

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.12.010

空心玻璃微珠在玻纤增强阻燃 PA66 中的应用

吴喜元,汪俊,陈锐

(中钢集团马鞍山矿院新材料科技有限公司,安徽马鞍山 243000)

摘要:采用双螺杆挤出工艺制备了空心玻璃微珠(HGS)填充 30% 玻纤增强阻燃尼龙(PA) 66,通过扫描电子显微镜观察了 HGS 在增强阻燃 PA66 中的分散形态,重点考察了 HGS 对材料物理性能、力学性能及阻燃性能的影响。结果表明, HGS 的引入可以明显降低增强阻燃 PA66 的密度,改善其吸水性、尺寸稳定性及耐热性,且不影响材料的阻燃性能;对 HGS 用硅烷偶联剂 KH550 进行表面改性处理可以有效改善其与树脂基体间的界面相容性,进而提高复合材料的各项力学性能;HGS 的粒径越小,复合材料的力学性能越好;当 HGS 用量为 5%~10% 时,增强阻燃 PA66 的综合性能较好。

关键词: 尼龙 66 ; 空心玻璃微珠 ; 玻璃纤维 ; 溴锑阻燃

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)12-0048-05

Application of Hollow Glass Microspheres in Glass Fiber Reinforced Flame Retardant PA66

Wu Xiyuan, Wang Jun, Chen Rui

(Sinosteel Maanshan New Materials Technology Co., Ltd., Maanshan 243000, China)

Abstract : Hollow glass microspheres (HGS) filled 30% glass fiber reinforced flame retardant PA66 was prepared by the twin screw extrusion process. The dispersed form of HGS in reinforced flame retardant PA66 was observed by scanning electron microscopy, and the effects of HGS on the physical properties, mechanical properties and flame retardancy of the materials were investigated. The results showed that the introduction of HGS could obviously reduce the density of reinforced flame retardant PA66, improve its water absorption, dimensional stability and heat resistance, and do not affect the flame retardancy of the materials. The surface modification of HGS by silane coupling agent KH550 could effectively improve the interfacial compatibility with the resin matrix and improve the mechanical properties of the composites, and the smaller the particle size of HGS, the better the mechanical properties of the composites. When HGS dosage was 5%–10%, the comprehensive performance of the reinforced flame retardant PA66 was better.

Keywords : PA66 ; hollow glass microspheres ; glass fiber ; bromide-antimony flame retardant

玻纤增强阻燃尼龙(PA) 66 因具有成型性及尺寸稳定性好、力学强度高、耐热性强等优点,在汽车、军工、电子、电气、机械等领域有着广泛的应用^[1]。目前,对玻纤增强 PA66 有明显阻燃效果的阻燃剂有卤系、磷系、氮系和无机金属化合物等^[2],但这些阻燃剂或复合阻燃剂的添加量往往较大,所制备的材料密度较高,已逐渐无法满足当今各领域对轻量化的需求,因此开发轻质玻纤增强阻燃 PA66 变得越来越重要。

空心玻璃微珠(HGS)是一种中空、内含惰性

气体的微小圆球状非金属无机粉末材料,具有密度小,导热系数低,抗压强度高,分散性、流动性及稳定性好的优点,还具有低吸油、绝缘、不吸水、耐火、耐腐蚀、防辐射、无毒等一些普通材料不具备的优异性能,其被誉为 21 世纪的“空间时代材料”^[3-4]。以前工业上使用的 HGS 大多从粉煤灰中获取,这种 HGS 一般呈灰色,密度在 0.7~0.9 g/cm³,抗压强度不超过 10 MPa,且粒径分布较宽,难以在树脂复合材料中广泛应用;近年来,随着中科院理化技术研究所技术的突破,国内已有数家公司可提供工业

通讯作者: 汪俊,高级工程师,主要研究方向为高性能空心玻璃微珠产品开发及其应用 E-mail: 516141649@qq.com

收稿日期: 2018-09-16

引用格式: 吴喜元,汪俊,陈锐. 空心玻璃微珠在玻纤增强阻燃 PA66 中的应用[J]. 工程塑料应用,2018,46(12):48–52.

