

不同紫外辐照度对光伏组件及原材料的影响研究

Research on the Effect of Different UV Irradiance on Components and Raw Materials

张果

Guo Zhang

黄河水电光伏产业技术有限公司 中国·青海 西宁 810000

Huanghe Hydropower Photovoltaic Industry Technology Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810000, China

摘要: 在相同的紫外累积量下开展的不同辐照度下的紫外试验组件功率均出现了衰减,辐照度越高衰减越少,在相同的紫外累积量下组件长时间的紫外暴晒可造成更大的功率衰减,在高紫外辐照下的背板材料的老化降解程度较低,微观表面形貌较光滑平整,均匀性较一致,同时黄变程度相对较轻。

Abstract: Under the same UV cumulative amount, the power of the modules in the UV test under different irradiances all attenuates. The higher the irradiance, the less the attenuation. The greater the power attenuation, the lower the degree of aging and degradation of the backplane material under high UV irradiation, the smoother and smoother microscopic surface morphology, the more consistent uniformity, and the lesser degree of yellowing.

关键词: 光伏组件老化;背板;组件功率衰减

Keywords: photovoltaic module aging; backplane; module power attenuation

DOI: 10.12346/peti.v4i3.6707

1 引言

随着全国光伏发电装机容量的不断增长,光伏组件长期耐环境可靠性评估成为目前关注的重点^[1],光伏组件在户外运行中,光照、温度、湿度、紫外线、风、雨、雪、冰雹等因素会造成组件老化失效,降低其发电量,而在所有户外因素对光伏组件及原材料的影响中,紫外线辐射对于光伏组件及材料的影响尤其明显,孟德发等^[2]研究表明,光伏组件在经受紫外光照射会造成背板开裂粉化发脆、黄变,含氟涂层出现泡点,造成 EVA 胶膜黄变、密封脆化、封装失效,从而降低组件发电效率,因此组件的抗紫外性能的评估成为行业关注的重点。当前紫外老化常用的试验方法分为自然紫外气候老化试验和人工加速紫外老化试验,自然紫外老化试验直接利用自然环境中的紫外光对组件作用而获得试验结果,但该方法测试周期太长,为了使测试样品能跟实际户外老化状况相匹配,一般采用实验室内加速老化试验模拟组件在户外条件下的老化过程,从而获得组件耐候性试验结果^[4]。实验室内紫外老化试验采用紫外灯为光源,通过模拟自然光

中的紫外辐射对材料进行加速耐候性试验,以获取材料耐候性结果。目前光伏行业紫外试验测试流程依据 IEC 61215-2:2016《地面用光伏组件设计鉴定和定型 第 2 部分 测试程序》标准中的 MQT 10 紫外预处理试验,测试过程中保持测试温度在 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,要求波长在 280~400nm 范围的紫外辐射强度不超过 $250\text{W}/\text{m}^2$,累积量至少为 $15\text{kWh}/\text{m}^2$,通过紫外测试前后外观、功率、绝缘等对组件进行评价。

随着“2030 年碳达峰、2060 年碳中和”的目标的提出,中国青海、西藏、新疆等光照资源充足地区成为光伏电站建设的重点区域,这些地区具有更苛刻的环境条件,如较高紫外辐照、较大的温差、较小的湿度等^[5]。近年来光伏组件制造技术不断更新换代,新材料和新技术在不断推广应用,IBC、PERC、TOPCon 等高效组件已成为行业主流,目前行业对新型高效光伏组件提出了更加严苛的紫外测试要求,以满足组件在高海拔、高紫外地区使用的长期可靠性,而常规紫外老化试验箱紫外辐射强度不超过 $250\text{W}/\text{m}^2$,箱体尺寸普遍较小,每次测试仅能开展 1~2 块组件的测试量,对于更高

【作者简介】张果(1990-),中国陕西宝鸡人,硕士,助理工程师,从事光伏新能源研究。

累积紫外辐照度和大量组件的紫外试验的测试需要的时间更长,这导致常规紫外老化试验箱在测试过程中存在的试验成本高、测试效率低下等问题更加凸显。经调研,目前中国已有多家生产多倍紫外老化试验箱的厂商,其检测能力是常规设备的2~3倍,为了更好地模拟组件户外真实情况,通过开展常规紫外试验与多倍紫外试验的试验测试及结果比对分析。

