

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.07.023

短切玻璃纤维及增容剂对聚丙烯力学性能的影响

张宁宁, 薛长鸣, 吴宁

(上海亚大汽车塑料制品有限公司, 上海 201708)

摘要: 为了提高聚丙烯的力学性能,以聚丙烯接枝马来酸酐(PP-g-MAH)为增容剂,使用熔融挤出法制备短切玻璃纤维增强聚丙烯(SGF/PP)复合材料,研究了玻璃纤维牌号、含量及PP-g-MAH添加量对SGF/PP复合材料力学性能及耐水解性能的影响。结果表明,选用耐水解玻璃纤维,SGF/PP复合材料在95℃水浴中老化30 d后的拉伸强度保留率为85.3%;SGF/PP复合材料力学性能随玻璃纤维含量增加而升高,但当玻璃纤维质量分数超过40%后,冲击性能有所下降;PP-g-MAH的加入改善了玻璃纤维与聚丙烯树脂的界面结合,当PP-g-MAH质量分数为1%时,SGF/PP复合材料具有最高的综合力学性能,其拉伸强度、弯曲强度、无缺口冲击强度和缺口冲击强度与未加增容剂的复合材料相比分别提高了18.4%、20.6%、96.7%和35.9%。

关键词: 短切玻璃纤维增强聚丙烯;力学性能;增容剂;界面结合

中图分类号: TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)07-0161-05

Effects of short glass fiber and compatibilizer on mechanical properties of polypropylene

ZHANG Ningning, XUE Changming, WU Ning

(Shanghai Chinaust Automotive Plastic Co., Ltd., Shanghai 201708, China)

Abstract : To enhance the mechanical properties of polypropylene, taking maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MAH) as compatibilizer, the short glass fiber reinforced polypropylene (SGF/PP) composites were prepared using the melt extrusion method. The effects of brands and contents of glass fiber, and contents of PP-g-MAH on the mechanical properties and hydrolysis resistance of the composites were investigated. The results indicate that using hydrolysis-resistant glass fibers, the tensile strength retention rate of the SGF/PP composite material after 30 days of aging in a 95 °C water bath with hydrolysis-resistant glass fiber was 85.3%. When increasing the glass fiber content, the mechanical properties of the SGF/PP composites increase; however, the impact performances decrease when the glass fiber mass fraction exceeds 40%. The addition of PP-g-MAH improves the interfacial adhesion between the glass fibers and the polypropylene matrix. When the PP-g-MAH mass fraction is 1%, the SGF/PP composite exhibits the optimal overall mechanical properties, compared to the composite without compatibilizer, the tensile strength, bending strength, unnotched impact strength, and notched impact strength increase by 18.4%, 20.6%, 96.7%, and 35.9%, respectively.

Keywords : short glass fiber reinforced polypropylene ; mechanical property ; compatibilizer ; interfacial adhesion

短切玻璃纤维增强聚丙烯(SGF/PP)复合材料,是指使用3~4 mm的短切玻璃纤维作为增强材料,以聚丙烯作为树脂基体制成的复合材料。在SGF/PP复合材料制备过程中,短切玻璃纤维会受到挤出机螺杆的剪切与磨损,纤维长度进一步降低,同时纤维在聚丙烯树脂基体内呈无规分布,因此该类复合材料的力学性能低于长/连续玻璃纤维增强聚丙烯复合材料。但是,SGF/PP复合材料可以使用通用

双螺杆挤出机进行生产,而无需额外增加纤维浸渍和分散设备,制造成本较低,且短切玻璃纤维的加入可以明显提升聚丙烯的力学性能、耐热性能和尺寸稳定性^[1-3],因而在玻璃纤维增强热塑性复合材料中仍占有较大的份额,并被广泛应用于汽车零部件^[4]、管件^[5-7]、电子电器、体育用品等诸多领域。在SGF/PP复合材料中,玻璃纤维类型、玻璃纤维含量以及增容剂是影响该类复合材料力学性能的三大

通信作者: 吴宁,工程师,主要从事热塑性树脂加工工艺研究

收稿日期: 2025-04-22

引用格式: 张宁宁,薛长鸣,吴宁.短切玻璃纤维及增容剂对聚丙烯力学性能的影响[J].工程塑料应用,2025,53(7):161-165.

ZHANG Ningning, XUE Changming, WU Ning. Effects of short glass fiber and compatibilizer on mechanical properties of polypropylene [J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(7): 161-165.

