

功能化有序介孔二氧化硅材料 在分析样品前处理中的应用

周婵媛 杜 卓^{*} 李攻科^{*}

(中山大学 化学与化学工程学院, 广州 510275)

摘要 功能化有序介孔二氧化硅材料具有均一可调的介孔孔径、规则的孔道、稳定的骨架结构、易于修饰的内表面和较高的比表面积、高的吸附容量等特性, 可用于生物、医药、环境样品等复杂基体中痕量分析物的高选择性分离与富集, 因此在样品前处理中的应用特别引人瞩目。简要介绍了功能化有序介孔二氧化硅材料的制备方法, 综述了功能化有序介孔二氧化硅材料在分离富集金属离子、有机污染物以及生物大分子样品前处理中的应用进展。

关键词 功能化; 有序介孔二氧化硅材料; 样品前处理

中图分类号: O658; TQ424.25 文献标识码: A 文章编号: 2095-1035(2011)02-0020-11

Application of Functionalized Ordered Mesoporous Silica Materials on Sample Pretreatment for Chemical Analysis

ZHOU Chanyuan, DU Zhuo^{*}, LI Gongke^{*}

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract Functionalized ordered mesoporous silica materials have uniform and adjustable pore diameters, regular pore channels, stable skeleton structures, easily modified inner surfaces, relative high specific surface area and high adsorption capacity, etc. They can be used for selective separation and enrichment of trace analytes in complicated samples of biology, medicine and environment. Thus, functionalized Ordered Mesoporous Silica Materials are gained special attention for sample pretreatment application. This review gives an introduction to preparation of functionalized mesoporous silica materials and an overview of their applications on separation and enrichment of metal ions, sample pretreatments for organic pollutants and biomacromolecules.

Keywords functionalization; ordered mesoporous silica materials; sample pretreatment

1 引言

样品前处理是整个样品分析过程中的1个重要环节, 复杂基体如生物、医药和环境样品中痕量、

超痕量物质分析要依赖高效和高选择性的样品前处理技术, 其中吸附剂的选择是实现分析物采样、分离、富集的关键, 因此发展选择性高、富集能力强的吸附剂成为样品前处理技术的研究热点。

收稿日期: 2011-05-03 修回日期: 2011-05-13

基金项目: 本文系国家自然科学基金(No. 20775095, No. 20705042 和 No. 90817012)、广东省自然科学基金(No. 9251027501000004)资助项目。

作者简介: 周婵媛(1983-), 女, 博士研究生。

通讯作者: 杜卓, 女, 博士。E-mail: zud_nev@gmql.com。

李攻科, 女, 教授。cesgk@mail.sysu.edu.cn。

2 有序介孔材料分类

自从1992年Mobil公司的研究人员首次合成了有序介孔二氧化硅材料M41S,就受到了广泛的关注^[1]。按照化学组成分类,有序介孔材料一般划分为硅基和非硅基两类^[2]。硅基介孔材料的骨架主

要包括硅酸盐和硅铝酸盐等;非硅基有序介孔材料主要包括过渡金属氧化物,以及以磷酸盐和硫化物等为代表的非氧化物,如图1所示。相对于硅基材料,非硅组成的介孔材料热稳定性较差,孔结构容易坍塌,比表面与孔容量较小,合成机制还欠完善,因此研究相对较少^[3]。

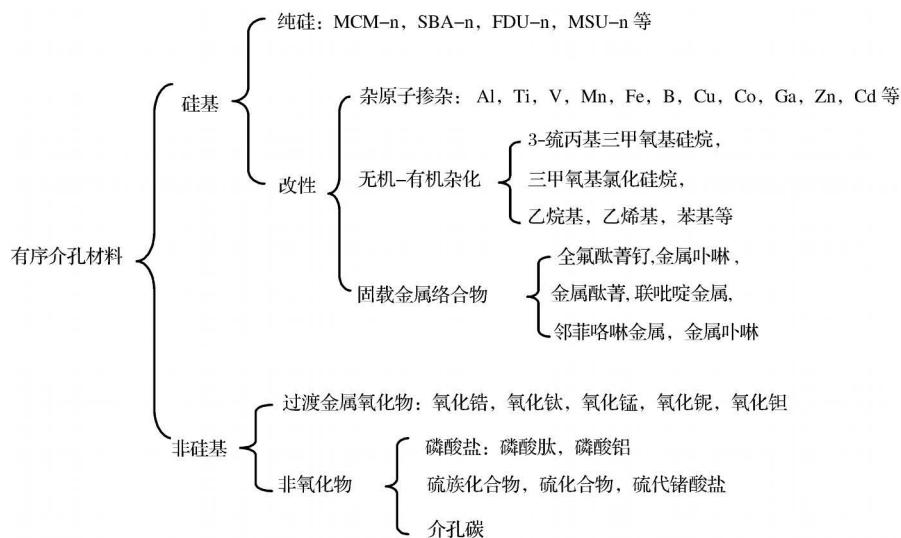


图1 有序介孔材料分类

Figure 1. Classification of ordered mesoporous materials.

介孔材料发展至今已成功合成了多种介观结构,具有高度有序结构的典型二氧化硅介孔材料:M41S系列、SBA-n系列等,如表1所示。有序介孔二氧化硅材料具有排列长程有序的孔道、大的比表面、高的孔隙率和分布窄并在一定范围内连续可调的孔径等特点^[4],因此,在吸附分离领域有着广泛的应用前景。但是,纯硅基类介孔材料的化学反应活性不高,稳定

性较低,大大限制了其实际应用。随着研究的不断深入,有序介孔二氧化硅材料的功能化设计引起了人们的重视。20世纪末,功能化有序介孔二氧化硅材料开始发展起来,经过功能化的有序二氧化硅介孔材料选择性吸附能力得到了提高^[5-6]。目前人们已将功能化有序介孔二氧化硅材料应用于分离富集金属离子、有机污染物和生物大分子^[7-8]。

表1 常见的有序介孔二氧化硅材料及其结构特征

Table 1 Common ordered mesoporous silica materials and their structural characteristics

介孔二氧化硅	模板分子	结构	孔径	参考文献
MCM-41	溴烷基三甲基胺	六边形	1.5~10	[9]
MCM-48	溴烷基三甲基胺	立方形	~3	[10]
SBA-1	苄基三甲基溴化铵	立方形	~4	[11]
SBA-2	两性表面活性剂	立方形	~4	[12]
SBA-3	溴烷基三甲基胺	六边形	~3	[12]
SBA-15	三嵌段聚合物	六边形	5~30	[13]
FS M-16	溴烷基三甲基胺	六边形	~3	[14]
FS M-10	溴烷基三甲基胺	六边形	~2	[15]
FDU-1	三嵌段聚合物	立方形	~12	[16]
FDU-2	季铵盐	立方形	~3	[17]
MSU-n	非离子表面活性剂	蠕虫状	2~15	[18-19]
KIT	溴烷基三甲基胺	蠕虫状	~.4	[20]
AMS-n	阴离子表面活性剂	立方形	~4	[21-22]
HMS-n	非离子表面活性剂	蠕虫状	2~10	[23-24]

