

主链含 *N*-烷基咔唑环结构聚芳醚酮的性能表征

王菲菲^{a,b} 王志鹏^{a,b} 王红华^a 周光远^{a*}

(^a中国科学院长春应用化学研究所 中科院生态环境高分子材料实验室 长春 130022;

^b中国科学院大学 北京 100049)

摘 要 对含 *N*-烷基咔唑环结构的聚芳醚酮(PPCzE、PPCzB 和 PPCzH)进行基本物理性能方面的表征,并与商业化酚酞基聚芳醚酮(PEK-C)进行比较。咔唑环结构的引入使聚合物在 345 nm 附近有强紫外光吸收并表现出蓝光能力。由于疏水性烷基侧链的存在,聚合物薄膜的水接触角(87°~103°)大于 PEK-C(76°),但同时烷基侧链所引起的聚合物链间距的增大导致聚合物的吸水率(0.65%~0.86%)高于 PEK-C(0.56%)。此外,聚合物表现出较好的尺寸稳定性(平均线膨胀系数 $6.4 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)和电绝缘性能(体积电阻率 $10^{16} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$)。聚合物的拉伸模量在 1.9~2.0 GPa 之间,拉伸强度在 72.5~75.0 MPa 之间以及断裂伸长率在 6.5%~7.2% 之间。高温条件下($\leq 225 \text{ }^{\circ}\text{C}$),PPCzE 仍具有良好的拉伸性能。

关键词 聚芳醚酮;咔唑;侧链烷基;荧光;接触角;拉伸性能

中图分类号:O633.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2015)04-0379-07

DOI:10.11944/j.issn.1000-0518.2015.04.140253

作为一类典型的特种工程材料,聚芳醚酮(PAEK)已在航空航天、电子电器、交通运输等领域得到了广泛的关注^[1-3]。近年来有关 PAEK 改性的研究十分活跃,目的是改善聚合物的加工性或使其功能化或进一步提高聚合物的耐热等级^[4-5]。通常来讲,聚合物的耐热性与其分子链刚性有关,而溶解性受分子链聚集态结构的影响^[6]。大量的研究报道证明,在增强聚合物主链刚性或主链旋转位阻的同时,通过保持一定的分子链间距,可以实现聚合物耐热性和溶解性同时改善的目的^[7-10]。基于这个理解,我们实验室首先合成了主链上分别含 *N*-甲基咔唑和 *N*-乙基咔唑结构的 PAEK,并详细研究了 *N*-烷基咔唑环结构对 PAEK 耐热性和溶解性的影响^[11]。

咔唑是一类重要的含氮芳杂环化合物,具有特殊的稠环共轭结构,这个特点赋予咔唑类有机小分子或高分子许多独特的光电性能,如荧光性能、光折变能力^[12]。此外,在聚合物中引入非极性烷基侧链通常会降低聚合物的介电常数,这也是制备低介电材料的方法之一^[13]。本文的关注点是研究这类新型含 *N*-烷基咔唑环结构的 PAEK 的物理性能,如机械性能、耐湿性、光电性能等。由于含 *N*-甲基咔唑环结构 PAEK 的溶解性较差^[11],限制了对其使用溶液浇铸成膜的方法进行成型加工以及进行相关的表征,因此,本文又分别制备出了具有较好溶解性的含 *N*-正丁基咔唑环和 *N*-正己基咔唑环结构的 PAEK,来帮助理解咔唑环上的侧链烷基对聚合物性能的影响,同时将其性能与国内已商品化的酚酞基聚芳醚酮(PEK-C)树脂进行对比,期望通过对所获得的树脂性能的理解,对该类 PAEK 的应用潜力有一个正确的认识。图 1 是含 *N*-乙基咔唑环结构的 PAEK(PPCzE)和 PEK-C 的结构。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