Wu Xiyuan, Wang Jun, Chen Rui. Application of hollow glass microspheres in glass fiber reinforced flame retardant PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(12):48–52.

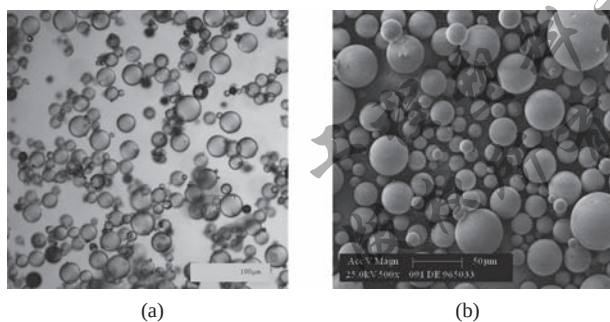
化生产的高性能 HGS,其化学成分和物理性质如表 1、表 2 所示,光学及扫描电子显微镜照片如图 1 所示。这类 HGS 外观为白色粉末状固体,显微镜下为正球形中空玻璃,其外壳坚硬,壳内为氮气、二氧化碳等惰性气体。该 HGS 流动性、化学及热稳定性好,抗压强度高,耐磨,可完全满足复合材料加工过程中的苛刻要求。

表 1 HGS 的化学组成 %

化学成分	含量	化学成分	含量
SiO ₂	70 ~ 80	MgO	0.2 ~ 0.3
CaO	5 ~ 12	P ₂ O ₅	0.05 ~ 0.15
Na ₂ O	2 ~ 6	Fe ₂ O ₃	0.05 ~ 0.10
B ₂ O ₃	5 ~ 10	SO ₃	0.3 ~ 0.6
Al ₂ O ₃	0.3 ~ 0.7	其他	0.5 ~ 1.0

表 2 HGS 的主要物理性质

项目	数值	项目	数值
形状	正球形、粉末	含水率 / %	≤ 0.5
颜色	白色	耐火度 / °C	≥ 650
真密度 / (g · cm ⁻³)	0.60 ~ 0.65	抗压强度 / MPa	≥ 85
堆积密度 / (g · cm ⁻³)	0.36 ~ 0.42	导热率 / [W · (m · K) ⁻¹]	0.05 ~ 0.10
粒径 / μm	2 ~ 65		



a—光学照片;b—SEM 照片

图 1 空心玻璃微珠光学及 SEM 照片

在合适的加工工艺条件下,添加 HGS 的复合材料一般具有优良的抗冲击、抗蠕变和耐热性能,复合材料的尺寸稳定性、绝缘性能、刚性和应力阻尼能力也有所提高^[5]。黄虹等^[6]研究发现 HGS 对聚丙烯/碳纤维复合材料具有增强增韧的作用。王冰星等^[7]考察了 HGS 对 PA66 物理力学性能的影响,发现随 HGS 含量的增加,复合材料的密度和吸水率均逐渐降低,拉伸强度、弯曲强度和硬度均先增加后降低,在 HGS 质量分数为 10% 时复合材料综合性能最优。王志强等^[8]发现 PA11/HGS 复合材料的黏度总体上随 HGS 含量的增加而增大,并且复合材料对温度的依赖性较强,加工时需要注意对温度的控制。黄丽等^[9]考察了 HGS 对 PA6/PA66 合金材料性能的影响,发现在一定范围内,随 HGS 含量的增加,复合材料拉伸强度、冲击强度以及耐热性能均有

