

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.09.006

酚醛树脂基高度有序介孔炭材料的合成及其电容性^{*}

蔡江涛¹, 付世启¹, 张亚婷¹, 刘国阳¹, 邱介山², 周安宁¹

(1. 西安科技大学化学与化工学院, 西安 710054;

2. 大连理工大学精细化工国家重点实验室暨辽宁省能源材料化工重点实验室, 大连理工大学化工学院, 辽宁大连 116024)

摘要:以碱性条件下制备出的A阶酚醛树脂为炭前驱体,三元嵌段共聚物P123及F127为介孔模板剂,采用乙醇溶剂蒸发诱导自组装与程序升温策略,制备出高度有序、比表面积达 $550.12\text{ m}^2/\text{g}$ 、孔容为 $0.3854\text{ cm}^3/\text{g}$ 、平均孔径为 3.97 nm 的酚醛树脂基有序介孔炭材料。利用小角X射线衍射、扫描电镜、透射电镜、物理吸附及电化学性能测试等技术,研究了不同合成条件下得到的有序介孔炭材料的结构和电化学性能。结果表明,在 6 mol/L KOH 电解质溶液的三电极体系中,该优化有序介孔炭材料在 1 A/g 的电流密度下比电容可达 146.5 F/g 。

关键词:有序介孔炭;酚醛树脂;模板剂;比电容

中图分类号: TQ323.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)09-0027-06

Synthesis and Capacitance Performance of Phenolic Resin-based Highly Ordered Mesoporous Carbon Materials

Cai Jiangtao¹, Fu Shiqi¹, Zhang Yating¹, Liu Guoyang¹, Qiu Jieshan², Zhou Anning¹

(1. College of Chemistry & Chemical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. State Key Lab of Fine Chemicals, Liaoning Key Lab for Energy Materials and Chemical Engineering, School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A resole resin was first synthesized from phenol and formaldehyde under alkaline conditions, then used as carbon precursor with ternary block copolymer (P123 and F127) as mesopore template to prepare highly ordered mesoporous carbon (OMC) materials by solvent-induced self-assembly in ethanol. The structure and electrochemical properties of the as-made OMC were studied by small-angle X-ray diffraction, scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, physical adsorption and electrochemical technique. It has been found that the OMC has an ordered mesoporous structure, a specific surface area of $550.12\text{ m}^2/\text{g}$, average pore size of 3.97 nm and pore volume of $0.3854\text{ cm}^3/\text{g}$, respectively. With 6 mol/L KOH solution as electrolyte in a three electrode system, the as-made OMC show a specific capacitance of 146.5 F/g under current density of 1 A/g .

Keywords: ordered mesoporous carbons; phenolic resin; templating agent; specific capacitance

有序介孔炭材料不仅具有规则有序的介孔孔道、大且可调的比表面积,而且化学稳定性好、力学强度高、导电性优良^[1-5],在储能^[6]、催化剂载体^[7]和吸附分离^[8]等技术领域有广阔的应用前景。

目前,制备介孔炭的方法主要有两大类:硬模板法^[9-10]和软模板法^[11-14]。硬模板法是通过将碳源浇铸填充到无机模板的孔隙中,炭化后再用酸或碱刻蚀除掉无机模板而得到具有反相结构的介孔炭。用硬模板法制备的介孔炭能很好地反相复制出介孔结构^[15],适合大电流充放电。但硬模板法也有其固有的明显缺点:先制备后刻蚀去除硬模板剂而使得工序复杂、酸碱消耗多、存在周期长、成本高及污染大的缺点。而软模板法采用表面活性剂为模板剂,碳源则在表面活性剂的导向作用下自组装,在后续高温炭化时,表面活性剂裂解气致孔,最后随炉

冷却定型而直接生成有序介孔炭。与硬模板法相比,软模板法省去了制备硬模板与后续刻蚀去除硬模板的工序,大大缩短了制备周期、减小了环境污染、降低了介孔炭材料的制备成本。

