

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.02.022

EVAC/ADP/MPP 复合材料的抗老化性能*

潘玉琴¹, 刘媛², 孔霞²

(1. 常州工程职业技术学院材料科学与工程学院, 江苏常州 213164; 2. 常州工程职业技术学院化学与材料工程学院, 江苏常州 213164)

摘要: 在乙烯-乙酸乙烯共聚物 (EVAC)/二乙基次膦酸铝 (ADP)/三聚氰胺聚磷酸盐 (MPP) 复合材料中加入紫外线吸收剂 UV-531 和抗氧化剂 1010, 并对其老化性能研究, 主要研究了“双 85”湿热老化以及紫外老化对其力学性能以及热稳定性的影响。研究表明, 经过“双 85”湿热老化后, EVAC/ADP/MPP 复合材料的拉伸强度和断裂伸长率都呈现出先上升后下降的趋势。经过紫外老化试验的 EVAC/ADP/MPP 复合材料的拉伸强度和断裂伸长率却都呈现出不断下降的趋势。通过红外光谱研究发现, EVAC/ADP/MPP 在“双 85”湿热老化试验时老化降解在乙烯和乙酸乙烯链段同时进行, 而在紫外老化试验中老化降解主要发生在乙烯链段; 热失重以及差示扫描量热分析发现, 经过长时间的湿热以及紫外老化试验之后 EVAC/ADP/MPP 复合材料的热稳定性变差、残炭量变少。

关键词: 乙烯-乙酸乙烯共聚物; 复合材料; “双 85”湿热老化; 紫外老化

中图分类号: TQ325.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)02-0099-04

Anti-Aging Properties of EVAC/ADP/MPP Composite

Pan Yuqin¹, Liu Yuan², Kong Xia²

(1. School of Materials Science and Engineering, Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou 213164, China;

2. School of Chemical and Materials Engineering, Changzhou Vocational Institute of Engineering, Changzhou 213164, China)

Abstract: The anti-aging properties of ethylene vinyl acetate (EVAC)/aluminum diethylphosphinate (ADP)/melamine phosphate (MPP) composites by adding ultraviolet absorber UV-531 and antioxidant 1010 were studied. The mechanical properties and thermal stability of EVAC/ADP/MPP composite by the double price hygrothermal aging and ultraviolet aging were mainly studied. The results show that EVAC/ADP/MPP composites' tensile strength and elongation at break are first increased and then decreased after hygrothermal aging. After ultraviolet aging test, EVAC composites' tensile strength and elongation at break are showing a declining trend. EVAC/ADP/MPP composites' degradation happen in the chain of ethylene and vinyl acetate ethylene at the same time after hygrothermal aging through infrared spectrum study. By ultraviolet aging, the degradation of EVAC/ADP/MPP composites mainly occur in the ethylene chain segment. Thermogravimetry and differential scanning calorimeter test show that after long time of hygrothermal aging and ultraviolet aging test, EVAC/ADP/MPP composites' thermal stability decrease and residual carbon quantity lost is less.

Keywords: ethylene vinyl acetate; composite; double eight-five hygrothermal aging; ultraviolet aging

电缆长期放置在室外, 会因为紫外辐射发生降解, 龟裂, 发黄等老化现象。要延长电缆的寿命就需要加入各种助剂来延缓老化进程, 因此常需要加入紫外稳定剂和紫外吸收剂等助剂来提高材料的耐紫外老化性能。电缆用乙烯-乙酸乙烯共聚物 (EVAC) 材料长期暴露在光、氧和湿气充裕的户外, 在这些因素的共同作用下 EVAC 内部会发生缓慢的化学反应, 这些反应的作用结果使得 EVAC 分子结构出现支解, 释放出乙酸、烯烃、乙醛、一氧化碳、二氧化碳、甲烷等小分子^[1-3]。温度越高、湿度越高、紫外辐射强度越强, 老化降解反应也会变得越快。导致 EVAC 材料力学性能出现劣化, 此外产品外观

