

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.05.010

耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯材料制备及性能

陈超,金晶,陈东

(上海日之升科技有限公司,上海 201109)

摘要:采用含溴阻燃剂或氮磷膨胀阻燃剂(IFR)、复合抗氧剂、光稳定剂和紫外线吸收剂制备了一种耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯材料,研究了不同阻燃剂对聚丙烯阻燃性能及紫外老化性能的影响,在优选阻燃剂的基础上,比较了不同抗紫外老化助剂对材料紫外老化性能的影响,最后评价了最优配方体系下材料紫外加速老化后的性能衰减状况。结果表明,相同阻燃剂添加量下无卤IFR更易使材料通过灼热丝起燃温度850℃试验且无火焰产生,UL 94阻燃等级达到V-0级,同时紫外老化后的色差变化较小;自制高成炭无卤阻燃剂IFR-S因较好的成炭作用,达到同样效果,添加量可以降低3份;在相同抗氧剂体系下,含卤阻燃体系紫外加速老化28 d后的色差是无卤膨胀阻燃体系的三倍左右;三嗪类及苯并三氮唑类紫外线吸收剂可以明显改善材料紫外老化时的色变状况,同时降低了聚丙烯的降解程度;通过添加IFR-S、低碱性复合抗氧剂、苯甲酸酯类光稳定剂和苯并三氮唑类紫外线吸收剂制备的阻燃聚丙烯材料经过28 d紫外加速老化,拉伸强度下降1 MPa,缺口冲击强度下降3 J/m,阻燃性能未改变。

关键词:阻燃;聚丙烯;紫外老化;灼热丝;灼热丝起燃温度

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)05-0052-05

Preparation and Properties of Anti-Ultraviolet High Glow Wire FR-PP Materials

Chen Chao, Jin Jing, Chen Dong

(Shanghai Sunny Technology Co. Ltd., Shanghai 201109, China)

Abstract: Brominated flame retardant or nitrogen phosphorus intumescent flame retardant (IFR), compound antioxidant, light stabilizer, UV absorbers were used to prepare a kind of anti-ultraviolet high glow wire flame retardant polypropylene materials. The effects of different flame retardant systems on the flame retardancy and UV aging performances of polypropylene were studied. Based on the optimal flame retardant, the ultraviolet aging effects of different anti-ultraviolet additives on the materials were compared, finally, the performance degradation status of the material with optimal recipe system after UV acceleration aging was evaluated. The results show that, under same flame retardant content, the materials with halogen-free IFR are more suitable for passing the glow wire ignition temperature (GWIT) 850℃ test without flame and their UL 94 flame retardant grade reach V-0 (1.6 mm). For achieving same effects, the content of self-made high-carbonized flame retardant IFR-S can be reduced by 3 phr due to its good char formation effect. ΔE of halogen-containing system is about three times more than that of halogen-free intumescent systems after 28 d ultraviolet acceleration aging under same antioxidant system. Triazine and benzotriazole UV absorbers can greatly improve the color change and decrease degradation rate of polypropylene under UV acceleration. After 28 d ultraviolet accelerated aging, the tensile strength of the flame retardant polypropylene material prepared by adding IFR-S, low alkalinity compound antioxidant, benzozate light stabilizer and benzotriazole UV absorber is decreased by about 1 MPa, the impact strength is decreased by about 3 J/m, no reduction occurs in flame retardancy.

Keywords: flame retardant; polypropylene; UV aging; glow wire; glow wire ignition temperature

随着人们火灾安全意识的提高以及对高分子材料阻燃研究认识的加深,无论国内还是国外都逐步对涉及电器安全领域的高分子材料增加了各项阻

燃要求,相关材料的阻燃指标除了传统的氧指数或UL 94阻燃等级外,还增加了针对针焰、灼热丝等的试验要求,以期多维度保证电器和使用者的安全,这

通讯作者: 陈超,工程师,主要从事高分子材料的加工和改性研究 E-mail: chenchaos@shsunny.com

收稿日期: 2020-02-26

引用格式: 陈超,金晶,陈东.耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯材料制备及性能[J].工程塑料应用,2020,48(5):52-56.

Chen Chao, Jin Jing, Chen Dong. Preparation and properties of anti-ultraviolet high glow wire FR-PP materials[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(5): 52-56.