对氟苯甲酰氯,化学纯,郑州阿尔法化工有限公司;无水 AlCl_3 ,无水 K_2CO_3 ,酚酞,氯仿,1,1,2,2-四氯乙烷,环丁砜(TMS),二甲苯,*N,N*-二甲基乙酰胺,天津市光复精细化工研究所,以上试剂均为分析

纯。其中,无水 K_2CO_3 使用前研碎并于 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 真空烘箱中干燥;环丁砜在氢氧化钠存在下回流数小时后减压蒸馏出。*N*-正丁基咔唑、*N*-正己基咔唑和 PEK-C, 实验室自制。

Unity-400 型核磁共振仪(美国 Varian 公司);DSC1 型差示扫描量热仪(瑞士 Mettler TOLEDO 公司);TGA/DSC1 型热重分析仪(瑞士 Mettler TOLEDO 公司);DMA + 450 型动态机械热分析仪(法国 01db-Metravib 公司);Q400 型静态热机械分析仪(美国 TA 公司);Instron 5982 型电子万能材料试验机(美国 INSTRON 公司);DSA 100 型液滴形状分析仪(德国 KRUSS 公司);UV-2450PC 型紫外分光光度计(日本 Shimadzu 公司);QE65000 型荧光光谱仪(美国海洋光学公司);ZC-90F 型高绝缘电阻计(上海强佳电子公司)。

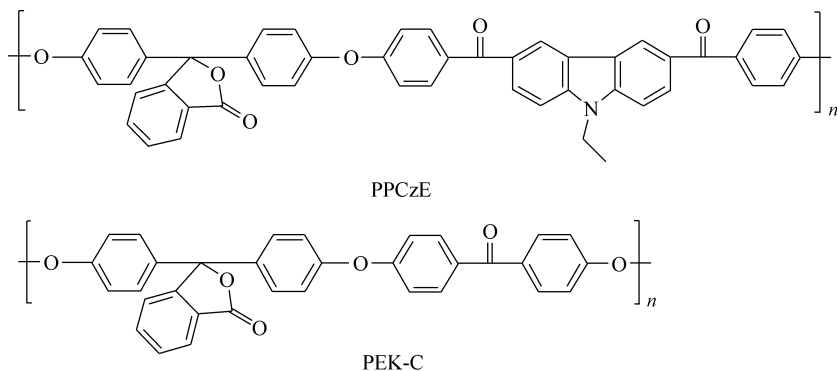
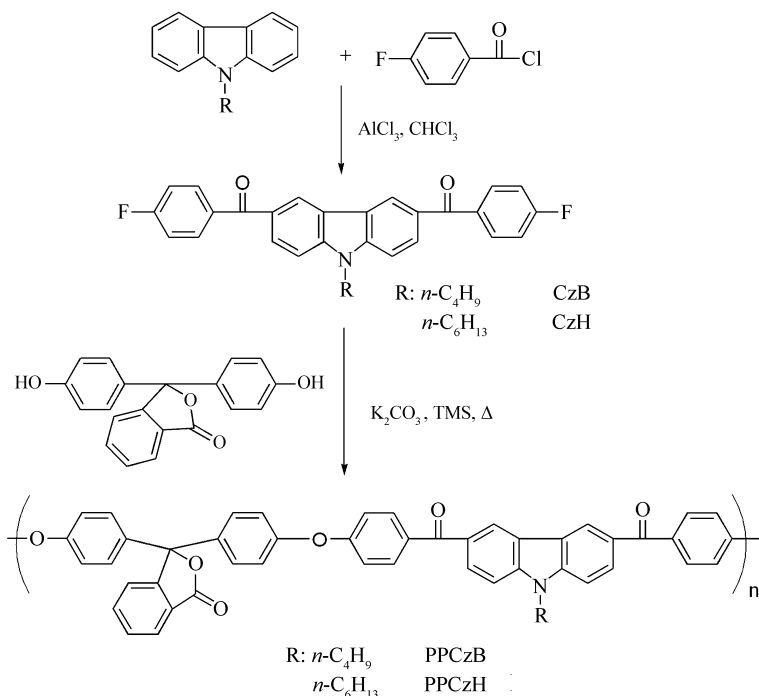


