

聚丙烯酸酯型高分子侧链液晶的合成及其 对聚乙烯成核结晶行为的影响*

乔文强 范晓东** 李朋朋 孔 杰 刘郁杨 解云川

(西北工业大学理学院应用化学系 西安 710072)

摘 要 基于聚烯烃用成核剂的结构特征设计合成了两种极性基团和非极性基团交替排列的乙烯基单体, 并利用自由基引发聚合, 制备出相应的侧链型液晶聚合物. 采用元素分析、红外光谱和核磁共振氢谱对所合成单体和聚合物的结构进行了确认. 并采用热失重(TGA)和差示扫描量热仪(DSC)研究了聚合物的热稳定性和相转变温度. 结果表明, 所合成聚合物的起始热分解温度均在 337℃ 以上, 具有优异的热稳定性; 液晶相变温度区间可达 186 K, 具有较宽的液晶态温度范围. 热台偏光显微镜(HS-POM)研究结果表明, 聚合物均呈现织影织构, 证明所合成的聚合物均为热致向列型侧链液晶高分子. 采用 DSC 和 HS-POM 研究了所合成的侧链液晶聚合物对高密度聚乙烯(HDPE)异相成核结晶行为的影响. 结果表明, 侧链型液晶聚合物在提高 HDPE 结晶温度、结晶度以及降低 HDPE 晶粒的尺寸及分布方面均有优异的效果, 是一类 HDPE 有效的成核剂.

关键词 侧链液晶聚合物, 成核剂, 高密度聚乙烯

侧链液晶聚合物兼具液晶的功能性和聚合物优异的力学性能等特点^[1,2], 具有广阔的应用前景^[3-9], 已成为当前高分子科学研究的热点之一.^[10-14] 侧链液晶聚合物的分子结构由聚合物主链和悬挂于主链上含有液晶基元的侧链所组成, 可以通过选择不同聚合物主链和侧链并依据实际的使用目的来设计合成侧链液晶聚合物.

成核剂作为材料的改性助剂, 通过改善聚合物的结晶行为来改善材料的力学、电学和光学等性能, 在半结晶性聚合物材料的成型加工过程中获得了广泛的应用. 当前所用的成核剂一般为分子结构具有较大刚性的有机小分子物质, 如二亚苄基山梨醇(DBS)类^[15-18]、脱氢松香酸类^[19] 和有机磷酸盐等. 对于 DBS 类成核剂来说, 在从熔体冷却的过程中, 将先于树脂基体结晶成三维纳米微纤网状结构^[20-22], 在聚合物熔体中作为第二相提供部分有序的界面, 降低形成聚合物临界晶核的自由能位垒, 促进聚合物的结晶. 但是, 这种三维的网状结构, 增大了聚合物熔体的粘度, 在一定程度上也会限制聚合物分子链的运动^[15,23]. 若采用侧链液晶聚合物作为半结晶性聚合物的成核剂, 既能在聚合物树脂基体中提供晶相有序的界面, 降低成核的自由能位垒, 又能降低树脂的粘度, 提高大分子链的运动活性. 因此, 与小分子成核剂相比, 液晶型高分子成核剂应具有更好的成核效

果, 同时又能克服小分子易从树脂基体中析出等缺陷, 但到目前为止, 采用侧链液晶聚合物作半结晶性聚合物成核剂方面的研究鲜见文献报道.

为了研究侧链液晶聚合物作成核剂的可能性, 本文设计合成了两种乙烯基单体, 并采用自由基引发聚合制备了相应的液晶聚合物. 采用 NMR、FTIR、DSC、POM 等手段对合成的单体和聚合物的结构和性能进行了研究, 并利用 DSC 和 POM 初步研究了侧链液晶聚合物对 HDPE 异相成核结晶行为的影响.

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

对羟基苯甲酸(HBA), 对苯二酚, 化学纯试剂. 丙烯酰氯, 工业品, 在阻聚剂存在下蒸馏后使用. *N,N*-二环己基碳二亚胺(DCC), *N,N*-二甲氨基吡啶(DMAP), 氯乙醇, 工业品. 四氢呋喃(THF)、二氧六环(Dioxane)、*N,N*-二甲基甲酰胺(DMF), 分析纯, 经分子筛(A4)脱水. 高密度聚乙烯(HDPE)为齐鲁石化产品, 牌号为 DMDY1158.