无疑对材料开发提出了更高的要求。

阻燃聚丙烯的相关研究一直是比较活跃的方向之一,从阻燃剂的迭代更新到各种协效剂及各种助剂的开发和应用,如刘晨曦等^[1]、黄高能等^[2]对含磷、含氮阻燃剂在聚丙烯中的应用进行了研究,鲁哲宏等^[3]、张琪等^[4]、王少琪等^[5]则对阻燃聚丙烯的阻燃协效剂进行了深入的研究探讨。随着阻燃聚丙烯材料的应用领域及场景越来越广泛,终端应用对灼热丝起燃温度(GWIT)的要求越来越高,同时,高灼热丝阻燃聚丙烯室外老化应用需求也在不断增长,此类材料耐候性及力学性能是否满足使用要求,是值得关注的问题。目前结合GWIT及紫外老化等方面对聚丙烯阻燃体系进行研究的文献较少。实现通过GWIT 850℃试验往往需要添加大量阻燃剂,而阻燃剂填充量的加大不仅会影响材料力学性能^[6-8],对耐候性能也有不同程度的影响。

鉴于以上原因,笔者通过自制低添加高成炭阻燃剂对相关问题的研究和探讨,以期给高灼热丝阻燃聚丙烯的相关研究和终端应用提供借鉴和参考。首先通过阻燃、灼热丝、紫外加速老化等试验比较了聚丙烯常用阻燃剂以及自制高成炭阻燃剂对材料阻燃性能的影响,从而优选出较好的阻燃剂,以期在较低添加量下实现较好的阻燃效果;因340 nm紫外加速老化可以很好地模拟日光中的紫外波段以及较高的加速倍率^[9-10],故笔者在优选阻燃剂的基础上采用340 nm紫外加速老化设备模拟了日光对添加不同抗紫外老化助剂的聚丙烯材料性能的影响,进而对抗紫外老化助剂配方体系进行了优选。

1 实验部分

1.1 主要原材料

共聚聚丙烯:YPJ-1215C:中国石油化工扬子石化公司;

十溴二苯乙烷(DBDPE):溴含量81%,润科化工有限公司;

三氧化二锑(Sb_2O_3):上海湖盟化工有限公司;

氮磷膨胀阻燃剂(IFR):氮元素含量约21%,磷元素含量约22%,市售;

高成炭复配氮磷膨胀阻燃剂(IFR-S):氮元素含量约20%,磷元素含量约24%,自制;

聚烯烃类亚磷酸酯抗氧剂(AO-1):市售;

聚烯烃类受阻酚型抗氧剂(AO-2):市售;

聚烯烃类硫代酯类辅助抗氧剂(AO-3):市售;

高分子量低碱性受阻胺(AO-4):分子量

1700,市售;

苯甲酸酯类光稳定剂(UV-1):抗紫外线自由基捕获剂,市售;

三嗪类紫外线吸收剂(UV-2):UVA/UVB吸收,市售;

苯并三氮唑类紫外线吸收剂(UV-3):UVA吸收,市售。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:KS36型,昆山科信机械设备有限公司;

注塑机:HTF80X1型,宁波海天注塑机厂;

万能电子拉伸仪:CMT6104型,深圳新三思集团有限公司;

塑料摆锤冲击试验机:ZBC850型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

垂直燃烧测定仪:CZF-3型,南京上元分析仪器有限公司;

灼热丝试验仪:ZRS-2型,上海埃微电子科技有限公司;

色差仪:CE-7000A型,美国X-Rite公司;

紫外加速老化设备:BG/UV-4D型,UV340波段,上海博工仪器设备公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)测试仪:Nicolet iS10型,美国Thermo Scientific公司。

1.3 试样制备

将PP与阻燃剂以及其它助剂按配方称量,在高速混合机中混合5~6 min,出料,将混合物料在200℃下经双螺杆挤出机挤出造粒,转速400 r/min。将粒料在80℃干燥1 h,然后用注塑机在低注塑压力下注塑成标准试样,注塑温度220℃。

1.4 性能测试

拉伸强度按ASTM D638-2014测试,测试速度50 mm/min;

缺口冲击强度按ASTM D256-2010测试;

GWIT 850℃试验按GB/T 5169.13-2013进行,试样厚度2 mm;

阻燃等级按UL 94测试,试样厚度1.6 mm;

紫外加速老化试验:采用340 nm紫外加速老化设备,能量设置1.55 W(高于一般标准的能量),黑板温度50℃,一定周期取出试样,按CE-7000A测试流程测试相关试样老化前后的色差(ΔE);

