

国外动态

可降低天然气重整成本的 钨浸渍催化剂

日本筑波大学 (University of Tsukuba) 研究人员开发了一种高性能催化剂,用于天然气蒸汽重整处理以制备合成气。这项发明避免了传统镍基催化剂常出现的加速催化剂降解问题。

在重整工艺中,在催化剂的镍层上会形成热点,这些热点的热效应使细催化剂颗粒发生聚集和烧结现象,而这种聚集和烧结现象会对催化剂效能造成不利影响。

Tsukuba 催化剂包含 2 种不同的金属,这 2 种金属使放热和吸热反应同时进行,从而有效抑制导致催化剂降解的热点的形成。因此,催化活性一直很高,需要更换的催化剂剂量大幅度减少,从而使成本显著降低。

这种催化剂的开发期望对缩小重整设备规模、提高催化剂效率及降低能耗有帮助,从而为重整工艺应用范围的拓宽铺平了道路,如用于燃料电池氢制备领域。

为了开发新型催化剂,研究人员将含微量钨的镍催化剂表面浸渍,实验证明这样能有效限制热点的形成。表面修饰同样能够显著促进还原反应和抗氧化过程的进行。研究人员下一步计划用钨代替钨进行类似实验。

JCW, 2008, 49(2490): 3

染料敏化太阳能电池用无铂电极

日本 Carlit 株式会社开发了一种用于染料敏化太阳能电池的正极。传统电极由表层涂覆有氧化铟锡 (ITO) 的基体和昂贵铂催化剂组成。这种新开发电极与传统电极相比,成本显著降低但是光伏转换效率相当。

这个突破被认为是染料敏化太阳能电池向商业化应用迈出的重要一步。目前样品订购正在进行,与此同时,该公司正致力于进一步提高电极效能。

该公司称,这种新电极由公司专利的复合材料涂覆的金属基板构成。新电极中所用专利的复合材料由铁基导电材料和聚苯胺催化剂组成,它能有效防止

染料敏化太阳能电池中含碘电解液对基板的腐蚀。据报道,一个新电极制备的小型实验用单电池光伏转化效率可达 7.2%。

由于染料敏化太阳能电池在阳光不充足地域具有发电能力的特点,因此期望能在 1~2 年内将这种电池投入市场。但是,与日益受欢迎的硅基太阳能电池相比,染料敏化太阳能电池具有生产成本高的缺点,这主要是其正极材料生产成本高导致的结果。虽然真空蒸镀钨锡氧化物导电层有助于保护衬底电极被碘腐蚀,但是这增大了太阳能电池的电阻并降低它们的效能,因此需要在 ITO 层上喷镀大量钨以降低电极材料的电阻,从而导致染料敏化太阳能电池生产成本的增加。

Carlit 公司称,与产业和学术界染料敏化太阳能电池所用的其他催化剂相比,新电极能够实现 95% 或 95% 以上的光伏转换效率,比传统铂基催化电极产生的转化效率还高。

JCW, 2008, 49(2491): 3

可回收贵金属的环境友好法

日本产业技术综合研究所 (AIST) 的 Koichi Narita 及其同事发明了一种环境协调方法,可将其用于分离和回收铂和钯等贵金属。他们通过优化溶剂萃取工艺发明了这种方法,该方法适合采用溶剂浸渍纤维萃取分离工艺处理贵金属含量较高的溶液,同时还适于处理贵金属含量低的溶液,从而能够实现高效分离和回收。

新方法采用价格低廉的溶剂和纤维作为原料,大大降低了分离和精制所需有机溶剂的用量。研究人员的目标是通过与私营部门合作尽早实现其商业化。

该项目是在“日本新能源与工业技术开发组织”的资助下进行的工业技术研究援助计划的一部分。

溶剂浸渍纤维萃取工艺具有溶剂萃取及离子交换树脂萃取的优点,它通过使富金属溶液渗入溶剂浸渍过的亲油纤维中实现有效吸附。该方法具有比溶剂萃取法更多的优点,其所需有机溶剂更少,且对低贵金属含量的溶液处理更为有效。

