

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.07.020

玻纤增强 PPS 漏电起痕性能

张强, 徐东东

(上海日之升科技有限公司, 上海 201109)

摘要: 在玻璃纤维(玻纤)增强聚苯硫醚(PPS)复合材料中,分别研究了不同矿物、碳化抑制剂、增容剂、黑色色粉等对 PPS/玻纤复合材料的相比漏电起痕指数(CTI)的影响。结果表明,高长径比矿物/玻纤复配可以提高 PPS/玻纤复合材料的 CTI,有散热性能的勃姆石效果更为显著,添加碳化抑制剂有助于提高 PPS/玻纤复合材料的 CTI 值,增容剂的加入可以提高 PPS/玻纤复合材料的缺口冲击强度,但对 CTI 无提升作用,增容剂含量过高会降低 PPS/玻纤复合材料的阻燃性和耐热性,炭黑和有机苯胺黑不适合用于高 CTI 的 PPS/玻纤复合材料开发,可以使用 2 份的铁黑。

关键词: 聚苯硫醚; 漏电起痕指数; 勃姆石; 玻纤增强

中图分类号: TQ327.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)07-0106-05

CTI Performance of Glass Fiber Reinforced PPS

Zhang Qiang, Xu Dongdong

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

Abstract: In the glass fiber reinforced PPS material system, the effects of different minerals, carbonization inhibitors, compatibilizers, and black toners on the CTI performance of the system were studied. The results show that the high aspect ratio mineral / glass fiber compound can improve the CTI value; boehmite with heat dissipation performance is more significant. The addition of carbonization inhibitors can improve the CTI value. The addition of compatibilizer can improve the notched impact strength of the material, but it does not improve the CTI. If the content of the agent is too high, the flame retardancy and heat resistance of the material will be reduced. In the development of black high CTI PPS materials, carbon black and organic aniline black are not suitable for use, and 2 phr iron black can be used as a substitute.

Keywords: polyphenylene sulfide; CTI; AlO(OH); glass fiber reinforced

聚苯硫醚(PPS)是分子主链中带有苯硫基的结晶性热塑性工程塑料^[1],具有强度高、耐高温、耐化学药品性、难燃、热稳定性好、电性能优良等优点,因此被大量用于有耐热和阻燃要求的电子电器领域^[1-2],如浴霸控制器单元、电压断路器部件等。电器产品在使用过程中,受环境影响导致绝缘材料表面有污物、潮气而产生漏电,由此可能诱发腐蚀而损坏绝缘性能。相比漏电起痕指数(CTI)是指材料表面能经受住 50 滴电解液(0.1% 氯化铵水溶液)而没有形成漏电痕迹的最高电压值,以 25 V 为一个单位测试梯度,其是模拟家用电器产品在实际使用中

不同极性带电部件在绝缘材料表面沉积的导电物质是否引起绝缘材料表面爬电、击穿短路和起火危险而进行的检验^[3-4]。

由于 PPS 特殊的苯环结构,其成炭性特别好,因而其本身具有特别优异的难燃性,但同时 PPS 易在电压负荷作用下产生大量热量,导致制品表面极易迅速碳化短路,因而 PPS 的 CTI 非常低,达不到安全规定标准最低要求 175 V,所以在很多电子电器应用方面,使用普通级别增强 PPS 材料存在安全隐患。国内外对改性 PPS 的研究比较多,比较常见的增强 PPS 改性包括不同物质增强 PPS 性能研究,

通讯作者: 张强,本科,工程师,主要从事工程塑料改性及应用研究 E-mail: 13621741596@139.com

收稿日期: 2020-04-18

引用格式: 张强,徐东东. 玻纤增强 PPS 漏电起痕性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(7): 106-110.

Zhang Qiang, Xu Dongdong. CTI Performance of glass fiber reinforced PPS[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(7): 106-110.