FTIR表征:取紫外加速老化4周后的相关试样,利用FTIR测试仪测试其羰基峰变化。

2 结果与讨论

2.1 高灼热丝阻燃聚丙烯阻燃剂的优选

(1) 不同阻燃剂对聚丙烯阻燃性能的影响。

表1为添加不同阻燃剂的阻燃聚丙烯材料的配方,相应的阻燃性能列于表2。从表2可以看出D-S体系在GWIT 850℃试验中会产生火焰且持续时间较长,达25 s。而相同阻燃剂含量的IFR体系在GWIT 850℃试验中不会产生火焰,状态良好;IFR-S体系在阻燃剂含量为35份时就可以通过GWIT 850℃不起燃的试验。这主要是因为自制的高成炭无卤阻燃剂IFR-S的组分中具有更多的成炭剂比例,在热丝接触过程中成炭较多,对热具有良好的隔绝作用,避免了聚合物在高温作用下分解成易燃的物质^[11-13]。D-S体系之所以在试验过程产生火焰是因为卤素阻燃剂的阻燃主要是以自由基机理延缓聚丙烯分解以及卤化锑的覆盖作用,其本质并不能隔绝热的传递,聚丙烯的分解还是在进行,这两者是竞争的过程,温度越高相应的抑制作用越弱,最终高温导致聚丙烯分解产生的烃类物质产生火焰。另外,表2所示三种体系都可以达到UL 94 V-0 (1.6 mm)的阻燃等级,且余焰时间非常短,均为1 s,说明这三种阻燃剂都很好发生了阻燃作用。GWIT 850℃试验说明,在没有持续超高热源状况下溴锑体系是很好的阻燃剂体系,而在高热情况下,无卤阻燃剂对灼热丝的影响优于含卤阻燃剂。

表1 高灼热丝阻燃聚丙烯的阻燃配方

配方体系	配方组分	各组分含量/份
D-S体系	聚丙烯/DBDPE/Sb ₂ O ₃	62/30/8
IFR体系	聚丙烯/IFR阻燃剂	62/38
IFR-S体系	聚丙烯/IFR-S阻燃剂	65/35

表2 不同阻燃配方体系的阻燃性能

项 目	D-S体系	IFR体系	IFR-S体系
是否通过GWIT 850℃试验	未通过	通过	通过
灼热丝火焰时间/s	25	0	0
UL 94阻燃等级	V-0	V-0	V-0
t_1, t_2 /s	1,1	1,1	1,1
滴落情况	不滴落	不滴落	不滴落

注:1) t_1, t_2 为UL 94试验中的第一次和第二次余焰时间。

(2) 不同阻燃剂对聚丙烯紫外老化性能的影响。

为了研究不同阻燃剂对聚丙烯紫外老化性能的影响,在添加相同的行业常用抗氧剂体系基础上,对比了添加不同阻燃剂的阻燃聚丙烯材料经紫外加速老化后的 ΔE 变化,相关配方及结果见表3和表4。图1为添加不同阻燃剂的阻燃聚丙烯拉伸试样紫外老化前后的照片。由表3和表4及图1可以看出,随着紫外辐照能量的累积,三种体系的色差变化

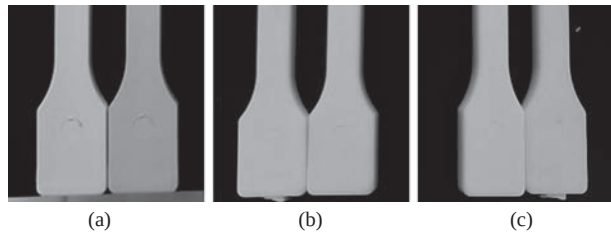
都逐渐增大,经过同样时间(老化28 d)后D-S-U体系变化幅度最大, ΔE 为7.50,是另外两种体系的三倍左右,这主要是因为DBDPE阻燃剂吸收紫外光后产生溴自由基,自由基捕获聚丙烯大分子链上最不稳定的叔氢,使整个体系在光照的初期就生成大量的烷基自由基,因此溴系阻燃剂使诱导期消失并加快了聚丙烯的光降解速率^[14];而无卤体系则不会产生相应的自由基,虽然在紫外光作用下也逐渐分解促使材料黄变降解,但光老化速度较低, ΔE 为2.4左右。另外,除了阻燃剂的影响外,聚丙烯基体合成和加工过程中催化剂残留、羰基等物质可以吸收紫外光导致自由基产生,进而引发一系列的降解反应,导致色差的产生。

