

文章编号: 0253-2409(2014)01-0055-06

功能化酸性离子液体脱除模拟油品中的非碱性氮

王 辉^{1,2}, 解从霞³, 于世涛¹, 刘福胜¹

(1. 青岛科技大学 化工学院, 山东 青岛 266042;

2. 青岛农业大学 化学与药学院, 山东 青岛 266109; 3. 青岛科技大学 化学与分子工程学院, 山东 青岛 266042)

摘 要: 合成了一系列功能化酸性离子液体并用于模拟油品中非碱性氮-吲哚的脱除。结果表明, 离子液体的阴离子对脱氮率有较大影响, 离子液体的酸性越强, 对吲哚的选择性脱除效果越好, 不同阴离子的脱氮率顺序为: $\text{HSO}_4^- > \text{CF}_3\text{COO}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$ 。以 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 为例, 考察了剂油比、剂水比、沉降时间、反应时间和温度对油品脱氮率的影响。结果表明, 在优化的工艺路线下, $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 对油品中的吲哚脱除率可达 99.12%, 重复使用六次后, 脱氮活性未见明显降低, 具有良好的稳定性。

关键词: 功能化; 酸性离子液体; 脱氮; 非碱性氮; 吲哚

中图分类号: O645.13 **文献标识码:** A

Removal of non-basic nitrogen in model oil with functionalized acidic ionic liquid

WANG Hui^{1,2}, XIE Cong-xia³, YU Shi-tao¹, LIU Fu-sheng¹

(1. College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China;

2. College of Chemistry and Pharmacy Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

3. College of Chemistry and Molecular Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: A series of functionalized acidic ionic liquids (ILs) were synthesized and used to remove non-basic nitrogen (indole) in model oil. The results indicate that the anions have a significant impact on the denitrification efficiency; the denitrification rate of the ionic liquids with various anions increases with their acidity, i. e. it follows the order of $\text{HSO}_4^- > \text{CF}_3\text{COO}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$. The effects of IL/oil ratio, IL/ H_2O ratio, settlement time, reaction temperature and time on the denitrification efficiency of $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ were well considered. The results showed that 99.12% indole nitrogen in the oil can be removed with $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ under the optimum condition; furthermore, the IL exhibits high stability and its denitrification activity remains almost unchanged even after being reused for six times.

Key words: functionalization; acidic ionic liquid; denitrification; non-basic nitrogen; indole

油品中的氮化物有碱性氮(苯胺、吡啶、喹啉)和非碱性氮(吡咯、吲哚、呋唑)^[1~3], 它们会随着油品的燃烧以 NO_x 的形式排入大气, 造成大气污染和酸雨等危害^[4,5]。随着环保法规的日益严格, 迫切需求零氮含量的清洁燃油。

工业上油品中氮化物的脱除以催化加氢为主, 但由于设备投资较大、操作条件苛刻而难以在中小炼油企业推广^[6,7]。现在, 人们逐渐把目光转向条件相对缓和的非加氢脱氮, 非加氢脱氮主要包括萃取法、氧化还原萃取法、吸附法和微生物法。近几年, 采用离子液体对油品中的氮化物进行液液萃取取得了较大的进展^[8~12], 研究表明, 阳离子为烷基咪唑, 阴离子为 Cl^- 、 $\text{N}(\text{CN})_2^-$ 等中性离子液体能够有效脱除油品中的氮化物, 尤其对非碱性氮(呋唑)

脱除效果比较理想; 已有的研究表明, 酸性离子液体可有效脱除油品中的碱性氮^[13~16], 采用酸性离子液体脱除非碱性氮的研究报道还极少。

SO_3H -功能化离子液体作为一种新型的环境友好溶剂和液体酸催化剂, 它同时拥有液体酸的高密度反应活性位和固体酸不易挥发的优点, 而且易与产物分离^[17,18]。本实验采用成本更加低廉的三乙胺为原料, 阴离子选用无机酸的 HSO_4^- 、 H_2PO_4^- 和有机酸的 CH_3COO^- 、 CF_3COO^- , 设计合成了具有酸性梯度的功能化离子液体并尝试对非碱性氮(吲哚)油品进行脱除, 以 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 为例, 探讨了剂油比、剂水比、反应时间、反应温度、沉降时间对脱氮效果的影响。