本项目计划以多倍紫外老化试验箱为紫外测试设备,通过对紫外测试过程中紫外辐照度的控制开展对比试验,研究多倍紫外辐照与传统紫外辐照下的材料老化机理研究。

2 实验部分

2.1 检测依据

IEC 61215-2:2016《地面用光伏组件设计鉴定和定型 第2部分 测试程序》MQT 10 紫外预处理试验。

2.2 测试过程

选取样品放置在紫外老化试验箱内。

①使用校准后的辐射计在样品测试平面测量辐射度,保证在波长280nm到400nm之间在所要求范围内。

②使用氙灯UV光源系统。

③试验期间,保证样品温度是 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

④累积波长280nm到400nm紫外辐照能量 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ 。

⑤试验区间,对每台紫外综合老化试验箱,每天记录每天早上8:00,中午12:00,下午17:00,对环境试验箱运行状态(设备运行状态,温度,辐照,光强等参数)进行记录,保存好记录;若异常,则及时注意试验论证,确保试验目的。

⑥试验结束后,保存每台环境箱所有测试巡检记录及数据采集记录。

2.3 不同紫外辐照度对组件的影响测试

2.3.1 样品信息

试验所用样品信息如表1所示。

表1 试验所用样品信息

型号	Voc (V)	Vmp (V)	Isc (A)	Imp (A)	Pmax (W)	背板材质
EG-445M72-HEV	49.67	41.36	11.23	10.76	445 (0~+3%)	TPT

2.3.2 紫外实验前的测试

①外观检查。

紫外试验前外观测试结果如表2所示。

表2 紫外实验前组件外观测试

样品#	外观缺陷评定	结果
1	无明显外观缺陷	P
2	无明显外观缺陷	P
3	无明显外观缺陷	P
4	无明显外观缺陷	P
5	无明显外观缺陷	P
6	无明显外观缺陷	P

②初始稳定性试验。

在紫外实验前对组件开展了稳定性试验,试验辐照度 $1000\text{W}/\text{m}^2$,组件温度 $50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,具体测试结果如表3所示。

表3 组件初始稳定性试验测试数据

样品#	测试循环	累计辐照量 (kWh/m^2)	循环后 Pmax (W)	稳定性 (%)	结果
1	初始	—	449.467	0.69	P
	1	5	450.712		P
	2	5	447.590		P
2	初始	—	449.239	0.65	P
	1	5	450.684		P
	2	5	447.751		P
3	初始	—	450.002	0.48	P
	1	5	451.215		P
	2	5	449.075		P
4	初始	—	449.003	0.55	P
	1	5	450.108		P
	2	5	447.647		P
5	初始	—	449.785	0.67	P
	1	5	451.389		P
	2	5	448.367		P
6	初始	—	448.177	0.54	P
	1	5	449.607		P
	2	5	447.182		P

通过组件初始稳定性测试结果可以看出,组件稳定性位于0.48%~0.69%之间,满足测试要求,稳定性试验要求: $(P_{\text{max}}-P_{\text{min}})/P_{\text{average}} \leq 0.01$ 。

③标准测试条件下的性能。

在紫外实验前对组件开展了功率测试,辐照度 $1000 \pm 5\text{W}/\text{m}^2$,温度 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$,AM=1.5,具体测试结果如表4所示。

表4 紫外实验前组件功率测试数据

样品#	Voc (V)	Vmp (V)	Isc (A)	Imp (A)	Pmax (W)	FF (%)
1	49.322	41.445	11.363	10.797	447.492	79.85
2	49.272	41.454	11.359	10.798	447.635	79.98
3	49.328	41.549	11.353	10.807	449.035	80.18
4	49.321	41.540	11.326	10.776	447.649	80.14
5	49.283	41.461	11.367	10.811	448.222	80.01
6	49.309	41.483	11.320	10.776	447.029	80.08

④绝缘试验。

紫外试验前绝缘试验结果如表5所示。

表 5 紫外实验前组件绝缘试验数据

样品 #	样品面积 (m ²)	要求 (MΩ)	测量 (MΩ)	耐压故障是 (描述) / 否	结果
1	2.17	≥ 18.5	6890	否	P
2	2.17	≥ 18.5	7580	否	P
3	2.17	≥ 18.5	6640	否	P
4	2.17	≥ 18.5	8030	否	P
5	2.17	≥ 18.5	9880	否	P
6	2.17	≥ 18.5	6650	否	P