3 功能化二氧化硅介孔材料的制备方法

有序介孔二氧化硅材料功能化的主要途径有:接枝法、共缩聚法和骨架杂化法等^[25-26]。

3.1 接枝法

接枝法属于后化学过程,是先制备介孔氧化硅,然后通过硅烷偶联剂与介孔氧化硅表面的羟基反应,就可以在其表面接枝上功能基团,从而得到功能化的有序介孔二氧化硅。其合成过程如图 2 所示。最早使用接枝法进行介孔材料表面功能化研究的是 Sutra 和 Brune^[27],他们首先将 3-氯丙基三甲基硅烷- $(CH_3O)_3SiCH_2CH_2CH_2Cl$ 锚定在 MCM-41 介孔材料的骨架上。Jaroniec^[28] 等首次将- CH_3 、- $(CH_2)_3NH_2$ 等有机基团嫁接在孔径为 5 nm 的 MCM-41 上。Hong Yang 等^[29] 也通过这种方法将氨基引入到了介孔材料的表面。

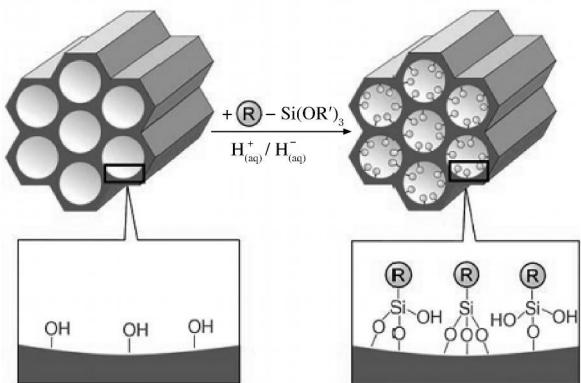


图 2 接枝法制备有机功能化的介孔氧化硅^[25]

Figure 2. Grafting for the organic functionalization of mesoporous silica^[25].

接枝法的优点是功能化后介孔材料结构具有良好的有序度,而且几乎对所有的硅烷偶联剂都适用。缺点是合成的材料中有机基团分布极不规则,而且其分布状态不可控制。

3.2 共缩聚法

共缩聚法属于“一步合成法”即在介孔氧化硅制备过程中,在模板剂作用下,硅源与含有特定有机基团的硅源同时加入,一步直接合成有机功能化的介孔氧化硅。图 3 给出了共缩聚法制备功能化有序介孔二氧化硅的合成路线。

Mann 等^[30] 最早报道利用共聚法进行介孔材料改性。随后他们将这种方法推广到含有巯基、氨基、环氧烷基、咪唑基等硅烷偶连剂的介孔材料的制备中^[31]。同时 Stein 课题组^[32] 也通过一步共聚

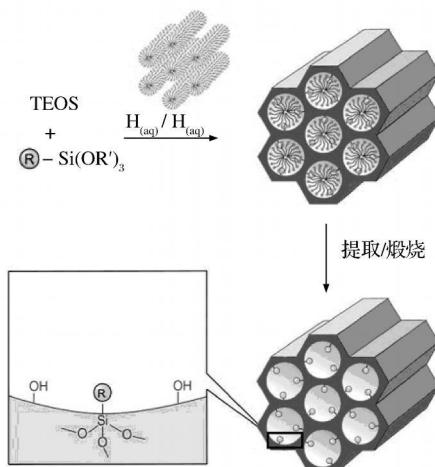


图 3 共缩聚法制备有机功能化的介孔氧化硅^[25]

Figure 3. Co-condensation method for the organic functionalization of mesoporous silica^[25].

合成了- CH_2CH_2 功能化的介孔材料。相比接枝法,使用共缩聚法制备功能化有序二氧化硅介孔材料的最大优点是功能基团可以相对均匀地分布于材料的孔道中,而且功能基团是通过 Si-C 键与孔壁联接的,相对于接枝法中通过 Si-O-Si-C 键与孔壁联接,其稳定性更高。但因为引入的功能基团有一部分是分散于介孔分子筛的孔壁中的,这在一定程度上影响了硅物种间的缩合,从而使介孔材料的结晶度和有序性有所降低。

3.3 骨架杂化

骨架杂化也有两种:骨架无机杂化与有机杂化。无机杂化,主要是将杂化无机前驱物与主体表面反应或是直接将杂化无机前驱物投入反应体系中一步得到^[33]。有机杂化主要是将硅烷基有机桥联剂投入到反应体系中使有机官能团直接长于介孔材料的孔壁上。

图 4 给出了骨架杂化的合成路线。在体系中直接加入带有功能基团的硅源,得到的功能化介孔氧化硅与上述接枝法和共缩聚法不同,其功能基团是在无机壁内并均匀分布于骨架中,不会阻塞孔道、占据孔容,并且柔韧性的功能基团可以提高材料的机械强度。但由于功能化的介孔材料本身孔壁要求具有刚性,所以功能基团的种类受到了限制。Ozin 小组^[34] 成功地将乙基引入到了有序介孔材料孔壁上。Inagaki 等^[35] 采用 $(C_2H_5O)_3Si(C_6H_5Si(OC_2H_5)_3$ 为有机硅源,合成了孔壁具有苯环有序排布的氧化硅杂化材料。

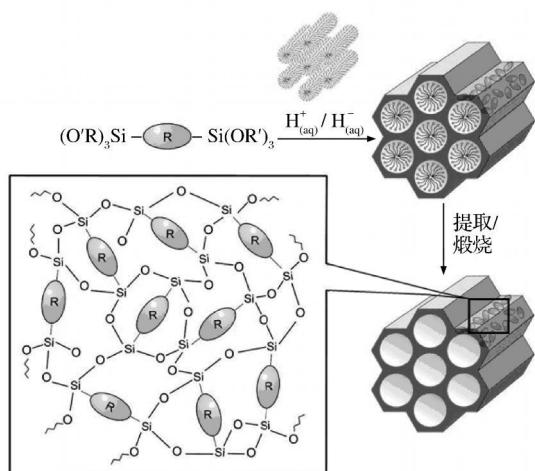
图 4 骨架杂化的合成路线^[25]

Figure 4. General synthetic pathway to the hybridized skeleton^[25].

