

文章编号:1674-2869(2009)07-0033-05

# 有机改性 SBA-15 的直接合成及对二苯并噻吩的吸附

陶小娟<sup>1</sup>, 杜新贞<sup>2</sup>

(1. 兰州石油机械研究所, 甘肃 兰州 730050; 2. 西北师范大学化学化工学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**直接合成了有机改性的介孔材料 SBA-15, 用 XRD、元素分析法、酸碱滴定等方法对样品进行了表征。结果表明, 制备的样品具备了较好的孔道结构和较高的热稳定性, 并且成功地键合了一定量的质子酸中心。SBA-15-SO<sub>3</sub>H 具有较高的 Ag<sup>+</sup> 交换率, 在正辛烷和二苯并噻吩(DBT)组成的汽油模拟体系中, 吸附载体用量不变的情况下, DBT 的初始浓度为 4 000 mg/L 时, 测得 SBA-15-SO<sub>3</sub>Ag 对硫吸附量达到了 12.15 mg/g。

**关键词:**介孔材料; 有机改性; 二苯并噻吩; 离子交换; 吸附

**中图分类号:**TM285

**文献标识码:**A

## 0 引言

自 1992 年 Mobil 公司<sup>[1]</sup>成功合成 M41S 系列新型介孔材料以来, 这些材料在分子择形性催化<sup>[2]</sup>、吸附<sup>[3]</sup>、色谱分离<sup>[4]</sup>及主-客体组装<sup>[5]</sup>等领域得到了快速发展和广泛应用。SBA-15 与 MCM-41 都具有六方立柱型结构, 但 SBA-15 比 MCM-41 具有更大的孔径、更厚的孔壁及更高的水热稳定性<sup>[6-7]</sup>, 以 SBA-15 为基体的介孔材料因其更优良的性能引起了广泛的关注。然而, 这些硅基介孔材料骨架网络中晶格缺陷少, 缺乏质子酸和 Lewis 酸中心, 其反应的活性不高, 一般通过掺杂、有机修饰和固载金属络合物等手段来改善其性能。介孔材料内表面的硅中有 20% 左右含有孤立的 Si-OH<sup>[8]</sup>, 这些基团可以作为有机改性的活性点, 与硅烷偶联剂发生缩合反应生成稳定的 Si-O-Si, 从而使有机基团负载于介孔材料表面, 生成有机/无机介孔复合体。本实验应用此法合成了一(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-SiH 和 -CH<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub>H 表面改性的介孔 SBA-15 材料, 通过与 Ag<sup>+</sup> 进行交换反应后作为吸附剂, 考察了其在汽油模拟体系中脱除 DBT 的效果, 进行了汽油深度脱硫的初步研究。

## 1 实验部分

### 1.1 实验试剂

聚乙二醇 聚丙三醇 聚乙二醇三嵌段共聚物 (P123, 分子式 EO<sub>20</sub>PO<sub>70</sub>EO<sub>20</sub>, Aldrich); 3-巯丙基

三甲氧基硅烷 (MPTMS, Aldrich); 二苯并噻吩 (DBT, Aldrich); 正硅酸乙酯 (TEOS, 分析纯, 西安化学试剂厂); 硝酸银 (分析纯, 西安化学试剂厂); 过氧化氢 (质量分数 30%, 分析纯, 莱阳双菱化工有限公司); 盐酸 (质量分数 36%, 分析纯, 莱阳双菱化工有限公司); 正辛烷 (分析纯, 天津市博迪化工有限公司); 无水乙醇 (分析纯, 天津市化学试剂六厂)。

