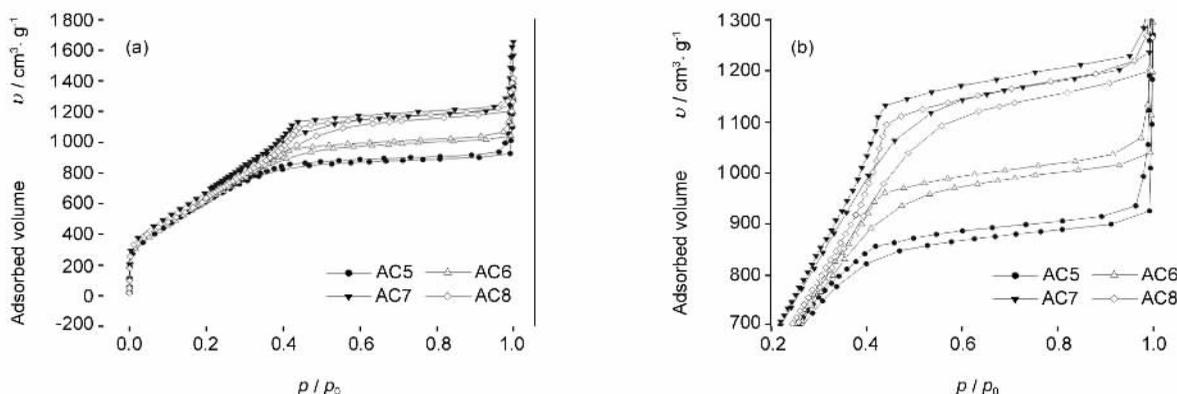


图1 不同碱炭比所制活性炭的吸脱附等温线

Fig. 1 The N_2 adsorption and desorption isotherms of ACs prepared at different KOH/carbon powder ratio (Arabic numbers of AC5, AC6, AC7 and AC8 are the KOH/carbon powder ratio)

活化剂用量对活性炭的比表面积、孔容、平均孔径及中孔含量的影响如图 3 所示。当碱炭比达到 7:1 时,活性炭的比表面积及总孔容同时达到峰值(分别为 $2728 \text{ m}^2/\text{g}$ 和 $2.14 \text{ cm}^3/\text{g}$)。当碱炭比达到 8:1 时比表面积及总孔容同时开始下降,而中孔的相对含量却一直增大,但有减缓的趋势。有趣的是,大的中孔孔容含量并没有得到相应大的平均孔径,这可以解释为 100 nm 以上大孔的影响,大孔对统计平均孔径的贡献很大^[12]。

所制活性炭各孔径分段的相对比例及孔容的比较结果如表 1 所示。随着碱炭比的增加,微孔(2 nm 以下)相对含量逐渐降低, $2 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$ 、 $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ 孔径范围内的中孔相对含量不断增高; $50 \text{ nm} \sim 200 \text{ nm}$ 的大孔无规可循。其中 $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$ 和 $50 \text{ nm} \sim 200 \text{ nm}$ 范围内孔的相对含量之和在 10% 以

下,表明针状焦用 KOH 进行化学活化主要生成 5 nm 以下的孔隙。值得注意的是,适合于电解液进出电极通道的孔($2 \text{ nm} \sim 5 \text{ nm}$)相对含量随碱炭比的提高从 33.21% 增加到 41.84%,而比表面积仍然维持在 $2500 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上(表 2)。

3.2 多孔炭的结构与其电化学性能的关系

多孔炭的物理结构对其电化学性能的影响是错综复杂的。多孔炭电极电化学性能的优劣并非由多孔炭的某一物理性质所决定,而是各种因素综合及平衡的结果。这些因素包括多孔炭的比表面积、孔径、孔径及其分布和表面含氧官能团等,并不是所有的表面都可以有效地形成双电层电容,如表 2 中所列,所有活性炭比表面积的利用率,亦即可形成双电层的表面积基本在 50% 左右,即使是可形成双电层电容的表面,其比电容也不一定相同^[13,14]。