图 1 PPCzE 和 PEK-C 的结构示意图

Fig. 1 Structures of PPCzE and PEK-C

1.2 实验方法

1.2.1 含 *N*-正丁基咔唑和含 *N*-正己基咔唑结构 PAEK 的制备 聚合物的合成路线如 Scheme 1 所示。以 PPCzB 的制备为例。



Scheme 1 Synthesis of PPCzB and PPCzH

单体 3,6-(4-氟苯甲酰基)-*N*-正丁基咔唑(CzB)的制备:将 8.5 g(38 mmol) *N*-正丁基咔唑溶于 30 mL 氯仿,冰水浴条件下滴加到含有 10 mL(83.5 mmol) 对氟苯甲酰氯、13 g(85 mmol) 无水 AlCl_3 和

70 mL氯仿的混合溶液中。滴加完后,室温下反应 4 h。然后将反应液倒入盐酸冰水混合液中,有粘稠固体析出,再加入氯仿数毫升使粘稠固体完全溶解后,进行多次萃取,直至有机相为中性。无水硫酸钠干燥有机相后,将其浓缩并用二氯甲烷重结晶,得到 13.4 g CzB,产率 77%。¹H NMR(400 MHz,CDCl₃), δ:8.56(s,2H,ArH),8.04(d,*J*_{HH}=8.4 Hz,2H,ArH),7.88(t,*J*_{HH}=7.2 Hz,4H,ArH),7.53(d,*J*_{HH}=8.4 Hz,2H,ArH),7.20(t,*J*_{HH}=9.2 Hz,4H,ArH),4.42(t,2H),1.93(q,2H),1.44(s,2H),0.99(t,3H)。

聚合物 PPCzB 的制备:将 3.1833 g(10 mmol)酚酞,4.6751 g(10 mmol) CzB,1.5893 g(11.5 mmol)无水碳酸钾和 12 mL 环丁砜,15 mL 二甲苯置于带有分水器、温度计、N₂ 气入口和机械搅拌器的三口瓶中,升温至 140 ℃共沸脱水约 2.5 h 后,继续升温至 200 ℃并将二甲苯全部蒸出,维持此温度 4 h 后得到粘稠溶液,停止反应。降温后加 75 mL *N,N*-二甲基乙酰胺稀释,在乙醇和去离子水的混合液中沉淀,得到线条状聚合物,用去离子水多次煮洗以除去残存的无机盐,干燥后得到白色产物,产率 96%,特性粘数 1.12 dL/g。

PPCzH 的合成步骤与 PPCzB 类似,特性粘数 1.17 dL/g。其中,单体 CzH 的¹H NMR(400 MHz,CDCl₃),δ:8.56(s,2H,ArH),8.04(d,*J*_{HH}=8.4 Hz,2H,ArH),7.88(t,*J*_{HH}=7.2 Hz,4H,ArH),7.52(d,*J*_{HH}=8.4 Hz,2H,ArH),7.20(t,*J*_{HH}=9.2 Hz,4H,ArH),4.41(t,2H),1.94(q,2H),1.48~1.23(m,6H),0.88(t,3H)。

1.2.2 聚合物薄膜的制备 采用溶液浇铸成膜的方法制备。称取 2.0 g 干燥的聚合物,使其完全溶解在 10 mL 氯仿和 10 mL 1,1,2,2-四氯乙烷的混合溶剂中,得到质量分数约为 10% 的聚合物溶液。将此聚合物溶液经砂芯漏斗过滤,将滤液倾倒在平整的玻璃板上,并用表面光滑的玻璃棒将其推平。于通风橱中放置 5 h,待溶剂挥发完全后,将玻璃板移至 40 ℃ 的烘箱中继续干燥 3 h 后升温至 60 ℃,并抽真空使其在真空条件下再次干燥 5 h。之后将玻璃板置于去离子水中,薄膜从玻璃板上脱落下来,将薄膜置于 100 ℃ 真空烘箱中干燥以除去薄膜表面的水分。所得聚合物薄膜的厚度为 40~50 μm。

