

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.11.010

太阳能电池背板用 PE 膜的结构设计与耐老化性能

郭俊杰^{1,3}, 张宏元^{2,3}, 姜磊^{2,3}, 龚露露^{2,3}, 刘明珠^{2,3}, 杨柱^{2,3}(1. 湖北文理学院物理与电子工程学院, 湖北襄阳 441021; 2. 湖北航天化学技术研究所, 湖北襄阳 441003;
3. 低维光电材料与器件湖北省重点实验室, 湖北襄阳 441021)

摘要:利用白色母粒和抗老化母粒作为改性母粒,对太阳能电池背板用聚乙烯(PE)膜进行三层结构设计,研究了 PE 膜结构设计对其力学性能的影响,PE 膜内层组分中不同含量的抗老化母粒对 PE 膜与聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)膜复合粘接强度的影响,PE 膜外层组分中不同含量的抗老化母粒对 PE 膜与乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)胶膜复合粘接强度的影响,PE 膜中层组分含量设计对其耐老化性能的影响。结果表明,设计 PE 膜总厚度为 60 μm ,以正态分布的三层结构可以提高 PE 膜的力学性能。当 PE 膜内层厚度为 18 μm 、内层组分中抗老化母粒含量为 6% 时,PE 膜与 PET 膜复合粘接强度为 7.2 N/(10 mm)。当 PE 膜外层厚度为 18 μm 外层组分中抗老化母粒含量为 3% 时,PE 膜与 EVAC 胶膜复合粘接强度为 70 N/(10 mm)。当 PE 膜内层、中层、外层厚度分别为 18, 24, 18 μm 、中层组分中抗老化母粒含量为 6% 时,PE 膜耐紫外辐照能量可以达到 105 (kW·h)/ m^2 ,耐高温高湿老化时间达到 2800 h。

关键词:聚乙烯薄膜;耐老化性能;抗老化母粒;太阳能电池背板;结构设计

中图分类号: TQ325.1+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)11-0054-05

Structure Design and Ageing-resistance Properties of PE Film for Solar Battery Back-sheet

Guo Junjie^{1,3}, Zhang Hongyuan^{2,3}, Jiang Lei^{2,3}, Gong Lulu^{2,3}, Liu Mingzhu^{2,3}, Yang Zhu^{2,3}

(1. School of Physics and Electronic Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441021, China;

2. Hubei Institute of Aerospace Chemical Technology, Xiangyang 441003, China;

3. Hubei Province Key Laboratory of Low Dimensional Photoelectric Material and Devices, Xiangyang 441021, China)

Abstract: White master batch and ageing-resistance functional master batch were used as modification master batch, the three-layer structure design of polyethylene (PE) film used for solar battery back-sheet was carried out. The effects of PE film structure design on its mechanical properties were studied, the effects of different contents of ageing-resistance master batch in PE film inner layer on composite bonding strength of PE film and polyethylene terephthalate (PET) film, the effects of different contents of ageing-resistance master batch in PE film outer layer on the thermo compression composite bonding strength of PE film and ethylene-vinyl acetate plastic (EVAC) film, the effects of medium component content design on ageing-resistance of PE film. The results show that the designed total thickness of PE film is 60 μm , and the three-layer structure with Gaussian distribution can improve the mechanical properties of PE film. When the inner layer thickness of PE film is 18 μm and the ageing-resistance master batch content in the inner layer is 6%, the composite bonding strength between PE film and PET film is 7.2 N/(10 mm). When the outer layer thickness of the PE film is 18 μm and the ageing-resistance master batch content in the outer layer is 3%, the thermo compression composite bonding strength between PE film and EVAC film is 70 N/(10 mm). When the thickness of inner layer, middle layer and outer layer of PE film is 18, 24, 18 μm and the content of ageing-resistance master batch in middle layer is 6%, the ultraviolet radiation energy of PE film can reach 105 (kW·h)/ m^2 , and the ageing time at high temperature and humidity can reach 2800 h.

Keywords: polyethylene film; ageing-resistance property; ageing-resistance master batch; solar battery back-sheet; structure design

通讯作者: 张宏元, 硕士, 高级工程师, 主要从事高性能薄膜材料技术研究 E-mail: zhanghongyuan0710@163.com

收稿日期: 2019-08-27

引用格式: 郭俊杰, 张宏元, 姜磊, 等. 太阳能电池背板用 PE 膜的结构设计与耐老化性能 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(11): 54-58.

