

反光材料对采用双面光伏组件的屋顶光伏电站发电性能的影响分析

潘少峰, 陆 炜*, 索博鹏, 田介花, 陆文俊, 赵蓓蓓

(江苏林洋能源股份有限公司, 启东 226200)

摘 要: 通过搭建实证系统, 研究了2种防水卷材和3种白漆对双面光伏组件发电量的影响, 为工商业屋顶光伏电站采用双面光伏组件的设计提供了理论支持; 并将各种材料的成本和电站发电量收益情况进行了对比分析, 获得了较为优化的解决方案。

关键词: 双面光伏组件; 屋顶; 反光材料; 反射率; 光伏电站

中图分类号: O325/TK79 **文献标志码:** A

0 引言

近几年, 高效太阳电池发展迅猛, 自2016年以来, 具有双面发电功能的双面太阳电池和双面光伏组件更是如雨后春笋般出现在光伏行业。但相对于单面光伏组件而言, 双面光伏组件的成本较高。如何使双面光伏组件在系统应用端得到最大化利用, 从而降低度电成本、提高电站的投资回报率, 成为采用双面光伏组件的光伏电站投资者关注的问题。

吴翠姑等^[1]通过实验对比了双面光伏组件在不同背景环境下的发电量输出特性, 结果显示, 背景环境的反射率越高, 双面光伏组件背面的发电量就越大, 尤其在白石子背景环境下, 双面光伏组件的发电量增益高达20%。BRENNAN等^[2]研究了不同地面背景的光谱反射率, 结果显示, 雪地背景在波长为0~800 nm范围内的反射率最高; 对于应用于屋顶的反光材料, 铝箔背景在波长为0~500 nm范围内的反射率最高, 白橡胶背景在波长为500~800 nm范围内的反射率最高。马少华等^[3]认为双面光伏组件在雪地

背景下的发电效率最高, 光伏发电系统能效(PR)高达108.2%。

目前双面光伏组件已广泛应用于光伏发电项目中, 尤其是较多应用在分布式光伏项目中的工商业屋顶。而在双面光伏组件的背景环境中使用反光材料, 可以增加组件的发电量。本文分析了屋顶采用不同反光材料时, 背景环境对双面光伏组件背面发电量的影响。

1 双面光伏组件

光伏行业一直致力于太阳电池结构的优化, 以提升电池对光能的吸收和转化, 而使电池背面发电就是其中一种优化方法。采用此方法的太阳电池的背面电极采用与正面相同的栅线结构, 使电池前后表面都能吸收光线, 形成一种双面电池结构。目前可量产的双面太阳电池结构主要有异质结(HJT)、钝化发射极及背面全部扩散(PERT)和发射极及背面钝化(PERC)这3种技术^[4-5]。

双面太阳电池和单面太阳电池相比, 其最大的优势在于背面可发电。目前市场上双面光

收稿日期: 2019-06-24

通信作者: 陆炜(1976—), 男, 博士, 主要从事光伏系统集成应用及优化、储能微网与新能源的结合、综合能源、光伏运维技术, 以及新能源在电力系统中接入及稳定运行等方面的研究。luwei@linyang.com.cn

伏组件主要是以玻璃代替不透明背板, 以实现双面太阳电池的双面发电特性。因此, 如何提高电池背面的受光量就成为关键技术。而影响双面光伏组件背面发电量的因素主要包括背景反射率、组件下沿离地高度、安装角度、行间距、组件背面阴影和遮挡等。本文仅对背景反射率对背面发电量的影响进行研究。

2 反光材料

可使用在屋顶的反光材料有防水卷材、外墙涂料、反光薄膜等。当屋顶光伏电站的屋顶采用不同反光材料作为背景时, 其对双面光伏组件背面发电量的影响也会不同。本文选取 2 种防水卷材和 3 种外墙涂料作为背景材料, 并对其反射率进行了分析。

2.1 防水卷材

本文选取了 KD 防水卷材和 DQ 防水卷材进行分析。KD 防水卷材为聚烯烃纳米合金防水隔热自粘卷材。DQ 防水卷材为 POH-TY 纳米合金冷屋面防水隔热防穿刺自粘卷材。

背景反射率的高低是由背景材料的性质决定的, 而不同的材料在不同光谱波段会有不同的反射率。因此对作为背景材料的 2 种防水卷材的反射率进行了测试, 测试结果如图 1 所示。