关键因素。玻璃纤维作为复合材料中的受力主体,其类型和含量对复合材料力学性能有较大的影响;马来酸酐接枝聚丙烯(PP-g-MAH)是PP基复合材料常用增容剂^[8-10],其含量的变化对玻璃纤维与聚丙烯之间的界面结合以及SGF/PP复合材料的力学性能同样产生不可忽视的影响。

笔者采用挤出造粒工艺,使用市场上不同牌号的短切玻璃纤维增强聚丙烯,制备了SGF/PP复合材料,通过分析复合材料力学性能(拉伸、弯曲和冲击)和耐水解性能,并结合玻璃纤维分散性,讨论不同牌号玻璃纤维及其含量,以及不同PP-g-MAH增容剂添加量对复合材料力学性能的影响,以期能为SGF/PP复合材料的力学性能优化提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

聚丙烯树脂:Y2600T,中国石化上海石油化工股份有限公司;

PP-g-MAH:OREVAC CA100,法国阿科玛公司;

短切玻璃纤维(型号A):ECS305K-3-K,重庆国际复合材料股份有限公司;

短切玻璃纤维(型号B):508C,中国巨石股份有限公司;

短切玻璃纤维(型号C):248A,美国欧文斯科宁公司。

1.2 主要仪器及设备

高速混合机:SHR,张家港亿利机械有限公司;

双螺杆挤出机:STS35,科倍隆(南京)机械有限公司;

切粒机:GF2508/2512,上海丸京机械有限公司;

注塑机:J110AD-180,日本铸造株式会社;

万能试验机:Instron 5965,美国英斯特朗公司;

摆锤冲击试验仪:Ceast 9050,美国英斯特朗公司;

扫描电子显微镜:6010,日本电子株式会社。

1.3 试样制备

将聚丙烯树脂、PP-g-MAH相容剂置于鼓风烘箱内,在温度80℃以上烘干4h以去除水分,再将两者按照预设比例加入高速混合机中,中速混合90s。

将混合后的树脂加入双螺杆挤出机的主料斗,短切玻璃纤维加入至位于挤出机前端的侧料斗,待挤出机预热完成后,树脂经由双螺杆塑化熔融,短切玻璃纤维在前端侧料斗被喂入,与熔融的树脂混

合。由于双螺杆的作用,短切玻璃纤维会因剪切作用被剪断,并与树脂基体均匀混合,通过口模挤出成条状物料。将条状物料经水冷、切粒后,获得SGF/PP复合材料粒料,然后再经注塑机注塑成标准试样。

在挤出造粒工艺中,挤出机温度设为180~230℃,螺杆转速设为150 r/min;在注塑工艺中,注塑机温度设为180~230℃,背压设为1 MPa,模具温度设为40℃。

1.4 测试与表征

拉伸性能按照ISO 527-2:2012测试,采用1A型样条,拉伸速率为5 mm/min。

弯曲性能按照ISO 178:2019测试,试样尺寸为80 mm×10 mm×4 mm,加载速度为2 mm/min。

简支梁缺口和无缺口冲击强度按照ISO 179-1:2010测试,缺口试样选用A型缺口。

耐水解性能测试:在水浴锅中加入去离子水,将拉伸样条置入并完全淹没,于95℃水浴老化15 d及30 d,测试老化后样条的拉伸强度并计算保留率。

2 结果与讨论

2.1 玻璃纤维牌号对复合材料力学性能的影响

图1列出玻璃纤维质量分数为30%时,不同牌号玻璃纤维制备的SGF/PP复合材料的力学性能(复合材料中含有质量分数为2.8%的PP-g-MAH)。由表1可以看出,3种复合材料具有相近的拉伸和弯曲性能,缺口冲击强度也相差不大,由型号A玻璃纤维制备的复合材料在无缺口冲击强度上稍占优势,比型号B的复合材料高9.5%。

图2显示不同牌号玻璃纤维制备的SGF/PP复合材料95℃水浴老化后的拉伸强度保留率。从图1可以看出,由于型号B玻璃纤维具有较好的耐水解性能,对应的复合材料具有最高的拉伸强度保留率,30 d水浴老化后拉伸强度保留率为85.3%,这表明型号B玻璃纤维制备的复合材料具有最好的耐水解性能。

综上所述,当更注重SGF/PP复合材料耐水解性能时,可以选择型号B玻璃纤维;当注重SGF/PP复合材料常温下的力学性能,尤其是无缺口冲击强度时,可以选择型号A玻璃纤维。