针对软模板法制备的介孔炭孔壁较厚的问题,W. Xing等^[16]采用后活化法在其孔壁上造孔,形成兼具微孔-介孔的多级孔道结构,并提高了比表面积,发现这一方法可以大大提高介孔炭的比电容。B. Juan等^[17]提出以阳离子聚合电解质作为软模板制备间苯二酚甲醛基分级多孔炭,该方法大大简化

^{*}NSFC-新疆联合基金重点基金项目(U1203292),陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM2043),陕西省教育厅专项科研计划项目(15JK1451)

联系人:周安宁,教授,主要从事煤基复合材料研究

收稿日期:2016-07-01

了复杂的干燥过程,避免了繁琐的溶剂交换和长时间多次固化等问题,制备出比表面积达 $675 \text{ m}^2/\text{g}$, 比电容达 140 F/g 的介孔炭材料。

迄今为止,如何进一步优化介孔炭材料的制备工艺条件及结构参数,进而进一步提升其电化学性能,依然是电容炭材料的研究难点和热点。笔者研究以苯酚、甲醛单体为原料,在碱性条件下制备 A 阶酚醛树脂,进而以其为炭前驱体(碳源),三元嵌段共聚物 P123 及 F127[氧化乙烯(EO)和氧化丙烯(PO)不同程度重复单元制备出的三元嵌段共聚物]为介孔模板剂,采用乙醇溶剂蒸发诱导自组装与低速程序升温策略,无需活化即可制备出大比表面积且高度有序的介孔炭;重点考察了 P123 和 F127 两种模板剂的组合比例、用量及预聚程度等对介孔炭材料有序性的影响;研究了合成工艺参数与得到的介孔炭材料的电化学性能之间的内在关系。

1 实验部分

1.1 主要原材料

苯酚:分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

甲醛:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

NaOH:分析纯,天津市河东区红岩试剂厂;

P123 ($\text{EO}_{20}\text{PO}_{70}\text{EO}_{20}$, 分子量 5800) 和 F127 ($\text{EO}_{106}\text{PO}_{70}\text{EO}_{106}$, 分子量 12600); 德国 Sigma-Aldrich 公司;

无水乙醇:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;

浓盐酸:分析纯,西安化学试剂厂;

氮气:99.99% ($\text{O}_2 \leq 0.01\%$), 韦曲加气站。

1.2 主要设备及仪器

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,郑州汇成科工贸有限公司;

离心机:H-1850 型,长沙湘仪离心机仪器有限公司;

旋转蒸发仪:RE2000A 型,上海亚荣生化仪器厂;

电热鼓风干燥箱:DHG-9070 型,金坛市金祥龙电子有限公司;

真空/气氛管式电炉:SK-G06123K 型,天津市中环实验电炉有限公司;

粉末压片机:YP-24T 型,天津市金孚伦科技有限公司;

电化学工作站:CHI660E 型,上海辰华科技有限公司;

X 射线衍射(XRD)仪:D8 Advance X 型,美国 Bruker 公司;

场发射扫描电镜(FESEM):S-4800 型,日本日立公司;

高分辨透射电子显微镜(HRTEM):Tecnai F20 型,美国 Philips 公司;

物理吸附仪:ASAP2020 型,美国 Micromeritics 公司。

1.3 试样制备

(1) 介孔炭材料的制备。

A 阶酚醛树脂的合成方法如下^[18]:水浴升温至 $41 \sim 43^\circ\text{C}$ 恒温,在磁力搅拌下,将 2.44 g 苯酚溶解,加入 20% NaOH 溶液 2.6 g ,缓慢加入 37% 甲醛溶液 4.2 g ,升温至 70°C ,恒温反应一定时间后取出。冷却至室温,用盐酸调节 pH 值至中性。经旋转蒸发、高速离心分离出透明的淡黄色胶体状 A 阶酚醛树脂。将 A 阶酚醛树脂分散到无水乙醇中,配制成 20% 的乙醇溶液,待用。