收稿日期: 2013-07-15; 修回日期: 2013-09-17。

基金项目: 国家自然科学基金(21176129)。

联系作者: 于世涛, Tel/Fax: 0532-84022719, E-mail: yushitaoqust@126.com。

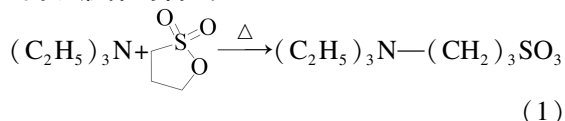
1 实验部分

1.1 仪器与试剂

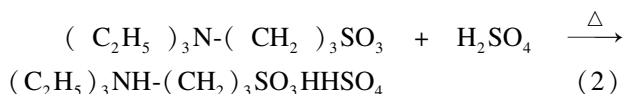
美国 Nicolet 公司 NEXUS 智能型傅里叶红外光谱仪;德国 BRUKER 公司 500 MHz 核磁共振仪(D_2O 为溶剂);上海司乐仪器有限公司 95-2 磁力搅拌器;奥豪斯国际贸易(上海)有限公司电子分析天平;北京市科仪电光仪器厂 pHs-25 酸度计,江苏江分电分析仪器有限公司 TN-3000 氮测定仪。

所用试剂均为分析纯,三乙胺及 1,3-丙烷磺内酯使用前经蒸馏纯化处理。

1.2 离子液体的合成



将 0.5 mol 1,3-丙烷磺内酯置于 250 mL 三口烧瓶中,加入 100 mL 乙酸乙酯搅拌使其溶解,氮气氛围下滴加三乙胺 0.55 mol。滴加完毕升温至 35~40℃,反应 12 h。得到白色固体,用无水乙醚(20 mL×3)洗涤,旋蒸脱溶后,80℃真空干燥得纯白色粉末 3-三乙胺丙烷-1-磺酸内盐,产率 95.4%。



在 100 mL 圆底烧瓶中,加入 0.1 mol 3-三乙胺丙烷-1-磺酸内盐和 20 mL 蒸馏水,冰浴下,缓缓滴加 0.1 mol 浓硫酸,滴加完毕后升温至 60℃,反应 8 h。减压蒸馏除水,用无水乙醚(10 mL×3)洗涤。80℃真空干燥得产物,产率 90%^[19]。

1H NMR (500 MHz, D_2O): δ 2.10 (m, 2H)、2.69 (t, 2H)、3.67 (s, 3H)、4.14 (t, 2H)、7.23 (s, 1H)、7.29 (s, 1H)、8.51 (s, 1H)。FT-IR (KBr disc): ν 3 477、3 159、3 116、1 623、1 575、1 464、1 367、1 338、1 227、1 170、1 048、835、747、621 cm^{-1} 。

其他 SO_3H -功能化离子液体的合成方法同上,仅将硫酸更换为磷酸、乙酸、三氟乙酸。所合成的离子液体为无色至浅黄色黏稠液体,易溶于水和乙醇,不溶于乙醚、正庚烷、甲苯和乙酸乙酯。

1.3 模拟油品

将 125.42 mg (1.07 mmol) 分析纯的吡啶溶解在 100 mL 正庚烷-甲苯(体积比为 80/20)中,配成氮质量浓度为 150 mg/mL 的模拟油品。