⑤湿漏电流试验。

紫外试验前湿漏电流试验结果如表 6 所示。

表 6 紫外实验前组件湿漏电流试验数据

样品 #	样品面积 (m ²)	要求 (MΩ)	测量 (MΩ)	结果
1	2.17	≥ 18.5	>9999	P
2	2.17	≥ 18.5	4900	P
3	2.17	≥ 18.5	5100	P
4	2.17	≥ 18.5	>9999	P
5	2.17	≥ 18.5	6900	P
6	2.17	≥ 18.5	5300	P

2.3.3 紫外试验

不同紫外辐照强度对组件的影响测试结构如表 7 所示。

表 7 不同紫外辐照强度对组件的影响测试

序号	测试项目	紫外辐照度	测试温度	累积辐照量	备注
1	不同紫外辐照强度对组	250W/m ²	60°C ± 5°C	15kWh/m ²	
2	件及原材料	375W/m ²	60°C ± 5°C	15kWh/m ²	
3	的影响测试	500W/m ²	60°C ± 5°C	15kWh/m ²	

2.3.4 紫外实验后的测试

①外观检查。

紫外试验后外观测试结果如表 8 所示。

表 8 紫外实验后组件外观测试

紫外辐照度	样品 #	外观缺陷评定	结果
250W/m ²	1	无明显外观缺陷	P
	2	无明显外观缺陷	P
375W/m ²	3	无明显外观缺陷	P
	4	无明显外观缺陷	P
500W/m ²	5	无明显外观缺陷	P
	6	无明显外观缺陷	P

从以上紫外试验后的外观测试结果可知，不同辐照下的紫外试验后组件绝缘性能均正常。

②标准测试条件下的性能。

在紫外实验后对组件开展了功率测试，辐照度 1000 ± 5W/m²，温度 25°C ± 5°C，AM=1.5，具体测试结果如表 9 所示。

从紫外试验后的组件功率测试结果可知，在相同的紫外累积量 (15kWh/m²) 下采用不同紫外辐照度进行的紫外试验后组件功率均出现了降低，其功率降低范围为 0.15%~0.51%，不同紫外辐照度下的组件功率衰减率不同，高紫外辐照度下进行的紫外试验组件衰减较低，在相同的紫外累积量下组件长时间的紫外暴晒可造成更高的功率衰减，结合背板材料测试结果，长时间的紫外光照射使背板材料出现老化降解，微观表面形貌粉化，出现一定程度的黄变，从而加速了组件功率的下降，同时在紫外试验过程中存在较少的可见光，较长时间的紫外试验使硅片中的硼、氧产生复合体，降低了其少子寿命，造成光伏组件功率的下降^[6]。

③绝缘试验。

紫外试验后绝缘试验结果如表 10 所示。

从紫外试验后的组件绝缘试验结果可知，不同辐照下的紫外试验后组件绝缘性能均正常，在相同的紫外累积量下 (15kWh/m²)，高紫外辐照度 (375W/m² 和 500W/m²) 不会造成组件的内部出现短路。

表 9 紫外实验后组件功率测试数据

紫外辐照度	样品 #	Voc (V)	Vmp (V)	Isc (A)	Imp (A)	Pmax (W)	FF (%)	测试后的变化 (%)	紫外试验总时长 (h)
250W/m ²	1	49.234	41.416	11.317	10.757	445.516	79.96	-0.44	60
	2	49.221	41.453	11.288	10.743	445.348	80.16	-0.51	60
375W/m ²	3	49.191	41.432	11.340	10.798	447.398	80.20	-0.36	40
	4	49.250	41.430	11.301	10.775	446.416	80.21	-0.28	40
500W/m ²	5	49.226	41.364	11.371	10.831	448.006	80.04	-0.05	30
	6	49.226	41.412	11.326	10.779	446.373	80.06	-0.15	30

表 10 紫外实验后组件绝缘试验数据

紫外辐照度	样品 #	样品面积	要求	测量	耐压故障	结果
		(m ²)	(MΩ)	(MΩ)	是(描述)/否	
250W/m ²	1	2.17	≥ 18.5	9600	否	P
	2	2.17	≥ 18.5	9570	否	P
375W/m ²	3	2.17	≥ 18.5	9690	否	P
	4	2.17	≥ 18.5	9100	否	P
500W/m ²	5	2.17	≥ 18.5	>9999	否	P
	6	2.17	≥ 18.5	>9999	否	P

