

离子液体-碳纳米管复合材料 用于聚氨酯抗静电剂的研究

陈玮祥¹, 彭 燕², 关士友^{2*}

(1. 华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237;

2. 上海大学理学院可持续能源研究院, 上海 200444)

摘要:为降低聚氨酯薄膜的表面电阻率, 提高其抗静电稳定性。以离子液体(IL)1-羟乙基-3-甲基咪唑双三氟甲基磺酰亚胺盐([C₂OHmim][Tf₂N])和多壁碳纳米管(MCNT)为原料, 通过物理改性制备不同配比的离子液体-碳纳米管复合材料, 并用其改善聚氨酯薄膜的抗静电性能, 最终通过溶液涂膜法制得 IL-MCNT/PU 薄膜。IR、FT-IR 分析结果表明, 与 IL 复合后的碳纳米管具有良好的分散性; IL 也通过羟基成功固定在聚氨酯基体中。改性后 PU 膜的表面电阻率降低了 6 个数量级, 当添加 IL-MCNT-5 时, 材料的电阻率由 $2.1 \times 10^{13} \Omega$ 降至 $2.7 \times 10^7 \Omega$, 经过 10 min 超声处理后几乎保持不变。与单一组分离子液体相比, IL-MCNT 显示出更好的抗静电稳定性; 碳纳米管的加入提高了材料的力学性能。

关键词:离子液体; 碳纳米管; 聚氨酯; 抗静电

中图分类号: TQ323.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2020)12-0184-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2020.12.039

Study on ionic liquid-carbon nanotube composites for polyurethane antistatic agents

CHEN Wei-xiang¹, PENG Yan², GUAN Shi-you^{2*}

(1. School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. Institute of Sustainable Energy, School of Sciences, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In order to reduce the surface resistivity of polyurethane film and improve its antistatic stability, ionic liquid-carbon nanotube composite materials with different proportions are prepared from ionic liquid 1-hydroxyethyl-3-methylimidazole bis (trifluoromethanesulfonyl) imide and multi-walled carbon nanotubes (MCNT) through physical modification. Adding the prepared IL-MCNT as antistatic agents, IL-MCNT/PU film finally is prepared by solution coating method. Through IR and FT-IR analysis, the results indicate that the carbon nanotubes modified by IL have a good dispersibility, and IL is also successfully fixed into polyurethane matrix through hydroxyl group. The surface resistivity of the modified PU film has dropped by 6 orders of magnitude. The resistivity of the material decreases from $2.1 \times 10^{13} \Omega$ to $2.7 \times 10^7 \Omega$ by adding IL-MCNT-5 as antistatic agents, which remains almost unchanged after 10 minutes of ultrasonication. IL-MCNT/PU film shows better antistatic stability and mechanical properties than IL/PU. The addition of MCNT enhances the mechanical properties of the materials.

Key words: ionic liquid; carbon nanotube; polyurethane; antistatic

聚氨酯具有耐磨性、耐油性、耐腐蚀及结构可设计性好等性能, 广泛应用于医疗器械、航空航天等领域^[1]。然而, 聚氨酯材料的高电阻率 ($10^{12} \sim 10^{15} \Omega$) 使其在应用过程中摩擦产生的静电荷容易在表面积累且难以及时传导出去^[2], 从而造成静电放电危害, 以至于引起灰尘吸附现象甚至有发生火灾、爆炸的危险, 严重限制其应用。

通常材料的表面电阻率低于 $10^{10} \Omega$ 可以达到抗静电效果^[3], 所以为了降低材料的表面电阻率, 通常需要在材料合成过程中添加抗静电剂以达到抗

静电效果。迄今为止, 多种添加剂已被研究用于降低聚氨酯材料的表面电阻率, 如炭黑、表面活性剂、本征导电聚合物等^[4-6]。相比于传统的抗静电添加剂, 离子液体因其低的玻璃化转变温度和结构可设计性, 已经引起了研究者的广泛关注。