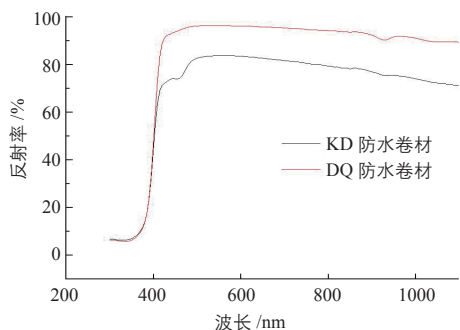


图 1 2 种防水卷材的反射率

Fig. 1 Reflectivity of two kinds of waterproof rolls

由图 1 可知, 当波长为 500~900 nm 时, DQ 防水卷材的反射率在 90% 以上, KD 防水卷材的反射率在 80% 左右。BRENNAN 等^[2]的研究表明, 晶硅材料对 370~1100 nm 波段的光波的光电转换效率最高, 可达 80% 以上。因此,

双面晶硅太阳电池若与上述 2 种防水卷材相结合, 可进一步提高电池的转换效率。

2.2 外墙涂料

外墙涂料已广泛应用在建筑行业, 主要功能是保护建筑物外墙、提升建筑物美观, 以及满足一些特殊要求。由于白色背景的反射率相对较高, 可以达到 80%~90%^[2], 因此本文选择 3 款市场上适用于建筑外墙和水泥屋顶的白漆进行研究, 分别为 CG 白漆、DLS 白漆和 QH 白漆。CG 白漆和 QH 白漆均由丙烯酸树脂、颜填料等制成, DLS 白漆为乳胶漆。

3 反光材料实验

3.1 实验概况

本次实验选择安徽省安庆市某工厂的屋顶 (117.03° E, 30.52° N), 测试场景包括水泥背景、KD 防水卷材背景、DQ 防水卷材背景、CG 白漆背景、DLS 白漆背景和 QH 白漆背景这 6 种场景。每种场景均安装容量为 29.73 kW 的 n 型双面光伏组件 (以下简称“双面光伏组件”), 均采用同一型号的 30 kW 逆变器, 组件安装倾角均为 18°, 组件下沿离地高度均为 0.4 m。此外, 在同一屋顶安装逆变器、组件倾角、组件下沿离地高度与双面光伏组件均相同, 并采用水泥背景、容量为 98.56 kW 的常规单晶硅光伏组件 (以下简称“单面光伏组件”) 作为对照组, 数据采集周期为 2017 年 6 月 1 日~2018 年 1 月 31 日。

3.2 实验结果分析

对 2017 年 6 月 1 日~2018 年 1 月 31 日期间单面光伏组件与水泥背景、KD 防水卷材背景、DQ 防水卷材背景、CG 白漆背景、DLS 白漆背景及 QH 白漆背景下的双面光伏组件的每 kW 月发电量情况进行了统计, 结果如表 1 所示。然后对 6 种场景下的双面光伏组件相对于单面光伏组件的每 kW 月发电量增益进行了对比, 结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 数据采集周期内, 相较于单面光伏组件, 双面光伏组件的每 kW 月发电量

表 1 不同背景下光伏组件的每 kW 月发电量情况

Table 1 Monthly per kW power generation of PV modules under different backgrounds

月份	单面光伏 组件 /kWh	双面光伏组件 /kWh					
		水泥	KD 防水卷材	DQ 防水卷材	CG 白漆	DLS 白漆	QH 白漆
2017-06	91	100	105	112	106	104	106
2017-07	134	150	157	169	158	156	160
2017-08	94	103	108	116	109	107	108
2017-09	73	80	83	91	85	84	85
2017-10	83	90	92	101	95	94	95
2017-11	75	82	84	88	86	85	86
2017-12	77	84	85	91	88	88	89
2018-01	48	51	52	56	54	53	54
累计	675	740	766	824	781	771	783

表 2 不同场景下双面光伏组件较单面光伏组件的每 kW 月发电量增益

Table 2 Monthly per kW power generation gain of bifacial PV modules compared with single-sided PV modules under different backgrounds

月份	水泥 /%	KD 防水卷材 /%	DQ 防水卷材 /%	CG 白漆 /%	DLS 白漆 /%	QH 白漆 /%
2017-06	9.9	15.4	23.1	16.5	14.3	16.5
2017-07	11.9	17.2	26.1	17.9	16.4	19.4
2017-08	9.6	14.9	23.4	16.0	13.8	14.9
2017-09	9.6	13.7	24.7	16.4	15.1	16.4
2017-10	8.4	10.8	21.7	14.5	13.3	14.5
2017-11	9.3	12.0	17.3	14.7	13.3	14.7
2017-12	9.1	10.4	18.2	14.3	14.3	15.6
2018-01	6.3	8.3	16.7	12.5	10.4	12.5
均值	9.3	12.8	21.4	15.4	13.9	15.6

