

三聚氰胺改性酚醛基多孔碳材料的制备及其二氧化碳吸附性能

邓静倩 韩家奎 杜中杰 邹 威 励杭泉 张 晨*

(北京化工大学 材料科学与工程学院 碳纤维及功能高分子教育部重点实验室, 北京 100029)

摘 要: 采用浓乳液模板法制备三聚氰胺-间苯二酚-甲醛多孔树脂, 将其热解后得到了可用于二氧化碳吸附的氮掺杂多孔碳材料。研究了浓乳液模板的分散相体积分数和三聚氰胺含量对多孔碳材料微观形貌的影响, 结果表明, 在浓乳液模板分散相体积分数为 90% 的条件下制备的多孔聚合物具有丰富的通孔结构。经过热解后, 得到了兼具无机碳骨架和有机氮活性位点的氮掺杂多孔碳材料。进一步研究了不同热解温度和三聚氰胺含量对多孔碳材料二氧化碳吸附性能的影响, 二氧化碳的吸附容量最高可达到 3.32 mmol/g, 同时表现出良好的选择吸附性和再生性。

关键词: 浓乳液模板; 多孔材料; 碳材料; 氮掺杂; 二氧化碳; 吸附

中图分类号: TB324 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2018.05.008

引 言

二氧化碳的捕集和储存是解决温室气体过度排放的有效手段^[1-2], 吸附分离技术效率高、工作条件灵活、稳定性和选择性好, 一直是被关注与研究的重点^[3-5]。近年来, 固体吸附剂如碳材料^[6-7]、沸石^[8-9]、金属-有机骨架^[10-11]、胺官能化固体吸附剂^[12-13]等, 由于具有吸附能耗低、制备工艺简单、可循环利用等优点被主要用于二氧化碳捕集^[14-16]。

用于二氧化碳捕集的多孔材料的吸附性能主要依赖于其丰富的多孔结构, 其中含有大量纳米尺度的微孔结构的材料, 如金属-有机骨架材料(MOF)^[17]、超交联聚合物^[18]、碳材料^[19]等, 由于其超高的比表面积, 从而具有较高的二氧化碳体积吸附量。但是在实际应用中, 为了提高二氧化碳吸附速率, 也需要存在大孔作为扩散路径^[20], 使二氧化碳能够在低压条件下快速扩散到多孔材料内部, 实现有效吸附。同时, 还有文献指出, 多孔材料化学结构中杂原子的存在可以有效地提高二氧化碳的吸附量^[21]。然而到目前为止, 制备具有一定微孔结构和相互连通的大孔结构, 同时富含氮原子的多孔吸附

材料鲜有报道^[22]。

浓乳液模板法作为一种制备有序孔道的简单方法, 得到的多孔材料中一级孔结构主要为微米尺度的大孔^[23], 大孔的孔壁内部含有少量介孔或微孔结构可吸附二氧化碳, 同时具有丰富的通孔结构, 能够为二氧化碳的迅速扩散提供通道。对浓乳液模板法制备的多孔材料进行适当热解处理, 就可以在保留大孔通道的基础上形成更多的微孔^[24], 获得具有良好吸附性能的多孔材料。同时, 利用浓乳液聚合中单体的普适性, 在基体结构中引入杂原子, 特别是氮原子, 可以进一步提高材料的吸附性能^[25]。

本文报道一种通过浓乳液聚合制备氮掺杂多孔碳材料的方法。首先采用浓乳液模板法制备间苯二酚-甲醛-三聚氰胺多孔聚合物, 其中三聚氰胺提供氮源, 甲醛-三聚氰胺提供碳骨架^[26-27], 制备出含有较高氮含量以及丰富多孔网络通道的多孔聚合物前驱体; 再通过热解处理得到一种具有多级孔结构和高氮含量的酚醛基多孔碳材料。所制备的材料可以作为具有工业应用前景的二氧化碳吸附剂, 表现出良好的吸附性能。

1 实验部分

1.1 实验原料

三聚氰胺, 间苯二酚和甲醛(质量分数 37% 水溶液), 阿拉丁试剂公司; 吐温(Tween) 20, 碳酸钠, 甲苯, 磷酸(>85%), 丙酮, 北京化学试剂研究公

