

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.03.002

基于异构联苯二酐的热塑性聚酰亚胺性能研究

刘燕峰¹,包建文¹,益小苏¹,王震²,丁孟贤²

(1. 北京航空材料研究院, 先进复合材料重点实验室, 北京 100095 2. 中国科学院长春应用化学研究所, 高分子物理与化学国家重点实验室, 长春 130022)

摘要: 制备了一系列基于异构联苯二酐 [2,2',3,3'-联苯四甲酸二酐(3,3'-BPDA)、2,3',3,4'-联苯四甲酸二酐(3,4'-BPDA)和3,3',4,4'-联苯四甲酸二酐(4,4'-BPDA)] 的聚酰亚胺(PI)均聚物和共聚物,比较研究了这些聚合物的热学和力学性能。结果表明,当二胺结构相同时,基于3,3'-BPDA和3,4'-BPDA的PI均聚物或共聚物较基于4,4'-BPDA的均聚物有更高的玻璃化转变温度(T_g)和更好的热加工性;当二酐结构相同时,基于对苯二胺(PDA)的PI的 T_g 高于基于4,4'-二氨基二苯醚(ODA)的PI。基于3,4'-BPDA/PDA的PI具有最高的 T_g ,其值为382℃,由其制备的薄膜的拉伸强度为100 MPa,拉伸弹性模量为1.8 GPa,断裂伸长率为12%。基于4,4'-BPDA/PDA的PI薄膜具有最高的拉伸性能,其拉伸强度为307 MPa,拉伸弹性模量为4.1 GPa,断裂伸长率为23%。基于3,4'-BPDA/ODA和3,3'-BPDA/4,4'-BPDA(1/1)/ODA的PI模塑料均具有高于300℃的 T_g 和较好的力学性能,其冲击强度分别达到82.3 kJ/m²和94 kJ/m²。

关键词: 聚酰亚胺; 异构联苯二酐; 薄膜; 模塑料

中图分类号: TQ323.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)03-0009-05

Properties Study of Thermoplastic Polyimides Based on Isomeric Biphenyl Dianhydrides

Liu Yanfeng¹, Bao Jianwen¹, Yi Xiaosu¹, Wang Zhen², Ding Mengxian²

(1. Science and Technology on Advanced Composites Laboratory, Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China; 2. State Key Laboratory of Polymer Physics and Chemistry, Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: A series of homopolyimides and copolyimides based on isomeric biphenyl dianhydrides[2,2',3,3'-biphenyltetracarboxylic dianhydride (3,3'-BPDA), 2,3',3,4'-biphenyl tetracarboxylic dianhydride (3,4'-BPDA) and 3,3',4,4'-biphenyltetracarboxylic dianhydride (4,4'-BPDA)] were prepared, then the thermal and mechanical properties of the polyimides were studied comparatively. The results showed that when the structures of diamine were same, polyimides based on 3,3'-BPDA and 3,4'-BPDA had higher glass transition temperature (T_g) and better thermo-processability than those derived from 4,4'-BPDA, when the structures of dianhydride were same, T_g of polyimides based on para-diamine (PDA) was better than that of polyimides based on 4,4'-diaminodiphenyl ether (ODA). Polyimide based on 3,4'-BPDA/PDA showed the highest T_g of 382 °C, the tensile strength and modulus of the corresponding film was 100 MPa and 1.8 GPa respectively, and the elongation at break was about 12%. Film made from polyimide based on 4,4'-BPDA/PDA had the best tensile properties, the tensile strength was 307 MPa, the tensile modulus was 4.1 GPa, and the elongation at break was about 23%. Polyimide moulding plastics based on 3,4'-BPDA/ODA and 3,3'-BPDA/4,4'-BPDA (1/1)/ODA had T_g above 300 °C and better mechanical properties, the impact strength of them were 82.3 kJ/m² and 94 kJ/m² respectively.

