

## 技术进展

# 固载化离子液体在有机合成中的应用进展

赵地顺<sup>1</sup>, 杨洁<sup>1</sup>, 张娟<sup>1</sup>, 刘冉<sup>2</sup>, 董兰芬<sup>1</sup>, 吕斌<sup>3</sup>

(1. 河北科技大学化学与制药工程学院, 河北石家庄 050018;

2. 河北科技大学材料科学与工程学院, 河北石家庄 050018;

3. 河北科技大学理学院, 河北石家庄 050018)

**摘要:**就固载化离子液体作为催化剂或催化剂载体在不同反应类型的传统有机合成中的最新研究成果进行了综述, 主要包括: 偶联反应、加成反应、缩合反应、环化反应和还原反应。

**关键词:**离子液体; 固载化; 有机合成; 应用

中图分类号: TQ426

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2011)01-0015-05

## Process in application of supported ionic liquid to organic synthesis

ZHAO Di-shun<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>1</sup>, ZHANG Juan<sup>1</sup>, LIU Ran<sup>2</sup>, DONG Lan-fen<sup>1</sup>, LV Bin<sup>3</sup>

(1. School of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 3. School of Sciences, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

**Abstract:** In this paper, the advanced process in the application of supported ionic liquids as catalysts or catalyst carrier to different types of traditional organic synthesis are reviewed, mainly including coupling reaction, addition reaction, condensation reaction, alkylation reaction and reduction reaction.

**Key words:** ionic liquids; immobilization; organic synthesis; application

离子液体被认为是继水和超临界二氧化碳后的又一大类绿色溶剂。已经被广泛应用于分析分离、有机合成反应、功能性材料的制备等各个方面。离子液体作为催化剂在许多重要的有机合成反应中表现出了明显的优势: 产物收率高, 选择性好, 后处理简单以及离子液体催化剂体系简单, 可回收利用。

固载化离子液体(Supported Ionic Liquids)是指通过物理或化学方法将离子液体固定在某种无机或有机固体材料上, 从而得到负载离子液体或表面具有离子液体结构的固体物质, 改变固体的表面性质<sup>[1]</sup>。固载化离子液体与离子液体相比具有如下优点: ①将离子液体分散在载体的表面, 提高了离子液体的利用率; ②有利于催化剂与产物的分离, 且选择性高, 催化活性好, 反应条件温和; ③根据载体的比表面积可以调整固载化离子液体的酸度; ④可使反应工艺过程连续化, 提高设备的生产能力; ⑤可应用于气相反应中。

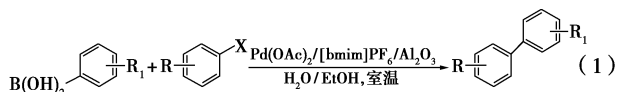
对于固载化离子液体, 余加祐等<sup>[2]</sup>对其在催化加氢反应中的应用进展做了详尽阐释; 李雪辉等<sup>[3]</sup>系统地介绍了离子液体的固载化及其应用; 黎汉生

等<sup>[4]</sup>综述了负载离子液体作为催化活性中心的溶剂效应。笔者将固载化离子液体作为催化剂在传统有机合成单元反应中的应用进行综述。

## 1 偶联反应

### 1.1 Suzuki 偶联反应

Suzuki 偶联反应是现代有机合成化学中构筑碳碳键最有效的方法之一。然而传统的 Pd(PPh<sub>3</sub>)<sub>4</sub>、Pd(OAc)<sub>2</sub> 等均相催化剂具有价格高、化学稳定性差、难以与反应液分离及回收再利用困难等缺点。Hisahiro 等<sup>[5]</sup>利用 [bmim]PF<sub>6</sub> 的协助将 Pd(OAc)<sub>2</sub> 固载到经过 NDEAP 改性的氧化铝上, 为防止催化剂的浸出, 选择 Pd(OAc)<sub>2</sub> 的负载量为 0.020 ~ 0.025 mmol/g。此催化剂用于催化芳卤与芳硼酸的 Suzuki-Mayaura 耦合反应, 见式(1), 表现出了优异的催化活性和稳定性, 重复使用 5 次后平均收率为 95%。