收稿日期: 2018-07-16

第一作者: 女, 1995 年生, 硕士生

* 通信联系人

E-mail: zhangch@mail.buct.edu.cn

司。所有药品均为分析纯,不经过进一步纯化。

1.2 间苯二酚-甲醛-三聚氰胺预聚物的制备

首先将甲醛、间苯二酚、三聚氰胺加入去离子水中,合成间苯二酚-甲醛-三聚氰胺预聚物。间苯二酚与甲醛的物质的量比为 1:3,三聚氰胺的质量分数从 3% 到 10% (相比于间苯二酚和甲醛的质量)。在 60 ℃ 下搅拌溶液直至固体溶解,接着在室温下冷却。然后加入碳酸钠,调节 pH 为 9.0,在 60 ℃ 下反应 20 min,得到有机物含量(质量分数)为 40% (三聚氰胺、间苯二酚、甲醛的总质量)的预聚体溶液。

1.3 浓乳液法制备含氮多孔酚醛树脂

在圆底烧瓶中将乳化剂吐温 20 (质量分数 10%) 加入到预聚体溶液中,转速为 600 r/min,然后将甲苯作为油相滴加到水相中。形成稳定的乳液之后,加入磷酸(质量分数 3%)作为催化剂。最后将乳白色的粘稠乳液倒入模具中密封并在 75 ℃ 下保持 72 h,得到了与模具形状一致的块状多孔酚醛树脂。将材料在丙酮中浸泡至少 2 h 来脱除甲苯,重复 3 次,最后在空气中干燥。

1.4 氮掺杂酚醛基多孔碳的制备

将块状多孔酚醛放入管式炉中,气氛为流动的氮气,从 400 ℃ 加热到 600 ℃,升温速率 5 ℃/min,保持 2 h 使之热解,得到氮掺杂酚醛基多孔碳材料。

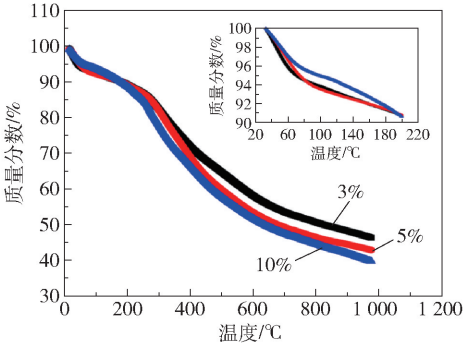
1.5 表征

用 Hitachi-S4700 型扫描电镜(SEM, 日本 Hitachi 公司)对多孔材料的形貌进行表征。氮元素的含量用 varioEL 型元素分析仪(德国 Elementar 公司)测得。热重分析(TGA)采用 STA 449 F3 型(德国 Netzsch 公司)热分析仪系统,其中待测样品充分干燥后置于取样槽中,在氮气气氛下进行测试,升温速率 10 ℃/min。用 ASAP2020 分析仪(美国 Micromeritics 仪器公司)测定 77 K 下氮气吸附的比表面积,使用 Brunauer-Emmett-Teller (BET)方法计算比表面积。利用 Barrett-Joyner-Halenda (BJH)模型,从等温吸附曲线中得到孔径分布。采用超高纯度二氧化碳(99.99%)在 0~100 kPa 的压力范围内进行吸附实验。采用 Inc 吸附量分析仪(美国 Micromeritics 仪器公司),在 0 ℃ 和 25 ℃ 条件下分别测定多孔材料的二氧化碳吸附性能;吸附测试前,所有样品均在 100 ℃ 的真空下脱气过夜,解吸附条件为 150 ℃ 下在纯 N₂ 气氛中保持 30 min。

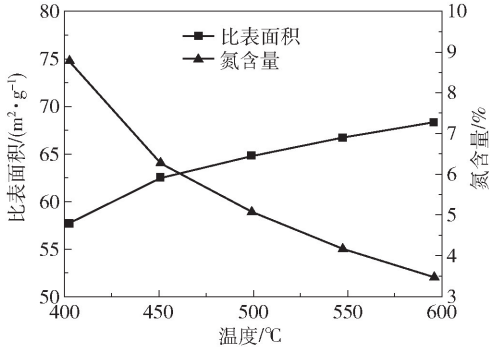
2 结果与讨论

2.1 热解过程对多孔材料热稳定性能、吸附性能及微观形貌的影响

为了了解热解过程对多孔材料热稳定性能的影响,采用热重分析方法对多孔酚醛树脂进行了热稳定性分析(图 1(a))。可以看出,从 300 ℃ 开始出现了明显的质量损失,这归因于碳氢化合物和含氮基团的分解^[28];到 600 ℃ 以上材料的质量损失趋于平缓。采用 BET 方法和元素分析分别测试了在 400 ℃~600 ℃ 的温度范围进行热解处理后得到的酚醛基多孔碳材料的比表面积和氮元素含量(图 1(b)),发现随着热解温度升高,材料的比表面积增加,但氮含量急剧下降。相比于原始的多孔酚醛树脂,经过 400 ℃ 热解处理后材料的比表面积有明显的提高,从 28.6 m²/g 增加到 57.8 m²/g(表 1),说明在热解过程中形成了更多的微孔。但是提高热解温度对比表面积的影响不是特别明显。因此综合考虑