Guo Junjie, Zhang Hongyuan, Jiang Lei, et al. Structure design and ageing-resistance properties of PE film for solar battery back-sheet[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11): 54-58.

太阳能电池背板作为太阳能电池重要的封装材料,其关键材料的耐老化性能和低成本要求近年来成为光伏行业研究的热点课题。如何充分利用常规薄膜材料进行抗老化改性,节约资源并降低太阳能电池背板的制造成本,用价廉易得的聚乙烯(PE)薄膜代替价格昂贵的聚氟乙烯(PVF)薄膜是太阳能电池制造企业广泛关注的热点之一^[1-3]。针对普通耐老化PE膜在太阳能电池背板制造过程中存在内外表面粘接强度偏低、耐老化性能不佳的问题,笔者选用茂金属催化线型低密度聚乙烯(PE-mLLD)为主体树脂制备PE膜,利用白色母粒、抗老化母粒作为改性母粒,对PE膜的内层、中层和外层进行结构设计,分别探讨了PE膜三层结构设计对其力学性能的影响,PE膜内层组分中不同含量的抗老化母粒对PE膜与聚对苯二甲酸乙二酯(PET)膜复合粘接强度的影响,PE膜外层组分中不同含量的抗老化母粒对PE膜与乙烯-乙酸乙烯酯塑料(EVAC)胶膜热压复合强度的影响,在PE膜内层组分设计方案和外层组分设计方案保持一致的条件下,考察了PE膜中层组分设计加入不同含量抗老化母粒对耐老化性能的影响^[4]。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-mLLD: 3518CB, 美国埃克森化学有限公司;

白色母粒: LYB-6535D, 上海朗颜高分子材料有限公司;

抗老化母粒: LYK-30UL, 上海朗颜高分子材料有限公司;

PE/PET 专用复合胶粘剂: FHJ-79, 苏州赛伍应用技术有限公司;

白色 PET 膜: FP6, 合肥乐凯科技产业有限公司;

EVAC 胶膜: F806W, 杭州福斯特应用材料股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

小型吹膜机: YSJ-3-35-350 型, 广东汕头雅塑机械有限公司;

电热鼓风干燥烘箱: 101A-1E 型, 上海实验仪器厂;

材料拉伸试验机: KJ-1065 型, 东莞市科建检测仪器有限公司;

氙弧灯耐气候试验箱: SN-500 型, 北京市鸿达

天矩试验设备有限公司;

恒温恒湿试验箱: THS-2005 型, 昆山庆声电子科技有限公司。

1.3 样品制备

(1) PE 膜的制备。

按照 PE 膜三层不同组分含量设计, 将不同含量功能母粒与 PE-mLLD 分别投入到三台螺杆挤出机对应的三个料斗中, 分别搅拌混合均匀, 每台螺杆挤出机五个加热区温度分别设定为 85, 110, 135, 150, 140℃, 模头温度为 135℃, 温度达到设计值后保温 1 h, 启动三台螺杆挤出机, 控制螺杆挤出机转速分别为: 内层 50~55 r/min, 中层 55~60 r/min, 外层 50~55 r/min, 熔体从模头挤出后开始用压缩空气吹膜, 通过引膜、吹胀、拉伸、电晕、切边和收卷等工序, 制备总厚度为 60 μm 的 PE 膜。

(2) PE/PET 复合膜的制备。

将 PE 膜与 PET 膜裁切成 A4 纸大小, 将 PE/PET 专用复合胶粘剂涂布到 PET 膜的表面, 放入鼓风干燥烘箱中干燥, 烘箱温度 100℃, 干燥时间 3 min, 控制复合胶粘剂厚度 4~5 μm, 与 PE 膜加压复合, 压辊压力 5 MPa, 在 50℃烘箱中加热熟化 48 h。

1.4 性能测试

力学性能测试: 按照 GB/T 29061-2012 测试, 环境温度 (23±1)℃, 相对湿度 (55±5)%。将 PE 膜裁切成 10 mm 宽的样条, 用材料拉伸试验机测试拉伸强度和断裂伸长率^[5-6]。

复合粘接强度测试: 按照 GB/T 29061-2012 测试, 环境温度 (23±1)℃, 相对湿度 (55±5)%。将熟化后的 PE/PET 复合膜用 EVAC 胶膜热压复合在有机玻璃板上, 用裁纸刀裁切成 10 mm 宽的样条, 用材料拉伸试验机测试 PE 膜与 PET 膜以及 PE 膜与 EVAC 胶膜之间的复合粘接强度^[7]。