钯和铂化学性质相似,这种特性给分离带来困难。研究人员采用亚硫酸二

乙酰胺浸渍的天然木棉纤维作为吸附剂,通过将溶液渗入纤维中,采用新方法从溶液中快速分离出钯。该方法分离出钯的量与溶剂萃取工艺分离得到的钯的量相当。

JCW, 2008, 49(2491): 2

高耐热无铅纳米焊料

日本 Nintac 株式会社致力于开发一种新研制无铅焊料的应用市场,这种无铅焊料由银纳米粒子和铜粉组成,可以在约 180℃ 条件下实施焊接,而且可耐 500℃ 以上高温。

据称,东京一家新公司专门开发这种纳米焊料的工业应用,焊料售价约 300 元/g,适用于焊接金属或塑料,主要用于汽车制造和重型电气设备的焊接,因为这些领域的焊接需要在高温条件下操作,而且目前要求使用高耐热焊料。

该公司补充说,焊料由作为粘结剂、直径为 5 nm 的银纳米粒子环绕粒子尺寸为 50 nm 的铜粉分布形成了一种海岛结构。

2010 年之前,含铅质量分数为 85% 及 85% 以上的焊料还可以在高温条件下使用,并不受欧盟有害物质管制条例 (RoHS) 的管制。但是考虑到不久之后含铅焊料将被限制使用,高耐热无铅焊料的需求量将大大增加。

JCW, 2008, 49(2490): 2

一步合成法制备聚乳酸

日本北海道大学 (Hokkaido University) Seiichi Taguchi 教授的研究小组与日本丰田汽车和丰田中央研究所 (Toyota Central R&D Labs) 共同开发了世界上首个一步法从生物质中制备聚乳酸 (PLA) 的工艺。

申请了该项技术专利的研究人员认为这种聚乳酸的制备工艺更为简单,并将拓宽由可再生资源制备生物可降解聚酯工业应用的范围,同时推动了可再生聚合物的大力发展。

新工艺通过将大肠杆菌 (*E. coli*) 转化为酶催化乳酸聚合,推动了传统制备 PLA 方法的发展,它包括多个复杂步骤,这些步骤从细菌发酵开始,该方法的优点包括选择性合成 PLA 对映体。

在传统制备聚乳酸的工艺中,玉米、甘蔗或土豆等植物的淀粉通过微生物发酵和复杂工艺得到环状乳酸单体,然后

这些环状乳酸单体在加热条件下经金属催化剂催化发生开环聚合反应得到聚乳酸。 JCW, 2008, 49(2490): 1

陶氏新型工业清洁去污剂

美国陶氏化学公司(Dow Chemical Company)推出了一种新型高温清洗溶剂“Dow HT-solve TM515”,并已经成功将其用于清洗聚合物加工过程中反应堆容器、管道、热交换器、泵以及其他被残留聚合物损伤的设备。

Dow HT-solve TM515的溶解能力能够彻底清除工艺设备中残留的聚合物和固体聚合物物料,而且没有传统设备维护所需的体力劳动。

Dow HT-solve TM515是由二苯乙烷和烷基化芳香族化合物组成的混合物,该溶剂在温度高达625°F时仍具有很好的热稳定性且蒸汽压力很低。据称,用这种溶剂清洗比机械清洗更为有效。使用这种溶剂清洗设备可以实现在线清洗且不需要拆卸设备,从而减少了停机时间和对人力的需求,保障了使用者在经济、健康和安全方面的利益。简化且专利化的清洗工艺允许设备在彻底变脏或不能有效操作之前经常清洗。

Chemical Engineering World, 2008, 43(7): 52

功能化有机纳米管批量生产工艺

日本产业技术综合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST)纳米研究中心的研究人员开发了一项金属络合有机纳米管的工艺。科学家们已经制备出用金属离子(如 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Mg^{2+})在有机纳米管内、外表面络合的金属络合有机纳米管材料,并认为这些材料将用于如下领域:利用过渡金属在纳米管内部进行空间配位的新型催化剂;DNA和与生物技术相关的蛋白包含体、吸附及分离工艺;新型电子、磁性及光学材料。例如铜配位有机纳米管可以选择性吸附表面含有氨基的金纳米粒子。

