

隆基“无隐裂智能焊接”技术详解

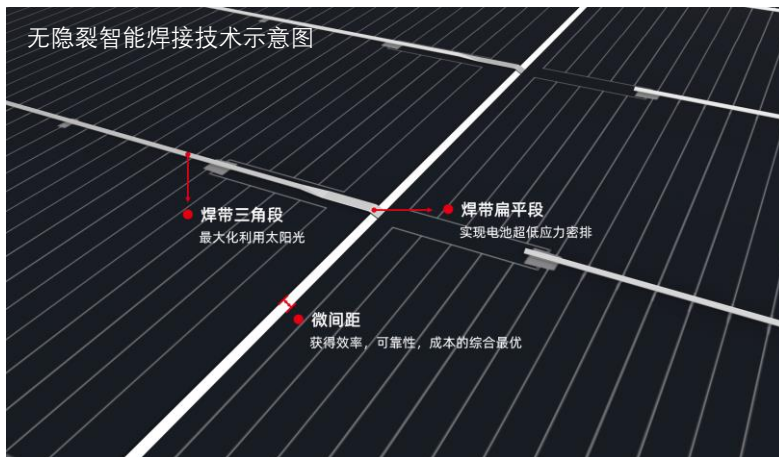
1. 背景介绍

众所周知，高效率光伏组件可以有效提升有限空间下的光伏装机规模，降低光伏系统材料与设备投资成本，同时降低光伏组件本身对胶膜、玻璃等资源的消耗。因此，转换效率的提升是光伏技术发展的永恒主题。

除了光伏电池效率的提升，组件端近年来出现了不少提高转换效率的技术，典型的如半片技术、多主栅技术。组件端技术的提效原理包括3个方面：提高光学利用率；降低电学损失；优化组件尺寸。半片与多主栅技术均降低了焊带上的电流从而降低了组件内部的电学损失；多主栅技术所使用的圆形焊带相比扁焊带提高了组件的光学利用率，双面电池搭配白色EVA封装单面组件也是提高了光学利用率；尺寸方面，受益于设备加工精度的提升，电池片的间隙一直成缩小的趋势；市场上也存在零电池片间隙的叠瓦技术；作为市场主流，成熟度最高的多主栅半片技术也试图通过技术升级实现电池片间零间隙或微间隙，进一步提高技术优势，隆基在这方面做了长期、深入的研究，并在2020年6月29日发布的Hi-MO 5(182mm)产品上将其独有的“无隐裂智能焊接技术”正式推向市场，使这款为迎接全球平价时代而打造的产品真正实现了效率、功率、BOS成本、可靠性的综合最优。

2. “无隐裂智能焊接”技术

隆基独有的“无隐裂智能焊接”技术采用的是一体式分段焊带，三角段可以最大化利用正面太阳光，扁平段可以高可靠地实现电池片微距互联。经多次验证，应用该技术可以使组件效率较常规多主栅产品再提升0.3%_{abs.}。



在组件生产过程中，要实现电池片零间隙或微间隙互联的主要技术难点就在于制造精度的控制和避免隐裂的产生。使用常规圆焊带直接零间隙或微间隙互联显然存在问题，因此市场上出现了“圆焊带整形”的技术方案，即在电池片串焊阶段，实时地将电池片连接处的焊带打扁。