北京第二光学仪器厂 WQF-310 红外光谱仪, KBr 压片法; 美国 Varian 公司 INOVA-400 核磁共振仪测定, 溶剂为 CDCl₃; 美国 TA 公司 MDSC2910 调制式差示扫描量热仪, 测试前经标准钢作温度及热流校正. 美国 TA 公司 Q50 热失重分析仪, 升

* 2004-07-13 收稿, 2004-08-29 修稿; 国防军工计量“十五”计划重点项目(项目号 61005217); ** 通讯联系人, Email: xfand@yahoo.com

温速率为 10 K/min, N_2 氛围. 德国 Vario EL III 元素分析仪. Nikon E400POL 偏光显微镜配 Instec HSC20U 热台, 照相系统为 Nikon Coolpix4500 型数码相机.

1.2 中间体与单体的合成

1.2.1 4-丁氧基苯甲酸(BBA)的合成 BBA 的制备是: 将 10.36 g(0.14 mol)正丁醇和 50 mL 吡啶加入 250 mL 三口瓶中, 搅拌并用冰水浴冷却至 0 ~ 6℃. 在搅拌的同时缓慢滴加 37.07 g(0.21 mol)苯磺酰氯. 滴加完毕后在 0 ~ 6℃继续反应 5 h. 在反应所得物中加入 100 mL 蒸馏水, 20 mL 36% 的盐酸, 搅拌后静置分层, 将有机层依次用 50 mL 0.2 mol/L Na_2CO_3 , 50 mL 1:8 稀硫酸, 50 mL 1:4 稀盐酸洗涤, 最后用蒸馏水洗涤至近中性后用无水硫酸钠干燥, 减压蒸馏后得丁氧基苯磺酸酯, 产率 91%.

将 30.39 g(0.22 mol)HBA 加入 250 mL 三口瓶中, 然后加入 50 mL 乙醇, 28.00 g KOH (0.50 mol)溶于 50 mL 水中所得溶液, 搅拌溶解. 油浴加热至 80℃后, 开始滴加丁氧基苯磺酸酯 39.60 g (0.20 mol), 滴加完毕在 80℃回流反应 36 h. 待反应物冷却至室温后, 用稀盐酸酸化至 pH 值为 2 ~ 3, 抽滤并将产物用蒸馏水洗涤至近中性, 无水乙醇重结晶提纯得 BBA, 产率 69%.

4-戊氧基苯甲酸 PBA 按相似的条件制备. 产率 60%.

1.2.2 4-羟基-4'-丁氧基苯甲酸苯酯(HBC)的合成 将完全干燥的 BBA 10.49 g(0.054 mol)置于 250 mL 圆底烧瓶中, 加入 30 mL 二氯亚砷和 1 ~ 2 滴 DMF, 搅拌回流 5 h 后减压蒸馏除去过量的二氯亚砷得 4-丁氧基苯甲酰氯, 将其溶于 40 mL 四氢呋喃中备用.

将 23.10 g(0.21 mol)对苯二酚溶于 150 mL 吡啶中, 冰浴冷至 0 ~ 5℃, 快速搅拌下滴加 4-丁氧基苯甲酰氯的四氢呋喃溶液. 滴完后移去冰浴, 室温下继续搅拌 24 h 后用稀盐酸酸化, 抽滤, 蒸馏水洗涤, 干燥后用无水乙醇重结晶得 HBC, 产率 69%.

采用相似的反应条件制备 4-羟基-4'-戊氧基苯甲酸苯酯(HPC), 产率 72%.

1.2.3 4-(2-羟基乙氧基)苯甲酸(HEA)的合成

将 33.15 g(0.24 mol)对羟基苯甲酸加入三口瓶中, 依次加入 50 mL 乙醇, 35.84 g(0.64 mol)KOH 溶于 50 mL 水所得溶液, 0.50 g KI, 然后滴加

26.56 g(0.33 mol)氯乙醇, 滴加完毕后回流 24 h. 结束冷却至室温后加水使沉淀溶解, 用乙醚萃取除去未反应的氯乙醇, 然后用稀盐酸酸化, 搅拌后抽滤, 蒸馏水洗涤, 干燥后用无水乙醇重结晶得 HEA, 产率 81%.

