

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.01.006

无卤阻燃永久抗静电 GFPP 材料研制

吕强^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院科聚孚工程塑料有限责任公司, 重庆 400037; 2. 重庆市高性能工程塑料工程技术研究中心, 重庆 400037)

摘要:以玻纤增强聚丙烯 (GFPP) 为基体, 加入无卤阻燃剂 FR-1420、永久抗静电剂 P-22 制备复合材料, 考察了体系的阻燃性能、永久抗静电性能、力学性能和热稳定性能。结果表明, FR-1420 单独添加 20% 时, 可使 GFPP 阻燃等级达到 UL-94 V0 级; P-22 单独添加 20%, 可使 GFPP 表面电阻率下降至 $1.4 \times 10^8 \Omega$ 。当阻燃剂与抗静电复合使用, FR-1420 添加量为 25%, P-22 添加量为 20% 时, 复合材料阻燃等级达到 V0 级, 表面电阻率到 $1.5 \times 10^8 \Omega$, 且抗静电性能持久稳定; 复合材料力学性能仍维持在较高的水平, 拉伸强度为 37 MPa, 缺口冲击强度为 11.2 kJ/m^2 ; 复合材料初始分解温度大幅度降低, 由纯样的 423°C 降低至 330°C 。

关键词:玻纤增强聚丙烯; 无卤阻燃; 永久抗静电; 热稳定性

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)01-0030-04

Preparation of Halogen-free Flame Retarded and Permanent Antistatic Glass-fiber Reinforced Polypropylene

Lyu Qiang^{1,2}

(1. Chongqing Copolyforce Engineering Plastics Co., Ltd., China Coal Technology and Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China; 2. Chongqing Engineering Technology Research Center of High Performance Engineering Plastics, Chongqing 400037, China)

Abstract: The composites were prepared by adding halogen-free flame retardant FR-1420 and permanent antistatic agent P-22 with glass-fiber reinforced polypropylene (GFPP) as the matrix material. The flame retardant property, permanent antistatic property, mechanical property and thermal stability of the system were investigated. The results showed that FR-1420 added 20% individually, could make the flame retardant level of GFPP achieved V0 rating, P-22 added 20% individually, could make the surface resistance of GFPP decreased to $1.4 \times 10^8 \Omega$. The composites achieved UL-94 V-0 rating and the surface resistivity reduced to $1.5 \times 10^8 \Omega$ when FR-1420 added to 25% and P-22 added to 20%, and the antistatic property was maintained for a long time, the tensile strength was 37 MPa and the notched impact strength was 11.2 kJ/m^2 . Compared to the virgin GFPP system, the mechanical properties of the composites were also on a very good level. Moreover, the initial decomposition temperature of the composites decreased from 423°C to 330°C .

Keywords: glass-fiber reinforced polypropylene; halogen-free; permanent antistatic; thermal stability

玻纤增强聚丙烯 (GFPP), 其中玻纤的加入在大幅度提高复合材料拉伸强度、冲击强度、硬度及热变形温度等的同时使复合材料的成本大幅度降低^[1-3]。GFPP 还具有比强度高、质轻、耐腐蚀、成型加工高效等优点, 因此煤矿井下使用 GFPP 替代传统的钢材制造零部件可解决其密度大而笨重、易腐蚀、易产生电火花、搬运安装困难、加工制造成本高、保养费用高等缺点。近年来, 随着“以塑代钢”的推进, GFPP 已逐渐应用于矿用电器领域, 如本安电路用

接线盒、车载断路器、瓦斯抽放参数测试仪等。但是, GFPP 表面电阻率高达 $10^{15} \sim 10^{17} \Omega$, 容易由于静电积累引发火灾、爆炸等灾害^[4-5]。GFPP 还属于易燃材料, 由于玻纤产生“灯芯”效应, 使阻燃性能进一步恶化, 燃烧速度快, 同时释放大量的热^[6-8]。因此, 煤矿井下迫切需要一种高效的阻燃抗静电 GFPP 复合材料。

含卤阻燃剂阻燃效率高、稳定性好, 是 GFPP 目前主要采用的阻燃体系, 但卤系阻燃剂在燃烧时会

通信作者: 吕强, 助理研究员, 主要从事高分子材料加工、阻燃剂及抗静电剂的合成研究 E-mail: lvq0910@163.com

收稿日期: 2020-10-12

引用格式: 吕强. 无卤阻燃永久抗静电 GFPP 材料研制 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1):30-33, 39.