新型纳米材料通过向肽脂质甲醇或乙醇悬浮液中加入金属盐的水溶液制备而成。10 min后形成纳米管,得到质量浓度2~20 g/mL的悬浮液,产量约是替代方法的200倍以上。AIST称该工艺流程简单、能耗小、易于推广。

这是AIST开发的第3项制备有机纳米管的大生产工艺技术,之前开发的工艺用于生产表面带有羟基和羧基的有机纳米管。

Chemical Engineering, 2009, 117(1): 14

新型全氟磺酸聚合物在膜和其他领域中的应用

意大利苏威苏莱克斯(Solvay Solexis)公司已经商业化了一种商品名为Aquivion™的新型全氟磺酸(PFSA)聚合物,该聚合物是专门为聚合物电解质膜(PEM)燃料电池设计的。Aquivion™离子聚合物膜由四氟乙烯和磺酰氟乙烯基醚共聚物所得的低分子质量短侧链(SSC)共聚物经过熔融挤出制备而成,这种离子聚合物膜能够使PEM电池在较宽温度范围内使用,并具有优异的离子导电性。

除了用于聚合物电解质燃料电池外,这种离子聚合物膜还可应用于如下领域,如水电解槽、氢分离器以及膜蒸发或气体加湿系统。该聚合物还可作为分散剂用于制备电极、超酸催化剂或改善膜过滤装置。

Chemical Engineering, 2009, 117(1): 14

首个采用Omega工艺的乙二醇生产装置

荷兰海牙壳牌化工国际公司(Shell Chemicals' B.V.)在新加坡壳牌东方石化综合项目(Shell Eastern Petrochemicals Complex)投资的75万t/a乙二醇(MEG)生产装置将于2010年初竣工,届时将成为全球最大的采用壳牌Omega工艺生产MEG的装置。2008年5月首个利用Omega技术的商业化MEG生产装置投产,即韩国乐天大山石化(Lotte Daesan Petrochemical Corp.)40万t/a的MEG生产装置。

Omega技术综合了2项互补性和高选择性工艺,即壳牌Master EO(环氧乙烷)工艺和三菱化学(Mitsubishi Chemical Corp.)开发并由壳牌于2002年获得独家使用权的催化MEG转化工艺。壳牌公司称,传统工艺将EO转化为MEG的选择性约为90%,与之相比,采用Omega工艺,EO转化为MEG的选择性高达99.3%~99.5%;传统工艺1t乙烯产MEG量为1.53~1.70t,而Omega工艺1t乙烯产MEG量高达1.95t,这些差异

均依赖于所选择的催化剂。

据壳牌公司透露,与替代性技术相比,生产相同产量的MEG,新型Omega装置的资本成本低约10%,同时还少产生30%的废水。当EO反应选择性相同时,Omega装置的汽耗量低20%,且几乎没有副产物(如二乙二醇和三乙二醇等衍生物)产生,因此也不需要对这些副产物进行处理和市场化相关的基础设施和资源。 Chemical Engineering, 2009, 117(1): 13

预处理有助于浮选粗选步骤回收更多煤

通常,煤炭采用重力选煤洁净技术减少灰分和硫分的含量,并通过浮选步骤回收粉煤。目前多种方法已经用于分散煤粒表面的细粘粒,使浮选效率得到改善。南澳大利亚大学Ian Wark研究所的研究人员研究了细粘粒对几种煤样品浮选效率的影响,结果发现,通过筛分出粒径38 μm的煤粒或采用Mozley公司水力旋流器去除煤泥的方法从粗尾矿或原料煤中除去细粒,大大提高了粗煤颗粒的浮选效率。研究小组成员Keith Quast指出,该过程可以回收在浮选粗选阶段没有浮选的煤,否则这些煤将会损失掉。对比2种情况可知,从循环过程中除去煤泥所得可燃物的回收率比没有经过预处理所得可燃物的回收率高。