### 1.2 材料的合成

各反应物的摩尔比为:  $n(\text{P123})/n(\text{TEOS})/n(\text{MPTMS})/n(\text{HCl})/n(\text{H}_2\text{O}) = 7 \times 10^{-3}/0.369/0.041/2.4/66.7$ <sup>[9]</sup>。将 P123 加入到一定浓度的盐酸中完全溶解, 40 ℃ 搅拌 1 h 后, 剧烈搅拌下逐滴加入 TEOS, 继续搅拌 1 h, 再加入 MPTMS 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 连续搅拌 20 h, 90 ℃ 恒温静止晶化 24 h, 将得到的混合物冷却至室温, 抽滤, 洗涤至中性, 80 ℃ 干燥得白色粉末 (P123 SBA-15 SO<sub>3</sub>H), 用无水乙醇萃取回流 6 h (每 1.5 g 原粉用去 200 mL 乙醇), 除去模板剂 P123, 得到的混合物抽滤, 并先后用乙醇和二次水反复冲洗, 80 ℃ 干燥得产物 (SBA-15 SO<sub>3</sub>H)。在合成条件不变的情况下, 不加入 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 得到样品 P123 SBA-15 SH 及 SBA-15 SH。不加入 MPTMS 与 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 得到样品 P123 SBA-15 及 SBA-15。

### 1.3 离子交换和吸附实验

取 10 mL 的 0.1 mol/L 的 Fe<sup>3+</sup>、Co<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、Ag<sup>+</sup>、Hg<sup>2+</sup> 溶液分别与 0.1 g

收稿日期: 2009-02-24

作者简介: 陶小娟 (1980-), 女, 甘肃白银人, 工程师, 硕士。研究方向: 介孔复合体的制备及分析应用, 化学分析。

指导老师: 杜新贞, 教授, 博士, 硕士研究生导师。研究方向: 主-客体化学中弱相互作用和介孔复合体的制备及分析应用。

SBA-15-SH 和 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 在室温条件下搅拌 6 h, 抽滤, 滤饼在 60 ℃ 干燥 24 h, 分别与一定浓度 DBT 的正辛烷溶液反应 1 h. 抽滤后用 UV-Vis 法测定滤液中剩余 DBT 的量来确定材料对 DBT 的吸附量.

#### 1.4 样品表征

以 Advance X-射线衍射仪(电压 40kV, 电流 60mA, CuKα)测定样品结构, 以 Perkin Elmer 元素分析仪评估材料有机物键含量, 以雷磁 PHS-3C 型 pH 计测定材料表面的酸中心数, 以 Nicolet 670 FT-IR 红外光谱仪(KBr 压片)进行红外光谱测定, 以 Shimadzu DT 40 差热分析仪考察材料的热稳定性能, 以 ASAP 2010 型物理吸附仪测定样品的氮气吸附-脱附曲线, 以 Agilent 8453 型紫外-可见分光光度计测定材料的吸附量.

## 2 结果与讨论

### 2.1 小角 X 射线衍射表征

从制备的 SBA-15、SBA-15-SII 和 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 样品的 XRD 谱(图 1、图 2)可得出, 三种样品均在  $2\theta=0.8^\circ$  (左右显示强的(100)衍射峰, 在  $2\theta=1.5\sim 2.0^\circ$  区域也均有两个相对较弱的(110)和(200)晶面衍射峰. 材料的三个晶面的  $(2\theta)^\circ$  比值约为 1:3:4, 说明样品的孔道具有六方对称性, 是典型的 SBA-15 骨架特征<sup>[10]</sup>.

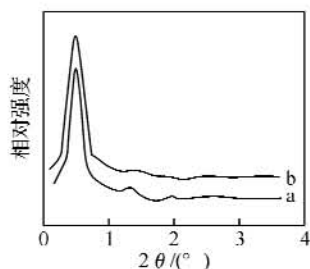


图 1 SBA-15-SH 的 XRD 谱图

Fig. 1 XRD patterns of SBA-15-SII

注: a, SBA-15-SH; b, P123-SBA-15-SH.

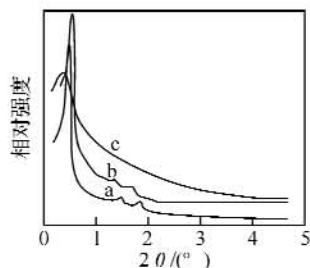


图 2 样品的 XRD 谱图

Fig. 2 XRD patterns of samples

注: a, SBA-15; b, SBA-15-SO<sub>3</sub>H; c, SBA-15-SO<sub>3</sub>Ag.