1.2.3 聚合物板材的制备 采用热压成型的方法制备。称取 7.5 g 干燥聚合物,将其装于预先打磨干净并涂有脱模剂的模具中,模具尺寸为 6.0 cm×5.0 cm×2.0 cm。将模具置于硫化机的热台上,加热至聚合物玻璃化转变温度以上约 50 ℃,达到设定温度时多次升降压以除去熔融态聚合物里的残留的气体,并在设定温度保温 15 min。之后降温,得到尺寸为 6.0 cm×5.0 cm×0.2 cm 的聚合物板材。将所制得的板材切割为 5.0 cm×0.5 cm 的长方形样条,用于动态热机械分析。

2 结果与讨论

2.1 聚合物的静态拉伸性能

系列含 *N*-烷基咪唑环结构的 PAEK 和 PEK-C 的热性能和薄膜拉伸性能列于表 1。从表 1 可以看出,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 表现出较好的耐热性,*T*_g 在 225~273 ℃。随着柔性烷基侧链的增长,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 的 *T*_g 呈现出依次下降的趋势,但是所有聚合物均表现出类似的 *T*_{d5%}。此外,聚合物 PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 的拉伸模量几乎均在 2.0 GPa 左右,拉伸强度在 72.5~75 MPa,断裂伸长率在

表 1 聚合物的热性能和拉伸性能
Table 1 Thermal properties and tensile properties of polymers

Property	PPCzE ^a	PPCzB	PPCzH	PEK-C ^a
<i>T</i> _g /℃	273	240	225	230
<i>T</i> _{d5%} /℃	469	465	463	459
Tensile modulus/GPa	1.98	2.01	1.89	2.21
Tensile strength/MPa	75.1	73.5	72.8	81.4
Elongation at break/%	7.2	6.7	6.5	9.8

Thermal analysis conditions; N₂ atmosphere, heating rate of 10 ℃/min; *T*_g: glass transition temperature; *T*_{d5%}: temperature at mass loss of 5%; tensile test condition: room temperature, drawing speed of 5 mm/min; *a*: although reported previously, their thermal and tensile properties were listed here for comparison^[11].

6.5%~7.2%。其中,以 PPCzE 的拉伸性能表现较为优异。随着侧链烷基的增长,聚合物的拉伸性能仅表现出小幅度的下降,即本实验中,烷基侧链对聚合物拉伸性能的影响不大。与 PEK-C 相比,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 的拉伸性能均有所下降,其中以断裂伸长率的降低最为明显。可能的原因是 *N*-烷基咪唑环结构的引入增加了聚合物链的刚性,导致聚合物链间的堆砌和缠绕遭受破坏。该结果也表明,尽管作为柔性基团的侧链烷基会削弱聚合物链刚性,但置于主链上的咪唑稠环结构弥补了所减弱的分子链刚性并将其进一步增强。

2.2 聚合物的动态热机械性能

动态热机械分析(DMA)是通过分子运动状态来表征材料特性的一种方法。DMA 测试中的 3 个重要参数分别是储能模量(E')、损耗模量(E'')和材料的阻尼值($\tan \delta = E''/E'$)。通常,将 $\tan \delta$ 曲线上的主转变峰所对应的温度作为聚合物的 T_g 。图 2 给出了拉伸模式下 PPCzE 的 DMA 谱图,即动态热力学性能的 E' 和 $\tan \delta$ 与温度的关系谱图。在 25~225 °C 温度区间, $\tan \delta$ 曲线上没有任何转变峰,聚合物链段运动被冻结,形变主要由链中原子间化学键的键长、键角的变化引起的,因而模量高,聚合物表现出刚性。随着温度升高,在 225~320 °C 之间,聚合物 $\tan \delta$ 曲线出现了一个很大的转变峰并且储能模量迅速下降,表明此温度范围内聚合物的全部链段能够自由运动,转变达到最大,即达到了聚合物的 T_g (265 °C)。从曲线也可以看出,PPCzE 的高 T_g 使其在较高温度下仍保持有较好的拉伸性能。

