

多级孔 Fe/ZSM-5 的制备及其 亚甲基蓝降解性能研究

胡一博,倪婉萍,刘民,郭新闻*

(大连理工大学精细化工国家重点实验室,辽宁大连116024)

摘要:通过常规方法合成微孔 ZSM-5 并对其进行 NaOH 处理, KF 体系下采用三甲氧基[3-(苯氨基)丙基]硅烷 (PHAPTMS) 为介孔模板剂分别制备 4 种具有不同孔道结构的 ZSM-5。通过 X 射线衍射、透射电子显微镜、氩气物理吸附等表征手段证明所合成的 4 种 ZSM-5 均具有 MFI 拓扑结构且结晶良好, 而加入 PHAPTMS 得到的样品的介孔体积最大。利用等体积浸渍硝酸铁溶液的方法将铁引入 ZSM-5 中, 焙烧后得到 4 种 Fe/ZSM-5。实验结果表明, 介孔的引入显著地提高了催化剂在亚甲基蓝降解反应中的活性, 其活性源于 ZSM-5 的酸性和铁的相互作用。

关键词: ZSM-5; 多级孔; 亚甲基蓝降解; 铁; 芬顿反应

中图分类号: TQ204.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2021)01-0195-06

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2021.01.039

Preparation of hierarchical Fe/ZSM-5 and study on its performance for methylene blue degradation

HU Yi-bo, NI Wan-ping, LIU Min, GUO Xin-wen*

(State Key Laboratory of Fine Chemicals, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Micropore ZSM-5 molecular sieves are synthesized by means of traditional synthesis method, and is treated by NaOH. Four kinds of ZSM-5 samples with different pore structure are synthesized by using trimethoxy[3-(phenylamino)propyl] silane (PHAPTMS) as the mesoporous template in a KF system. Characterizations such as X-ray diffraction (XRD), transmission electron microscopy (TEM) and Argon adsorption-desorption indicate that the synthesized ZSM-5 samples are well crystallized and present typical MFI topology. ZSM-5-PHP sample added with PHAPTMS contains lots of hierarchical pores. Through impregnation of ferric nitrate solution, Fe is induced into ZSM-5 and Fe/ZSM-5 is finally got after calcination. Experimental results indicate mesopores can promote the catalytic activity of the catalyst in catalyzing degradation of methylene, and the activity comes from the combination between Fe and the acid of ZSM-5.

Key words: ZSM-5; hierarchical pores; degradation of methylene blue; iron; Fenton reaction

过氧化氢(H_2O_2)与 Fe^{2+} 的混合溶液具有很强的氧化性,可以将很多有机化合物氧化为无机化合物^[1]。 H_2O_2 与 Fe^{2+} 组成的芬顿试剂在酸性溶液中能够高效降解废水中的有机污染物^[2]。传统芬顿反应受到体系酸碱度限制,在 pH 为 2.5~3.5 时才能顺利进行。当 pH>4 时, Fe^{3+} 就会开始沉淀析出,从而产生大量 $Fe(OH)_3$ 沉淀,俗称铁泥^[2-3]。实际工业废水须通过额外的酸化才能进行芬顿处理,导致成本增大。而类芬顿技术可以扩大反应适宜的 pH 范围,避免芬顿试剂产生沉淀,能保持有效的氧化性能,还可以实现循环利用,进一步降低二次污染^[4]。目前被广泛研究的类芬顿法有异相芬顿法、光-异相芬顿法等^[5-9]。

沸石具有良好的稳定性、酸性及孔道结构多样性,在催化领域得到广泛应用^[10]。ZSM-5 不仅能

作为固体酸催化剂,还能作为一种优良载体^[11-12]。通过浸渍法等将具有其他催化功能的金属组分负载在催化剂载体上,可以得到多功能沸石-金属催化剂^[13-14]。在过去的几年中,含有铁的 MFI 沸石 (FeZSM-5) 逐渐被用来作为固体芬顿反应催化剂所使用^[15-16]。加百勒等^[10]利用含有 Fe^{3+} 的 ZSM-5 作为芬顿反应催化剂来降解水中乙酸和丙酸,实验证明 Fe/ZSM-5 相比均相的 Fe^{3+} 具有更高的催化活性。通过对 Fe/ZSM-5 铁流失情况和循环使用性能的测定发现,在反应中所流失的铁不是具有高活性的铁,并且催化剂的循环使用性能也没有明显的下降。

