

光伏设备检验检测技术体系构建与行业应用进展

白增福

华电金上昌都新能源有限公司，西藏昌都，854000；

摘要：光伏设备检验检测技术对于保障光伏产业的良好发展具有重要意义，其技术体系主要包括基础理论知识、核心技术以及标准规范三大部分组成，在整个光伏设备应用过程中发挥重要作用，即生产环节、安装环节以及后期检修环节。现阶段已经形成一系列应用的方法，例如电致发光检测、红外热成像检测等等。同时智能化的检测手段以及标准化的体系构建都有了显著的进步。相信未来随着新型光伏技术的普及应用，这种检测技术也会向高精度、高效率以及智能化方向发展，为全球能源转型提供更好的技术支持。

关键词：光伏设备；检验检测技术；标准体系；行业应用；智能化检测

DOI：10.69979/3060-8767.26.04.009

引言

在全球能源革命的大背景下，由于光伏发电具有清洁性和能源可再生的特点，其已经成为推动新一轮能源转型的重要力量。“双碳”目标也使中国的光伏电力建设规模持续扩大，在光伏市场中所占份额逐步提升，并为全球提供着重要的清洁能源解决方案。其中，光伏设备的质量及可靠性决定了电力工程的经济收益以及能源供应的安全，因此健全并优化检验检测体系是增强产业发展的关键环节。

运用检验检测技术评估光伏组件、逆变器、支架等重要设备功能性能、安全性及适应性，不仅能够避免产品缺陷影响发电质量，还可以规避火灾、结构失效等事故风险发生，从而保障光伏系统经济性和可靠性。随着新型技术发展，例如钙钛矿/晶硅叠层电池、双面发电组件等，以及GW级的大型光伏基地建设，传统检测方法在行业应用中已不能满足精度、效率及场景适应性的需求，例如新型电池的弱光响应特性、极端气候条件下的长期耐久性验证需求等等，都对检验检测技术提出了更高的要求。本文根据光伏设备的发展现状，系统归纳了检验检测技术体系基础知识、核心技术和标准规范，详细分析了其在生产管控、电站建设及运维中的应用状况，希望以技术创新与产业实践相结合的方式，为建立科学、有效的检测体系提供参考，助力光伏行业向高质量、高智能方向迈进。

1 光伏设备检验检测技术体系构建

1.1 技术体系理论基础

光伏设备检验检测技术以保障整体光伏发电系统质量和使用寿命为目标，对相关设备进行可靠性、安全以及性能等方面的综合评估，其中检测的主要对象为光伏组件、逆变器、汇流箱、支架等相关设备及原材料供应、生产加工、安装调试到运维管理中的各个流程。全生命周期检测理念注重的是“从摇篮到退役”的全过程检验，包含产品出厂前的性能验证、上线后状态评估及故障预警功能。

检测技术的分类从不同的角度出发，可以分为：出厂检验、安装验收检测及使用过程中的检验；按照不同的参数可分为电性能检测（如功率、能耗）、机械性能检测（如抗压强度）、环境适应性测试（如高低温耐受性）等等。除此之外，还可根据其原理进行区分，例如可分为光学检测（如EL或者红外线）、电学检测（如I-V曲线测试）、物理检测（如机械负载测试）等等，多种方式可以有更多选择去制定相应的检验方案。

完善的理论体系可为技术应用提供指导作用，在确定检测对象及故障类别后，理论体系能够帮助测试人员选取适当的测试手段，并对其做出参数设置上的优化，例如针对组件内部细微裂纹宜首先进行EL测试，而对于功率衰减评估宜以I-V特性测试为主。同时，全生命周期的概念也推动测试方法从“一次抽样检测”发展为“全生命周期监控”，对光伏组件质量追溯以及性能提升提供有效的方法指导。

1.2 核心检测技术及应用

电致发光（EL）检测方法利用正向偏置电压激发电池片产生近红外辐射，配合高灵敏度成像系统记录光强

分布特征。该技术能够精确显示电池片内部存在的隐性裂纹、断栅及焊接不良等微观异常，对细微缺陷的识别能力远超肉眼观察范围，已成为光伏组件制造过程质量监控的关键环节。在出厂抽样检验及电站到货验收环节，EL检测能够准确识别具有潜在失效隐患的组件产品，有效预防因内部结构缺陷引发的长期性能衰退问题。

红外热成像检测技术基于设备表面温度分布差异实现故障诊断。光伏系统运行过程中出现的局部过热、遮挡效应或电气连接异常，均会形成明显的温度异常区域。采用红外热像设备可快速获取组件表面温度场，精确定位故障点并评估缺陷程度。这项检测手段在光伏电站日常运维中具有重要应用价值，特别适合用于大规模组件阵列的快速检测，可大幅提高故障检测工作效率。

