



太阳电池正面图形的设计与研究

镇江大全太阳能有限公司 ■ 王俊* 李良 李化阳 姚玉 王霞 赵勇

摘 要：重点研究了晶体硅太阳电池正面主栅结构，从正面银浆单耗、电性能、组件焊接拉力等方面进行了工艺优化，在保证电性能效率和组件焊接拉力的情况下，达到降低成本的目的。

关键词：晶体硅太阳电池；正面图形结构；焊接拉力

0 引言

太阳能作为战略性新兴能源产业，由于其具有安全、少污染和可再生性，已成为人类发展所必须的清洁能源，尤其是光伏发电，近年来备受各国的重视和推广。而制约光伏发电进一步发展的最主要原因是度电成本偏高，一直未能实现平价上网。对电池端而言，降低度电成本的途径主要有 2 个，一个是提高电池的光电转换效率，另一个是降低电池的每瓦生产成本。然而很多新技术在提高光电转换效率的同时，往往又提高了生产成本。在晶体硅太阳电池的制备中，正面电极印刷时的银浆消耗占整个生产辅料成本的 40% 以上，因此，如何在现有生产条件下有效降低银

浆成本成为重中之重^[1]。本文从太阳电池正面图形入手，通过几组实验数据，在不同设计图形下找到正面银浆单耗、电性能、组件焊接拉力等方面的最佳平衡，以达到降低成本的目的。

1 实验

本次实验样品采用多晶硅太阳电池，以 4 种不同正面图形为例，在电池正面寻求银浆单耗、电性能及组件焊接拉力的最佳平衡点。其中，设计的 4 种正面图形细栅保持一致，主要区别在于主栅段，分别为：八分段无镂空、八分段圆形镂空、八分段方形镂空，以及连栅方形镂空，具体数值如表 1 所示。浆料为正常量产浆料，印刷前

表 1 4 种正面图形的理论计算数值

参数	八分段无镂空	八分段圆形镂空	八分段方形镂空	连栅方形镂空
单根主栅镂空面积 /mm ²	0.00	4.46	4.41	8.82
主栅镂空周长 /mm	0.0	177.1	252.0	504.0
分段镂空面积 /mm ²	18.9	18.9	18.9	0.0
单根主栅面积 /mm ²	86.8	82.3	82.3	96.8
主栅总面积 /mm ²	433.8	411.5	411.7	484.2
细栅面积 /mm ²	428.2	428.2	428.2	428.2
正面总面积 /mm ²	862.0	839.7	839.9	912.4

收稿日期：2018-12-03

通信作者：王俊(1988—)，男，硕士、研发工程师，主要从事晶体硅太阳电池方面的研究。jun_l.wang@zj-dqsolar.com



奇偶分片；实验过程中收集印刷银浆单耗、电性能数据，并跟踪组件端焊接拉力数据。

本实验中丝网印刷设备采用 ASYS 设备，网版为新倬壮无网结网版，参数规格为：目数 400，线径 16 μm ，线宽 24 μm ，纱厚 21 μm ，膜厚 11 μm ；刮条为数木碳纤维刮条；印刷参数为网距 1.2 mm、印刷压力 60 N、印刷速度 300 mm/s。印刷单耗采用上海方瑞 FA1004 型电子天平称量；电池转换效率采用 Halm 高精度 I - V 测量系统测量；焊接拉力采用小牛 CH513 焊接机测量；焊带采用凡登聚光生产的 1.0 mm \times 0.25 mm 焊带。

2 结果与讨论

2.1 银浆单耗分析

4 种不同设计的正面图形在同一台 ASYS 设备上印刷，产生的银浆单耗如表 2 所示。从表 2 可以看出，3 种八分段图形的银浆单耗均明显低于连栅图形；而 3 种八分段图形中，无镂空的银浆单耗大于圆形镂空和方形镂空，但差异较小。此结果主要取决于设计图形理论面积的大小。

表 2 4 种正面图形对应的理论面积及银浆单耗

图形设计	编号	正面图形理论面积 /mm ²	银浆单耗 /g
八分段无镂空	A	862.0	0.1050
八分段圆形镂空	B	839.7	0.1042
八分段方形镂空	C	839.9	0.1032
连栅方形镂空	D	912.4	0.1121

2.2 电性能参数

分组验证上述 4 种不同图形制备的电池的电性能差异，具体如表 3 所示。

从表 3 可以看出，A、B、C 3 组八分段图形制备的电池的效率差异较小，平均效率为 18.451%，而采用连栅图形设计的 D 组效率比 A、B、C 3 组的平均值高 0.018%。由此可知，八分段图形的主栅有无镂空对效率的影响不大。电池的主栅线主要是起收集电池副栅线的电流并将

表 3 4 种正面图形制备的电池的电性能数据

编号	图形设计	实验数量 / 片	效率 / %	电流 / A	电压 / V	填充因子 / %
A	八分段无镂空	200	18.446	8.8370	0.6337	80.93
B	八分段圆形镂空	200	18.451	8.8400	0.6338	80.91
C	八分段方形镂空	200	18.455	8.8430	0.6339	80.89
D	连栅方形镂空	200	18.469	8.8420	0.6339	80.96