样品 SBA 15 SH 和 SBA 15 SO<sub>3</sub>H 在大角度区域的两个衍射峰强度比 SBA-15 有所降低, 说明

用 MPTMS 进行表面改性时, 疏丙基和丙基磺酸基成功接枝于材料孔道中, 使得材料的孔道结构有序性有一定程度的下降. 但所有样品的 XRD 峰型和位置都基本没有发生改变, 说明这几种材料都具有典型的 SBA-15 介孔特征. 图 1 为材料 SBA-15-SII 脱除模板剂前后的 XRD 图. SBA-15-SH 与未除去模板剂相比, 衍射峰强度稍有增大, 且晶胞参数减小, 这是由于脱除模板剂时, 材料骨架热振动可使分子筛的结构进一步完善, 结晶度提高, 同时使得 Si—OH 缩合而引起孔道收缩. 当 Ag<sup>+</sup> 与材料进行交换反应得到 SBA-15-SO<sub>3</sub>Ag 后, 材料的(100)晶面衍射峰强度有所下降, (110)和(200)晶面衍射峰已经消失. 由此可知, Ag<sup>+</sup> 进入孔道以后, 介孔结构规整性会进一步下降, 但仍保持介孔特征.

### 2.2 元素分析结果及酸中心数的测定

用元素分析的方法定量评估了 SBA 15 SH 和 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 的有机物表面接枝率, 结果列于表 1 中. 两种材料的有机物质量分数分别为 26.31% 和 33.80%, 说明有机基团已成功键合于介孔材料上.

表 1 样品元素分析结果

Table 1 Elemental analytical results of samples

样品名称	C/%	H/%	O/%	S/%	有机物质量分数/%
SBA-15-SH	12.21	2.64	0	11.46	26.31
SBA-15-SO <sub>3</sub> H	5.63	2.14	15.62	10.41	33.80

用酸碱滴定法测得 SBA-15-SH 和 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 的酸中心数, 与理论酸中心数相比<sup>[7]</sup>, 材料 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 酸性中心表面接枝率达到 75.54%. 说明有 75.54% 的表面 Si—OH 与 MPTMS 缩合而被覆盖, 进一步表明合成了强酸性介孔二氧化硅复合体.

### 2.3 FT IR 光谱表征

图 3 为样品的红外光谱, 1 093 cm<sup>-1</sup> 和 803 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰是由 SBA-15 骨架的 Si—O—Si 键的伸缩振动引起的, 465 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰对应 Si—O—Si 键的弯曲振动, 951 cm<sup>-1</sup> 处的吸收峰是由端羟基 Si—OH 的伸缩振动引起的. 当加入偶联剂 MPTMS 后, 改性后样品的 Si—OH 吸收峰强度比纯硅有所降低, 说明偶联剂与端羟基发生反应, 键合于 SBA-15 表面. 样品 a、c 中, C—H 键的吸收峰出现在 2 850~2 980 cm<sup>-1</sup> 范围和 1 460 cm<sup>-1</sup> 处, C—O—C 键的吸收峰出现在 1 350~1 377 cm<sup>-1</sup> 范围内, 这几个峰属于原粉骨架上还没有脱除的模板剂 P123. 样品 P123-SBA-15-SO<sub>3</sub>H 除去模板剂后, 可以看出 C—H 键和 C—O—C 键

的吸收峰已明显减弱,且样品 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 和纯硅基样品 SBA-15 相比,属于有机接枝官能团中 C—H 键的吸收峰明显增强,丙基磺酸基已成功嫁接于硅骨架上.在 2 850~2 980 cm<sup>-1</sup> 范围和 1 460 cm<sup>-1</sup> 处的属于硅烷偶联剂 MPTMS 上的丙基基团的 C—H 键的吸收峰也较明显,且在 2 580 cm<sup>-1</sup> 处可以观察到微弱的一SH 的特征峰<sup>[11]</sup>.