1.4 离子液体脱氮实验

典型离子液体脱氮实验:在一个 100 mL 的具塞

玻璃瓶中,取 1 g 离子液体溶于 0.5 g 的去离子水中,加入 5 g 吡啶模拟油品,恒温磁力搅拌一段时间,静置后取上层油品,用 TN-3000 氮测定仪测其氮含量。离子液体对氮的脱除效率可由下式计算得出:

$$\eta = \frac{c_0 - c_1}{c_0} \quad (3)$$

式中, c_0 和 c_1 分别表示模拟油品中氮的初始浓度和处理后的浓度。

1.5 离子液体酸度检测

准确称量 0.001 mol 离子液体,加去离子水溶解,在 100 mL 容量瓶中定容,配成浓度为 0.01 mol/L 离子液体的水溶液,用 pHs-25 酸度计测其 pH 值,平行测定三次取平均值。

1.6 离子液体回用实验

脱氮实验完毕,分液漏斗分离上层模拟油品和下层离子液体,下层离子液体用石油醚(10 mL×3)洗涤,干燥后再次取同量模拟油品,在相同条件下进行重复实验。

2 结果与讨论

2.1 不同离子液体对脱氮反应的影响

在剂油比 1:5、剂水比 2:1、反应温度 50℃,反应时间 2 h、沉降时间 0.5 h 条件下,考察了不同离子液体对吡啶模拟油品的脱除,其结果见表 1。同时,采用与离子液体具有相同阴离子的酸作为对照,结果见表 1。

由表 1 可知,对照组无机酸(H_2SO_4 、 H_3PO_4)和有机酸(CH_3COOH 、 CF_3COOH)均能够脱除吡啶,其中, H_2SO_4 几乎 100% 脱除吡啶,而 H_3PO_4 对吡啶的脱除率只有 12.23%,说明酸性越强,脱氮效果越好。这一点在有机酸上也得到体现。

在阳离子相同的条件下,不同阴离子的离子液体对吡啶的脱除顺序为 $HSO_4^- > CF_3COO^- > H_2PO_4^- > CH_3COO^-$,这与采用酸直接脱除吡啶油品的结果一致,说明设计合成强酸性离子液体进行吡啶的脱除是合理可行的。其原因是,吡啶和苯胺、吡啶、喹啉等碱性氮组分相比,其碱性相对较弱,故一般较弱的酸难以将其脱除,功能化离子液体由于在三乙胺侧链引入了 SO_3H ,且阴离子均为酸性,使其结构上保持较强的酸性。

从分子结构上看,吡啶分子中吡咯环具有 5 原子 6p 电子的芳香环结构, π 电子云密度较大,易发生亲电反应,三乙胺阳离子虽不含大 π 键,但却可

以形成 σ - p 超共轭体系,氮原子上的正电荷和烷基取代基的供电子作用一定程度上改变了其极化性。在与吡啶接触过程中,具有高极性 π 电子云密度的吡啶分子易被极化,与离子液体相互作用而形成络合物,从而被离子液体萃取出来,这种相互作用主要是分子间 π - π 键相互作用的结果。同时,由于离子

液体分子结构较大,部分有机氮分子插入到离子液体动态的分子结构中,形成液相包合物,提高了离子液体的脱氮效率。

由于 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 对吡啶模拟油品表现出较高的选择性,下面对其脱氮工艺路线进行优化。

表 1 不同脱氮剂脱除吡啶油品
Table 1 N-removal efficiency of different agent

Agent	η / %	pH value (0.01 mol · L ⁻¹)
H ₂ SO ₄	100.00	1.70
H ₃ PO ₄	12.23	2.15
CF ₃ COOH	68.63	1.90
CH ₃ COOH	5.65	3.31
(CH ₃ CH ₂) ₃ N(CH ₂) ₃ SO ₃ HHSO ₄	92.62	1.88
(CH ₃ CH ₂) ₃ N(CH ₂) ₃ SO ₃ HH ₂ PO ₄	34.30	2.83
(CH ₃ CH ₂) ₃ N(CH ₂) ₃ SO ₃ HCF ₃ COO	60.42	2.67
(CH ₃ CH ₂) ₃ N(CH ₂) ₃ SO ₃ HCH ₃ COO	27.45	3.19

2.2 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 脱除吡啶模拟油品

2.2.1 剂油比对脱氮效果的影响

取 1 g 离子液体溶于 0.5 g 去离子水,分别加入 1、3、5、10、15 g 模拟油品,40 ℃ 磁力搅拌 1 h,沉降 5 min 后,取上层油品测氮含量,结果见图 1。