4 功能化有序介孔二氧化硅材料在样品前处理中的应用

有序介孔二氧化硅材料具有高的比表面积,而且表面富含硅羟基,易于修饰。通过接枝、共缩聚或杂化上具有不同配位功能的官能团后,在金属离子、有机污染物以及生物大分子吸附分离领域具有潜在的应用价值。

4.1 接枝法功能化的有序介孔二氧化硅材料

4.1.1 分离富集金属离子

吸附法是去除污染水体中污染物的有效方法之一,其去除污染水体中的重金属离子的效果主要取决于吸附剂的性能^[36]。功能化有序介孔二氧化硅材料被认为是脱除溶液中金属离子的良好吸附材料,Fryxell 最早报道了有序介孔二氧化硅材料孔道表面自组装巯基单分子层对 Hg^{2+} 的吸附作用,引起了研究者对有序介孔二氧化硅材料吸附性能的重视^[37]。表 2 列出了接枝法功能化有序介孔二氧化硅材料对溶液中不同金属离子的吸附。

选择合适的官能团和官能团的空间构型对于得到性能优异的介孔吸附剂至关重要。Perez-Quintanilla 等人^[44]用 5-巯基-1-甲基-1-H-四唑(5-mercaptop-1-methyl-1-H-tetrazol)功能化有序硅基介孔材料,并将其作为固相萃取剂萃取水中的 Pb^{2+} ,与火焰原子吸收光谱仪联用,在萃取 1000 mL 含有 2.41×10^{-4} mmol/L 的 Pb^{2+} 时(富集倍数 200),用 5 mL 的 1 mol/L HCl 进行洗涤,回收率为 100%。方法检测限为 3.52×10^{-3} mmol/L, 定量下限为 4.20×10^{-3} mmol/L, 三次试验的相对标准偏差为 $\leq 2\%$ 。Kim 等^[50]通过接枝法用 3-氨基丙基修饰介孔材料 MCM-41, 并用其作为固相萃取填充材料与

表 2 功能化的介孔二氧化硅对金属离子的吸附

Table 2 Functionalized mesoporous silica adsorbents for different metal ions

功能基团	被分离金属离子	检测器	参考文献
丁硫醇	Hg^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+	FAAS	[37]
N-β-(氨乙基)-γ-氨丙基三甲氧基硅烷	Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , $Cr_2O_7^{2-}$, $HAsO_4^{2-}$	ICP-AES	[38]
2-巯基嘧啶	Hg^{2+}	FAAS	[39]
苯基	Cu^{2+}	ICP-AES	[40]
三乙酸基	Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}	ICP-AES	[41]
1,4-二氨基丁烷	Fe^{3+}	ICP-AES	[42]
N-[3-(三乙氧基硅烷基)丙基]-4,5-双氢咪唑	Pt^{2+} , Pd^{2+}	ICP-AES	[43]
5-巯基-1-甲基四唑	Pb^{2+}	FAAS	[44]
1,4,8,11-四氮杂环十四烷	Eu^{3+} , Co^{2+} , Cu^{2+}	FAAS	[45]
二巯基噻二唑	Ag^+	FAAS	[46]
三甲氧基硅基	Cr^{3+}	ICP-MS	[47]
硫醇基	Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+}	ICP-AES	[48]
N-N-苯基对苯二胺	Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+}	ICP-AES	[49]

流动注射联用在线分离富集环境水中的金属离子 $Cr(VI)$, 发现用 3-氨基丙基功能化介孔材料 MCM-41 不受 $Cr(III)$ 的干扰, 能对 $Cr(VI)$ 进行选择性吸附 Zn^{2+} 。接着他们又以有序介孔材料为载体, 分别共价键合上 3-氨基丙基-三乙氧基硅烷(APS)、3-巯基丙基-三甲氧基硅烷(MPS)和 N,N-二乙基-3-

氨基丙基三甲氧基硅烷(NN), 作为固相萃取填充材料与原子吸收光谱在线联用, 应用于水中的 $Cu(II)$ 、 $Ag(I)$ 和 $Au(III)$ 等重金属离子的痕量分析^[51], $Cu(II)$ 、 $Ag(I)$ 和 $Au(III)$ 的检测限分别为: 0.14、0.02 和 0.025 $\mu g/L$ 。Damian 等^[52]用 5-巯基-1-甲基-1-H 型四唑功能化修饰介孔二氧化硅, 并用这一新型 MTTZ

HMS 介孔材料作为固相萃取剂与火焰原子吸收光谱联用测定自来水中的 Pb(II), 回收率达到 100%, 检测限与定量限分别为 3.52×10^{-3} 和 4.20×10^{-3} mM, RSD $\leq 2\%$ 。实验发现与其他螯合吸附剂相比, MTTZ-HMS 介孔材料能更好的选择性吸附自来水中的 Pb(II)。Mohammad 等^[53] 用噻吩-2-甲醛功能化修饰的介孔材料 MCM-41 作为一种新的固相萃取材料对水样中的 Pd(II) 进行分离富集, 与等离子体发射光谱联用测定洗脱后的 Pd(II) 离子浓度, 检测限可达 0.2 ng / mL, RSD = 3.2% ($n = 10$)。李俊宁^[54] 通过均相接枝的方法在球型介孔二氧化硅表面接枝吡唑基团, 制备了对贵重金属离子具有吸附能力的介孔材料 pyrazole-SMS。实验发现, 未经吡唑基团修饰的 SMS 对 AuCl_4^- 、 PdCl_4^{2-} 和 PtCl_6^{2-} 的吸附容量均很小, 几乎没有明显的吸附, 而在孔壁上接吡唑后, 吸附容量明显增大。

4.1.2 分离富集有机污染物

有机污染物的吸附主要利用了有序介孔二氧化硅具有介孔孔径均匀可调和孔体积大的特点, 使有机污染物在介孔材料上有较大的吸附量。通过在有序介孔二氧化硅吸附剂表面上嫁接一些烷烃使其表面的憎水性增强, 从而更有利于有机物的分配。

最初, Zhao 等^[55] 就已经对 -CH₃ 修饰的有序介孔二氧化硅材料吸附性质进行了系统的研究, 他们发现改性后的介孔材料具有很强的疏水性, 对非极性有机物表现出良好的吸附能力, 因此, 用硅烷化试剂对有序二氧化硅介孔材料表面进行修饰, 可用于除去废水及高湿度气体中的挥发性有机物。Lim 等^[56] 的研究也表明, 通过接枝法用乙烯基修饰有序介孔二氧化硅材料的表面, 用紫外-可见分光光度计检测, 发现该材料对有机非极性物质的吸附性很强。Bibby 和 Mercier^[57] 用环式糊精改性介孔硅材料(CD-HMS) 吸附分离水中芳香化合物(对硝基苯酚, 对硝基苯胺, 邻硝基苯酚, 对氯苯酚和苯酚), 实验结果表明, CD-HMS 可以有效地选择性吸附水中有害物, 并且在苛刻的条件下作为环境友好材料应用于工业废水处理中。

4.1.3 分离富集生物大分子

有序介孔材料的孔径可在 2~50 nm 范围内连续调节, 并具有无生理毒性等特点, 非常适用于分离富集蛋白质、酶等生物大分子。依据尺寸筛分原理, 介孔材料可用于分离不同分子量的生物分子^[58-60], 经过功能化的有序介孔二氧化硅材料不仅能和蛋白质等生物大分子在材料表面发生作用, 还能实现对

生物分子的选择性分离富集^[61-62]。表 3 列出了曾被文献报道过的吸附在功能化有序二氧化硅介孔材料上的蛋白质分子。

表 3 功能化有序介孔二氧化硅对蛋白质分子的吸附

Table 3 Functionalized ordered mesoporous silica adsorbents for different protein molecules