成型过程性能研究以及特殊功能改性研究等,而目前对于高 CTI 的增强 PPS 研究不多,国内少有文献报道^[5-14],笔者在开发高 CTI 的增强 PPS 复合材料基础上,系统研究了组分对 PPS 材料 CTI 的影响关系,旨在为材料开发和工业化生产提供理论依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PPS : 1370C,浙江新和成特种材料有限公司;
玻璃纤维 (玻纤): ER13-2000-988A,巨石集团;
玻璃微珠: CP03-02,美国波特工业公司;
硫酸钡: 河南钡风化工有限公司;
硅灰石: 江西奥特科技有限公司;
勃姆石: 山东吉润纳米新材料有限公司;
氧化锌: 广汉市久盛锌业有限公司;
增容剂 [乙烯 -1- 辛烯共聚物接枝甲基丙烯酸缩水甘油酯 (POE-g-GMA)] : SOG-02,佳易容相容剂江苏有限公司;

炭黑、有机苯胺黑、铁黑: 市售。
1.2 仪器及设备
双螺杆挤出机: SHJ-36 型,南京诚盟化工机械有限公司;
注塑机: HTF80X1 型,宁波海天股份有限公司;
万能电子拉力试验机: CMT6104 型,深圳新三思集团公司;
悬臂梁冲击试验仪: XJV5.5 型,承德市金建检测仪器有限公司;
漏电起痕仪: LD-H 型,深圳市德迈盛测控设备有限公司;
差示扫描量热 (DSC) 仪: 200 F3 型,德国耐驰公司;
热变形维卡软化温度测试仪: IC 6+N 型,德国 Coesfeld 公司。

1.3 试样制备

按照表 1、表 2 配方将 PPS、矿物、增容剂、助剂等按一定质量比混合均匀后,从主喂料口加入,玻纤从侧喂料口加入,在挤出温度 280 ~ 300℃、螺杆转速 35 ~ 40 Hz 条件下挤出造粒。所得粒料在 140℃烘箱中烘 4 h 后,注塑机注塑标准样条。

表 1 不同矿物改性玻纤增强 PPS 复合材料的配方

材料	试样编号										份
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]	
PPS	60	35	35	35	35	40	35	30	32	27	
玻纤	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
玻璃微珠		25									
硅灰石			25								
硫酸钡				25							
勃姆石					25	20	20	20	25	25	
氧化锌							5	10	3	8	

表 2 不同黑色填料改性玻纤增强 PPS 复合材料的配方

材料	试样编号									份
	11 [#]	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]	16 [#]	17 [#]	18 [#]	19 [#]	
PPS	35	33	31	27	25	30	30	30	30	
玻璃纤维	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
勃姆石	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
氧化锌	2	2	2	2	2	5	5	5	5	
增容剂	0	2	4	6	8					
炭黑						0.5				
有机苯胺黑							1			
铁黑								1	2	

1.4 性能测试

拉伸性能按照 ISO 527-1 / 2-2012 测试,拉伸速度 5 mm / min ;
冲击性能按照 ISO 179-1-2010 测试;
热变形温度按照 ISO 75-1 / 2-2013 测试;
阻燃性按 UL 94 测试,试样厚度 1.6 mm ;
CTI 按照 IEC 60112 测试。

2 结果与讨论

2.1 不同矿物填充对 PPS / 玻纤复合材料 CTI 影响
1[#] ~ 5[#] 试样是固定玻纤填充量为 40 份,选择不同矿物复合填充来评估其对 PPS 材料 CTI 的影响。表 3 列出了不同矿物种类复配增强 PPS 的 CTI。

表 3 不同矿物改性玻纤复合材料的 CTI

项目	试样编号					V
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	
CTI	125	150(不稳定)	175(不稳定)	175(不稳定)	225	

从 CTI 测试结果看,当玻璃微珠填充量为 25 份时,CTI 测试值为 150 V,相比未填充矿物的复合材料 CTI 值提高 25 V,提高并不明显,玻璃微珠加入不能明显改善 PPS / 玻纤复合材料的 CTI。这是由于玻璃微珠为球状结构,在成型过程中,玻璃微珠均匀分布在 PPS 树脂分子链内部,制件表面 PPS 分子链仍然是连续的状态,在电压作用下容易碳化短路;硅灰石和硫酸钡本身是片状结构,具有较大的比表面积,在填充量达到 25 份时,在制品表面大量