2.2 玻璃纤维含量对复合材料力学性能的影响

图3为不同型号A玻璃纤维含量的SGF/PP复合材料的力学性能(复合材料中含有质量分数为

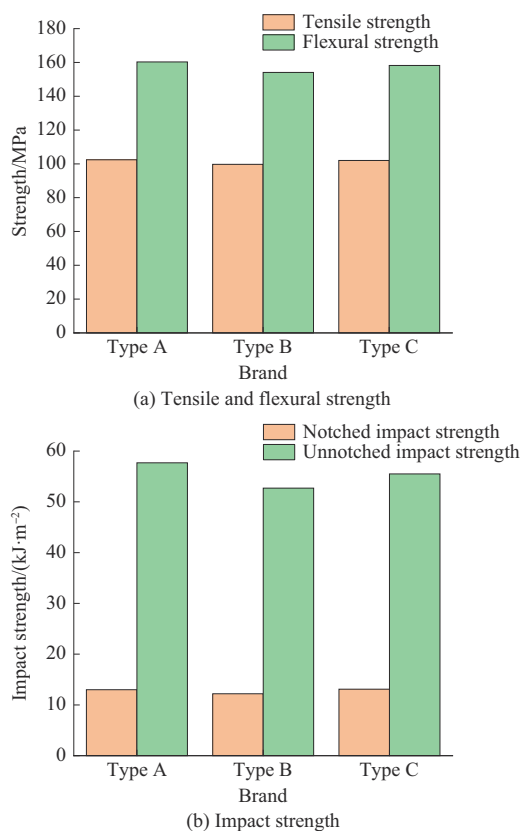


图1 不同牌号玻璃纤维制备的SGF/PP复合材料力学性能

Fig. 1 Mechanical properties of SGF/PP composites prepared by glass fibers with different brands

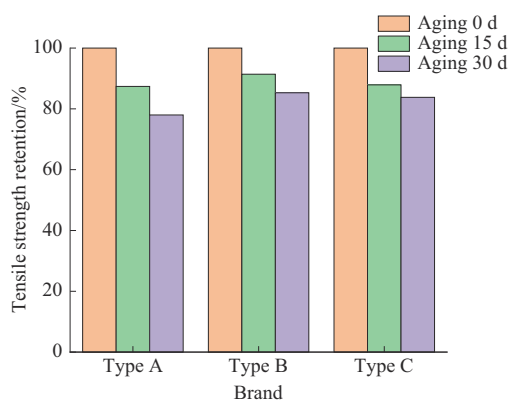


图2 不同牌号玻璃纤维制备的SGF/PP复合材料95 °C水浴老化后的拉伸强度保留率

Fig. 2 Tensile strength retention of SGF/PP composites prepared by glass fibers with different brands after 95 °C water bath aging

2.8%的PP-g-MAH)。从图3可见,当玻璃纤维质量分数从20%增加至40%时,SGF/PP复合材料的力学性能得到明显提升,其中拉伸强度、弯曲强度、缺口冲击强度和无缺口冲击强度分别提高了37.4%, 38.1%, 19.5%和16.5%,拉伸弹性模量及弯曲模量增加显著,分别增加了92.0%和89.1%。当玻璃纤维质量分数超过40%时,复合材料的拉伸和弯曲性