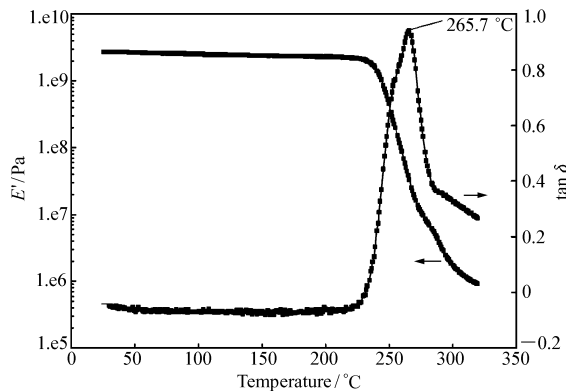


图 2 PPCzE 的储能模量和损耗因子曲线

Fig. 2 Temperature dependent storage modulus and loss tangent of PPCzE

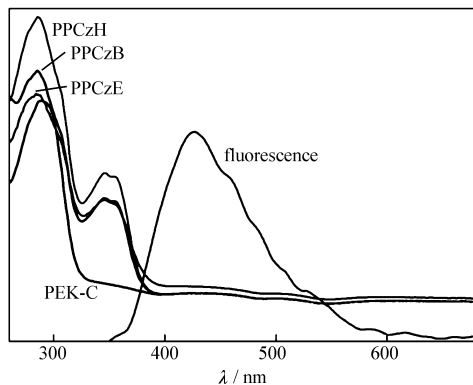


图 3 聚合物的紫外-可见吸收和荧光谱图

Fig. 3 UV-Vis and fluorescence spectra of polymers

2.3 聚合物的紫外可见-荧光性能

咪唑类聚合物所具有的独特光电性能,使其已被作为发光材料得到了广泛的研究,因此,本文对含咪唑环结构的 PAEK 也进行了相应的紫外-荧光光谱分析。以氯仿为溶剂,测定聚合物的紫外吸收和荧光光谱,测试中扣除溶剂影响。图 3 给出了聚合物溶液的紫外-可见吸收和荧光发射谱图。4 个聚合物均在 285 nm 左右表现出吸收。由于稠环咪唑结构的引入,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 在 345 nm 左右表现出第二个吸收峰。观察聚合物紫外吸收曲线发现,不同的侧链烷基对聚合物的紫外吸收几乎没有影响。图 3 中的荧光光谱表明聚合物在 426 nm 处显示强荧光峰,表明聚合物具有蓝光发射能力。结合聚合物良好的耐热性、合理的溶解性以及优异的加工性的优势,该含咪唑环结构的 PAEK 有望成为高性能的发光材料。

2.4 聚合物的耐湿性能

吸水性能是评价聚合物性能的指标之一,尤其是当聚合物被用作微电子材料时,这个性能就更为重要。由于室温条件下水的介电常数很高($\epsilon = 78$),因此,微量的水就会导致低介电材料的介电常数增加。表 2 列出了聚合物薄膜的水接触角和吸水率数值。图 4 是薄膜水接触角示意图。从图 4 可以看出,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 薄膜的水接触角明显地大于 PEK-C,作为侧链且具有疏水性能的烷基基团对此结果起到了一个重要的作用,并且随着烷基链的增长,薄膜接触角明显变大。然而当薄膜浸于热水中浸泡数天后,同 PEK-C 相比,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 表现出高吸水率。一个可能的原因是非极性侧链烷