的玻纤和矿物起到隔断作用,使得制件表面的 PPS 树脂分子链呈“不连续状态”,CTI 值均可以达到 175 V,但是发现,在同一个试样测试不同点,在远离浇口位置,CTI 在 175 V 测试时,第 40~45 滴左右出现大风碳化熔穿现象,这是由于矿物/玻纤流动性差,远离浇口端位置局部玻纤/矿物相对减少,而 PPS 连续性增加造成。加入勃姆石的复合材料的 CTI 值最高,达到 225 V,这是由于勃姆石为片状结构,其主要成分是 γ -AlO(OH),一方面同硅灰石和硫酸钡一样,大量的矿物/玻纤填充,PPS 树脂形成不连续结构,相当于整体 PPS 的苯环含量相对减少,另一方面在电极电压作用下产生大量的热,在热的作用下,发生热分解反应 $\text{AlO}(\text{OH}) + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + (n+1/2)\text{H}_2\text{O}$,在热分解反应过程中吸收大量的热,产生的水汽也可以带走大量的热量,延长碳化所需要的时间。

2.2 碳化分解物对 PPS/玻纤复合材料 CTI 性能影响

研究 PPS 材料的 CTI 测试的失效模式发现,在电极电压作用下,试样表面测试之初开始微碳化,随着电解液的持续滴下,碳化面积迅速增多,会出现两种情况:①碳化严重短路,当电流超过 0.5 A 时,测试结束;②漏电电流超过 0.4 A,尚未达到最大漏电电流 0.5 A,电解液继续滴下,此时碳化面积不再继续扩大,而样片在电极碳化短路下继续产生大量的热,导致试样被熔穿。由以上可以看出单纯依靠增加玻纤/矿物含量来降低 PPS 苯环结构相对含量,并不能高效地提升 PPS 的 CTI 值,根据以前的工作,氧化锌可以有效地抑制聚合物小分子碳化,在勃姆石矿物填料的基础上,选择氧化锌作为碳化抑制剂,研究复配对 PPS/玻纤复合材料 CTI 的影响。

表 4 为 6[#]~10[#] 试样的 CTI 测试结果。由表 4 可见,当勃姆石含量为 20 份时,不添加碳化抑制剂时,CTI 值只有 175 V,这是由于矿物/玻纤比例低,不足以形成稳定的 PPS 不连续结构,而当氧化锌含量达到 5 份时,CTI 值达到 225 V,当氧化锌含量达到 10 份时,CTI 值达到 250 V,说明氧化锌可以有助于提高 PPS/玻纤复合材料的 CTI 值;当勃姆石含量为 25 份、氧化锌为 3 份时,PPS/玻纤复合材料的 CTI 值比不添加的碳化抑制剂复合材料

的提高 50 V,达到 275 V。进一步观察 CTI 测试后的试样表面的碳化情况,6[#] 和 9[#] 试样的照片如图 1 和图 2 所示。当 6[#] 不添加氧化锌的复合材料的 CTI 为 225 V,测试后表面明显碳化,而添加 3% 氧化锌的 9[#] 试样 CTI 为 275 V。测试后基本无碳化现象,说明氧化锌起到了明显的抑制碳化的作用,但是并不是氧化锌含量越多越好,当氧化锌含量超过 8 份时,由于体系填充物含量过高,PPS 含量偏低,流动性明显降低,从而导致 PPS/玻纤复合材料加工性能变差。

表 4 不同碳化抑制剂的 PPS/玻纤复合材料 CTI V

项目	试样编号				
	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
CTI	175	225	250	275	275

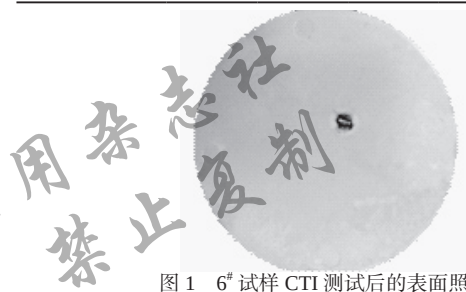


图 1 6[#] 试样 CTI 测试后的表面照片

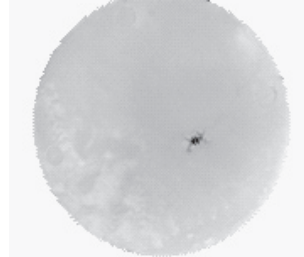


图 2 9[#] 试样 CTI 测试后的表面照片

2.3 增容剂对 PPS/矿物/玻纤复合材料性能影响

由于 PPS 分子苯环结构规整排列,因而其刚性较强,韧性很差^[15],根据 PPS 的分子结构特点,选择 POE-g-GMA 作为增容剂,表 5 列出了 11[#]~15[#] 试样增容剂对 PPS/玻纤/勃姆石复合材料性能的影响。