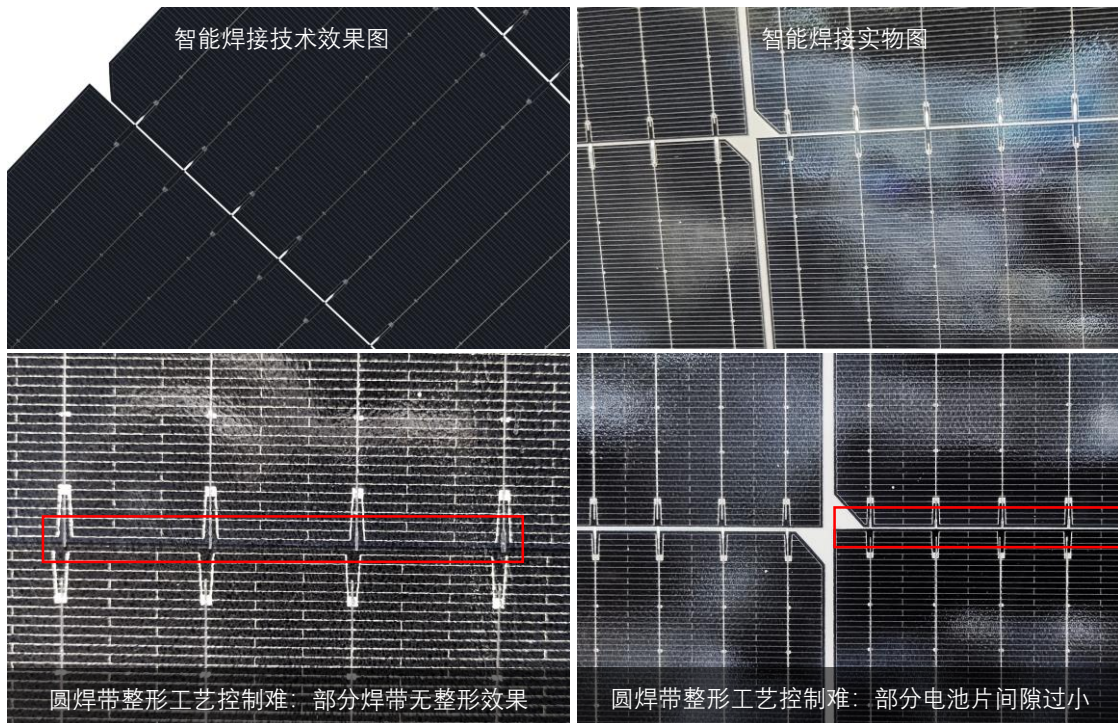


圆焊带整形方案实物图

通过“圆焊带整形”技术方案可实现电池片叠瓦式互联，此时电池片排列密度最高，该技术的缺点在于：三明治结构仍然在连接处容易出现小隐裂，小隐裂在组件长期应用中会发生扩展，因此该技术提效的同时降低了组件的可靠性；另外，电池片重叠的部分无法受光发电，同时为降低隐裂的产生需要更厚的封装胶膜，因此组件成本有较明显的提高。

之后行业中又出现了微间距互联的“圆焊带整形”方案，该方案避免了较高的成本，但电池片间要保持一定间隙避免接触在工艺控制上的难度是进一步增加的，同时连接处存在小隐裂的问题有所缓解但仍然存在。

隆基在组件生产环节采用的是一体成型的分段式焊带，焊带成型后经退火消除内应力，可以高良率、高可靠地实现电池片微间距互联，完全避免了小隐裂问题，因此可以称为“无隐裂智能焊接”。



智能焊接技术效果图

智能焊接实物图

圆焊带整形工艺控制难：部分焊带无整形效果

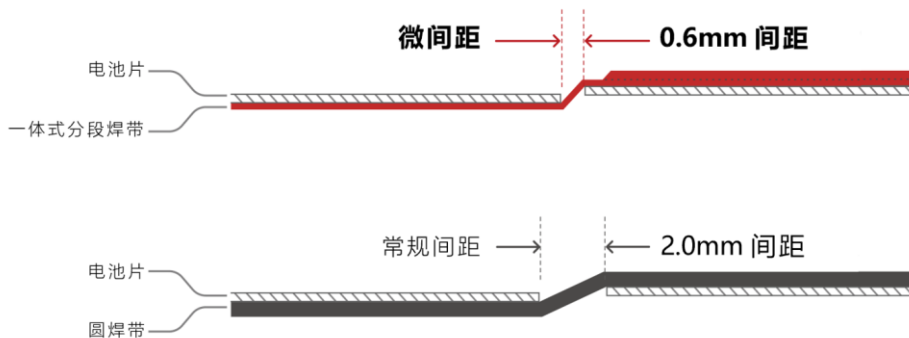
圆焊带整形工艺控制难：部分电池片间隙过小

此外，在光学利用率方面，三角状的焊带相对于圆焊带不仅对直射光的利用更高，在非直射光的情况下，由于利用的是一次反射光而非二次反射光，其不同入射角下的效率损失也较圆焊带略低，因此在发电性能上有一定优势。