离子液体是一种完全由阴阳离子组成, 在室温或接近室温下呈液态的有机盐^[7]。Takuya Iwata 等^[8]向聚氨酯中加入离子液体以提高抗静电性能, 结果发现以双三氟甲基磺酰亚胺 [Tf₂N] 为阴离子的离子液体在聚氨酯中有着优异的抗静电性能, 在

收稿日期: 2020-02-19; 修回日期: 2020-10-18

作者简介: 陈玮祥 (1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向为离子液体, 627824710@qq.com; 关士友 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为先进储能器件、离子液体、固液电解质, 通讯联系人, syguan@shu.edu.cn。

干燥条件下,添加含量为5%的1,3-二取代咪唑离子液体可使聚氨酯的表面电阻率由 $10^{12} \Omega$ 降至 $10^7 \Omega$ 。然而,基于离子液体掺杂的聚氨酯薄膜存在抗静电稳定性不佳的问题。

为了解决离子液体作为单一组分抗静电剂在应用过程中的限制,复配型离子液体抗静电剂已被提出并开始研究。其中,离子液体-碳纳米管复合材料(IL-MCNT)在抗静电方面有着良好的应用潜力^[9]。碳纳米管作为一种良好的导电和导热材料,拥有大的长径比(10^3 数量级)和优异的力学性能,但由于其容易团聚的特点,将其单独作为添加剂很难获得理想的抗静电性能^[10]。而通过在碳纳米管中引入羟基功能化咪唑离子液体,预计可以实现良好的抗静电效果。一方面,咪唑类离子液体与碳纳米管之间可形成 $\pi-\pi$ 或阳离子- π 相互作用^[11],吸附在碳纳米管外壁的离子液体之间具有较大的空间位阻,这可以提高碳纳米管在基体中的分散性,改善了其易团聚缠结的问题^[12];另一方面,咪唑环上羟基与异氰酸酯反应生成的氨基甲酸酯基团以及离子液体与碳纳米管之间的相互作用,都可以提高离子液体在聚氨酯薄膜中的稳定性,使材料具有良好的抗静电洗涤耐久性。

因此,笔者将1-羟乙基-3-甲基咪唑双三氟甲基磺酰亚胺盐($[C_2OHmim][Tf_2N]$)与多壁碳纳米管进行复合,在水中超声处理后,制备得到均匀分散的离子液体-碳纳米管悬浮液,并在此基础上制备不同比例的IL-MCNT,然后将其用作抗静电剂添加至聚氨酯薄膜中。与单一组分的离子液体相比,IL-MCNT表现出更加优异的抗静电稳定性,并且碳纳米管的加入也提高了材料的力学性能。

1 材料与试剂

1.1 主要原料

丙酮,分析纯,国药试剂生产;1-乙基-2,3-二甲基咪唑双三氟甲基磺酰亚胺盐($[Edmim][Tf_2N]$)、1-羟乙基-3-甲基咪唑双三氟甲基磺酰亚胺盐($[C_2OHmim][Tf_2N]$),上海成捷化学有限公司生产;多壁碳纳米管,工业级,南京先丰纳米材料科技有限公司生产;聚氨酯预聚体,工业级,济宁百川化工有限公司生产;二甲硫基甲苯二胺,济宁百川化工有限公司生产。

1.2 主要设备及仪器

电阻率测试仪,FT-304型,宁波瑞柯仪器有限公司生产;涂膜机,AFA-II型,上海天辰现代环境技

术有限公司生产;超声机,SK250LHC型,上海科导超声仪器有限公司生产;电子天平,ME203型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产;万能材料试验机,ETM304C型,深圳万测试验设备有限公司生产。