1.2.4 4-(2-丙烯酰氧乙氧基)苯甲酸(AEA)的合成 将 3 mL(0.033 mol)丙烯酰氯溶于 30 mL 四氢呋喃中备用. 把 5.10 g(0.028 mol)HEA 溶于 70 mL 四氢呋喃, 加入 3.04 g(0.030 mol)三乙胺, 冰盐浴冷却至 0 ~ 5℃, 搅拌下缓慢滴加丙烯酰氯的四氢呋喃溶液, 滴完后移去冰盐浴, 于室温继续搅拌 24 h 后, 过滤除去季铵盐, 用旋转蒸发器脱除溶剂, 所得固体产物用乙醇重结晶得 AEA, 产率 54%.

1.2.5 单体 M1 和 M2 的合成 4-丁氧基苯甲酸 4'-(2-丙烯酰氧乙氧基)苯甲酸对苯二酚酯(M1)和 4-戊氧基苯甲酸 4'-(2-丙烯酰氧乙氧基)苯甲酸对苯二酚酯(M2)按相似的条件制备.

以合成 M1 为例, 将 8.58 g(0.030 mol)的 HBC 和 9.24 g(0.035 mol)的 AEA 溶于 30 mL 干燥的 DMF 中, 加入 DCC 7.22 g(0.035 mol)和 0.10 g 的 DMAP, 室温缓慢搅拌 24 h, 抽滤, 滤液加入到 300 mL 蒸馏水中沉淀, 所得固体产物水洗后用乙醇重结晶, 得到单体 M1, 产率 73%.

元素分析实测值(理论值)(%): C 69.78 (69.05), H 5.59 (5.19). IR (KBr, cm^{-1}): 1727 ($C=O$, ester), 1636 ($C=C$), 1606, 1577, 1508, 1466 (aromatic ring framework). ^1H -NMR ($CDCl_3$, δ): 0.98 ~ 1.02 (3H, t, $CH_3(CH_2)_3O$), 1.50 ~ 1.55 (2H, m, $CH_3CH_2CH_2CH_2O$), 1.78 ~ 1.85 (2H, m, $CH_3CH_2CH_2CH_2O$), 4.01 ~ 4.08 (2H, m, $CH_3CH_2CH_2CH_2O$), 5.87 ~ 5.93 (1H, d, $CH_2=$), 6.15 ~ 6.22 (1H, q, =CH—), 6.45 ~ 6.49 (1H, d, $CH_2=$), 6.97 ~ 8.18 (12H, m, aromatic protons).

4-戊氧基苯甲酸 4'-(2-丙烯酰氧乙氧基)苯甲酸对苯二酚酯(M2), 产率 70%.

元素分析实测值(理论值)(%): C 69.98 (69.50), H 5.90 (5.79). IR (KBr, cm^{-1}): 1730 ($C=O$, ester), 1635 ($C=C$), 1606, 1579, 1510, 1467(aromatic ring framework). ^1H -NMR ($CDCl_3$, δ): 0.93 ~ 0.97 (3H, t, $CH_3(CH_2)_4O$), 1.38 ~ 1.49 (4H, m, $CH_3(CH_2)_2CH_2CH_2O$), 1.80 ~ 1.87 (2H,

m, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 4.02 ~ 4.07 (2H, m, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$), 5.87 ~ 5.90 (1H, d, $\text{CH}_2=$), 6.15 ~ 6.22 (1H, q, $=\text{CH}-$), 6.45 ~ 6.50 (1H, d, $\text{CH}_2=$), 6.97 ~ 8.18 (12H, m, aromatic protons).