基的引入降低了聚合物链间的缠结和堆砌密度,增大了链与链之间的自由空间,因此,水分子很容易进入到聚合物链与链间的空隙中,导致薄膜的吸水率呈现出上升的趋势^[13]。

表 2 聚合物的吸水性能和接触角
Table 2 Water uptake and water contact angle of polymers

Property	PPCzE	PPCzB	PPCzH	PEK-C
Water contact angle/(°) ^a	87.6	93.4	103.6	76.8
Water uptake/% ^b	0.65	0.77	0.86	0.57

a. Test condition for contact angle: room temperature, ~30% ambient humidity, values reported were the average of nine measurements on different parts of films; *b.* water uptake (wu) was measured as follows: the films were immersed in deionized water for 72 h at 60 °C, then the films were wiped with tissue paper and measured their weight quickly. The water uptake was calculated according to: $wu/\% = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100$.

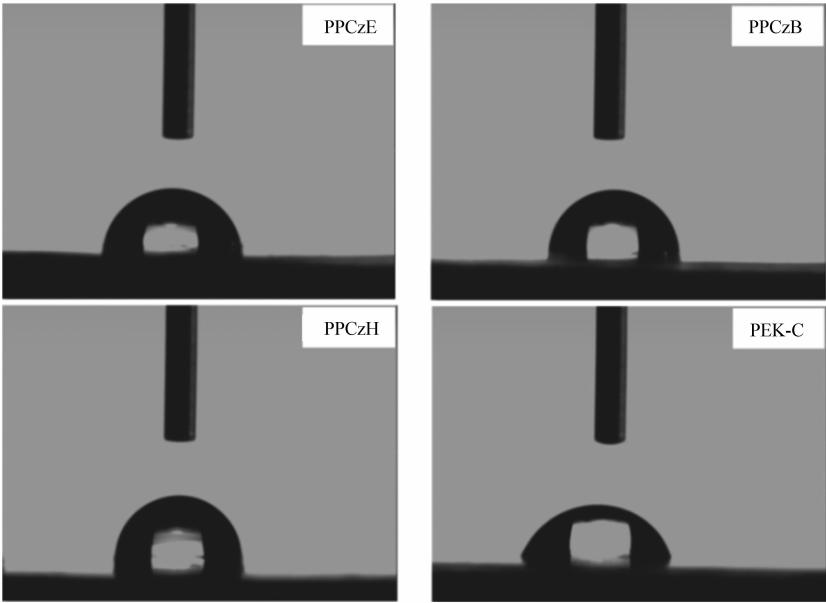


图 4 聚合薄膜的接触角
Fig. 4 Water contact angle of polymer films

2.5 聚合物的尺寸稳定性

在环境温度发生变化时,高聚物的体积和各维长度都会发生变化,符合一般物质的热胀冷缩规律,并且高聚物热胀冷缩的程度比金属要大得多,因此,测试聚合物的线膨胀系数具有很实际的意义。表 3 是在 40 ~ 180 °C 范围内,通过静态热机械分析(TMA)测试所得的聚合物的平均线膨胀系数。从表 3 数据可以看出,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 均表现出了与 PEK-C 相当的线膨胀系数,表明在分子链上引入 N-烷基咪唑环结构不会降低聚合物的尺寸稳定性。

表 3 聚合物的线膨胀系数
Table 3 Linear thermal expansion coefficient of polymers

Property	PPCzE	PPCzB	PPCzH	PEK-C
10 ⁵ CTE ^a /°C ⁻¹	6.32	6.42	6.40	6.34

a. Coefficient of thermal expansion (CTE) of polymer films measured by thermal mechanical analysis (TMA) in a temperature range of 40 ~ 180 °C at a heating rate of 5 °C/min in N₂.