用 ZSM-5 负载金属时,金属颗粒通常会分布在沸石外表面,在反应过程中,金属颗粒极易烧结或流失,影响活性和寿命^[17],并且大的反应分子往往因

收稿日期:2020-03-17;修回日期:2020-11-17

作者简介:胡一博(1992-),男,硕士研究生,研究方向为沸石分子筛负载金属及其催化性能研究,ybhu@mail.dlut.edu.cn;郭新闻(1967-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为分子筛催化、择形催化及二氧化碳利用等,通讯联系人,guoxw@dlut.edu.cn。

为空间位阻无法进入到分子筛的内部进行反应。而水中的污染物多以药物分子、染料分子等分子质量较大的有机物为主,将 Fe/ZSM-5 作为芬顿反应催化剂进行反应时,往往反应效果都不理想,从而限制 Fe/ZSM-5 在污水处理中的使用。

研究发现,多级孔沸石负载金属利于大分子在孔道中的扩散,从而与催化剂的活性位点有效接触并进一步反应^[18-21]。将多级孔 ZSM-5 作为载体,能够显著提高所负载的 Fe₂O₃ 的分散度,并且还能促进反应物分子的扩散。因此,笔者制备了一系列具有不同孔结构的 Fe/ZSM-5,并以亚甲基蓝为探针分子进行催化反应评价,探究载体孔结构对降解性能的影响,同时揭示载体酸性与催化活性的关系。

1 实验部分

1.1 实验试剂

正硅酸四乙酯,分析纯;四丙基氢氧化铵,质量分数为 25%;四丙基溴化铵,质量分数为 98%;九水合硝酸铝,分析纯;氢氧化钠,质量分数为 96%;硝酸铵,分析纯;硅溶胶,质量分数为 30%;硫酸铝,分析纯;氟化钾,分析纯;异丙醇铝,分析纯;三甲氧基[3-(苯氨基)丙基]硅烷,分析纯;九水合硝酸铁,分析纯;四丙基溴化铵,分析纯;过氧化氢,质量分数为 30%。

1.2 催化剂的制备

1.2.1 微孔 ZSM-5 的制备

将 19.38 g TEOS、18.6 g TPAOH 和 86.5 g 去离子水混合,配制为 A 溶液;将 1.18 g Al(NO₃)₃·9H₂O 和 0.37 g NaOH 溶于 14.92 g 去离子水中,配制为 B 溶液。A 溶液于 35℃ 下水解 3 h 后,将 B 溶液缓慢滴加至 A 中,继续搅拌 3 h 后,将得到的母液转移至 200 mL 带有聚四氟乙烯内衬的合成釜中,在 170℃ 下晶化 72 h。将得到的悬浊液离心分离,去离子水洗至接近中性,烘干、焙烧(空气气氛,540℃,6 h)得到 Na 型 ZSM-5,标记为 NaZ。取 3 g NaZ 分散于 NH₄NO₃ 溶液(2.4 g NH₄NO₃/30 g H₂O)中,在 80℃ 下离子交换 1.5 h,重复 3 次,再经离心分离、洗涤、烘干、焙烧(540℃,空气气氛,4 h)得到微孔 ZSM-5,记为 ZSM-5。

1.2.2 NaOH 处理 ZSM-5

配制 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液,水浴加热至 80℃,将上述 NaZ 粉末迅速倒入 NaOH 溶液中,液固比为 30 mL/g,搅拌 30 min 后将烧杯置于冰水浴中冷却。离心分离洗至接近中性,烘干、焙烧(540℃,

空气气氛,4 h)得到固体粉末,通过铵交换后得到 H 型样品,记为 ZSM-5-AT。

1.2.3 团聚体结构 ZSM-5 的制备

将 18.90 g 硅溶胶(质量分数为 30%)、25 g 四丙基溴化铵(TPABr)、5.68 g S-1 晶种(200 nm)和 74.42 g 去离子水混合,配制为 A 溶液;将 1.04 g Al₂(SO₄)₃·18H₂O、2.66 g KF、1.48 g NaOH 混合加入 40 g 去离子水,配制为 B 溶液。将 A 溶液在 35℃ 下水解 30 min,将 B 溶液缓慢滴加至 A 溶液中,继续搅拌 3 h 后,将得到的母液在 180℃ 下静置晶化 4 h。与制备上文中 H 型 ZSM-5 同样进行处理和铵交换,得到团聚体 ZSM-5,记为 ZSM-5-AS。