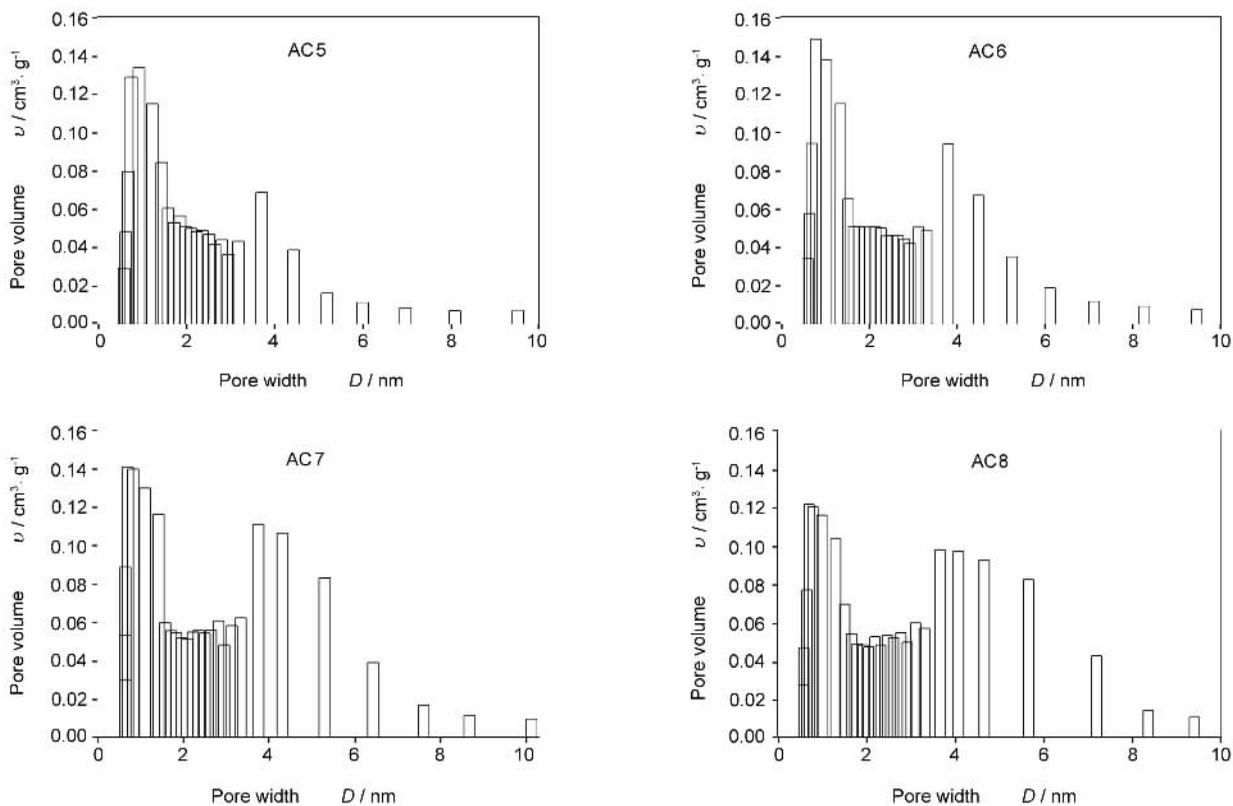


图 2 不同碱碳比所制活性炭的孔径分布图

Fig. 2 Pore size distributions of ACs obtained at different KOH/carbon powder ratio (AC5 , AC6 , AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1)