会出现颜色的变化, 往往呈现出先发黄, 然后颜色进一步加深到褐色的过程, 此外老化过程中释放的乙酸会腐蚀其它设备, 比如太阳能电池中的电极^[4-6]。因此, 常常需要在 EVAC 中添加紫外吸收剂、紫外稳定剂、抗氧化剂等助剂来延缓 EVAC 的老化进程, 以提高 EVAC 材料的寿命, 还可以通过交联的方式使得 EVAC 材料形成三维结构, 这种结构相比于未交联 EVAC 材料的老化进程更加缓慢。卢赞等^[7]合成了含稳态氮氧自由基的光稳定剂, 光稳定剂用

* 江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015B178)

联系人: 潘玉琴, 研究员, 主要从事高分子材料研究与应用工作

收稿日期: 2016-12-03

于聚丙烯 (PP)/EVAC 共混吹塑膜中发现添加该光稳定剂以后共混膜的力学性能得到了提高,同时该光稳定剂的热稳定性也能满足各种加工条件。笔者在 EVAC/二乙基次膦酸铝 (ADP)/三聚氰胺聚磷酸盐 (MPP) 复合材料中加入了抗氧剂以及紫外线吸收剂,以延缓老化速度。将制得的共混样条分别放入紫外老化箱和湿热老化箱中进行加速老化,以模拟材料在户外经受长期高温、高湿以及光照条件下 EVAC 复合材料的降解过程。

1 实验部分

1.1 主要原材料

EVAC: 180F, 韩国三星公司;

DCP: 分析纯, 上海凌峰化学试剂厂;

ADP: OP1240, 德国克莱恩化工有限公司;

MPP: Melapur 200, 德国巴斯夫公司;

抗氧剂 1010: 德国巴斯夫公司;

紫外线吸收剂: UV-531, 飞翔化工滨海有限公司。

1.2 主要设备及仪器

平板硫化机: XLB-D350×350×2 型, 常州市第一橡塑设备厂;

万能试验机: WTD 型, 深圳市凯强仪器有限公司;

紫外-可见分光光度计: UV2450 型, 日本岛津公司;

紫外光加速老化试验箱: LUV-II 型, 上海普申化工机械有限公司;

密炼机: S(X)M-1L-KA 型, 常州溯源橡塑科技有限公司;

湿热老化试验箱, BPS-500CL 型, 上海一恒科学仪器有限公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: Nicolet-460 型, 美国尼高力公司;

热失重 (TG) 分析仪: TG 209 F3 型, 德国耐驰公司;

差示扫描量热 (DSC) 分析仪: DSC8500 型, 珀金埃尔默公司。

1.3 试样制备

将压制得到的 EVAC/ADP/MPP/UV-531/抗氧剂 1010 共混物样条分别放入紫外光加速老化试验箱及湿热老化箱内进行加速老化。其中紫外老化试验条件为: 温度 35℃, 湿度 38%, 辐照强度 220 W/m², 距离为 25 cm。试样每隔一段时间取出测试;

湿热老化条件为: 温度 85℃, 湿度 85%, 试样距离为 5 cm, 试样每隔开一段时间取出测试。

1.4 性能测试

紫外-可见光反射测试: 将 1 mm 厚的样品放置于中间裁空的铝片中, 使用平板硫化机压片, 温度为 200℃, 压力为 5 MPa, 得厚度为 200~300 μm 薄膜, 将薄膜放入事先预热好的紫外-可见光光度计内, 在 200~800 nm 光波范围内对共混物膜进行测试。

