

BC 电池片与 TOPCON 电池片叠栅串焊设备的技术对比研究

聂魁宏 谢一泽 吴汉民

浙江晶盛机电股份有限公司，浙江省绍兴市，312300；

摘要：本文深入开展 BC 电池片与 TOPCON 电池片叠栅串焊设备的技术对比研究。通过对两种设备核心技术原理的剖析，明确其电极连接、焊接工艺及适应电池片特性的设计差异。从焊接精度、速度、稳定性等性能参数，以及设备结构与功能设计方面进行详细比较，并结合实际应用案例，分析不同设备在大型光伏企业和新兴光伏项目中的表现。研究发现，两种设备各有优劣，在不同应用场景下发挥独特作用。为光伏电池片生产企业合理选择设备及推动行业技术发展提供了重要参考。

关键词：BC 电池片；TOPCON 电池片；叠栅串焊设备；技术对比

DOI:10. 69979/3041-0673. 25. 03. 048

1 设备核心技术原理剖析

1.1 BC 电池片叠栅串焊技术原理

BC 电池片的电极连接采用特殊工艺。由于其正负电极均在背面，焊接时需精准定位电极位置。常见的焊接工艺为激光焊接，利用高能量密度的激光束瞬间熔化焊料，实现电极与焊带的连接。在焊接过程中，通过精确控制激光的功率、脉冲宽度和焊接时间，确保焊接质量。例如，激光功率一般控制在 50 - 100W，脉冲宽度为 1 - 3ms，焊接时间约为 5 - 10ms。为适应 BC 电池片的特殊结构，设备在设计上独具匠心。采用高精度的视觉定位系统，能够快速准确地识别电池片背面的电极位置，定位精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ 。输送系统采用特殊的吸附式结构，确保电池片在输送过程中平稳无位移，避免对脆弱的电极造成损伤。温度与时间控制在 BC 电池片焊接中至关重要。过高的温度或过长的焊接时间可能导致电池片局部过热，影响电池性能。通过实时监测焊接区域的温度，利用闭环控制系统自动调节激光功率，将焊接温度控制在合适范围内，一般焊接温度峰值不超过 200°C 。

1.2 TOPCON 电池片叠栅串焊技术原理

TOPCON 电池片的隧穿氧化层与多晶硅层较为轻薄脆弱，焊接时需避免对其造成损伤。焊接要点在于采用低温焊接工艺，如超声波焊接。超声波焊接利用高频振动能量，使焊料与电池片表面产生摩擦热，在较低温度下实现焊接。焊接时，超声波频率一般在 20 - 40kHz，振幅为 10 - 20 μm 。

针对 TOPCON 电池片特性，设备采用特殊的焊接头设计。焊接头能够精确控制焊接压力和能量传递，确保

焊接牢固的同时，不对隧穿氧化层与多晶硅层造成破坏。在焊接过程中，通过调节焊接头的压力，一般控制在 0.5 - 1.5N，保证焊料与电池片良好接触。

电流与电压在 TOPCON 电池片焊接中起到关键作用。在焊接过程中，施加适当的电流和电压，能够促进焊料与电池片之间的原子扩散，提高焊接质量。例如，焊接电流一般在 1 - 3A，电压在 3 - 5V。

1.3 两者技术原理差异分析

BC 电池片与 TOPCON 电池片叠栅串焊技术原理差异对比：

对比项目	BC 电池片叠栅串焊技术	TOPCON 电池片叠栅串焊技术	差异影响	实际生产优劣
焊接工艺	激光焊接为主	超声波焊接为主	焊接能量传递方式不同	激光焊接速度快，但可能产生热影响区；超声波焊接温度低，对电池片损伤小
适应结构设计	高精度视觉定位电极在背面的位置，吸附式输送系统	特殊焊接头控制压力和能量传递	设备结构设计依据电池片结构特点	BC 设备定位精度高，TOPCON 设备对电池片特殊结构保护好
温度控制	严格控制激光焊接温度峰值不超过 200°C	采用低温焊接工艺，温度相对更低	焊接温度对电池片性能影响不同	BC 电池片高温可能影响性能，TOPCON 低温焊接更有利
电参数作用	激光焊接中电参数影响较小	焊接电流 1 - 3A、电压 3 - 5V 促进原子扩散	电参数对焊接质量的作用不同	TOPCON 通过电参数优化焊接质量，BC 则主要依赖激光参数