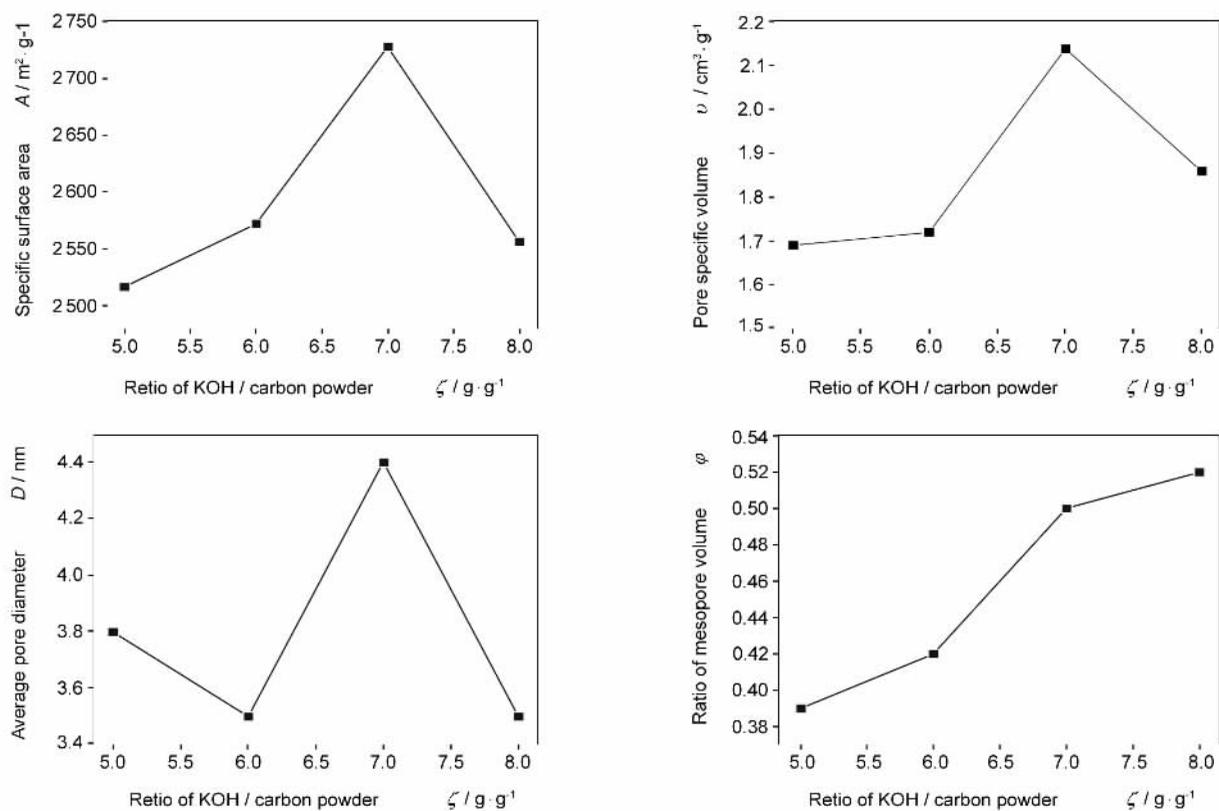


图 3 碱碳比对活性炭孔结构的影响

Fig. 3 The influence of KOH/carbon powder ratio on pore structures of ACs

表 1 不同活性炭各孔径分段的孔容及其百分含量

Table1 Pore volume and its percentage of ACs within different pore size range

Sample		AC5	AC6	AC7	AC8
Pore width	D/nm				
≤2	Volume ratio $\varphi/\%$	60.59	53.77	49.81	47.73
	Pore volume $v/\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0.854	0.851	0.937	0.871
2~5	Volume ratio $\varphi/\%$	33.21	39.13	40.64	41.84
	Pore volume $v/\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0.468	0.619	0.765	0.764
5~50	Volume ratio $\varphi/\%$	5.00	6.32	8.30	10.02
	Pore volume $v/\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0.070	0.100	0.156	0.183
50~200	Volume ratio $\varphi/\%$	1.20	0.75	1.23	0.42
	Pore volume $v/\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	0.017	0.012	0.023	0.008

Note : AC5 , AC6 , AC7 and AC8 are the same as Fig. 1.

AC5、AC6 和 AC8 的比表面积基本相近 ,孔容和平均孔径也无明显区别 ,但后者的比电容却明显低于前二者 ,可能与 AC8 较多的中孔率有关。因为电解液为水性 ,对中孔率的要求较低 ,相反一些较大孔径的微孔可能对水性电解液中双电层的形成有利。AC7 之所以较其他活性炭的比电容高是由于其不仅具有高的比表面积 ,其孔容、平均孔径和中孔率也较高。综合考虑 ,以水性电解质为电解液 ,在孔容和孔径较大的前提下 ,比表面积是影响活性炭电化性能的关键因素。

表 2 活性炭的孔结构对其电化学性能的影响

Table 2 The influence of pore structure of ACs on it 's electrochemical performance

Sample	AC5	AC6	AC7	AC8
Surface area $A/\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	2516	2571	2782	2555
Pore volume $v/\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	1.69	1.72	2.14	1.86
Average pore width D/nm	3.8	3.5	4.4	3.5
Mesopore ratio $\varphi/\%$	39.42	46.22	50.21	52.27
Specific capacitance $C/F \cdot \text{g}^{-1}$	272	277	305	227
Effective surface area $\eta/\%$	50	54	56	44

Note : AC5 , AC6 , AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1.

不同的充放电电流 ,得到不同的比电容量(如图 4)。从图 4 可看出 ,随着充放电电流的增大 ,电极的比电容呈减小趋势。这主要是因为狭小而复杂的孔结构使得电解液离子的快速出入受到限制 ,当小电流充放电时 ,电解液离子将会有足够的时间渗透到活性炭孔隙的底部 ,从而提高了活性炭比表面积的利用率 ,获得大的比电容 ;反之 ,在大电流充放电的情况下 ,电解液离子只能在活性炭孔隙的孔口部分形成双电层 ,从而使得活性炭比表面积的利用率较低 ,获得相对较小的比电容^[15]。但是 ,比电容

也并不随着充放电电流的无限变小而增大 ,而是存在一个阈值 ,当电流小于这个值时 ,电极不再正常充放电。这个阈值的大小主要受漏电流的限制 ,大的漏电流有相应较大的阈值。当充放电电流接近这个阈值时 ,所充电容量几乎全部以漏电流方式释放掉了。