力学性能: 测试标准为 GB/T 1040-2006, 室温, 拉伸速度为 50 mm/min, 试验结果取 5 个试样平均值。

FTIR 测试: 将经过湿热老化前后的样条放入 FTIR 分析仪中, 在 400~4000 cm⁻¹ 的波谱范围内扫描 16 次, 即可得到反射红外光谱图。

TG 测试: 称取 3~5 mg 样品, 气氛为空气, 空气流量为 50 mL/min, 温度范围从室温到 850℃, 升温速率为 20℃/min。

DSC 分析: 将称取的样品 (5 mg 左右) 放入仪器当中, 先将样品从 20℃ 快速升温至 200℃, 升温速率 20℃/min, 消除热历史; 以 10℃/min 降温至 20℃; 再以 10℃/min 升温至 200℃。

2 结果与讨论

2.1 紫外-可见光反射光谱分析

紫外-可见光反射光谱是利用物质中的分子能反射 200~800 nm 区间的光而得到的。紫外吸收剂通常是芳族化合物, 它们和羰基共轭^[8], 并在邻位或对位上有一个释放电子的胺或甲氧基^[9]。高能量短波紫外线辐射激发紫外线吸收剂, 使其达到高能状态, 然后被吸收的能量作为较长的波 (波长 > 380 nm) 辐射而消耗, 于是紫外线吸收剂又重新回到了基态: 或者是发生异构化作用, 分解成没有紫外线吸收功能的同分异构体碎片^[10-12]。图 1 为未添加/添加紫外吸收剂 UV-531 的 EVAC/ADP/MPP 复合材料的紫外反射光谱图。

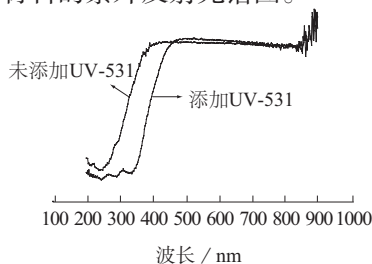


图1 EVAC/ADP/MPP 复合材料的紫外反射光谱

因为紫外线具有短波长、高能量的特定, 因

此穿透性很强,所以两种材料在紫外波段(200~400 nm)的反射率相比可见光波段(400~700 nm)低很多。同时对比两种材料在紫外光波段的反射率发现,加入 UV-531 的 EVAC/ADP/MPP 材料反射率低于未添加 UV-531 的复合材料,这是因为紫外吸收剂吸收了一部分紫外线将其转化为了长波段的光辐射,因此来降低紫外线高能量对材料的破坏。

2.2 不同老化条件对材料力学性能的影响

高分子材料在光和氧的共同作用下发生降解,从而影响材料的整体性能。通过在 EVAC/ADP/MPP 复合材料中添加抗氧剂 1010 来提高材料的耐湿热老化性能,并使用湿热老化加速箱对材料进行“双 85”实验(温度 85℃,湿度 85%),测试复合材料的耐湿热老化能力。图 2 为“双 85”湿热老化对 EVAC/ADP/MPP 复合材料的力学性能的影响。从图 2 可以看出,其拉伸强度和断裂伸长率都呈现出先上升后下降的趋势。高温高湿的环境中,由于水分和热量的双重作用,分子链段的运动加剧,分子链从较无序的状态转变为规整排列;其次,侵入到材料内部的水分子又起到了内增塑的作用。

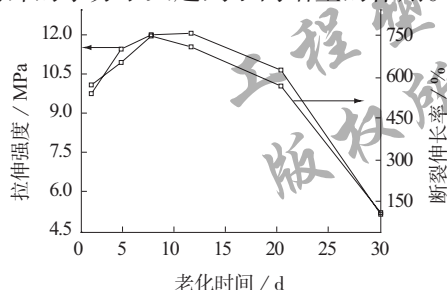


图 2 不同湿热老化时间下 EVAC/ADP/MPP 复合材料力学性能

紫外照射激发产生自由基,而自由基又会破坏高分子链,分子链断裂后力学性能会明显降低,可以通过添加光稳定剂以及紫外吸收剂等助剂来延缓紫外老化进程。图 3 为紫外老化时间对 EVAC/ADP/MPP 复合材料的力学性能的影响。