2.6 聚合物的电绝缘性能

对聚合物薄膜进行电绝缘性能测试,结果列于表 4 中。室温条件下,PPCzE、PPCzB 和 PPCzH 薄膜

的表面电阻率和体积电阻率分别达到了 $10^{14} \Omega$ 和 $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 数量级,是良好的绝缘材料。随着烷基侧链的增长,聚合物的电绝缘性呈现出大幅度增长的趋势,其中,PPCzH 的电绝缘性能与 PEK-C 相当。

表 4 聚合物的体积电阻率和表面电阻率
Table 4 Volume and surface resistivities of polymers

Property	PPCzE	PPCzB	PPCzH	PEK-C
10^{16} Volume resistivity/($\Omega \cdot \text{cm}$)	2.3	4.5	21.9	17.5
10^{14} Surface resistivity/ Ω	2.9	5.6	27.3	22.0

Test condition; room temperature, ~30% ambient humidity.

3 结 论

对新型主链含 *N*-烷基咪唑环结构的聚芳醚酮(PPCzE、PPCzB 和 PPCzH)的物理性能进行表征,并与商业化 PEK-C 进行比较。测试结果表明,该类聚合物不仅仅是作为含 *N*-烷基咪唑环结构的 PEK-C 类似物,更是表现出与 PEK-C 相当或没有的性能。该类聚合物具有良好的耐热性,电绝缘性以及尺寸稳定性。侧链烷基基团的引入使聚合物薄膜的水接触角大于 PEK-C,但是同时导致聚合物的吸水率稍高于 PEK-C。由于聚合物链间距的增大,聚合物的拉伸性能比 PEK-C 有所降低,但仍在可适用的范围内。PPCzE 的高玻璃化转变温度使其在高温条件下仍具有良好的拉伸性能。此外,咪唑环结构的引入赋予该类聚合物发射蓝光的性能。总之,这类含 *N*-烷基咪唑环结构的 PAEK 表现出了平衡的物理性能,即耐高温、易加工、良好的机械性能和尺寸稳定性、高绝缘性。咪唑结构的引入还使得聚合物有潜力成为具有发蓝光能力的聚芳醚酮类材料。

参 考 文 献

[1] Rose J B, Staniland P A. Thermoplastic Aromatic Polyetherketones; US, 4320224. X[P], 1982-03-16.

[2] Hergenrother P M. The Use, Design, Synthesis, and Properties of High Performance/High Temperature Polymers; An Review[J]. *High Perform Polym*, 2003, **15**(1): 3-45.

[3] ZHAO Chun, ZHANG Yulong. Poly(ether ether ketone) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 141-163 (in Chinese).

赵纯, 张玉龙. 聚醚醚酮[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 141-163.

[4] Sumiko M, Nobuhiro K, Toshikazu T. Synthesis and Properties of Novel Aromatic Poly(thioether-ketone)s as Sulfur-Containing High-Performance Polymers[J]. *Macromolecules*, 2001, **34**(9): 2848-2853.

[5] Howard M C, Philip H, Francois P V, et al. Reversible, Nondegradative Conversion of Crystalline Aromatic Poly(ether ketone)s into Organic-Soluble Poly(ether dithioketal)s[J]. *Macromolecules*, 2009, **42**(6): 1955-1963.

[6] JIAN Xigao, WANG Jinyan. Progress on High Performance Engineering Plastics Containing Phthalazinone Moieties and Their Applications[J]. *Mater China*, 2012, **31**(2): 16-23 (in Chinese).

蹇锡高, 王锦艳. 含二氮杂萘酮联苯结构高性能工程塑料研究进展[J]. 中国材料进展, 2012, **31**(2): 16-23.

[7] Hergenrother P M, Jensen B J, Havens S J. Poly(arylene ether)[J]. *Polymer*, 1988, **29**(2): 358-369.