(a) 不同三聚氰胺含量下多孔酚醛树脂的热失重曲线



(b) 不同热解温度下氮掺杂多孔碳的比表面积和氮含量

图 1 不同三聚氰胺含量下多孔酚醛树脂的热失重曲线及不同热解温度下氮掺杂多孔碳的比表面积和氮含量

Fig. 1 TGA curves of the porous phenolic resin with different contents of melamine and specific surface area and N content of nitrogen-doped porous carbon at different pyrolysis temperatures

氮含量与比表面积对二氧化碳吸附性能的影响,确定制备多孔碳材料的最佳热解温度为 400 ℃。

表 1 热解前后不同三聚氰胺含量下多孔材料的比表面积和氮含量

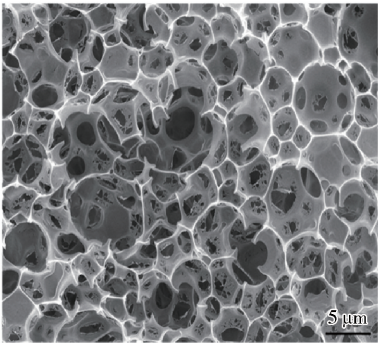
Table 1 Specific surface areas and N contents of porous monolith with different amount of melamine before and after pyrolysis

三聚氰胺 含量/%	比表面积/($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)		氮含量/%	
	原始	热解后	原始	热解后
3	39.2	48.4	6.8	3.9
5	35.4	51.3	9.1	6.7
10	28.6	57.8	12.3	8.8

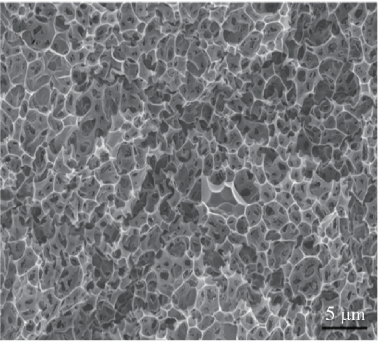
用扫描电镜观察了热解前后多孔材料的大孔形貌(图 2),所制备的多孔酚醛树脂呈现出典型的通孔结构(图 2(a))。由于大孔的存在有利于热解过程中热量的传导,保证了材料的均匀受热,得到的氮掺杂多孔碳也主要呈现出相互连通的多孔结构形貌(图 2(b)),表明热解过程没有明显破坏聚合物前驱体的多孔微观形貌,成功制备出多孔碳材料。

2.2 三聚氰胺含量对多孔材料微观结构的影响

不同三聚氰胺含量下制备的多孔酚醛树脂和氮掺杂多孔碳的形貌如图 3 所示。从图中可以看出,当加入的三聚氰胺含量为 10% 时得到的多孔材料在热解后仍然能保持高度互通的多孔结构。同时,



(a) 多孔酚醛树脂

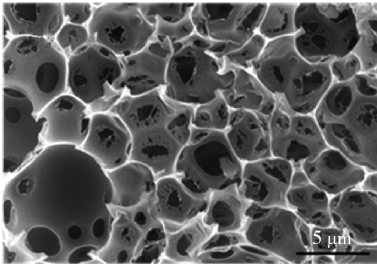


(b) 氮掺杂多孔碳

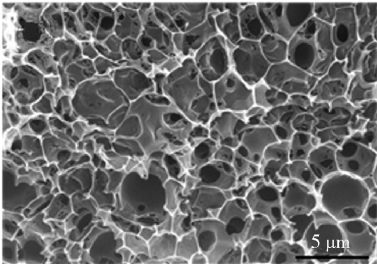
图 2 多孔酚醛树脂和氮掺杂多孔碳的 SEM 图

Fig.2 SEM images of porous phenolic resin and nitrogen-doped porous carbon

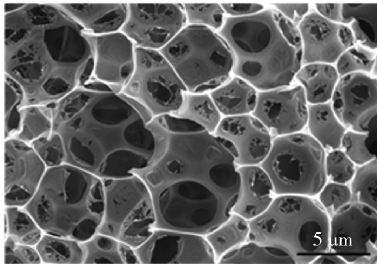
根据元素分析方法测定结果(表 1)可以看出,多孔材料的氮含量随着三聚氰胺含量的增加而升高。在三聚氰胺的加入量为 10% 时,多孔酚醛树脂的氮含量为 12.3%,热解后多孔材料的氮含量依然保持在 8.8%,表明适度的热解可以保留大部分的氮元素用