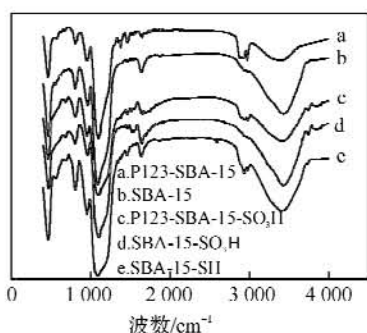


图3 样品的 FT-IR 图谱

Fig. 3 FT-IR spectra of samples

#### 2.4 样品的热重分析

图4和图5是SBA-15改性前后的热重分析曲线,三种样品在100℃左右都有不同程度的失重,这是由于样品孔道内部及表面存在的吸附水受热汽化的缘故.

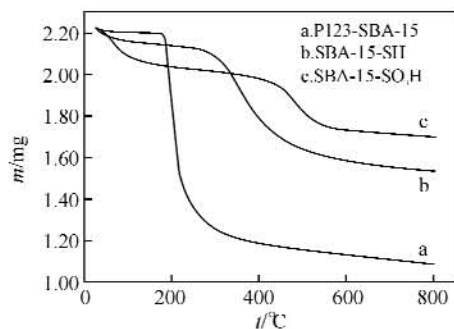


图4 样品的 TGA 分析曲线

Fig. 4 TGA curves of samples

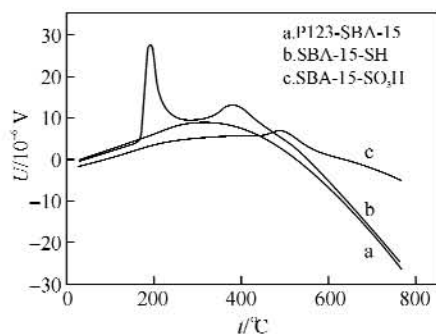


图5 样品的 DTA 分析曲线

Fig. 5 DTA curves of samples

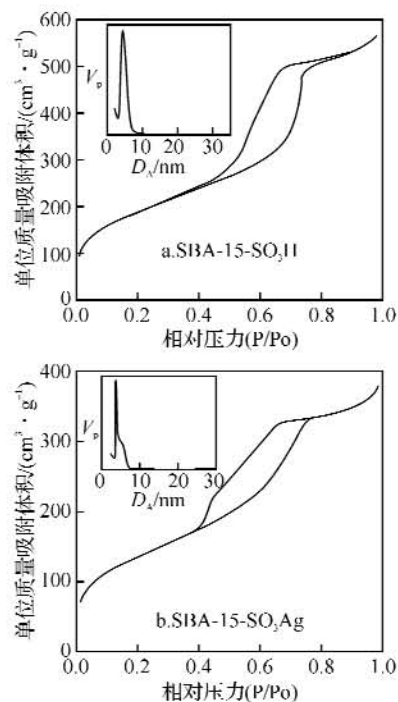
P123 在 210℃ 之前分解,造成 P123-SBA-15 由于模板剂脱除而大量失重.已经脱除了模板剂的样品在 210℃ 左右也出现少量失重,说明改性样品经萃取脱模后 P123 有少量残留.样品 SBA-

15-SO<sub>3</sub>H 在 200~400℃ 温度范围内的少量失重是由于与 MPTMS 反应后接枝于硅骨架上的很少一部分没有氧化成—SO<sub>3</sub>H 的疏丙基的分解导致.随着温度的继续升高,键合于介孔表面的磺酸基在 500℃ 左右受热开始分解,可知 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 材料表面的磺酸基很稳定,分解温度高于 450℃<sup>[12]</sup>.样品 SBA-15-SH 在 300~430℃ 有一很大程度的失重,是由于疏丙基受热分解所致.