将一定量 P123 和 F127 溶于乙醇,配成 20% 的乙醇溶液,并与一定质量 A 阶酚醛树脂进行混合,然后平铺于玻璃板上;在真空干燥箱中,于 60°C 下进行溶剂蒸发诱导自组装,之后在 110°C 下老化 24 h ;然后在氮气保护下进行程序升温炭化^[19],从室温以 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率加热到 900°C ,期间在 450°C 及 900°C 时分别保温 3 h 及 2 h 。炭化后随炉冷却,所得产品即为介孔炭材料。

(2) 工作电极的制备。

将介孔炭材料、乙炔黑、粘结剂聚四氟乙烯按质量比 $8:1:1$ 混合,加乙醇助分散并研磨,然后涂在泡沫镍集流体上构筑工作电极,电极材料在鼓风干燥箱中干燥 12 h 后备用。在 12 MPa 下压片,保压 5 min 。每次涂覆的介孔炭材料约 5 mg ,准确称量并以此计算比电容。

1.4 性能测试

介孔炭材料的介孔结构用 XRD 仪检测, Cu 靶,工作电压为 40 kV ,电流为 40 mA ,扫描速度为 $0.5^\circ/\text{min}$,扫描范围 $0.6 \sim 5^\circ$ 。

采用 FESEM 分析介孔炭材料的表面微观形貌,测试时无需喷金。用 HRTEM 研究介孔炭材料的形貌和精细的介孔微观结构,样品首先在无水乙醇中超声震荡处理 20 min ,滴于铜网上,干燥后拍照。

用物理吸附仪测定介孔炭材料的 N_2 吸附-脱附等温线与孔径分布曲线,进而计算其比表面积与

孔结构,测试前样品在真空条件下于 300℃脱气处理 5 h,测试温度 77 K。

以 6 mol/L KOH 溶液为电解质,采用三电极体系,以饱和甘汞电极为参比电极,铂电极为对电极,介孔炭材料为工作电极,用电化学工作站测试介孔炭材料的电化学性能。

2 结果与讨论

2.1 P123 与 F127 比例对介孔炭有序性的影响

经典的有序介孔材料孔道是周期性排列的,用 XRD 技术可以获得介孔结构的周期性信息。介孔阵列的周期常数处于纳米数量级,其主要的衍射峰都出现在低角度范围,这需要对介孔炭材料样品做小角 XRD 测试,若 XRD 谱图上衍射角在 $0.5 \sim 5^\circ$ 范围内出现一个强烈的 (110) 晶面衍射峰,表明该样品具有有序的介孔结构,属长程有序性排列^[20]。

具有结构导向作用的模板剂,对于介孔结构的形成和结构与分布有至关重要的影响。笔者以 P123 和 F127 为表面活性剂,首先考察了介孔模板剂 P123 : F127 配比 (0 : 4, 1 : 3, 2 : 2, 3 : 1, 4 : 0) 对介孔炭材料有序性的影响,所制备介孔炭材料的小角 XRD 结果如图 1 所示。

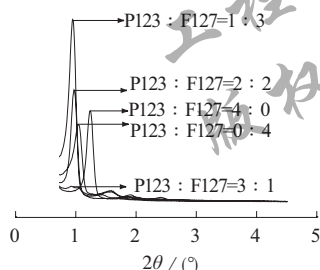


图 1 不同模板剂比例下得到的介孔炭材料的 XRD 谱图

由图 1 可见,不同的模板剂组合对所形成的介孔炭材料的有序性有显著的影响。当 P123 : F127=1 : 3 时,得到的介孔炭材料的衍射峰最尖锐,峰型较窄,有序性相对最好。其原因可能是这种比例的介孔模板剂中的亲水基团氧化乙烯 EO 段,与酚醛树脂预聚体中的酚羟基形成了最佳的氢键组装比例。这意味着以 P123 : F127=1 : 3 的混合物为模板剂,对碳源的组装具有明显的协同作用。

2.2 模板剂与前驱体比例对介孔炭有序性的影响

酚醛树脂预聚时间 3 h, 固定介孔模板剂 P123 : F127=1 : 3, 研究模板剂用量 (分别为 30%, 40%, 50%) 对介孔炭的影响。所制备介孔炭材料的小角 XRD 结果如图 2 所示。模板剂的用量对于组装过程有着较大的影响: 当与有一定聚合程