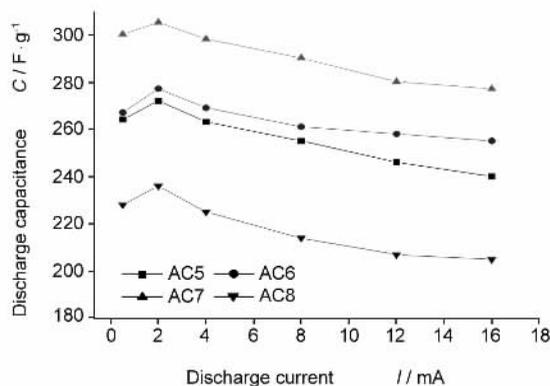


图 4 不同电流密度下活性炭电极比电容的变化

Fig. 4 The specific capacitance of ACs electrodes at different current (AC5 , AC6 , AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1)

电解液离子弥散在多孔炭电极高度发达的孔隙中产生的电阻会导致在 EDLC 恒流放电开始瞬间产生电压突降 ,称为 IR 压降^[16]。电极充放电过程产生的 IR 压降、EDLC 的漏电流和自放电现象以及电极或电解液中的残留杂质所导致的法拉第副反应的发生^[17]会导致 EDLC 的双电层特征变差。如果 EDLC 体系的电阻较大时 ,则有明显的 IR 压降。不同活性炭电极的电阻(R)如图 5 所示 ,其排序为 $R_{AC8} > R_{AC7} > R_{AC6}$ 。其原因可能是低碱炭比制备的活性炭有着相对简单的孔隙结构 ,导致电解液离子在纳米孔隙中的电迁移相对容易 ,因而有着相对小的电阻 ;而随着碱炭比的增大 ,活性炭的孔隙结构越

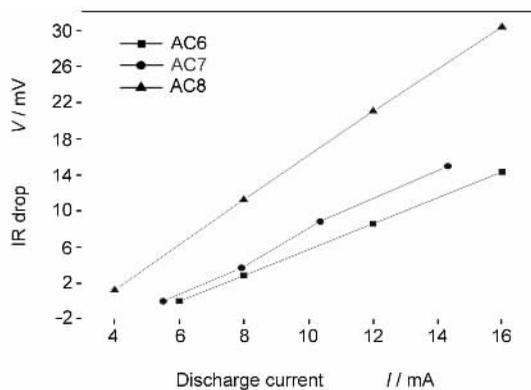


图 5 电压降随电极放电电流变化曲线

Fig.5 The relation of IR drop and discharge current (AC6, AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1)

来越复杂,而且多余的活化剂在活化过程中还会使得一部分孔隙的孔壁塌陷,虽然可能起到扩孔作用,但也会造成孔隙的堵塞,使孔洞结构变得更为复杂,

不利于电解液离子的电迁移,进而导致较大的电阻。

3.3 活性炭电极的循环伏安特性、能量密度及其功率特性

循环伏安法是 EDLC 常用的重要测试手段之一^[18]。活性炭电极在质量分数为 30% KOH 电解液中的循环伏安(Cyclic Voltammetry, CV)曲线如图 6 所示,电压扫描范围为 -0.9 V ~ 0.9 V,电压扫描速度为 10 mV/s。对于双电层电容来说,其 CV 曲线矩形度越好,则说明电极的双电层特征越优良。由 CV 曲线良好的矩形度可推断,作为一种 EDLC 电极材料,针状焦基活性炭有着良好的双电层电容特征。设 CV 的电压扫描速度为 $S = \pm dV/dt$,则电容量 $C = I/S$ ^[18]。由此可以得出,当 S 相同时, CV 的电流 I 越大则 EDLC 的电容量 C 越大。从循环伏安曲线所包含的面积的大小可以看出 AC7 活性炭有着较另外三者高的比电容值。