此电流传输至互联条的作用，还要保证电池与互联条的可焊性和一定的焊接牢固度^[2]。电池所产生的电流通路是连接电池的互联条而不是电池的主栅线，因此，组件中与互联条重合的主栅线部分可采用大面积的镂空^[2]，即 A、B、C 这 3 组八分段图形设计并不影响组件的输出功率，所以 D 组与 A、B、C 3 组之间的效率差异很小。

2.3 组件焊接拉力

在焊接条件一定的情况下，组件焊接拉力的大小取决于焊带与浆料的接触面积，以及浆料的厚度。浆料厚度相同时，焊带与浆料的接触面积越大，焊带的焊接稳定性越高，整体拉力值提升；浆料接触面积相同时，浆料偏薄易使焊接形成 Sn/Pb/Ag 合金层后剩余的银层偏薄，导致剥离拉力较小。

2.3.1 不同图形的焊接拉力对比

1) 八分段无镂空图形与八分段圆形镂空图形的对比。选取帝科 92A 浆料（后文简称“浆料 a”）为正面银浆，采用同一焊接机台验证 A、B 组的拉力大小，结果为 B>A，即圆形镂空图形的主栅焊接拉力值大于无镂空图形的。在 Zeta 显微镜拍摄下，二者的主栅形貌如图 1、图 2 所示。可以看出，5 倍显微镜下，无镂空图形的主栅表面有很多小的漏硅，高低起伏很大，像表面有很多镂空点；且相对于圆形镂空图形的主栅，无镂空图形的主栅上镂空点小而密。圆形镂空图形的

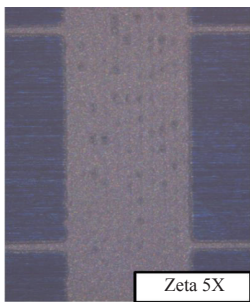
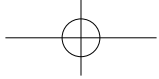


图1 八分段无镂空图形的主栅形貌

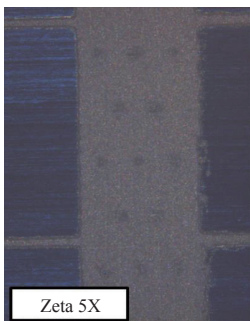


图2 八分段圆形镂空图形的主栅形貌

主栅，镂空处乳剂在印刷时起到支撑作用，相对流动性好，下墨增多，镂空点边缘浆料堆积增加了主栅的厚度，使焊接时有效接触面积增加，对焊接拉力有改善作用。

2) 八分段圆形镂空图形与八分段方形镂空图形的对比。圆形镂空图形与方形镂空图形设计的镂空比保持一致，在镂空面积相同的情况下，方形镂空图形的镂空边缘周长大于圆形镂空图形，镂空部分边缘因为乳剂支撑对浆料下墨起到积极作用，焊

接时与焊带的有效接触面积增加，在一定程度上增加了焊接拉力，因此，焊接拉力 $C > B$ 。

3) 八分段方形镂空图形与连栅方形镂空图形的对比。相对于八分段图形的主栅，连栅图形的主栅面积增加了 22%，接触面积也相应增加。连栅图形无明显起伏，焊接稳定性增加，整体焊接拉力值明显高于八分段图形。

2.3.2 不同图形的对比结果

综上所述，使用相同焊接机进行焊接，4 种不同图形对应的焊接拉力按从大到小排序为 $D > C > B > A$ 。上述拉力值均满足目前行业主流需求“焊接拉力值要大于 2 N/mm”。

2.3.3 2 种浆料对应不同图形时的焊接拉力分布对比

除浆料 a 外，另选取首骋 180-J 浆料（下文简称“浆料 b”）作为正面银浆，在相同焊接条件下，分别使用 4 种不同图形进行焊接拉力测试。

图 3 为浆料 a 对应的 4 种图形下的焊接拉力分布，表 4 为具体焊接拉力分布数据。

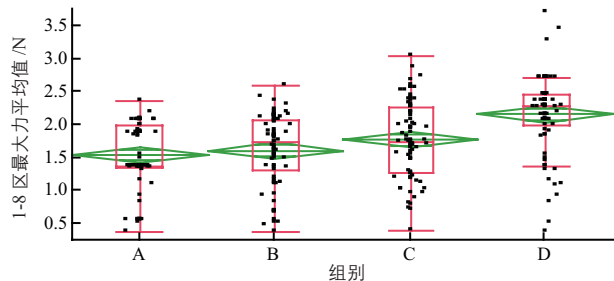


图3 浆料 a 采用不同图形设计时的焊接拉力分布

表 4 浆料 a 采用不同图形设计时的焊接拉力分布

编号	焊接拉力测试数目	焊接拉力均值 /N	标准差	标准误差均值	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
A	90	1.52938	0.501036	0.05281	1.4244	1.6343
B	75	1.59977	0.539057	0.06224	1.4757	1.7238
C	80	1.76355	0.577785	0.06460	1.6350	1.8921
D	80	2.14595	0.585772	0.06549	2.0156	2.2763