耐紫外老化性能测试: 按照 GB/T 16422.2-1999 测试, 试验温度 (65±3)℃, 相对湿度 (65±5)%。将熟化后的 PE/PET 复合膜裁切成 100 mm×100 mm 样片, 放入氙弧灯耐气候试验箱中, 开启氙灯, 定时观察膜面外观, 直到 PE 膜龟裂即为辐照终点, 记录膜面累计最大辐照能量^[8]。

耐高温高湿老化性能测试: 按照 GB/T 2423.3-1993 测试, 试验温度 (85±2)℃, 相对湿度 (85±2)%。将熟化后的 PE/PET 复合膜裁切成 100 mm×100 mm 样片, 放入试验箱中, 开启电源,

定时观察记录膜面外观,直到PE膜出现鼓泡,缩边翘边即为试验终点,记录老化时间^[9-10]。

2 结果与讨论

2.1 PE膜三层结构设计对力学性能的影响

新型结构的太阳能电池背板由PET膜上、下表面分别复合PVF膜和PE膜而制成。其中PE膜内层和外层分别承担与上、下表面的粘接作用,中层主要承担耐老化作用,PE膜与上、下表面的粘接强度和耐老化性能对提高太阳能电池背板的耐老化性能发挥着至关重要的作用。新型太阳能电池背板结构及PE膜三层结构如图1所示。

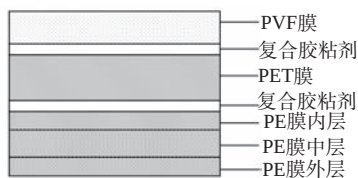


图1 新型太阳能电池背板结构及PE膜三层结构

为了探讨PE膜三层结构设计对PE膜力学性能的影响,笔者在PE-mLLD粒料中加入含量10%白色母粒,设计PE膜总厚度为60 μm ,对内层、中层和外层分别设计五组厚度值,通过精确控制螺杆挤出机转速进而控制熔体挤出量,制备相对应厚度的PE膜,分别测试PE膜的拉伸强度和断裂伸长率,结果列于表1。

表1 PE膜三层不同厚度设计下的力学性能

样品 编号	内、中、外层 螺杆转速比	内层 厚度/ μm	中层 厚度/ μm	外层 厚度/ μm	拉伸强度 /MPa		断裂伸长率 /%	
					纵向	横向	纵向	横向
1-1	50 : 60 : 50	15	30	15	22.5	14.5	550	760
1-2	51 : 59 : 51	16.3	27.5	16.3	23.0	16.1	600	790
1-3	53 : 58 : 53	18	24	18	24.8	21.0	650	860
1-4	54 : 56 : 54	18.8	22.5	18.8	24.0	19.1	701	910
1-5	55 : 55 : 55	20	20	20	23.0	18.2	750	1050

从表1可以看出,PE膜总厚度为60 μm 保持不变,每组厚度设计值中内层和外层的厚度保持一致,通过改变中层厚度值,随着中层厚度的降低,PE膜的纵向和横向拉伸强度先增大后减小,而纵向和横向断裂伸长率则呈现持续增加的趋势。其中1-3样品的纵向和横向拉伸强度均达到最大值,分别为24.8,21.0 MPa,具有相对较高的力学性能。这可能是因为设计的PE膜内层、中层和外层三层结构中每一层均对PE膜力学性能产生一定的影响,内层、中层和外层三层膜的厚度以正态分布时可能产生协同作用,当PE膜内层、中层和外层厚度分别为18,24,18 μm 时,对应PE膜的拉伸强度显著增大,因而表现出较好的力学性能^[11]。

2.2 PE膜内层组分含量设计对复合粘接强度的影响

为了探讨PE膜内层组分含量对PE膜与PET膜复合粘接强度的影响,通过PE膜内层组分含量设计达到调节PE膜与PET膜复合粘接强度的目的。笔者用PE-mLLD作为主体树脂,对内层分别加入10%白色母粒和不同含量的抗老化母粒,中层和外层中分别加入10%白色母粒,制备出相应的PE膜。PE膜总厚度为60 μm ,其中内层厚度为18 μm ,控制三台螺杆挤出机转速比为53 : 58 : 53,按照样品制备方法与PET膜复合粘接,再用EVAC胶膜热压复合粘接在有机玻璃板上,考察PE膜内层不同抗老化母粒含量设计对PE膜与PET膜复合粘接强度的影响,测试结果列于表2。