Keywords: polyimide; isomeric biphenyl dianhydride; film; moulding plastic

高性能工程塑料是指可以在150℃以上长期使用的工程塑料。随着机电制造工业的发展,对高强度、高模量、尺寸稳定、轻质、电绝缘、耐磨、自润滑及密封材料的要求越来越迫切,全芳香族聚酰亚胺(PI)由于其具有高的耐热性、优异的力学性能和多品种、多种制造途径已经在这—领域显示出非常重要的应用价值。

半个世纪以来,科学家们开发出许多适用于模

压工艺或注塑工艺的PI品种。杜邦公司以特殊的等静压烧结法开发出Vespel牌号的系列PI材料,其基本的结构式是1,2,4,5-均苯四甲酸二酐(PMDA)/4,4'-二氨基二苯醚(ODA)。该材料没有明显的软化点,耐高温性能非常优异,其连续使用温度可达

联系人: 刘燕峰, 博士, 工程师, 主要从事耐高温树脂基和绿色复合材料的研究

收稿日期: 2011-12-29

到 315℃,但是加工条件非常苛刻,故该材料的成本很高。GE 公司在 1982 年推出热塑性 PI 工程塑料,商品名为 Ultem,通过在主链中引入柔性连接基团,使 PI 拥有很好的热加工性,通过控制聚合物的分子量,使其最低熔体黏度小于 1 000 Pa·s,可以用于注射成型。Ultem 由于其合成和加工上的低成本优势而得到了广泛的应用,目前已经达到万吨级的规模。但是由于分子结构中柔性基团异丙基的引入,其玻璃化转变温度(T_g)仅有 217℃,长期使用温度仅为 150~180℃^[1-3]。

为了得到既有高使用温度又有低加工成本的热塑性 PI,基于 2,2',3,3'-联苯四甲酸二酐(3,3'-BPDA)和 2,3',3,4'-联苯四甲酸二酐(3,4'-BPDA)等异构联苯二酐的 PI 被广泛地研究^[4-8]。M.Hasegawa 等用 3,4'-BPDA 和 3,3',4,4'-联苯四甲酸二酐(4,4'-BPDA)共聚,增塑 4,4'-BPDA/ODA 聚合物,大幅度提高了聚合物的 T_g 和热成型性,但是并没有给出聚合物薄膜和模塑料的力学性能^[9-10]。Tong Y 用两种不同的方法合成了 3,3'-BPDA,并详细地研究了基于 3,3'-BPDA 的 PI 的热和力学性能,结果表明基于 3,3'-BPDA 的 PI 具有高的 T_g 和好的热加工性^[11-13]。

笔者采用均聚和共聚的方法,制备了基于 3,3'-BPDA,3,4'-BPDA 和 4,4'-BPDA 的 PI,对比研究了这些聚合物的热性能,并研究了相应的薄膜和模塑料的力学性能,为制备低加工成本、高使用温度的热塑性工程塑料提供选择。

1 实验部分

1.1 主要原料

4,4'-BPDA(熔点 299~300℃)、3,4'-BPDA(熔点 196~198℃)、3,3'-BPDA(熔点 272~273℃):按照文献[10]合成;

ODA:真空 200℃下升华提纯,上海合成树脂研究所;

对苯二胺(PDA):真空 150℃下升华提纯,北京化学试剂公司;

N,N-二甲基乙酰胺(DMAc):先用 P_2O_5 干燥 1 个月,然后真空减压蒸馏,北京化学试剂公司;

三乙胺、乙酸酐:北京化学试剂公司。

1.2 主要设备及仪器

乌氏黏度计:1834 型,上海隆拓仪器设备有限公司;

平板硫化机:XLB-DQ 型,海门市金马橡塑机

械科技有限公司;

热失重分析(TGA)仪:TGA-2 型,美国 Perkin-Elmer 公司;

动态热机械分析(DMA)仪:Q800 型,美国 TA 公司;

万能试验机:E3000 型,美国 Instron 公司;