所提高。

然而,目前针对玻纤增强阻燃 PA66 的研究主要还是集中在配方设计^[10-11]、阻燃机理研究^[12-14]以及使用高效环保型阻燃剂^[15-18]等方面,鲜有 HGS 在玻纤增强阻燃 PA66 中研究的报道。笔者以 HGS 为轻质功能填料,环保型阻燃剂溴化聚苯乙烯(BPS)和协效剂三氧化二锑(Sb₂O₃)为阻燃体系,通过双螺杆挤出工艺制备了 HGS 填充 30% 玻纤增强阻燃 PA66 材料(PA66/GF30/HGS),重点考察了 HGS 对材料力学性能、密度、耐热性能及阻燃性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

PA66:EPR27,相对黏度 2.7,中国平煤神马集团;

玻璃纤维:988A,单丝直径 9 ~ 13 μm,浙江巨石集团;

HGS:HGS-A,HGS-B,真密度均为 0.60 ~ 0.65 g/cm³,抗压强度 ≥ 85 MPa,其中 HGS-A 平均粒径 D_{50} 为 40 μm,HGS-B 平均粒径 D_{50} 为 20 μm,中钢集团马鞍山矿院新材料科技有限公司;

BPS:美国大湖公司;

Sb₂O₃:星贝达(上海)化工材料有限公司;

硅烷偶联剂:KH550,化学纯,国药化学有限公司;

抗氧化剂、润滑剂、加工助剂、乙醇等均为市售。

1.2 仪器与设备

同向平行双螺杆挤出机:TSE-36 型,南京瑞亚挤出机械制造有限公司;

注塑机:BH-80 型,博创装备制造有限公司;

高速混合机:SHR10L 型,张家港贝尔机械公司;

恒温鼓风干燥箱:ZJ1013 型,浙江诸暨实验仪器厂;

电子万能材料试验机:2300 型,美国 Instron 公司;

悬臂梁缺口冲击试验机:XJJ-50 型,承德试验机有限公司;

电子密度计:ZMD-1 型,上海分析仪器设备厂;

激光粒度分析仪:2000 型,丹东百特仪器有限公司;

金相显微镜:PM6000 型,南京江南永新光学设备厂;

SEM : JSM-6490LV 型,日本电子公司。

1.3 试样制备

(1) HGS 表面改性处理。

将 KH550 配制成无水乙醇溶液,按照 HGS 用量的 1.5% 同 HGS 一起添加到高速混合机中,高速搅拌使物料温度达到 100℃,继续搅拌 30 min,冷却,备用。

(2) PA66 / GF30 / HGS 复合材料制备。

先将 PA66、抗氧剂、润滑剂、加工助剂、BPS 及 Sb₂O₃ 在高速混合机中搅拌均匀,然后从双螺杆挤出机的主喂料口加入, HGS 从双螺杆挤出机的侧喂料口加入,玻纤由双螺杆挤出机的玻纤口加入,调整好主机转速及喂料比例,使玻纤含量控制在 30%, HGS 含量为设计值,然后冷却、造粒,制得 PA66 / GF30 / HGS 增强阻燃材料。其中双螺杆挤出机加工温度设置为 250 ~ 280℃,螺杆转速控制在 280 ~ 330 r/min。将挤出料在 100℃恒温鼓风干燥箱中干燥 4 h,然后在注塑机上注射成标准样条,注塑压力 60 ~ 90 MPa,注射温度设置 265 ~ 275℃。将制备的样条在温度为 (23 ± 2)℃、湿度为 (50 ± 5)% 的环境中调整 48 h 后进行性能测试。

1.4 性能测试

拉伸性能按照 GB / T 1040-2006 测试,拉伸速率 20 mm/min ;

弯曲强度按照 GB / T 9341-2008 测试,下压速率 2 mm/min,跨距 64 mm ;

悬臂梁冲击强度按照 GB / T 1843-2008 测试,摆锤能量 2.75 J ;

热变形温度按照 GB / T 1634-2004 测试,负荷 1.8 MPa,跨距 64 mm ;

燃烧等级按照 UL-94 垂直燃烧法进行测定;

密度按 GB / T 1033.1-2008 采用浸渍法进行测定;

