

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.08.007

ABS 材料粘滑现象改善

李俊杰,王金,周霆

(上海锦湖日丽塑料有限公司,上海 201106)

摘要: 在丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 中加入聚氨酯弹性体和硅油,通过熔融共混制备了具有抑制粘滑现象的降噪改性 ABS (ABS-LS),利用万能试验机、摩擦系数测试仪、内耗仪、摩擦噪声测试仪和显微镜对比了普通 ABS 和 ABS-LS 在物理性能、动静摩擦系数、内耗因子、摩擦噪声、震动以及粘滑倾向方面的差异。结果表明,相比普通 ABS, ABS-LS 韧性明显提高,简支梁缺口冲击强度提高 22%;动、静摩擦系数差值明显降低,粘滑倾向得到抑制;内耗因子提高了 33%,材料在形变回复过程中可以将更多的机械能转变为内能,减弱震动。随着载荷和摩擦速度提高,粘滑位移加大,ABS 材料的粘滑现象越明显;在相同的载荷和摩擦速度下,普通 ABS 的粘滑现象较为明显,且摩擦噪音值较高;而 ABS-LS 未出现明显粘滑现象,摩擦噪音响度值和震动加速度改善幅度最高达到 90% 以上,具有优异的抗摩擦粘滑异响作用。

关键词: 高分子材料;降噪;粘滑现象;异响

中图分类号: TQ325.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)08-0041-05

Improvement of Stick-Slip Phenomenon of ABS Materials

Li Junjie, Wang Jin, Zhou Ting

(Shanghai Kumho-Sunny Plastics Co., Ltd., Shanghai 201106, China)

Abstract : By adding polyurethane elastomer and silicone oil into ABS, the noise-reducing modified ABS (ABS-LS) with restrain stick-slip was prepared through melt blending method. The ordinary ABS and modified ABS-LS in physical performance, dynamic and static friction coefficient, damping property, friction noise, and stick-slip tendency were characterized by universal testing machine, friction coefficient tester, internal friction tester, friction noise tester and microscope. The results show that ABS-LS has the outstanding performance, such as the toughness is obviously improved, and the notched impact strength is increased by 22%; the difference between dynamic and static friction coefficients decreases obviously, and the stick-slip tendency is inhibited; the internal friction factor is increased by 33%, proves that ABS-LS can convert more mechanical energy into internal energy during the deformation recovery process so that reducing the vibration. The higher the load and friction velocity are, the greater the stick-slip displacement and the more obvious the stick-slip phenomenon will be. Under the same load and friction velocity, the stick-slip phenomenon of ordinary ABS is more obvious, and the friction noise value is higher. However, no obvious stick-slip phenomenon appears in ABS-LS, and the friction noise loudness and vibration acceleration are reduced by more than 90%, which has excellent anti-stick-slip effect.

Keywords : polymer material ; noise reduction ; stick-slip phenomenon ; squeak

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 材料具有优异的耐化学品、刚性和抗冲击性能,因此被广泛应用于智能家居、家电外壳、汽车内饰等场合。近年来,随着人们对生活品质的要求不断提高,ABS 材料多功能化的趋势日益增强,如抗菌防霉、免喷

涂、抗静电、导电、耐磨等,差异化的 ABS 不仅能增加其附加价值,也增强了改性厂商和下游制品的竞争力。空调和汽车几乎是每个家庭必备的产品,ABS 材料在这两种产品上的需求量也不断增加。但是由于零件结构设计和 ABS 材料刚性较大的原

通讯作者: 李俊杰,硕士,主要研究方向为工程塑料功能化改性及加工应用 E-mail: jjli@kumhosunny.com

收稿日期: 2020-05-22

引用格式: 李俊杰,王金,周霆. ABS 材料粘滑现象改善 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8):41-45.

Li Junjie, Wang Jin, Zhou Ting. Improvement of stick-slip phenomenon of ABS materials[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):41-45.