记忆式冲击试验机:JJ-20 型,长春市智能试验机研究所。

1.3 试样制备

(1)PI 的合成

将等当量的二酐和二胺同时加入到聚合瓶中,再加入无水 DMAc 溶剂,固体含量为 10%,搅拌反应 12 h,得到聚酰胺酸溶液,取出一部分用来成膜。其余加入乙酸酐和三乙胺,化学亚胺化 12 h,得到固体粉末,用乙醇洗涤 3 次后干燥。再在 240℃下抽真空 10 h,使其亚胺化完全。

(2)PI 薄膜的制备

将聚酰胺酸溶液涂覆在干净的玻璃板上,然后按 80℃/6 h,100℃/1 h,200℃/1 h,300℃/1 h,350℃/1 h 步骤固化,固化完成后,自然冷却到室温,从玻璃板取下后,得到 PI 薄膜。

(3)PI 模塑料的制备

将由聚酰胺酸化学亚胺化得到的 PI 粉末在 390℃和 10 MPa 的压力下模压 30 min,然后自然冷却到 200℃,释放压力后逐渐降温到 80℃,从模具中取出,得到 PI 模塑料。

1.4 性能测试

采用乌氏黏度计测试本征粘度,测试条件为浓度 0.5 g/dL,溶剂 DMAc,30±0.1℃恒温水浴;

采用 DMA 测试 T_g ,升温速率为 5℃/min,三点弯曲模式;

薄膜拉伸性能按 GB/T 13022-1991 测试,薄膜的尺寸为 50 mm×5 mm;

模塑料的拉伸性能按 GB/T 2568-1995 测试,试样为哑铃型;

模塑料的压缩性能按 GB/T 2569-1995 测试,试样尺寸为 10 mm×10 mm×25 mm;

模塑料的弯曲性能按 GB/T 2570-1995 测试,试样尺寸为 80 mm×15 mm×4 mm,跨距为厚度的 16 倍;