Lyu Qiang. Preparation of halogen-free flame retarded and permanent antistatic glass-fiber reinforced polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1):30-33, 39.

生成大量的烟、腐蚀性气体和有毒气体,严重危害从业人员的生命安全^[9-10]。GFPP 抗静电广泛使用的方法是添加静电剂,传统的抗静电剂为表面活性剂型,随着时间推移逐渐析出,抗静电效果衰减,最后会完全失效^[11]。煤矿矿井内部地形复杂、环境恶劣且富含可燃物和爆炸性气体,传统的阻燃抗静电 GFPP 容易造成严重的“二次灾害”^[12]。因此,对矿用材料进行无卤环保阻燃及永久抗静电的呼声日益增高。

阻燃剂 FR-1420 (焦磷酸哌嗪类)属于新型无卤环保膨胀阻燃剂,其阻燃的产品具有电气性能优、力学性能好、密度低、不易析出、色泽好、烟密度较低等优点^[13]。肖雄等^[14]将焦磷酸哌嗪单独添加到尼龙 6 中,添加量在 40% 时,材料阻燃性能达到 V0 级。叶淑英等^[15]对比了 FR-1420 与聚磷酸铵体系在阻燃 PP 复合材料中的性能,发现 FR-1420 体系的加工温度和阻燃性能均优于聚磷酸铵体系,同时 FR-1420 对力学性能和流动性能影响较小。P-22 为特殊结构的聚酰胺类热塑性弹性体(以聚酰胺和聚醚受阻胺为基础合成),通过在基体中形成“芯壳结构”网络通路泄漏静电荷,不受水洗或擦拭等条件影响,抗静电效果持久^[16]。笔者研究了不同含量 FR-1420 对 GFPP 体系的阻燃性能,以及 P-22 对 GFPP 体系的抗静电性能的影响,另外还研究了阻燃剂与抗静电剂的相互作用,复合材料的永久静电性能、力学性能及热稳定性能。

1 实验部分

1.1 原材料

PP: SP179,中国石油化工股份有限公司茂名分公司;

玻纤: ER5301HP-2200,泰山玻璃纤维有限公司;

阻燃剂: FR-1420,自制;

永久抗静电剂: P-22,巴斯夫公司;

其它助剂: 市售。

1.2 实验设备

高速混合机: SHR-10A 型,张家港市曙光机械厂;

同向双螺杆挤出机: TSE-52 型,南京瑞亚高聚物装备有限公司;

干燥烘箱: SD-9 型,广州佳银塑机公司;

注塑机: SZ-90 型,广东东华机械有限公司;

热重(TG)分析仪: TG 209 F1 型,德国耐驰仪

器制造有限公司;

悬臂梁冲击试验机: ZBC1000 型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

微机控制万能试验机: CMT4204 型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

垂直燃烧仪: CZF-2 型,南京江宁分析仪器有限公司;

绝缘电阻测试仪: YD2683 型,常州市扬子电子有限公司。

1.3 试样制备

按表 1 配方称量好各组份后,采用高速混合机混合均匀。将混合物料通过料斗加入同向双螺杆挤出机中,玻纤从玻纤口加入,进行熔融共混挤出造粒,即可得到无卤阻燃永久抗静电 GFPP 复合材料颗粒。各区段温度控制在 180~200℃,通过调节螺杆转速和喂料速度来调节玻纤含量。将上述所得粒料干燥后,采用注塑成型机注射成型标准样条。

表 1 无卤阻燃永久抗静电 GFPP 配方

样品编号	PP	GF	FR-1420	P-22	其它助剂
1 [#]	79	20	0	0	1
2 [#]	69	20	10	0	1
3 [#]	64	20	15	0	1
4 [#]	59	20	20	0	1
5 [#]	54	20	25	0	1
6 [#]	74	20	0	5	1
7 [#]	69	20	0	10	1
8 [#]	64	20	0	15	1
9 [#]	59	20	0	20	1
10 [#]	39	20	20	20	1
11 [#]	34	20	25	20	1

1.4 性能测试

拉伸强度按 GB/T 1040.2-2006 测试,拉伸速率为 50 mm/min;

悬臂梁缺口冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试,冲击摆锤能量 2.75 J;

阻燃性能按 GB/T 11020-2005 测试;

表面绝缘电阻按 GB/T 3836.1-2000 测试;