1.2.4 多级孔 ZSM-5 的制备

将 50.05 g TEOS、35.16 g TPAOH(质量分数为 25%)和 70 g 去离子水混合,配制为 A 溶液;将 1.63 g 异丙醇铝、0.46 g 氯化钠加入 30 g 去离子水,配制为 B 溶液。将 A 溶液在 35℃ 下水解 3 h 后,将 B 溶液缓慢滴加至 A 溶液中,升温到 80℃ 老化 20 h 后,加入 4.91 g 三甲氧基[3-(苯氨基)丙基]硅烷(PHAPTMS),继续搅拌 6 h。将得到的母液在 170℃ 下静置晶化 7 d。与制备 ZSM-5 同样进行处理和铵交换,得到多级孔 ZSM-5,记为 ZSM-5-PHP。

1.2.5 多级孔 S-1 的制备

将 50.05 g TEOS、35.16 g TPAOH(质量分数为 25%)和 100 g 去离子水混合,配制为 A 溶液。将 A 溶液在 35℃ 下水解 3 h 后,升温到 80℃ 老化 20 h,加入 4.91 g PHAPTMS,搅拌 6 h。同样将得到的母液在 170℃ 下静置晶化 7 d。与制备的 ZSM-5 同样进行处理和铵交换,得到 S-1 沸石,记为 S-1-PHP。

1.2.6 负载型 Fe/ZSM-5 催化剂合成

将 1.2.1~1.2.5 中制备的 5 种 ZSM-5 和 S-1 沸石作为载体,采用等体积浸渍硝酸铁溶液的方法负载质量分数为 1% 的铁,经烘干(100℃ 下过夜)、焙烧(500℃,4 h)得到所需的样品。分别记作 1Fe/ZSM-5、1Fe/ZSM-5-AT、1Fe/ZSM-5-AS、1Fe/ZSM-5-PHP 和 1Fe/S-1-PHP。

1.3 表征测试

1.3.1 X 射线粉末衍射(XRD)分析

利用 Rigaku 生产的 SmartLab9 型粉末 X 射线衍射仪对样品进行测定,CuK α X 射线源,管电压为 40 kV,管电流为 100 mA,扫描范围 2 θ 为 5~50°,扫描速度为 10°/min,步长为 0.02°。

1.3.2 扫描电子显微镜(SEM)分析

利用日立公司生产的 S-5500 型扫描电镜对样品进行分析。加速电压分别为 3 kV 和 5 kV。

1.3.3 透射电子显微镜(TEM)分析

利用日立公司生产的 HT7700 型透射电镜对样品进行分析,加速电压为 100 kV。

1.3.4 氩气物理吸附脱附

利用美国康塔仪器公司(Quantachrome)生产的 autosorb Q2 气体吸附仪获取样品的氩气物理吸附数据,收集全孔径分布信息。573 K 的真空条件下外置脱气站上脱气 8 h,然后移至内置脱气站,真空条件下 573 K 脱气 8 h,于 87 K 进行氩气吸附-脱附实验。

1.4 催化剂反应性能评价

利用 V-570 型紫外分光光度计于特征波长 664 nm 处检测亚甲基蓝溶液吸光度。称量 100 mg 催化剂样品置于锥形瓶中,加入 100 mL 配制好的 500 mg/L 亚甲基蓝溶液。超声 5 min 后,放入 35℃ 的水浴恒温振荡器中 30 min 达到吸附平衡状态,此时测量溶液中的亚甲基蓝吸光度 A_0 。加入 1 700 μL H_2O_2 ,继续振荡后每隔 15 min 取 1 次样,进行紫外测试,得到取样液中亚甲基蓝的吸光度 A_t 。亚甲基蓝转化率 α 的计算式为:

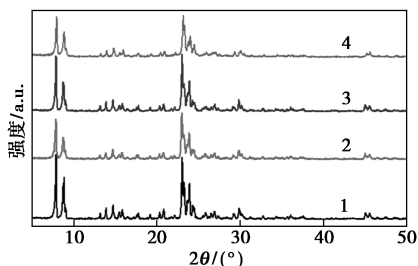
$$\alpha = [(A_0 - A_t)/A_0] \times 100\%$$