模塑料的冲击性能按 GB/T 2571-1995 测试,试样尺寸为 80 mm×15 mm×4 mm,落锤最大冲击能量为 4 J。

2 结果与讨论

2.1 PI 的合成过程

按照文献[10]合成的三种异构联苯二酐单体的化学结构如图1所示,PI的合成过程如图2所示。

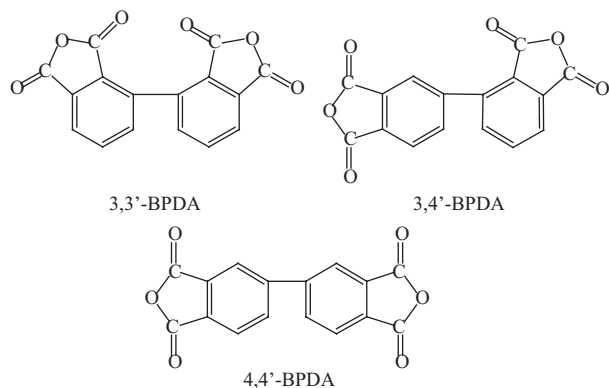


图1 三种异构联苯二酐单体的化学结构

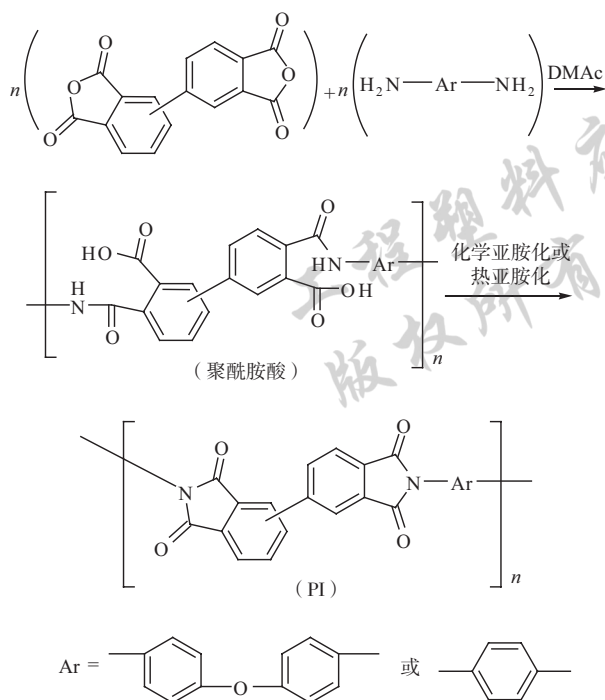


图2 PI的合成过程

2.2 PI 的物理性能

基于BPDA/ODA和BPDA/PDA合成的聚合物的物理性能如表1、表2所示。

本征黏度的大小能反应出聚合物溶液中分子间相互作用力的强弱。从表1、表2可以看出,当二胺结构相同时,基于3,3'-BPDA的聚酰胺酸溶液的本征黏度低于基于3,4'-BPDA的溶液,且当向这两种二酐中加入4,4'-BPDA后,聚酰胺酸溶液的本征黏度随4,4'-BPDA含量的增加而增大,基于4,4'-BPDA的PI的本征黏度最高。这说明基于3,3'

表1 基于BPDA/ODA合成的聚合物的物理性能

二酐物质的量之比	聚酰胺酸本征黏度 / dL · g ⁻¹	PI 薄膜 T _g / °C
A ₃₃	0.48	316
A ₃₃ / C ₄₄ =3 / 1	0.67	310
A ₃₃ / C ₄₄ =1 / 1	0.83	317
A ₃₃ / C ₄₄ =1 / 3	1.06	296
C ₄₄	2.20	255
B ₃₄	1.16	323
B ₃₄ / C ₄₄ =3 / 1	1.63	316
B ₃₄ / C ₄₄ =1 / 1	1.65	312
B ₃₄ / C ₄₄ =1 / 3	2.00	294
C ₄₄	2.20	255

注:表中A₃₃为3,3'-BPDA,B₃₄为3,4'-BPDA,C₄₄为4,4'-BPDA,下同。

表2 基于BPDA/PDA合成的聚合物的物理性能

二酐物质的量之比	聚酰胺酸本征黏度 / dL · g ⁻¹	PI 薄膜 T _g / °C
A ₃₃	0.54	— ¹⁾
A ₃₃ / C ₄₄ =3 / 1	0.59	— ¹⁾
A ₃₃ / C ₄₄ =1 / 1	0.80	— ¹⁾
A ₃₃ / C ₄₄ =1 / 3	1.13	349
C ₄₄	2.00	— ²⁾
B ₃₄	0.89	382
B ₃₄ / C ₄₄ =3 / 1	1.13	379
B ₃₄ / C ₄₄ =1 / 1	1.38	362
B ₃₄ / C ₄₄ =1 / 3	1.51	349
C ₄₄	2.00	— ²⁾

注:1)薄膜为脆性,不能制备试样;2)薄膜在测试过程中没有明显的软化点。

-BPDA的PI的分子间作用力弱于基于3,4'-BPDA的PI;而基于4,4'-BPDA的PI有着较为规整的主链结构,其分子间有更强的相互作用。

当二酐结构相同时,基于3,4'-BPDA/PDA的聚酰胺酸溶液的本征黏度低于基于3,4'-BPDA/ODA的溶液,但基于3,3'-BPDA和4,4'-BPDA的聚酰胺酸溶液的本征黏度总体上变化不大。这说明PDA对基于3,3'-BPDA和4,4'-BPDA的PI的分子间作用力影响不大,但在3,4'-BPDA和PDA的聚合过程中,由于PDA分子刚性较高,聚合物分子链运动受阻,分子间相互碰撞的几率相对变小,会阻止聚合物分子量的进一步长大,聚合物分子量变小,其本征黏度也会相应变小^[6]。

基于BPDA/ODA和BPDA/PDA合成的PI薄膜的DMA曲线如图3、图4所示(图3、图4中A₃₃为3,3'-BPDA,B₃₄为3,4'-BPDA,C₄₄为4,4'-BPDA)。图3、图4中曲线切线的交点即为T_g,其数据如表1、表2所示。由表1、表2可以看出,当二胺结构相同时,基于3,3'-BPDA/ODA的PI的T_g低于基于3,4'-BPDA/ODA的PI,且当向这两种二酐中加入4,4'-BPDA后,随着4,4'-BPDA含量的增加,PI的T_g逐渐降低,基于4,4'-BPDA的PI