从相对应的 DTA 分析曲线同样可以看出,三种材料分别在 200、410 和 530℃ 左右出现了明显的放热峰,这三种放热峰分别对应于模板剂 P123、疏丙基和丙磺酸基的受热分解.从失重和差热曲线可以看出,纯硅基介孔材料改性后的两种材料都具有较高的热稳定性,且 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 的稳定性高于 SBA-15-SH.

#### 2.5 吸附 脱附

图6是离子交换前后材料的 N<sub>2</sub> 吸附-脱附等温线及孔径分布图.

图6 N<sub>2</sub> 吸附-脱附等温线及孔径分布图Fig. 6 N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherms and pore size distribution

样品的 N<sub>2</sub> 吸附脱附等温线的形状为 Langmuir IV 型 (IUPAC), 是典型的介孔物质吸附类型<sup>[13]</sup>. 且存在由于孔道内的毛细管凝聚作用而形成的 III 型滞后环, 滞后环的出现说明样品具有开放型的形状规则的筒形孔, 且有相对较高的孔径均一性和孔道联通性, 陡峭的吸-脱附等温线和孔径分布图都可以说明样品的孔径分布较窄. 虽然孔径分布图的形状有点不同, 但两材料平均

孔径都分布在 1~5 nm 之间.随着压力的增大,氮气分子吸附量不断增加.在  $P/P_0=0.4$  左右等温线有一明显突跃,这是由于氮气分子在介孔孔道内发生毛细管凝聚,使吸附量急剧增加<sup>[14]</sup>.从表 2 中孔道结构参数可以看出,两种材料都具有较大的比表面积、孔径和孔容.但当  $\text{Ag}^+$  通过交换进入

材料孔道后,比表面积从  $702 \text{ m}^2/\text{g}$  降至  $503 \text{ m}^2/\text{g}$ ,孔容由  $0.86 \text{ cm}^3/\text{g}$  减小至  $0.56 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,孔道的长程有序性受到一定的影响.图 6 中等温线高度的下降,低压滞后环的形状和大小的变化,也印证了这一点.但样品 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  还是保持了基本的介孔结构.

表 2 样品的物理参数

Table 2 Physical parameters of the samples

样品名称	$S_{\text{BET}}/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	$D_{\text{RHH}}/\text{nm}$	$V_p/(\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})$	$D_A/\text{nm}$	壁厚/nm
SBA-15- $\text{SO}_3\text{H}$	702	4.75	0.86	4.88	6.69
SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$	503	4.25	0.56	4.44	7.10

## 2.6 材料的 $\text{Ag}^+$ 交换

以 DBT 作为吸附目标物,正辛烷作为溶剂来模拟汽油体系,以 SBA-15-SH 和 SBA-15- $\text{SO}_3\text{H}$  为吸附剂直接对 DBT 的脱除效率很低.因这两种材料都具有较高的酸中心数,通过离子交换反应可在吸附剂表面键合一定量的软 Lewis 酸中心,使得软的 Lewis 碱 DBT 中的 S 原子产生极化,从而可以形成稳定的配合物<sup>[15]</sup>,进而实现对 DBT 分子的吸附.选用几种金属离子作为软 Lewis 酸中心,测定结果表明,在相同条件下, $\text{Ag}^+$  与 SBA 15  $\text{SO}_3\text{H}$  进行离子交换所得的材料 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  对 DBT 的吸附效果最好.由文献<sup>[16]</sup>可知, $\text{Ag}^+$  空的 S 轨道可形成  $\sigma$  键,而它的 d 轨道能够把电子云反馈至 DBT 的芳香环的反键  $\pi^*$  轨道,从而

形成  $\pi$  键,所以 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  吸附剂可以通过直接形成 S Ag 键脱除含 S 的 DBT.当反应时间为 6 h,溶液的 pH 值为 4,  $\text{AgNO}_3$  溶液的浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $\text{Ag}^+$  的交换量达到最大值.