被分离蛋白质	功能化有序二氧化硅介孔材料	参考文献
伴白蛋白	硫醇-SBA-15	[63]
伴白蛋白	氨基三乙氧基硅烷-MCF	[64]
细胞色素 c	铝-TMS-1、铝-TMS-4	[65-66]
细胞色素 c	硫醇-SBA-15	[63]
细胞色素 c	铝-MCM-41、铝-SBA-15	[67]
β-乳球蛋白	硫醇-SBA-15	[63]
溶菌酶	硫醇-SBA-15	[68]
溶菌酶	铝-MCM-41、铝-SBA-15	[69]
肌红蛋白	硫醇-SBA-15	[63]
卵白蛋白	硫醇-SBA-15	[63]
胰蛋白酶	硫醇-SBA-15	[63]
牛血清白蛋白	硫醇-SBA-15	[63]
牛血清白蛋白	铝-MCM-41	[70]

Qi 等^[71] 用烷基二醇和乙烯基对有序介孔二氧化硅的外表面与内表面同时进行修饰, 得到功能化的有序二氧化硅介孔材料, 分别吸附高分子量模型蛋白(细胞色素 c, 核糖核酸酶 A, 溶菌酶, 肌红蛋白, 卵清蛋白和牛血清白蛋白), 和低分子量模型蛋白(胰岛素), 利用紫外-可见分光光度计测定吸附前后蛋白质浓度变化。结果显示, 外表面与内表面有有机官能团修饰后的有序介孔二氧化硅对低分子量的胰岛素的吸附量是其他高分子量蛋白的 3 倍。表面修饰上烷基二醇后有效降低高分子量蛋白的非特异性吸附, 而乙烯基对介孔 SiO₂ 的内表面的修饰则减弱了对低分子量蛋白的不可逆吸附。Zhao 等^[72] 将经过 C18 修饰后 SBA-15 介孔材料用作色谱填充材料, 与高效液相色谱联用分离生物分子, 包括生物小分子、肽段混合物和标准蛋白质混合物。与商业 C18 色谱柱相比, 生物分子在 C18-SBA-15 保留时间长, 能达到基线分离, 并且峰型对称。是由于除了表面孔以外, 内部还有几乎完全相同的孔道结构, 从而减少扩散带来的影响, 使色谱峰的展宽和拖尾现象得到改善。

4.2 共缩聚法修饰的有序介孔二氧化硅材料

4.2.1 分离富集重金属离子

Mercier、Pinnavaia 等研究小组^[73-74] 相继报道了通过共聚的方法将 -SH 引入 MCM-41、SBA-15、MSU、HMS 上, 通过火焰原子吸收光谱测定后发

现,用-SH修饰后的有序介孔二氧化硅材料能从含有Hg²⁺、Pb²⁺、Ag⁺、Cd²⁺、Cu²⁺等金属离子的污水中选择性吸附Hg²⁺,并且吸附能力随引入-SH的浓度增加而提高。马国正等^[75]以十六烷基三甲基溴化铵为模板剂,通过共缩聚法合成了A1-M CM-41介孔材料,研究表明,A1-M CM-41作为吸附剂,Cd²⁺能定量吸附在A1-M CM-41上,采用原子吸收光谱测定Cd²⁺溶液平衡质量浓度,最大吸附量可达136.86 mg/g。Lam^[76]用氨基修饰的MCM-41作为固相萃取剂,与等离子体发射光谱联用,研究后发现,在含有Ni²⁺和Cd²⁺的体系中,通过加入适当浓度乙二胺四乙酸(EDTA),在不同pH值条件下,EDTA对Ni²⁺和Cd²⁺具有不同的结合能力,从而实现了NH₂-M CM-41对Ni²⁺和Cd²⁺100%选择性吸附。他们还发现通过调节pH值就可以使NH₂-M CM-41仅选择性吸附带负电荷的Cr₂O₇²⁻,而对体系中的其他金属阳离子则不发生吸附作用。Koon等^[77]在MCM-41孔内壁键合3氨基丙基三乙氧基硅烷和丙酸,得到功能化的介孔材料NH₂-M CM-41和COONa-M CM-41作为固相萃取剂分离富集水样中的Cr₂O₇²⁻和Cu²⁺,与等离子体发射光谱联用,检测固相萃取剂吸附后水溶液中所含金属离子浓度,实验发现当pH<3.5时,NH₂-M CM-41能100%选择性吸附Cr₂O₇²⁻,而COONa-M CM-41则能100%选择性吸附Cu²⁺,并能将Cu²⁺从含有Cr₂O₇²⁻水样中分离出。Nooney等人^[78]用共缩聚法制备3巯丙基三甲氧基硅烷功能化有序二氧化硅介孔材料(HMS),用来富集水中的汞离子和银离子,实验发现该材料对汞离子的吸附量随着嫁接量的不同而不同,最大吸附量为0.24~1.26 mmol/g。对银离子的吸附没有汞离子吸附强,最大吸附量为0.89 mmol/g。并且该吸附剂对汞离子的吸附选择系数为1.39~2.24。

4.2.2 分离富集生物大分子

Chen等^[78]通过共缩聚法成功的合成了一系列孔径在20~40 nm的功能化有序介孔二氧化硅材料,采用凝胶技术结合一种新颖的微流控装置来控制孔径的尺寸在大孔与介孔之间。并利用Brij 56和Brij 97作为模板合成了一系列新颖的介孔二氧化硅材料,分别得到以下3种介孔材料:B56-E-20,B56-D-33和B97-D-40,孔径分别为20、30和40 nm,壁厚度在15~20 nm范围,与凝胶电泳技术联用,以大肠杆菌为对象考察这一系列新颖的介孔材料对蛋白质选择性吸附的能力,实验发现,B56-E-20,

B56-D-33和B97-D-40能分别选择性吸附分子量为50~55,60~65和70~100 KDa的蛋白质。诸如此类的介孔材料,因其具有可调节的孔洞,根据尺寸-排斥机理可以有效地选择性吸附不同分子量的蛋白质与多肽等生物大分子。

近几年来以SiO₂为基体的磁性介孔材料越来越受到人们的关注^[80],Zhang等^[81],利用Fe₃O₄通过共聚法合成了一种具有磁性的M CM-41材料,并成功地用它从牛血清白蛋白中分离了细胞色素c,通过进行吸附和脱附细胞色素c和牛血清白蛋白(BSA)试验,证明由于小颗粒尺寸、高比表面积和较窄的孔径分布,使得磁性的M CM-41材料具有高选择性吸附容量和快速吸附能力,与紫外-可见分光光度计联用检测吸附前后的溶液中蛋白质浓度。Chen^[82]等也利用γ-Fe₂O₃对SiO₂介孔材料修饰后得到磁性介孔二氧化硅,作为固相吸附剂与凝胶电泳联用快速吸附分离DNA。Lin等^[83]应用选择性沉积技术将具有超磁性的纳米化合物67% Fe₂O₃和33% γ-Fe₂O₃包埋在SBA-15介孔材料的孔洞里,这种具有双功能表面特性的Fe₂O₃@SBA-15介孔材料增强了对于细胞色素c的吸附能力。