该研究小组发现,通过筛分出粒径75 μm的细煤粒可以使煤炭回收率从28%(1t煤利用64g柴油浮选20 min)增加至79%(1t煤利用40g柴油浮选12 min);筛分出粒径38 μm的细煤粒时煤炭回收率可达97%(1t煤利用40g柴油浮选12 min)。这说明该过程的缺点是产生了无法去除的细煤粒,因为这些细煤粒中含有大量难以通过浮选回收的煤。筛分细煤粒过程中煤的损失分别为26%(筛分粒径75 μm的细煤粒)和22%(筛分粒径38 μm的细煤粒)。

然而,该研究小组还对比了湿法筛分原料煤或浮选粗选粒径38 μm尾矿与采用水力旋流器对原料煤或尾矿去泥2种去除细煤粒的方法对浮选效率的影响,结果表明,通过筛分或脱煤泥法从粗尾矿中除去细煤粒使用较少柴油(1t煤使用柴油20g而不是54g)浮选出高比例的煤,提高浮选效率。

Chemical Engineering, 2009, 117(1): 16

液化天然气气化工艺 将减少污染气体排放

美国 Black & Veatch 公司将提供一种液化天然气(LNG)气化的新方法,这种方法比传统浸没燃烧蒸发(SCV)工艺更加环保。

在传统 SCV 工艺中,LNG 流经浸没在水浴中的不锈钢管道,由热水加热而蒸发。而水浴中的热水则由浸没式煤气炉中喷出的燃烧气加热。B&V 公司“LNG 技术”部门副经理 Brian Price 称,该工艺热效率接近 100%。但是,他指出 SCV 工艺的缺点是燃烧气体在水浴中产生亚硝酸、硝酸、碳酸及其他酸,并且释放出氮氧化物(NO_x)和一氧化碳气体。同时,水浴中的水必须进行中和以保持水的 pH 在 6 以上,而且这些水还需要进行回收处理。

B&V 公司将该方法取名为加热器蒸发技术(FHVT)。该工艺采用一种带有低 NO_x 燃烧器和锅炉烟气再循环装置的传统加热器,利用燃烧气加热闭环循环液体(通常是水)至 100~200 $^{\circ}\text{F}$,循环液体通过管壳式换热器蒸发 LNG。

Price 称 B&V 公司已经获得了这项技术的外观设计专利,但是还没有试用。他还指出,该工艺避免了大量废水的回收处理,并计算出 NO_x 气体排放量会降低,推测 NO_x 排放量与配有选择性催化还原装置的 SCV 工艺相近。CO 排放预测比 SCV 体系低 20%。初步计算表明该工艺的总效率与 SCV 相当。

Chemical Engineering, 2009, 117(1): 17

从火电厂捕获二氧化碳

澳大利亚 CSIRO 能源技术研究所(新南威尔士州及维多利亚州)和其他研究机构组成的一个研究小组为了将 CO_2 燃烧后捕集(PCC)法进行商业化应用,开发了一项集研发和中试装置于一体的项目。该项目包括 4 个中试装置:①位于维多利亚坑口燃煤电厂(Loy Yang power station)的拉特罗布河谷 PCC 中试装置于 2008 年 3 月启动,该装置利用胺作 CO_2 的吸收溶剂,并将用于测试维多利亚褐煤的烟气,装置捕获 CO_2 的容量范围为 100~500 kg/h。②第 2 个中试装置建在 NSW 三角洲电力公司(Delta Electricity)的 Lake Munmorah 烟煤燃煤发电厂,目前正在进行调试。该装置利用

氨水捕获二氧化碳。③第 3 个中试装置设在昆士兰州的 Tarong 电站,着重用来确定烟气的最佳溶剂,该装置将在 2009 年上半年修建,并于 2009 年下半年启动。④CSIRO 已经与西安热工研究院及中国华能集团公司合作在华能北京热电厂进行开发和运行以胺为溶剂的中试装置。该热电厂有烟气脱硫(FGD)和烟气脱硝技术(DeNO_x)(澳大利亚电厂没有这 2 项技术)。中国电厂将帮助 CSIRO 了解每种污染物在综合污染控制系统和单独控制技术方面的取舍。这项工作已于 2008 年 6 月开始进行。