TG 测试: 升温速率 10℃/min,加热范围 40~700℃,体积为 75 μL 氮气的流速为 60 mL/min。

2 结果与讨论

2.1 无卤阻燃剂对 GFPP 性能的影响

表 2 不同配方 GFPP 复合材料阻燃抗静电性能测试结果。从表 2 可发现,GFPP 属于易燃材料,垂直燃烧测试等级为无级(N.R.),会一直持续燃烧。无卤阻燃剂 FR-1420 的加入,可以显著提高 GFPP 的阻燃等级,当其添加量达到 15% 时,第一次供火

后,样条离开火焰在 1.7 s 内迅速熄灭,只是第二次供火后,样条持续燃烧,需要 13.4 s 才能熄灭,故只能达到 UL-94 V1 级;随着阻燃剂含量逐渐增加,GFPP 复合材料的阻燃性能得到进一步改善,供火后样条的燃烧时间逐渐缩短,当 FR-1420 添加量达 20% 时,达到 UL-94 V0 级。

表 2 不同配方 GFPP 复合材料阻燃抗静电性能测试结果

样品 编号	UL-94 (3.2 mm) 测试结果			表面电阻 率/ Ω
	阻燃等级	$t_1^{2)}/s$	$t_2^{3)}/s$	
1 [#]	N.R ¹⁾	燃至夹具		3.2×10^{16}
2 [#]	N.R	15.2	燃至夹具	2.8×10^{16}
3 [#]	V1	1.7	13.4	2.7×10^{16}
4 [#]	V0	1.2	6.7	2.9×10^{16}
5 [#]	V0	0.8	3.4	2.4×10^{16}
6 [#]	N.R			9.8×10^{12}
7 [#]	N.R			4.6×10^{11}
8 [#]	N.R			9.2×10^8
9 [#]	N.R			1.4×10^8
10 [#]	V1	2.2	17.3	1.4×10^8
11 [#]	V0	1.6	4.5	1.5×10^8

注: 1) N.R 为无级; 2) t_1 为第一次点火燃烧时间; 3) t_2 为第二次点火燃烧时间。

2.2 永久抗静电剂对 GFPP 性能的影响

由表 2 数据可知,随着永久抗静电剂 P-22 添加量增加,GFPP 复合材料的表面电阻率不断减小。纯 GFPP 的表面电阻率为 $3.2 \times 10^{16} \Omega$,当 P-22 的添加量为 15% 时,复合材料表面电阻率显著下降 8 个数量级,达到 $9.2 \times 10^8 \Omega$;当添加量为 20% 时,复合材料的表面电阻率下降至 $1.4 \times 10^8 \Omega$,达到 MT113-1995 标准 (不大于 $3 \times 10^8 \Omega$)。

2.3 阻燃剂与永久抗静电剂复合使用对 GFPP 性能的影响

(1) 阻燃性能与抗静电性能。

由表 2 可知,在 GFPP 中同时加入 FR-1420 和 P-22,当 FR-1420 和 P-22 添加量均为 20% 时,复合材料抗静电性能保持不变,表面电阻率仍为 $1.4 \times 10^8 \Omega$,然而阻燃等级却降低至 V1 级;当 FR-1420 添加量提高至 25% 时,阻燃等级才能达 V0 级。由此可见,P-22 会明显降低 GFPP 的阻燃性能。

(2) 永久抗静电性能。

将 11[#] 样品在室温放置,每隔 6 个月测试一次表面电阻率,结果如图 1 所示。由图 1 可看出,随着时间增加,材料的表面电阻率略有提高,当放置时间为 3 年时,复合材料的表面电阻率为 $2.4 \times 10^8 \Omega$,仍具有优异的抗静电性能,说明复合材料具有永久抗静电性能。