因,空调和汽车产品易出现“咯吱”异响,严重影响消费者的体验和评价。因此,空调和汽车产品的噪音情况备受主机厂的关注,也是消费者选择产品的主要考量因素之一。目前空调和汽车产品的噪声形式比较复杂,受多种因素影响,其中一种异响是在塑料和塑料或塑料和皮革之间相互摩擦导致的^[1-2]。现阶段主机厂解决零件之间摩擦异响的方式主要是在接触部位增加无纺布、涂覆润滑油、使用橡胶衬垫或者螺丝固定^[3-6]。从材料方面考虑,降低材料动摩擦力和静摩擦力的差值或者增加材料阻尼性能是改善材料异响的主要方向^[7-9]。

通过在零件之间粘贴无纺布或者涂覆润滑油的方法不但增加了人工成本,而且还大幅延长了生产周期。因此,塑料或皮革的降噪改性逐渐成为了塑料改性厂商关注的焦点。余滕山等^[10]公开了一种高阻尼降噪 ABS 材料及其制备方法,通过对 ABS 进行阻尼改性,从而降低了材料产生噪音危险值。上海长伟锦磁工程塑料有限公司通过在聚碳酸酯(PC)/ABS 材料中引入阻尼复合材料,拓宽了材料的玻璃化转变温度,使得改性后的 PC/ABS 材料在 -20~40℃ 温度范围内均具有较高的损耗因子,降噪效果改善明显^[11]。J. Rojsatean 等^[12]制备了乙撑双硬脂酰胺(EBS)和乙烯-辛烯共聚物(POE)改性的 ABS,发现加入 5% POE 改性的 ABS 具有较低的表面能和界面粘附力,因此具有更低的摩擦系数和更小的摩擦力波动范围,说明 POE 改性的 ABS 的粘滑倾向得到改善。

塑料摩擦产生异响的根本原因在于发生了“粘滑现象”。这是因为互相接触的塑料件受到外力推动时,塑料件由粘着的静摩擦状态转变为滑动接触,而静摩擦力远大于动摩擦力,导致此过程发生能量释放,粘滑循环发生从而导致材料振动发出异响^[13]。因此,研究 ABS 材料在摩擦过程中的粘滑现象对材料选择和塑料改性具有重要的指导意义。笔者介绍了一种降噪 ABS 的改善方法,并研究了滑动摩擦的载荷和速度对普通 ABS 和降噪 ABS 粘滑性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

ABS: ABS3504,中国石化高桥石化公司;

聚氨酯弹性体(TPU): WHT-1180,万华化学集团有限公司;

硅油: AK100,德国瓦克化学公司;

抗氧剂: 1010 和 168,德国巴斯夫有限公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机: ZSK25 型,德国 W & P 公司;

拉伸试验机: 2366 型,美国 Instron 公司;

弯曲试验机: CMT6104 型,深圳新三思计量技术有限公司;

简支梁冲击试验机: HIT5.5 型,德国 Zwick/Rpell 公司;

电热鼓风干燥箱: DHG-9240A 型,上海一恒科技有限公司;

注塑机: HT125 型,宁波海天塑料机械厂;

显微镜: BX51M 型,日本奥林巴斯株式会社;

内耗仪: 自制;

摩擦噪音测试仪: 自制;

摩擦系数仪: FPT-F1 型,赛成仪器公司。

1.3 试样制备

将 ABS、TPU 和硅油按照 88 : 10 : 2 比例加入高速搅拌机,另外加入 0.3% 的抗氧剂 1010 和抗氧剂 168,混合均匀后,在 220℃ 下挤出造粒制得降噪改性 ABS (ABS-LS),将普通 ABS 和 ABS-LS 在 80℃ 条件下烘干 4 h,230℃ 注塑成型试样。

1.4 性能测试

拉伸强度按照 GB/T 1040.1-2018 测试,拉伸速率为 50 mm/min; 弯曲性能按照 GB/T 9341-2018 测试,弯曲速率为 2 mm/min; 简支梁缺口冲击强度按照 GB/T 1043.1-2008 测试,摆锤能量为 4 J; 摩擦系数按照 ASTM D1894-14 测试。

内耗因子采用自由衰减振动法测试: 室温 23℃ 状态下,通过一定加载力使被测样品发生形变,撤去应力后让试样做自由振动。高分子材料在变形过程中由于分子链相互摩擦产生内能,所以随时间延长,试样的振幅将逐渐衰减,如图 1 所示,测量自由衰减的振幅可以得到试样的内耗值 Q ,按见式 (1) 计算。