2 结果与讨论

2.1 ZSM-5 的孔道结构对反应的影响

2.1.1 XRD 分析

ZSM-5、ZSM-5-AT、ZSM-5-AS 以及 ZSM-5-PHP 样品的 XRD 谱图如图 1 所示。



1—ZSM-5; 2—ZSM-5-AT; 3—ZSM-5-AS; 4—ZSM-5-PHP

图 1 所合成的 ZSM-5 样品的 XRD 衍射图

从图 1 中可以看出,4 种样品均具有明显的 MFI 特征衍射峰。

2.1.2 SEM 表征

4 种样品的扫描电镜照片如图 2 所示。

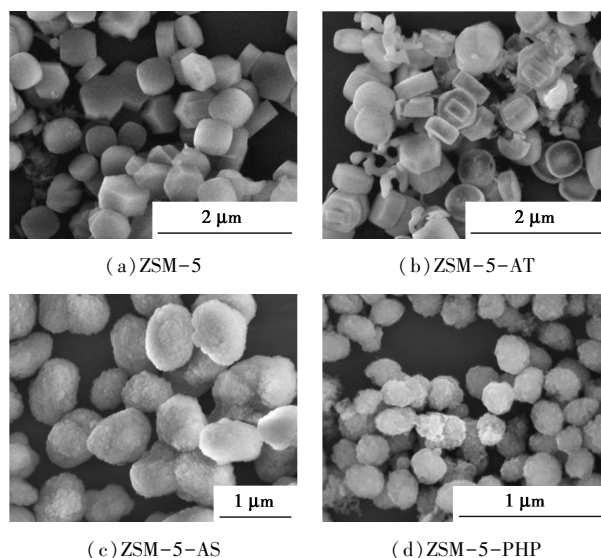
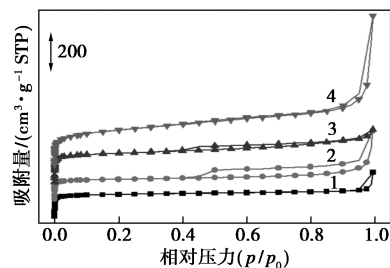


图 2 所合成的 ZSM-5 样品的 SEM 图

由图 2 中可以看出,ZSM-5 沸石表面光滑,颗粒呈短棱柱状,大小较均一。与 ZSM-5 相比,NaOH 处理得到的样品形貌变化不大,表面也较光滑,但有刻蚀的情况发生,大小分布较均匀。ZSM-5-AS 颗粒表面粗糙,呈不规则状。加硅烷制备的 ZSM-5-PHP 样品颗粒表面粗糙,呈球状,粒径比微孔 ZSM-5 小一些。

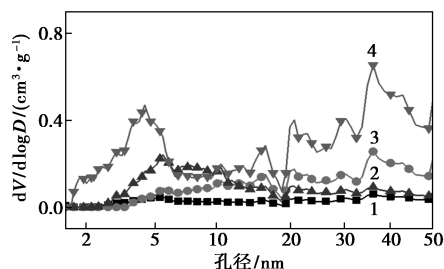
2.1.3 Ar 物理吸附表征

通过 Ar 物理吸附测试得到 4 种样品的吸附等温线以及孔径分布曲线,结果如图 3、图 4 所示。比表面积、孔容等结构参数如表 1 所示。



1—ZSM-5; 2—ZSM-5-AT; 3—ZSM-5-AS; 4—ZSM-5-PHP

图 3 ZSM-5 样品的氩气物理吸附脱附等温线



1—ZSM-5; 2—ZSM-5-AT; 3—ZSM-5-AS; 4—ZSM-5-PHP

图 4 ZSM-5 样品的孔径分布图

表 1 所合成的 4 种 ZSM-5 孔结构参数

样品	比表面积 ^① / (m ² ·g ⁻¹)	微孔孔容 ^② / (cm ³ ·g ⁻¹)	介孔孔容 ^③ / (cm ³ ·g ⁻¹)	总孔容 ^④ / (cm ³ ·g ⁻¹)
ZSM-5	439	0.16	0.16	0.32
ZSM-5-AT	396	0.15	0.35	0.50
ZSM-5-AS	565	0.21	0.18	0.39
ZSM-5-PHP	639	0.25	0.85	1.10