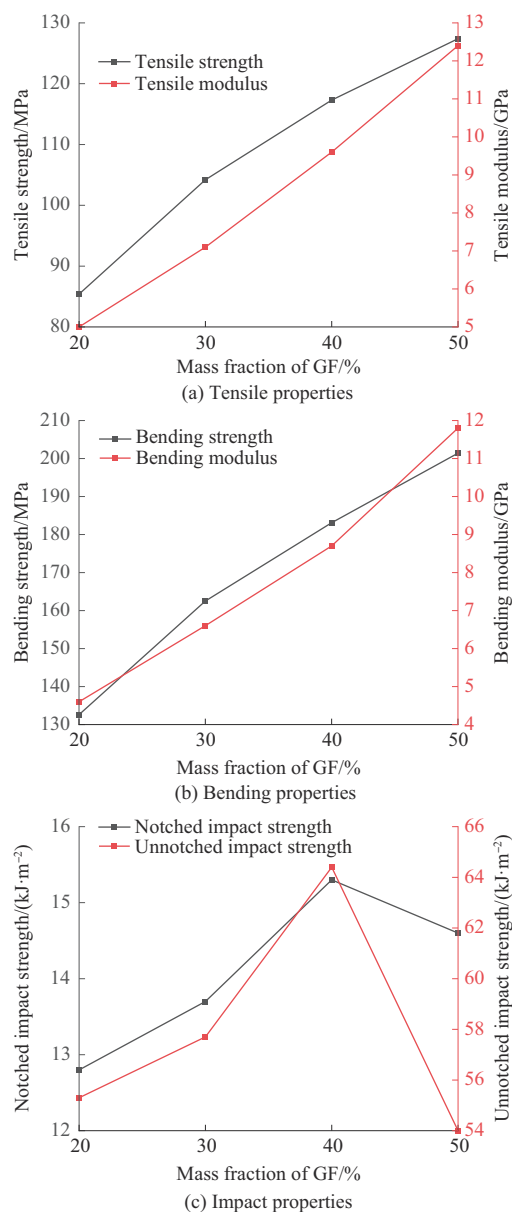


图3 不同玻璃纤维(GF)含量的SGF/PP复合材料的力学性能

Fig. 3 Mechanical properties of SGF/PP composites with different glass fiber (GF) contents

能继续升高,而冲击性能出现下降。这表明质量分数为40%的玻璃纤维在复合材料中对冲击能量的耗散已达到饱和,这可能是因为当玻璃纤维含量较高时,在熔融共混过程中,纤维承受的剪切作用加大,纤维的保留长度变短^[12],且高含量的玻璃纤维与树脂基体的相容性也会变差,从而导致复合材料的冲击性能下降。

综上所述,对于SGF/PP复合材料,在玻璃纤维质量分数为40%时,复合材料的综合力学性能最好,当玻璃纤维质量分数超过40%后,复合材料的冲击性能有所下降。

2.3 增容剂含量对复合材料力学性能的影响

固定型号A玻璃纤维的质量分数为30%,研究了不同增容剂PP-g-MAH含量对SGF/PP复合材料力学性能的影响,结果如图4所示。当PP-g-MAH质量分数从0%增加至1%时,复合材料的拉伸和弯曲强度以及无缺口和缺口冲击强度分别提高了18.4%,20.6%,96.7%和35.9%,综合力学性能提升明显。从变化趋势中可知,当PP-g-MAH质量分数从0.5%增加至1%时,复合材料的拉伸强度和弯曲强度的升高趋势变缓;当PP-g-MAH质量分数超过1%时,复合材料的弯曲强度基本不变,拉伸强度出现下降,冲击性能增幅变缓。这可能是因为,增容剂PP-g-MAH的马来酸酐基团能与玻璃纤维上的活性基团相互作用,同时增容剂的大分子链能与聚丙烯树脂很好地相容,从而在玻璃纤维与聚丙烯树脂界面产生一定程度的交联,提高了树脂与纤维的界面结合强度,进而提升了复合材料的力学性能,但当PP-g-MAH含量过高时,这种在界面处形成的交联网络交联度过高,PP-g-MAH会在玻璃纤维表面团聚,反而变成“杂质”,从而对复合材料的力学性能尤其是拉伸强度产生不利的影响^[13]。

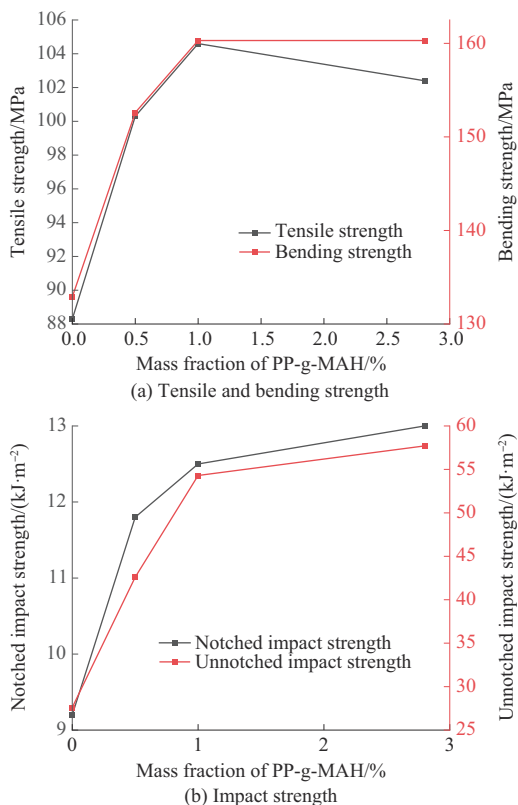


图4 不同增容剂PP-g-MAH含量的SGF/PP复合材料的力学性能
Fig. 4 Mechanical properties of SGF/PP composites with different compatibilizer PP-g-MAH contents