1.3 样品制备

1.3.1 IL-MCNT的制备

称取0.01 g多壁碳纳米管、0.5 g离子液体($[C_2OHmim][Tf_2N]$)于研钵中研磨40 min,随后添加到含有少量去离子水的烧杯中,磁力搅拌1 h,接着超声分散1 h,得到离子液体-碳纳米管的悬浮液,将其放入真空干燥箱中,在70℃下干燥至恒重,最终得到离子液体-碳纳米管复合材料。之后依照上述方法制得MCNT、IL质量比分别为1:50、2:50、3:50、1:10不同配比的离子液体-碳纳米管复合材料,分别命名为IL-MCNT-1、IL-MCNT-2、IL-MCNT-3、IL-MCNT-5。

1.3.2 IL/PU膜与IL-MCNT/PU薄膜的制备

用电子天平称取10 g聚氨酯预聚体和1.36 g扩链剂于真空干燥箱中80℃干燥3 h,除去水分。将质量分数分别为0.1%、0.5%、1%、3%和5%的离子液体 $[Edmim][Tf_2N]$ 分别溶于10 mL丙酮中,用磁力搅拌器搅拌30 min备用。将干燥后的预聚体溶于20 mL丙酮中,用机械搅拌器搅拌15 min,再与上述制备的离子液体溶液混合搅拌20 min,接着加入扩链剂,搅拌10 min后将其机械涂布在玻璃板上,涂布厚度为150 μm ,然后置于真空干燥箱,80℃真空干燥4 h后得到IL/PU薄膜;采用上述相同的方法,用制得的IL-MCNT依此制备IL-MCNT-1/PU、IL-MCNT-2/PU、IL-MCNT-3/PU、IL-MCNT-5/PU。

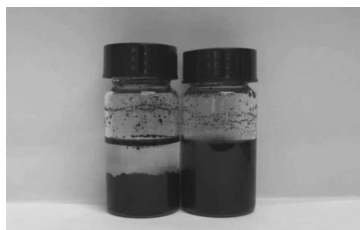
1.4 结构表征及性能测试

利用Nicolet IS 10型傅里叶红外光谱仪(FT-IR,美国热电公司生产)对样品进行分析;利用HORIBA LabRAM Evolution拉曼光谱仪(Raman,法国Jobin Yvon公司生产)对样品进行分析,测定范围为500~3 000 cm^{-1} ;利用标准环形三电极原理来测试PU膜的电性能,依照GB/T 1410—2006标准进行测试,每组样品测试5个试样并取平均值;利用ETM304C型电子万能测试机(深圳万测试验设备有限公司生产)测试聚氨酯膜的拉伸性能,依照GB/T 528—2009标准进行测试,拉伸速率为100 mm/min,每组样品进行5次测试并最终取平均值。