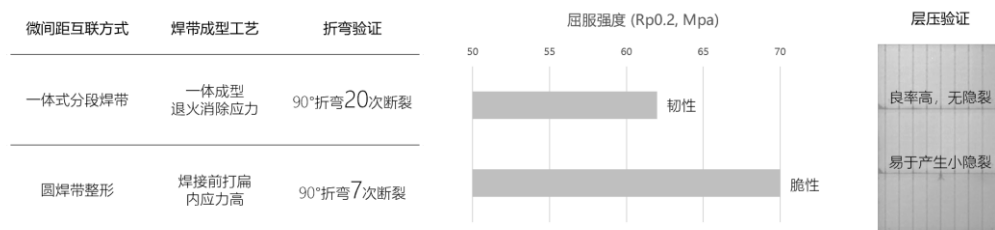


3. “无隐裂智能焊接”技术的可靠性验证

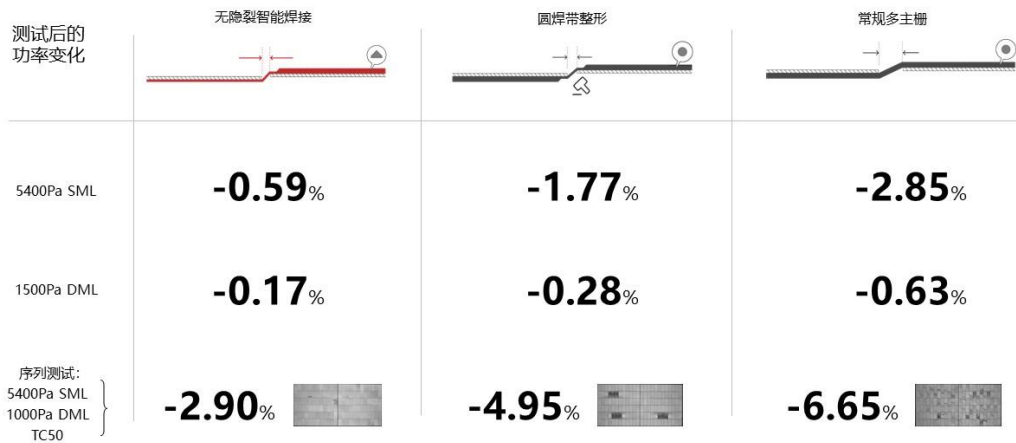
智能焊接与常规多主栅结构示意图



一体式分段焊带的柔性互联，一方面因其在电池连接处为扁平形状，在串焊、层压过程中焊带均不会发生较大变形；另一方面相对圆焊带整形，一体式分段焊带为一体成型，成型后经退火过程消除内部应力，因此屈服强度低表现出柔性。柔性的焊带使电池片与焊带连接处的应力低，避免了小隐裂的产生。折弯实验中，一体式分段 90°折弯 20 次断裂，整形后的圆焊带则折弯 7 次就会断裂。将一体式分段焊带和整形圆焊带封装在同一小样件中(电池片微间距)，可见使用整形圆焊带的位置产生了小隐裂，一体式分段焊带处无隐裂产生，如下右图所示。



为进一步验证“无隐裂智能焊接”技术的可靠性优势，我们封装了三种 182 组件，分别采用智能焊接技术、圆焊带整形技术及常规圆形焊带，分别做了动态机械载荷(DML)、静态机械载荷(SML)以及序列测试，结果如下。可见不同测试中采用智能焊接技术的 182 组件均表现出最低的功率衰减。序列测试为“静态载荷→动态载荷→热循环”，更贴近组件长期使用的实际工作状态，经该测试采用圆焊带整形技术的组件功率衰减 4.95%，9 块电池片严重隐裂；采用常规多主栅技术的组件功率衰减 6.65%，出现了大范围的贯穿隐裂；采用智能焊接技术的组件衰减则仅衰减 2.90%。



总结：隆基经长期、深入研究后推出了“无隐裂智能焊接”技术，在多主栅半片技术基础上进一步提高了光伏组件效率，同时显著提高了组件的可靠性。随着大尺寸组件在大型地面电站的大规模应用，该技术可以切实保障组件的载荷能力，使光伏组件在生命周期内产生更多的发电量，为电站投资者带来价值。