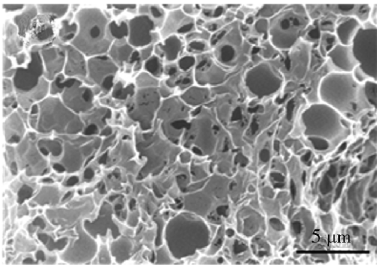
(a) 多孔酚醛树脂,三聚氰胺含量3%



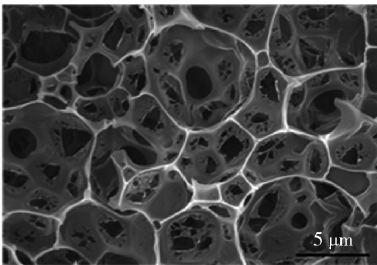
(b) 多孔碳,三聚氰胺含量3%



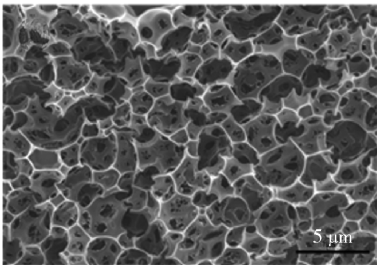
(c) 多孔酚醛树脂,三聚氰胺含量5%



(d) 多孔碳,三聚氰胺含量5%



(e) 多孔酚醛树脂,三聚氰胺含量10%



(f) 多孔碳,三聚氰胺含量10%

图 3 不同三聚氰胺含量的多孔酚醛树脂和多孔碳的 SEM 图

Fig.3 SEM images of porous phenolic resin and porous carbon with different melamine content

于吸附二氧化碳。但是继续增加三聚氰胺会因严重破坏浓乳液的稳定性而无法得到通孔结构。因此确定添加 10% 三聚氰胺时可以得到具有理想多孔结构的氮掺杂多孔碳材料。

2.3 分散相体积分数对多孔材料微观结构的影响

图 4 为不同分散相体积分数下制备的多孔碳的扫描电镜图。当浓乳液中分散相的体积分数为 80% 时,倾向于形成球形的孔状结构,通孔数量较少(图 4(a))。分散相体积分数增加到 85% 时,在孔壁上形成了大量的通孔(图 4(b))。继续增加到 90%,球形结构消失,出现了亚微米级的骨架结构

(图 4(c)),此时最有利于气体的吸附传输。
进一步对不同分散相体积分数制备的氮掺杂多孔碳的比表面积和孔径分布进行分析,结果如图 5 所示。样品的氮气吸附-解吸等温线均表现出 IV 型滞后环特征,表明存在介孔^[29]。而孔径分布曲线表明,大孔的孔壁内部还存在热解过程形成的微孔结构(图 5(b))。采用不同分散相体积分数的浓乳液模板制备的多孔碳的比表面积和二氧化碳吸附量如表 2 所示。可以看出,随着分散相体积分数的增加,材料的比表面积和二氧化碳吸附量也随之增加,表明高度均匀和相互连通的多孔结构有利于二氧化