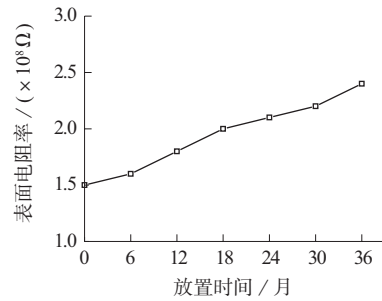


图 1 不同放置时间 GFPP 的抗静电性能

(3) 力学性能。

不同配方复合材料的力学性能见表 3。从表 3 可以看出,添加阻燃剂 FR-1420 使复合材料的力学性能有一定程度下降。未添加阻燃剂的 GFPP (1[#]) 拉伸强度为 68 MPa,阻燃剂 FR-1420 添加 20% (4[#]) 及 25% (5[#]) 的阻燃 GFPP 样品,其拉伸强度分别为 52 MPa 和 50 MPa,说明拉伸强度随着阻燃剂含量的增加而降低。阻燃剂 FR-1420 的加入还使复合材料的断裂伸长率、弯曲强度及缺口冲击强度均呈不同程度下降。从 1[#],9[#] 试样测试结果可以看出,添加永久抗静电剂 P-22 使复合材料的拉伸强度和弯曲强度有一定程度降低。P-22 添加量为 20% 时,分别从 68 MPa 和 63 MPa 降低至 45 MPa 和 47 MPa,而断裂伸长率和缺口冲击强度分别从 2.2% 和 8.5 kJ/m² 升高至 5.1% 和 15.7 kJ/m²,这是因为 P-22 特殊的聚醚酰亚胺结构对 GFPP 材料具有一定的增韧功能。当 FR-1420 添加量为 25%,P-22 添加量 20% 时,复合材料的拉伸强度为 37 MPa,缺口冲击强度为 11.2 kJ/m²,该无卤阻燃永久抗静电 GFPP 复合材料的力学性能仍维持在较高的水平,具有良好的应用价值。

表 3 不同配方 GFPP 复合材料力学性能测试结果

试样 编号	拉伸强 度 /MPa	断裂伸长 率 /%	弯曲强 度 /MPa	缺口冲击 强度 / (kJ · m ⁻²)
1 [#]	68	2.2	63	8.5
4 [#]	52	1.9	59	7.4
5 [#]	50	1.7	54	7.1
9 [#]	45	5.1	47	15.7
11 [#]	37	1.1	33	11.2

(4) 热稳定性能。

不同配方 GFPP 复合材料在氮气氛围下的 TG 曲线如图 2 所示,测试数据列于表 4。对比纯样 (1[#])、阻燃样品 (5[#])、阻燃抗静电样品 (11[#]),纯 GFPP 材料的初始分解温度 (材料失重 5% 时) 为 423℃; 700℃ 残炭率为 19.4%,其主要为残留的玻纤。阻燃

样品的初始分解温度降低至 374℃, 而阻燃抗静电样品的初始分解温度则进一步降低至 330℃, 初始分解温度降低, 其原因可能是 FR-1420 与 P-22 通过催化作用促进 PP 基材提前降解导致。但是阻燃样品及阻燃抗静电样品 700℃ 的残炭率却分别增加至 30.3% 和 36.9%, 说明 FR-1420 的加入促进了基材的成炭, 而抗静电剂 P-22 独特的聚酰胺类结构也具有一定的成炭功能。

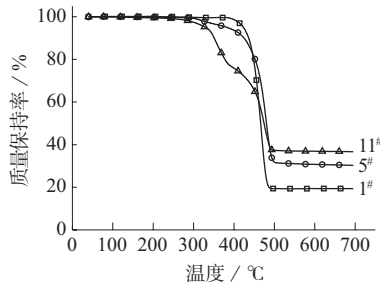


图2 不同配方 GFPP 的 TG 曲线

表4 不同配方 GFPP 的 TG 实验数据

样品编号	初始分解温度 / °C	700℃残炭率 / %
1 [#]	423	19.4
5 [#]	374	30.3
11 [#]	330	36.9

3 结论

(1) 无卤阻燃剂 FR-1420 对 GFPP 具有较好的阻燃效果, 单独使用添加量为 20% 时, 可使复合材料的阻燃等级达到 UL-94 V0 级; 永久抗静电剂 P-22 的单独使用添加量为 20% 时, 复合材料表面电阻率下降至 $1.4 \times 10^8 \Omega$ 。

(2) 当阻燃剂 FR-1420 与永久抗静电剂 P-22 复合使用时, P-22 添加量为 20%, FR-1420 添加量为 25%, 可使 GFPP 复合材料达到 MT 113-1995 的要求, 阻燃等级为 V0 级, 表面电阻率 $1.5 \times 10^8 \Omega$ 。

(3) 当无卤阻燃永久抗静电 GFPP 复合材料室温放置 3 年时, 表面电阻率为 $2.4 \times 10^8 \Omega$, 仍具有优异的抗静电性能。

(4) 无卤阻燃永久抗静电 GFPP 复合材料拉伸强度为 37 MPa, 缺口冲击强度为 11.2 kJ/m², 力学性能仍维持在较高的水平, 具有良好的应用价值。

(5) 热稳定性能研究发现, 无卤阻燃永久抗静电 GFPP 复合材料的初始分解温度大幅度降低, 由纯样的 423℃ 降低至 330℃。

参考文献

[1] Fu S Y, Mai Y W, Chui-Yee E, et al. Correction of the measurement of fiber length of short fiber reinforced thermoplastics [J]. Composites, 2002, 33: 1549-1555.