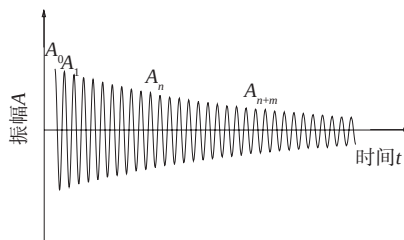


图 1 振幅衰减示意图

$$Q \approx \frac{1}{m\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+m}} \quad (1)$$

式中: A_n 为试样第 n 次振动时的振幅, A_{n+m} 为试样 $n+m$ 次振动时的振幅。

粘滑异响测试: 实验工装如图 2 所示, 采用该工装设计来模拟材料在一定载荷、速度下的粘滑现象, 通过测试粘滑过程中试样的振动和噪音响度值 (宋, sone) 来表征材料发生异响的风险大小, 摩擦过程中试样振动越剧烈、响度值越大, 说明粘滑现象越严重, 零件摩擦产生异响的风险越大。

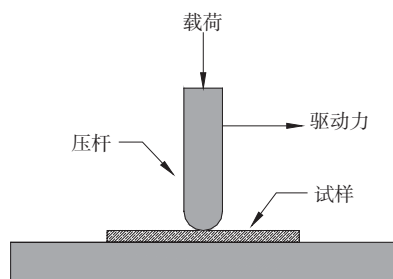


图 2 摩擦实验工装示意图

粘滑现象观察: 将粘滑异响测试后样品在显微镜下观察其摩擦痕迹, 根据摩擦痕迹的连续性来判断是否发生粘滑。

2 结果与讨论

2.1 物理力学性能及内耗因子

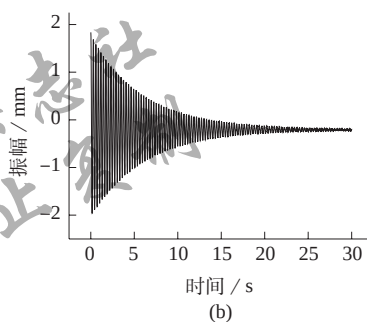
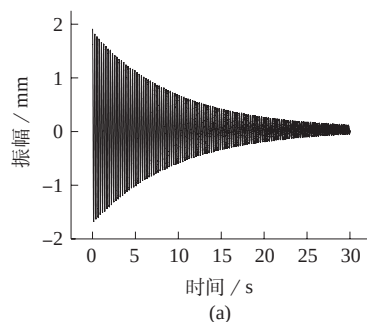
普通 ABS 和 ABS-LS 材料的物理力学性能及内耗因子如表 1 所示。相比普通 ABS, 加入较软的 TPU 弹性体后, ABS-LS 的拉伸强度和弯曲模量略有下降; 由于 TPU 与 ABS 具有良好的相容性, 其增韧效果明显, 缺口冲击强度由 23 kJ/m^2 提高到 28 kJ/m^2 , 增加了 22%; 对比摩擦系数可以看出, ABS-LS 具有更低的动摩擦系数和静摩擦系数, 说明硅油外润滑效果明显, 且动、静摩擦系数的差值从 0.08 下降到 0.03, 有助于消除粘滑现象^[12,14]。

表 1 普通 ABS 和 ABS-LS 材料的物理力学性能及内耗因子

项目	ABS	ABS-LS
拉伸强度 / MPa	48	42
弯曲模量 / MPa	2 200	1 900
缺口冲击 / ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	23	28
动摩擦系数	0.39	0.27
静摩擦系数	0.31	0.24
内耗因子	0.009	0.012

通过内耗仪测得普通 ABS 和 ABS-LS 振幅随时间的变化曲线见图 3。从图 3 可以看出, 降噪改性后的 ABS-LS 具有更快的振幅衰减速度, ABS-LS 的内耗因子从 ABS 的 0.009 增加到 0.012, 提高了 33%。一方面是由于 TPU 本身具有较低的玻璃化转变温度, 在常温状态下分子链容易发生运动, 通