收稿日期: 2010-09-06; 修回日期: 2010-11-03

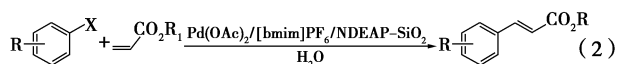
基金项目: 国家自然科学基金(20976107); 河北科技大学 2010 年大学生科技创新基金项目(固载化离子液体催化合成环己酮缩酮反应的研究)

作者简介: 赵地顺(1945-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事清洁能源化工的研究, 0311-88632009, dishunzhao@yahoo.com.cn。

## 1.2 Heck 反应

Heck 反应是一类重要的卤代芳烃烯基化、形成 C—C 键的合成反应,它在肉桂酸酯类衍生物、二苯乙烯衍生物及某些医药中间体的合成中有着广泛的应用,是有机化学界关注的热点。

Hisahiro 研究小组<sup>[6-7]</sup>将 Pd(OAc)<sub>2</sub> 和二氧化硅置于离子液体的四氢呋喃溶液中,通过蒸干溶剂的方法使催化剂固定到载体上,硅胶以 NDEAP 进行改性形成反相硅胶,通过 [bmim]PF<sub>6</sub> 固载 Pd(OAc)<sub>2</sub> 时,负载量达到 0.4~0.5 mmol/g。以水为溶剂催化 Mizoroki-Heck 反应,见式(2),重复使用 6 次以上,平均转化率为 95%。研究发现,[bmim]PF<sub>6</sub> 对 Pd(OAc)<sub>2</sub> 的固载性能明显优于 [bmim]Br、[bmim](CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>N 和 [hmim]BF<sub>4</sub>, 催化剂用乙醚清洗后,可重复利用。



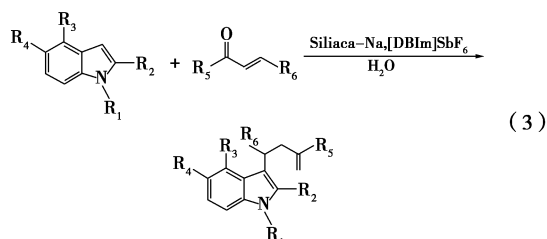
Burguete 等<sup>[8]</sup>将高分子材料与离子液体进行聚合反应,以离子液体作为功能化基团将钯催化剂接枝到离子液体上,催化 Heck 反应。改性后,具有官能团的载体对催化反应的优势有:①有助于保证催化剂的活性;②改善了催化剂的稳定性和重复使用性能;③有利于产物的分离提纯;④使反应选择性能提高。

## 2 加成反应

### 2.1 Michael 加成

Michael 加成反应是典型的亲核加成反应,是利用亲核试剂对  $\alpha,\beta$ -不饱和羰基化合物的共轭加成。由于反应产物是合成许多功能化合物的重要光学活性中间体,所以人们对 Michael 加成反应领域很有兴趣。

Gu 等<sup>[9]</sup>以苯磺酸钠改性硅胶对离子液体 [DBIM][SbF<sub>6</sub>] 进行吸附,此中性催化系统中的离子液体具有疏水性能,可以为在水介质中反应的吡啶衍生物和  $\alpha,\beta$ -不饱和羰基化合物的 Michael 反应提供疏水环境,从而提高催化剂的反应性能,延长催化剂的使用寿命,反应见式(3)。