I-V特性分析在标准光照条件（AM1.5、25℃、1000W/m²辐照度）下执行，通过记录光伏组件的电压-

电流关系曲线，获取开路电压值、短路电流值以及最大功率点等核心电气参数。作为判定组件发电效能的基础检测手段，I-V测试既应用于出厂环节的功率标定，又在电站验收阶段作为验证设备性能达标性的必要程序。得益于检测仪器的轻量化改进，现场I-V测试已发展成为监测组件性能衰退的常规运维技术。

机械与环境可靠性检测通过模拟极端运行环境来检验设备耐久性能。机械强度测试涵盖冰雹撞击、风荷载应力、结构扭曲等项目，用于评估组件抵御物理损伤的能力；环境适应性测试则实施高低温循环、湿热老化、盐雾腐蚀等实验，检验设备在各类气候条件下的可靠表现。尽管这类检测属于破坏性试验，但其所获数据对预估设备使用年限、确保电站安全运营具有决定性参考价值。

表1 光伏设备检测技术的应用及优势

技术类型	原理简述	核心应用场景	技术优势
电致发光（EL）检测	正向偏压下电池片近红外光成像	组件隐裂、断栅检测	非破坏性、高分辨率
红外热成像检测	捕捉组件表面温度分布差异	热斑、接触不良定位	快速识别异常发热区域
I-V特性测试	测量标准条件下电压-电流曲线	组件功率、效率评估	核心电性能参数获取
机械与环境可靠性测试	模拟风压、冰雹、高温高湿等环境	组件结构强度、衰减性能验证	保障长期运行可靠性

1.3 标准规范体系构建

中国光伏检测标准体系采用“四级三类”的层级结构。在顶层设计层面，国家标准（GB）确立了基础性技术规范，例如《光伏组件性能测试方法》（GB/T 6495）详细规定了电流-电压特性测试的操作规程；行业标准（NB/T）对产业进行细分，如《光伏电站并网技术要求》（NB/T 32004）对电站接入电网的检测参数进行了系统规定；考虑到地域环境差异，地方标准如青海省制定的《高原光伏电站检测技术规范》补充了特殊气候条件下的检测要求；此外，由专业机构主导制定的团体标

准，如中国光伏行业协会推出的《钙钛矿光伏组件检测方法》，能够及时跟进新型光伏技术的检测需求。

国际标准在我国检测体系建设发挥着关键性指导作用。以GSO ISO/TS 21486《光伏组件红外热成像检测指南》为例，该标准对热斑检测的具体实施步骤进行了规范；而IEC 61215系列标准则从技术层面明确了晶体硅组件在性能指标与可靠性方面的具体要求。通过积极采纳并转化这些国际标准，我国检测体系成功实现了与国际标准的无缝对接，这不仅为光伏产品的海外市场拓展创造了有利条件，也为开展国际技术合作奠定了坚实基础。

表2 光伏设备检测标准类型分析

标准类型	典型标准编号/名称	核心适用范围
国家标准	GB/T 6495.1-2023《光伏器件 第1部分：光伏电流-电压特性的测量》	组件电性能测试方法
行业标准	NB/T 10394-2020《光伏电站检修规程》	电站运维检测技术要求
国际标准	IEC 61730-2:2016《光伏组件安全要求 第2部分：试验要求》	组件安全性能验证
团体标准	T/CPIA 0015-2021《双面发电光伏组件检测规范》	双面组件特殊参数检测

2 光伏设备检验检测行业应用进展

2.1 生产环节质量管控应用

在光伏组件生产流程中，EL检测与I-V测试共同构成了质量监控的关键节点。层压工艺完成后，所有组件必须全部通过EL检测，依托自动化产线系实现隐裂、

黑斑等异常现象，其检测精度可识别 0.1mm 级别的细微裂纹；产品出厂阶段则执行抽样 I-V 测试，在标准环境测试舱内核查功率输出波动是否满足 $\pm 3\%$ 的行业规范。逆变器生产环节中，效率检测采用“直流模拟电源+电子负载”的测试方案，重点验证 MPPT 跟踪精度（要求 $\geq 99.5\%$ ）与过载保护响应时间（需 $\leq 0.1s$ ），以保障设备在电网波动工况中的可靠性。

检测设备的性能对管控成效具有决定性影响。IV 曲线测试仪需满足 0.5 级测量精度，具备多量程自动切换功能；EL 检测设备则需配置不低于 1200 万像素的近红外相机，且单次成像时长不超过 2 秒以适应产线节奏。某头部组件企业采用 AI 技术辅助 EL 缺陷识别系统后，检测速度提升 40%，误判比例控制在 0.3% 以内，实现了大规模生产中的质量精准控制。

实施全流程检测可显著减少不良品流入市场的风险。行业统计表明，严格执行检测规范的企业，其组件出厂合格率普遍超过 99.8%，相比未建立完善检测体系的企业，产品早期合格率仅有 80%。这种质量管理方式不仅确保了下游电站的发电效益，还帮助企业建立了良好的市场声誉，形成差异化竞争优势。