4.3 骨架杂化法修饰的有序介孔二氧化硅材料

4.3.1 分离富集重金属离子

目前,对骨架杂化法修饰介孔材料的研究工作主要集中在材料的合成,应用研究不多,只有几篇相关报道。其中Markowitz等^[84]合成孔道中含乙二胺的乙烷桥键的杂化介孔材料,通过紫外-可见分光光度计检测,该材料对Cu²⁺有良好吸附性能。同时,他们报道^[85]的骨架中含有苯基及乙烷两种有机基团的杂化介孔材料,在对酚类物质吸附时表现出比骨架中只含有一种有机基团的杂化材料更大的吸附量。杨启华研究小组使用不同的模板剂(Brij 76、P123),在酸性条件下合成巯基功能化的有序二氧化硅介孔材料Brij-SH n和P123-SH n^[86]。与电感耦合等离子体光谱联用,分析废水中重金属离子,发现该材料对Hg²⁺有良好的选择吸附能力,Brij-SH n和P123-SH n对Hg²⁺吸附容量分别为352和152 mg/g。

4.3.2 分离富集有机污染物

Burleigh等^[87]通过骨架杂化法合成了二乙基苯和乙烯基桥联的功能化有序二氧化硅介孔材料,并且考察了它们对酚类化合物的吸附性,发现它们能从污水中快速有效地吸附酚类物质;同时,芳环桥联的功能化有序二氧化硅介孔材料的吸附性远远大于乙烯基桥联的功能化有序二氧化硅介孔材料,原

因可能是芳环和酚类化合物间有 $\pi\pi$ 共轭作用, 使它们之间能很好地结合在一起。利用它的吸附性, 可以作为色谱填料广泛应用于色谱领域中。

Rebbin 等合成了球形苯环桥键有序介孔二氧化硅材料, 将其填充于微型柱中, 并应用于液相色谱^[88]。与商品化的正相填料 Nu2cleosil50-10 相比, 这种球形苯环杂化的有序二氧化硅介孔材料作为色谱填料可以将极性范围很宽的三类化合物很好地分开。结合材料表面的硅羟基和骨架中的苯环基团, 这种材料同时具备正相色谱填料和反相色谱填料的性质。杨启华研究小组^[89]采用骨架杂化制备孔道中含苯基的有序二氧化硅介孔材料, 将合成材料作为液相色谱填料, 与高效液相色谱联用, 得到的色谱分离性能评价表明, 该材料能很好地对多环芳香化合物进行分离。该小组还将手性环己二胺成功地引入到介孔材料的骨架中, 共缩聚形成了球形双功能有序二氧化硅介孔材料。将该材料用作液相色谱填料, 与高效液相色谱联用, 可以快速高效地分离(R, S)-1, 1-e 联萘酚。材料表现出的高载样量表明其有可能在制备色谱领域得到广泛应用^[90]。

5 结语

有序介孔二氧化硅材料在分离富集领域的应用受到了广泛关注, 最近几年, 在控制污染与生物分子富集分离方面的应用取得了重大进展。迄今为止, 通过接枝法、共缩聚法和骨架杂化等方法对有序介孔二氧化硅材料进行功能化修饰是改善其吸附性能的一个基本的策略。但是, 一些常见的缺点仍然存在。通过接枝法的功能化有序二氧化硅介孔材料会伴随着介孔材料的孔隙度减少、功能基团分布不均, 从而会造成孔堵塞、损失吸附容量。虽然共缩聚可以使官能团均匀分布, 但是有些官能团无法接触到, 从而介孔材料的有序性会有所降低。因此, 在不降低孔隙率的基础上, 功能化上高密度、均匀分布可接触的官能团, 促进分子扩散, 加快吸附动力是未来发展的重点方向。另一方面, 制备高选择性与分子识别性的功能化有序介孔二氧化硅材料, 将是未来研究的一个热点。

参考文献

- [1] Kresge C T, Leonowicz M E, Roth W J. Ordered mesoporous molecular sieves synthesized by a liquid-crystal template mechanism [J]. *Nature*, 1992(359): 710-712.
- [2] 陈逢喜, 黄茜丹, 李全芝. 中孔分子筛研究进展 [J]. *科学通报*, 1999, 44 (18): 1905-1920.
- [3] He X, Antonelli D. Recent advances in synthesis and applications of transition metal containing mesoporous molecular sieves [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2002(41): 214-229.
- [4] Beck J S, Vartuli J C, Roth W J, et al. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1992, 114 (27): 10834-10843.
- [5] Han G H, Ye M L, Zou H F. Development of phosphopeptide enrichment techniques for phosphoproteome analysis [J]. *Analyst*, 2008(133): 1128-1138.
- [6] Nelson C A, Szczech J R, Dooley C J, et al. Effective Enrichment and Mass Spectrometry Analysis of Phosphopeptides Using Mesoporous Metal Oxide Nanomaterials [J]. *Anal. Chem.*, 2010(82): 7193-7201.
- [7] Brown J, Mercier L, Pinnavaia T. Selective adsorption of Hg^{2+} by thiol-functionalized nanoporous silica [J]. *J. Chem. Commun.*, 1999: 69-70.
- [8] Stein A. Advance in Microporous and Mesoporous Solids-Highlights of Recent Progress [J]. *Adv. Mater.*, 2003 (15): 763-775.
- [9] Beck J S, Vartuli J C. Recent advances in the synthesis, characterization and applications of mesoporous molecular sieves [J]. *Solid catalysts and porous solids*, 1996(1): 76-87.
- [10] Kresge C T, Leonowicz M E, Roth W J, et al. Order Mesoporous Molecular Sieves Synthesized by a liquid-crystal template mechanism [J]. *Nature*, 1992(359): 710-712.
- [11] Huo Q S, Margolese D I, Ciesla U. Surfactant Control of Phases in the Synthesis of Mesoporous Silica-Based Materials [J]. *Chem. Mater.*, 1996(8): 1147-1160.
- [12] Huo Q S, Leon R, Petroff P M, et al. Mesostructure Design with Gemini Surfactants: Supercage Formation in a Three-Dimensional Hexagonal Array [J]. *Science*, 1995 (268): 1324-1327.
- [13] Vinu A, Murugesan V, Tangermann O. Adsorption of Cytochrome c on Mesoporous Molecular Sieves: Influence of pH, Pore Diameter, and Aluminum Incorporation [J]. *Chem Mater.*, 2004(16): 3056-3065.
- [14] Anagisawa T Y, Shimizu T, Kuroda K, et al. The preparation of Alkyltrimethylammonium-Kanemite Complexes and Their Conversion to Microporous Materials [J]. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1990(63): 988-992.
- [15] Inagaki S, Fukushima Y, Kuroda K. Novel Mesoporous Materials with a Uniform Distribution of Organic Groups and Inorganic Oxide in Their Frameworks [J].