度的酚醛树脂溶胶混合之后,具有两亲结构的模板剂随浓度不同,会形成不同结构的排列形式,该两亲分子束充当了模板的作用,酚醛树脂预聚物上的酚羟基与模板剂中亲水基团氧化乙烯 EO 段通过形成氢键,而围绕着模板剂进行组装排列并进一步聚合交联,能够得到有机 / 有机的有序介观结构,炭化后形成介孔。

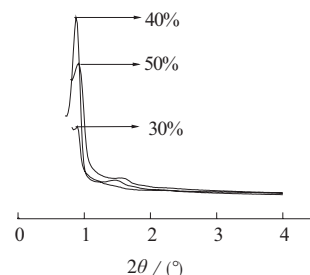


图 2 不同模板剂用量时介孔炭材料的 XRD 谱图

由图 2 可以看到,随着介孔模板剂质量百分比的增加,炭材料的 XRD 谱图中有序介观结构的特征衍射峰从弱到强再到中等,在模板剂用量 40% 时有序胶束的特征衍射峰出现最强值。当浓度较低 (30%) 时, XRD 谱图中只出现一个较弱的有序介观结构的特征衍射峰,说明此浓度下只有少量的溶致型液晶相,酚醛树脂的预聚物和表面活性剂胶束之间未能充分地进行有效组装;而当模板剂浓度较高 (50%) 时, XRD 谱图中出现一中等强度的炭材料有序介观结构特征衍射峰,说明在此浓度下由表面活性剂所形成的有序胶束相的空间排列已从最佳浓度 (40%) 下降而趋于紊乱。表明模板剂 P123 : F127=1 : 3 的混合物与碳源的最佳比例为 2 : 3, 所得到介孔炭材料有序性最好。

2.3 酚醛树脂预聚时间对介孔炭有序性的影响

当介孔模板剂 P123 : F127=1 : 3, 介孔模板剂与碳源质量比为 2 : 3, 介孔模板剂和酚醛树脂都配成 20% 的乙醇溶液时,研究酚醛树脂预聚时间对介孔炭孔结构及有序性的影响。预聚时间依次为 1, 2, 2.5, 3 h 的酚醛树脂,与模板剂组装所形成的介孔炭材料的小角 XRD 如图 3 所示。

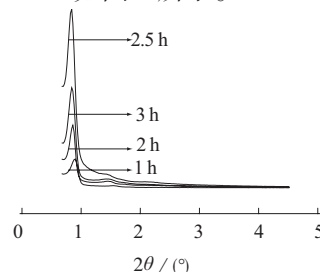
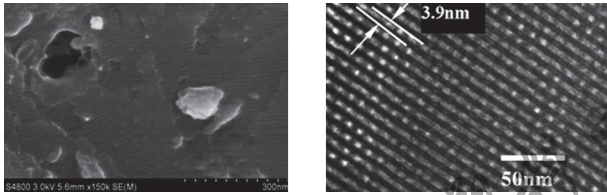


图 3 不同预聚时间时酚醛树脂基介孔炭材料的 XRD 谱图

实验发现,当预聚时间达 3 h 时酚醛树脂溶液出现明显的分层现象,说明 3 h 已经有凝胶析出,达到本实验条件下水溶性酚醛树脂预聚的凝胶化时间。由图 3 可以看出,酚醛树脂预聚时间为 2.5 h 时,衍射峰相对强度更高且峰更尖锐,得到的介孔炭材料的有序性最好。

2.4 介孔炭材料的形貌分析

将上述最优条件下:酚醛树脂预聚时间 2.5 h,介孔模板剂 P123 : F127=1 : 3,介孔模板剂与碳源质量比 2 : 3,通过溶剂蒸发诱导自组装制备的介孔炭材料,通过 SEM 观察其形貌及孔结构,如图 4 所示。在 SEM 下将试样放大 15 万倍后,如图 4a 中清晰可见介孔孔道的凹痕有序平行排列。其介孔尺寸可进一步通过 HRTEM 测出为 3.9 nm,如图 4b 所示,且各介孔呈条带状高度有序排列。