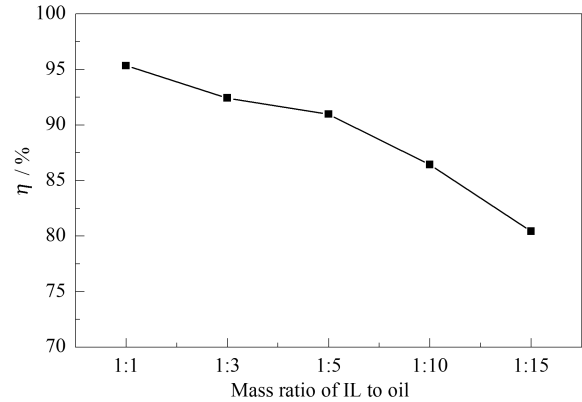


图 1 不同剂油比下离子液体的脱氮率
Figure 1 N-removal efficiency of different mass ration of IL/oil

由图 1 可知,随着剂油比的增大,脱氮率由 1:15 时的 80.42% 增加到 1:1 时的 95.33%,可见剂油比对脱氮效果影响显著,离子液体用量多,增加了吡啶与离子液体接触的几率,更有利于萃取,脱除效果增强,考虑到成本,选取剂油比为 1:5 继续进行探讨。

2.2.2 反应温度对脱氮效果的影响

取 1 g 离子液体溶于 0.5 g 去离子水中,加入

5 g 模拟油品,改变反应温度 (20 ~ 60 ℃),磁力搅拌 1 h 后静置 5 min,取上层油品测氮浓度,测试结果见图 2。

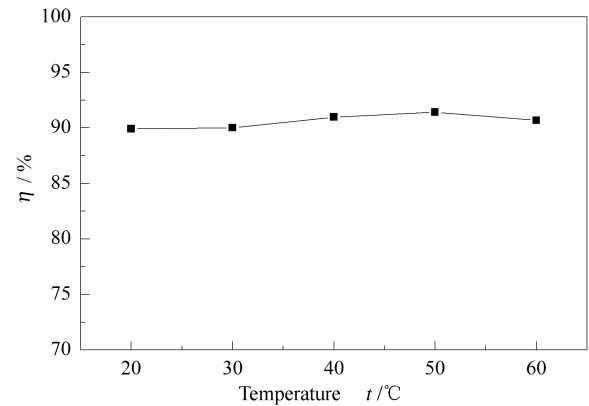


图 2 不同温度下离子液体的脱氮率
Figure 2 N-removal efficiency of different temperature

由图 2 可以看出,在 20 ~ 50 ℃,随着温度的升高,脱氮率由 89.9% 升至 91.4%,变化并不显著,说明温度对离子液体脱氮影响不大。当温度升至 60 ℃,脱氮率反而有所下降,这是因为离子液体是通过络合萃取来脱除油品中的氮化物,作为 Brønsted 酸的离子液体与氮化物发生络合反应是放热反应,随着温度的升高,反而不利于反应正向进行。因此,在常温或略高于常温条件下离子液体就能正常发挥作用。故选择 20 ℃ 进行反应。

2.2.3 反应时间对脱氮效果的影响

取 1 g 离子液体溶于 0.5 g 去离子水中,加入

5 g 模拟油品, 20 ℃ 反应 0.5 ~ 3.0 h, 沉降 5 min 取样测试, 考察反应时间对脱氮效果的影响, 实验结果见图 3。

由图 3 可知, 随着反应时间的延长, 离子液体对吡啶的脱氮率由 0.5 h 的 80.25% 增至 3.0 h 的 91.60%, 1.5 h 后反应趋于平衡。区别于碱性氮脱除一般在 5 ~ 30 min 达到平衡^[13,16], 非碱性氮的脱除相对比较困难, 反应时间的延长可增加吡啶与离子液体接触的几率, 提升脱除率。为使反应更加充分, 反应时间选取 1.5 h。