表3 高灼热丝阻燃聚丙烯紫外老化配方中各组分含量 份

组 分	D-S-U体系	IFR-U体系	IFR-S-U体系
聚丙烯	65	65	65
DBDPE	30		
Sb ₂ O ₃	5		
IFR		35	
IFR-S			35
AO-1/2/3	0.3/0.3/0.3	0.3/0.3/0.3	0.3/0.3/0.3

表4 不同紫外老化配方体系紫外加速老化后的 ΔE

老化时间/d	D-S-U体系	IFR-U体系	IFR-S-U体系
7	1.49	1.01	1.03
14	3.11	1.40	1.44
28	7.50	2.47	2.44



a—D-S-U体系; b—IFR-U体系; c—IFR-S-U体系

图1 不同阻燃聚丙烯配方体系拉伸试样紫外老化前后的照片(左为老化前、右为老化后)

综上所述,与含卤阻燃剂DBDPE/Sb₂O₃相比,无卤阻燃剂IFR及IFR-S可使聚丙烯通过GWIT 850℃试验,且在紫外加速老化中 ΔE 的变化较小;与一般IFR相比,自制高成炭无卤阻燃剂IFR-S在较低含量下可实现相同的阻燃效果,故将IFR-S作为高灼热丝阻燃聚丙烯的优选阻燃剂。

2.2 耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯抗紫外老化助剂的优选

(1) 不同抗紫外老化助剂下聚丙烯的紫外老化性能分析。

以自制IFR-S为阻燃剂,将抗氧剂体系由

AO-1/2/3体系变成低碱性AO-1/2/4体系,设计了如表5所示的耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯的配方,各配方体系经紫外加速老化后的 ΔE 变化见表6。从表6可以看出,单纯应用低碱性受阻胺类助剂,材料紫外加速老化的结果改变不大,持续老化28 d后的 ΔE 为2.37,加入UV-1后, ΔE 仅略有下降,为2.29。紫外线吸收剂可以很好地改善材料老化后的 ΔE 变化,分别加入UV-2和UV-3,老化28 d后 ΔE 分别为0.88和0.72。这主要是因为材料光老化主要受日光中的紫外波段影响,特别是容易到达地面的290~400 nm波段,其能量为419~279 kJ,大于或接近C—H, C—C键的键能,另外由于聚丙烯为半结晶聚合物,由于晶体相的光散射作用,导致光程增长,吸收能量增多。同时无卤膨胀体系虽不产生自由基,但其会对受阻胺类助剂有抑制作用,两者叠加导致了色差产生^[15]。高分子量三嗪类及苯并三氮唑类紫外线吸收剂的加入促进了紫外线的吸收并将其以热能形式转化,降低了聚丙烯的光敏化;而未加入紫外线吸收剂的体系由于紫外线的持续照射,导致能量持续的输入,加强了聚丙烯的链式自由基反应,羰基化加剧。

表5 耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯配方中各组分含量

组 分	IFR-S-1 体系	IFR-S-2 体系	IFR-S-3 体系	IFR-S-4 体系
聚丙烯	65	65	65	65
IFR-S	35	35	35	35
AO-1/2/4	0.3/0.3/0.3	0.3/0.3/0.3	0.3/0.3/0.3	0.3/0.3/0.3
UV-1		0.3	0.3	0.3
UV-2			0.3	
UV-3				0.3

表6 耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯配方体系紫外加速老化后的 ΔE

老化时间/ d	IFR-S-1 体系	IFR-S-2 体系	IFR-S-3 体系	IFR-S-4 体系
7	1.10	1.05	0.20	0.15
14	1.36	1.32	0.42	0.34
21	1.93	1.85	0.65	0.59
28	2.37	2.29	0.88	0.72

图2为IFR-S-2/3体系紫外加速老化前后的FTIR谱图,因FTIR主要用于说明紫外加速老化下自制耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯羰基改变状况,IFR-S-4体系加速老化后的 ΔE 与IFR-S-3相差不大,IFR-S-1与IFR-S-2的 ΔE 相差也不大,故并未再单独测试IFR-S-1/4体系的红外数据,IFR-S-2/3未加速老化的FTIR谱图重叠,统一标为IFR-S未加速老化。从图2看出,加速老化后的IFR-S-2/3的羰基峰强度都不同程度地增加,说明已经产生了羰基,而未加紫外吸收剂的IFR-S-2体