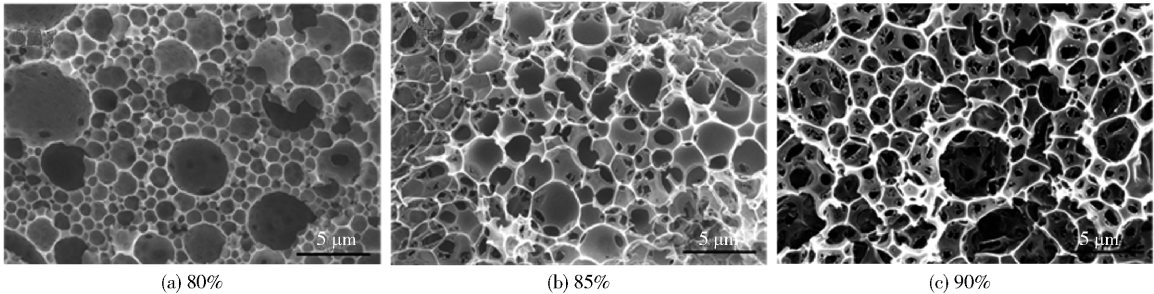


图 4 不同分散相体积分数的氮掺杂多孔碳的 SEM 图

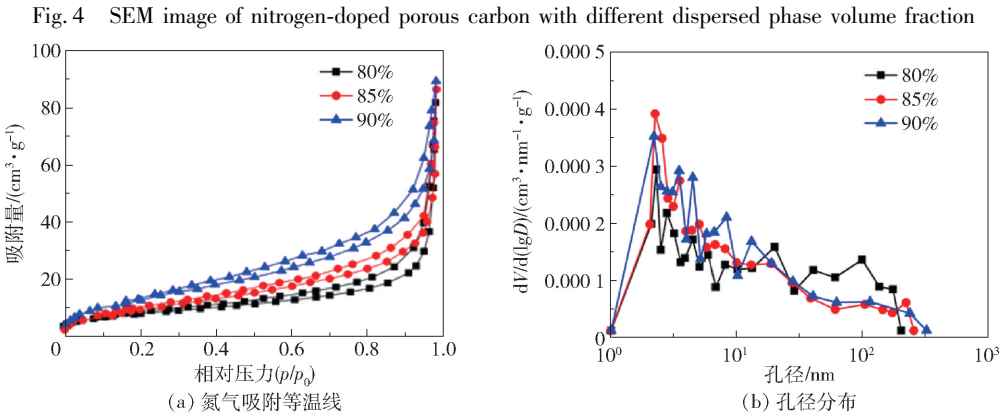


图 5 不同分散相体积分数下氮掺杂多孔碳的氮气吸附等温线和孔径分布

Fig. 5 N₂ sorption isotherms and pore size distributions of nitrogen-doped porous carbons with different volume fractions of internal phase

表 2 不同分散相体积分数多孔碳材料的比表面积和吸附量		
Table 2 Specific surface areas and adsorption capacities of porous carbons with different volume fractions of the internal phase		
分散相体积分数/%	比表面积/ (m ² ·g ⁻¹)	吸附量/ (mmol·g ⁻¹)
80	38.1	2.96
85	44.3	3.18
90	57.8	3.32

碳扩散到多孔碳中,也有利于在热解过程中形成更多的微孔,因此具有较高的吸附能力。但是如果继续增加分散相体积分数,浓乳液会因不稳定而破乳。因此,当分散相体积分数为 90% 时多孔碳材料具有最理想的微观结构与二氧化碳吸附性能。

2.4 二氧化碳吸附性能

分别测定了不同三聚氰胺含量和不同浓乳液分散相体积分数条件下制备的氮掺杂多孔碳的二氧化碳吸附等温线(图 6)。可以看出,当三聚氰胺含量为 10%、分散相体积分数为 90% 时,多孔碳材料在

100 kPa 下的二氧化碳吸附量最高可达 3.32 mmol/g。证实了多孔碳的氮含量和多孔结构能够在二氧化碳吸附中起重要作用。

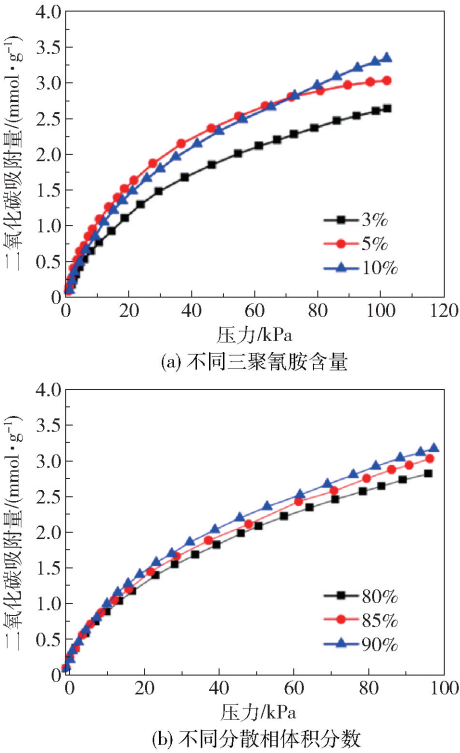


图 6 氮掺杂多孔碳在 0 °C 下的二氧化碳吸附量

Fig. 6 CO₂ adsorption capacities of nitrogen-doped porous carbons at 0 °C

所制备的氮掺杂多孔碳在 0 °C 和 25 °C 时的二氧化碳吸附等温线如图 7 (a) 所示。100 kPa 时, 吸附剂在 0 °C 和 25 °C 时的二氧化碳吸附量分别为 3.32 和 2.03 mmol/g。0 °C 时的吸附量比较高, 可能是温度较低时二氧化碳气体分子的动能较低, 不易从材料中脱出。