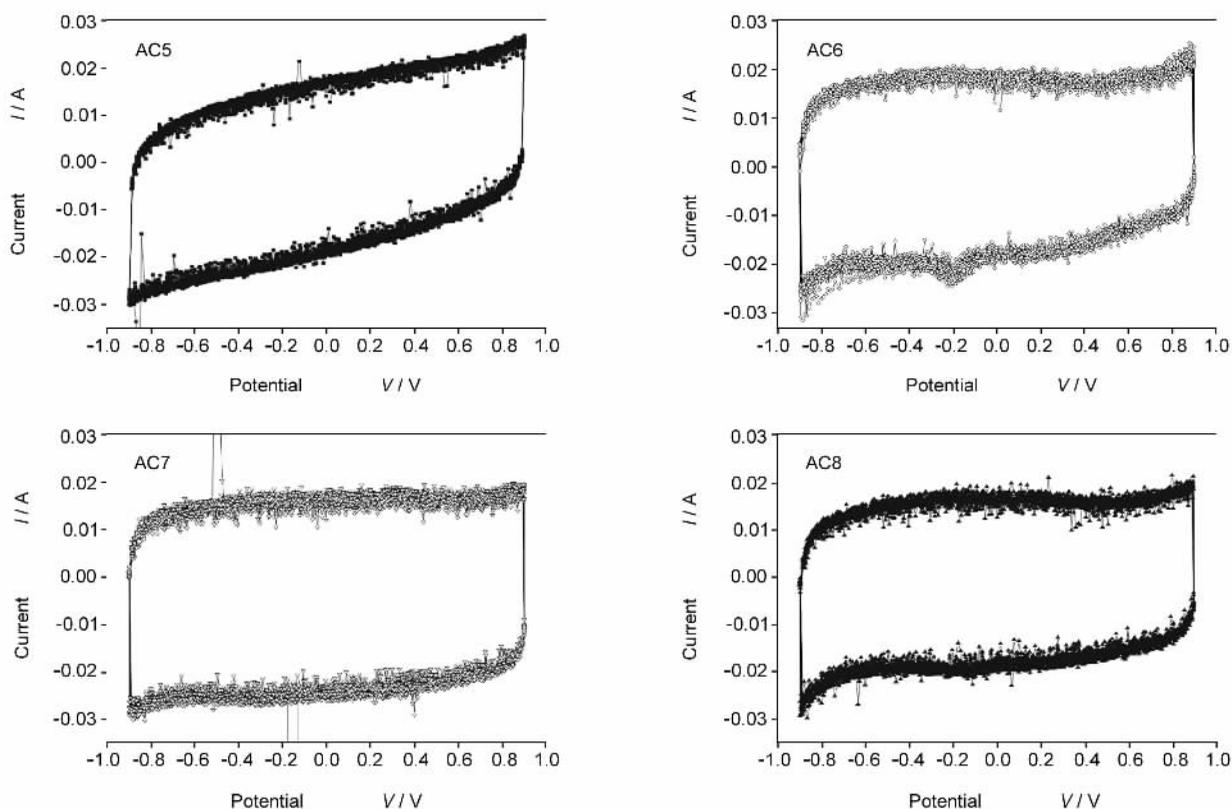


图 6 活性炭电极的循环伏安 CV 曲线

Fig. 6 The current-potential relation of AC electrodes (AC5, AC6, AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1)

通过比较不同电压扫描速度(S)的 CV 曲线形状,可以判断 EDLC 在大电流时动力学特性的优劣^[19]。图 7 为以 AC7 活性炭制备的电极在质量分数为 30% KOH 溶液中, S = 2 mV/s、5 mV/s、

10 mV/s 时的 CV 曲线。可以看出,当 S = 2 mV/s 时, CV 曲线最为理想,电流随电压匀速变化而保持恒定。在扫描方向反转处,电流也在瞬间随之转向,并很快达到恒定值。CV 曲线的上下分支有良好的

对称性。随着 S 的增大,上半支的电流依然具有良好的恒流特征,而下半支恒流特征则开始稍稍有些变差。但是可以看出,即使在 $S = 10 \text{ mV/S}$ 时,CV 曲线也有着非常好的矩形度。这说明充放电过程只有双电层机制没有准电容反应,电容的大小不受电压的限制,且测试电容器的内阻非常小,电解液在电极孔隙中能保持良好的流通性和导电性,充放电过程有好的动力学特性。

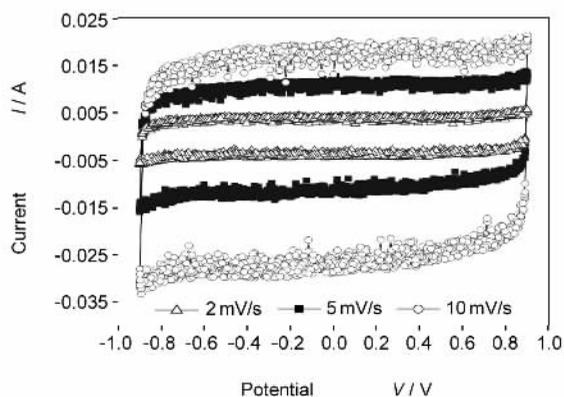


图 7 电极在不同电压扫描速度下的 CV 曲线
Fig. 7 The current-potential relation of electrodes at different voltage scan rate

3.4 活性炭电极的能量密度和功率特性

能量密度 (Energy-density, ED) 的定义是 EDLC 单位重量所存储能量的大小,其单位是 J/kg 或 Wh/kg 。能量密度是衡量电化学电容器性能优劣的一项重要指标,能量密度的大小不但和电极材料有关,而且与电解液的种类有关。功率密度 (Power-density, PD) 是 EDLC 单位时间内所存储能量密度的多少。PD 与 ED 之间的关系是能量输出系统的一个重要的基本关系。将二者取对数后作图形成的曲线被称作 Ragone 曲线。Ragone 曲线常被用来描述电池的行为特性,而被用来表征电化学电容器行为仅是最近几年的事^[20]。