④湿漏电流试验。

紫外试验后湿漏电流试验结果如表 11 所示。

表 11 紫外实验后组件湿漏电流试验数据

紫外辐照度	样品 #	样品面积 (m ²)	要求 (MΩ)	测量 (MΩ)	结果
250W/m ²	1	2.17	≥ 18.5	>9999	P
	2	2.17	≥ 18.5	>9999	P
375W/m ²	3	2.17	≥ 18.5	6700	P
	4	2.17	≥ 18.5	7300	P
500W/m ²	5	2.17	≥ 18.5	9300	P
	6	2.17	≥ 18.5	8300	P

从紫外试验后的组件湿漏电流试验结果可知,不同辐照下的紫外试验后组件湿漏电性能均正常,在相同的紫外累积量下(15kWh/m²),高紫外辐照度(375W/m²和500W/m²)的紫外试验不会引起组件内部电路的漏电。

2.4 不同紫外辐照度对背板材料的影响测试

2.4.1 黄变测试

黄变指数是指材料的初始黄色指数与环境试验之后的黄色指数之差,用以表征高分子材料偏离白色或发黄的程度,是评估背板材料老化程度的重要参数,不同辐照度下背板材料黄变指数测试如表 12 所示。

表 12 背板黄变指数

序号	测试条件	黄变指数	备注
1	辐照度: 250W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	-0.53	
2	辐照度: 375W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	-0.57	
3	辐照度: 500W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	-0.50	

从以上背板材料的黄变测试可以看出,在不同辐照下的紫外试验后的背板材料均发生了不同程度的黄变,这由于背板材料中的高分子组成被破坏,生成了不饱和烯烃生色团,从而使背板材料发生黄变^[7],同时可以看出,在相同的紫外累积量下(15kWh/m²),紫外辐照度为500W/m²下的黄变指数较小,老化程度较低。

2.4.2 拉伸强度与断裂伸长率测试

背板材料的断裂伸长率是考量背板性能的一项重要指标。在拉伸试验中,样品拉至断裂的最大拉伸应力即为拉伸强度,断裂伸长率指断裂时样品的位移与原始长度的比率,通过测试在多倍紫外试验前后材料的拉伸强度与断裂伸长

表 13 背板材料的拉伸强度与断裂伸长率测试

序号	测试条件	拉伸强度 (MPa)		断裂伸长率 (%)		备注
		横向	纵向	横向	纵向	
1	初始	128.4	127.8	176.7	202.4	
2	辐照度: 250W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	132.7	137.8	215.7	198.1	
3	辐照度: 375W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	128.3	139.1	206.2	201.3	
4	辐照度: 500W/m ² 温度: 60°C ± 5°C 累积辐照: 15kWh/m ²	125.9	127.9	197.2	214.8	

率的变化表征材料的老化程度，不同辐照度下的背板材料拉伸强度与断裂伸长率测试结果如表 13 所示。

从上述紫外试验前后背板材料的拉伸强度与断裂伸长率测试可以看出，在较少紫外累积辐照下（ 15kWh/m^2 ），不同紫外辐照度的老化试验其背板材料的力学性能在紫外试验前后无明显变化，背板材料本身的力学差异占据了主导，较少的紫外累积量下不同紫外辐照度均未造成背板材料力学性能的改变。

2.4.3 表面微观形貌测试

背板材料的表面微观几何形貌特性对组件耐候性、绝缘、水汽阻隔等性能具有重要影响，紫外光可造成组件背板材料的开裂、粉化等，通过对背板在多倍紫外试验前后表面几何形貌、表面粗糙度、颗粒度分布变化等进行测试，评估背板材料的老化程度，不同辐照度下的背板材料的表面微观几何形貌如图 1 所示。

从以上不同辐照度下的背板材料的表面微观几何形貌图可以看出，背板材料在不同辐照下的紫外试验后的微观形貌

均发生了变化，出现了一定程度的粉化现象，且在 500W/m^2 紫外辐照下的背板材料的表面较光滑平整，均匀性较一致，在 250W/m^2 和 375W/m^2 紫外辐照下的背板材料粉化较为明显，表面平整度较低，颗粒粒度分布较多，粉化较为明显。

2.4.4 傅里叶红外光谱 FT-IR 测试

背板材料在老化过程中，尤其是降解过程中高分子材料结构会发生变化，通过对背板在紫外试验前后的 FT-IR 测试，分析材料因紫外辐照而产生的变化是评估背板材料的有效手段，不同辐照度下背板材料的傅里叶红外光谱 FT-IR 测试结果如图 2 所示。