注:①BET 方法;②SF 方法;③总孔容-微孔孔容;④ $p/p_0 = 0.99$ 。

由图 3、图 4 及表 1 中可以看出,ZSM-5 具有典型的 I 型吸附等温线,微孔孔容为 0.16 cm³/g,BET 比表面积为 439 m²/g。从图 4 中可以看出,ZSM-5 样品几乎没有介孔。其他 3 种样品等温线属于 IV 型吸附等温线,具有 H4 型回滞环,说明其具有明显的介孔结构。与母体 ZSM-5 相比,碱处理后的 ZSM-5-AT 样品总孔容和介孔孔容明显增大。ZSM-5-AS 样品的介孔孔容较微孔 ZSM-5 略有增加。ZSM-5-PHP 样品具有最高的比表面积与介孔孔容,其在 2~50 nm 范围内有明显孔径分布。

2.1.4 TEM 表征

4 种不同制备方法得到样品的透射电镜照片如图 5 所示。

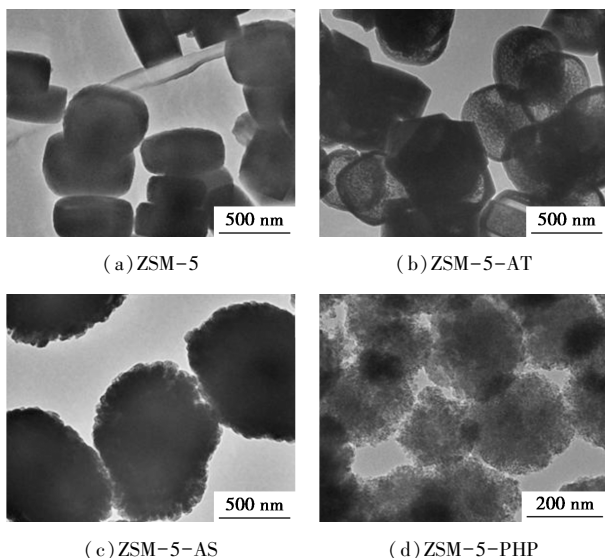


图 5 ZSM-5 样品的 TEM 图

由图 5 中可以看出,微孔 ZSM-5 结构完整,看不到明显的介孔结构。ZSM-5-AT 样品颗粒内部具有较大的中空结构。ZSM-5-AS 和 ZSM-5-PHP 样品相比微孔 ZSM-5,结构较为松散,与 2.1.3 中物理吸附表征结果得到的介孔结构相符合。

4 种 ZSM-5 浸渍质量分数为 1% Fe 制备的催化剂样品 TEM 图如图 6 所示。

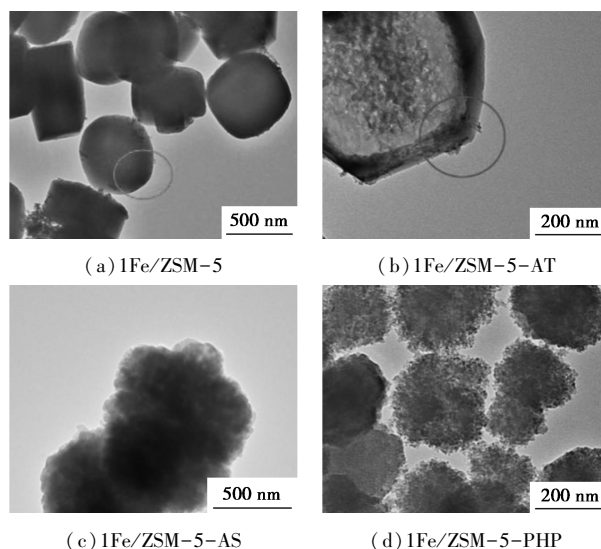
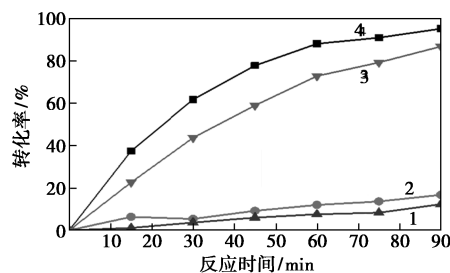