系比IFR-S-3体系在1730 cm^{-1} 处的羰基峰强度明显增大,这也进一步印证了紫外线吸收剂可以部分减缓聚丙烯阻燃体系的老化。

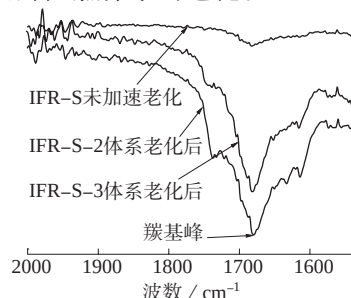


图2 IFR-S-2/3体系紫外加速老化前后的FTIR谱图

(2) 紫外加速老化下聚丙烯的性能变化分析。

根据表6的结果,选定抗紫外老化助剂体系为AO-1/2/4及UV-1/UV-3,即最终确定选用IFR-S-4配方体系,考察了该配方体系经紫外老化后的力学性能和阻燃性能变化情况,结果见表7。由表7可以看出,在试验时间内,GWIT 850℃试验结果及阻燃等级随老化时间增长无改变,体系的拉伸强度变化不大,仅降低了1 MPa左右,这主要是因为苯并三氮唑类助剂起到了很好的吸收转化能量作用,即使产生自由基,添加的烷基酚和受阻胺类抗氧剂也大大降低了聚丙烯降解的速度^[16]。从表7还可以看出体系的缺口冲击强度下降了3 J/m,下降幅度为4.5%,也没有产生较大的下降,这说明抗紫外老化助剂体系起到了良好的防护作用。因紫外加速老化可很好地模拟日光中的紫外波段,因此可以相对较好地评价光照的影响,通过高温加速结果可初步判定材料具有良好的耐紫外老化性能,但实际户外环境更加复杂,此结果只能做一定的参考。

表7 IFR-S-4体系经紫外老化后的力学性能和阻燃性能变化情况

老化时间/ d	拉伸强度/ MPa	缺口冲击强 度/(J·m ⁻¹)	是否通过 GWIT 850℃试验	UL 94 阻燃 等级
0	20	40	通过	V-0
7	20	40	通过	V-0
14	21	40	通过	V-0
21	19	39	通过	V-0
28	19	37	通过	V-0

3 结论

(1) 自制高成炭磷氮阻燃剂IFR-S具有更高的效率和性价比,与一般磷氮阻燃剂IFR相比,可以在相对较低含量下达到相同的阻燃效果;十溴含卤体系未通过GWIT 850℃试验。同时,含卤体系在紫外加速老化状况下更容易黄变,耐紫外老化性能较差。

(2) 紫外线吸收剂可以大大改善耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯材料的耐紫外老化性能,紫外线吸收

剂的加入同时降低了材料炭基的生成比例。

(3) 通过添加自制高成炭阻燃剂 IFR-S 并搭配低碱性复合抗氧剂体系以及苯甲酸酯类光稳定剂和苯并三氮唑类紫外线吸收剂,制备了 UL 94 阻燃等级为 V-0、可通过 GWIT 850℃ 试验的耐紫外高灼热丝阻燃聚丙烯材料,其经 28 d 紫外加速老化后的拉伸强度下降仅 1 MPa,缺口冲击强度仅下降 3 J/m,阻燃性能保持不变。