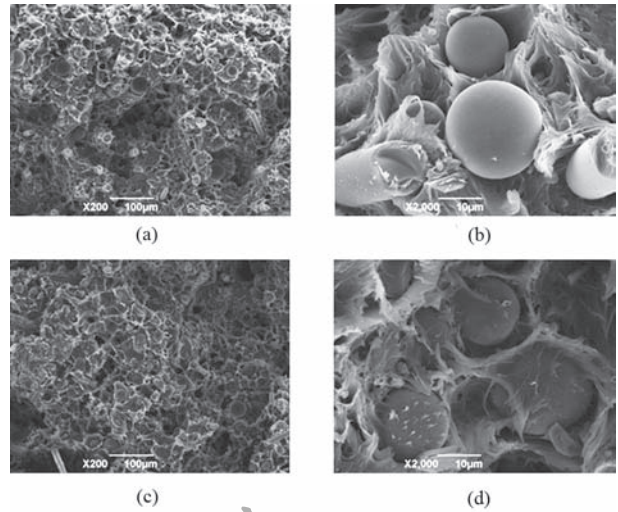
吸水率按 GB / T 1034-2008 测定,吸水时间 24 h。

2 结果与讨论

2.1 HGS 在增强阻燃 PA66 中的微观形态结构

图 2 为 10% HGS 填充增强阻燃 PA66 材料的 SEM 照片。从图 2a 及图 2c 可以看出, HGS 均匀分布于 PA66 / GF 增强阻燃材料中,并且没有发生明显破碎。由图 2b 及图 2d 可以明显看出,未经过表面改性的 HGS 表面光滑,其与树脂基体间有明显间隙,界面相容性较差;而经过 KH550 表面改性的

HGS 表面有一层树脂包覆,其与树脂间界面并不十分明显,界面相容性得到了显著改善。



a—未表面改性 HGS,放大 200 倍;b—未表面改性 HGS,放大 2000 倍;
c—KH550 改性 HGS,放大 200 倍;d—KH550 改性 HGS,放大 2000 倍

图 2 增强阻燃 PA66 材料的 SEM 照片

2.2 HGS 对增强阻燃 PA66 力学性能的影响

采用相同工艺分别制备了 PA66 / GF30 及 PA66 / GF30 / HGS 增强阻燃材料。HGS 选用 HGS-A,含量为 10%。PA66 / GF30 与 PA66 / GF30 / HGS 的力学性能如表 3 所示。

表 3 PA66 / GF30 与 PA66 / GF30 / HGS 的力学性能参数

项目	PA66 / GF30	PA66 / GF30 / HGS-1	PA66 / GF30 / HGS-2
拉伸强度 / MPa	170	151	158
拉伸弹性模量 / MPa	7 500	7 400	7 600
断裂伸长率 / %	5	4	4
弯曲强度 / MPa	230	208	224
弯曲弹性模量 / MPa	9 800	10 200	10 300
无缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	65	50	56
缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	9.8	7.6	8.1

注: PA66 / GF30 / HGS-1 所用 HGS 未表面改性, PA66 / GF30 / HGS-2 所用 HGS 经过 KH550 表面改性。

由表 3 可以看出,与未添加 HGS 的 PA66 / GF30 增强阻燃材料相比,无论表面改性与否, HGS 的引入都导致了材料的拉伸强度、弯曲强度及冲击强度不同程度地降低,这主要是由于 HGS 为表面光滑的正球体结构,其本身并没有显著增强作用,且 40 μm 的平均粒径相对其他填充材料偏大,在受到外力作用时, HGS 与树脂界面层处极易产生银纹进而导致较大裂纹的形成,最终导致材料的力学性能降低。将 HGS 采用 KH550 表面改性后,材料的各项性能均有所提升,这主要是因为 KH550 改善了 HGS 与树脂界面相容性,在一定程度上阻止了较大

