

多主栅光伏组件的性能分析

刘石勇*, 何 胜, 单 伟, 李宏伟, 何保杨

(浙江正泰太阳能科技有限公司, 杭州 310053)

摘 要: 分析了不同规格焊丝对多主栅光伏组件性能的影响, 并对比了多主栅光伏组件与常规 5 主栅光伏组件的电学性能差异, 最后对多主栅光伏组件的弱光性能进行了实验分析。结果发现, 当采用直径为 0.40 mm 的圆形焊丝时, 多主栅光伏组件的性能更佳; 同时, 多主栅技术可显著提升组件的短路电流和填充因子; 相比常规 5 主栅光伏组件, 多主栅光伏组件的功率约提升了 2.5%; 背钝化多主栅单晶硅光伏组件具有相对较好的弱光响应。

关键词: 光伏组件; 多主栅技术; 圆形焊丝; 半片; 弱光响应

中图分类号: TK511

文献标志码: A

0 引言

太阳能电池上的金属栅线, 尤其是电池正面的栅线会直接影响光伏组件的光学和电学性能^[1], 因此, 为了提高太阳能电池效率, 电池正面主栅数目成为行业研究的重点。自 2009 年光伏行业导入 3 主栅技术以来, 经过几年的发展, 主流太阳能电池的主栅数目已增至 5 根。为了进一步提升太阳能电池和光伏组件的效率, 可以通过优化电池金属栅线来尽量减少遮挡和阻抗损失^[2], 多主栅技术便是其中的有效途径。目前光伏市场已开始采用 7~15 主栅的多主栅光伏组件技术。

多主栅技术除了可提升太阳能电池效率外, 还可极大地降低太阳能电池成本。由于电池主栅数量增加, 主栅宽度变得更细, 细栅数目则相应减少, 这样电池正面银浆耗量可降低约 10%~30%^[3]。此外, 多主栅缩短了电池上主栅之间细栅的长度, 电流收集路径变短, 对电池隐裂、断栅、破裂等的容忍度更高, 这将会降低组件失效风险, 提高组件的可靠性。

本文对多主栅光伏组件的性能进行了研究, 并通过实验验证了不同规格焊丝对多主栅光伏组件性能的影响, 对多主栅光伏组件与常规 5 主栅

光伏组件的功率差异进行了对比; 并对多主栅光伏组件的弱光性能进行了实验分析。

1 实验

多主栅光伏组件的制备及测试都在浙江正泰太阳能科技有限公司组件研发线完成。本实验用多主栅太阳能电池采用该公司自制的 12 根主栅的太阳能电池, 主栅宽度为 0.1 mm。为了能更好地与焊丝接触, 在每根主栅上设计 12 个长、宽均为 1 mm 的焊盘。焊丝采用西安泰力松新材料股份有限公司生产的圆形镀层铜丝, 一端与电池正面主栅上的焊盘接触, 另一端与相连电池的背电极接触。在量产型多主栅串焊机上进行电池焊接, 焊接温度为 200~250 °C。多主栅太阳能电池的焊接拉力采用数显拉力计进行测试。多主栅光伏组件的功率采用 PASAN 光伏组件功率测试仪进行测量。

2 结果与讨论

2.1 不同规格焊丝对多主栅光伏组件性能的影响

将直径为 0.30、0.35 和 0.40 mm 的 3 种规格的圆形焊丝分别都与常规多主栅太阳能电池进行焊接制样。每 3 片电池采用同一规格的焊丝, 用于

收稿日期: 2019-05-27

通信作者: 刘石勇 (1981—), 男, 博士, 主要从事晶硅太阳能电池和光伏组件方面的研究。shiyong.liu@astronergy.com

测试焊接拉力。图1为不同直径焊丝对多主栅太阳能电池正、背面焊接拉力的影响。图中，每个正面拉力值为432个焊盘拉力的算术平均值，背面为216个背电极拉力的算术平均值。由图可知，随着焊丝直径的增加，电池的焊接拉力逐渐增大。焊丝直径越大，与电池接触面积就越大，焊接拉力也就逐渐增加，但焊丝直径需比焊盘和背电极宽度都窄。