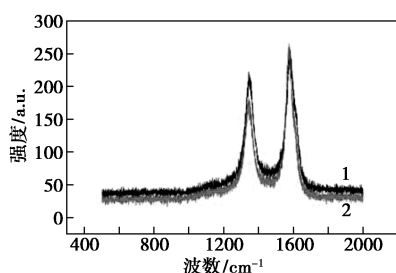
2 结果与讨论

2.1 MCNT 及 IL-MCNT 的分散性及 Roman 表征

MCNT、IL-MCNT 在水溶液中超声分散 1 h、静置 3 h 后的分散情况及拉曼光谱图如图 1 所示。



(a) MCNT(左)、IL-MCNT(右)溶液的分散稳定性



1—MCNT; 2—IL-MCNT

(b) 拉曼光谱

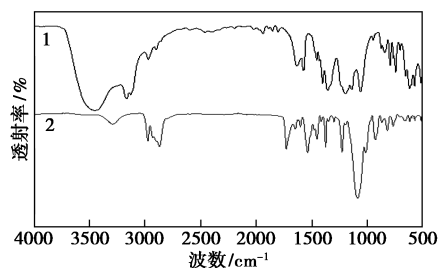
图 1 MCNT、IL-MCNT 溶液的分散稳定性及其拉曼光谱

从图 1(a) 中可以看出, 纯 MCNT 团聚现象严重, 大部分在瓶底形成沉淀, 而 IL-MCNT 则均匀分散在水中形成均匀稳定的悬浮液。这是由于离子液体通过 π - π 或阳离子- π 作用吸附在碳纳米管表面, 其空间位阻有利于碳纳米管更稳定地分散在溶液中^[12]。从图 1(b) 中可知, 纯碳纳米管的 D 峰和 G 峰分别位于 1345 cm^{-1} 和 1580 cm^{-1} , 其中 D 峰反映碳纳米管的无序度与缺陷, G 峰反映其有序程度^[13]。D 峰与 G 峰的强度比 (I_D/I_G) 是碳纳米管无序和缺陷程度的度量, 强度比值越大, 碳纳米管的无序度和缺陷密度越高^[13]。同时, IL-MCNT 与 MCNT 相比, D 峰与 G 峰的位置几乎没有发生位移。表明 IL-MCNT 中离子液体并未破坏碳纳米管的表面结构。此外, 纯 MCNT 的 I_D/I_G 值为 0.68, IL-MCNT 的 D 峰与 G 峰的强度比值为 0.87, 与纯 MCNT 相比有所增大, 说明 $[\text{C}_2\text{OHmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 的加入提高了碳纳米管的无序程度, 使其缺陷增多。这是因为离子液体通过 π - π 或阳离子- π 相互作用, 在超声条件下吸附在碳纳米管的外壁上, 并且离子液体的空间位阻效应提高了碳纳米管的分散性, 进而暴露出更

多的表面缺陷, 使得 D 峰与 G 峰比值增大^[12-13]。

2.2 IL-MCNT/PU 膜的 FT-IR 表征

离子液体 $[\text{C}_2\text{OHmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 以及加入 IL-MCNT 后 PU 膜的红外光谱图如图 2 所示。



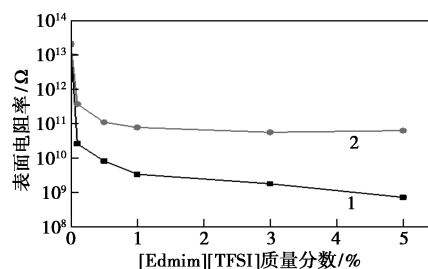
1—IL; 2—IL-MCNT/PU

图 2 IL 和 IL-MCNT/PU 膜的 FT-IR 图谱

由图 2 中谱线 1 可知, 3445 cm^{-1} 处为 O—H 的伸缩振动峰; 3160 cm^{-1} 及 $2950\sim 2850\text{ cm}^{-1}$ 处对应咪唑环上脂肪链 C—H 伸缩振动峰, 1576 cm^{-1} 处的吸收峰对应咪唑环骨架振动。由图 2 中谱线 2 可知, 3280 cm^{-1} 为 N—H 振动吸收峰; $2950\sim 2850\text{ cm}^{-1}$ 处与 C—H 振动吸收峰相对应; 1725 cm^{-1} 处为 C=O 的特征吸收峰; 而 $1100\sim 1250\text{ cm}^{-1}$ 处为 C—O 的特征吸收峰; 对比反应前后的红外光谱, 其中 3445 cm^{-1} 处对应的 O—H 与 $2280\sim 2240\text{ cm}^{-1}$ 处对应的 —NCO 特征吸收峰消失, 说明 —OH 与 —NCO 发生了反应, 离子液体成功固定在聚氨酯薄膜中。

2.3 IL/PU 膜及 IL-MCNT/PU 膜的抗静电稳定性

不同质量分数 $[\text{Edmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 合成的 IL 掺杂 PU 膜在超声洗涤前后抗静电性能如图 3 所示。



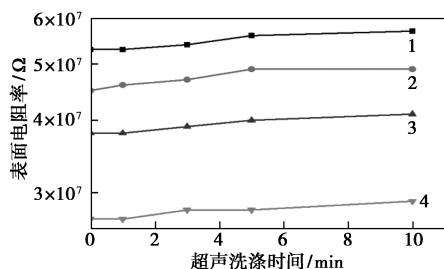
1—超声洗涤前; 2—超声洗涤后

图 3 $[\text{Edmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 掺杂 PU 膜表面电阻率超声洗涤前后的变化情况