表 5 增容剂增容的 PPS/矿物/玻璃纤维复合材料的性能

项目	试样编号				
	11 [#]	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]
拉伸强度 / MPa	110.6	105.8	102.2	98.1	94.5
缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	5.4	6.3	7.1	7.5	7.5
CTI / V	275	275	275 (熔穿)	275 (熔穿)	275 (熔穿)
阻燃性	V-0	V-0	V-2	HB	HB
热变形温度 / °C	257.1	262.3	248.4	236.3	224.5

由表 5 可以看出,随着以 POE-g-GMA 为增韧组分的增容剂的加入,PPS/玻纤/勃姆石复合材料缺口冲击强度都有提高,拉伸强度有小幅度的下降,不添加增容剂的复合材料的拉伸强度 110.6 MPa,缺口冲击强度为 5.4 kJ/m²,当增容剂为 2 份时,缺口冲击强度达到 6.3 kJ/m²,拉伸强度为 105.8 MPa,这是由于增容剂中的 GMA 官能团与 PPS 树脂和玻纤/矿物的表面处理剂发生反应,两者结合得更好,分散更加均匀,同时由于 POE 弹性体本身具有较低的强度导致拉伸强度随着增容剂含量的增加而降低。在 CTI 性能方面,从表 5 可以看出,增容剂的加入并不能提高 PPS/玻纤复合材料的 CTI,当增容剂含量超过 4 份时,CTI 为 275 V 的试样测试后均有熔融击穿现象,这是由于 PPS/玻纤复合材料中的 PPS 含量不高,当增容剂取代一部分 PPS 时,相当于 PPS/玻纤复合材料中无定型组分增加,PPS/玻纤复合材料的结晶性能下降,图 3 为增容剂增容 PPS/勃姆石/玻纤复合材料结晶性能。当增容剂含量为 8 份时,相比不添加增容剂的 11[#] 试样,15[#] 试样的结晶温度由 223.3℃ 下降到 221.9℃,下降了 1.4℃,而复合材料的热变形温度则由 257.1℃ 下降到最低 224.5℃,耐热性能变差,与此同时,加入过量的增容剂,相当于增加了低极限氧指数的组分,苯环含量降低,阻燃性变差,当增容剂含量达到 6 份时,阻燃性测试为 HB 级别,所以增容剂的加入量不应超过 2 份。

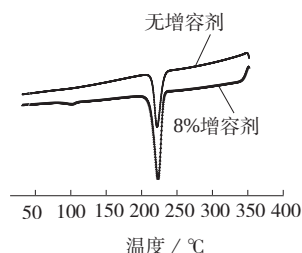


图 3 增容剂增容 PPS/勃姆石/玻纤复合材料结晶性能

2.4 黑色助剂对 PPS/玻纤复合材料 CTI 性能的影响

在黑色制品中,需要加入黑色助剂,最常见的黑色的助剂有炭黑、有机苯胺黑、矿物黑(铁黑, Fe₃O₄),表 6 是 16[#]~19[#] 黑色助剂改性 PPS/玻纤/矿物复合材料的 CTI。

表 6 不同黑色助剂的 PPS 复合材料的 CTI

项目	试样编号			
	16 [#]	17 [#]	18 [#]	19 [#]
颜色	黑	偏蓝	灰黑	黑
CTI	150	225	250	250

从表 6 可以看出,在添加 0.5 份炭黑时,就可以达到比较好的黑度,但 CTI 值仅为 150 V,比不加炭黑的 275 V,下降 125 V,这是由于炭黑自身是电的良导体,炭黑的加入破坏了原有复合材料的绝缘结构,导致 CTI 降低;而使用有机苯胺黑时,由于苯胺黑本身不耐高温,在 PPS 的加工温度下,已经开始降解,颜色由黑色相变成蓝色相,CTI 值为 225 V,这是由于复合材料在成型过程中产生一定量的小分子物质富集在试样表面,在高电压作用下更易碳化,因而 CTI 值也有所下降;铁黑的主要成分是 Fe₃O₄,电绝缘性较好,当添加铁黑时,比无添加铁黑的试样的 CTI 值没有下降,但铁黑的着色力比炭黑低,只有添加量超过 2 份时才能达到视觉黑色。