吸附热是衡量解吸过程能量消耗的有效指标。我们用克劳修斯-克拉佩龙方程 (式 (1)) 计算材料的吸附热 Q_{st} 。

$$Q_{st} = \frac{RT_1T_2\ln(p_2/p_1)}{T_2 - T_1} \tag{1}$$

式中, R 是气体常数, T_1 、 T_2 和 p_1 、 p_2 是二氧化碳吸附达到平衡时的吸附温度和吸附压力, Q_{st} 是材料的吸附热。较低的 Q_{st} 值 (21.3 ~ 33.7 kJ/mol, 图 7 (b)) 表明吸附剂和二氧化碳之间的相互作用力较弱, 吸附剂再生需要的能量低, 有利于材料的实际工业应用。

2.5 二氧化碳/氮气选择性吸附和再生行为

图 8 (a) 所示的吸附等温线显示, 在 100 kPa 下二氧化碳和氮气的吸附量为分别 3.32 mmol/g 和

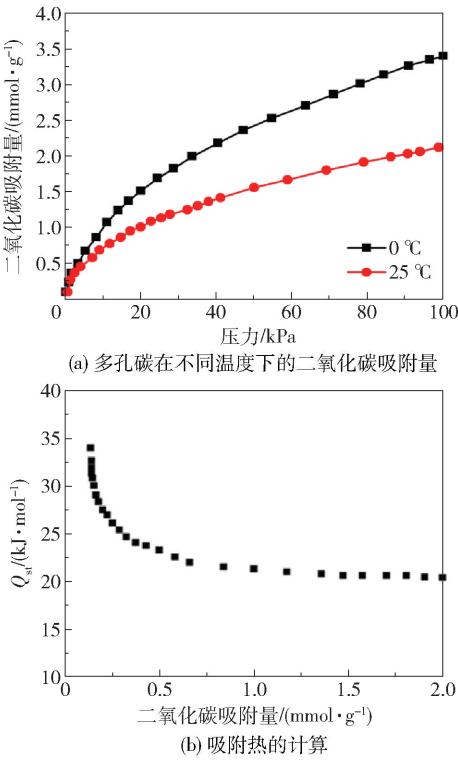


图 7 多孔碳在不同温度下的吸附量和吸附热的计算

Fig. 7 Adsorption capacities of hybrid porous carbons at different temperatures and the calculated isosteric heat values

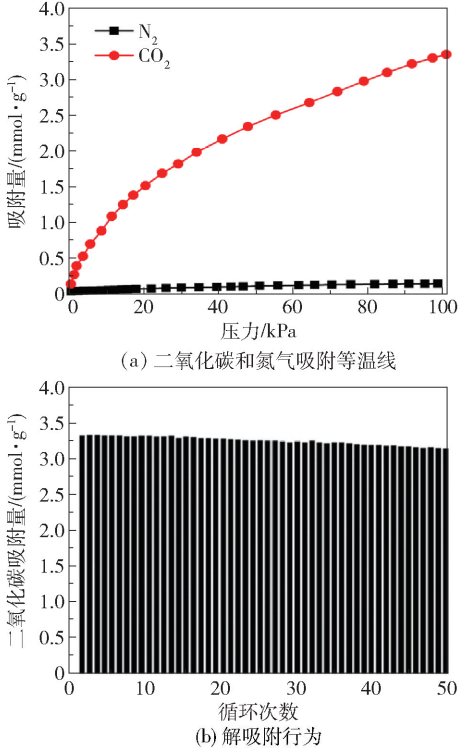


图 8 多孔碳的二氧化碳和氮气吸附等温线以及解吸行为

Fig. 8 Adsorption isotherms curve of CO₂/N₂ and desorption behavior of porous carbons

0.11 mmol/g。根据吸附等温线的初始斜率计算可知,该样品对二氧化碳/氮气选择吸附系数大约为42.7。图8(b)为所制备的多孔吸附剂的二氧化碳循环吸附量。经过50次吸附-解吸循环测试后,多孔吸附剂的吸附量没有明显下降。以上结果表明本文方法所制备的吸附剂在选择吸附和再生方面均表现出优异的性能。