1.3 聚合物的合成

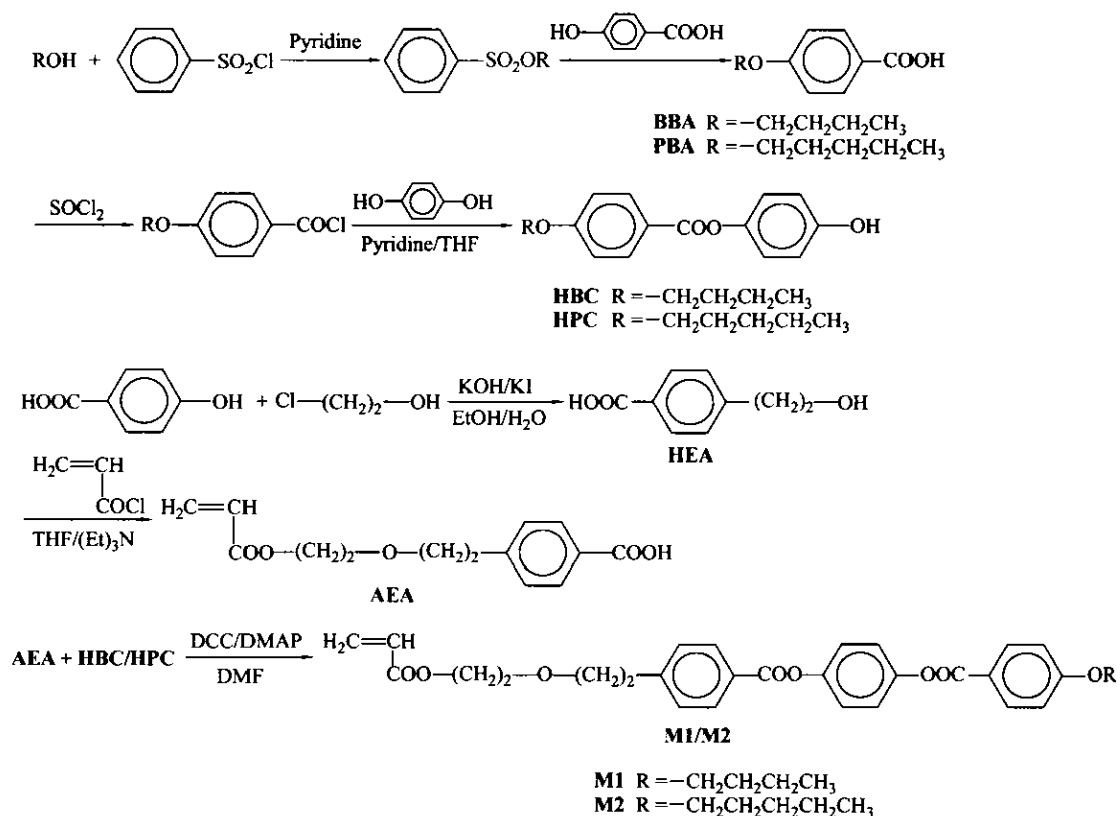
以 BPO 作引发剂, 将 M1 和 M2 分别溶于 4 mL 的 Dioxane 中, 通氮 30 min 后于 60℃ 油浴中聚

合 24 h, 之后将反应液加入甲醇中沉淀, 沉淀物用 Dioxane 溶解甲醇沉淀共 3 次以除去未反应的单体, 最后将产物于 60℃ 真空干燥至恒重, 得到相应的聚合物 P1 和 P2.

2 结果与讨论

2.1 单体的合成与表征

本研究的合成路线见反应式 1.



Scheme 1 Synthesis routes of monomers

从反应式 1 可以看出, 为了得到目标单体 M1 和 M2, 须先合成出 4-羟基-4'-烷氧基苯甲酸苯酯 (HBC, HPC) 和 4-(2-丙烯酰氧乙氧基) 苯甲酸 (AEA), 然后将 HBC、HPC 分别与 AEA 进行酯化反得到单体 M1 和 M2. 考虑到 HBC、HPC 和 AEA 的空间位阻均较大, 反应活性较低, 因此, 选择了 DMAP 作为催化剂, DCC 作为脱水剂, 使其在室温下进行酯化反应, 原因在于 DCC-DMAP 可以在较低温度下直接催化位阻较大的酸和酚的酯化反应, 反应条件温和, 有利于保护双键. 并且 DCC 吸水后生成不溶于溶剂的 *N,N*-二环己基脲, 容易与产物分离, 后处理容易. 单体的结构分别经元素分析、红外光谱和核磁共振氢谱得到证实.