裂纹的产生,这与 SEM 观察的结论相符。

2.3 HGS 对增强阻燃 PA66 物理性能的影响

表 4 为 PA66 / GF30 与 PA66 / GF30 / HGS-2 的主要物理性能对比。

表 4 PA66 / GF30 与 PA66 / GF30 / HGS-2 的主要物理性能

项目	PA66 / GF30	PA66 / GF30 / HGS-2
颜色	淡黄色	淡黄色
密度 / (g · cm ⁻³)	1.63	1.50
24 h 吸水率 / %	0.60	0.47
模具收缩率 / %	0.33	0.30
尺寸稳定性	一般	较好
热变形温度 / °C	235	238
燃烧等级 (UL-94)	V-0	V-0

由表 4 可以看出,与 PA66 / GF30 相比, PA66 / GF30 / HGS-2 的密度显著降低,下降了近 8%,同时材料阻燃性能不变,吸水率性、模具收缩率及尺寸稳定性得到改善,热变形温度得到提高。因此,在 PA66 / GF30 中添加 HGS 可以实现减重的目的,同时有利于制件精度的提高和使用寿命的延长。

2.4 HGS 粒径对增强阻燃 PA66 力学性能的影响

采用 KH550 分别对 HGS-A 和 HGS-B 进行表面改性,然后采用相同工艺,分别制备了 HGS 含量均为 10% 的 PA66 / GF30 / HGS-A 和 PA66 / GF30 / HGS-B 两种增强阻燃材料,并对其力学性能进行测试,结果如表 5 所示。

表 5 PA66 / GF30 / HGS-A 与 PA66 / GF30 / HGS-B 的力学性能

项目	PA66 / GF30 / HGS-A	PA66 / GF30 / HGS-B
拉伸强度 / MPa	158	165
拉伸弹性模量 / MPa	7 600	7 600
断裂伸长率 / %	4	4
弯曲强度 / MPa	224	228
弯曲弹性模量 / MPa	10 300	10 350
无缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	56	63
缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	8.1	9.2

由表 5 可以看出, PA66 / GF30 / HGS-B 的各项性能优于 PA66 / GF30 / HGS-A,即 HGS 粒径越小,复合材料的力学性能越好。这与文献 [5] 研究的结论一致。

2.5 HGS 含量对增强阻燃 PA66 物理及力学性能的影响

采用 KH550 改性 HGS-B,分别制备了 HGS 含量为 0,5%,10%,15%,20% 的 5 种 PA66 / GF30 / HGS-B,并对其物理及力学性能进行测试,结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出,随着 HGS 含量的增加, PA66 / GF30 / HGS 的密度先降低后升高,模具收缩率逐

表 6 不同 HGS 含量下 PA66 / GF30 / HGS-B 的物理及力学性能

项目	HGS 含量 / %				
	0	5	10	15	20
密度 / (g · cm ⁻³)	1.63	1.56	1.51	1.50	1.57
模具收缩率 / %	0.33	0.32	0.30	0.29	0.27
尺寸稳定性	一般	良好	较好	较好	较好
热变形温度 / °C	235	236	239	239	242
拉伸强度 / MPa	170	167	165	161	155
拉伸弹性模量 / MPa	7 500	7 530	7 600	7 650	7 630
断裂伸长率 / %	5	5	4	4	3
弯曲强度 / MPa	230	232	228	218	211
弯曲弹性模量 / MPa	9 800	10 100	10 350	10 420	10 670
无缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	65	64	63	55	43
缺口冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	9.8	9.6	9.2	8.7	7.7

渐降低,尺寸稳定性越来越好,热变形温度以及拉伸弹性模量、弯曲弹性模量逐渐增大,但拉伸强度、弯曲强度以及冲击强度呈一定程度降低。PA66 / GF30 / HGS 的力学性能随着 HGS 含量的增加逐渐降低,主要是由于随着 HGS 含量的增加,复合材料的刚性逐渐增强,韧性逐渐下降,在过强的外力作用下,复合材料还未达到屈服即会发生脆性断裂,尤其是在 HGS 含量超过 15% 以后表现更加明显。当 HGS 含量超过 15% 以后,由于 HGS 在加工时的破碎率会急剧上升,此时复合材料的密度也会不降反升。综合来看,当 HGS 含量在 5%~10% 时, PA66 / GF30 / HGS 的各项性能较好。