CSIRO 能源技术研究所 PCC 科学的带头人 Paul Feron 称,捕获技术和电厂技术的进一步开发将使电厂发电效率提高,并且 CO_2 捕获率高达 90%。

Chemical Engineering, 2009, 117(1): 14

铁催化使芳基和烷基格氏试剂的 偶联更为简化

将卤代芳烃和卤代烷进行直接交叉偶联形成取代芳基化合物是有机合成反应中最重要的一类反应,“一锅反应”可形成格氏试剂和铁催化剂这种新方法的产生,使上述反应更容易进行。

“一锅反应”形成格氏试剂和铁催化剂的方法由德国科隆大学的 Waldemar M. Czaplík、Matthias Mayer 和 Axel Jacobi von Wangelin 根据之前的铁介导格氏交叉偶联法设计而成。标准格氏交叉偶联反应通常会预先形成大量有害的有机镁试剂,与之不同的是,新方法是原位形成格氏试剂,这样就避免了与钯和镍交叉偶联催化剂相关的成本及毒性较高的难题。

为了将新方法用于直接交叉偶联形成取代芳基化合物这个典型有机反应中,研究人员将溶解在四氢呋喃溶剂中的 FeCl_3 加入到含有镁屑的烧瓶中,同时向其中加入稳定有机金属中间体的配体四甲基乙二胺,然后加入芳基溴和烷基溴试剂。将上述混合物在 0 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 3 h 后终止反应并分离出产品即可。

Jacobi von Wangelin 将上述反应解释为铁催化原位形成格氏试剂,尽管具体细节还不清楚,但是在反应过程中似乎芳基铁和芳基镁活性种起作用。芳基铁或芳基镁形成的同时,活性交叉偶联催化剂也形成了,研究人员认为这种活性交叉偶联催化剂是 $\text{Fe}(\text{MgX})_2$,其中 X 是

氯或溴。

该研究小组利用不同芳基-烷基和烯基-烷基组合形成偶联产品,产率高达 81%。Jacobi von Wangelin 指出,格氏试剂形成慢而铁催化偶联步骤快相结合使整个反应过程中反应性有机镁中间体保持较低浓度。C&EN, 2009, 87(2): 6

用超临界二氧化碳清洁多孔金属 有机骨架

随着超临界二氧化碳处理技术的出现,金属有机骨架(MOFs)在吸附分子方面获得了快速发展,这是由于超临界 CO_2 技术可以彻底清洁晶体材料的微孔。美国西北大学(Northwestern University)的化学家 Andrew P. Nelson, Omar K. Farha, Karen L. Mulfort 和 Joseph T. Hupp 报道,与目前清洁新合成材料所用的标准溶剂蒸发技术相比,超临界 CO_2 技术大大增加了 MOFs 的可用内表面积。

MOFs 是通过有机连接链相互连接起来的金属簇,该设计赋予材料较大的微孔、开放的渠道和庞大的内表面积用于吸附分子。但是实验测得的骨架的表面积通常小于通过模型和晶体结构计算得到的表面积。

Hupp 解释说,这种差异归因于 MOF 粒子间微孔的塌陷及溶剂去除后内部 MOF 通道的塌陷,或将其归因于残留溶剂或未反应试剂分子。MOF 粒子间微孔和内部通道的塌陷或游离分子的存在堵塞了一些吸附位点的通道,从而限制了材料催化或纯化及储存气体分子。

科学家试图通过激活 MOFs 解决上述问题,即一项在真空条件下加热材料以驱散多余分子的工艺。但是该过程产生的结果不一致。

UCLA 大学的一位 MOF 专家 Omar M. Yaghi 强调,彻底从微孔中清除残留分子对于 MOFs 的商业应用非常重要。超临界流体处理技术用于激活无定形聚合物和 SiO_2 基材料,但是该技术对多孔晶体材料的清洁却不奏效。