2.2 聚合物的 TGA 分析

采用 TGA 表征了聚合物的热稳定性, 得到聚合物失重 5% ($T_{5\%}$)、50% ($T_{50\%}$) 和最大失重速率时的温度 ($T_{\max}$), 其结果列于表 1 中.

Table 1 Data of TGA for the synthesized polymers

Polymer	$T_5\%$ (°C)	$T_{50\%}$ (°C)	$T_{\max}$ (°C)
P1	337	413	416
P2	340	424	429

样品失重 5% 时的温度, 常作为表征样品起始分解温度的参数, 表 1 可以看出, P1 和 P2 的 $T_{5\%}$ 均在 337℃ 以上, 表明所合成的侧链液晶聚合物均具有优异的热稳定性.

2.3 聚合物的 DSC 分析

在 290℃ 保温 5 min 以消除热历史, 然后以 10 K/min 的降温速率冷却至 -40℃, 得到聚合物降温过程的 DSC 曲线; 在 -40℃ 平衡后, 以 10 K/min 的升温速率加热至 290℃, 得到聚合物加热过程的 DSC 曲线, 其结果见图 1.

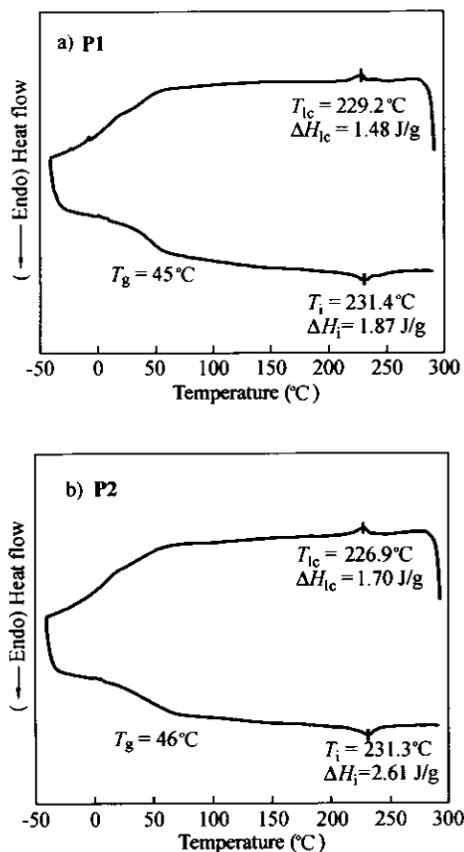


Fig. 1 DSC curves for the polymers synthesized

从图 1(a)所示 DSC 曲线可以看出, **P1** 在升温的过程中, 于 $T_g = 45^\circ\text{C}$ 出现玻璃化转变后, 在 $T_i = 231.4^\circ\text{C}$ 出现了一个焓变为 1.87 J/g 的吸热峰, 为 **P1** 从液晶相到各向同性相的转变峰, 在降温的过程中, 在 $T_{lc} = 229.2^\circ\text{C}$ 出现了焓变为 1.48 J/g 的放热峰, 代表了 **P1** 从各向同性态向液晶态的相转变. 与 **P1** 类似, **P2** 在升降温的过程中也具有玻璃化转变、清亮点和液晶化温度, 其值见图 1(b). 聚合物 **P1** 和 **P2** 的液晶相变温度区间 ($T_i - T_g$) 较宽, 均在 186K 左右. 另外, 从图 1 可以看出, **P1** 和 **P2** 在升降温的过程中, 其液晶相转变峰的焓变均处于 1.48 ~ 2.61 J/g 之间, 该值较低, 表明 **P1** 和 **P2** 液晶相的有序性较差, 应为向列型液晶.

2.4 聚合物的 HS-POM 分析

图 2 为 **P1** 和 **P2** 的热台偏光显微镜照片. 从

图 2 可以看出, **P1** 呈现出向列相的纹影织构, HS-POM 观察结果与 DSC 测试所得结果相符, 证明 **P1** 和 **P2** 均为热致向列型侧链液晶聚合物.