从以上不同辐照度下的背板材料的傅里叶红外光谱图可以看出，不同辐照度下的紫外试验后背板材料中位于 2932cm^{-1} 处的 -C-H 键伸缩振动峰出现了减弱，在紫外实验中背板材料中的 -C-H 键发生断裂而导致材料老化^[8]，相比在 500W/m^2 紫外辐照下 -C-H 键伸缩振动峰变化较小，材料老化程度较低，在相同的紫外累计辐照量（ 15kWh/m^2 ）下紫外测试时间越短背板材料老化降解程度较低。

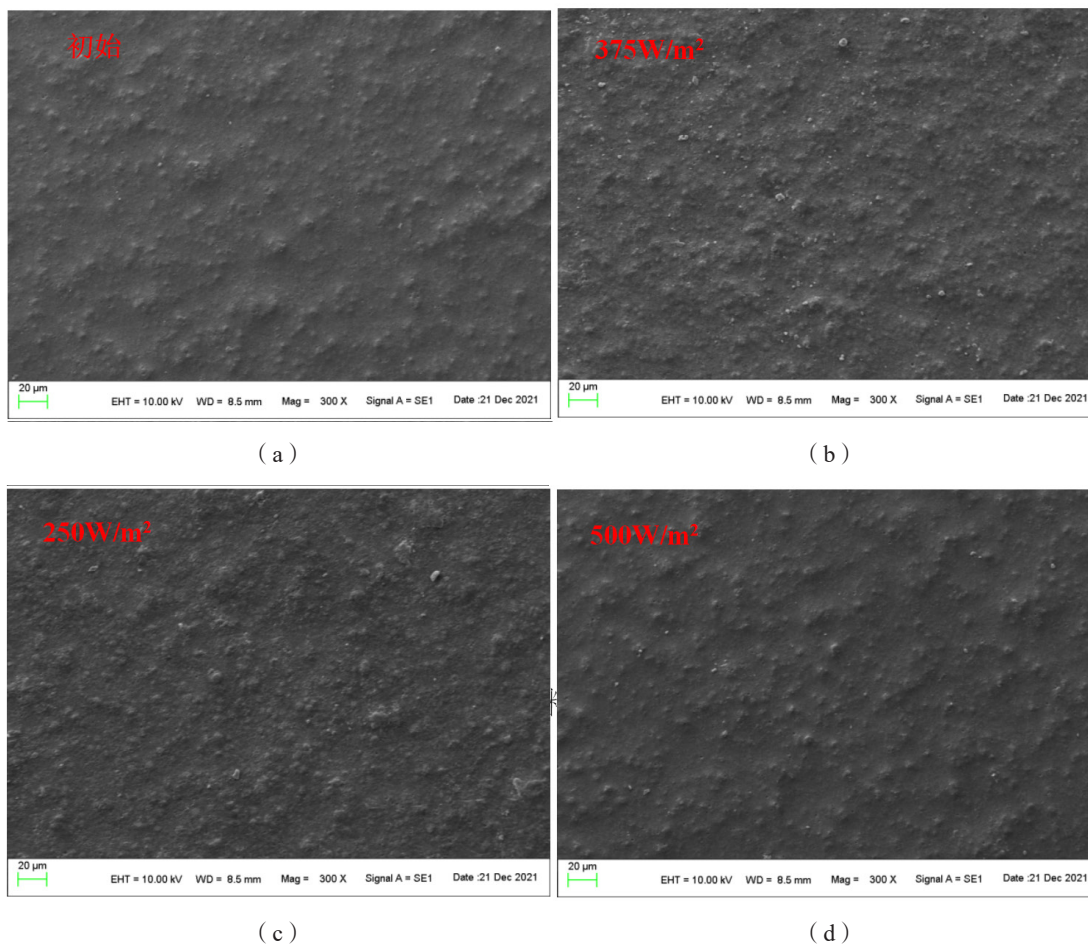


图 1 不同辐照度下的背板材料的表面微观几何形貌

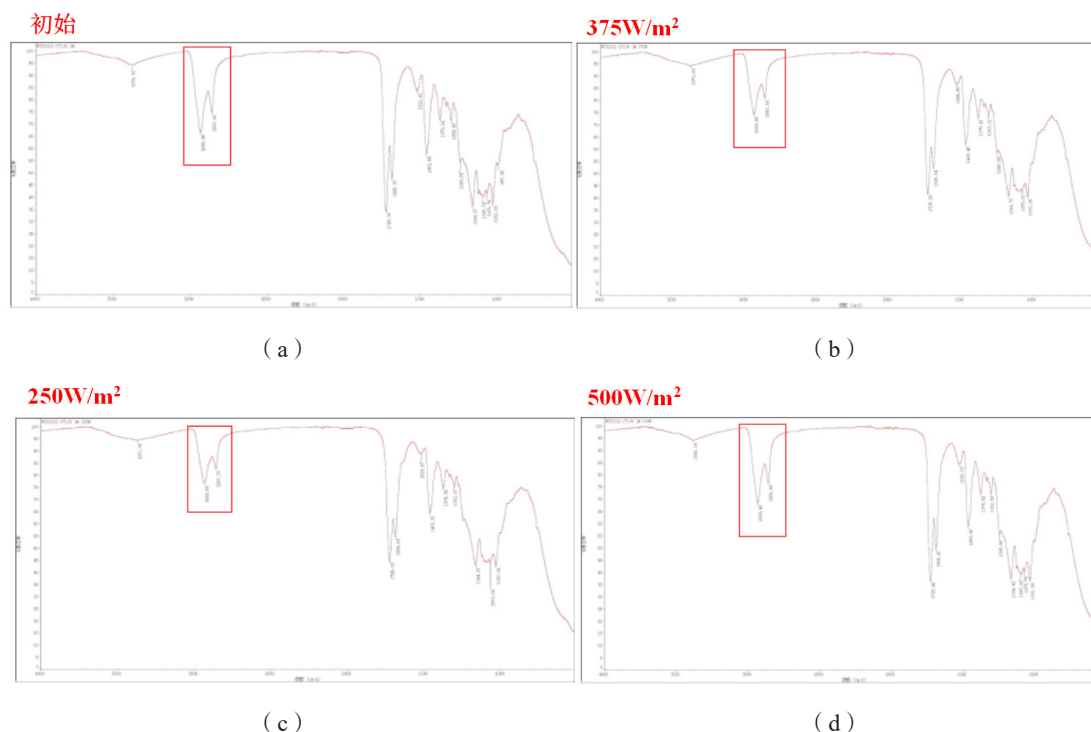


图2 不同辐照度下的背板材料的表面傅里叶红外光谱图

3 结语

在相同的紫外累计辐射量 (15kWh/m^2) 及温度 ($60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) 条件下, 不同紫外辐照度的组件及原材料老化试验结果可知: ①在相同的紫外累积量 (15kWh/m^2) 下高紫外辐照度下进行的紫外试验组件功率衰减较低, 在相同的紫外累积量下组件长时间的紫外暴晒可造成更大的功率衰减。②相比常规紫外老化试验, 高紫外辐照度下的紫外试验并未造成组件绝缘性的破坏。③在 500W/m^2 紫外辐照下的背板材料的老化降解程度较低, 微观表面形貌较光滑平整, 均匀性较一致, 同时黄变程度相对较轻。