(a) FESEM 照片; (b) HRTEM 照片

图 4 介孔炭材料的 FESEM 及 HRTEM 照片

2.5 介孔炭材料的比表面积及孔结构分析

将介孔炭材料通过物理吸附-脱附测试以获得其比表面积及孔径分布等数据,如图 5 所示。

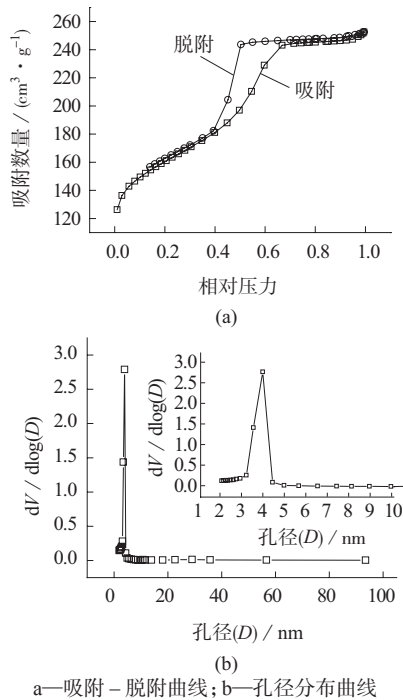


图 5 介孔炭材料的 N_2 吸附-脱附曲线和孔径分布曲线

由氮气吸附等温线图 5a 可看出,材料表现出典型的 IV 型等温线,在相对压力为 0.4~0.7 之间有一明显的滞后环,呈现典型的介孔结构材料的毛细凝聚吸附机理特征^[21]。而在起始的低相对压力下,可观察到氮气吸附量的阶跃增加,表明存在一定量的微孔。且吸附-脱附滞后环属于 H1 型,表明该炭材料的孔多由尺寸高度均一、形状规则的简单连通孔组成,孔结构有孔径均一分布的圆柱形、独立细长孔及大小均一的球形粒子堆积而成的孔穴。从吸附分支得到的 BJH 孔径分布曲线(图 5b)可以看出,材料介孔孔径集中在 3.9 nm 左右,呈均一分布,这与图 4b 所得信息完全吻合。

介孔炭材料的比表面积及孔结构参数见表 1。

表 1 介孔炭材料孔结构参数

试样	$S_{BET}/(m^2 \cdot g^{-1})$	$V_t/(cm^3 \cdot g^{-1})$	$V_{meso}/(cm^3 \cdot g^{-1})$	$V_{meso}/\%$	D/nm
OMC	550.12	0.3854	0.2614	67.82	3.97

注: S_{BET} 为 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 法所得比表面积, V_t 为 $P/P_0=0.9715$ 时测得的总孔容, V_{meso} 为 Barrett-Joyner-Halenda (BJH) 法测得介孔孔容, $V_{meso}/\%=100V_{meso}/V_t$, D 为 BJH 法算得平均孔径 $(4V_{meso}/S_{BJH})$ 。