3 结论

采用浓乳液模板法制备了多孔结构和氮含量可调的氮掺杂多孔碳材料。当浓乳液连续相的单体中三聚氰胺质量分数为10%、分散相体积分数为90%时制备出的多孔碳表现出最高的二氧化碳吸附量(在0℃和100 kPa的条件下达到3.32 mmol/g),同时还具有高效的二氧化碳/氮气选择吸附能力,其选择吸附系数为42.7。经过50个周期的吸附-解吸操作后,二氧化碳的吸附量基本保持不变。

参考文献:

- [1] LI D, FURUKAWA H, DENG H, et al. Designed amyloid fibers as materials for selective carbon dioxide capture[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2014, 111(1): 191–196.
- [2] ESTEVEZ L, BARPAGA D, ZHENG J, et al. Hierarchically porous carbon materials for CO₂ capture: the role of pore structure[J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2018, 57(4): 1262–1268.
- [3] XU X, SONG C, ANDRESEN J M, et al. Novel polyethylenimine-modified mesoporous molecular sieve of MCM-41 type as high-capacity adsorbent for CO₂ capture[J]. *Energy and Fuels*, 2015, 16(6): 1463–1469.
- [4] RAO A B, RUBIN E S. A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO₂ capture technology for power plant greenhouse gas control[J]. *Environmental Science and Technology*, 2001, 36(20): 4467–4475.
- [5] FIGUEROA J D, FOUT T, PLASYNSKI S, et al. Advances in CO₂ capture technology—The U. S. Department of Energy's Carbon Sequestration Program[J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2008, 2: 9–20.
- [6] XIE W, YU M, WANG R. CO₂ capture behaviors of amine-modified resorcinol-based carbon aerogels adsorbents[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, 17: 2715–2725.
- [7] PARK D H, LAKHI K, RAMADASS K, et al. Energy efficient synthesis of ordered mesoporous carbon nitrides with a high nitrogen content and enhanced CO₂ capture capacity[J]. *Chemistry*, 2017, 23(45): 10753–10757.
- [8] CAVENATI S, GRANDE C A, RODRIGUES A E. Adsorption equilibrium of methane, carbon dioxide, and nitrogen on zeolite 13X at high pressures[J]. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 2004, 49(4): 1095–1101.
- [9] LU C, BAI H, WU B, et al. Comparative study of CO₂ capture by carbon nanotubes, activated carbons, and zeolites[J]. *Energy and Fuels*, 2008, 22(5): 3050–3056.
- [10] YU J, XIE L H, LI J R, et al. CO₂ capture and separations using MOFs: computational and experimental studies[J]. *Chemical Reviews*, 2017, 117(14): 9674–9754.
- [11] LIAO P Q, CHEN X W, LIU S Y, et al. Putting an ultrahigh concentration of amine groups into a metal-organic framework for CO₂ capture at low pressures[J]. *Chemical Science*, 2016, 7(10): 6528–6533.
- [12] CREAMER A E, GAO B, WANG S. Carbon dioxide capture using various metal oxyhydroxide-biochar composites[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 283: 826–832.
- [13] CECILIA J A, VILARRASA-GARCÍA E, GARCÍA-SANCHO C, et al. Functionalization of hollow silica microspheres by impregnation or grafted of amine groups for the CO₂ capture[J]. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2016, 52: 344–356.
- [14] NIU M, YANG H, ZHANG X, et al. Amine-impregnated mesoporous silica nanotube as an emerging nanocomposite for CO₂ capture[J]. *Applied Materials and Interfaces*, 2016, 8(27): 17312–17320.
- [15] XIA W, CHEN L, GUO Q. Development of hybrid amine-functionalized MCM-41 sorbents for CO₂ capture[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 260: 573–581.
- [16] YAO L, GUO D, BEI C, et al. Amine-functionalized monodispersed porous silica microspheres with enhanced CO₂ adsorption performance and good cyclic stability[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2013, 408: 173–180.
- [17] QIAN J, LI Q, LIANG L, et al. A microporous MOF with open metal sites and Lewis basic sites for selective CO₂ capture[J]. *Dalton Trans*, 2017, 46(41): 14102–14106.
- [18] KUNDU S K, BHAUMIK A. Novel nitrogen and sulfur