## 2.7 DBT 的吸附

交换有金属离子的材料 SBA-15-SH 和 SBA-15- $\text{SO}_3\text{H}$  对 10 mL 500 mg/L 的 DBT 的正辛烷溶液进行吸附.通过 UV-Vis 法测定,各材料对 DBT 的吸附结果如表 3 所示.从表中数据可知,所有与金属离子进行交换的材料中, SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  在相同条件下对 DBT 的吸附效果最好且达到 77.01%,明显高于其它材料.所以本实验选用 SBA 15  $\text{SO}_3\text{Ag}$  进行进一步的吸附性能测定.

表 3 SBA-15 材料对 DBT 的吸附结果

Table 3 Adsorption of DBT onto SBA-15 materials

样品名称	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Ag	Hg
吸附率/%	SBA SH	47.15	47.60	48.18	46.80	47.25	47.21	47.19
	SBA- $\text{SO}_3\text{H}$	46.02	46.69	46.82	46.28	46.65	47.74	47.20
DBT/(mg · g <sup>-1</sup> )	SBA-SH	23.58	23.80	24.09	23.40	23.62	23.60	23.53
	SBA- $\text{SO}_3\text{H}$	23.01	23.35	23.41	23.14	23.32	23.87	23.60
S/(mg · g <sup>-1</sup> )	SBA-SH	4.09	4.13	4.18	4.06	4.10	4.10	4.09
	SBA- $\text{SO}_3\text{H}$	3.99	4.05	4.06	4.01	4.04	4.14	4.10

继续考察了 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  在正辛烷溶液中,对浓度分别为 500 mg/L、2 000 mg/L 和 4 000 mg/L 的 DBT 的吸附效率(如表 4 所示).

表 4 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  对 DBT 的吸附Table 4 Adsorption of DBT onto SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$ 

$C_{\text{DBT}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	500	2 000	4 000
吸附率/%	77.01	25.17	17.49
DBT/(mg · g <sup>-1</sup> )	38.50	50.34	69.96
S/(mg · g <sup>-1</sup> )	6.69	8.74	12.15

当 DBT 浓度为 500 mg/L 时的吸附效率最高,可达到 77.01%,大部分的目标分子被吸附脱除,这给化学吸附脱硫提供了有用的参考.随着 DBT 浓度的增加,相同量的吸附材料对目标分子的吸附效率逐渐下降,但绝对吸附量不断提高.当 DBT 的浓度达到 4 000 mg/L 时,对硫的吸附量达

到了 12.15 mg/g.

## 3 结 语

a. 采用直接合成法成功合成了具有良好介孔结构、大的比表面积的硅基材料 SBA 15 SH 和 SBA 15  $\text{SO}_3\text{H}$ ,该材料热稳定性高,有较强的酸性,酸中心数分别达到了 1.03 mmol/g 和 1.09 mmol/g.

b. SBA-15- $\text{SO}_3\text{H}$  在与硝酸银进行离子交换反应后得到的材料 SBA-15- $\text{SO}_3\text{Ag}$  仍然保持了较好的结构特征,且该材料对汽油模拟体系中的 DBT 有较好的吸附能力,DBT 浓度为 4 000 mg/L 时,吸附容量可以达到 12.15 mg/g,说明该方法可以用来降低燃料油中硫含量,从而减少环境污染.