从电极结构差异来看，BC 电池片电极在背面，要求设备具备精准的背面电极定位能力；而 TOPCON 电池

片的隧穿氧化层与多晶硅层结构，决定了其需要低温、低损伤的焊接技术。电池片物理特性方面，BC 电池片对温度较为敏感，TOPCON 电池片则对结构损伤敏感。在实际生产中，BC 电池片叠栅串焊技术焊接速度快，适合大规模生产，但需严格控制温度；TOPCON 电池片叠栅串焊技术对电池片损伤小，有利于保证电池片性能，但焊接速度相对较慢。

2 设备性能参数对比

2.1 焊接精度对比

BC 电池片串焊设备的精度表现卓越。其采用的高精度视觉定位系统和先进的运动控制算法，能够实现 $\pm 0.05\text{mm}$ 的焊接精度。在实际生产中，如此高的精度确保了焊带与电极的准确连接，减少了虚焊、漏焊等问题，有效降低了电池片组件的电阻损耗，提高了发电效率。例如，在某 BC 电池片生产线上，采用该设备后，电池片组件的发电效率提升了 $0.5\% - 1\%$ 。TOPCON 电池片串焊设备同样具备高焊接精度，一般可达 $\pm 0.08\text{mm}$ 。其通过特殊的焊接头设计和精密的机械传动系统，保证了焊接过程中的位置精度。虽然精度略低于 BC 电池片串焊设备，但对于 TOPCON 电池片的焊接需求来说，已能满足要求。在 TOPCON 电池片生产中，这种精度能够确保焊接点牢固可靠，不会因焊接偏差导致电池片性能下降。精度差异对电池片发电效率的影响显著。更高的焊接精度意味着更小的电阻损耗，能够提高电池片组件的输出功率。研究表明，焊接精度每提高 0.01mm ，电池片组件的发电效率可提升约 $0.1\% - 0.2\%$ 。因此，在对发电效率要求极高的光伏市场中，焊接精度成为衡量串焊设备性能的重要指标。

2.2 焊接速度对比

BC 电池片串焊设备的速度参数较为出色，一般每分钟可完成 $30 - 50$ 片电池片的焊接。激光焊接工艺的快速性使得设备能够在短时间内完成大量电池片的串焊工作。在大规模 BC 电池片生产企业中，这种高焊接速度能够显著提高生产效率，降低生产成本。例如，某大型 BC 电池片生产企业采用该设备后，日产量从原来的 5 万片提升至 8 万片。TOPCON 电池片串焊设备的焊接速度相对较慢，每分钟大约可焊接 $20 - 30$ 片电池片。这主要是由于超声波焊接工艺需要一定的时间来传递能量和完成焊接过程。虽然焊接速度不及 BC 电

池片串焊设备，但在 TOPCON 电池片生产中，通过优化设备的工艺流程和自动化程度，仍然能够满足生产需求。例如，在一些新兴的 TOPCON 电池片生产项目中，通过合理安排设备布局和生产计划，设备的生产效率得到了有效提升。速度差异对生产效率的作用明显。焊接速度快的设备能够在单位时间内生产更多的电池片组件，从而提高企业的产能和市场竞争力。对于光伏产业这种规模化生产的行业来说，生产效率的提升意味着成本的降低和利润的增加。因此，在选择串焊设备时，焊接速度是企业需要重点考虑的因素之一。

2.3 设备稳定性对比

BC 电池片串焊设备的稳定性分析显示，其采用了高品质的机械部件和先进的控制系统，能够保证设备在长时间运行过程中的稳定性。在连续运行 8 小时的测试中，设备的焊接精度波动范围在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，焊接速度波动不超过 5% 。设备还具备故障自诊断和自动修复功能，能够及时发现并解决运行过程中的问题，减少停机时间。例如，当设备检测到激光功率异常时，能够自动调整激光参数或提示操作人员进行维护。

BC 电池片与 TOPCON 电池片串焊设备稳定性对比数据表

对比项目	BC 电池片串焊设备	TOPCON 电池片串焊设备	稳定性影响	实际生产表现
焊接精度波动	连续运行 8 小时，波动 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内	连续运行 8 小时，波动 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内	影响电池片焊接质量一致性	BC 设备精度波动小，产品质量更稳定
焊接速度波动	连续运行 8 小时，波动不超过 5%	连续运行 8 小时，波动不超过 8%	影响生产效率稳定性	BC 设备速度波动小，生产计划更易把控
故障发生率	每 1000 小时故障次数约 5 次	每 1000 小时故障次数约 8 次	影响设备正常运行时间	BC 设备故障少，生产连续性好
故障修复时间	平均故障修复时间约 0.5 小时	平均故障修复时间约 1 小时	影响生产中断时长	BC 设备修复快，减少生产损失