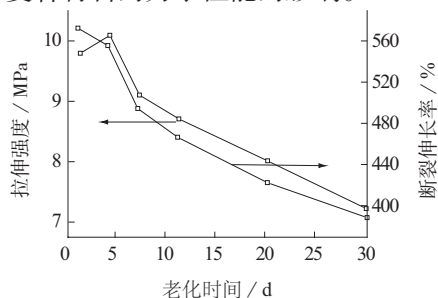


图 3 不同紫外老化时间下 EVAC/ADP/MPP 复合材料的力学性能

由图 3 可知,随着紫外老化时间的增加, EVAC/ADP/MPP 材料的断裂伸长率以及拉伸强度整

体都呈现出下降趋势,说明紫外老化会严重影响 EVAC 材料力学性能,通过添加紫外吸收剂只能延缓材料老化性能而不是阻止材料的紫外老化进程。

2.3 EVAC/ADP/MPP 复合材料 FTIR 分析

表 1 为纯 EVAC 的红外特征峰。聚乙烯部分中的 CH_2 的对称伸缩振动在 2855 cm^{-1} , CH_3 的反对称和对称变角振动为 1462 cm^{-1} 和 1370 cm^{-1} ; 聚乙酸乙烯部分的 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动为 1740 cm^{-1} , 而 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的反对称和对称伸缩振动为 1240 cm^{-1} 和 1020 cm^{-1} 。表 1 中 $\nu\text{C}-\text{H}$ 为 $\text{C}-\text{H}$ 的对称伸缩振动; $\nu\text{asC}-\text{H}$ 为 $\text{C}-\text{H}$ 的不对称伸缩振动; $\delta\text{asC}-\text{H}$ 为 $\text{C}-\text{H}$ 的面内剪式不对称振动; $\delta\text{sC}-\text{H}$ 为 $\text{C}-\text{H}$ 的面内剪式对称振动; $\beta\text{asC}-\text{H}$ 为 $\text{C}-\text{H}$ 的面内摇摆对称振动; $\nu\text{C}=\text{O}$ 为 $\text{C}=\text{O}$ 的对称伸缩振动; $\nu\text{asC}-\text{O}-\text{C}$ 为 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的不对称伸缩振动; $\nu\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 为 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的对称伸缩振动; $\gamma\text{C}=\text{O}$ 为 $\text{C}=\text{O}$ 的面外弯曲振动。

表 1 EVAC 红外特征峰

聚乙烯部分		聚乙酸乙烯部分	
吸收峰/ cm^{-1}	对应基团振动	吸收峰/ cm^{-1}	对应基团振动
2930	$\nu\text{C}-\text{H}$	1740	$\nu\text{C}=\text{O}$
2855	$\nu\text{asC}-\text{H}$	1240	$\nu\text{asC}-\text{O}-\text{C}$
1462	$\delta\text{asC}-\text{H}$	1020	$\nu\text{C}-\text{O}-\text{C}$
1370	$\delta\text{sC}-\text{H}$	610	$\gamma\text{C}=\text{O}$
720	$\beta\text{asC}-\text{H}$		

图 4 为“双 85”老化以及紫外老化 30 d 后及未经老化 EVAC/ADP/MPP 复合材料 FTIR 谱图。

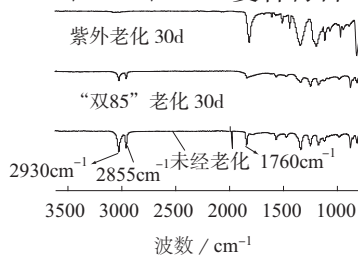


图 4 EVAC/ADP/MPP 复合材料 FTIR 谱图

通过上面表 1 中 EVAC 的红外特征峰,将湿热老化 30 d 后 EVAC 复合材料的红外反射图与未经湿热老化时复合材料的红外反射图进行对比, 乙烯链段以及乙酸乙烯链段中各个基团对应的红外反射峰强度都出现了减弱。说明 EVAC 复合材料在湿热老化条件下乙烯链段和乙酸乙烯链段都发生了老化降解。对比紫外老化前后红外反射图发现 2930 cm^{-1} 和 2855 cm^{-1} 聚乙烯链段中的 CH 对称伸缩和反对称伸缩振动峰在紫外老化 30 d 出现了明显的减弱,而位于乙酸乙烯链段上的其它官能团峰强度得到了增强,说明 EVAC 材料在紫外老化情