不但对目前工业化脱硫所使用的催化加氢脱硫法(HDS)的一种有利的补充,并且比HDS法对反应条件和设备的要求低,造价低廉。

#### 参考文献:

- [1] Chen L. Y, Jacniche S, Chnak G K. Thermal and hydrothermal stability of framework-substituted MCM-41 mesoporous materials[J]. *Micropor Mater*, 1997, 12(4/5/6): 323-330.
- [2] Ying J Y, Mchnert C P, Wong M S. Synthesis and applications of supramolecular-templated mesoporous materials[J]. *Angew Chem Int Ed*, 1999, 38(1/2): 56-77.
- [3] Lee H, Yi J. Removal of copper ions using functionalized mesoporous silica in aqueous solution [J]. *Scp Sci Tcchnol*, 2001, 36(11): 2433-2448.
- [4] Zhao Jian wei, Gao Feng, Fu Yun lin, et al. Biomolecule separation using large pore mesoporous SBA-15 as a substrate in high performance liquid chromatography[J]. *Chem Commun*, 2002, (7): 752-753.
- [5] 张珍容, 魏坤, 张世英, 等. 有序介孔纳米材料主-客体组装的研究进展[J]. *中国陶瓷*, 2002, 36(6): 24-26.
- [6] Macquarrie D J, Jackson D B. Aminopropylated MCMs as base catalysts: a comparison with aminopropylated silica [J]. *J Chem Soc Chem Commun*, 1997, (18): 1781-1782.
- [7] Margoless D, Melero J A, Christiansen S C, et al. Direct synthesis of ordered SBA-15 mesoporous silica containing sulfonic acid groups[J]. *Chem Mater*, 2000, 12(8): 2448-2459.
- [8] Zhao X S, Lu G Q. Modification of MCM-41 by surface silylation with trimethylchlorosilane and adsorption study[J]. *J Phys Chem B*, 1998, 102(9): 1556-1661.
- [9] 袁兴东, 沈健, 李国辉, 等. 表面含磺酸基的介孔分子筛催化剂 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 的制备及其催化性能[J]. *高等学校化学学报*, 2002, 33(12): 2332-2335.
- [10] Taewook K, Younggeun P, Jongheop Y. Highly selective adsorption of Pt<sup>2+</sup> and Pd<sup>2+</sup> using thiol-functionalized mesoporous silica[J]. *Ind Eng Chem Res*, 2004, 43(6): 1478-1484.
- [11] 袁兴东, 沈健, 李国辉, 等. 表面含磺酸基的介孔分子筛 SBA-15-SO<sub>3</sub>H 的直接合成[J]. *催化学报*, 2003, 24(2): 83-86.
- [12] Mikhailenko S, Desplantier-Giscard D, Danumah C, et al. Solid electrolyte properties of sulfonic acid functionalized mesostructured porous silica [J]. *Micropor Mesopor Mater*, 2002, (52): 29-37.
- [13] Brunauer S, Deming L S, Deming W S, et al. On a theory of the vanderwaals adsorption of gases[J]. *J Am Chem Soc*, 1940, 62(7): 1723-1732.
- [14] Michal K, Mietek J. Gas adsorption characterization of ordered organic-inorganic nanocomposite materials[J]. *Chem Mater*, 2001, 13(10): 3169-3183.
- [15] Ralph G P. Hard and soft acids and bases[J]. *Phys Inorg Chem*, 1963, 85(22): 3533-3539.
- [16] Jeevanandam P, Klabunde K J, Tetzler S H. Adsorption of thiophenes out of hydrocarbons using metal impregnated nanocrystalline aluminum oxide [J]. *Micropor Mesopor Mater*, 2005, 79(1/2/3): 101-110.

## Direct synthesis of sorption to dibenzothiophene of organic modified SAB-15

TAO Xiao-juan<sup>1</sup>, DU Xin-zhen<sup>2</sup>

(1. Lanzhou Petroleum Machinery Research Institute, Lanzhou 730050, China;

2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Hybrid SBA 15 mesoporous materials with thiol and sulfonic acid groups were prepared by direct synthesis. The samples were characterized by powder x-ray diffraction, elemental analysis, acid-base titration, etc. The experimental data demonstrate that the samples exhibit well-ordered mesopores and higher thermal stability. Ag<sup>+</sup> can be easily exchanged by SBA-15-SO<sub>3</sub>H. And the adsorption capacity reaches 12.15 mg/g for sulfide under the conditions that the usage of adsorption carrier keeps the same and the initial concentration of DBT is 4 000 mg/L in the gasoline simulation system composed of octane and DBT.

**Key words:** mesoporous materials; organic modification; dibenzothiophene; ion exchange; adsorption

本文编辑: 张 瑞