表2 PE膜内层组分不同抗老化母粒含量设计下PE/PET复合膜的复合粘接强度

样品 编号	内层抗老化 母粒含量/%	复合粘接强度/ [N · (10 mm) ⁻¹]
2-1	0	8.2
2-2	2	7.8
2-3	4	7.5
2-4	6	7.2
2-5	8	6.1
2-6	10	5.0

从表2可以看出,与不含抗老化母粒的PE膜相比,随着抗老化母粒在PE膜内层含量的增加,PE膜与PET膜的复合粘接强度呈现下降趋势。当抗老化母粒含量为6%时,PE膜与PET膜复合粘接强度为7.2 N/(10 mm),继续增大抗老化母粒含量,复合粘接强度下降幅度加大。这可能是因为抗老化母粒中含有的光稳定剂和抗氧化剂均是小分子有机物,在PE膜中起到类似增塑剂的作用,在热作用下,小分子物质向膜层表面迁移渗透,降低了复合胶粘剂对PE膜与PET膜的复合粘接强度。

2.3 PE膜外层组分含量设计对热压复合粘接强度的影响

为了考察不同抗老化母粒含量对PE膜与EVAC胶膜热压复合粘接强度的影响,通过PE膜外层组分含量设计达到控制PE膜与EVAC胶膜热压复合强度的目的。笔者采用PE-mLLD作为主体树脂,内层和中层分别加入10%白色母粒,外层加入10%白色母粒和不同含量的抗老化母粒,PE膜总厚度为60 μm ,其中外层厚度为18 μm ,控制三台螺杆挤出机转速比为53 : 58 : 53,按照样品制备方法先与PET膜复合粘接,再用EVAC胶膜热压复合粘接在有机玻璃板上,考察PE膜外层不同抗老

化母粒含量组分设计对PE膜与EVAC胶膜复合粘接强度的影响,结果列于表3。

表3 PE膜外层组分不同抗老化母粒含量设计下PE/EVAC胶膜的热压复合粘接强度

样品编号	外层抗老化母粒含量 / %	复合粘接强度 / $[N \cdot (10 \text{ mm})^{-1}]$
3-1	0	92
3-2	1	81
3-3	2	76
3-4	3	70
3-5	4	60
3-6	5	48

从表3可以看出,与不含抗老化母粒的PE膜相比,随着抗老化母粒加入比例的增加,PE膜与EVAC胶膜的复合粘接强度呈现单边下降的趋势。当抗老化母粒含量为3%时,PE膜与EVAC胶膜复合粘接强度为70 N/(10 mm),继续增大抗老化母粒含量,PE膜与EVAC胶膜的复合粘接强度下降幅度加大。说明抗老化母粒起到了降低PE膜与EVAC胶膜复合粘接强度的作用。这可能是因为PE膜外层组分中加入抗老化母粒后,含有的光稳定剂和抗氧化剂在PE膜与EVAC胶膜加热加压复合粘接过程中,迁移析出到PE膜外层表面,降低了PE膜与EVAC胶膜的粘接强度^[12]。

2.4 PE膜中层组分含量设计对太阳能电池背板耐老化性能的影响

为了考察PE膜的耐老化性能,结合表2和表3检测数据结果,设计PE膜内层、中层、外层厚度分别是18,24,18 μm ,重点研究PE膜中层组分中分别加入不同含量抗老化母粒对太阳能电池背板耐老化性能的影响。其中内层组分设计是:PE-mLLD为主体树脂,加入10%白色母粒、6%抗老化母粒;外层组分设计是:PE-mLLD为主体树脂,加入10%白色母粒、3%抗老化母粒;中层组分设计是:PE-mLLD为主体树脂,加入10%白色母粒,再分别加入不同含量抗老化母粒。按照内层、中层、外层三层组分分配比设计制备出相应的PE膜,PE膜总厚度为60 μm ,控制螺杆挤出机转速比为53:58:53。按照样品制备方法将PE膜用复合胶黏剂与PET膜复合,利用耐紫外老化性能检测测试方法和耐高温高湿老化性能测试方法,考察PE膜中层组分不同含量设计对耐老化性能的影响,测试结果列于表4。