况下老化降解主要出现在乙烯链段上,由于红谱图能表示官能团的相对含量,因此不难理解随着乙烯链段老化降解,其官能团数量减少,乙酸乙烯链段官能团相对含量增加,因此红外峰强度也会出现增强。对比 EVAC 材料在两种不同老化条件下的红外谱图可以发现, EVAC 在湿热老化条件下老化降解同时发生在乙烯和乙酸乙烯链段,而在紫外老化条件下则主要发生在乙烯链段。

2.4 EVAC/ADP/MPP 复合材料热分析

图 5 为 EVAC/ADP/MPP 复合材料进行“双 85”老化 30 d 以及紫外老化 30 d 前后的 DSC 图,相比未老化的 EVAC/ADP/MPP 复合材料,经过 30 d 老化之后的复合材料在 100℃左右多了一个放热峰,这是因为在湿热老化条件下高浓度的水分子在较高温度条件下的分子运动加剧,会进入 EVAC 复合材料中,随着温度的升高,样品中的水分子不断从样品中蒸发,当温度接近水沸点,水分子的运动强度达到了最大,因此 DSC 曲线在接近 100℃出现较强放热峰。此外, EVAC/ADP/MPP 复合材料的熔点也出现了提前,说明经过 30 d 湿热老化之后材料的热稳定性变差。这是因为经过湿热老化以后 EVAC/ADP/MPP 发生了老化降解,分子结构被破坏,材料的热稳定性变差。相比“双 85”老化,紫外老化并没有出现水的吸收峰,此外复合材料的熔点也没有出现明显的偏移,说明紫外老化 30 d 以后材料的热稳定性变化并不是很明显,也就是说复合材料的耐紫外老化能力比耐湿热老化强。

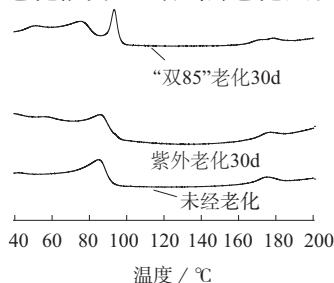


图 5 EVAC/ADP/MPP 复合材料 DSC 谱图

图 6 分别为 EVAC/ADP/MPP 复合材料湿热老化以及紫外老化前后的 TG 曲线图。老化 30 d 之后的样品与未经湿热老化的样品相比,初始分解温度出现了提前,这是因为经过长时间的老化试验, EVAC/ADP/MPP 复合材料发生了老化降解, EVAC 分子结构被破坏,因而热稳定性变差;对比图 6 中两条曲线发现在 380℃之后经过长时间老化样品的热失重速率都变大,从另外一方面也能说明

老化之后的 EVAC/ADP/MPP 复合材料的热稳定性变差;此外经过老化试验之后复合材料的残炭量都低于没有经过老化试验的样品。EVAC/ADP/MPP 复合材料在老化试验中发生老化降解以及链支解,导致碳含量的减少。

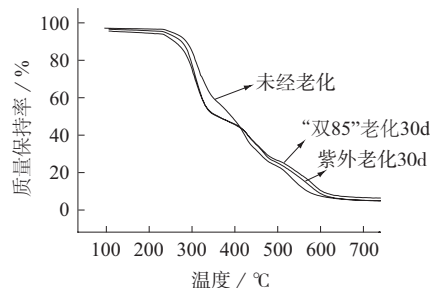


图 6 EVAC/ADP/MPP 复合材料 TG 曲线

3 结论

(1) 经过湿热老化, EVAC/ADP/MPP 复合材料的拉伸强度和断裂伸长率都呈现出先上升后下降的趋势。高温高湿的环境中,由于水分子和热量的双重作用,分子链段的运动加剧,分子链从无序的状态转变为有一定的规整排列。随着时间的迁移,侵入到材料内部的水分子又起到了内增塑的作用,导致力学性能的下降。而经过紫外老化试验材料的拉伸强度和断裂伸长率都呈现出不断下降的趋势。紫外照射激发产生自由基,而自由基会破坏高分子链,分子链断裂后力学性能出现下降。