2.6 介孔炭材料的电容性能研究

介孔炭材料为活性电极材料测得的循环伏安曲线、恒流充放电曲线如图 6 所示。由图 6a 可知,该介孔炭的循环伏安曲线近似于矩形,可逆性良好,

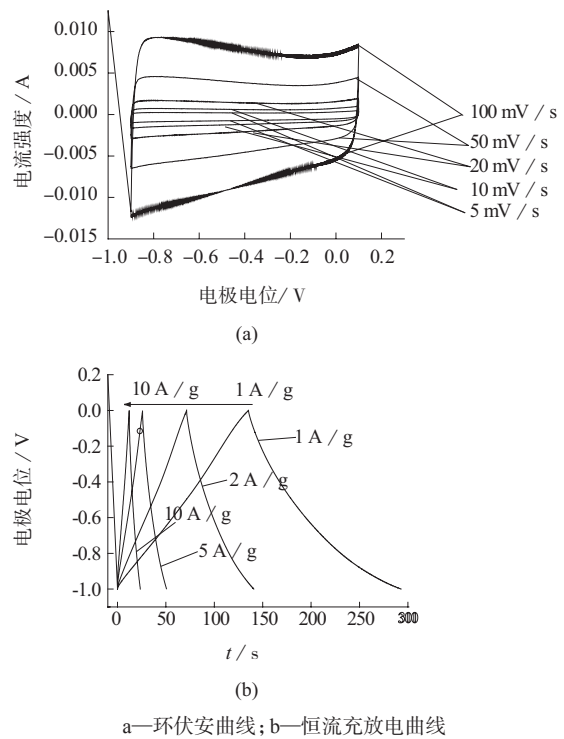


图 6 介孔炭材料的循环伏安曲线及恒流充放电曲线

表明材料具有较理想的电化学性能。不仅在低扫描速率下,电解液与电极材料可以充分浸润接触,而且随着扫描电压速率的增加,同一电势下响应电流也成比例增大,符合理想碳基电容器的容量和扫描速度无关这一规律,说明该介孔炭的电容主要是双电层电容,且该电极亦可用于大电流下工作。

由图 6b 可知,该介孔炭材料的充放电曲线均呈等腰三角形,且电极电位随时间呈线性变化。说明该电极材料具有良好的电化学性能且可逆性好。对其放电曲线计算出该介孔炭材料的比电容如图 7 所示。根据如下公式计算电极比容量: $C=(I\Delta t)/(m\Delta V)$,式中 I 为充放电电流, $I=m\times$ 电流密度, A; t 为放电时间, s; ΔV 为放电电压范围, V; m 为单电极片中活性物质的质量, g。

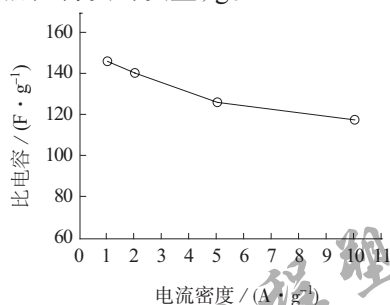


图 7 不同电流密度下介孔炭的比电容图

由图 7 看出,该有序介孔炭材料的比容量随电流密度增大而降低,且当电流密度大于 5 A/g 后降低减缓。这是由于电流密度增大,充放电时间变短,活性物质不能充分浸润,致使材料表面无法得到完全利用,充放电不完全,故其比容量降低。而小电流情况下进行充放电则不会出现类似情况,由于其充放电时间长,活性物质得到充分浸润吸附电解液后,电解液离子渗透进入活性物质内部的孔中,使得活性物质的利用率提高,因而比容量较大。虽然比容量随电流密度增大而降低,但下降的数值不是很大,且在大电流密度下比电容没有快速衰减,说明其具有优良的功率性能。以该高度有序介孔炭为活性材料,在 6 mol/L KOH 电解质溶液的三电极体系中,1 A/g 的电流密度下,材料比电容可达 146.5 F/g,即使在 10 A/g 的大电流密度下,其比电容亦可达 118 F/g。

3 结论

首先优化了制备酚醛树脂基有序介孔炭材料的工艺条件:以含量为 40% 的 P123 : F127=1 : 3 的乙醇溶液为模板剂体系,预聚时间为 2.5 h 的酚

醛树脂为碳源,经过溶剂蒸发诱导自组装与低速程序升温炭化后,得到比表面积为 550.12 m²/g,孔容为 0.3854 m³/g 的高度有序介孔炭材料,平均孔径为 3.97 nm。

以该高度有序介孔炭为活性材料,在 6 mol/L KOH 电解质溶液的三电极体系中,1 A/g 的电流密度下,材料比电容可达 146.5 F/g,即使在 10 A/g 的大电流密度下,其比电容亦可达 118 F/g。