过分子链之间的摩擦生热消耗能量; 另一方面是因为 TPU 改性的 ABS 为部分相容体系, 两者存在明显的相界面, 材料发生形变时通过相界面之间摩擦产生热能, 使机械能损失, 因此 ABS-LS 具有明显更高的损耗因子, 而较高的损耗能力可以提高材料抗噪音水平^[8,15]。



a—普通 ABS ; b—ABS-LS

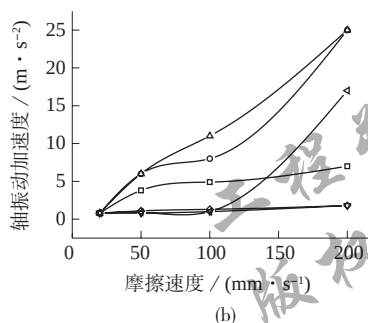
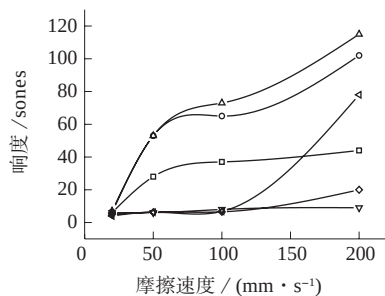
图 3 振幅随时间衰减曲线

2.2 摩擦异响

图 4a 为普通 ABS 和 ABS-LS 摩擦异响响度值随摩擦载荷、摩擦速度的变化曲线。响度即音量, 表征人耳对声音强度的感受, 响度值越大, 说明材料在摩擦过程中产生的异响越明显, 摩擦异响的风险越高。从图中可以看出, 随着摩擦载荷、速度的提高, 普通 ABS 和 ABS-LS 的响度值逐渐增加, ABS-LS 的响度值大多在 20 sones 以下, 而普通 ABS 响度值在 40 ~ 120 sones, 说明 ABS-LS 具有明显的降噪效果。但是, 在载荷 1.5 MPa、摩擦速度 200 mm/s 的极限条件下, ABS-LS 也有明显噪音, 该条件下普通 ABS 响度值为 116 sones, ABS-LS 的响度值约 78 sones, 响度值减少约 33%。

图 4b 为材料在摩擦方向上 (x 轴) 的震动加速度大小与实验条件变化的曲线, 整体趋势与响度随载荷、摩擦速度增加而变化较为相似。x 轴方向即运动方向上的震动是由于材料在摩擦过程中循环发生粘滑现象导致的, 因此, 该方向上的振动越剧烈, 说明粘滑现象越严重。摩擦速度为 100 mm/s、载

荷为 1.5 MPa 时,普通 ABS 产生噪音时的振动加速度约为 11 m/s^2 ,而 ABS-LS 的振动加速度仅有 1.1 m/s^2 ,下降了 90%。在 1.5 MPa, 200 mm/s 的极限条件下,普通 ABS 和 ABS-LS 的振动加速度分别为 25 m/s^2 和 17 m/s^2 ,ABS-LS 的振动程度下降了 32%。综合来看,ABS-LS 在摩擦过程中产生的响度值和振动加速度明显更小,说明其具有更低的粘滑倾向,发生摩擦异响的风险明显更低。



材料及载荷: $\circ$ —ABS, 0.5 MPa; $\square$ —ABS, 1.0 MPa;
 $\triangle$ —ABS, 1.5 MPa; ∇ —ABS-LS, 0.5 MPa;
 $\diamond$ —ABS-LS, 1.0 MPa; $\leftarrow$ —ABS-LS, 1.5 MPa

a—响度随载荷、摩擦速度的变化曲线;

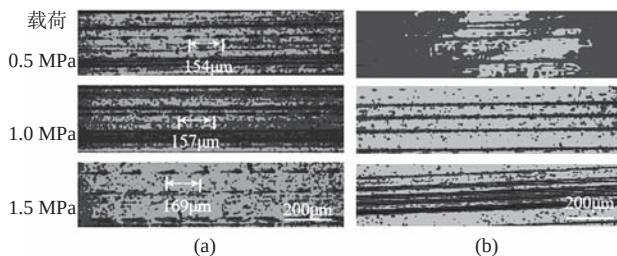
b—振动加速度随压力、摩擦速度的变化曲线

图4 不同载荷、摩擦速度下的响度和振动

2.3 粘滑现象

图5为摩擦速度 100 mm/s 时普通 ABS 和降噪改性 ABS-LS 在不同载荷条件下的摩擦痕迹。通过摩擦痕迹是否连续可以判断出摩擦过程中是否出现明显的粘滑现象。普通 ABS 在三种不同的压力下其摩擦痕迹均出现了明显的断点,说明普通 ABS 粘滑现象比较严重,且随着载荷增加,每个粘滑位移距离增加,较大的载荷使得材料在“粘”的状态下发生更明显的形变,转变为“滑”态时释放的能量更多,位移距离更远^[16];而经过降噪改性的 ABS-LS 在三种载荷下其摩擦痕迹均是连续的,说明其并没有出现明显的粘滑现象。这是因为普通 ABS 动、静