图 6 Fe/ZSM-5 的 TEM 图

由图 6 中可以看出,1Fe/ZSM-5 和 1Fe/ZSM-5-AT 表面都能看到明显的金属颗粒,但分散不均匀,聚集在外表面。后 2 种样品外表面则不容易发现明显的金属颗粒,说明多级孔结构能显著改善负载金属 Fe 颗粒的分散度。

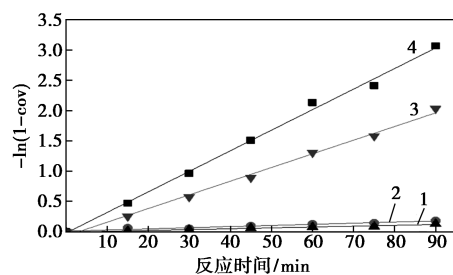
2.1.5 4 种不同 Fe/ZSM-5 催化剂性能差异

4 种不同 Fe/ZSM-5 催化剂的催化反应结果及催化亚甲基蓝降解的动力学常数分别如图 7、图 8 所示。



1—1Fe/ZSM-5-AT;2—1Fe/ZSM-5;3—1Fe/ZSM-5-AS;4—1Fe/ZSM-5-PHP

图 7 不同 Fe/ZSM-5 的催化反应结果



1—1Fe/ZSM-5-AT;2—1Fe/ZSM-5;3—1Fe/ZSM-5-AS;4—1Fe/ZSM-5-PHP

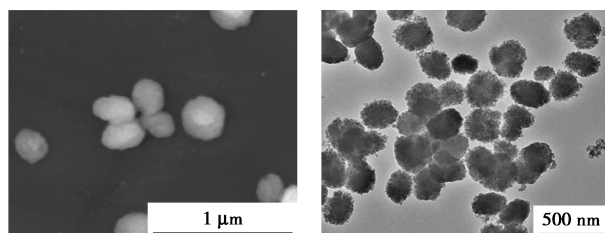
图 8 不同 Fe/ZSM-5 催化亚甲基蓝降解的动力学常数

由图7和图8可知,1Fe/ZSM-5和1Fe/ZSM-5-AT反应效果比较差,这是由于亚甲基蓝分子受到ZSM-5微孔结构的阻碍,不利于扩散,所以反应活性较低。而ZSM-5-AT虽然相比ZSM-5产生中空结构,但仍然是封闭的,对亚甲基蓝分子扩散影响较小。团聚体ZSM-5-AS和硅烷法制备的ZSM-5-PHP在负载铁以后反应效果明显好于相同铁负载量的前两者,但Fe/ZSM-5-AS样品的转化率低于1Fe/ZSM-5-PHP样品。这是由于ZSM-5-PHP样品的介孔质量分数明显高于ZSM-5-PHP样品,具有更高分散度,且更利于反应物的扩散,进而提高降解活性。