3 结论

(1) 高长径比的矿物有助于提高玻纤增强 PPS 复合材料的 CTI 值,其中勃姆石能减少过程热量散失,能更有效地提高 PPS 复合材料的 CTI 值。

(2) 加入氧化锌可以有效地抑制分解碳化物的形成,提高 PPS/玻纤复合材料的 CTI 值,当玻纤含量为 40 份时,勃姆石含量为 25 份,氧化锌为 3 份时 CTI 可以达到 275 V。

(3) 增容剂的加入可以提高 PPS/玻纤/勃姆石复合材料的缺口冲击强度,但含量过高会造成阻燃性能和耐热性能下降,增容剂最高添加量不能超过 2 份。

(4) 对于黑色产品,炭黑对 PPS/玻纤/勃姆石复合材料的 CTI 性能影响最大,有机苯胺黑对 PPS/玻纤/勃姆石复合材料的 CTI 性能影响较小,但色相在高温下会变色,铁黑对 PPS 的 CTI 影响最小,添加 2 份铁黑时可以使黑色 PPS/玻纤/勃姆石复合材料的制品达到视觉黑色。

参考文献

- [1] 霍宇平. 聚苯硫醚的用途及生产方法的综述[J]. 化学工程与装备, 2009(1):142-145.
Huo Yuping. Summary of the use and production methods of polyphenylene sulfide[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2009(1):142-145.
- [2] 范奕,徐伟. 国内外聚苯硫醚技术研究比较及其改性产品的市场展望[J]. 化学工程与装备, 2016(9):255-256.
Fan Yi, Xu Wei. Market outlook for domestic and foreign polyphenylene sulfide technology research and comparison and its modified products[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2016(9):255-256.