### 2.2 氢胺化反应

Sievers 等<sup>[10]</sup>将功能化体系 [Pd(DPPF)]-(CF<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 和 CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>H 固载到二氧化硅载体上,用此金属配合物催化苯胺和苯乙烯的加成反应,合成 Markownikoff 产品和 anti-Markownikoff 产品,125℃ 时合成 Markownikoff 产品的选择性为 100%,离子液体随着其极性的增加,催化剂的活性增大,活性顺序为:HM<sub>2</sub>Im < HMIm < BMIm < EMIm。此催化剂提供了具有 Lewis 酸性的钯配合物,具有很好的催化性能,反应速度比普通的溶剂高,并且随着钯配合物含量的增加,离子液体极性的增大,催化效果增强。Breitenlechner 等<sup>[11]</sup>将 [Rh(DPPF)(NOR)]ClO<sub>4</sub>、[Pd(DPPF)](CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 Zn(CF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 固载于硅藻土上,催化 4-异丙基苯胺和苯乙炔的加成反应,与均相催化剂相比,表现出较高的催化活性和选择性。

## 3 缩合反应

### 3.1 Aldol 缩合

羟醛缩合(Aldol)反应是有机化学中的经典反应之一,也是形成 C—C 键的重要反应,被广泛地应用在合成杀虫剂、药物中间体和化学药品中。

Gruttadauria 等<sup>[12]</sup>将脯氨酸溶解于 [bmim]BF<sub>4</sub> 或 [bmim]PF<sub>6</sub> 中,以三甲氧基甲硅烷与咪唑离子液体反应,对离子液体进行表面改性,改性后的离子液体与硅胶进行接枝反应,再将接枝反应后的硅胶加入到溶解有脯氨酸的离子液体中,生成固载脯氨酸材料。此固载化离子液体催化羟醛缩合反应,反应见式(4),收率可以达到 89%~93%。聚乙烯负载 L-脯氨酸重复利用 4 次以后,收率有所下降。研究发现,离子液体为 [bmim]BF<sub>4</sub> 时,产品的收率和 *e. e.* 值最佳,高于在用离子液体和 L-脯氨酸体系中的反应值,且重复使用性能远远高于脯氨酸直接固载到聚乙烯上的值,在此反应过程中避免了毒性较大的有机药品 DMF 的使用。



### 3.2 缩醛反应

缩醛是近几年发展起来的新型香料和重要中间体。Sugimura 等<sup>[13]</sup>利用 1-乙烯基咪唑化合物可以在乙醇为引发剂时,和苯乙烯在 AIBN 中发生共聚作用,将 Brønsted 酸性离子液体进行固载,将其作为催化剂催化缩醛反应,反应完成后,催化剂可通过

简单的过滤分离出来,再用乙醇进行清洗,蒸干溶剂后可以直接再利用,反应产率在 79% ~ 98%,正己醛在催化剂重复使用 4 次后仍保持 89% 的收率。

### 3.3 Knoevenagel 缩合

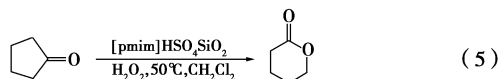
Knoevenagel 缩合是羰基化合物与活性亚甲基化合物的脱水缩合反应,是有机合成中形成碳碳双键的重要方法,属于有机化学中的经典反应之一。

Zhang 等<sup>[14-15]</sup>将碱性离子液体通过嫁接的方法使其固载到羟基磷灰石包覆磁性的  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米离子中,在温和的条件下催化醛和丙二腈的 Knoevenagel 缩合反应,固载化离子液体与羟基磷灰石具有协同作用。随着离子液体烷基链的增长,其催化活性降低。与聚苯乙烯树脂作为载体相比,此催化剂催化性能更好,重复使用 4 次后,催化活性并未降低,且含有磁性的催化剂在磁铁的作用下更易与生成物分离。

## 4 重排反应

Baeyer-Villiger 反应是有机合成中的重要反应,应用范围很广,包括合成抗生素、激素和费洛蒙等。此反应是将酮氧化成酯或内酯的反应,此反应的催化剂大多为酸、碱、过渡金属配合物或酶。