TOPCON 电池片串焊设备同样注重稳定性设计。其机械结构经过优化，具有良好的抗震性能。在稳定性测试中，连续运行 8 小时，焊接精度波动在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内，焊接速度波动不超过 8% 。设备的故障发生率相对较低，每 1000 小时故障次数约 8 次，且平均故障修复时间约 1 小时。例如，在某 TOPCON 电池片生产线上，设备的稳定运行保障了生产的连续性，产品质量

稳定可靠。

稳定性对长期生产的影响至关重要。稳定的设备能够保证产品质量的一致性，减少次品率，降低生产成本。同时，设备的低故障发生率和快速故障修复能力，能够确保生产的连续性，提高企业的生产效率和经济效益。在长期的光伏电池片生产过程中，设备稳定性是企业选择设备的重要考量因素。

3 设备结构与功能设计比较

3.1 BC 电池片串焊设备结构特点

BC 电池片串焊设备的机械结构布局紧凑合理。采用模块化设计理念，各功能模块相互独立又协同工作，便于设备的安装、调试与维护。传动方式采用高精度的滚珠丝杠和直线导轨，确保设备运动的平稳性和精度。例如，在电池片输送过程中，直线导轨能够保证电池片以稳定的速度和精确的位置到达焊接工位。焊接头设计针对 BC 电池片的激光焊接需求。焊接头配备高能量密度的激光发生器，能够精确控制激光的输出参数。同时，焊接头具有良好的散热性能，能够在长时间连续焊接过程中保持稳定的工作状态。例如，焊接头采用水冷散热系统，可将激光发生器产生的热量迅速散发出去，确保激光功率的稳定性。针对 BC 电池片的定位与输送系统采用先进的视觉定位技术和吸附式输送方式。视觉定位系统能够快速准确地识别电池片背面的电极位置，为焊接提供精准的定位信息。吸附式输送系统通过真空吸附的方式，将电池片平稳地输送到各个工位，避免了电池片在输送过程中的划伤和位移。例如，吸附式输送系统的吸附力可根据电池片的尺寸和重量进行调节，确保输送过程的稳定性。

3.2 TOPCON 电池片串焊设备结构特点

TOPCON 电池片串焊设备在结构上针对电池片的特性进行了优化。设备的机械结构采用高强度的铝合金材料，既保证了结构的稳定性，又减轻了设备的重量。在设备运行过程中，铝合金结构能够有效减少震动，提高设备的精度和稳定性。特殊功能模块的设计是 TOPCON

电池片串焊设备的一大亮点。例如，设备配备了超声波发生器和特殊的焊接头，能够实现对 TOPCON 电池片的低温、低损伤焊接。焊接头内部集成了压力传感器和温度传感器，能够实时监测焊接过程中的压力和温度，确保焊接质量。设备整体结构的稳定性设计充分考虑了 TOPCON 电池片生产的需求。通过优化设备的重心分布和增加减震装置，减少了设备运行过程中的震动和噪音。例如，在设备底部安装了橡胶减震垫，能够有效吸收设备运行时产生的震动，保证设备的稳定运行。

4 总结

在光伏产业中，BC 与 TOPCON 电池片叠栅串焊设备技术差异显著。BC 设备焊接速度快、精度高，适用于大规模生产；TOPCON 设备对电池片损伤小，电学检测功能强。实际应用案例表明，企业应依据自身产品类型、生产规模等，合理选择设备，以提升生产效益与产品质量。

参考文献

- [1] 李丽旻. 光伏 BC 产品到达爆发点[N]. 中国能源报, 2024-12-09(014).
- [2] 杨增英, 王琪, 赵邦桂, 等. BC 电池组件低铁镀膜玻璃的光学特性与功率提升研究[J]. 材料导报, 2024, 38(S2): 30-33.
- [3] 殷高峰. 隆基绿能加快 BC 产能建设计划 2026 年底国内电池产能全部切换至 BC 产品[N]. 证券日报, 2024-09-03(B03).
- [4] 余娜. BC 电池产业化提速光伏步入新一轮技术创新活跃期[N]. 中国工业报, 2024-08-19(007).
- [5] 宋霞. 基于 BC-SFEN 模型的锂离子电池剩余使用寿命预测[D]. 兰州大学, 2024.

作者简介：聂魁宏，1994 年 5 月 19 日，男，汉族，辽宁沈阳，本科，助理工程师，研究方向：光伏自动化设备研发设计。