增益的均值在水泥背景下为 9.3%，在 KD 防水卷材背景下为 12.8%，在 DQ 防水卷材背景下为 21.4%，在 CG 白漆背景下为 15.4%，在 DLS 白漆背景下为 13.9%，在 QH 白漆背景下为 15.6%。由表 2 还可以看出，每月的发电量增益的高低还与当月的光照资源相关，呈现夏季高、冬季低的趋势。

将不同背景下双面光伏组件月发电量增益最高时(7 月)与该背景下月发电量增益最低时(1 月)的差值绘制成柱状图，具体如图 2 所示。

由图 2 可知，2 种防水卷材背景下，双面光伏组件的月发电量增益差值相对较大，DQ 防水

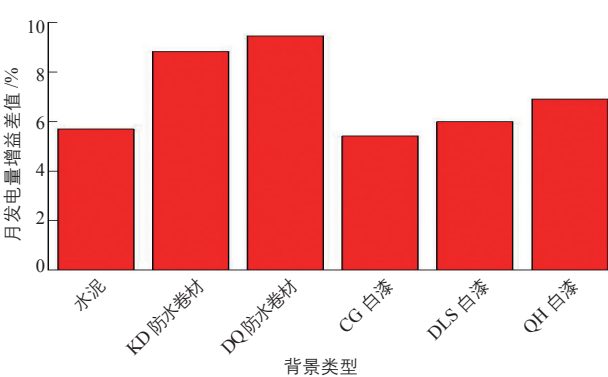
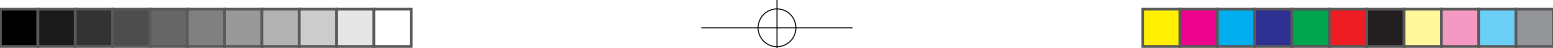


图 2 不同背景下双面光伏组件月发电量增益的最高值与最低值的差值情况

Fig. 2 The difference between the maximum value and the minimum value of monthly power generation gain of bifacial PV modules under different backgrounds



卷材与 KD 防水卷材背景下的月发电量增益差值分别为 9.4% 和 8.9%；水泥背景和白漆背景下的月发电量增益差值相对较小，在 5.4%~6.9% 之间。

4 投资收益对比

双面光伏组件的背景采用反光材料时，可以增加其发电量，从而提高采用双面光伏组件的光伏电站的收益，但是反光材料的使用也会增加项目成本。下文针对采用双面光伏组件的屋顶光伏电站使用上述几种反光材料时的投资收益情况进行分析。

为了测算与实际光伏电站规模相近的屋顶光

伏电站的投资情况，将上文位于安徽省安庆市的屋顶光伏电站中每种情况下的光伏组件容量都假设为 3 MW，但双面光伏组件相较于单面光伏组件在不同背景下的每 kW 月发电量增益均值仍采用上文中的数据。电站所发电力采用“自发自用、余量上网”模式，“自发自用”的比例为 90%，电价为协议电价 0.68 元 /kWh(当地峰谷平均电价的 80%)；“余量上网”的比例为 10%，电价为当地脱硫煤电价 0.3693 元。项目资金中，30% 为自有资金，70% 为贷款。表 3 为水泥背景下采用单面光伏组件与 6 种背景下采用双面光伏组件的电站投资收益情况。

表 3 不同背景下的屋顶光伏电站投资收益

Table 3 Investment income of rooftop PV power station under different backgrounds

参数 \ 类型	单面 光伏组件	双面光伏组件					
		水泥	KD 防水卷材	DQ 防水卷材	GC 白漆	DLS 白漆	QH 白漆
组件容量 /MW	3	3	3	3	3	3	3
组件单价 / 元 ·W ⁻¹	4.25	4.45	4.78	4.78	4.68	4.69	4.66
静态总投资 / 万元	1275.00	1335.00	1434.60	1434.99	1403.00	1407.64	1399.00
工商业电价 / 元 ·kWh ⁻¹	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
每 kW 月发电量增益均值 /%	0	9.3	12.8	21.4	15.4	13.9	15.6
年均发电量 / 万 kWh	280.00	307.00	318.00	341.59	323.49	319.81	324.72
投资收益率 /%	7.40	8.33	8.05	9.17	8.57	8.35	8.66
项目投资回收期 / 年	10.9	10.0	10.2	9.3	9.8	9.9	9.7