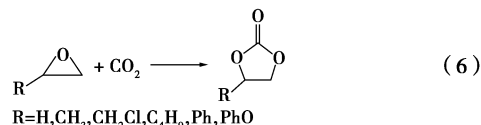
Chrobok 等<sup>[16]</sup>制备了 1-甲基-3-(三乙氧基)咪唑硫酸氢盐离子液体,并通过共价键固载到二氧化硅的表面,二氧化硅孔隙未被破坏。此固载化离子液体应用于 Baeyer-Villiger 反应,见式(5),在 5 ~ 20 h 内 50℃ 时,在干燥的二氯甲烷中将酮被 58% 的双氧水氧化为相应的内酯,收率可以达到 60% ~ 91%。双氧水和催化剂为此非均相反应提供了清洁的氧化环境,催化剂重复使用 3 次后催化活性没有降低。



## 5 环化反应

Sun 等<sup>[17]</sup>制备了 HEIMX, X = Cl, Br, I 离子液体,此类离子液体同时具有酸性和碱性,将离子液体固定在聚苯乙烯树脂高聚物上,催化二氧化碳环氧化反应,见式(6),考察了反应温度、时间、压力、和离子液体的阴离子的变化对催化效果的影响。在没有溶剂的情况下,收率和选择性较高,催化剂重复使用 6 次后催化效果未有明显降低。离子液体的阳离子对反应催化效果十分明显,而且与卤素阴离子呈

现出较好的协同作用。此催化剂的易分离和高效率显示出了很高的工业应用潜力。



## 6 烷基化和酰基化反应

### 6.1 烷基化反应

传统的烷基化催化剂存在着许多技术问题,其致命的缺点是存在着严重的设备腐蚀和环境污染等问题。DeCastro 等<sup>[18]</sup>通过阴离子与硅胶反应将离子液体固载,整个制备过程在惰性环境下进行。测定了 N 不同 (N = AlCl<sub>3</sub>/[AlCl<sub>3</sub> + [bmim]Cl]) 时固载化离子液体催化芳香性物质与 1-十二烯的傅克反应效果,其中催化苯的反应选择性达到 98%,转化率为 99%,在相同的反应条件下,结果优于沸石催化剂,催化剂重复使用的过程中,损失量很少。在阴离子固载离子液体过程中,绝大部分离子液体的阴离子是稳定的,难以引入反应性能官能团,因而难以进行阴离子负载。但是氯铝酸盐型离子液体的阴离子本身易与无机载体表面的硅羟基进行反应,可实现阴离子负载。但是 Lewis 酸性体系制备的固载化离子液体结构不稳定,在水溶液中容易变质,与 Lewis 酸性体系离子液体的缺点相同。阴离子表面的羟基反应时会破坏硅胶的孔结构,使比表面积和离子液体酸度降低,影响催化效果。若先用 AlCl<sub>3</sub> 水溶液浸泡载体然后再用弱酸性的氯铝酸盐型离子液体浸渍,AlCl<sub>3</sub> 与 IL-AlCl<sub>3</sub> 形成强酸性的 IL-(AlCl<sub>3</sub>)<sub>x</sub>,即采用先负载氯化铝再负载离子液体的两步法,可以避免这一缺陷<sup>[19-20]</sup>。

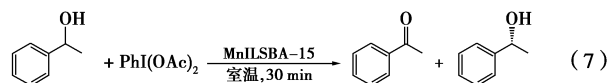
### 6.2 酰基化反应

Valkenberg 等<sup>[21]</sup>制备了不同的离子液体作为催化剂固载到硅胶上催化酰化反应,包括 Al-IL、Sn-IL 和 Fe-IL,此固载催化剂可获得高转化率和高选择性,作者比较了不同固载化离子液体的催化性能,Al-IL 黏度较高,但是 Fe-IL 固载化离子液体的固载量最大,催化性能最好。同时作者发现在液-固连续聚合体系催化剂流失严重,而在气-固体体系则没有流失。

## 7 氧化反应

Sahoo 等<sup>[22-23]</sup>将手性锰催化剂固载到以 SBA-15 为载体的固载化离子液体上,催化醇的氧化加氢

反应, 催化剂在此多相反应中表现出了良好的活性和对映选择性。此催化剂在正己烷为溶剂的条件下, 催化仲醇的氧化反应, 见式(7), 催化剂经过简单的过滤分离并用正己烷洗涤后可以重复使用, 重复使用 5 次后, 产率和对映选择性基本保持不变。