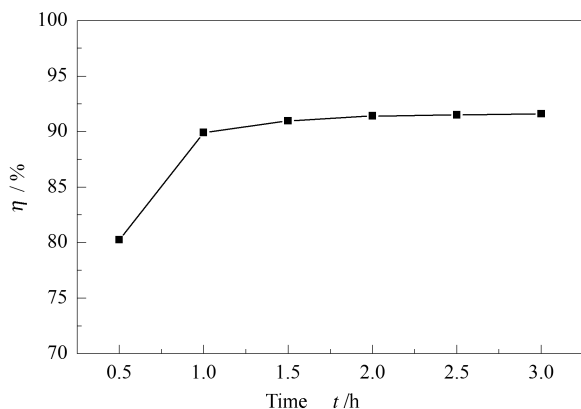


图 3 不同时间下离子液体的脱氮率

Figure 3 N-removal efficiency of different time

2.2.4 剂水比对脱氮效果的影响

取 1 g 离子液体, 用 0 ~ 2.5 g 去离子水稀释, 加入 5 g 模拟油品, 20 ℃ 控温反应 1.5 h, 沉降 5 min 取样测试, 考察剂水比对脱氮效果的影响, 其实验结果见图 4。

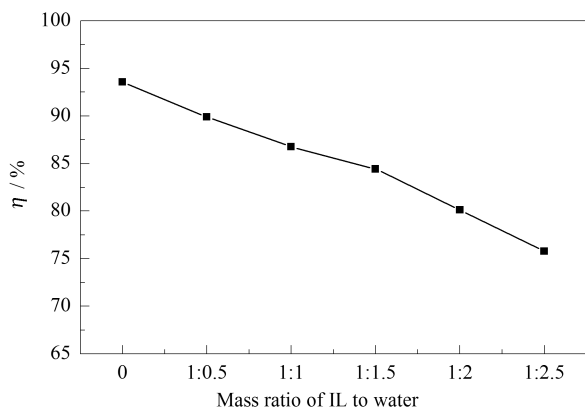


图 4 不同剂水比下离子液体的脱氮率

Figure 4 N-removal efficiency of different mass ration of IL/water

由图 4 可知, 随着水量的增加, 离子液体对吡啶的脱除率逐渐下降, 这是因为, 吡啶不溶于冷水, 而

离子液体能与水互溶, 加水之后会降低吡啶在离子液体水溶液中的溶解度。当剂水比为 2:1 时, 离子液体溶解在水中, 形成离子液体的水溶液, 油相与水相互不相溶形成均匀的两相, 脱氮效果虽然变差但便于分离; 对于常温下比较黏稠甚至是固态的离子液体, 加少量水有利于操作, 便于脱氮实验的实施。考虑到脱氮率的影响, 不加水进行下面实验。

2.2.5 沉降时间对脱氮效果的影响

取 1 g 离子液体, 加入 5 g 模拟油品, 20 ℃ 控温反应 1.5 h, 沉降不同时间取样测试, 考察沉降时间对脱氮效果的影响, 其结果见图 5。

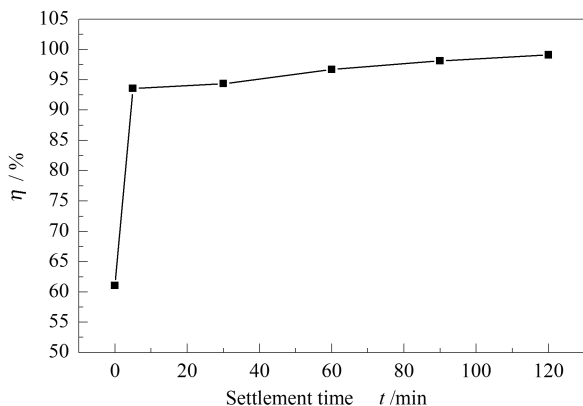


图 5 不同沉降时间下离子液体的脱氮率

Figure 5 N-removal efficiency of different settlement time

由图 5 可知, 沉降时间对吡啶脱除率有显著的影响, 反应完毕直接取样, 脱氮率仅为 61.03%, 此时油相与离子液体相尚未完全分离, 少部分吡啶仍留在油相; 沉降 5 min 后, 脱氮率突跃至 93.56%, 说明两相在短时间内即可达到较好的分离效果。随着沉降时间的延长, 分层更加彻底, 120 min 后取样检测, 脱氮率达到 99.12%, 油品中的氮浓度由 150 mg/L 降至 1.32 mg/L。