2.2 载体酸性对催化性能的影响

2.2.1 S-1-PHP的形貌和酸性表征

介孔导向剂PHAPTMS导向合成的介孔S-1-PHP样品的SEM和TEM图如图9所示。



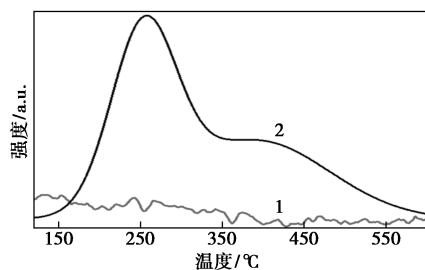
(a) SEM图

(b) TEM图

图9 S-1-PHP的SEM图与TEM图

由图9中可以看出,S-1-PHP具有和ZSM-5-PHP相似的形貌结构[如图5(d)与图6(d)所示],也是类似的介孔结构。

S-1-PHP和ZSM-5-PHP催化剂的NH₃-TPD曲线如图10所示。



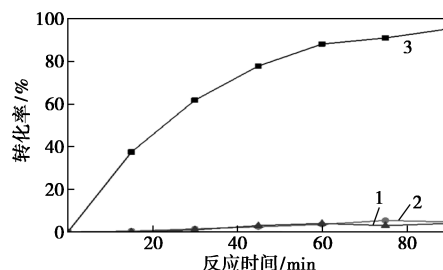
1—S-1-PHP;2—ZSM-5-PHP

图10 S-1-PHP和ZSM-5-PHP的NH₃-TPD曲线

由图10可以看出,ZSM-5-PHP样品具有2个明显的NH₃脱附峰,而S-1-PHP样品没有明显的NH₃脱附峰,表明S-1-PHP样品基本不含酸性位点。

2.2.2 1Fe/S-1-PHP反应性能评价

将1Fe/S-1-PHP、1Fe/ZSM-5-PHP和ZSM-5-PHP样品进行亚甲基蓝降解评价,结果如图11所示。



1—1Fe/ZSM-5-PHP;2—1Fe/S-1-PHP;3—ZSM-5-PHP

图11 1Fe/ZSM-5-PHP、1Fe/S-1-PHP和ZSM-5-PHP的反应结果

由图11中可以看出,1Fe/S-1-PHP和ZSM-5-PHP样品几乎没有降解活性。S-1-PHP具有明显的介孔结构,但却没有良好的催化活性,这是因为需要有酸性存在才能够产生好的催化活性,而S-1-PHP载体没有酸性,纯载体ZSM-5-PHP样品同样不具有催化活性,由此可见,酸性和铁的存在均与降解活性密切相关。

3 结论

通过在ZSM-5中引入介孔结构尤其是加入有机硅烷PHAPTMS作为介孔模板剂所制备的介孔ZSM-5-PHP样品,能够大幅提高所浸渍的铁的分散度,使Fe/ZSM-5-PHP样品在反应中表现出更好的催化性能。通过对比纯硅介孔载体S-1-PHP和硅铝介孔载体ZSM-5-PHP样品浸渍Fe后的催化性能,结果表明载体酸性和金属的同时存在对提高降解活性至关重要。因此,优异的亚甲基蓝降解催化剂需兼具多级孔结构和酸性中心。

参考文献

- [1] 吴鹏.芬顿反应处理有机废水探索[J].新疆有色金属,2016,39(S1):72-73.
- [2] 李沛东,高颖,吴荣础,等.异相芬顿反应降解废水中有机污染物的研究进展[J].应用化工,2019,48(3):717-720.
- [3] Molnár G, Cobo S, Real J A, et al. A combined top-down/bottom-up approach for the nanoscale patterning of spin-crossover coordination polymers[J]. Advanced Materials, 2007, 19(16):2163-2167.
- [4] 付益伟,于云江,冯俊生,等.改性Fenton试剂处理模拟苯酚废水研究[J].环境卫生学杂志,2013,3(3):225-229.