- J. Am. Chem. Soc., 1999(121) : 9611-9614.
- [16] Liu X Y, Tian B Z, Yu C Z. Room temperature synthesis in acidic media of large pore three-dimension bicontinuous mesoporous silica with Ia3d symmetry [J]. Angew. Chem. Int. Ed., 2002(41) : 3876-3878.
- [17] Fan J, Yu C Z, Gao F. Cubic mesoporous silica with large controllable entrance sizes and advanced adsorption properties [J]. Angew. Chem., 2003(115) : 3254-3258.
- [18] Bagshaw S A, Pinnavaia T J. Templating of mesoporous molecular sieves by nonionic polyethylene oxide surfactants [J]. Science, 1995(269) : 1242-1244.
- [19] Attard G S, Glyde J C, Goltner C G. Liquid-crystalline phases as templates for the synthesis of mesoporous silica [J]. Nature, 1995, 378: 366-368.
- [20] Li Y J, Lu G Z, Wang Y Q. Functionalization of Cubic Ia3d Mesoporous Silica for Immobilization of Penicillin G Acylase [J]. Adv. Funct. Mater., 2007, 17: 2160-2166.
- [21] Ohsuna T, Liu Z, Che S. Characterization of Chiral Mesoporous Materials by Transmission Electron Microscopy [J]. Small, 2005(1) : 233-237.
- [22] Yokoi T, Yoshitake H, Yamada T. Amino-functionalized mesoporous silica synthesized by a novel synthesis route using an anionic surfactant [J]. J. Mater. Chem., 2006, 16: 1125-1135.
- [23] Tanev P T, Chibwe M, Pinnavaia T J. Titanium-containing mesoporous molecular sieves for catalytic oxidation of aromatic compounds [J]. Nature, 1994, 368: 321-323.
- [24] Tanev P T, Chibwe M, Pinnavaia T J. A Neutral templating route to mesoporous molecular sieves [J]. Science, 1995, 267: 865-867.
- [25] Hoffmann F, Cornelius M, Morell J, et al. Silica-Based Mesoporous Organic-Inorganic Hybrid Materials [J]. Angew. Chem. Int. Ed., 2006, 45(20) : 3216-3251.
- [26] Stein A, Brian J M, Rick C S. Hybrid Inorganic-Organic Mesoporous Silicates-Nanoscopic Reactors Coming of Age^{**} [J]. Adv. Mater., 2000, 12: 1403-1419.
- [27] Sutra P, Brunel D. Preparation of MCM-41-type silica-bound manganese (III) Schiff-base complexes [J]. Chem. Commun., 1996, 2485.
- [28] Jaroniec C P, Kruk M, Jaroniec M. Tailoring Surface and Structural Properties of MCM-41 Silicas by Bonding Organosilanes [J]. J. Phys. Chem. B, 1998, 102: 5503-5510.
- [29] Yang H, Xua R, Xue X M, et al. Hybrid surfactant-templated mesoporous silica formed in ethanol and its application for heavy metal removal [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152(2) : 690-698.
- [30] Burkett S L, Sims S D, Mann S. Synthesis of hybrid inorganic-organic mesoporous silica by co-condensation of siloxane and organosiloxane precursors [J]. Chem. Commun., 1996: 1367-1368.
- [31] Fowler C E, Burkett S L, Mann S. Synthesis and characterization of ordered organo-silica-surfactant mesophases with functionalized MCM-41 type architecture [J]. Chem. Commun., 1997: 1769-1770.
- [32] Lim M H, Blanford C F, Stein A. Synthesis and Characterization of a Reactive Vinyl-Functionalized MCM-41: Probing the Internal Pore Structure by a Bromination Reaction [J]. J. Am. Chem. Soc., 1997, 119: 4090-4091.
- [33] Zhang Z T, Han Y, Wang R W, et al. Strongly acidic and high-temperature hydrothermally stable mesoporous aluminosilicates with ordered hexagonal structure [J]. Angew. Chem. Int. Ed., 2001, 40(7) : 1258-1262.
- [34] Asefa T, MacLachlan M J, Coombs N, et al. Periodic Mesoporous Organosilicas with Organic Groups Inside the Channel Walls [J]. Nature, 1999, 402: 867-871.
- [35] Inagaki S J, Guan S Y, Ohsuna T, et al. An ordered mesoporous organosilica hybrid material with a crystal-like wall structure [J]. Nature, 2002, 416: 304-307.
- [36] Xue X M, Li F T. Removal of Cu(II) from aqueous solution by adsorption onto functionalized SBA-16 mesoporous silica [J]. Microporous Meso. Mater., 2008, 116: 116-122.
- [37] Fryxell G E, Mattigod S V, Lin Y, et al. Design and Synthesis of Self-Assembled Monolayers on Mesoporous Supports (SAMMS): The Importance of Ligand Posture in Functional Nanomaterials [J]. J. Mater. Chem., 2007, 17: 2863-2874.
- [38] Aguado J, Arsuaga J M, Arencibia A M, et al. Aqueous heavy metals removal by adsorption on amine-functionalized mesoporous silica [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 163: 213-221.
- [39] Perez-Quintanilla D, Hierro I, Fajardo M, et al. Adsorption of Cadmium(II) from Aqueous Media onto a Mesoporous Silica Chemically Modified with 2-mercapto-pyrimidine [J]. J. Mater. Chem., 2006, 16: 1757-1764.
- [40] Lam K F, Yeung K L, McKay G. Selective Mesoporous Adsorbents for Cr₂O₇²⁻ and Cu²⁺ Separation [J]. Microporous Meso. Mater., 2007, 100: 191-201.
- [41] Jiang Y, Gao Q, Yu H, et al. Intensively Competitive Adsorption for Heavy Metal Ions by PAMAM-SBA-15 and EDTA-PAM AM-SBA-15 Inorganic-organic Hybrid