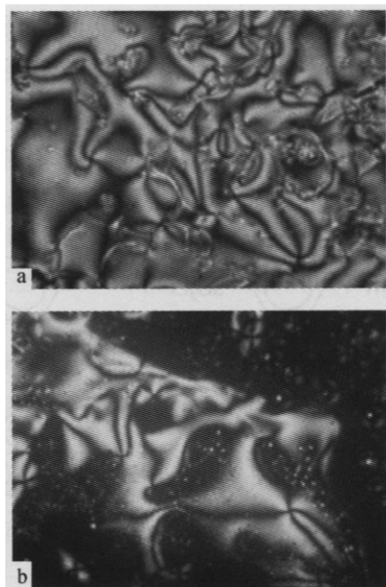


Fig. 2 Polarized micrographs of liquid crystalline texture of the polymers ($\times 200$)

a) **P1** at 200℃ when cooling from isotropic; b) **P2** at 218℃ when cooling from isotropic

2.5 液晶聚合物对 HDPE 异相成核结晶行为的影响

选取 **P2** 为研究对象, 考察侧链液晶聚合物对高密度聚乙烯 (HDPE) 异相成核结晶行为的影响, 并选用已证明为聚烯烃有效成核剂的二亚苄基山梨糖醇 (DBS) 做对比研究. 为保证两相体系混合均匀, 采用溶液共混法制备试样.

图 3 为 HDPE 试样的 DSC 曲线, 其中图 3(a) 为消除热历史后以 10 K/min 的降温速率冷却的 DSC 曲线, 图 3(b) 为冷却后以 10 K/min 的升温速率加热的 DSC 曲线. 从图 3(a) 获得试样结晶峰的峰顶温度 (T_c) 和结晶峰的半高宽 (ΔW), 从图 3(b) 获得试样的熔融温度 (T_m), 并按文献 [24] 计算试样的结晶度 (X_c), 这些结果列于表 2 中.

Table 2 Data from DSC curves for the HDPE samples

Sample	T_c (°C)	ΔW (°C)	X_c (%)	T_m (°C)
HDPE	114.7	8.4	70.5	135.1
HDPE + 1.0% DBS	116.5	7.9	71.6	133.2
HDPE + 1.0% P2	117.1	4.7	75.9	132.3

从图 3(a) 和表 2 中的数据可以看出, 在冷却的过程中, 添加了 **P2** 和 DBS 的试样 T_c 均较纯 HDPE 的高, 这是因为 **P2** 和 DBS 在 HDPE 基体中

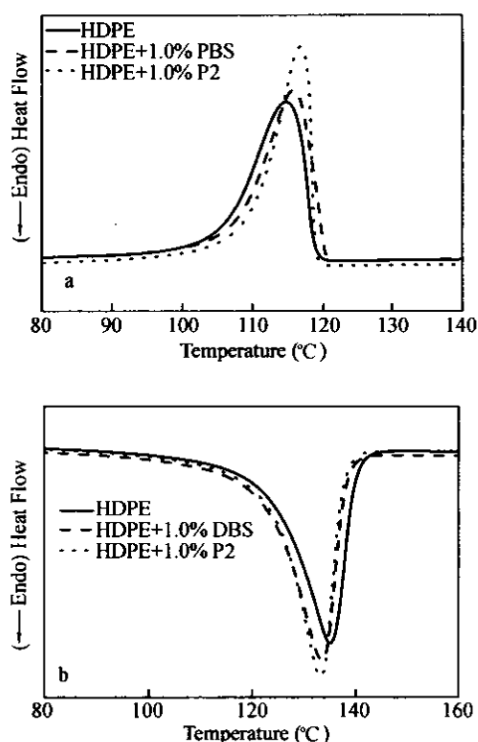


Fig. 3 DSC curves of the HDPE samples

a) Cooling; b) Heating

形成了异相晶核,使 HDPE 在较高温度下即可开

始结晶.另外,在相同用量时,添加了 **P2** 的试样其 T_c 最高,证明对于 HDPE 来说,**P2** 较 DBS 的异相成核效果更好.另外,从图 3(a)和表 2 可以看出,添加了 **P2** 的试样,结晶峰的半高宽 ΔW 比 HDPE 降低了 44.1%,而添加了相同用量 DBS 的试样只较 HDPE 降低了 6.0%,证明 **P2** 比 DBS 更有利于提高 HDPE 的结晶速率.