- rich hypercrosslinked microporous poly-triazine-thiophene copolymer for superior CO₂ capture[J]. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 2016, 4(7): 3697–3703.
- [19] HE J, TO J W F, PSARRAS P C, et al. Tunable polyaniline-based porous carbon with ultrahigh surface area for CO₂ capture at elevated pressure[J]. Advanced Energy Materials, 2016, 6(14): 1502491.
- [20] GUO L P, HU Q T, ZHANG P, et al. Polyacrylonitrile derived sponge-like micro/macroporous carbons for selective CO₂ separation[J]. Chemistry-A European Journal, 2018, 24(33): 8369–8374.
- [21] GONG J, LIN H, ANTONIETTI M, et al. Nitrogen-doped porous carbon nanosheets derived from poly(ionic liquid): hierarchical pore structures for efficient CO₂ capture and dye removal[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2016, 4(19): 7313–7321.
- [22] LONG D, ZHANG J, YANG J, et al. Chemical state of nitrogen in carbon aerogels issued from phenol-melamine-formaldehyde gels[J]. Carbon, 2008, 46: 1259–1262.
- [23] HAN J, DU Z, WEI Z, et al. Fabrication of interfacial functionalized porous polymer monolith and its adsorption properties of copper ions[J]. Journal of Hazardous Materials, 2014, 276(9): 225–231.
- [24] ALAM M M, MIRAS J, PÉREZ-CARRILLO L A, et al. Facile synthesis of dual micro/macroporous carbonaceous foams by templating in highly concentrated water-in-oil emulsions[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2013, 182(6): 102–108.
- [25] SHEN W, FAN W. Nitrogen-containing porous carbons: synthesis and application[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2012, 1: 999–1013.
- [26] ZHOU H, XU S, SU H, et al. Facile preparation and ultra-microporous structure of melamine-resorcinol-formaldehyde polymeric microspheres[J]. Chemical Communications, 2013, 49: 3763–3765.
- [27] GORGULHO H F, GONÇALVES F, PEREIRA M F R, et al. Synthesis and characterization of nitrogen-doped carbon xerogels[J]. Carbon, 2009, 47: 2032–2039.
- [28] YU J, GUO M, MUHAMMAD F, et al. Simple fabrication of an ordered nitrogen-doped mesoporous carbon with resorcinol-melamine-formaldehyde resin[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 2014, 190(6): 117–127.
- [29] WANG L, YAO M, HU X, et al. Amine-modified ordered mesoporous silica: the effect of pore size on CO₂ capture performance[J]. Applied Surface Science, 2014, 324: 286–292.

Preparation of melamine-modified phenolic based porous carbon materials and their CO₂ adsorption properties

DENG JingQian HAN JiaXi DU ZhongJie ZOU Wei LI HangQuan ZHANG Chen*

(Key Laboratory of Carbon Fiber and Functional Polymers, Ministry of Education, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Porous melamine-resorcinol-formaldehyde resins have been fabricated using a concentrated emulsion template method, and partially pyrolyzed to obtain nitrogen-doped porous carbon materials which can be used for carbon dioxide adsorption. The effects of varying the volume fraction of the internal phase of the concentrated emulsion template and the content of melamine on the morphology of the porous structure were investigated. The porous carbon with a volume fraction of the internal phase of the concentrated emulsion template of 90% has a rich pore structure. After partial carbonization, a nitrogen-doped porous carbon material having both an inorganic carbon skeleton and organic nitrogen active sites was obtained. The effects of different carbonization temperatures and melamine content on the carbon dioxide adsorption performance of the porous carbon materials were further studied. The adsorption capacity of carbon dioxide reached as high as 3.32 mmol/g, and the materials showed good selective adsorption and regenerability.

Key words: concentrated emulsion templating; porous materials; carbon materials; nitrogen-doped; carbon dioxide; adsorption

(责任编辑:吴万玲)

团队简介



北京化工大学材料科学与工程学院功能聚合物物理学与轻量化技术研究室由国家级教学名师励杭泉教授于 1990 年创建,以浓乳液聚合与高分子材料成型加工技术的研究与应用为基础,逐步拓展至多孔聚合物的制备与结构控制、纳米微粒表面修饰及其功能化应用、功能聚合物的轻量化技术研究等领域,已形成了以高分子物理基础理论为指导、分子结构设计为核心、聚合物材料功能化应用为目标的研究特色。课题组现有教授 2 人,副教授 2 人,研究生 20 余人,先后承担了国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目、国家自然科学基金、科技部国际合作项目、北京市自然科学基金及国防军工配套项目等国家级课题 10 余项,企业合作课题 20 余项。目前已发表学术论文 100 多篇,拥有发明专利 10 余项。