## 8 还原反应

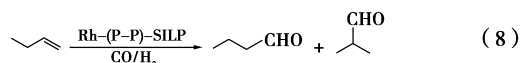
### 8.1 催化加氢

Virtanen 等<sup>[24-26]</sup> 纳米钨催化剂通过 Lewis 和 Brønsted 酸性离子液体固载到活性炭布上, 应用于连续的柠檬醛加氢反应。催化剂催化活性高、不易失活。研究发现通过 Lewis 酸性离子液体将钨催化剂固载到活性炭布上, 固载化离子液体的催化性能更好, 其中以  $\text{HBF}_4$  和  $\text{ZnCl}_2$  为 1:1 固载到载体上与利用  $\text{HBF}_4$  做催化剂得到的结果相同, 比用  $\text{ZnCl}_2$  作催化剂时收率高 2 倍。此固载催化剂中, 钨催化剂溶解于载体表面的离子液体层量较少, 但是仍然表现出良好的催化活性。

Wolfson 等<sup>[27]</sup> 将  $[\text{bmim}][\text{PF}_6]$  和  $\text{RhCl}(\text{PPh}_3)$  物理负载在聚电解质上, 用于 2-环己烯-1-酮和 1,3-环辛二烯的加氢反应。其催化活性比离子液体-有机溶剂两相体系高, 与均相催化相当。离子液体与聚合物之间有较强的相互作用, 重复使用后催化剂没有流失现象。

### 8.2 氢甲酰化反应

Haumann 等<sup>[28]</sup> 将固载化离子液体铑催化剂  $\text{Rh}(\text{CO})_2(\text{acac})$  用于催化 1-丁烯的氢甲酰化反应, 见式(8), 通过无梯度反应器和固定床的动力性实验确定了其活化能和反应级数, 并对底物的影响、温度、压力的影响进行了测定。反应 120 h 后用核磁共振检测器监测气相产物, 并未发现可降解的催化剂成分。



Hintermair 等<sup>[29]</sup> 将  $[\text{PrMIM}][\text{Ph}_2\text{P}(3-\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3)]$  和  $[\text{Rh}(\text{acac})(\text{CO})_2]$  溶解到  $[\text{OctMIM}][\text{TF}_2\text{N}]$  固载到硅胶上, 考察了 1-辛烯在超临界二氧化碳存在的情况下在  $[\text{OctMIM}][\text{TF}_2\text{N}]$  中的溶解性, 发现其溶解性很高。催化剂在 40 h 之内很稳定, 表现出高效的催化性能和较低的损失量。

## 9 结语

综上所述, 固载化离子液体集均相和非均相材

料的优点于一身, 它作为催化剂已经在有机合成领域有了广泛的应用。利用固载化离子液体, 可以大量减少离子液体的用量, 也可应用于固定床反应系统。由于离子液体不易挥发, 所以固载化离子液体在催化气相反应时表现出了很好的催化性能。

然而, 对于固载化离子液体的研究和应用方面还存在着诸多需要解决的问题: ①如何避免固载化离子液体在使用过程中存在的流失现象; ②寻找价廉易得、危险性小、热稳定好的载体材料; ③如何使离子液体与载体之间的相互作用达到最稳定状态, 增加固载化离子液体的重复使用次数。总之, 固载化离子液体的基础研究和应用技术存在很大的提升空间。固载化离子液体的催化性能表现出巨大的潜力和商业机遇, 人们将继续致力于研究固载化离子液体在催化和分离方面的性能, 证明离子液体有能力超越普通溶剂系统。

由于固载化离子液体的特殊优点, 它可以应用于固定化酶的反应, 为生物化工催化方面拓展更为广阔的空间; 可以应用在固定床反应中, 生产价值高的精细化工产品。希望在不久的将来, 在广大研究者的努力下, 研究出更好的离子液体和载体, 早日实现固载化离子液体催化的工业化。