美国西北大学研究小组的研究人员利用“超临界干燥法”替代含有较多挥发性溶剂乙醇的合成溶剂,然后将样品中充满液体 CO_2 。之后在一定压力条件下加热样品使其达到 CO_2 的临界点 31 $^{\circ}\text{C}$ 和 7.3 MPa,在该临界点处, CO_2 具有介于气体和液体之间的性质。

在超临界条件下处理 30 min 后,将

CO₂ 放掉的同时可以清扫碎屑,使微孔更清洁、更完整并使分子更容易到达。研究人员发现,同经过标准激活方法处理的 MOFs 相比,超临界 CO₂ 技术处理羧酸锌 MOFs 可使其内表面积增加高达 12 倍之多。 C&EN, 2009, 87(2): 7

拉曼光谱法使细胞中的类脂和组织中的药物成像

一种新的、高灵敏度的拉曼光谱显微镜方法能够使研究人员分辨活体细胞中不同类型的类脂,并且监测药物的透皮传输过程。最终,它可能会成为生物医学成像的新方法。

美国哈佛大学的研究生 Christian W. Freudiger、博士后 Wei Min、化学教授 X. Sunney Xie 及其同事描述了这项技术,其以所谓的受激拉曼散射光谱(SRS)为基础。与荧光显微镜方法不同的是,拉曼方法(如 SRS 显微镜)不需要引入体积较大的标记分子,因为这些标记分子的引入通常会干扰生物系统。

Xie 带领的研究小组与哈佛大学医学院 Jing X. Kang 的研究小组合作,利用 SRS 对类脂及生物样品中局部用药的吸

收情况进行成像。例如,他们利用 SRS 监测培养的人肺癌细胞中 ω -3 脂肪酸的吸收情况。通过与辉瑞全球医疗(Pfizer Global Medical)的 Jason C. Tsai 合作, Xie 及其同事还观察了痤疮和抗衰老药维甲酸向皮肤渗透的过程。

相干反斯托克斯拉曼散射(CARS)显微镜是 Xie 及其同事开发的另外一种拉曼成像技术, SRS 显微镜与 CARS 显微镜相比具有许多优点。例如,与 CARS 光谱不同的是, SRS 光谱看起来与标准拉曼光谱相同。这种相似性使 SRS 光谱更易于解释并且意味着用户可以以文献中报道的有关标准拉曼光谱为依据对 SRS 光谱进行判别。

SRS 的最大优点和对该方法灵敏度的重要贡献是减少了背景信号,从而使背景信号对谱峰无干扰。CARS 中背景信号较强这一缺点限制了分辨较好谱峰的拉曼光谱的使用范围,如背景信号可以在类脂光谱的 C-H 伸缩振动区域内发现,从而干扰了对类脂特征峰的判断。相反, SRS 即使在谱峰非常密集的拉曼光谱的指纹区也能进行很好的分辨。两者之间的差别意味着 SRS 显微镜比 CARS

显微镜具有更宽的分子成像范围。

美国普渡大学(Purdue University)的 CARS 专家 Ji-Xin Cheng 指出,现有方法虽然抑制了 CARS 中的背景信号,但是这些方法都太复杂以至于不能在实际的生物体系中应用。他说,受激拉曼显微镜能够在相对简单的平台上进行无背景成像。

类脂显示所有类脂在 2 920 cm⁻¹处都有拉曼吸收,但是不饱和脂肪酸在 3 015 cm⁻¹处的吸收仍可以分辨出来。峰的强度与类脂分子结构中双键的数目成正比。

为了将癌症细胞中的 ω -3 脂肪酸成像, Xie 及其同事将注意力集中在研究不饱和类脂的拉曼特征吸收峰。他们致力于研究样品的 2 束激光器光束,这些激光器光束能够调节它们频率差值,使其符合所期望的拉曼光谱。这种频率匹配放大了拉曼信号,并且改变了 2 项激光器光束的强度。他们可以通过变换一个激光束及利用相敏检波图测定强度变化,这些强度变化就是 SRS 信号,通过在样品许多点上重复这些过程就可以产生成像。 C&EN, 2008, 86(51): 6