- [3] 徐宜志. 复合绝缘子轮式耐漏电起痕和电蚀损试验[J]. 电网技术, 2005, 29(11): 80-82.
Xu Yizhi. Resistance to tracking-wheel and erosion test for composite insulators[J]. Power System Technology, 2005, 29(11): 80-82.
- [4] 杨涛, 徐东东, 张强, 等. 抗静电阻燃增强 PA6 材料的漏电起痕性能研究[J]. 塑料工业, 2013, 41(2): 115-116.
Yang Tao, Xu Dongdong, Zhang Qiang, et al. Research on the tracking performance of PA6 material reinforced by antistatic flame retardant[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(2): 115-116.
- [5] 崔宁, 李杰, 吴鹏飞, 等. 国产聚苯硫醚短纤维的研究开发[J]. 高科技纤维与应用, 2008(6): 23-27.
Cui Ning, Li Jie, Wu Pengfei, et al. Development of domestic polyphenylene sulfide staple[J]. High-Tech Fiber & Application, 2008(6): 23-27.
- [6] 汪家铭. 硫磺延伸产品聚苯硫醚的发展与应用[J]. 化工管理, 2009(7): 23-29.
Wang Jiaming. Development and application of polyphenylene sulfide in sulfur extension products[J]. Chemical Management, 2009(7): 23-29.
- [7] 刘洪, 姜希猛, 李玉凤, 等. 聚苯硫醚的合成方法、工艺及应用研究[J]. 新材料产业, 2019(2): 63-65.
Liu Hong, Jiang Ximeng, Li Yufeng, et al. Synthesis method, processe and application of polyphenylene sulfide[J]. New Materials Industry, 2019(2): 63-65.
- [8] 张浩, 马海燕. 纤维级聚苯硫醚的研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(9): 64-67.
Zhang Hao, Ma Haiyan. The research and development of fiber-grade polyphenyl sulfide[J]. Materials Reports, 2006, 20(9): 64-67.
- [9] 毛维, 易正虎, 李翔翔, 等. 纳米羟基磷灰石 / 聚苯硫醚复合材料的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(3): 104-107.
Mao Wei, Yi Zhenghu, Li Pengxiang, et al. Preparation and properties of nano-hydroxyapatite / poly(1,4-phenylene sulfide) composite material[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(3): 104-107.
- [10] 曹硕, 黄鑫林, 朱姝, 等. 碳纤维增强聚苯硫醚 (CF/PPS) 航空复合材料的结晶行为及力学性能[J]. 材料科学与工程学报, 2019, 37(4): 571-577.
Cao Shuo, Huang Xinlin, Zhu Shu, et al. Crystallization behavior and mechanical properties of carbon fiber-reinforced polyphenylene sulfide (CF/PPS) aeronautical composites[J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2019, 37(4): 571-577.
- [11] 潘羽, 丁先锋. 聚苯硫醚 / 玻璃纤维轻质复合材料制备及性能研究[J]. 产业用纺织品, 2019, 37(4): 7-10.
Pan Yu, Ding Xianfeng. Preparation and properties research of polyphenylene sulfide / glass fiber lightweight composites[J]. Technical Textiles, 2019, 37(4): 7-10.
- [12] 曹轶, 杨家操, 王孝军, 等. 具有隔离结构的聚苯硫醚 / 石墨烯纳米片复合材料的制备及电磁屏蔽性能研究[J]. 中国塑料, 2019, 33(8): 1-5.
Cao Yi, Yang Jiacao, Wang Xiaojun, et al. Preparation and electromagnetic interference shielding performance of polyphenylene sulfide / graphene Nano plates composites with segregated structure[J]. China Plastics, 2019, 33(8): 1-5.
- [13] 黄泽彬, 曾德明, 陈瑜, 等. 聚苯硫醚导热改性研究[J]. 广东化工, 2018, 45(9): 47-49.
Huang Zebin, Zeng Deming, Chen Yu, et al. The thermal conductivity modification research of polyphenylene sulfide[J]. Guangdong Chemical Industry, 2018, 45(9): 47-49.
- [14] 吴健文, 吴清鹤. 特种工程塑料聚苯硫醚的注塑成型技术[J]. 广东化工, 2017, 44(11): 193.
Wu Jianwen, Wu Qinghe. Injection technology of special engineering plastics polyphenylene sulfide[J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(11): 193.
- [15] 刘洪, 崔明现, 姜希猛, 等. 相容剂改性短切玻纤增强聚苯硫醚复合材料性能研究[J]. 塑料工业, 2009, 47(3): 29-31.
Liu Hong, Cui Mingxian, Jiang Ximeng, et al. Study on the properties of glass fiber reinforced PPS composites with compatibilizer modification[J]. China Plastics Industry, 2009, 47(3): 29-31.

(上接第 105 页)

- PA6[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(4): 29-32.
- [9] 覃磊, 赵坤祥, 王耀明. 尼龙护套光缆老化性能研究及使用寿命预测[J]. 现代传输, 2019(6): 49-52.
Qin Lei, Zhao Kunxiang, Wang Yaoming. Research on aging performance and service life forecast of nylon sheath optic cable[J]. Modern Transmission, 2019(6): 49-52.
- [10] 梁惠霞, 崔文广, 苗振巍, 等. 玻纤增强尼龙 6 材料环境吸湿老化研究[J]. 河北化工, 2009, 32(3): 28-29, 77.
Liang Huixia, Cui Wenguang, Miao Zhenwei, et al. Study of aging of environmental moisture on reinforced polyamide 6[J]. Hebei Chemical Engineering and Industry, 2009, 32(3): 28-29, 77.
- [11] 余雯雯, 刘永利, 石建高, 等. 尼龙渔网材料的紫外光老化行为研究[J]. 渔业信息与战略, 2018, 33(4): 267-271.
Yu Wenwen, Liu Yongli, Shi Jiangao, et al. UV aging behavior of nylon nets[J]. Modern Fisheries Information, 2018, 33(4): 267-271.
- [12] 王荣华, 王小燕, 李晖, 等. 玻纤增强尼龙 66 人工加速光老化性能的研究[J]. 化工新型材料, 2015, 43(4): 129-131, 135.
Wang Ronghua, Wang Xiaoyan, Li Hui, et al. Study on the property of glass fiber reinforced nylon 66 composite in accelerated photo-aging[J]. New Chemical Materials, 2015, 43(4): 129-131, 135.