## 参考文献

- [1] 张锁江. 离子液体与绿色化学[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 余加祜, 王明章, 张秀玲, 等. 固载化离子液体在催化加氢反应中的研究进展[J]. 大连工业大学学报, 2008, 27(2): 123-128.
- [3] 李雪辉, 潘微平. 离子液体固载化及其应用[J]. 现代化工, 2005, 25(12): 61-72.
- [4] 黎汉生, 张亚平, 吴芹. 负载型离子液体催化剂中离子液体的溶剂效应研究进展[J]. 化工进展, 2008, 27(11): 1736-1742.
- [5] Hisahiro Hagiwara, Hyeok Keon Ko, Takashi Hoshi, et al. Supported ionic liquid catalyst (Pd-SILC) for highly efficient and recyclable Suzuki-Miyaura reaction[J]. Chem Commun, 2007(27): 2838-2840.
- [6] Hisahiro Hagiwara, Yoshitaka Sugawara, Kohei Isobe, et al. Immobilization of  $\text{Pd}(\text{OAc})_2$  in ionic liquid on silica: Application to sustainable Mizoroki-Heck reaction[J]. Organic Letters, 2004, 6(14): 2325-2328.
- [7] Hisahiro Hagiwara, Yoshitaka Sugawara, Takashi Hoshi, et al. Sustainable Mizoroki-Heck reaction in water: Remarkably high activity of  $\text{Pd}(\text{OAc})_2$  immobilized on reversed phase silica gel with the aid of an ionic liquid[J]. Chem Commun, 2005: 2942-2944.
- [8] Burguete M Isabel, García-Verdugo Eduardo, García-Villar Ignacio, et al. Pd catalysts immobilized onto gel-supported ionic liquid-like phases (g-SILLPs): A remarkable effect of the nature of the support[J]. Journal of Catalysis, 2010, 269: 150-160.