2.4 不同增容剂含量复合材料的SEM形貌

不同增容剂PP-g-MAH含量的SGF/PP复合材料拉伸断面SEM照片如图5所示。从图5可以看出,当PP-g-MAH质量分数为0%时,拔出的玻璃纤维表面基本没有树脂黏附;当PP-g-MAH质量分数增加至1%和2.8%时,拔出的玻璃纤维表面出现树脂黏附现象,且随着PP-g-MAH的加入量增加,从基体断面拔出的玻璃纤维表面黏附的树脂也在增加,说明PP-g-MAH使得聚丙烯树脂与玻璃纤维产生了化学结合,提高了聚丙烯树脂与玻璃纤维界面的结合强度。

在熔融挤出的过程中,PP-g-MAH的马来酸酐基团在高温下可生成羧基,与玻璃纤维表面硅烷偶联剂中的氨基发生化学反应^[14],而PP-g-MAH的长分子链可与聚丙烯树脂高分子链产生缠结,这两方面的作用可明显改善树脂基体与纤维的界面结合,从而使纤维拔出时黏附了更多的树脂。另外,PP-g-MAH的加入也可能提高玻璃纤维在树脂基体中的取向^[15],从而进一步提升了复合材料的力学性能。

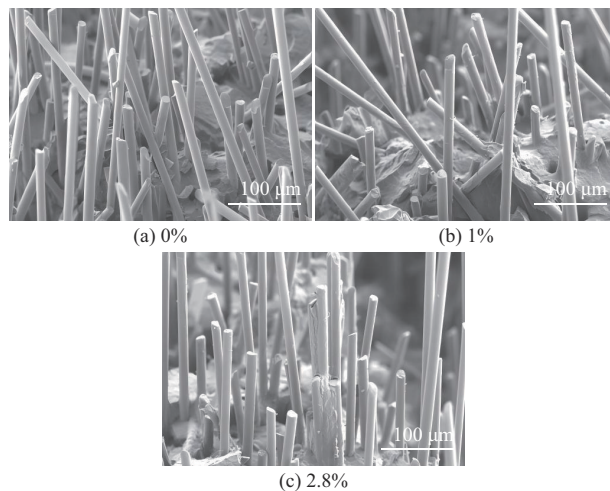


图5 不同增容剂PP-g-MAH含量的SGF/PP复合材料的断面SEM照片
Fig. 5 SEM photos of cross section of SGF/PP composites with different compatibilizer PP-g-MAH contents

3 结论

(1) SGF/PP复合材料的总体力学性能随玻璃纤维含量的增加而升高。当玻璃纤维质量分数为40%时,复合材料具有最佳的综合力学性能;当玻璃纤维质量分数超过40%时,复合材料冲击性能有所下降。

(2) 不同牌号短切玻璃纤维对SGF/PP复合材料的常温力学性能和水煮老化性能有一定的影响。在常温下,使用型号A玻璃纤维的复合材料具有相

对较好的综合力学性能;30 d水煮老化后,使用型号B玻璃纤维的复合材料拉伸强度保留率最好,为85.3%。

(3)增容剂PP-g-MAH的加入提高了聚丙烯树脂与玻璃纤维的界面结合强度,提高了复合材料的整体力学性能。当PP-g-MAH质量分数为1%时,复合材料的拉伸强度最高,同时弯曲强度和缺口冲击强度也达到较高值,综合力学性能最好。