2.2 电站建设与运维检测应用

在电站建设阶段，质量检测重点围绕设备性能与施工标准展开。针对光伏组件进场检验环节，按批次随机选取 5% 的样品开展 EL 检测与功率复测，核验其是否与出厂参数一致；支架安装施工过程中采用高精度测量仪器核查其垂直度偏差（标准值 $\leq 0.5^\circ$ ）及基础预埋件位置误差（允许偏差 $\pm 10mm$ ），防止安装误差引发结构受力异常。系统调试阶段必须完成并网前需进行系统性能测试，重点核查逆变器并网谐波（总畸变率 $\leq 5\%$ ）、输出电压波动范围（允许范围 $\pm 5\%$ 额定电压）等关键参数，以满足电力系统并网接入规范。

运维阶段的检测重点聚焦于性能监测与故障预警。热斑检测主要借助无人机搭载红外设备进行周期性巡查，实施频次为每月全面覆盖一次，结合人工二次核查确认问题组件；发电量检测依托数据采集系统（SCADA）实现实时记录，当日发电量较理论值下降超过 10% 时自动启动预警机制。便携式 EL 检测设备在运维过程中负责识别隐裂等潜在缺陷，其电池供电可维持 4 小时不间断作业，完全适配现场检测要求。某 200MW 光伏电站采用无人机巡查方案后，组件异常识别周期由原先的 30

天压缩至 7 天，年发电量提升约 2%。

特殊环境下的检测技术运用正成为业界研究热点。针对高海拔地区作业，需考虑低气压环境对 I-V 测试的干扰，采用压力修正算法保证功率测算精确度；沿海电站则需强化盐雾腐蚀检测，重点评估支架与组件边框的耐候性。这些针对性检测措施，为不同气候区光伏电站的安全稳定运行提供了技术保障。

2.3 第三方检测与智能化技术融合

第三方检测机构长期存在设备类型繁杂、数据标准缺失的共性问题。某国家级检测中心采用物联网云平台解决方案，整合不同品牌的 EL 测试仪、IV 测试仪等检测工具，构建统一数据接入通道，完成检测结果的实时上传与自动分析。系统内置标准化报告生成模块，使报告制作时间由 72 小时缩减至 4 小时，并运用区块链技术确保数据真实性，提升检测公信力。

人工智能的应用加速了检测流程的智能化转型。在 EL 图像缺陷识别方面，基于深度学习的算法模型可自动识别隐裂、断栅、虚焊等八种典型缺陷，识别精度达到 98.2%，相比传统人工检测效率提高 15 倍。全生命周期追溯技术通过对每块组件分配唯一数字编码，整合生产检测、安装验收、运维记录等环节信息，建立完整的质量追溯体系。某第三方机构实践表明，该技术使组件质量纠纷处理时长减少三分之二，数据溯源效率得到明显改善。

智能化检测系统的运用产生了可观的经济收益。据专业机构评估，采用人工智能缺陷识别方案后，每条检测线可减少 3 名人工，年节约成本近 50 万元；通过部署物联网平台，设备使用效率提高了 25%，日检测量由 5000 件上升至 6200 件。这些技术革新不仅完善了检测工序，还为检测机构扩大业务领域、增强行业竞争力创造了有利条件。

3 结束语

光伏设备检验检测技术体系的完整性，是支撑行业从规模扩张转向质量效益型发展的核心支柱。通过理论基础、核心技术与标准规范的协同构建，该体系已实现对光伏设备全生命周期的质量管控，为产业提供了从技术研发到终端应用的全链条保障。标准化与智能化的深度融合，则进一步释放了检测技术的价值——国家标准的完善（如 18 项光伏领域国家标准的发布）为检测提

供了统一技术框架,而AI缺陷识别、物联网云平台等智能化手段则大幅提升了检测效率与数据可信度,二者共同推动光伏产业向高质量发展迈进。

参考文献

- [1]李奕凯,曹乐萌,王飞飞. 分布式光伏电站光伏板异常状态在线检测[J]. 信息技术,2026,(01):129-134+140.
- [2]李睿智,俞东波,陈道林,等. 基于大数据分析平台的光伏阵列故障诊断系统[J]. 科技风,2025,(36):1-3.
- [3]张魏娜. 分析光伏组件加工工艺与质量控制[J]. 产品可靠性报告,2025,(12):86-87.
- [4]王艺峰. 并网光伏逆变器效率现场试验方法研究

[J]. 电气技术与经济,2025,(12):204-206+210.

[5]杨云波,南新元,蔡鑫. 多算子协同优化的轻量级光伏板缺陷检测算法[J/OL]. 哈尔滨工业大学学报,1-15[2026-01-30].

[6]全国高原电工产品环境技术标准化技术委员会(SA C/TC 330). 高原光伏发电设备检验规范:GB/T 42006-2022[S]. 中国标准出版社,2022.

[7]王文军. 太阳能光伏设备检验工作进行的过程中应当注意到的问题[J]. 城市建设理论研究(电子版),2017,(05):266.

作者简介:白增福(1992.11-),男,汉族,本科,四川广安人,职称:高级工程师,专业研究方向:光伏设备检验检测。