(2) 通过红外光谱研究发现, EVAC 在湿热老化试验时老化降解在乙烯和乙酸乙烯链段同时发生,而在紫外老化试验中老化降解主要发生在乙烯链段。

(3) 通过热失重以及 DSC 发现经过长时间的湿热以及紫外老化试验之后, EVAC/ADP/MPP 复合材料的热稳定性变差,残炭量变少。

参考文献

- [1] Costache M C. The influence of carbon nanotubes organically modified montmorillonites and layered double hydroxides on the thermal degradation and fire retardancy of polyethylene, ethylene vinyl acetate copolymer and polystyrene[J]. Polymer, 2007, 48:6532-6545.
- [2] Peeterbroeck S, Alexandre M, Nagy J B, et al. Polymer-layered silicate-carbon nanotube nanocomposites: unique nanofiller synergistic effect[J]. Composites Science and Technology, 2004, 64 (15):2317-2323.
- [3] Czandema A W, Peru F J. Encapsulation of PV modules using ethylene vinyl acetate copolymer as a pottant: A critical review[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1996, 43(2):101-181.

(下转第 115 页)

TiO₂ 后,无论是改性还是未改性,其熔点基本不变,说明 TiO₂ 对 PP 熔融行为影响较小。而在降温过程中,引入 TiO₂ 的体系结晶温度向高温平移,说明其先于 PP 结晶。这是由于 TiO₂ 与 PP 不相容,故有一定的异相成核作用,故诱导 PP 率先开始结晶。总体上看, TiO₂ 对 PP 结晶和熔融行为影响不大。

3 结论

采用硅烷偶联剂对纳米 TiO₂ 进行处理,发现改性后的 TiO₂ 表面由亲水变为疏水,增加了其与 PP 的相容性。SEM 观察表明,纳米 TiO₂ 在 PP 中的分散行为得到改善。纳米 TiO₂ 的引入对 PP 的结晶和熔融行为影响较小,这对于 PP 复合膜的加工非常有利。