参考文献

- [1] 张杨,张海生,陈剑锐.基体树脂与短玻纤对聚丙烯复合材料性能影响研究[J].塑料科技,2022,50(3):43-48.
ZHANG Yang, ZHANG Haisheng, CHEN Jianrui. Effect of matrix resin and glass fiber on properties of polypropylene composites[J]. *Plastics Science and Technology*, 2022, 50(3):43-48.
- [2] 季新宇,王立岩,宋敬星,等.短玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的制备及其力学性能的研究[J].合成纤维工业,2017,40(3):49-51.
JI Xinyu, WANG Liyan, SONG Jingxing, et al. Preparation and mechanical properties of polypropylene composite reinforced with short glass fiber[J]. *China Synthetic Fiber Industry*, 2017, 40(3):49-51.
- [3] 李丽英,郑鹏程,刘举慧,等.玻璃纤维增强煤基抗冲共聚聚丙烯的性能[J].工程塑料应用,2020,48(1):109-113.
LI Liying, ZHENG Pengcheng, LIU Juhui, et al. Properties of glass fiber reinforced coal-based anti-flushing copolymerization polypropylene[J]. *Engineering Plastics Application*, 2020, 48(1):109-113.
- [4] 黄微.工艺参数对短玻纤增强聚丙烯汽车脚踏板模型高压水穿透行为的影响及其优化[J].装备维修技术,2024(1):18-22,27.
HUANG Wei. Influence of process parameters on high-pressure water penetration behavior of short glass fiber reinforced polypropylene automobile pedal model and its optimization[J]. *Equipment Technology*, 2024(1):18-22,27.
- [5] 刘林海.短玻纤增强聚丙烯水辅注塑成型方管质量影响机理研究[D].抚州:东华理工大学,2023.
LIU Linhai. Study on quality influence mechanism of short-glass-fiber-reinforced polypropylene water assisted injection molding square tube[D]. Fuzhou: East China University of Technology, 2023.
- [6] 钟罗浩,匡唐清,赖家美,等.成型工艺对短玻璃纤维增强聚丙烯注塑管件的壁厚分布及玻璃纤维取向的影响[J].中国塑料,2021,35(5):11-16.
ZHONG Luohao, KUANG Tangqing, LAI Jiamei, et al. Effect of molding process on wall residual thickness distribution and glass-fiber orientation of short-glass-fiber-reinforced polypropylene molded pipes[J]. *China Plastics*, 2021, 35(5):11-16.
- [7] 匡唐清,朱瑶瑶,柳和生,等.玻纤质量分数对短玻纤增强聚丙烯水辅助共注塑管件的影响[J].复合材料学报,2022,39(10):4 551-4 560.
KUANG Tangqing, ZHU Yaoyao, LIU Hesheng, et al. Effect of glass fiber mass fraction on the water assisted co-injection molding pipes of short glass fiber reinforced polypropylene[J]. *Acta Materialiae Compositae Sinica*, 2022, 39(10):4 551-4 560.
- [8] DELLI E, GKILIOPOULOS D, VOVOUDI E, et al. Defining the effect of a polymeric compatibilizer on the properties of random polypropylene/glass fibre composites[J]. *Journal of Composites Science*, 2024, 8(2). DOI:10.3390/JCS8020044.
- [9] 任毅,景鹏展,孙宝忠,等.马来酸酐接枝聚丙烯增强碳纤维织物聚丙烯复合材料界面的研究[J].塑料工业,2021,49(10):126-130.
REN Yi, JING Pengzhan, SUN Baozhong, et al. Study on the interface of maleic anhydride grafted polypropylene reinforced carbon fiber fabric polypropylene composite[J]. *China Plastics Industry*, 2021, 49(10):126-130.
- [10] TIPBOONSRI P, MEMON A. The impact of PP-g-MAH on mechanical properties of injection molding of long glass fiber/polypropylene pellets from thermoplastic pultrusion process[J]. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2024, 8(2). DOI:10.3390/JMMP8020053.
- [11] HU Jing, ZHAO Xuanchen, XIE Junhao, et al. Effect of organic Na⁺-montmorillonite on the dielectric and energy storage properties of polypropylene nanocomposites with polypropylene-graft-maleic anhydride as compatibilizer[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021, 139(17). DOI:10.1002/APP.52047.
- [12] 刘琳,黄诚珑.长玻纤增强聚丙烯复合材料的制备及力学性能[J].工程塑料应用,2021,49(3):42-46.
LIU Lin, HUANG Chenglong. Preparation and mechanical properties of long glass fiber reinforced polypropylene composite[J]. *Engineering Plastics Application*, 2021, 49(3):42-46.
- [13] 肖茜.马来酸酐接枝聚丙烯对PP/GF复合材料力学性能的影响[J].塑料科技,2021,49(11):37-40.
XIAO Qian. Effect of maleic anhydride grafted polypropylene on mechanical properties of PP/GF composites[J]. *Plastics Science and Technology*, 2021, 49(11):37-40.
- [14] HAMADA H, FUJIHARA K, HARADA A. The influence of sizing conditions on bending properties of continuous glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2000, 31(9):979-990.
- [15] UEMATSU H, SUZUKI Y, IEMOTO Y, et al. Effect of maleic anhydride-grafted polypropylene on the flow orientation of short glass fiber in molten polypropylene and on tensile properties of composites[J]. *Advances in Polymer Technology*, 2018, 37(6): 1 755-1 763.