图 8 依次为 AC6、AC7、AC8 电极的 I -ED 曲线 (图 8a) I -PD 曲线 (图 8b) ED -PD 曲线 (图 8c)。由 I -ED 曲线可以发现,电极材料的能量密度 $ED_{AC7} > ED_{AC6} > ED_{AC8}$,而且大电流充放电会导致能量密度不同程度的下降,但下降趋势渐缓。由 I -PD 曲线可知,EDLC 的功率密度 PD 随充放电电流线性增大,当 I 相同时, $PD_{AC7} > PD_{AC8} > PD_{AC6}$ 。因此,AC7 活性炭不但有高比电容,而且还有相对高的能量密度和良好的功率特性。 ED -PD 曲线则表明 EDLC 中 PD 的增大须在一定程度上以牺牲其 ED 为代

价。这是由于大功率充放电时,双电层只能迅速在活性炭孔端口部位形成,使得比表面的利用率较小,功率充放电时低,因而大功率充放电时所得比电容和 ED 都有所减少^[20]。

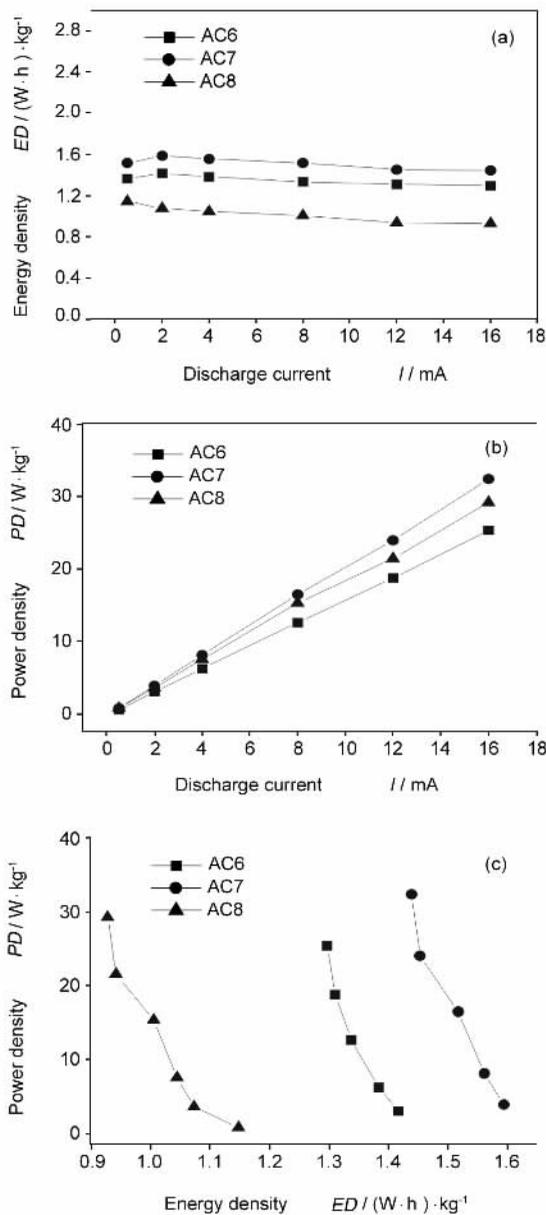


图 8 能量密度、功率密度及充放电电流三者的关系 (a) I -ED 曲线, (b) I -PD 曲线 (c) ED -PD 曲线
Fig. 8 The relation of energy density, power density and char-discharge current. (a) I -ED curve, (b) I -PD curve, and (c) ED -PD curve (AC6, AC7 and AC8 are the same as in Fig. 1)

4 结论

以针状焦生焦为原料,经 KOH 化学活化法活化,可制备出既具有高比表面积、又具有发达中孔的

活性炭。在活化温度为 850 °C, 碱炭比为 7:1, 活化时间为 90 min 的条件下, 可制备出 BET 比表面积高达 2728 m²/g, 大中孔孔容占总孔容约 50% 的活性炭。充放电测试表明该针状焦基活性炭是一种良好的 EDLC 电极材料, 有着良好的电化学充放电性能, 如高的比电容(305 F/g), 相对较小的内阻、良好的循环伏安特性、相对较高的能量密度等。