参考文献

- [1] Ma Tianyi, Liu Lei, Yuan Zhongyong. Direct synthesis of ordered mesoporous carbons[J]. Chemical Society Reviews, 2013, 42(9):3 977-4 003.
- [2] Tripathi P K, Liu Mingxian, Zhao Yunhui, et al. Enlargement of uniform micropores in hierarchically ordered micro-mesoporous carbon for high level decontamination of bisphenol A[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 2(22):8 534-8 544.
- [3] Wang Tao, Zhang Chuanxiang, Sun Xin, et al. Synthesis of ordered mesoporous boron-containing carbon films and their corrosion behavior in simulated proton exchange membrane fuel cells environment[J]. Journal of Power Sources, 2012, 212(9):1-12.
- [4] Werner J G, Hoheisel T N, Wiesner U. Synthesis and characterization of gyroidal mesoporous carbons and carbon monoliths with tunable ultralarge pore size[J]. ACS Nano, 2014, 8(1):731-743.
- [5] Shi Quan, Zhang Renyuan, Lv Yingying, et al. Nitrogen-doped ordered mesoporous carbons based on cyanamide as the dopant for supercapacitor[J]. Carbon, 2015, 84(1):335-346.
- [6] Kim M S, Bhattacharjya D, Fang B, et al. Morphology-dependent Li storage performance of ordered mesoporous carbon as anode material[J]. Langmuir the Acs Journal of Surfaces & Colloids, 2014, 29(22):6 754-6 761.
- [7] Wang Xia, Fu Tingjun, Zheng Huayan, et al. The influence of the pore structure in ordered mesoporous carbon over the formation of Cu species and their catalytic activity towards the methanol oxidative carbonylation[J]. Journal of Materials Science, 2016, 51(11):5 514-5 528.
- [8] Goscianska J, Ptazkowska M, Pietrzak R. Equilibrium and kinetic studies of chromotrope 2R adsorption onto ordered mesoporous carbons modified with lanthanum[J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 270:140-149.
- [9] Shi Quan, Zhang Renyuan, Lv Yingying, et al. Nitrogen-doped ordered mesoporous carbons based on cyanamide as the dopant for supercapacitor[J]. Carbon, 2015, 84(1):335-346.
- [10] Lee J S, Sang H J, Ryoo R. Synthesis of mesoporous silicas of controlled pore wall thickness and their replication to ordered nanoporous carbons with various pore diameters[J]. Journal of the

- American Chemical Society, 2002, 124(7):1 156–1 157.
- [11] Braghiroli F L, Fierro V, Parmentier J, et al. Easy and eco-friendly synthesis of ordered mesoporous carbons by self-assembly of tannin with a block copolymer[J]. Green Chemistry, 2016, 18(11):3 265–3 271.
- [12] Liu Panbo, Jiao Jian, Huang Ying. Ordered mesoporous carbon prepared from triblock copolymer / novolac composites[J]. Journal of Porous Materials, 2012, 20(1):107–113.
- [13] Zhang Fuqiang, Gu Dong, Yu Ting, et al. Mesoporous carbon single-crystals from organic organic self-assembly[J]. Journal of the American Chemical Society, 2007, 129(25):7 746–7 747.
- [14] Huang Y, Cai H, Yu T, et al. Highly ordered mesoporous carbonaceous frameworks from a template of a mixed amphiphilic triblock-copolymer system of PEO-PPO-PEO and reverse PPO-PEO-PPO[J]. Chemistry, an Asian journal, 2007, 2(10):1 282–1 289.
- [15] Yuan Dingsheng, Chen Jingxing, Xia Nannan, et al. Worm-like mesoporous carbon synthesized from metal-organic coordination polymers for supercapacitors Electrochem[J]. Commun, 2009, 11, 1 191–1 194.
- [16] Xing W, Huang C C, Zhuo S P, et al. Hierarchical porous carbons with high performance for supercapacitor electrodes[J]. Carbon, 2009, 47(7):1 715–1 722.
- [17] Juan B, Luciano T, Karim S, et al. Facile preparation of hierarchical porous carbons with tailored pore size obtained using a cationic polyelectrolyte as a soft template[J]. Colloids and Surfaces A:Physicochem, 2012, 415:343–348.
- [18] Meng Yan, Gu Dong, Zhang Fuqiang, et al. Ordered mesoporous polymers and homologous carbon frameworks:Amphiphilic surfactant templating and direct transformation[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2005, 44(43):7 053–7 059.
- [19] 王志超. 大孔-介孔分级孔结构炭材料的制备及应用研究[D]. 大连:大连理工大学, 2010.
- Wang Zhichao. The Synthesis and applications of hierarchical macro-mesoporous carbon materials [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.
- [20] 丁莹, 祝建中, 曹阳. 介孔炭材料的孔径控制及其对染料的吸附性能研究[J]. 南京晓庄学院学报, 2014(6):70–75.
- Ding Ying, Zhu Jianzhong, Cao Yang. The pore size control of ordered mesoporous carbons and their adsorption performance for dye molecules[J]. Journal of Nanjing Xiaozhuang College, 2014(6):70–75.
- [21] 刘玉荣. 介孔炭材料的合成及应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2012.
- Liu Yurong. Synthesis and application of mesoporous carbon materials[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012.