从表4可以看出,与不含抗老化母粒时的4-1样品相比,随着抗老化母粒在PE膜中层含量的增加,PE膜耐紫外辐照能量和耐高温高湿老化时间

表4 PE膜中层组分不同抗老化母粒含量设计下

太阳能电池背板的耐老化性能

样品编号	中层抗老化母粒含量 / %	耐紫外辐照能量 / $[(\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot \text{m}^{-2}]$	耐高温高湿老化时间 / h
4-1	0	40	1050
4-2	2	75	1900
4-3	4	89	2500
4-4	6	105	2800
4-5	8	98	2600
4-6	10	87	2400

出现先快速增加再缓慢下降的趋势。其中抗老化母粒含量为6%时的4-4样品,其PE膜耐紫外辐照能量达到105 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$,耐高温高湿老化时间达到2800 h,说明PE膜具有较好的耐老化性能。这可能是因为抗老化母粒中的光稳定剂和抗氧化剂产生协同作用,一方面,光稳定剂吸收紫外光,以热量形式释放;同时将受到紫外光能量激发而产生的激发态分子通过能量转移,使激发态猝灭而成为基态,防止激发态引发光氧化反应。另一方面,抗氧化剂捕获和清除自动氧化反应生成的活性过氧自由基,使其转化成氢过氧化物,从而阻止自动氧化反应;同时抗氧化剂作为氢过氧化物的分解剂,可以使氢过氧化物转变成稳定的物质。用改性后的PE膜制备的太阳能电池背板在自然环境下耐老化性能显著提高^[13-15]。当抗老化母粒在中层含量 $\geq 8\%$ 时,PE膜耐紫外辐照能量下降,耐高温高湿老化时间缩短。这可能是因为抗老化母粒中含有的光稳定剂和抗氧化剂含量过高,出现过剩,当受到光和热的作用时,光稳定剂和抗氧化剂向PE膜表面迁移析出,降低了PE膜对PET膜和EVAC胶膜的粘接强度,进而降低了太阳能电池背板的耐老化性能。

3 结论

(1) 当PE膜内层、中层和外层三层膜的厚度以正态分布时可能产生协同作用,当PE膜内层、中层和外层厚度分别为18,24,18 μm 时,对应PE膜的拉伸强度显著增大,表现出较好的力学性能。

(2) 当PE膜内层组分中抗老化母粒含量为6%、内层厚度为18 μm 时,PE膜与PET膜复合粘接强度为7.2 N/(10 mm),可以满足复合粘接强度要求。

(3) 当PE膜外层组分中抗老化母粒含量为3%、外层厚度为18 μm 时,PE膜与EVAC胶膜复合粘接强度为70 N/(10 mm),可以满足复合粘接强度要求。

(4) 在 PE 膜内层组分含量、外层组分含量及其厚度保持一致的条件下,当 PE 膜中层组分中抗老化母粒含量为 6%、厚度为 24 μm 时,制备的 PE 膜与 PET 膜复合粘接制备的太阳能电池背板,其耐紫外辐照能量达到 105 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)/ m^2 ,耐高温高湿老化时间达到 2800 h。可以满足产业化应用要求。