- [5] 邱珊,柴一获,古振澳,等.电芬顿反应原理研究进展[J].环境科学与管理,2014,39(9):55-58.
- [6] Luo L,Dai C,Zhang A, *et al.* A facile strategy for enhancing FeCu bimetallic promotion for catalytic phenol oxidation [J]. *Catalysis Science & Technology*, 2015, 5(6): 3159-3165.
- [7] Guo S,Jiang Y,Li L, *et al.* Thin CuO_x-based nanosheets for efficient phenol removal benefitting from structural memory and ion exchange of layered double oxides [J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2018, 6(9): 4167-4178.
- [8] Kurt U,Apaydin O,Gonullu M T.Reduction of COD in wastewater from an organized tannery industrial region by Electro-Fenton process[J].*Journal of Hazardous Materials*, 2007, 143(1-2): 33-40.
- [9] E R,Pazos M,Longo M A, *et al.* Electro-Fenton decoloration of dyes in a continuous reactor: A promising technology in colored wastewater treatment[J].*Chem Eng J*, 2009, 115(1-2): 62-67.
- [10] Sachse A,García-Martínez J.Surfactant-templating of zeolites: From design to application [J]. *Chemistry of Materials*, 2017, 29(9): 3827-3853.
- [11] Wang L,Xu S,He S, *et al.* Rational construction of metal nanoparticles fixed in zeolite crystals as highly efficient heterogeneous catalysts[J].*Nano Today*, 2018, 20: 74-83.
- [12] David Farrusseng A T.Perspectives on zeolite-encapsulated metal nanoparticles and their applications in catalysis[J].*New Journal of Chemistry*, 2016, 47(27): 3933-3949.
- [13] Wang N,Sun Q,Bai R, *et al.* In situ confinement of ultrasmall Pd clusters within nanosized silicalite-I zeolite for highly efficient catalysis of hydrogen generation [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2016, 138(24): 7484-7487.
- [14] Wang F,Xiao W Y,Xiao G M.Atomic layer deposition of zinc oxide on HZSM-5 template and its methanol aromatization performance [J].*Catalysis Letters*, 2015, 145(3): 860-867.
- [15] Centi G,Perathoner S,Torre T, *et al.* Catalytic wet oxidation with H₂O₂ of carboxylic acids on homogeneous and heterogeneous Fenton-type catalysts[J].*Catalysis Today*, 2000, 55(1): 61-69.
- [16] Fajerwerg K, DeBellefontaine H. Wet oxidation of phenol by hydrogen peroxide using heterogeneous catalysis Fe-ZSM-5: A promising catalyst [J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 1996, 10(4): L229-L235.
- [17] Guoxiong Wang S X L W.Fish-in-Hole: Rationally positioning palladium into traps of zeolite crystals for sinter-resistant catalysts[J]. *Chemical Communications*, 2018, 54(26): 3274-3277.
- [18] Wang J,Liu L,Dong X, *et al.* Converting hierarchical to bulk structure: A strategy for encapsulating metal oxides and noble metals in zeolites [J]. *Chemistry of Materials*, 2018, 30(18): 6361-6369.
- [19] Sun B,Yu G,Lin J, *et al.* A highly selective Raney Fe@HZSM-5 Fischer-Tropsch synthesis catalyst for gasoline production: One-pot synthesis and unexpected effect of zeolites [J]. *Catalysis Science & Technology*, 2012, 2(8): 1625-1629.
- [20] Sammoury H,Toufaily J,Cherry K, *et al.* Desilication of *BEA zeolites using different alkaline media: Impact on catalytic cracking of *n*-hexane [J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2018, 267: 150-163.
- [21] Sashkina K A,Labko V S,Rudina N A, *et al.* Hierarchical zeolite FeZSM-5 as a heterogeneous Fenton-type catalyst [J]. *Journal of Catalysis*, 2013, 299: 44-52. ■

巴斯夫与中国科学院签署创新合作协议

2020年12月29日,巴斯夫与中国科学院(CAS)签署了战略合作框架协议,双方将深化长期战略合作关系,继续共同创新,加快增值应用和解决方案的上市速度。

根据协议,中科院旗下重要研究机构将进一步拓展与巴斯夫的合作,其中包括大连化学物理研究所、长春应用化学研究所、过程工程研究所、上海高等研究院等著名研究机构。专业研发团队和创新青年人才将共同探索先进材料与系统、化学工艺工程和生命科学等前沿领域。与此同时,巴斯夫和中科院也将继续努力推动联合科研项目的数字化进程。

双方将以此次战略合作的签署为契机,依托巴斯夫亚洲开放研究网络(NAO),为化工行业培养更多人才,继续发挥人才在创新领域的核心作用。

巴斯夫全球先进材料及系统研发总裁楼剑锋博士表示:“我们很高兴有机会与中科院达成合作。中科院拥有中国80%以上的大型科学设施和100多个国家重点实验室和工程中心。此次合作将加强巴斯夫创新能力,加快推进

研发成果商业化速度。汇聚双方深厚的专业知识,我们将研发创新产品和解决方案,推动中国的经济增长和可持续发展。”

中科院副院长张亚平院士表示:“一直以来,创新都是推动中国发展的主要动力。与巴斯夫的密切合作,正体现了我们将创新目光聚焦在化工行业。接下来,双方将继续加强合作,共同研发尖端技术,帮助中国实现高质量发展。”

中科院是国家科学智库和学术管理机构,为国民经济、社会发展和科技进步等方面提供咨询和见解。作为中国领先的科研机构,中科院拥有强大的化工研发实力,与巴斯夫也有过多次成功的项目合作经验。

巴斯夫正在利用其亚洲开放研究网络平台,致力于提升亚太地区的研发能力,加强人才培养。自2014年3月该平台创建以来,巴斯夫及其合作伙伴已完成70余个联合研究项目,涵盖了包括新型单体、聚合物及其应用、表面和界面、涂料、催化、电池材料、化学工程工艺、杀虫剂、数字化及智能生产在内的多元化研发领域。(李天宇)