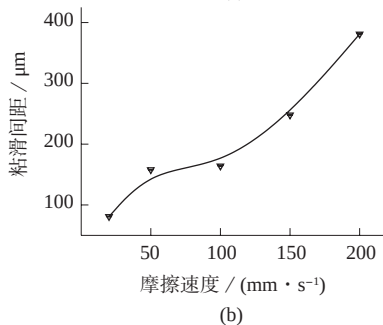
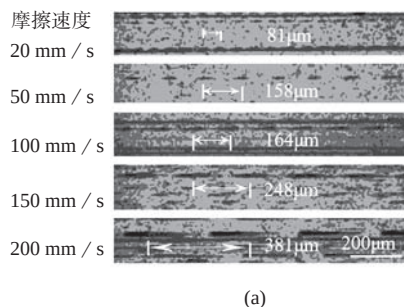
摩擦系数差值较大,从“粘态”转变为“滑态”时能量释放更多,导致摩擦过程不连续。而 ABS-LS 材料的动、静摩擦系数则明显减小,不易出现粘滑现象。



a—普通 ABS ; b—ABS-LS

图5 不同载荷条件下材料粘滑现象显微镜照片

为进一步研究材料的粘滑现象,实验保持载荷为 1.0 MPa 不变,观察了普通 ABS 在不同摩擦速度下的粘滑现象,结果见图6。从图6可看出,随着摩擦速度增加,单位距离下的粘滑次数减小,单次粘滑距离增加。摩擦速度从 100 mm/s 提高到 200 mm/s 时,单次粘滑距离从 $164 \mu\text{m}$ 提高到 $381 \mu\text{m}$,增加了 132%。对应的响度值和振动加速度分别从 65 sones 和 8 m/s^2 提高到 105 sones 和 25 m/s^2 ,相应提高 62% 和 213%,说明塑料样件之间相互摩擦的速度越高,噪音越明显,粘滑现象越严重。



a—显微镜照片; b—滑距离

图6 ABS 在不同摩擦速度下的粘滑现象显微镜照片和粘滑距离

3 结论

(1) 相比普通 ABS,改性后的 ABS-LS 刚性略

有降低,冲击韧性提高 22% ;

(2) ABS-LS 的动、静摩擦系数差值从 0.08 下降到 0.03,内耗因子提高 33%,在材料发生形变时,能够将更多的机械能转变成内能耗散掉,使材料振动衰减更快;

(3) 在相同载荷和摩擦速度条件下进行摩擦异响实验时,ABS-LS 的噪音响度值和振动加速度降低幅度高达 90% ;显微镜照片表明普通 ABS 在摩擦过程中出现了典型的粘滑现象,而降噪改性的 ABS-LS 粘滑倾向明显降低;载荷和摩擦速度越高,单次粘滑位移越大,粘滑现象越严重。