参考文献

- [1] 苏州赛伍应用技术股份有限公司. 紫外辐射量对光伏组件材料的影响探讨[C]//2018.
- [2] 孟德发, 郭瑞, 唐超. 太阳能组件背板材料与紫外光和湿热的研究

[C]//中国光伏大会, 2013.

- [3] 陈伟, 徐军, 陆元明, 等. 光伏组件全生命周期的检测分析[J]. 太阳能, 2016(12):4.
- [4] 王喜炜, 白建波, 宋昊, 等. 光伏组件加速老化试验可靠性及其寿命分布研究[J]. 可再生能源, 2017, 35(5):6.
- [5] 梁振南, 秦红, 沈辉. 背板材料对太阳能电池组件性能影响的实验研究[C]//第十届中国太阳能光伏会议论文集: 迎接光伏发电新时代, 2008.
- [6] 魏超, 唐梓彭, 冯一铭. 光伏组件背板性能检测技术及应用分析[J]. 发电与空调, 2017, 38(3):4.
- [7] 李亚伟, 陈洪波, 胡钰骁, 等. 高海拔地区紫外辐射, 电晕放电对复合绝缘子表面形貌及成分的影响[J]. 电瓷避雷器, 2020(5):6.
- [8] 王响, 沈辉, 李光吉, 等. EVA老化机理以及EVA老化对太阳能电池的影响[J]. 合成材料老化与应用, 2008, 37(2):4.