参考文献

- [1] 孟庆函, 李开喜, 宋燕, 等. 石油焦基活性炭电极电容特性研究 [J]. 新型炭材料, 2001, 16(4): 18-21.
(MENG Qing-han, LI Kai-xi, SONG Yan, *et al.* Study on the capacitive properties of activated carbon electrodes obtained from oil tar[J]. New Carbon Materials, 2001, 16(4): 18-21.)
- [2] 何月德, 刘洪波, 张红波. 活化剂用量对无烟煤剂高比表面积活性炭电容特性的影响 [J]. 新型炭材料, 2002, 17(4): 18-22.
(HE Yue-de, LIU Hong-bo, ZHANG Hong-bo. The effect of amount of activating agent on the capacitance characteristics of anthracite-based high surface area activated carbon[J]. New Carbon Materials, 2002, 17(4): 18-22.)
- [3] 文越华, 曹高萍, 程杰, 等. 纳米孔玻态炭 - 超级电容器的新型电极材料 I. 固化温度对其结构和电容性能的影响 [J]. 新型炭材料, 2003, 18(3): 219-224.
(WENG Yue-hua, CAO Gao-ping, CHENG Jie, *et al.* Nanoporous glassy carbon - a new electrode material for supercapacitors I. Effect of curing temperature on its structure and properties [J]. New Carbon Materials, 2003, 18(3): 219-224.)
- [4] 张拴勤, 王珏, 朱基千, 等. 用碳气凝胶作电极材料制作双层电容器 [J]. 功能材料与器件学报, 1998, 4(4): 263-267.
(ZHANG Shuan-qin, WANG Jue, ZHU Ji-qian, *et al.* Electronic double-layer capacitor with carbon aerogel[J]. Journal of Functional Materials and Devices, 1998, 4(4): 263-267.)
- [5] 李文翠, 胡浩权, 朱玉东, 等. 常压干燥制备炭气凝胶及其电化学行为的研究 [J]. 新型炭材料, 2005, 20(3): 217-222.
(LI Wen-cui, HU Hao-quan, ZHU Yu-dong, *et al.* Preparation and electrochemical performance of monolithic C_mRF carbon aerogel[J]. New Carbon Materials, 2005, 20(3): 217-222.)
- [6] 王芙蓉, 李开喜, 吕春祥, 等. 酚醛树脂基活性炭微球的电化学性能研究 I. 酚醛树脂基微球制备过程的研究 [J]. 新型炭材料, 2005, 20(1): 58-62.
(WANG Fu-rong, LI Kai-xi, LU Chun-xiang, *et al.* The electrochemical performance of phenolic resin-based activated carbon microbeads I. An investigation on the preparation of the microbeads[J]. New Carbon Materials, 2005, 20(1): 58-62.)
- [7] 张建宇, 曾效舒, 蔡结松. 基于碳纳米管的双电层电容器 [J]. 南昌大学学报(工科版), 2002, 24(3): 13-15.
(ZHANG Jian-yu, CENG Xiao-shu, CAI Jie-song. Double-layer capacitors based on nanotubes[J]. Journal of Nan Chang University(Engineering edition), 2002, 24(3): 13-15.)
- [8] 刘辰光, 方海涛, 王大伟, 等. 添加多壁纳米碳管活性炭电极材料的电化学电容特性 [J]. 新型炭材料, 2005, 20(3): 205-210.
(LIU Chen-guang, FANG Hai-tao, WANG Da-wei, *et al.* The electrochemical capacitance characteristics of activated carbon electrode material with multi-walled carbon nanotube additive [J]. New Carbon Materials, 2005, 20(3): 205-210.)
- [9] 刘辰光, 刘敏, 王茂章, 等. 电化学电容器中炭电极的研究与开发 II. 炭电极 [J]. 新型炭材料, 2002, 17(2): 64-72.
(LIU Chen-guang, LIU Min, WANG Mao-zhang, *et al.* Research and development of carbon materials for electrochemical capacitors II. The carbon electrode[J]. New Carbon Materials, 2002, 17(2): 64-72.)
- [10] Frackowiak E, Béguin F. Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors [J]. Carbon, 2001, 39(6): 937-950.
- [11] 闫修瑾, 张元岐, 李玉财, 等. 针状焦的技术进展 [J]. 炭素科技, 2002, 12(2): 38-41.
(YAN Xiu-jin, ZHANG Yuan-qi, LI Yu-cai, *et al.* The technical development of needle coke[J]. Carbon Science and Technology, 2002, 12(2): 38-41.)
- [12] SUN Xin, ZHA Qing-fang, GUO Yan-sheng, *et al.* Structure modification of ultra activated carbon from petroleum cokel [J]. New Carbon Materials, 2005, 20(3): 240-244.
(孙新, 查庆芳, 郭燕生, 等. 石油焦系超级活性炭的孔结构控制 [J]. 新型炭材料, 2005, 20(3): 240-244.)
- [13] Gamby J, Taberna P L, Simon P, *et al.* Studies and characterizations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors [J]. Journal of Power Sources, 2001, 101(1): 109-116.
- [14] Deyang Qu, Hang Shi. Studies of the activated carbons used in double-layer supercapacitors [J]. Journal of Power Sources, 2002, 109(2): 403-411.
- [15] Chang-Hee Kim, Su-Il Pyun, Heon-Cheol Shin. Kinetics of double-layer charging/discharging of activated carbon electrodes [J]. Journal of Electrochemical Society, 2002, 149(2): A93-A98.
- [16] Hsisheng Teng, Yao-Jen Chang, Chien-To Hsieh. Performance of electric double-layer capacitors using carbons prepared from phenol formaldehyde resins by KOH etching [J]. Carbon, 2001, 39(13): 1981-1987.
- [17] DeYang Qu, Hang Shi. Studys of activated carbons used in double-layer capacitors [J]. Journal of Power Sources, 1998, 74(1): 99-107.
- [18] To-Chi Weng, Hisisheng Teng. Characterization of high porosity carbon electrodes derived from mesophase pitch for electric double-layer capacitors [J]. Journal of Electrochemical Society, 2001, 148(4): A368-A373.
- [19] Pell W G, Conway B E. Analysis of power limitations at porous supercapacitor electrodes under cyclic voltammetry modulation and dc charge [J]. Journal of Power Sources, 2001, 96(1): 57-67.