由图 3 可知, 随着离子液体 $[\text{Edmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 质量分数的增加, 聚氨酯膜的表面电阻率逐渐降低。当 $[\text{Edmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 质量分数为 5% 时, 聚氨酯的表面电阻率由 $2.1\times 10^{13}\text{ }\Omega$ 降至 $7.2\times 10^8\text{ }\Omega$ 。这是由于 $[\text{Edmim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ 与聚氨酯之间有良好的相容性, 随

随着离子液体质量分数的增加,聚氨酯基体内存在大量可自由移动的离子,有利于电荷的传导。然而,在经过 10 min 的超声洗涤后,不同离子液体质量分数的聚氨酯薄膜的表面电阻率都有明显的上升,其中含有 5% [Edmim][Tf₂N] 的聚氨酯薄膜表面电阻率由 $7.2 \times 10^8 \Omega$ 提高到了 $6.3 \times 10^{10} \Omega$ 。这是因为在超声洗涤的过程中,有大量掺杂的离子液体从薄膜中脱离了出来,从而影响了抗静电性能的稳定性。

不同质量比的 IL-MCNT 改性 PU 膜的抗静电稳定性如图 4 所示。由图 4 可知,随着 IL-MCNT 中碳纳米管质量分数的增加,聚氨酯膜的电阻率略有下降,在添加 IL-MCNT-5 时,表面电阻率相比于 IL/PU 膜仅发生一个数量级的变化,降为 $2.7 \times 10^7 \Omega$ 。这是因为碳纳米管质量分数较少时,碳纳米管之间难以充分搭连,尚未形成完整的导电通路,但碳纳米管的纳米特性及其大的长径比使得隧道导电效应显著^[14],所以随着碳纳米管的加入,聚氨酯膜的电阻率略有下降。然而,相比于 [Edmim][Tf₂N]/PU 膜,不同质量分数的 IL-MCNT/PU 膜的抗静电稳定性显著提高,在经过 10 min 的超声处理后,表面电阻率几乎没有变化,IL-MCNT-1/PU 膜和 IL-MCNT-5/PU 膜的表面电阻率分别由 $5.3 \times 10^7 \Omega$ 、 $2.7 \times 10^7 \Omega$ 变化为 $5.7 \times 10^7 \Omega$ 及 $2.9 \times 10^7 \Omega$,均表现出优异的抗静电稳定性。说明咪唑阳离子上的羟基与异氰酸酯反应形成了氨基甲酸酯键,使其固定在了 PU 薄膜中;同时还归因于碳纳米管与离子液体之间的 $\pi-\pi$ 或阳离子- π 作用,其相互作用也提高了离子液体在基体中的稳定性,使得薄膜抗静电性能的稳定性明显提升。

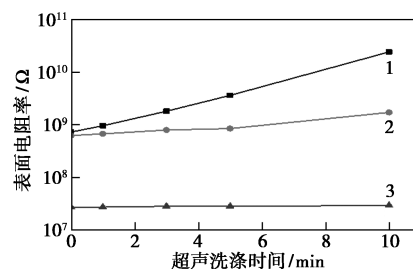


1—IL-MCNT-1/PU; 2—IL-MCNT-2/PU;
3—IL-MCNT-3/PU; 4—IL-MCNT-5/PU

图 4 不同质量比 IL-MCNT 聚氨酯薄膜经过 10 min 超声洗涤后表面电阻率变化情况

不同类型的离子液体用作 PU 膜抗静电剂的稳定性如图 5 所示。从图 5 中可以看出,经过 10 min 的超声洗涤后,含有 5% 未功能化的 [Edmim][Tf₂N] 的 PU 膜的表面电阻率变化明显,由 $7.2 \times 10^8 \Omega$