[8] Mami O, Toshikazu T, Takeshi E. Synthesis of a Novel Naphthalene-Based Poly(arylene ether ketone) with High Solubility and Thermal Stability[J]. *Macromolecules*, 1994, **27**(12): 3447-3448.

[9] ZHANG Haichun, CHEN Tianlu, YUAN Yagui. Synthesis of Novel Poly(ether ketone) Containing Phenolphthalein; CN, 85108751. X[P], 1987-06-03 (in Chinese).

张海春, 陈天禄, 袁桂佳. 合成带有酞酯基的聚醚醚酮; 中国, 85108751. X[P], 1987-06-03.

[10] Andria F, Eric F. Soluble, Semi-crystalline PEEK Analogs Based on 3, 5-Difluorobenzophenone; Synthesis and Characterization[J]. *Polymer*, 2012, **53**(12): 2327-2333.

[11] Wang F F, Wang Z P, Wang H H, et al. Synthesis and Characterizations of Soluble PAEKs with High Glass Transition Temperature Based on 3, 6-Bi(4-fluorobenzoyl)-*N*-alkylcarbazole[J]. *Polym Int*, 2015, **64**(2): 258-266.

[12] ZHANG Feifei, ZHOU Chenghe, YAN Jianping. New Progress of Researches in Carbazole Compounds[J]. *Chinese J Org Chem*, 2010, **30**(6): 783-796 (in Chinese).

张飞飞, 周成合, 颜建平. 咪唑类化合物研究新进展[J]. 有机化学, 2010, **30**(6): 783-796.

[13] BA Jinyu. Preparation and Properties of Low Dielectric Constant Poly(aryl ether ketone)s Containing Long Aliphatic Side Chains[M]. Changchun: Jilin University, 2008 (in Chinese).

巴金玉. 含长脂肪侧链的低介电常数聚芳醚酮的制备及性能研究[M]. 长春:吉林大学,2008.

Properties of Poly(arylene ether ketone)s Containing *N*-Alkylcarbazole in Main Chains

WANG Feifei^{a,b}, WANG Zhipeng^{a,b}, WANG Honghua^a, ZHOU Guangyuan^{a*}

(^aKey Laboratory of Polymer Ecomaterials, Changchun Institute of Applied Chemistry,
Chinese Academy of Science, Changchun 130022, China;

^bUniversity of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract Several basic physical properties of poly(arylene ether ketone)s containing *N*-alkylcarbazole (PPCzE, PPCzB and PPCzH) were studied in comparison with the corresponding analog, commercialized phenolphthalein poly(ether ketone) (PEK-C). Strong UV absorption and blue light emission ability are exhibited by these polymers due to the introduction of carbazole structure. The water contact angle of polymers ($87^{\circ} \sim 103^{\circ}$) is greater than that of PEK-C (76°), because of the hydrophobic nature of alkyl groups. While at the same time, these polymers have higher water uptake capabilities than PEK-C which is probably due to their larger chain distance. In addition, these polymers exhibit good dimensional stability (linear thermal expansion coefficient $6.4 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) and electrical insulating (volume resistivity $10^{16} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$) property. Young's modulus, tensile strength and elongation at break of these polymers are in the range of 1.9 ~ 2.0 GPa, 72.5 ~ 75.0 MP and 6.5% ~ 7.2%, respectively. Dynamic mechanical analysis shows that PPCzE remains good tensile property at the temperature up to 225 $^{\circ}\text{C}$.

Keywords poly(arylene ether ketone); carbazole; side alkyl; fluorescent; water contact angle; tensile property

Received 2014-07-21; Revised 2014-09-15; Accepted 2014-11-07

Supported by Jilin Province Science and Technology Development Program (No. 20130204029GX)

Corresponding author: ZHOU Guangyuan, professor; Tel/Fax: 0431-85262204; E-mail: gyzhou@ciac.ac.cn; Research interests: poly(arylene ether ketone)s with high performance, polyolefin, biodegradable polyesters