(上接第 90 页)

- [10] Pomelli C S, Chiappe C, Vidis A, *et al.* Influence of the interaction between hydrogen sulfide and ionic liquids on solubility: Experimental and theoretical investigation[J]. *J Phys Chem B*, 2007, 111(45): 13014 - 13019.
- [11] Wu W Z, Han B X, Gao H X, *et al.* Desulfurization of flue gas: SO₂ absorption by an ionic liquid[J]. *Angew Chem Int Ed*, 2004, 43(18): 2415 - 2417.
- [12] Tang J B, Sun W L, Tang H D, *et al.* Enhanced CO₂ absorption of poly(ionic liquid)s[J]. *Macromolecules*, 2005, 38(6): 2037 - 2039.
- [13] 李长平, 辛宝平, 徐文国, 等. 疏水性离子液体为溶剂对 Co²⁺ 和 Cd²⁺ 废水的萃取性能[J]. *过程工程学报*, 2007, 7(4): 674 - 678.
- [14] Khodadoust A P, Chandrasekaran S, Dionysiou D D. Preliminary assessment of imidazolium-based room temperature ionic liquids for extraction of organic contaminants from soils[J]. *Envi Sci Tec*, 2006, 40(7): 2339 - 2345.
- [15] 顾彦龙, 杨宏洲, 邓友全. 离子液体中聚碳酸酯光盘的降解: 碳酸二苯酯的回收[J]. *化学学报*, 2002, 60(4): 753 - 757.
- [16] Kamimura A, Yamamoto S. A novel depolymerization of nylons in ionic liquids[J]. *Polym Advan Technol*, 2008, 19(10): 1391 - 1395.
- [17] Pretti C, Chiappe C, Pieraccini D, *et al.* Acute toxicity of ionic liquids to the zebrafish (*Danio rerio*) [J]. *Green Chem*, 2006, 8(3): 238 - 240.
- [18] Cho C W, Jeon Y C, Pham T P T, *et al.* The ecotoxicity of ionic liquids and traditional organic solvents on microalga *Selenastrum capricornutum* [J]. *Ecotox Environ Safe*, 2008, 71(1): 166 - 171.
- [19] Couling D J, Bernot R J, Docherty K M, *et al.* Assessing the factors responsible for ionic liquid toxicity to aquatic organisms via quantitative structure-property relationship modeling[J]. *Green Chem*, 2006, 8(1): 82 - 90.
- [20] Wells A S, Coombe V T. On the freshwater ecotoxicity and biodegradation properties of some common ionic liquids[J]. *Org Process Res Dev*, 2006, 10(4): 794 - 798.
- [21] Stasiewicz M, Mulkiewicz E, Tomczak-Wandzel R, *et al.* Assessing toxicity and biodegradation of novel, environmentally benign ionic liquids (1-alkoxymethyl-3-hydroxypyridinium chloride, saccharinate and ace-sulfamates) on cellular and molecular level[J]. *Ecotox Environ Safe*, 2008, 71(1): 157 - 165.
- [22] Romero A, Santos A, Tojo J, *et al.* Toxicity and biodegradability of imidazolium ionic liquids[J]. *J Hazard Mater*, 2008, 151(1): 268 - 273.
- [23] Harjani J R, Singer R D, Garcia M T, *et al.* The design and synthesis of biodegradable pyridinium ionic liquids[J]. *Green Chem*, 2008, 10(4): 436 - 438.
- [24] Garcia M T, Gathergood N, Scammells P J. Biodegradable ionic liquids: Part II. Effect of the anion and toxicology[J]. *Green Chem*, 2005, 7(1): 9 - 14.
- [25] Siedlecka E M, Mroziak W, Kaczynski Z, *et al.* Degradation of 1-butyl-3-methylimidazolium chloride ionic liquids in a Fenton-like system[J]. *J Hazard Mater*, 2008, 154(1/2/3): 893 - 900. ■