- Materials [J]. *Microporous Meso. Mater.*, 2007, 103: 316-324.
- [42] Benitez M, Das D, Ferreira R, et al. Urea-Containing Mesoporous Silica for the Adsorption of Fe(III) Cations [J]. *Chem. Mater.*, 2006, 18: 5597-5603.
- [43] Kang T, Park Y, Choi K, et al. Ordered Mesoporous Silica (SBA-15) Derivatized with Imidazole-Containing Functionalities as a Selective Adsorbent of Precious Metal Ions [J]. *J. Mater. Chem.*, 2004, 14: 1043-1049.
- [44] Prez-Quintanilla D, Sanchez A, Hierro I, et al. Solid phase extraction of Pb(II) in water samples using a new hybrid inorganic-organic mesoporous silica prior to its determination by FAAS [J]. *Microchimica Acta*, 2009, 165: 291-298.
- [45] Corriu R J P, Mehdi A, Reye C, et al. Preparation of Ordered SBA-15 Mesoporous Silica Containing Chelating Groups. Study of the Complexation of EuIII Inside the Pore Channels of the Materials [J]. *New J. Chem.*, 2004, 28: 156-160.
- [46] Olkhovik O, Jaroniec M. Adsorption Characterization of Ordered Mesoporous Silicas with Mercury-Specific Immobilized Ligands [J]. *Adsorption*, 2005 (11): 685-690.
- [47] Nam K H, Taylarides L L. Synthesis of a High-Density Phosphonic Acid Functional Mesoporous Adsorbent: Application to Chromium(III) Removal [J]. *Chem. Mater.*, 2005, 17: 1597-1604.
- [48] Prado A G S, Arakaki L N H, Aioldi C. Adsorption and Separation of Cations on Silica Gel Chemically Modified by Homogeneous and Heterogeneous Routes with the Ethylenimine Anchored on Thiol Modified Silica Gel [J]. *Green Chem.*, 2002, 4(1): 42-46.
- [49] Sayari A, Hamoudi S, Yang Y. Applications of Pore Expanded Mesoporous Silica. 1. Removal of Organic Pollutants from Wastewater [J]. *Chem. Mater.*, 2005, 17: 212-216.
- [50] Kim M L, Stripeikis J, Tudino M B. Hybrid mesoporous materials for on-line preconcentration of Cr(VI) followed by one-step scheme for elution and colorimetric determination at ultratrace levels [J]. *Talanta*, 2009, 77 (3): 1068-1074.
- [51] Kim M L, Tudino M B. Evaluation of performance of three different hybrid mesoporous solids based on silica for preconcentration purposes in analytical chemistry: From the study of sorption features to the determination of elements of group IB [J]. *Talanta*, 2010, 82 (3): 923-930.
- [52] Damian P Q, Alfredo S N, Isabel D H, et al. Functionalized HMS mesoporous silica as solid phase extractant for Pb(II) prior to its determination by flame atomic absorption spectrometry [J]. *J. Sep. Sci.*, 2007, 30 (10): 1556-1567.
- [53] Mohammad R J, Yaghoub A, Farzaneh S, et al. Application of thiophene-2-carbaldehyde-modified mesoporous silica as a new sorbent for separation and preconcentration of palladium prior to inductively coupled plasma atomic emission spectrometric determination [J]. *Talanta*, 2007, 71 (4): 1524-1529.
- [54] 李俊宁. 有机-无机杂化介孔硅基吸附材料的合成及应用研究[D]. 大连理工大学博士学位论文, 2008: 71-74.
- [55] 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: 155-156.
- [56] Lim M H, Blanford C F, Stein A. Synthesis and Characterization of a Reactive Vinyl-Functionalized MCM-41: Probing the Internal Pore Structure by a Bromination Reaction [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1997, 119: 4090-4091.
- [57] Bibby A, Mercier L. Adsorption and Separation of Water-Soluble Aromatic by Cyclodextrin-Functionalized Mesoporous Silica [J]. *Green Chem.*, 2003, 5 (1): 15-19.
- [58] Amit K, Neville G P. Visualization of Size-Selective Protein Separations on Spherical Mesoporous Silicates [J]. *small*, 2006, 2 (5): 644-648.
- [59] Yang C Z, Huang M H. Formation of arrays of gallium nitride nanorods within mesoporous silica SBA-15 [J]. *J. Phys. Chem. B*, 2005, 109 (38): 17842-17847.
- [60] Wang A M, Zhou C, Wang H, et al. Covalent assembly of penicillin acylase in mesoporous silica based on macromolecular crowding theory [J]. *Chin. J. Chem. Eng.*, 2007, 15 (6): 788-790.
- [61] Zhou L H, Hu J, Xie S, et al. Dispersion of active Au nanoparticles on mesoporous SBA-15 materials [J]. *Chin. J. Chem. Eng.*, 2007, 15 (4): 507-511.
- [62] Zhu Z Q, Bian W. Characterization of tungsten-based catalyst used for selective oxidation of cyclopentene to glutaraldehyde [J]. *Chin. J. Chem. Eng.*, 2008, 16 (6): 895-900.
- [63] Humphrey H H P, Botting C H, Botting N P, et al. Size-selective protein adsorption on thiol-functionalised SBA-15 mesoporous molecular sieve [J]. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2001, 3 (15): 2983-2985.
- [64] Han Y J, Stucky G. D, Butler A. Mesoporous Silicate Sequestration and Release of Proteins [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1999, 121: 9897-9898.
- [65] Gimón-Kinsel M E, Jiménez V L, Washmon L, et al.