重庆聚苯硫醚树脂项目开工

重庆聚狮新材料科技有限公司聚苯硫醚(PPS)树脂项目宣布开工。该项目位于重庆市长寿经济技术开发区化工园区,总投资 7.5 亿,设计年产 3 万 t 纤维级 PPS。

PPS 树脂是一种新型高性能热塑性树脂,具有机械强度高、耐高温、耐化学药品性、难燃、热稳定性好、电性能优良等优点。PPS 因其综合性能突出,生产工艺相对成熟,成为工

业化进程最快的一个品种,已广泛应用于环保、汽车、电子、石化、制药等行业。目前,全球 PPS 需求日益增长。随着科技进步、社会发展,各国政府对防腐、军工国防及环保建设日益重视以及电子电气、石油化工、医药和汽车工业等诸多领域对 PPS 的需求增大,这给全球 PPS 生产商提供了扩大再生产的机会。市场研究机构 MarketsandMarkets 发布的报告称,2020 年全球 PPS 市场将增至 15 亿美元。(中塑在线)

(上接第 22 页)

- [13] 谭德新,王艳丽,鲁桦萍,等. 紫外光固化法合成 St-AMPS-AM 三元共聚高吸水性树脂[J]. 化工新型材料, 2015, 43(1):49–51.
- Tan Dexin, Wang Yanli, Lu Huaping, et al. Preparation of St / AMPS / AM ternary copolymer superabsorbent via ultraviolet irradiation[J]. New Chemical Materials, 2015, 43(1):49–51.
- [14] 徐继红,陶俊,徐国财,等. 微波辐射合成丙烯酸类高吸水树脂及性能研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(4):9–12.
- Xu Jihong, Tao Jun, Xu Guocai, et al. Synthesis absorbency of salt-resisting acrylic-based polymer by microwave irradiation[J]. Polymer Materials Science And Engineering, 2011, 27(4):9–12.
- [15] 彭成松,王少宝,徐国财,等. N-(2-氨基乙基)胺基-环糊精交联聚合物的制备及其吸附性能[J]. 石油化工, 2010, 39(1):85–89.
- Peng Chengsong, Wang Shaobao, Xu Guocai, et al. Preparation and adsorbability of N-(2-Aminoethyl)amidogen-β-cyclodextrin crosslinked polymer[J]. Petrochemical Technology, 2010, 39(1):85–89.
- [16] 刘侠,陈碧,白艳霞. 桃核直接作为生物吸附材料对水中亚甲基蓝的吸附研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(4):118–121.
- Liu Xia, Chen Bi, Bai Yanxia. Study on adsorption of peach core directly as a biological adsorption material on methylene blue in aqueous solution[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(4):118–121.
- [17] 王敏敏,薛振华,王丽. 羧甲基纤维素-机蒙脱土纳米复合材料对刚果红的吸附与解吸性能[J]. 环境工程学报, 2014, 8(3):1 001–1 006.
- Wang Minmin, Xue Zhenhua, Wang Li. Adsorption and desorption capacity of Congo Red on CMC / OMMT nanocomposite[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(3):1 001–1 006.