[20] Conway B E , Pell W G . Power limitations of supercapacitor operation associated with resistance and capacitance distribution

in porous electrode devices[J] . Journal of Power Sources , 2002 , 105(2) : 169-181 .

Preparation of high porosity carbon electrodes from raw needle coke and their characterization for EDLCs

LI Qiang^{1,2} , LI Kai-xi¹ , WANG Fu-rong^{1,2} , SUN Guo-hua^{1,2}

(1. Key Laboratory for Carbon Materials , Institute of Coal Chemistry , Chinese Academy of Sciences , Taiyuan 030001 , China ;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences , Beijing 100039 , China)

Abstract : A series of high porosity carbons were prepared from raw needle coke activated by KOH. Nitrogen adsorption was used to characterize the BET surface area and pore structure of the porous carbon. When the ratio of KOH to carbon powder is 7:1 and the heat treatment temperature 850 °C , the BET surface area of the porous carbon obtained is 2728 m²/g , the pore volume is 2.14 cm³/g , the statistical average pore diameter is 4.4 nm , and ratio of the sum of macro and meso pore volume to the total pore volume is about 50 % . The performance of the porous carbon electrode in 30 % KOH was investigated. Its specific capacitance is 305 F/g , it has a relatively higher energy density , better power characteristics , and a more satisfactory electric double-layer capacitance performance than other samples.

Keywords : Raw needle coke ; Activated carbon ; EDLC ; Cyclic voltammetry

Foundation item : National Nature Science Foundation of China(50272070)

Corresponding author : LI Kai-xi , Professor. Tel : +86-351-4250292 , E-mail : likx99@yahoo.com

Author introduction : LI Qiang(1979-) , male , Ph. D. Student , engaged in research of electrode materials of electrochemical capacitors.

《新型炭材料》2004 年 ISI 影响因子为 1.165

据美国科学信息研究所(ISI)近日发布的 2004 年度期刊引证报告自然科学版(2004 *Journal Citation Reports (JCR) Science Edition*)载 《新型炭材料》2004 年度的影响因子为 1.165。

《新型炭材料》自 2002 年被 ISI 的《科学引文索引扩展版(SCIE)》收录 ,这是 JCR 首次报道本刊的文献计量指标。按影响因子排序 《新型炭材料》在 2004 年被 SCI 收录并有 JCR 指标的 71 种中国期刊中名列第 7 位。据悉 ,中国期刊影响因子超过 1 的仅有 10 种 ,其中 8 种期刊为英文版 ,2 种期刊为中文版。

2004 年度 ISI 收录我国科技期刊的引证指标
(影响因子前 10 名)

序号	期刊名称(英文)	期刊名称(中文)	语种	影响因子
1	ACTA GEOL SIN-ENGL	地质学报	英文	2.150
2	CELL RES	细胞研究	英文	1.936
3	FUNGAL DIVERS	真菌多样性	英文	1.889
4	CHINESE PHYS	中国物理(物理学报 - 海外版)	英文	1.559
5	ACTA PHYS SIN-CH ED	物理学报	中文	1.250
6	CHINESE PHYS LETT	中国物理快报	英文	1.176
7	NEW CARBON MATER	新型炭材料	中文	1.165
8	ACTA PHARMACOL SIN	中国药理学报	英文	1.125
9	ASIAN J ANDROL	亚洲男性学	英文	1.096
10	BIOMED ENVIRON SCI	生物医学与环境科学	英文	1.011

——数据来源于国家自然科学基金委员会《自然科学进展》编辑部