参考文献

- [1] 刘晨曦,马航,胡波,等.焦磷酸哌嗪膨胀阻燃体系阻燃聚丙烯应用研究[J].塑料工业,2019,47(11):130-133.
Liu Chenxi, Ma Hang, Hu Bo, et al. Study on the application of piperazine pyrophosphate intumescent flame retardant system in flame retardant polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(11):130-133.
- [2] 黄高能,刘盛华,路风辉,等.新型含氮阻燃剂/PEPA 协同阻燃 PP 的性能[J].工程塑料应用,2017,45(2):6-11.
Huang Gaoneng, Liu Shenghua, Lu Fenghui, et al. Performance of polypropylene treated with PEPA and a novel nitrogen containing flame retardant engineering plastics application[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(2):6-11.
- [3] 鲁哲宏,李豪,任艳蓉,等. ADP 协效 APP/PER 阻燃 PP 的制备及性能[J].工程塑料应用,2019,47(1):138-142.
Lu Zhehong, Li Hao, Ren Yanrong, et al. Preparation and properties of ADP synergistic APP/PER flame retardant PP[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):138-142.
- [4] 张琪,吴志峰,杨晶巍,等.联枯/二乙基次膦酸铝/MHB 对聚丙烯的阻燃作用[J].现代塑料加工应用,2019,31(6):23-26
Zhang Qi, Wu Zhifeng, Yang Jingwei, et al. Flame retardancy of bicumyl / aluminium hypophosphite / melamine hydrobromide in polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(6):23-26.
- [5] 王少娟,徐基海,侯小敏,等.丁胺封端三嗪成炭剂对聚丙烯的阻燃作用[J].高分子材料科学与工程,2019,35(3):96-101,107.
Wang Shaojuan, Xu Jihai, Hou Xiaomin, et al. Flame retardancy of triazine charring agent terminated with butylamine in polypropylene[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2019, 35(3):96-101, 107.
- [6] 刘源,曹新鑫,霍国洋.聚丙烯阻燃改性技术研究进展[J].工程塑料应用,2012,40(8):108-111.
Liu Yuan, Cao Xinxin, Huo Guoyang. Research progress on flame retardant modification of polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(8):108-111.
- [7] 李富生,胡星琪,段明.阻燃高分子材料及其阻燃剂研究进展[J].工程塑料应用,2002,30(9):56-59.
Li Fusheng, Hu Xingqi, Duan Ming. Advance in the research of the flame retardant polymers flame retardants concerned[J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(9):56-59.
- [8] Zhang Shengqiang, Li Bin, Lin Mo, et al. Effect of a novel phosphorus-containing compound on the flame retardancy and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122(5):3430-3439.
- [9] 刘冠文,苏仕琼.塑料人工气候老化试验[J].合成材料老化与应用,2007,36(2):35-39.
Liu Guanwen, Su Shiqiong. Plastics test method of resistance to artificial weathering[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2007, 36(2):35-39.
- [10] 王玉海,石光,杨丽庭. ABS 材料人工加速老化与户外自然老化的相关性[J].工程塑料应用,2016,44(11):85-91.
Wang Yuhai, Shi Guang, Yang Liting. Relationship between artificial accelerated weathering and outdoor natural weathering for ABS resin[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(11):85-91.
- [11] 刘君铤,梁忠立,徐玲.非 APP 体系无卤膨胀型阻燃剂在聚烯烃中的应用与研究[J].塑料助剂,2018(4):46-49.
Liu Junding, Liang Zhongli, Xu Ling, et al. Research and pilot tests of the intumescent halogen-free flame retardant (HFFR) without ammonium polyphosphate (APP) blended in polyolefin[J]. Plastic Additives, 2018(4):46-49.
- [12] 马俊,蔡绪福,何露,等.一种磷-氮阻燃剂的合成及其在聚丙烯中的应用[J].塑料工业,2019,47(12):97-101.
Ma Jun, Cai Xufu, He Lu, et al. Synthesis of a nitrogen and phosphorus flame retardant and its application in polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(12):97-101.
- [13] 李玉芳,伍小明.阻燃剂在聚丙烯阻燃中的应用研究进展[J].塑料助剂,2019(3):6-9,37.
Li Yufang, Wu Xiaoming. Application research development of flame retardants in the polypropylene-flame retardant system[J]. Plastic Additives, 2019(3):6-9, 37.
- [14] 聂芹.抗紫外光老化阻燃聚丙烯的研究[D].杭州:浙江工业大学,2012.
Nie Qin. The study of ultraviolet ageing resistance and flame retarded polypropylene composites[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012.
- [15] 茨魏费尔.塑料添加剂手册[M].欧育湘,等译.5版.北京:化学工业出版社,2005:100-101.
Zweifel H. Plastics additives handbook[M]. Ou Yuxiang, et al, translate. 5th ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:100-101.
- [16] 李雄杰,刘雨,邹国享,等.分子筛/受阻胺对膨胀阻燃聚丙烯的协同阻燃作用[J].高分子材料科学与工程,2017,33(1):57-62.
Li Xiongjie, Liu Yu, Zou Guoxiang, et al. Synergistic effect of zeolite and hindered amine containing substances on intumescent flame retardant polypropylene[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2017, 33(1):57-62.