参考文献

- [1] 张淑霞,李建保,张波,等. TiO₂ 颗粒表面无机包覆的研究进展 [J]. 化学通报, 2001, 64(2): 71-75.
Zhang Shuxia, Li Jianbao, Zhang Bo, et al. Research of inorganically coating in titanium dioxide surface[J]. Chemistry, 2001, 64(2): 71-75.
- [2] 徐丽丽, 蔡晓峰, 陈玉清. 纳米二氧化钛抗菌材料的研究与应用进展 [J]. 山东陶瓷, 2007, 30(5): 26-29.
Xu Lili, Qi Xiaofeng, Chen Yuqing, et al. Research and application progress of Nano-TiO₂ antibacterial materials[J]. Shandong Ceramics, 2007, 30(5): 26-29.
- [3] Kangwansupamonkon W, Lauruengtana V, Surassmo S, et al. Antibacterial effect of apatite-coated titanium dioxide for textiles applications[J]. Nanomedicine Nanotechnology Biology & Medicine, 2009, 5(2): 240-249.
- [4] Daoud W A, Xin J H, Zhang Y H. Surface functionalization of cellulose fibers with titanium dioxide nanoparticles and their combined bactericidal activities[J]. Surface Science, 2005, 599(1-3): 69-75.
- [5] Shao Qian, Wang Chengguo, Zhu Yunfeng, et al. Surface modification and characterization of nanometer TiO₂ for nanometer styrene-acrylate emulsion polymerization[J]. Journal of Functional Materials, 2006, 96(9): 3 215-3 223.
- [6] 杨青, 张宝华, 毛志平, 等. 聚丙烯 / 改性纳米二氧化钛复合材料的制备与性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2009(1): 48-51.
Yang Qing, Zhang Baohua, Mao Zhiping, et al. Preparation and properties of PP / Modified Nano-TiO₂ Composites[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2009(1): 48-51.
- [7] Xing Changmin, Deng Jianping, Yang Wantai. Synthesis of antibacterial polypropylene film with surface immobilized polyvinylpyrrolidone-iodine complex[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 97(5): 2026-2031.
- [8] Ramos M, Jiménez A, Peltzer M, et al. Characterization and antimicrobial activity studies of polypropylene films with carvacrol and thymol for active packaging[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3): 513-519.
- [9] Esthappan S K, Kuttappan S K, Joseph R. Thermal and mechanical properties of polypropylene / titanium dioxide nanocomposite fibers[J]. Materials & Design, 2012, 37: 537-542.
- [9] 方奕文, 倪文秀, 黄翀, 等. 无毒紫外吸收剂的制备及光谱特性分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(6): 1 120-1 122.
Fang Yiwen, Ni Wenxiu, Huang Chong, et al. Extraction and spectral properties analysis of innocuous ultraviolet absorbents[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(6): 1 120-1 122.
- [10] 黄翀, 方奕文, 欧阳艳东, 等. 纯天然植物紫外吸收剂的光谱特性分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(11): 1 425-1 427.
Huang Chong, Fang Yiwen, Ou Yangyandong, et al. Study on spectral properties of natural plant ultraviolet absorbent[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2004, 24(11): 1 425-1 427.
- [11] 李蕾, 刘石均, 李宝山, 等. 有机紫外吸收剂插层铝水滑石的制备及表征 [J]. 无机化学学报, 2007, 23(3): 407-414.
Li Lei, Liu Shijun, Li Baoshan, et al. Preparation and photochemical characterization of compounds by intercalation of organic UV absorbents into Zn-Al hydrotalcite-like compounds[J]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry, 2007, 23(3): 407-414.
- [12] Gao Aijun, Su Canjun, Sha Luo, et al. Densification mechanism of polyacrylonitrile-based carbon fiber during wet and heat treatment[J]. Journal of Physics and Chemistry of solids, 2011, 72(10): 1 159-1 164.

(上接第 102 页)

- [4] Asunción M G, Ana S R, Santiago G S, et al. Corona discharge treatment of EVAs with different vinyl acetate contents[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2007, 21(5-6): 441-463.
- [5] Asunción M G, Ana S R. Surface modifications on EVA treated with sulphuric acid[J]. The Journal of Adhesion, 2009, 79(6): 525-547.
- [6] Andrea S, Andras S, Nikolett T, et al. Role of montmorillonite in flame retardancy of ethylene-vinyl acetate copolymer[J]. Polymer Degradation and Stability, 2006, 91(3): 593-599.
- [7] 卢赞, 张磊, 谭惠民. 含稳态氮氧自由基的光稳定剂对 PE/EVA 薄膜老化性能的影响 [J]. 中国塑料, 2006, 20(5): 95-99.
Lu Yun, Zhang Lei, Tan Huiming. Effect of light stabilizer containing stable nitroxyl oxides of free radical on light aging-resistance of PE / EVA films[J]. China Plastics, 2006, 20(5): 95-99.
- [8] 李建喜, 张聪, 陈涛, 等. 接枝型耐紫外线老化乙烯-乙酸乙烯酯共聚物的制备及其性能研究 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2014, 32(6): 35-40.
Li Jianxi, Zhang Chong, Chen Tao, et al. Preparation of the permanent anti-UV-aging ethylene-vinyl acetate copolymer[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2014, 32(6): 35-40.