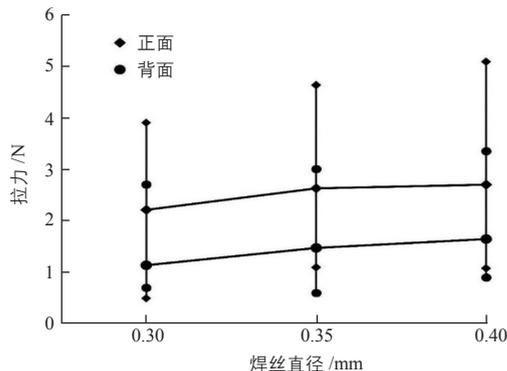
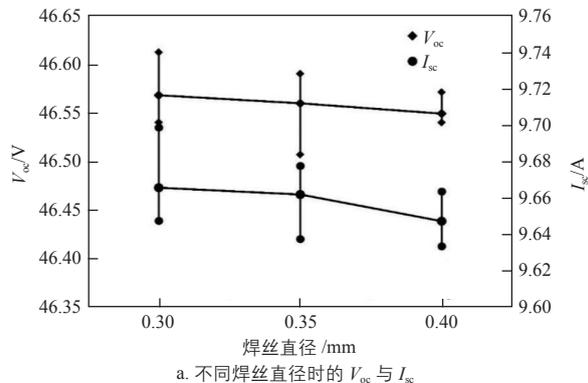


图1 不同直径的焊丝对多主栅太阳能电池正、背面焊接拉力的影响

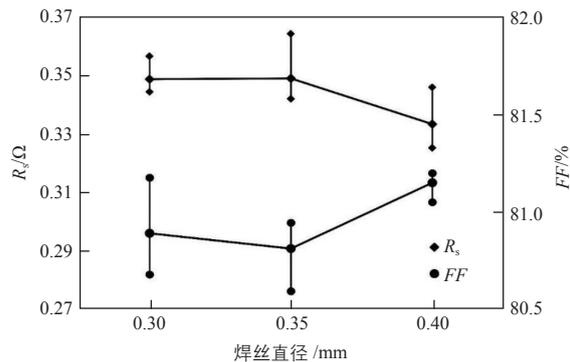
Fig. 1 Influence of the welding wires with deference diameters on the front and rear welding tension of multi-busbar solar cells

将采用3种焊丝直径的多主栅太阳能电池分别制成10块多主栅光伏组件，各组件的物料完全一致。图2为不同直径的焊丝对多主栅光伏组件性能的影响。

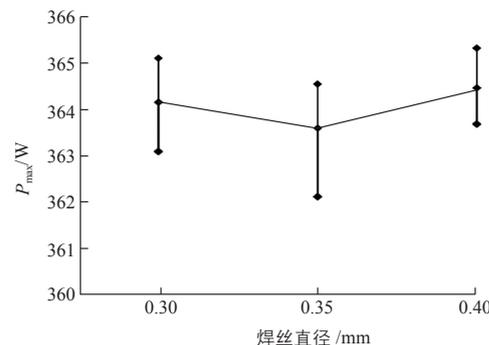
由图2可知，随着焊丝直径增大，组件的开路电压 V_{oc} 和短路电流 I_{sc} 逐渐变小。这是由于焊丝直径增大后会增加焊丝对电池的遮挡，导致 V_{oc} 和 I_{sc} 降低。当焊丝直径增至0.40mm时，组件的串联电阻 R_s 明显降低，使填充因子 FF 提升较多，这表明采用直径为0.40mm的圆形焊丝形



a. 不同焊丝直径时的 V_{oc} 与 I_{sc}



b. 不同焊丝直径时的 R_s 与 FF



c. 不同焊丝直径时的 P_{max}

图2 不同直径的焊丝对多主栅光伏组件性能的影响。

Fig.2 Influence of the welding wires with deference diameters on the performance of multi-busbar PV modules

成的电学接触效果最好。总体而言，采用直径为0.40mm的圆形焊丝的组件功率 P_{max} 更佳，图2c也很好反映了这一点。

结合焊接拉力和组件性能的情况来看，直径为0.40mm的圆形焊丝更适合多主栅太阳能电池的串焊工艺。但考虑到焊丝成本及后续焊丝焊接性能的逐步提升，小直径焊丝偏软、易偏移等影响良品率的问题解决后，直径0.30mm或更细的圆形焊丝将是后续的发展方向。

2.2 多主栅光伏组件的功率分析

现阶段，光伏市场中除了多主栅技术外，半片技术由于具有低内损的特点，其在规模化应用中也拥有较大优势。将多主栅技术和半片技术相结合，组件功率可进一步得到提升。为了验证多主栅技术在组件性能中的先进性，分别选取同片源、同批次单晶硅片，在生产线上制备背钝化太阳能电池。太阳能电池的物料和前段工艺完全相同，只是在丝网印刷时采用不同的网版来实现5主栅