增加到了 $6.3 \times 10^{10} \Omega$; 羟基功能化的 [C₂OHmim][Tf₂N] 固定 PU 膜的抗静电稳定性较好,由 $6.2 \times 10^8 \Omega$ 增加至 $1.7 \times 10^9 \Omega$ 。相比之下,IL-MCNT/PU 膜的抗静电稳定性最佳,其表面电阻率仅由 $2.7 \times 10^8 \Omega$ 变为 $2.9 \times 10^8 \Omega$ 。结果表明,与单组份离子液体抗静电剂相比,IL-MCNT 具有更好的抗静电性能和抗静电洗涤耐久性,随着碳纳米管的加入,其与离子液体间形成的 $\pi-\pi$ 或阳离子- π 作用对提高离子液体的抗静电稳定性有着积极作用。



1—[Edmim][Tf₂N]/PU; 2—[C₂OHmim][Tf₂N]/PU;
3—IL-MCNT-5/PU

图 5 不同类型离子液体的聚氨酯膜抗静电性能的洗涤耐久性

2.4 纯 PU 膜及 IL-MCNT/PU 膜的力学性能

不同质量比的 IL-MCNT/PU 膜力学性能的变化情况如表 1 所示。

表 1 IL-MCNT/PU 膜力学性能

样品名称	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%
纯 PU	11.76	933.43
IL-MCNT-1/PU	12.61	1173.13
IL-MCNT-2/PU	13.97	1279.81
IL-MCNT-3/PU	15.71	1322.51
IL-MCNT-5/PU	16.68	1424.66

由表 1 中可知,IL-MCNT/PU 膜与纯 PU 膜相比,其拉伸强度和断裂伸长率都有显著的提升,并且随着 MCNT 质量分数的增加而逐渐增加。其中纯 PU 膜拉伸强度和断裂伸长率分别为 11.76 MPa 和 933.43%;在添加 IL-MCNT-5 后,薄膜的拉伸强度增加了 42%,提高到 16.68 MPa,断裂伸长率为 1424.66%,提高了 52%。表明碳纳米管作为抗静电剂对聚氨酯薄膜的力学性能也有着积极的作用。这归因于离子液体与碳纳米管之间形成的 $\pi-\pi$ 或阳离子- π 作用,使得碳纳米管与基体间的相互作用增强、结合力增大;同时离子液体的空间位阻使碳纳米管在 PU 膜中的分散性提高,形成了良好的网

络结构,有利于应力的传递^[15]。

3 结论

(1) 利用羟基功能化咪唑离子液体成功制备了离子液体-碳纳米管复合材料,利用咪唑阳离子和碳纳米管之间的相互作用,提高了碳纳米管的分散性。

(2) 与单一组分离子液体相比,在添加 IL-MCNT-5 抗静电剂时,聚氨酯薄膜表现出优异的抗静电稳定性。经过 10 min 的超声洗涤后,IL-MCNT/PU 膜的表面电阻率几乎没有变化。碳纳米管对提高离子液体的抗静电稳定性有着积极作用。

(3) 随着 IL-MCNT 中 MCNT 质量分数的增加,材料的力学性能也有明显的提高。当添加 IL-MCNT-5 时,拉伸强度和断裂伸长率较纯 PU 膜分别提高了 42% 和 52%。