的 T_g 最低。当二酐结构相同时,基于 PDA 的 PI 的 T_g 远高于基于 ODA 的 PI。

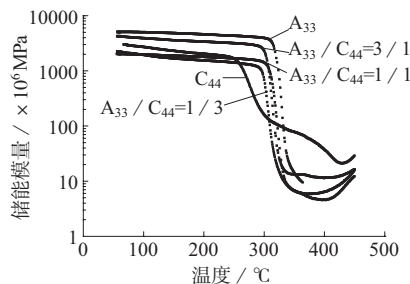


图3 基于BPDA/ODA合成的PI薄膜的DMA曲线

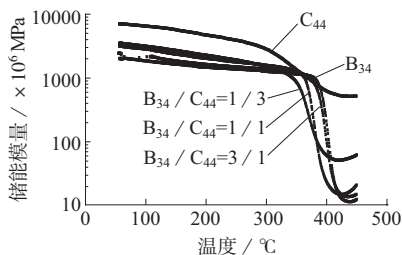


图4 基于BPDA/PDA合成的PI薄膜的DMA曲线

从图3、图4可以看出,基于3,3'-BPDA和3,4'-BPDA的PI在 T_g 以上,都伴随着储能模量的急剧下降,其值下降约2个数量级,而储能模量的下降幅度能反应出聚合物熔体中分子间的相互作用力强弱,表明此两种PI具有较好的热加工性^[6]。这可能因为当温度在 T_g 以上,由于基于3,3'-BPDA和3,4'-BPDA的PI分子结构的不规整性,使得分子之间相互作用力减小,PI的储能模量急剧降低。

2.3 PI薄膜的拉伸性能

由聚酰胺酸热亚胺化制备得到的PI薄膜的拉伸性能如表3、表4所示。由表3、表4可以看出,当二胺结构相同时,基于3,3'-BPDA/ODA的PI薄膜的拉伸性能低于基于3,4'-BPDA/ODA的PI薄膜,且当向这两种二酐中加入4,4'-BPDA后,随着4,4'-BPDA含量的增加,PI薄膜的拉伸强度和拉伸弹性模量显示出逐渐增高的趋势,基于4,4'-BPDA的PI的拉伸性能最高,这可能是因为4,4'-BPDA之间的分子间相互作用力较强。当二酐结构相同时,基于3,3'-BPDA/PDA和4,4'-BPDA/PDA的PI拉伸性能高于相应的基于ODA的PI,而基于3,4'-BPDA/PDA的PI薄膜的拉伸性能稍低于相应的基于ODA的PI,随着加入的4,4'-BPDA的含量增加,基于PDA的PI薄膜的拉伸强度和拉伸弹性模量逐渐高于基于ODA的PI薄膜。基于4,4'-BPDA/PDA的PI薄膜拉伸性能最好,拉伸强

度和拉伸弹性模量分别为307 MPa和4.1 GPa,断裂伸长率达到23%。

表3 基于BPDA/ODA合成的PI薄膜的拉伸性能

二酐物质的量之比	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	断裂伸长率 / %
A ₃₃	65	2.1	3.5
A ₃₃ /C ₄₄ =3/1	106	1.8	9.8
A ₃₃ /C ₄₄ =1/1	88	1.8	9.3
A ₃₃ /C ₄₄ =1/3	118	2.2	15
C ₄₄	134	2.3	19
B ₃₄	107	1.8	16
B ₃₄ /C ₄₄ =3/1	100	1.7	13
B ₃₄ /C ₄₄ =1/1	104	1.8	12
B ₃₄ /C ₄₄ =1/3	118	2.1	27
C ₄₄	134	2.3	19