- Mesoporous molecular sieve immobilized enzymes [J]. Stud. Surf. Sci. Catal., 1998, 117: 373-379.
- [66] Lisa W K, Jimenez V L, Balkus K J. Cytochrome c immobilization into mesoporous molecular sieves [J]. J. Mol. Catal. B: Enzymatic, 2000, 10: 453-469.
- [67] Vinu A, Murugesan V, Tangermann O, et al. Adsorption of Cytochrome c on Mesoporous Molecular Sieves: Influence of pH, Pore Diameter, and Aluminum Incorporation [J]. Chem. Mater., 2004, 16: 3056-3065.
- [68] Fan J, Lei J, Wang L, et al. Rapid and high-capacity immobilization of enzymes based on mesoporous silicas with controlled morphologies [J]. Chem. Commun., 2003, 17: 2140-2141.
- [69] Vinu A, Murugesan V, Hartmann M. Adsorption of Lysozyme over Mesoporous Molecular Sieves MCM-41 and SBA-15: Influence of pH and Aluminum Incorporation [J]. J. Phys. Chem. B, 2004, 108: 7323-7330.
- [70] Ji L, Katiyar A, Pinto N G, et al. A4MCM-41 sorbents for bovine serum albumin: relation between Al content and performance [J]. Microporous. Meso. Mater., 2004, 75(3): 224-229.
- [71] Qi Y X, Wu D P, Wei J Y, et al. Selective extraction of low molecular weight proteins by mesoporous silica particles with modified internal and external surfaces [J]. Anal. Bioanal. Chem., 2010, 398(4): 1715-1722.
- [72] Zhao J W, Gao F, Fu Y L, et al. Biomolecule separation using large pore mesoporous SBA-15 as a substrate in high performance liquid chromatography [J]. Chem. Commun., 2002: 752-753.
- [73] Brown J, Mercier L, Pinnavaia T J. Selective adsorption of Hg²⁺ by thiol-functionalized nanoporous silica [J]. Chem. Commun., 1999: 69-70.
- [74] Mercier L, Pinnavaia T J. Heavy metal ion adsorbents formed by the grafting of thiol functionality to mesoporous silica molecular sieves: factors affecting Hg²⁺ uptake [J]. Environmental Science and Technology, 1998, 32: 2749-2754.
- [75] 马国正, 刘聪, 南俊民. Al-MCM-41 介孔分子筛对镉离子吸附性能的研究 [J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2008, 3: 77-81.
- [76] Lam K F, Yeung K L, McKay G. Efficient Approach for Cd²⁺ and Ni²⁺ Removal and Recovery using Mesoporous Adsorbent with Tunable Selectivity [J]. Environ. Sci. Technol., 2007, 41: 3329-3334.
- [77] Fung K, King K, Yeung L, et al. Gordon McKay. Selective mesoporous adsorbents for Cr₂O₇²⁻ and Cu²⁺ separation [J]. Microporous. Meso. Mater., 2007, 100: 191-201.
- [78] Nooney R I, Kalyanaraman M, Kennedy G, et al. Heavy Metal Remediation Using Functionalized Mesoporous Silicas with Controlled Macrostructure. [J]. Langmuir, 2001, 17(2): 528-533.
- [79] Chen L H, Zhu G S, Zhang D L, et al. Novel mesoporous silica spheres with ultra-large pore sizes and their application in protein separation [J]. J. Mater. Chem., 2009, 19(14): 2013-2017.
- [80] Kim J, Lee J, Na H B, et al. A Magnetically Separable, Highly Stable Enzyme System Based on Nanocomposites of Enzymes and Magnetic Nanoparticles Shipped in Hierarchically Ordered, Mesocellular, Mesoporous Silica [J]. Small, 2005, 1(12): 1203-1207.
- [81] Zhang L, Qiao S Z, Jin Y G, et al. Fabrication and Size-selective Bioseparation of Magnetic Silica Nanospheres with Highly Ordered Periodic Mesostructure [J]. Adv. Funct. Mater., 2008, 18(20): 3203-3212.
- [82] Chen F, Shi R B, Xue Y, et al. Templated synthesis of monodisperse mesoporous maghemite/silica microspheres for magnetic separation of genomic DNA [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2010, 322(16): 2439-2445.
- [83] Lin H A, Liu C H, Huang W C, et al. Novel Magnetically Separable Mesoporous Fe₂O₃@SBA-15 Nanocomposite with Fully Open Mesochannels for Protein Immobilization [J]. Chem. Mater., 2008, 20: 6617-6622.
- [84] Burleigh M C, Markowitz M A, Spector M S, et al. Porous Organosilicas: An Acid-Catalyzed Approach [J]. Langmuir, 2001, 17: 7923-7928.
- [85] Burleigh M C, Jayasundera S, Spector M S, et al. A New Family of Copolymers: Multi-functional Periodic Mesoporous Organosilicas [J]. Chem. Mater., 2004, 16(1): 3-5.
- [86] Yang Q H, Liu J, Yang J, et al. Acid catalyzed synthesis of ordered bifunctionalized mesoporous organosilicas with large pores [J]. Microporous. Meso. Mater., 2005, 77(2): 257-264.
- [87] Burleigh M C, Markowitz M A, Spector M S, et al. Porous Polysilsesquioxanes for the Adsorption of Phenols [J]. Environ. Sci. Technol., 2002, 36: 2515-2518.
- [88] Rebbin V, Schmidt R, Froba M. Spherical Particles of Phenylene-Bridged Periodic Mesoporous Organosilica for High-Performance Liquid Chromatography [J]. Angew. Chem. Int. Ed., 2006, 45(31): 5210-5214.
- [89] Zhu G R, Yang Q H, Jiang D M, et al. Synthesis of bi-functionalized mesoporous organosilica spheres for high performance liquid chromatography [J]. J. Chromatogr. A, 2006, 1103(2): 257-264.
- [90] Zhu G R, Zhong H, Yang Q H, et al. Chiral mesoporous

organosilica spheres: Synthesis and chiral separation capacity[J]. *Microporous. Meso. Mater.*, 2008, 116(1): 36-43.

“2011 中国科学仪器发展年会”隆重召开

2011 年 4 月 26 日, 中国科学仪器行业目前较高级别的峰会——“2011 中国科学仪器发展年会(ACCSI 2011)”在北京京仪大酒店隆重召开。该会议由中国仪器仪表行业协会、中国仪器仪表学会分析仪器分会、仪器信息网(www.instrument.com.cn)联合主办, 中国分析测试协会协办。600 余位嘉宾出席了本届年会, 40 余家国内外权威媒体参与报道。

会议由仪器信息网网展事业部赵鑫经理主持, 中国仪器仪表行业协会专职副理事长李跃光先生代表主办方致开幕词。

石油化工科学研究院陆婉珍院士代表参会嘉宾致辞。陆婉珍院士对于中国科学仪器的发展提出了自己的两点建议: “一、现在已有的仪器企业, 不要太快转移市场研发的方向, 这是累积实力非常重要的办法; 二、希望由科学仪器相关学会、协会来牵头建立一、两个关于科学仪器制造人才的培训单位, 从而促进我国科学仪器的发展。”

大会特邀报告

为了使参会嘉宾更加详细了解中国科学仪器行业的最新政策与最前沿的市场信息, 年会主办方特别邀请了工业和信息化部装备司韩行调研员作了“‘十二五’仪器仪表行业发展展望”的大会报告; 中国仪器仪表行业协会闫增序秘书长作了“2010 年科学测试仪器行业发展状况分析”的大会报告; 中国人民解放军卫生监测中心高志贤研究员作了“饮食安全快速检测技术与装备”的大会报告; 华测检测技术股份有限公司华测研究院朱平院长作了“科学仪器在第三方检测机构应用的现状及展望”的大会报告。

企业高峰论坛

本届年会特别邀请了珀金埃尔默、上海精科、北京纳克、普析通用、岛津 5 家科学仪器行业领袖企业负责人, 以现场直接对话的形式展开高峰论坛, 探讨科学仪器行业发展趋势, 展望“十二五”中国科学仪器行业的机遇与前景。

科学仪器产业化论坛

为了更好地促进“产、学、研、用、资”有效结合, 年会特别举办了“科学仪器产业化论坛”, 邀请了 6 位国内知名仪器研发专家和仪器生产企业代表, 讨论科学仪器产业化过程中存在的问题, 分享成功的经验。

2010 年度中国科学仪器及分析测试行业十大新闻

为了帮助广大业内人士重新梳理、回顾 2010 年度中国科学仪器与分析测试行业所发生的重大事件, “2011 中国科学仪器发展年会”对 2010 年中国科学仪器行业所发生的大新闻事件进行全面的盘点, 由中国分析测试协会副理事长王顺昌先生揭晓了“2010 年度中国科学仪器及分析测试行业十大新闻”。

各奖项评审结果揭晓

为了使广大用户及时、全面地了解每年最新上市仪器, 把握仪器技术最新发展趋势, “中国科学仪器发展年会”新品评审组从 2010 年申报的仪器新品中评选出年度“科学仪器优秀新产品”; 为了倡导广大仪器厂商设计、生产出符合用户需求的低碳环保产品, 本届年会举办了“年度绿色仪器”评选活动; 为了保障用户的切身利益, 促进更多厂商提升售后服务水平, 年会主办方设立了“最佳售后服务奖”, 对“最佳售后服务厂商”进行了评选。年会主办方对上述奖项举行了隆重的颁奖活动。此外, “2010 年度最具影响力厂商”、“2010 年度最佳网络营销奖”等重要奖项也在年会现场揭晓, 并对获奖厂商进行了颁奖。