3 结论

(1) 采用 HGS 填充玻纤增强阻燃 PA66,可以实现减重目的,同时改善材料的吸水性、尺寸稳定性及耐热性。

(2) 采用 KH550 表面改性 HGS,可以有效改善 HGS 与 PA66 树脂基体间的界面相容性,进而提高 PA66 / GF30 / HGS 的各项力学性能。

(3) HGS 粒径越小, PA66 / GF30 / HGS 的力学性能越好;当 HGS 含量在 5%~10% 时, PA66 / GF30 / HGS 的综合性能较好。

参考文献

- [1] 李辉,王旭华,孙建军,等.阻燃增强增韧尼龙 66 的制备及工艺研究[J].工程塑料应用,2012,40(6):49-54.
Li Hui, Wang Xuhua, Sun Jianjun, et al. Preparation and technology of flame retardant reinforced toughening nylon 66 composites[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(6):49-54.
- [2] 许林利,王成望,丁斌,等.阻燃玻纤增强尼龙 66 的制备及性能研究[J].广州化学,2015,40(3):13-17.
Xu Linli, Wang Chengwang, Ding Bin, et al. Preparation and properties of flame-retardant nylon-66 composites reinforced with

- glass fibers[J]. Guangzhou Chemistry, 2015, 40(3):13-17.
- [3] 王芸,彭程,彭小波,等. 空心玻璃微珠的应用研究现状 [C]// 中国硅酸盐学会玻璃分会 2009 年全国玻璃科学技术年会论文集. 武汉:中国硅酸盐学会, 2009:307-312.
- Wang Yun, Peng Cheng, Peng Xiaobo, et al. Application and research current status of hollow glass beads[C]//Proceedings of the 2009 national glass science and technology annual conference of the glass branch of the China silicic acid society. Wuhan:The Chinese Ceramic Society, 2009:307-312.
- [4] 吴湘锋,李军伟,杨治强,等. 钇化合物对聚丙烯/空心玻璃微珠复合材料性能的影响 [J]. 天津大学学报, 2012, 45(3):259-262.
- Wu Xiangfeng, Li Junwei, Yang Zhiqiang, et al. Effects of Yttrium compound on properties of polypropylene / hollow glass beads composites[J]. Journal of Tianjin University, 2012, 45(3):259-262.
- [5] 孙向东,孙旭东,张慧波,等. 空心玻璃微珠填充 MC 尼龙复合材料的研究 [J]. 工程塑料应用, 2005, 33(1):7-9.
- Sun Xiangdong, Sun Xudong, Zhang Huibo, et al. Study on MC nylon filled with hollow glass microsphere[J]. Engineering Plastics Application, 2005, 33(1):7-9.
- [6] 黄虹,李道喜,明浩,等. 空心玻璃微珠对碳纤维增强聚丙烯性能的影响研究 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(4):80-83.
- Huang Hong, Li Daoxi, Ming Hao, et al. Effects of hollow glass beads on properties of carbon fiber reinforced polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(4):80-83.
- [7] 王冰星,吴喜元,刘亚辉. 空心玻璃微珠 / PA66 复合材料的性能研究 [J]. 塑料助剂, 2015(6):33-36.
- Wang Bingxing, Wu Xiyuan, Liu Yahui. Study on properties of hollow glass microspheres / PA66 composites[J]. Plastic Additives, 2015(6):33-36.
- [8] 王志强,胡国胜,李迎春,等. 尼龙 11 / 空心玻璃微珠复合材料流变行为研究 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(3):83-85.
- Wang Zhiqiang, Hu Guosheng, Li Yingchun, et al. Rheological behavior study of polyamide 11 / hollow glass bead composite[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(3):83-85.
- [9] 黄丽,魏星,马赞喆,等. 玻璃微珠改性 PA6 / PA66 合金复合材料的制备与性能 [J]. 北京化工大学学报:自然科学版, 2010, 37(5):88-92.