表4 基于BPDA/PDA合成的PI薄膜的拉伸性能

二酐物质的量之比	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	断裂伸长率 / %
A ₃₃	— ¹⁾	— ¹⁾	— ¹⁾
A ₃₃ /C ₄₄ =3/1	— ¹⁾	— ¹⁾	— ¹⁾
A ₃₃ /C ₄₄ =1/1	— ¹⁾	— ¹⁾	— ¹⁾
A ₃₃ /C ₄₄ =1/3	162	3.2	14
C ₄₄	307	4.1	23
B ₃₄	100	1.8	12
B ₃₄ /C ₄₄ =3/1	104	1.9	11
B ₃₄ /C ₄₄ =1/1	129	2.7	20
B ₃₄ /C ₄₄ =1/3	170	3.2	10
C ₄₄	307	4.1	23

注:1)薄膜为脆性,不能制备试样。

2.4 PI模塑料的力学性能

如上所述,3,3'-BPDA与PDA聚合后,所得的PI脆性大,无法测试其性能;而基于4,4'-BPDA的PI虽然力学性能较好,但 T_g 较低;同时考虑到3,3'-BPDA与4,4'-BPDA混合后可能类似于3,4'-BPDA的结构。因而笔者选择了部分聚酰胺酸化学亚胺化得到PI粉末,通过模压工艺制备了PI模塑料,其力学性能如表5所示。

表5 PI模塑料的常温力学性能

性能	A ₃₃ /ODA	B ₃₄ /ODA	A ₃₃ /C ₄₄ /ODA ¹⁾	B ₃₄ /PDA
T_g / °C	316	323	312	382
拉伸强度 / MPa	80	107	102	81
拉伸弹性模量 / GPa	1.0	1.1	1.1	1.4
压缩强度 / MPa	110	112	123	128
压缩弹性模量 / GPa	2.0	2.0	2.0	2.1
弯曲强度 / MPa	103	132	145	101
弯曲弹性模量 / GPa	2.6	2.6	3.0	3.1
冲击强度 / kJ·m ⁻²	—	82.3	94	—

注:1)A₃₃/C₄₄/ODA中A₃₃与C₄₄物质的量之比为1:1。

由表5可以看出,当二胺结构相同时,基于3,4'-BPDA/ODA的PI模塑料的拉伸强度、弯曲强

度和 T_g 高于基于 3,3'-BPDA/ODA 的 PI 模塑料;当二酐相同时,基于 3,4'-BPDA/PDA 的 PI 模塑料的 T_g 高于基于 3,4'-BPDA/ODA 的 PI 模塑料,达 382℃,但其综合力学性能较低。

另外,在 3,3'-BPDA/ODA 中加入等物质的量的 4,4'-BPDA 后制得的 PI 的 T_g 稍低,但其综合力学性能较好,其中冲击强度达到 94 kJ/m²,高于基于 3,4'-BPDA/ODA 的 PI。其中,在这两种 PI 模塑料的 6 根冲击试样中,各有三根冲不断。且这两种 PI 模塑料在弯曲测试中,试样不断裂,仅表现为屈服。

3 结论

(1) 当二胺相同时,基于 3,3'-BPDA 和 3,4'-BPDA 的 PI 均聚物或共聚物较基于 4,4'-BPDA 的 PI 有更高的 T_g 和更好的热加工性。而当二酐相同时,基于 PDA 的 PI 的 T_g 远高于基于 ODA 的 PI。基于 3,4'-BPDA/PDA 的 PI 的 T_g 最高,达 382℃。

(2) 基于 4,4'-BPDA/PDA 的 PI 薄膜的拉伸性能最高。

(3) 基于 3,4'-BPDA/ODA 和 3,3'-BPDA/4,4'-BPDA (1/1)/ODA 的 PI 模塑料均具有高于 300℃ 的 T_g 和较好的力学性能。