参考文献

- [1] 陶宇.热塑性聚氨酯弹性体的应用浅谈[J].聚氨酯工业,2001,(1):1-3.
- [2] 朱玉璘,王淑荣.聚氨酯用季铵盐类抗静电剂[J].聚氨酯工业,1994,(4):11-15.
- [3] Jennifer Markarian.New developments in antistatic and conductive additives[J].Plastics, Additives and Compounding,2008,10(5):22-25.
- [4] 黄勇,陈善勇,刘俊红.导电复合橡胶用导电填料的应用研究进展[J].云南化工,2009,36(5):47-51.
- [5] Atif R,Inam F.Reasons and remedies for the agglomeration of multilayered graphene and carbon nanotubes in polymers[J].Beilstein Journal of Nanotechnology,2016,7:1174-1196.
- [6] Toshikazu Kobayashi,Barbara A Wood,Akio Takemura,et al.Antistatic performance and morphological observation of ternary blends of poly(ethylene terephthalate),poly(ether esteramide),and Na-neutralized poly(ethylene-co-methacrylic acid) copolymers[J].Journal of Electrostatics,2005,64(6):377-385.
- [7] Simon P,Gogotsi Y.Materials for electrochemical capacitors[J].Nat Mater,2008,7(11):844-854.
- [8] Akiko Tsurumaki,Saori Tajima,Takuya Iwata,et al.Antistatic effects of ionic liquids for polyether-based polyurethanes[J].Electrochimica Acta,2015,175(175):13-17.
- [9] Kalaivani Subramaniam,Amit Das,Gert Heinrich.Development of conducting polychloroprene rubber using imidazolium based ionic liquid modified multi-walled carbon nanotubes[J].Composites Science and Technology,2011,71(11):1441-1449.
- [10] 王婷,陈宏,秦锴,等.碳系导电填料的导电橡胶研究进展[J].橡胶工业,2019,66(6):475-479.
- [11] Fukushima Takanori,Kosaka Atsuko,Ishimura Yoji,et al.Molecular ordering of organic molten salts triggered by single-walled carbon nanotubes[J].Science,2003,300(5628):2072-2074.
- [12] Ren Ye,Zhou Zheng,Yin Guangzhong,et al.Effect of ionic liquid-containing poly(epsilon-caprolactone) on the dispersion and dielectric properties of polymer/carbon nanotube composites[J].RSC Adv,2016,6(37):31351-31358.
- [13] Zhang Youwei,Ma Huiling,Zhang Qilu.Facile synthesis of well-dispersed graphene by gamma-ray induced reduction of graphene oxide[J].J Mater Chem,2012,22(26):13064-13069.
- [14] Li Chensha,Liang Tongxiang,Lu Weizhe,et al.Improving the antistatic ability of polypropylene fibers by inner antistatic agent filled with carbon nanotubes[J].Composites Science and Technology,2004,64(13):2089-2096.
- [15] 林香萍,管萍,胡小玲,等.离子液体中制备碳纳米管复合材料的研究[J].现代化工,2011,31(9):14-18.■

科莱恩 MegaMax[®] 800 催化剂助力宝丰能源甲醇产量创新高

科莱恩甲醇合成催化剂 MegaMax 800 在宁夏宝丰能源集团股份有限公司(宝丰能源)焦炉废气综合利用制烯烃项目中 150 万 t/a 甲醇装置第二次装填使用过程中展现出卓越的性能。该套甲醇装置于 2018 年 6 月首次装填使用 MegaMax 800 催化剂。在该催化剂两年运行时间内,以出色的性能助力装置运行负荷提升至设计产能的 117%,累计生产 MTO 级甲醇 370 万 t,相较之前同期运行业绩,实现增产甲醇 16 万 t。

科莱恩催化剂业务中国区副总裁陈志鹏表示:“科莱恩一直致力于为中国煤化工产业的发展 and 升级提供支持。我们对 MegaMax 800 在宝丰能源焦炉废气综合利用制烯烃项目甲醇装置中的卓越表现倍感自豪。通过创新

的解决方案和双方团队的紧密合作,我们实现了助力宝丰能源提升工艺效率的承诺。”

MegaMax 800 催化剂具有极为优异的低温活性,在相同的汽包压力下,装置平均入口温度降低了 19℃。MegaMax 800 在碳效率方面同样表现出众,在新鲜气组分类似的情况下,入口和出口一氧化碳含量均降低了 4~6 个百分点。

宁夏宝丰能源集团股份有限公司总工程师弋朝山表示:“MegaMax 800 催化剂持续稳定的高催化活性是焦炉废气综合利用制烯烃项目甲醇装置产能提升的基础,这也是我们持续选择 MegaMax 800 催化剂的重要原因。”

(何玮)