通过单因素实验可以看出, 影响离子液体 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 脱除油品中吡啶的主要因素为剂油比、剂水比和沉降时间, 反应时间和反应温度对最终结果影响不大。脱除吡啶模拟油品的较优工艺路线为: 剂油比 1:5、剂水比 1:0, 反应时间 1.5 h, 反应温度 20 ℃, 沉降时间 2 h, 此条件下脱氮率可达 99.12%。

2.2.6 离子液体回用实验

离子液体经处理后回用 6 次的脱氮效果见表 2 与图 6。由表 2 和图 6 可知, 回用 6 次后, 脱氮效果仍能达到 94% 以上, 说明该离子液体的重复使用性能良好, 回用前后的红外光谱图变化极小, 说明离子

液体结构没有发生改变。

表 2 回用次数与脱氮率

Table 2 N-removal efficiency of different reused times

Reused time	1	2	3	4	5	6
$\eta/\%$	99.12	99.10	97.99	98.47	94.35	94.10

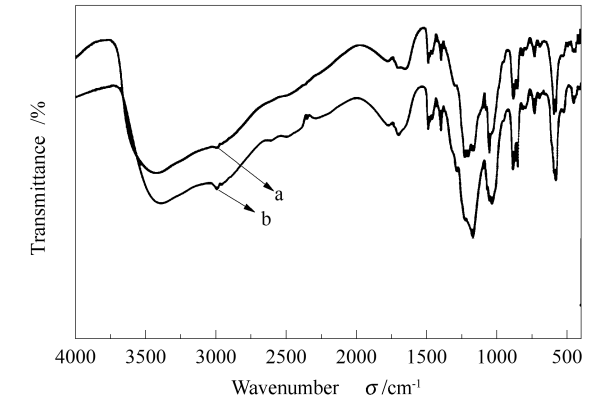


图 6 回用前后离子液体的红外光谱图
Figure 6 FT-IR spectra comparison
of IL before and after reuse

a: $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$; b: reused 6 times

3 结 论

合成了四种-SO₃H 功能化离子液体 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 、 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HH}_2\text{PO}_4$ 、 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HCH}_3\text{COO}$ 、 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HCF}_3\text{COO}$ ，并用于模拟油品的非碱性氮(吡啶)脱除,结果表明,四种阴离子不同的离子液体对吡啶的脱除率顺序 $\text{HSO}_4^- > \text{CF}_3\text{COO}^- > \text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$,说明离子液体酸性越强,对吡啶脱除率越高。进一步优化了离子液体 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 的脱氮工艺,在剂油比 1:5、剂水比 1:0、反应时间 1.5 h、反应温度 20℃、沉降 2 h 条件下, $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 对吡啶模拟油品的脱氮率为 99.12%,且离子液体经简单处理后可以重复回用。相对于传统的易腐蚀设备、污染环境、不能重复使用的硫酸, $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{SO}_3\text{HHSO}_4$ 绿色可回用,相比其他咪唑类离子液体,该离子液体成本更加低廉,具有良好的开发前景。

参考文献

[1] BUSCA G. Bases and basic materials in industrial and environmental chemistry: A review of commercial processes[J]. Ind Eng Chem Res, 2009, **48**(14): 6486-6511.

[2] ZHANG J, XU J, QIAN J, LIU L. Denitrogenation of straight-run diesel with complexing extraction[J]. Pet Sci Technol, 2013, **31**(8): 777-782.