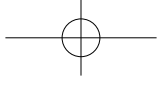
由表 3 可以看到，采用双面光伏组件的屋顶光伏电站在水泥、防水卷材和白漆背景下的投资收益率均在 8% 以上。其中，水泥背景下的投资收益率为 8.33%；2 种防水卷材的投资收益率相差较大，在 DQ 防水卷材背景下，采用双面光伏组件的电站的每 kW 月发电量增益均值高达 21.4%，投资收益率为 9.17%，投资回收期为 9.3 年；而在 KD 防水卷材背景下，采用双面光伏组件的电站的每 kW 月发电量增益均值为 12.8%，投资收益率比其他 5 种背景下都低，仅为 8.05%。虽然白漆的初始投资相对较低，但是与在 DQ 防水卷材背景下相比，在白漆背景下采用双面光伏组件的电站的每 kW 月发电量增益均值仅在 13.9%~15.6% 之间，投资收益率在 8.35%~8.66%

之间，比在 DQ 防水卷材背景下低，投资回收期也比在 DQ 防水卷材背景下长；而且相较于防水卷材，白漆的耐候性较差，在投资收益期内需要再次涂刷。因此，尽管 DQ 防水卷材初始投资较高，但其反射率高、发电量增益高、耐候性好，且投资收益率比其他背景时都好，投资回收期最短，是反光材料的最佳选择。

5 结论

本文通过研究 2 种防水卷材和 3 种白漆作为反光材料时对采用双面光伏组件的屋顶光伏电站的发电量的影响，得到以下结论：

1) 光谱反射率测试结果显示，在 500~900 nm 波段，DQ 防水卷材的反射率均在 90% 以上。



2) 相较于水泥背景下的单面光伏组件, KD 防水卷材背景下的双面光伏组件每 kW 月发电量增益均值为 12.8%; DQ 防水卷材背景下的双面光伏组件每 kW 月发电量增益均值为 21.4%。

3) 3 种白漆背景下的双面光伏组件每 kW 月发电量增益均值在 13.9%~15.6% 之间。

4) 对比双面光伏组件在某背景下的月发电量增益情况, DQ 防水卷材背景下双面光伏组件发电量增益最高月份与最低月份的差值为 9.4%, KD 防水卷材背景下的差值为 8.9%, 水泥背景和白漆背景下的差值在 5.4%~6.9% 之间。

5) 通过对比不同反光材料的技术经济性后发现, DQ 防水卷材的反射率高, 发电量增益效

果好, 耐候性佳, 最终的投资收益最好且投资回收期最短。

[参考文献]

- [1] 吴翠姑, 吕学斌, 张雷, 等. n 型硅双面发电光伏组件及其应用 [J]. 半导体技术, 2017, 42(3): 200 — 204.
- [2] BRENNAN M P, ABRAMASE A L, ANDREWS R W, et al. Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices[J]. Solar energy materials & solar cells, 2014, 124: 111 — 116.
- [3] 马少华, 吕欣, 崇锋, 等. 双玻双面光伏组件发电量测试分析 [J]. 太阳能, 2016(12): 67 — 68.
- [4] 宋登元, 熊景峰. 双面发电高效率 N 型 Si 太阳电池及组件的研制 [J]. 太阳能学报, 2013, 34(12): 2146 — 2150.
- [5] 李正平, 沈文忠. 高效 HIT 太阳电池组件及其应用 [J]. 上海节能, 2015(1): 41 — 45.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF REFLECTIVE MATERIALS ON THE POWER GENERATION PERFORMANCE OF ROOFTOP PV POWER STATIONS USING BIFACIAL PV MODULES

Pan Shaofeng, Lu Wei, Suo Bopeng, Tian Jiehua, Lu Wenjun, Zhao Beibei

(Jiangsu Linyang Energy Co., Ltd., Qidong 226200, China)

Abstract: Through establishing an empirical PV power station, two kinds of waterproof rolls and three kinds of white paints in rooftop PV power station with bifacial PV module were studied. Technical-economic analysis in different material was compared and a more optimized solution was obtained. This study can provide theoretical support for the design of rooftop bifacial PV system with reflective materials.

Keywords: bifacial PV module; rooftop; reflective material; reflectivity; PV system