参考文献

- [1] 丁孟贤. 聚酰亚胺—化学、结构与性能的关系及材料[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] Hasegawa M, Shi Zemin, Yokota R, et al. Thermo-processable polyimides with high T_g and high thermo-oxidative stability as derived from 2,3,3',4'-biphenyltetracarboxylic dianhydride [J]. High Performance Polymers, 2001, 13 (4): 355-364.
- [3] Shi Zemin, Hasegawa M, Shindo Y, et al. Thermo-processable polyimides with high thermo-oxidative stability as derived from oxydiphthalic anhydride and bisphenol a type dianhydride [J]. High Performance Polymers, 2000, 12 (3): 377-393.
- [4] Hergenrother P M. The use, design, synthesis, and properties of high performance/high temperature polymers: an overview [J]. High Performance Polymers, 2003, 15 (1): 3-45.
- [5] Hergenrother P M, Watson K A, Smith J G, et al. Copolyimides from 2,3,3',4'-biphenyltetracarboxylic dianhydride and pyromellitic dianhydride with 4,4'-oxydianiline [J]. Polymer, 2004, 45 (16): 5441-5449.
- [6] Chen Chunhai, Yokota R, Hasegawa M, et al. Isomeric biphenyl polyimides. (I) Chemical structure-property relationships [J]. High Performance Polymers, 2005, 17 (3): 317-333.
- [7] Ding Mengxian, Wang Zugiang, Yang Zhenghua, et al. Process for the preparation of 3,3',4,4'-biphenyltetracarboxylic acid and its derivatives:US,5081281[P].1992-01-14.
- [8] 丁孟贤,王绪强,张劲,等. 3,3',4,4'-联苯四甲酸及其衍生物的合成: 中国,1041754[P].1990-05-02.
- [9] Hasegawa M, Sensui N, Shindo Y, et al. Improvement of thermoplasticity for s-BPDA/PDA by copolymerization and blend with novel asymmetric BPDA-based polyimides [J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 1999, 37 (17): 2499-2511.
- [10] Hasegawa M, Sensui N, Shindo Y, et al. Structure and properties of novel asymmetric biphenyl type polyimides. Homo-and copolymers and blends [J]. Macromolecules, 1999, 32 (2): 387-396.
- [11] Tong Yuejin, Huang Wenxi, Luo Jun, et al. Synthesis and properties of aromatic polyimides derived from 2,2',3,3'-biphenyltetracarboxylic dianhydride [J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1999, 37 (10): 1425-1433.
- [12] Tong Yuejin, Cheng Yanxiang, Ding Mengxian, et al. Polyimide structure-property relationships-I. Polyimide properties vs dianhydride configuration [J]. Chinese Chemical Letters, 1998, 9 (10): 971-972.
- [13] Rozhanskii I, Okuyama K, Goto K. Synthesis and properties of polyimides derived from isomeric biphenyltetracarboxylic dianhydrides [J]. Polymer, 2000, 41 (19): 7057-7065.

无毒环保增塑剂环氧大豆油前景看好

环氧大豆油是一种无毒环保型的增塑剂,同时还有十分优良的增塑和热稳定作用,在塑料、涂料、新型高分子材料等工业领域中都有广泛的应用。由于环氧大豆油是一种无毒的增塑剂,它亦可以用于食品包装材料。

环氧大豆油和十二烷基硫酸复合后相对分子增大,形成一种新型的增效剂,与高分子材料有很好的相容性,不易被抽提,协同效果得到增强。同时可以降低塑料制品的价格,减少其它抗氧剂的用量,还可以解决因抗氧剂用量多而产生的喷霜,从而产生较大的经济与社会效益。我国的大豆油产量处世界前列,我国相关企业需工业化环氧大豆油合成工

艺,使生产装置自控化并降低生产成本,从而满足人们对高品质、环保化、多功能增塑剂的要求。(工程塑料网)

投资千亿元聚酰亚胺项目落户营口

辽宁省营口市政府与正威国际集团近日在营口举行了聚酰亚胺高新材料产业基地建设签约仪式,标志着这一大型聚酰亚胺项目将正式落户营口。

聚酰亚胺是综合性能优良的有机高分子材料,也是新材料产业的重要组成部分。此次正威国际集团联合君华科技等公司,将分三期投资 1000 亿元在营口市建设中国聚酰亚胺高新产业基地,构建研发、生产、应用于一体的产业集群。

(慧聪网)