[3] SHI Q, HOU D J, CHUNG K H, XU C M, ZHAO S Q, ZHANG Y H. Characterization of heteroatom compounds in a crude oil and its saturates, aromatics, resins, and asphaltenes (SARA) and non-basic nitrogen fractions analyzed by negative-ion electrospray ionization fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry[J]. Energy Fuels, 2010, **24**(4): 2545-2553.

[4] REVELLIN N, DULOT H, GARCIA C L, BACO F. Specific nitrogen boiling point profiles of vacuum gasoils[J]. Energy Fuels, 2005, **19**(6): 2438-2444.

[5] LI N, MA X L, ZHA Q F, SONG C S. Analysis and comparison of nitrogen compounds in different liquid hydrocarbon streams derived from petroleum and coal[J]. Energy Fuels, 2010, **24**(10): 5539 -5547.

[6] 路蒙蒙, 孙守华, 丁保宏, 杨欣佳, 臧树良. 加氢脱氮反应研究进展[J]. 化工科技, 2011, **19**(1): 65-71.
(LU Meng-meng, SUN Shou-hua, DING Bao-hong, YANG Jia-xin, ZHANG Shu-liang. Advance in research on hydrodenitrogenation[J]. Science and Technology in Chemical Industry, 2011, **19**(1): 65-71.)

[7] HALLETT J P, WELTON T. Room-temperature ionic liquids: Solvents for synthesis and catalysis. 2[J]. Chem Rev, 2011, **111**(5): 3508 -3576.

[8] XIE L L, REGUILLON A F, ROSTAING S P, WANG X X, FU X Z, ESTAGER J, VRINAT M, LEMAIRE M. Selective extraction and identification of neutral nitrogen compounds contained in straight-run diesel feed using chloride based ionic liquid[J]. Ind Eng Chem Res, 2008, **47**(22): 8801-8807.

[9] ZHANG S G, ZHANG Q L, ZHANG Z C. Extractive desulfurization and denitrogenation of fuels using ionic liquids[J]. Ind Eng Chem Res, 2004, **43**(2): 614-622.

[10] HANSMEIER A R, MEINDERSMA G W, HANN A B. Desulfurization and denitrogenation of gasoline and diesel fuels by means of ionic liquids[J]. Green Chem, 2011, **13**: 1907-1913.

[11] HUH E S, ZAZYBIN A, PALGUNADI J, AHN S, HONG J, KIM H S, CHEONG M, AHN B S. Zn-containing ionic liquids for the extractive denitrogenation of a model oil: A mechanistic consideration[J]. Energy Fuels, 2009, **23**(6): 3032-3038.

[12] ASUMANA C, YU G R, GUAN Y W, YANG S D, ZHOU S Z, CHEN X C. Extractive denitrogenation of fuel oils with dicyanamide-based ionic liquids[J]. Green Chem, 2011, **13**: 3300-3305.

[13] 侯明慧, 施力. 离子液体脱除柴油中碱性氮化物的研究[J]. 石油与天然气化工, 2008, **37**(5): 383-385.
(HOU Ming-hui, SHI Li. Removal of basic nitrogen compounds from the diesel oil by using ionic liquids[J]. Chemical Engineer of Gas and Oil, 2008, **37**(5): 383-385.)

[14] 金昌磊, 吕燕, 苑丽质, 刘华宾, 蔺东海. 离子液体脱除柴油中碱性氮的研究[J]. 唐山学院学报, 2010, **23**(6): 74-76.