参考文献

- [1] 顾灿松,邓国勇,何森东.汽车空调系统异响引起的车内噪声研究与解决[J].汽车技术,2008(11):21-23.
Gu Cansong, Deng Guoyong, He Sendong. The analysis and solution to car interior noise caused by abnormal noise from air conditioner[J]. Automotive Technology, 2008(11):21-23.
- [2] 杜力,赵鹏云.中央空调噪声分析及控制研究[J].重庆工商大学学报:自然科学版,2009,26(3):291-294.
Du Li, Zhao Pengyun. Analysis and control of noise in central air conditioning system[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2009, 26(3):291-294.
- [3] 蒋永敏.浅析汽车的吸音隔音材料[J].中国包装工业,2014(2):9-10.
Jiang Yongmin. Analysis of the sound-absorbing and sound-proof materials in automobile[J]. China Packaging Industry, 2014(2):9-10.
- [4] 仇文波.一款微型轿车前门玻璃升降器异响问题的改善[J].汽车工艺与材料,2015(11):10-16.
Qiu Wenbo. An improvement for noisy issue of front regulator of mini passenger vehicle[J]. Automobile Technology & Material, 2015(11):10-16.
- [5] 蒋雄,邱德平.汽车内饰塑料件 NVH 异响改善[J].汽车工程师,2018(4):33-36,39.
Jiang Xiong, Qiu Deping. Improvement of the acoustic performance of vehicle plastic interior parts[J]. Auto Engineer, 2018(4):33-36, 39.
- [6] 江文杰,孙成武.某车型汽车座椅异响问题的研究与解决[J].机械制造,2016(4):44-46.
Jiang Wenjie, Sun Chengwu. Research and solution of abnormal sound of a car seat[J]. Machinery, 2016(4):44-46.
- [7] 鲁加荣,李强,罗明华.一种降噪消音的 PC / ABS 合金材料及其制备方法, CN106751687B[P].2017-05-31.
Lu Jiarong, Li Qiang, Luo Minghua. The invention of PC / ABS alloy material for noise reduction, CN106751687B[P].2017-05-31.
- [8] 刘辉,孙梅荣,张国英,等.基于低频噪声防护的高阻尼硅橡胶改性 ABS 隔音材料的制备[J].合成树脂及塑料,2016,33(1):68-72.
Liu Hui, Sun Meirong, Zhang Guoying, et al. Preparation of high damping silicone runbber modified ABS as low-frequency noise insulating material[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2016, 33(1):68-72.
- [9] 杨波,姚宇,黄海山,等.水性阻尼涂料在轿车上的应用[J].涂料工业,2015(9):81-85.
Yang Bo, Yao Yu, Huang Haishan, et al. Application of waterborne damping coatings in automobile industry[J]. Paint & Coatings Industry, 2015(9):81-85.
- [10] 余朦山,李文龙,孙付宇,等.一种高阻尼降噪 ABS 树脂组合物, CN107177156A[P].2017-09-19.
Yu Mengshan, Li Wenlong, Sun Fuyu, et al. A high damping noise reduction ABS resin composition, CN107177156A[P].2017-09-19.
- [11] 张毅,赵志刚,程方清,等.一种降噪和高强度 PC / ABS 合金及其制备方法, CN109354852A[P].2019-02-19.
Zhang Yi, Zhao Zhigang, Cheng Fangqing, et al. The invention of noise reduction and high strength PC / ABS alloy, CN109354852A[P].2019-02-19.
- [12] Rojsatean J, Larpsuriyakul P, Prakymoramas N, et al. Friction characteristics of self-lubricating ABS under different surface roughnesses and temperatures[J]. Tribology International, 2017, 109:229-237.
- [13] Yoshizawa H, You L C, Israelachvili J. Fundamental mechanisms of interfacial friction.1.Relation between adhesion and friction[J]. J Phys Chem, 1993, 97(16):4 128-4 140.
- [14] Eiss N S, Hanchi J. Stick-slip friction in dissimilar polymer pairs used in automobile interiors[J]. Tribology International, 1998, 31(11):653-659.
- [15] 贺鹏.吸声阻尼聚合物材料的研究进展[J].材料导报,2009, 23(s2):424-427.
He Peng. Advance in damping and underwater acoustic absorption polymer matrix materials[J]. Materials Reports, 2009, 23(s2):424-427.
- [16] Bouissou S, Petit J P, Barquins M. Normal load, slip rate and roughness influence on the PMMA dynamics of sliding 2.Characterisation of the stick-slip phenomenon[J]. Wear, 1999, 215(1-2):137-145.

(上接第 40 页)

- [15] 李丽慧,黄承亚.均苯型聚酰亚胺的合成与性能研究[J].合成材料老化与应用,2006,35(4):21-24.
Li Lihui, Huang Chengya. Synthesis and characterization of poly-pyromelliticimide[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2006, 35(4):21-24.
- [16] Song Guoliang, Wang Daming, Dang Guodong, et al. Thermal expansion behavior of polyimide films containing benzoxazole unit [J]. High Performance Polymers, 2014, 26(4):413-419.