从图 3(b)和表 2 中的数据可以看出,在升温的过程中,添加了 **P2** 的试样,结晶度最大,较 HDPE 提高了 5.4%,而添加了 DBS 的试样较 HDPE 只提高了 1.1%.对于 DBS 来说,在冷却的过程中将先于树脂基体结晶成三维纳米微纤网状结构^[23],在聚合物树脂基体中出现两相体系,降低形成聚合物稳定晶核的界面自由能,从而促进聚合物结晶;但是,这种网状结构在一定程度上也会限制聚合物分子链段的运动^[15],因此,表现为 DBS 在促进 HDPE 结晶的同时,对结晶度的提高不是很明显.对 **P2** 来说,其所具有的液晶性,既能在聚合物树脂基体中提供有序的界面,降低成核的自由能垒,又能提供液体的低粘性,提高聚合物树脂基体分子链的运动活性,因此,添加了 **P2** 的试样,其结晶度提高最大.

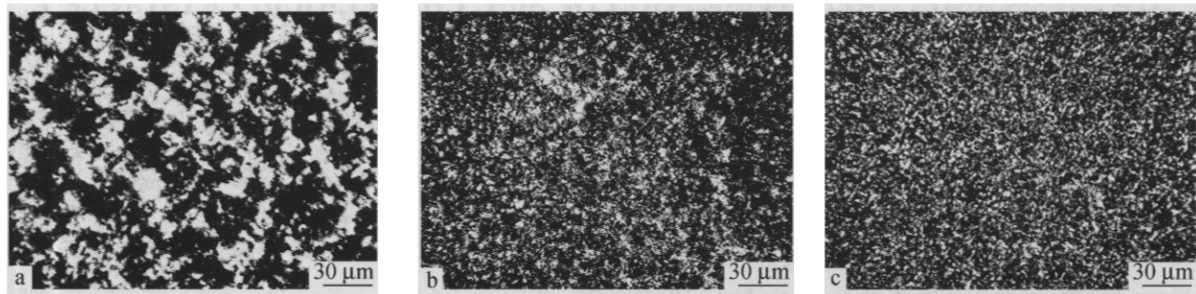


Fig. 4 Optical micrographs of the morphology of HDPE samples

a) HDPE; b) HDPE + 1.0% DBS; c) HDPE + 1.0% P2

图 4 为聚乙烯试样晶体形态的偏光显微镜照片.从图 4(a)纯 HDPE 试样的 POM 照片可以清楚的看出,其形成的晶粒尺寸较大且分布不均匀,而添加了 DBS 和 **P2** 的试样,如图 4(b)和(c)所示,其晶粒明显变小,且分布更为均匀,尤其是添加了 **P2** 的试样,其晶体粒度最细,且分布最为均匀.由图 4 所得结果证明,**P2** 作为 HDPE 的成核剂时,可

促进其结晶并使其晶粒尺寸变小且分布更为均匀.

由以上的分析可以看出,所合成的侧链型液晶聚合物可作为聚乙烯有效的成核剂,它可以改善 HDPE 的结晶行为、提高结晶度并细化 HDPE 晶粒且使其分布更为均匀.从聚合物结构与性能的角度看,这些微观结构的改变势必会显著影响 HDPE 的宏观力学性能.