从图 3 和表 4 可知，正面银浆选取浆料 a 时，使用相同焊接机焊接并进行拉力测试，4 种不同图形的焊接拉力从大到小排序为 $D > C > B > A$ 。

图 4 为浆料 b 对应的 4 种图形下的焊接拉力分布，表 5 为具体焊接拉力分布数据。

从图 4 和表 5 可知，正面银浆选取浆料 b 时，

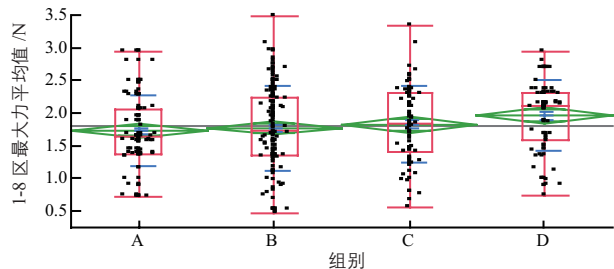


图4 浆料 b 采用不同图形设计时的焊接拉力分布

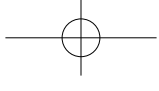


表 5 浆料 b 采用不同圆形设计时的焊接拉力分布

编号	焊接拉力测试数目	焊接拉力均值 /N	标准差	标准误差均值	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
A	125	1.72699	0.537911	0.04811	1.6318	1.8222
B	130	1.76968	0.650609	0.05706	1.6568	1.8826
C	80	1.82725	0.587610	0.06570	1.6965	1.9580
D	84	1.96021	0.544682	0.05943	1.8420	2.0784

使用相同焊接机焊接并进行拉力测试, 4 种不同图形的焊接拉力从大到小排序为 $D > C > B > A$ 。此结果与之前浆料 a 的实验结果相符。

3 结论

本文详细讨论了 4 种不同图形设计的主栅在银浆单耗、电性能、组件焊接拉力方面的表现。综合实验数据可以得出如下结论:

1) 4 种图形的理论面积大小决定了其银浆单耗的大小; 参照理论数值, 连栅方形镂空图形的银浆单耗明显大于 3 种八分段图形。

2) 主栅的作用主要为收集电池细栅线的电流并将此电流传输到互联条, 还要保证电池与互联条的可焊性和一定的焊接牢固度。因此, 分段设计不会影响到电池效率及组件的输出功率。通过对比实验可以看出, 采用不同分段设计的电池的转换效率差异较小。

3) 连栅图形的组件端焊接拉力值明显大于八分段图形。在 3 种八分段图形中, 圆形镂空图形的焊接拉力大于无镂空图形; 同样的镂空比例下, 方形镂空图形的焊接拉力大于圆形镂空图形, 主要原因为镂空部分的乳剂对浆料下墨塑形有积极作用, 增加了焊接时的有效接触面积, 从而提升了焊接拉力。

综上所述, 在工艺条件一定的情况下, 4 种图形设计的电性能差异不大, 可根据客户要求及自身成本需求在银浆单耗与焊接拉力性能方面做出选择。

参考文献

- [1] 李良, 李化阳, 闻震利, 等. 基于分布印刷的晶体硅太阳能电池正面电极印刷技术 [J]. 太阳能, 2013, (23): 16 - 18.
- [2] 温建军, 葛剑, 黄海涛, 等. 晶体硅太阳能电池主栅线设计探讨 [A]. 第 13 届中国光伏大会论文集 [C]. 北京, 2013. 太阳能

(接第 56 页)

切向冻胀力的实际大小需根据项目的实际情况, 通过试验确定更为准确。通过项目初步试验, 回填中粗砂对桩的切向冻胀力与引孔回填的孔径大小、中粗砂本身冻胀特性、密实度、含水量及桩身侧表面粗糙程度等有关。

对于光伏支架基础而言, 在保证大幅消减冻胀力的前提下, 还要使方案具有经济性, 并便于施工。因此, 对于减小桩身切向冻胀力时选择的回填材料仍可进一步分析研究。试验表明, 在桩周涂刷 1 ~ 2 cm 的沥青的材料也可较好地消减切

向冻胀力, 具体涂刷沥青厚度应根据不同工程地质条件及环境温度来确定。

参考文献

- [1] 李根森, 并网光伏电站支架基础对比分析研究 [J]. 太阳能, 2017, (1): 32 - 37, 6.
- [2] 高旭英, 王黎明. 冻土地区某光伏并网发电场支架基础设计 [J]. 发电技术, 2015, (11): 97 - 99.
- [3] JGJ 118-2011, 冻土地区建筑地基基础设计规范 [S].
- [4] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范 [S].
- [5] 赵明华. 土力学与基础工程 (第 4 版) [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2014. 太阳能