[2] 吴维新, 任璞, 李宾, 等. 玻纤形态对长玻纤增强聚丙烯性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2013, 41(1): 23-26.
Wu Weixin, Ren Pu, Li Bin, et al. Effect of glass fiber morphology on properties of long glass fiber reinforced polypropylene [J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(1): 23-26.

[3] 张道海, 郭建兵, 张凯舟. PP-g-GMA 对长玻纤增强聚丙烯复合材料性能的影响 [J]. 塑料工业, 2013(2): 37-39.
Zhang Daohai, Guo Jianbing, Zhang Kaizhou. Effect of PP-g-GMA on mechanical properties of long glass fiber reinforced PP composites [J]. China Plastic Industry, 2013(2): 37-39.

[4] 刘苏芹, 徐洪波, 吕召胜, 等. 抗静电聚丙烯电机塑料风叶的研制 [J]. 工程塑料应用, 2007, 35(5): 48-50.
Liu Suqin, Xu Hongbo, Lyu Zhaosheng, et al. Preparation of antistatic PP motor blower fans [J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(5): 48-50.

[5] 于杰, 罗筑, 秦舒浩, 等. OMMT 对 PP/PEO 合金形态特征与抗静电性能的影响 [J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(10): 70-73.
Yu Jie, Luo Zhu, Qin Shuhao, et al. Effect of OMMT on the morphological characteristics and the antistatic properties of the PP/PEO blend [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2011, 27(10): 70-73.

[6] Zhao C S, Huang F L, Xiong W C, et al. A novel halogen-free flame retardant for glass-fiber-reinforced poly(ethylene terephthalate) [J]. Polymer Degradation and Stability, 2008, 93: 1188-1193.

[7] 龙鹏程, 范广宏, 程宝发. 玻纤增强磷酸铝改性无卤阻燃聚丙烯阻燃及力学性能研究 [J]. 化工新型材料, 2020, 48(4): 172-175.
Long Pengcheng, Fan Guanghong, Cheng Baofa. Study on the performance of glass fibre reinforced modification of α -ZrP / PP intumescent flame retardant [J]. New Chemical Materials, 2020, 48(4): 172-175.

[8] 郭素华, 王丹. 无卤阻燃聚丙烯的制备与性能研究 [J]. 塑料科技, 2013, 41(2): 54-57.
Wu Suhua, Wang Dan. Study on properties of halogen free flame retardant polypropylene and its preparation [J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(2): 54-57.

[9] 赵聪, 郑金华, 陈笑微, 等. 无卤阻燃型 EPDM 材料和 EPDM/PPTPV 复合材料等胶料性能的研究进展 [J]. 橡塑技术与装备, 2018, 44(23): 31-42.
Zhao Cong, Zheng Jinhua, Chen Xiaowei, et al. Research progress on properties of halogen-free flame retardant EPDM materials and EPDM/PP TPV composites [J]. China Rubber Plastics Technology and Equipment, 2018, 44(23): 31-42.

[10] 刘源, 曹新鑫, 霍国洋, 等. 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, et al. Research progress on flame retardant modification of polypropylene [J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(8): 108-111.