- [9] Gu Yanlong, Ogawa Chikako, Kobayashi Shu. Silica-supported sodium sulfonate with ionic liquid: A neutral catalyst system for michael reactions of indoles in water [J]. *Organic Letters*, 2007, 9(2): 175-178.
- [10] Sievers Carsten, Jiménez Oriol, Knapp Richard, *et al.* Palladium catalysts immobilized in thin films of ionic liquid for the direct addition of aniline to styrene [J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2008, 279: 187-199.
- [11] Breitenlechner Stefan, Fleck Martin, T Müller Thomas E, *et al.* Solid catalysts on the basis of supported ionic liquids and their use in hydroamination reactions [J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2004, 214: 175-179.
- [12] Gruttadauria Michelangelo, Riela Serena, Aprile Carmela, *et al.* Supported Ionic Liquids. New Recyclable Materials for the 1-Proline-Catalyzed Aldol Reaction [J]. *Adv Synth Catal*, 2006, 348: 82-92.
- [13] Sugimura Rie, Qiao Kun, Tomida Daisuke, *et al.* Immobilization of acidic ionic liquids by copolymerization with styrene and their catalytic use for acetal formation [J]. *Catalysis Communications*, 2007, 8: 770-772.
- [14] Zhang Yan, Zhao Yingwei, Xia Chungu. Basic ionic liquids supported on hydroxyapatite-encapsulated  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocrystallites; An efficient magnetic and recyclable heterogeneous catalyst for aqueous Knoevenagel condensation [J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 2009, 306: 107-112.
- [15] Zhang Yan, Xia Chungu. Magnetic hydroxyapatite-encapsulated gamma-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles functionalized with basic ionic liquids for aqueous Knoevenagel condensation [J]. *Applied Catalysis A: General*, 2009, 366: 141-147.
- [16] Chrobok Anna, Baj Stefan, Pudlo Wojciech, *et al.* Supported hydrogensulfate ionic liquid catalysis in Baeyer-Villiger reaction [J]. *Applied Catalysis A: General*, 2009, 366: 22-28.
- [17] Sun Jian, Cheng Weiguo, Fan Wei, *et al.* Reusable and efficient polymer-supported task-specific ionic liquid catalyst for cycloaddition of epoxide with CO<sub>2</sub> [J]. *Catalysis Today*, 2009, 148: 361-367.
- [18] DeCastro C, Sauvage E, Valkenberg M H, *et al.* Immobilised ionic liquids as Lewis acid catalysts for the alkylation of aromatic compounds with dodecene [J]. *Journal of Catalysis*, 2000, 196: 86-94.
- [19] Brunel Daniel, Cauvel Anne, Renzo Francesco Di, *et al.* Preferential grafting of alkoxysilane coupling agents on the hydrophobic portion of the surface of micelle-templated silica [J]. *New J Chem Soc*, 2000, 24: 807-813.
- [20] Valkenberg Michael, Castro-Moreira Christovao De, Hoelderich Wolfgang, *et al.* Immobilised ionic liquids; US, 20020169071 [P]. 2002-11-14.
- [21] Valkenberg M H, Castro C D, HOLDERICH W. Friedel-Crafts acylation of aromatics catalysed by supported ionic liquids [J]. *Applied Catalysis A: General*, 2001, 215: 185-190.
- [22] Sahoo Suman, Kumar Pradeep, Lefebvre F, *et al.* Oxidative kinetic resolution of alcohols using chiral Mn-salen complex immobilized onto ionic liquid modified silica [J]. *Applied Catalysis A: General*, 2009, 354: 17-25.
- [23] Sahoo Suman, Kumar Pradeep, Lefebvre F, *et al.* A chiral Mn(III) salen complex immobilized onto ionic liquid modified mesoporous silica for oxidative kinetic resolution of secondary alcohols [J]. *Tetrahedron Letters*, 2008, 49: 4865-4868.
- [24] Virtanen Pasi, Mikkola Jyri-Pekka, Toukonniitti Esa, *et al.* Supported ionic liquid catalysts; From batch to continuous operation in preparation of fine chemicals [J]. *Catalysis Today*, 2009, 147S: S144-S148.
- [25] Virtanen Pasi, Karhu Hannu, Kordas Kriszian, *et al.* The effect of ionic liquid in supported ionic liquid catalysts (SILCA) in the hydrogenation of  $\alpha, \beta$ -unsaturated aldehydes [J]. *Chemical Engineering Science*, 2007, 62: 3660-3671.
- [26] Virtanen Pasi, Karhu Hannu, Geza Toth, *et al.* Towards one-pot synthesis of menthols from citral; Modifying supported ionic liquid catalysts (SILCAs) with Lewis and Brønsted acids [J]. *Journal of Catalysis*, 2009, 263: 209-219.
- [27] Wolfson Adi, Vankelecom Ivo F J, Jacobs Pierre A. Co-immobilization of transition-metal complexes and ionic liquids in a polymeric support for liquid-phase hydrogenations [J]. *Tetrahedron Letters*, 2003, 44: 1195-1198.
- [28] Haumann Marco, Jakuttis Michael, Werner Sebastian, *et al.* Supported ionic liquid phase (SILP) catalyzed hydroformylation of 1-butene in a gradient-free loop reactor [J]. *Journal of Catalysis*, 2009, 263: 321-327.
- [29] Hintermair Ulrich, Zhao Guoying, Catherine C, *et al.* Supported ionic liquid phase catalysis with supercritical flow [J]. *Chem Commun*, 2007(14): 1462-1464. ■

## 《现代化工》入选中国科学引文数据库核心期刊

《现代化工》创刊于1980年,为中国化工信息中心主办的综合性化工技术类期刊。经过近30年的发展,《现代化工》已经在化工领域有了很大的影响,一直入编《中文核心期刊要目总览》。今年,《现代化工》入编《2009—2010年中国科学引文数据库核心期刊》。目前,《现代化工》既是中文核心期刊也是科学引文数据库核心期刊。读者和相关单位可登陆中科院中国科学文献服务系统(<http://sdb.csdl.ac.cn>),点左下角“中国科学数据库来源期刊”查证。

——《现代化工》编辑部