和 12 主栅太阳能电池的制备, 选取各自量产中平均效率档的电池; 同时, 将采用 12 主栅技术的太阳能电池再叠加半片技术制备太阳能电池。最后制成常规 5 主栅、12 主栅 (下文简称“多主栅”) 和 12 主栅叠加半片 (下文简称“多主栅+半片”) 3 种 72 片版型的组件各 50 块。

图 3 为 3 种组件的 I_{sc} 情况。从图中可以看出, 相比于常规 5 主栅组件, 多主栅组件的 I_{sc} 有显著提升。主要原因有 2 点: 1) 因为多主栅技术降低了电池正面电极的遮光损失, 主栅采用焊盘设计, 宽度只有 0.1 mm, 主栅面积减少; 同时主栅根数增加后, 细栅宽度更窄, 根数也更少, 更大程度地降低了遮光面积。2) 由于多主栅太阳能电池采用圆形焊丝, 具有更好的光学优势, 太阳光入射到焊丝上经焊丝、EVA 及玻璃反射后, 可以再次进入电池进行二次利用。相比于常规 5 主栅组件使用的扁平焊丝, 圆形焊丝可以增加约 30% 的光利用率。从图中还可以看出, 与多主栅组件相比, “多主栅+半片” 组件的 I_{sc} 稍有增益, 这与采用半片技术的组件的电路版型设计和阻抗降低有关。

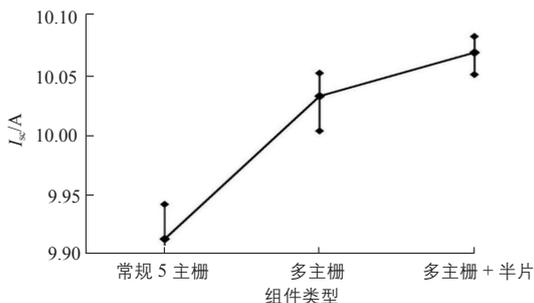
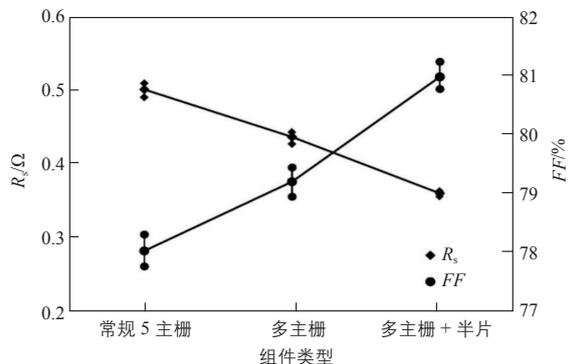
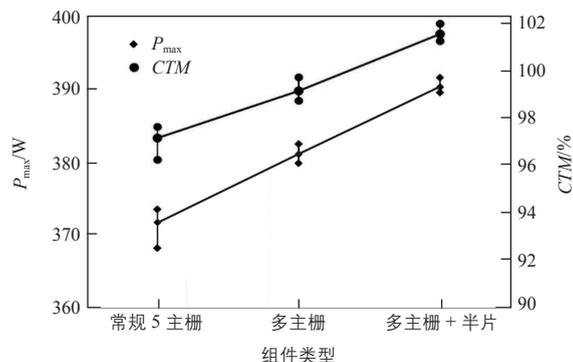
图 3 3 种组件的 I_{sc} 情况Fig. 3 I_{sc} of 3 kinds of PV modules

图 4 为 3 种组件的 R_s 和 FF 情况。从图中可以看出, 相比于常规 5 主栅组件, 多主栅组件的 R_s 显著降低。这是由于主栅数目增加后缩短了电流收集路径, 电池上的电阻分布更加均匀, 从而有效减少了电池和组件的 R_s 。与其他 2 类组件相比, “多主栅+半片” 组件的 R_s 进一步降低, 使组件的 FF 持续提升。

CTM(Cell to Module) 是衡量电池功率转换成组件功率的重要参数, 其值的高低直接决定了组

图 4 3 类组件的 R_s 和 FF 情况Fig. 4 R_s and FF of 3 kinds of PV modules

件功率的大小。图 5 为 3 种组件的 CTM 和 P_{max} 情况。由图可知, 多主栅组件的 P_{max} 比常规 5 主栅组件高 9 W, 约提升 2.5%, 这表明多主栅技术可以显著提升组件功率。与常规 5 主栅组件相比, 多主栅组件的 CTM 也得到了提升。若从组件端来看, 主要是因为多主栅组件采用圆形焊丝, 并且组件中电流传导路径密集, 使组件封装损失降低, 因此 CTM 提升显著。“多主栅+半片” 组件的功率比常规 5 主栅组件高 18 W, 约提升 5%。这表明多主栅技术和半片技术可以很好的结合, 完全可作为光伏市场高效组件后续的技术方向。