参考文献

- [1] 刘海东,吴旭东,尹洪锋. 太阳能电池背板膜的市场现状和发展趋势[J]. 塑料包装,2015,25(3):9-12,8.
Liu Haidong, Wu Xudong, Yin Hongfeng. The market situation and development trend of solar cells backplane membranes[J]. Plastics Packaging, 2015, 25(3):9-12, 8.
- [2] 孟丹,李亚钊. 以聚烯烃为内粘结层的背板与 EVA 粘结力下降原因分析[J]. 信息记录材料,2019,20(6):44-47.
Meng Dan, Li Yazhao. Analysis of the reasons for the decrease of bonding force between the EVA and backsheet with polyolefin as the inner layer[J]. Information Recording Materials, 2019, 20(6):44-47.
- [3] 张宏元,郭俊杰,谌能办,等. 太阳能电池背板用 PE 膜的耐候性能研究[J]. 塑料科技,2017,45(10):44-47.
Zhang Hongyuan, Guo Junjie, Chen Nengban. Study on weather resistant of PE film for solar battery back-sheet[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(10):44-47.
- [4] 刘晓娇,姚元毅,李忠平. 光伏背板用 PEVA 薄膜耐紫外老化性能研究[J]. 合成材料老化与应用,2016,45(1):6-9.
Liu Xiaojiao, Yao Yuanyi, Li Zhongping. Study on anti ultraviolet ageing performance of PEVA film of PV backsheet[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2016, 45(1):6-9.
- [5] 田丛,李永杰,姜伟. 太阳能电池背板用胶黏剂黄变性能研究[J]. 信息记录材料,2016,17(4):159-162.
Tian Cong, Li Yongjie, Jiang Wei. The yellowing properties of the adhesive with solar cell back sheet[J]. Information Recording Materials, 2016, 17(4):159-162.
- [6] 梁宏陆,王莉,杨辉,等. 不同湿热老化条件对光伏背板性能的影响[J]. 信息记录材料,2015,16(6):24-27.
Liang Honglu, Wang Li, Yang Hui, et al. Effect of different hygro-thermal aging conditions on the performance of PV backsheet[J]. Information Recording Materials, 2015, 16(6):24-27.
- [7] 沙锐,王同心,姚元毅,等. 高压加速与恒温恒湿试验对光伏背板性能衰减的关联性探究[J]. 塑料工业,2017,45(2):129-132.
Sha Rui, Wang Tongxin, Yao Yuanyi, et al. The relevance study of pressure cooker test and hot-humid aging test on photovoltaic back-sheet's performance degradation[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(2):129-132.
- [8] 李亚钊,宋浩峰,苏媛媛. 光伏用 PET 薄膜力学性能测试结果的影响因素[J]. 信息记录材料,2019,20(5):11-13.
Li Yazhao, Song Haofeng, Su Yuanyuan. Influencing factors of mechanical properties test results of PET films for photovoltaic applications[J]. Information Recording Materials, 2019, 20(5):11-13.
- [9] 刘晓娇,姚元毅,李忠平,等. 光伏背板不同老化试验方法比较[J]. 合成材料老化与应用,2017,46(1):10-13.
Liu Xiaojiao, Yao Yuanyi, Li Zhongping, et al. Study on comparison of different ageing testing methods of backsheets[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2017, 46(1):10-13.
- [10] 张宏元,姜磊,贾永华,等. 光伏背板用耐候性 PE 膜的制备与性能研究[J]. 塑料工业,2017,45(6):134-136.
Zhang Hongyuan, Jiang Lei, Jia Yonghua, et al. Study on preparation and properties of weather resistant PE film about photovoltaic back sheets[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(6):134-136.
- [11] 王子欢,刘晓娇,李明龙,等. PET 薄膜与光伏背板的拉伸强度、断裂伸长率与拉伸速度相关性分析[J]. 聚酯工业,2018,31(4):26-29.
Wang Zihuan, Liu Xiaojiao, Ji Minglong, et al. Correlation analysis on tensile strength, elongation at break and drawing speed of PET film and photovoltaic backsheet[J]. Polyester Industry, 2018, 31(4):26-29.
- [12] 曾文波,冯江涛,秦汉军,等. 光伏背板材料在湿热服役环境条件下的老化行为[J]. 塑料,2016,45(3):93-96.
Zeng Wenbo, Feng Jiangtao, Qin Hanjun, et al. Aging behavior of photovoltaic backsheets in damp heat environment[J]. Plastics, 2016, 45(3):93-96.
- [13] 马慧荣,侯兴志,刘德鹏,等. 四氟型 FEVE 的氟含量对太阳能电池背板膜的影响[J]. 有机氟工业,2017, (1):33-34, 38.
Ma Huirong, Hou Xingzhi, Liu Depeng, et al. Influence of fluorine content of FEVE on backsheet of solar cell[J]. Organo-Fluorine Industry, 2017(1):33-34, 38.
- [14] 景改峰,邸喜强,李华锋,等. 太阳能电池背板用胶黏剂的粘结稳定性能研究[J]. 信息记录材料,2019,20(6):36-38.
Jing Gaifeng, Di Xiqiang, Li Huafeng, et al. The study on the bonding stability of the adhesive of solar backsheet[J]. Information Recording Materials, 2019, 20(6):36-38.
- [15] 张宏元,郭俊杰,姜磊,等. 抗老化母粒的制备及在太阳能电池背板用 PE 膜中的应用研究[J]. 化工新型材料,2018,46(S):15-18.
Zhang Hongyuan, Guo Junjie, Jiang Lei, et al. Preparation of ageing resistance batch and application of PE film for photovoltaic back sheet[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(S):15-18.