REFERENCES

- 1 Parmar D S N, Clark A, Keller P, Walba D M, Wand M D. *J Phys*, 1990, 51: 355 ~ 368
- 2 Hsiue G H, Hsu C H, Shin L J. *Macromolecules*, 1993, 26: 3161 ~ 3167
- 3 Hasegawa M, Yamamoto T, Kanazawa A, Shiono T, Ikeda T. *Adv Mater*, 1999, 11: 675 ~ 677
- 4 Sanchez C, Alcala R. *Appl Phys Lett*, 2001, 78: 3944 ~ 3946
- 5 Zhao Y, Bai S Y, Asatryan K, Galstian T. *Adv Funct Mater*, 2003, 13: 781 ~ 788
- 6 Delaire J A, Nakatani K. *Chem Rev*, 2000, 100: 1817 ~ 1846
- 7 Sandhya K Y, Pillai C K S, Sato M, Tsutsumi N. *Macromol Chem Phys*, 2002, 203: 1126 ~ 1134
- 8 Singer K D, Petschek R G, Ostroverkhov V, Twieg R J, Sukhomlinova L. *J Polym Sci Part B: Polym Phys*, 2003, 41: 2744 ~ 2754
- 9 Lussem G, Wendorff J H. *Polym Adv Technol*, 1998, 9: 443 ~ 460
- 10 Liu J H, Yang P C. *J Appl Polym Sci*, 2004, 91: 3693 ~ 3704
- 11 Zilker S J, Bieringer T, Haarer D, Stein R S, van Egmond J W, Kostromine S G. *Adv Mater*, 1998, 10: 855 ~ 859
- 12 Stracke A, Wendorff J H, Janietz D, Mahlstedt S. *Adv Mater*, 1999, 11: 667 ~ 670
- 13 Laura A, Bagnoli B, Massimo F, Marco G. *Mol Cryst And Liq Cryst*, 2001, 372: 1 ~ 15
- 14 Hsu C S. *Prog Polym Sci*, 1997, 22: 829 ~ 871
- 15 Marco C, Ellis G, Gomez MA, Arribas J M. *J Appl Polym Sci*, 2002, 84: 2440 ~ 2450
- 16 Feng Y, Jin X, Hay N. *J Appl Polym Sci*, 1998, 69: 2089 ~ 2095
- 17 Li X, Cao Y, Du Q G, Yin Y, Tu D M. *J Appl Polym Sci*, 2001, 82: 611 ~ 619
- 18 Romankiewicz A, Sterzynski T. *Macromol Symp*, 180: 241 ~ 256
- 19 Li C C, Zhu G, Li Z Y. *J Appl Polym Sci*, 2002, 83: 1069 ~ 1073
- 20 Thierry A, Straupe C, Lots B, Wittmann J C. *Polym Commun*, 1990, 31: 299 ~ 301
- 21 Shepard T A, Delsorbo C R, Louth R M, Walborn J L, Norman D A, Harvey N G, Spontak R J. *J Polym Sci Part B: Polym Phys*, 1997, 35: 2617 ~ 2628
- 22 Bauer T, Thomann R, Mulhaupt R. *Macromolecules*, 1998, 31: 7651 ~ 7658
- 23 Kristiansen M, Werner M, Tervoort T, Smith P, Blomenhofer M, Schmidt H W. *Macromolecules*, 2003, 36: 5150 ~ 5156
- 24 Zhang Qian (张乾), Xie Yunchuan (解云川), Fan Xiaodong (范晓东). *China Plastics (中国塑料)*, 2002, 16: 73 ~ 76

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SIDE CHAIN LIQUID CRYSTALLINE POLYACRYLATES AND THEIR EFFECT ON THE CRYSTALLIZATION OF POLYETHYLENE USING AS A NUCLEATING AGENT

QIAO Wenqiang, FAN Xiaodong, LI Pengpeng, KONG Jie, LIU Yuyang, XIE Yunchuan

(Department of Applied Chemistry, School of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract The present work was focused on investigating the potential of using side chain liquid crystalline polymers (SCLCP) as nucleating agents for semicrystalline polymers. For this purpose, two vinyl monomers with liquid crystalline properties were designed and prepared. By means of homopolymerization two side chain liquid crystalline polymers having different architectures were synthesized. The monomers and the polymers obtained were characterized by elemental analysis, FTIR and $^1\text{H-NMR}$ measurements. DSC and HS-POM were employed to study the phase-transition temperatures and mesophase textures for the polymers. The thermal stability of the polymers was measured by TGA. The results showed that the polymers were all thermotropic side chain liquid crystalline polymers with wide liquid crystalline phase temperature range and excellent thermal stability. The effect of one of the SCLCPs used as a nucleating agent in the crystallization of high density polyethylene (HDPE) was investigated by DSC and HS-POM. The results indicated that SCLCP could effectively increase the crystallization temperature, crystallization speed and the crystallinity for HDPE. It was found that the synthesized SCLCP could be an effective nucleating agent for HDPE.

Key words Side chain liquid crystalline polymer, Nucleating agent, High density polyethylene