- Huang Li, Wei Xing, Ma Yunzhe, et al. Preparation and performance of polyamide alloys / glass bead composites[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology:Natural Science, 2010, 37(5):88-92.
- [10] 石建江,陈宪宏,肖鹏. 阻燃玻纤增强尼龙 66 的研制及其应用 [J]. 工程塑料应用, 2006, 34(1):35-37.
- Shi Jianjiang, Chen Xianhong, Xiao Peng. Development and application of flame-retardant glass fiber reinforced PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 34(1):35-37.
- [11] 刘裕红. 无卤阻燃玻纤增强 PA66 工程塑料的改性研究 [J]. 电子测试, 2016(22):172-173.
- Liu Yuhong. Modification research of halogen free flame retardant glass fiber reinforced PA66 engineering plastics[J]. Electronic Test, 2016(22):172-173.
- [12] Horrocks A R, Smart G, Kandola B, et al. Zinc stannate interactions with flame retardants in polyamides, part 1: Synergies with organobromine-containing flame retardants in polyamides 6(PA6) and 66(PA66)[J]. Polymer Degradation & Stability, 2012, 97(12):2503-2510.
- [13] 代彦荣,周岚,冯新星. 玻纤增强阻燃共聚尼龙 66 复合材料的阻燃性能研究 [J]. 浙江理工大学学报:自然科学版, 2017, 37(3):366-370.
- Dai Yanrong, Zhou Lan, Feng Xinxing. Study on the flame retardancy of glass fiber reinforced flame retardant copolyamide 66 composites[J]. Journal of Zhejiang Institute of Science and Technology:Natural Science, 2017, 37(3):366-370.
- [14] 奚方立,魏俊超,陈保安,等. 三聚氰胺氰尿酸盐对玻纤增强尼龙 66 复合材料阻燃性能的影响 [J]. 功能高分子学报, 2014, 27(4):365-371.
- Xi Steven, Wei Junchao, Chen Baoan, et al. Flame retardant effect of melamine cyanurate on glass fiber reinforced nylon 66 composites[J]. Journal of Functional Polymers, 2014, 27(4):365-371.
- [15] 陈文华,闵力珍,华正坤,等. 硼酸锌对氮磷协效阻燃玻纤增强尼龙 66 性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(5):14-18.
- Chen Wenhua, Min Lizhen, Hua Zhengkun, et al. Influences of ZB on properties of nitrogen-phosphorus synergistic flame retardant GF reinforced PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(5):14-18.
- [16] 刘渊,韩忆,王琪. 三聚氰胺聚磷酸盐 / 硼酚醛协效体系阻燃 PA66 / GF 复合材料的研究 [J]. 工程塑料应用, 2012, 40(8):5-9.
- Liu Yuan, Han Yi, Wang Qi. Investigation on melaming polyphosphate / boro-containing phenol-formaldehyde synergistic flame-retarded polyamide 66 / glass fiber composite[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(8):5-9.
- [17] 王悦音,马猛,王卫明,等. 无卤阻燃长玻纤增强尼龙 66 的制备及性能表征 [J]. 塑料, 2017(4):47-49.
- Wang Yueyin, Ma Meng, Wang Weiming, et al. Preparation and characterization of halogen-free flame retardant long glass fiber reinforced nylon 66[J]. Plastics, 2017(4):47-49.
- [18] 张志军,戴文利,刘爱学. 无卤阻燃增强 PA66 的研制及其应用 [J]. 工程塑料应用, 2009, 37(12):46-49.
- Zhang Zhijun, Dai Wenli, Liu Aixue. Development and application of halogen-free flame-retardant reinforced nylon 66[J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(12):46-49.