- (JIN Chang-lei, LV Yan, YUAN Li-zhi, LIU Hua-bin, LIN Dong-hai. Study of removing basic nitrogen compounds from diesel with acid ionic liquid[J]. Journal of Tangshan College, 2010, **23**(6): 74-76.)
- [15] 冯锦锋, 袁军, 杨梅, 魏宇, 陈小霞. 液体脱除焦化柴油中碱性氮[J]. 武汉工程大学学报, 2011, **33**(10): 17-21.
(FEN Jing-feng, YUAN Jun, YANG Mei, WEI Yu, CHEN Xiao-xia. Removing basic nitrogen compounds from coker diesel with acid ionic liquid[J]. Journal of Wuhan Institute Technology, 2011, **33**(10): 17-21.)
- [16] 林赛燕, 刘丹, 王红, 桂建舟, 梦祥巍, 许敏, 张彦佳. 酸性离子液体萃取脱除焦化柴油中碱性氮化物[J]. 石油化工高等学校学报, 2012, **25**(1): 8-12.
(LIN Sai-yan, LIU Dan, WANG Hong, GUI Jian-zhou, MENG Xiang-wei, XU Min, ZHANG Yan-jia. Removing basic nitrogen compounds from coker diesel by extraction with acidic ionic liquid[J]. Journal of Petrochemical Universities, 2012, **25**(1): 8-12.)
- [17] 刘晓飞, 陈静, 夏春谷. 吗啉基功能化酸性离子液体催化苯酚-叔丁醇选择性烷基化反应[J]. 分子催化, 2008, **22**(5): 392-397.
(LIU Xiao-fei, CHEN Jing, XIA Chun-gu. Selective alkylation of phenol with tertbutyl alcohol catalyzed by morpholine-based task specific acidic ionic liquids[J]. Journal of Molecular Catalysis(China), 2008, **22**(5): 392-397.)
- [18] 刘鹰, 胡瑞生, 刘贵立, 徐春明. 酸性离子液体催化的异丁烷/丁烯烷基化反应研究[J]. 分子催化, 2010, **24**(3): 217-221.
(LIU Ying, HU Rui-sheng, LIU Gui-li, XU Chun-ming. Study on the alkylation of isobutane/butene in acidic ionic liquids[J]. Journal of Molecular Catalysis(China), 2010, **24**(3): 217-221.)
- [19] COLE A C, JENSEN J L, NTAI I, TRAN K L T, WEAVER K J, FORBES D C, DAVIS J H. Novel brønsted acidic ionic liquids and their use as dual solvent-catalysts[J]. J Am Chem Soc, 2002, **124**(21): 5962-5963.

欢迎订阅第 42 卷(2014 年)《燃料化学学报》

《燃料化学学报》是中国化学会和中国科学院山西煤炭化学研究所主办,科学出版社出版的学术性刊物。创刊于 1956 年,公开发行。本刊是我国能源领域中重要的学术性期刊。设有研究快报、研究论文、研究简报、综述和知识介绍等栏目。主要报道国内在燃料化学、化工及其交叉学科的基础研究等领域内的科技新成就和最新进展,刊登具有较高学术水平和应用价值的论文,既传播知识,交流学术思想,又促进了经济发展并为培养人才作贡献。

《燃料化学学报》已连续多年入选国内外检索系统,国外如:“CA”“Ei”“AJ”“International Chemical Engineering”“Fuel and Energy Abstract”“Coal Abstracts”美国“American Petroleum Institute Central Abstracting and Information Services”“美国剑桥科技文摘(CSA)”等。国内如:《中国学术期刊文摘》《中国化学化工文摘》《中国科学引文数据库》《中国化学文献数据库》《中国科技期刊题名数据库》《中国科技论文统计与分析数据库》《中国矿业文摘》《中国科技论文统计与分析》等;连续几年入选“CA”千种表。已成为《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》源期刊、《万方数据系统期刊数据库》源期刊,2001 年度获新闻出版总署授予的“中国期刊方阵双效期刊”。并多次获国家、中国科学院、华北地区优秀期刊奖。

《燃料化学学报》为月刊,A4 开本,128 页,全部为铜版纸印刷,每册定价 25 元,全年 300 元(含邮资)。欢迎广大读者在当地邮局订阅(邮政代号:22—50)。若需过刊或漏订,可随时与编辑部联系。

联系地址:太原市桃园南路 27 号《燃料化学学报》编辑部

邮政编码:030001

电 话:0351-2025214 4066044

传 真:0351-2025214

电子信箱:rlhx@sxicc.ac.cn