- 132(41):42 666.
- [8] 刘晓辉,张延光,宋姿萍,等. 新型甲基丙烯酸甲酯功能聚合物的制备及性能[J]. 天津工业大学学报,2018,37(3):31-35.
- Liu Xiaohui, Zhang Yanguang, Song Ziping, et al. Preparation and properties of novel functional polymer of methyl methacrylate[J]. Journal of Tiangong University, 2018, 37(3):31-35.
- [9] 程增会,张代晖,王基夫,等. 接枝改性 CNF 增强聚丙烯酸酯复合膜制备及性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(10):7-12,28.
- Cheng Zenghui, Zhang Daihui, Wang Jifu, et al. Preparation and properties of polyacrylate composite membranes reinforced by graft-modified cellulose nanofibrils[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10):7-12, 28.
- [10] Theivasanthi T, Christma FLA, Toyin A J, et al. Synthesis and characterization of cotton fiber-based nanocellulose[J]. International Journal of Biological Macromolecules:Structure, Function and Interactions, 2018, 109:832-836.
- [11] Nechyporchuk O, Belgacem M, Bras J. Production of cellulose nanofibrils:A review of recent advances[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 93:2-25.
- [12] 吴清林,梅长彤,韩景泉,等. 纳米纤维素制备技术及产业化现状[J]. 林业工程学报,2018,3(1):1-9.
- Wu Qinglin, Mei Changtong, Han Jingquan, et al. Preparation technology and industrialization status of nanocellulose[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(1):1-9.
- [13] 王海莹,李大纲. PVAL/纳米纤维素复合膜的制备及丝光处理对其性能的影响[J]. 工程塑料应用,2014,42(3):13-16.
- Wang Haiying, Li Dagang. Preparation of composite film of PVAL/CNF and effect of mercerization on its properties[J]. Engineering Plastics Application 2014, 42(3):13-16.
- [14] 吕工兵. 聚甲基丙烯酸甲酯/竹纤维复合材料的制备研究[J]. 橡塑技术与装备, 2017, 43(10):42-47.
- Lyu Gongbing. Study on the preparation of PMMA/bamboo fiber composites[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2017, 43(10):42-47.
- [15] 刘如,曹金珍,彭尧. 木粉组分对木塑复合材料性能的影响研究进展[J]. 化工进展,2014,33(8):2072-2083.
- Liu Ru, Cao Jinzhen, Peng Yao. Influences of wood components on the property of wood-plastic composites[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2014, 33(8):2072-2083.
- [16] 林凤采,卢麒麟,卢贝丽,等. 纳米纤维素及其聚合物纳米复合材料的进展[J]. 化工进展,2018,37(9):3454-3470.
- Lin Fengcai, Lu Qilin, Lu Beili, et al. Research progress of nanocellulose and its polymer nanocomposites[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(9):3454-3470.
- [17] 李鑫,邓立高,俸斌,等. 纳米纤维素的制备工艺及其研究进展[J]. 纸和造纸,2018,37(4):11-16.
- Li Xin, Deng Ligao, Feng Bin, et al. Preparation process and development of nanocellulose[J]. Paper and Paper Making, 2018, 37(4):11-16.
- [18] 陈振东. 纤维素纳米纤维/聚甲基丙烯酸甲酯的制备与性能研究[D]. 南京:南京林业大学,2012.
- Chen Zhendong. Fabrication and properties of cellulose nanofiber/polymethylmethacrylate nanocomposites[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University, 2012.
- [19] 陈红艳,宋苏,李青青,等. 竹纤维素增强复合膜的制备及性能[J]. 中国农业大学学报,2019,24(12):121-127.
- Chen Hongyan, Song Su, Li Qingqing, et al. Preparation and properties of bamboo cellulose reinforced composite membrane[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(12):121-127.

(上接第 33 页)

- [11] 闫东广,张远,周昱,等. 一步法制备聚酰胺聚醚弹性体及其在抗静电 ABS 材料中的应用[J]. 高分子材料科学与工程,2020,36(2):160-165.
- Yan Dongguang, Zhang Yuan, Zhou Yu, et al. Preparation of polyamide-block-polyether copolymer based on one-step method and its application in permanent antistatic ABS[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2020, 36(2):160-165.
- [12] 金小汉. 煤矿用聚合物制品安全性能评价方法的探讨[J]. 矿业安全与环保,2008,35(2):59-61.
- Jin Xiaohan. Discussion on safety performance evaluation method of polymer products used in coal mine[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2008, 35(2):59-61.
- [13] Yang K, Xu M J, Li B. Synthesis of N-ethyl triazinepiperazine copolymer and flame retardancy and water resistance of intumescent flame retardant polypropylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2013, 98(7):1397-1406.
- [14] 肖雄. 聚磷酸脲对 PA6 燃烧及热稳定性能的影响[J]. 上海塑料,2018(4):15-21.
- Xiao Xiong. Fire and thermal stability properties of polyamide 6 with piperazine polypyrophosphate[J]. Shanghai Plastic, 2018(4):15-21.
- [15] 叶淑英. 几种无卤膨胀型阻燃剂对聚丙烯性能的影响[J]. 塑料工业,2017,45(7):120-123.
- Ye Shuying. The influence of several halogen-free intumescent flame retardants on properties of polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(7):120-123.
- [16] 高军,吴贵岚,徐晓聊,等. 高分子型抗静电剂的发展状况[J]. 科技创新与应用,2015(2):49.
- Gao Jun, Wu Guilan, Xu Xiaoliao, et al. The development of polymer antistatic agents[J]. Scientific and Technological Innovation and Application, 2015(2):49.