图 5 3 种组件的 CTM 和 P_{max} 情况Fig. 5 CTM and P_{max} of 3 kinds of PV modules

2.3 多主栅光伏组件的弱光性能分析

在 AM1.5 条件下, 进行多主栅光伏组件弱光响应测试。单晶硅片经过背钝化处理后, 分别采用多主栅和“多主栅+半片”技术制成组件, 各制备 3 块, 进行低辐照度下的组件效率测试, 结果如图 6 所示。

由图 6 可知, 随着辐照度的降低, 组件效率

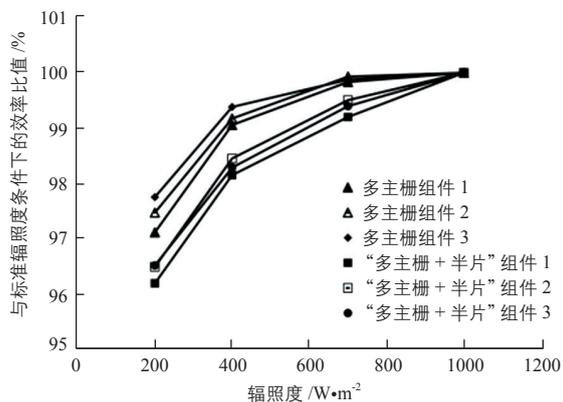


图6 不同辐照度下多主栅和“多主栅+半片”组件的效率变化关系

Fig. 6 The relation between efficiency varies of multi-busbar and multi-busbar half-cut PV modules with different solar irradiance

逐渐降低。在辐照度为 200 W/m² 时，多主栅光伏组件的平均效率为其在标准辐照度 (1000 W/m²) 条件下时的 97.44%，这表明多主栅组件仍具有较好的弱光响应。多主栅技术叠加半片技术后“多主栅+半片”组件的弱光响应稍微变差，这主要是由于采用半片技术的组件的 R_s 更小，热损耗在低辐照度时影响更小而导致的。

3 结论

本文研究了多主栅技术对组件性能的影响，并与常规 5 主栅组件的性能进行了对比，同时分

析了多主栅组件的弱光性能，得出以下结论：

1) 对于多主栅组件来说，随着圆形焊丝直径的增加，电池的焊接拉力逐渐增大，组件的 V_{oc} 和 I_{sc} 由于遮光损失稍有降低，但 R_s 先略有上升然后降低； FF 先略有降低，然后提升。整体功率表现来看，采用直径为 0.40 mm 圆形焊丝的多主栅组件性能更佳。

2) 相比于常规 5 主栅组件，多主栅组件的 I_{sc} 和 FF 显著提升，进而组件功率提升约 2.5%。多主栅技术叠加半片技术后，组件功率进一步提升，比常规 5 主栅组件提升约 5%。

3) 背钝化多主栅单晶硅光伏组件具有相对较好的弱光响应。

相信随着多主栅技术和相关设备的日趋成熟，多主栅电池和组件必将成为市场的主流产品。

【参考文献】

- [1] STEFAN B, GISO H, ROBIN N, et al. Multi-busbar solar cells and modules: High efficiencies and low silver consumption[J]. Energy procedia, 2013, 38: 334 – 339.
- [2] STEFAN B, GISO H, ROBIN N, et al. The multi-busbar design: An overview[J]. Energy procedia, 2013, 43: 86 – 92.
- [3] MASSIMO N, MAURO Z, PAOLO M, et al. Simulation study of multi-wire front contact grids for silicon solar cells[J].Energy procedia, 2015, 77: 129 – 138.

PERFORMANCE ANALYSIS OF MULTI-BUSBAR PV MODULES

Liu Shiyong, He Sheng, Shan Wei, Li Hongwei, He Baoyang
(Chint Solar (Zhejiang) Co., Ltd., Hangzhou 310053, China)

Abstract: The influence of the welding wires with deference diameters on the performance of multi-busbar PV modules was studied. A compare of the different electrical performance between conventional 5-busbar and multi-busbar PV modules was discussed. The results show that multi-busbar modules using the welding wire with a diameter of 0.40 mm has the best performance with improved I_{sc} and FF . The power conversion efficiency of multi-busbar PV modules has an increase of 2.5% compared with 5-busbar PV modules. Moreover, the multi-busbar PV modules has excellent performance under low illumination conditions.

Keywords: PV module; multi-busbar; round welding wire; halved cells; low illumination