

新能源背景下分布式光伏工程施工管理与质量控制

何鹏

四川 成都 610000

DOI:10.61369/WCEST.2026030020

摘 要： 在新能源的大背景下，分布式光伏凭借低碳转型的需求、技术成本的降低以及政策的扶持得以迅速发展。其施工管理需要重点关注规划安排、资源调配、安全管控以及进度协调等方面，质量控制则包括组件安装、电气连接等主要环节。人工智能、建筑信息模型等技术的融合能够提高管理效能和质量风险预警水平，未来要深入开展多技术的应用，并建立标准化的体系，以此来支持分布式光伏工程实现规模化、高质量的发展。

关 键 词： 分布式光伏工程；施工管理；质量控制

Construction Management and Quality Control of Distributed Photovoltaic Projects under the Background of New Energy

He Peng

Chengdu, Sichuan 610000

Abstract： Under the backdrop of new energy, distributed photovoltaics have rapidly developed due to the demand for low-carbon transformation, the reduction in technology costs, and policy support. The construction management of distributed photovoltaics needs to focus on aspects such as planning arrangement, resource allocation, safety control, and progress coordination. Quality control includes main links such as component installation and electrical connection. The integration of technologies like artificial intelligence and building information modeling can enhance management efficiency and the level of quality risk warning. In the future, it is necessary to conduct in-depth research on the application of multiple technologies and establish a standardized system to support the large-scale and high-quality development of distributed photovoltaic projects.

Keywords： distributed photovoltaic engineering; construction management; quality control

引言

全球能源方案加快向低碳方向转变，分布式光伏由于符合分布式能源系统特点，成为促进可再生能源占比提高的主要途径。我国2021年颁布的《分布式光伏整县（市、区）推进试点工作方案》以及双碳目标（2030年碳达峰、2060年碳中和）为其进步提供制度保障，2023年全球分布式光伏装机量在光伏总装机量里占比45%，预估2030年占比会突破60%。不过分布式光伏项目的分散特性、场景多元性（像屋顶、农光互补）给施工管理和质量把控提出更高的标准，要从规划、资源调配、安全管理等方面搭建系统化的方案。人工智能和物联网、BIM技术的结合为处理现场协调、质量风险等难题提供新途径，促使施工管理朝着精细化、智能化方向升级，帮助新能源产业实现高质量进步。

一、新能源背景与分布式光伏工程基础

（一）新能源发展趋势及其影响

全球能源结构正加快朝着低碳化方向转变，分布式光伏由于符合分布式能源系统的特点，成为了新能源发展的主要方向。其兴起源自传统化石能源面临的环境约束以及能源安全方面的需求，并且光伏组件价格在近十年下降幅度超过80%，促使分布式光伏由补充能源向主力能源转变。在中国双碳目标背景下的整县推进相关政策、欧洲可再生能源指令的修订等，为分布式光伏发电提供制度方面的保障。2023年世界分布式光伏装机规模在光伏总体装机规模里占比达45%，预估2030年该占比会突破60%^[1]。

这一趋向要求施工管理方式从集中式变为分散式、标准化转为定制化，同时要适配不同应用场景的技术准则与安全规范，确保系统长久稳定运转。

（二）分布式光伏工程的技术特征

分散式光伏项目指的是在用户端周边建设、把太阳能直接转化为电能且就近消耗的光伏体系，核心部件有光伏面板、逆变器、汇流箱、支架等，其技术原理通过于光生伏特效应。它的长处是能够通过建筑屋顶、闲置土地这类分散场地，不用开展大规模输电线路建设，减少输电损耗，减轻局部电网的压力。适用领域包含工业厂房、商业建筑、居民住宅等场景，特别适宜用电负荷平稳且存在闲置空间的区域。该工程运用模块化设计方式，组

件的标准化水平较高，利于安装和维护，系统能够根据需求灵活地进行扩容^[9]。随着技术发展，光伏板的转换效率以及逆变器的智能化程度持续提高，加强系统的可靠性和经济性。

二、分布式光伏工程施工管理核心框架

（一）施工管理的主要内容与方法

工程施工管理包含计划制定、资源调配、安全管理以及进度统筹等重要方面。在规划时期要综合考虑地理状况、电网接入规定以及业主要求，拟定施工组织规划，清楚流程和技术规范。资源调配要根据施工进度动态调节人力、设备以及材料，防止资源闲置或者短缺。安全管理要建立管理规章，组织安全培训，实施高空作业、电气操作等特种作业防护办法，定时检查并排查风险。进度协调通过拟定详尽规划，运用网络计划技术开展动态监测，迅速处理偏差状况。规范化操作流程通过统一工艺准则与验收规程，降低人为因素作用，提高施工效能与工程品质^[9]。

（二）施工管理中的关键问题与应对策略

核心问题表现于现场协同、环境效应及质量隐患三方面。现场协调困难程度高是因为项目包括屋顶、工业园区这类复杂场地，要协调业主、电力公司、施工方等多个主体，容易由于沟通不及时造成工期拖延；在环境影响方面，施工也许会破坏屋顶防水或者场地生态，需要严格把控施工边界；质量风险包含组件安装精准度不够、电气连接不规范等情况，会对发电效率和安全产生影响。应对办法包含运用 BIM 技术搭建数字化模型，实现多参与方实时信息共享和协同决策；引入绿色施工规范，采用模块化部件降低现场作业量，对施工区域开展生态保护；建立全过程质量追溯系统，通过物联网监测主要环节，开展技术培训保障操作规程落实^[10]。根据项目特性拟定应急预案，针对恶劣极端天气对设备进行加固处理，实时排查安全方面的隐患，以确保项目能够顺利开展。

三、质量控制体系与人工智能融合

（一）质量控制的理论基础与实践

1. 质量管理标准与框架

分布式光伏工程质量把控要以体系化标准和框架作为支撑，ISO 9001 质量管理体系形成核心参照，重点过程方法和持续优化，要求从设计、采购直至施工各个环节设定清晰的质量目标与管控程序。考虑到分布式光伏项目具有分散、场地多样的特性，要搭建分层级的质量责任体系，把管控要求细化到组件安装、电气连接、支架固定等具体的施工工序。ISO 14001 环境管理和 ISO 45001 职业健康安全标准应与质量管理体系协同融合，减少项目环境影响并提高现场作业安全性^[9]。质量管控框架遵循适配性、全员介入与数据引领原则，运用模块化质量管控组件，保证不同项目单元的质量标准统一，实现从材料入场检验、施工进度监督到竣工验收到全生命周期质量把控。

2. 质量评估指标与监控流程

质量评估指标根据分布式光伏核心特性来设定，包括组件转换

效率、支架安装垂直程度、逆变器并网性能等主要参数。组件效能经由第三方检测机构开展的 EL 检测和 IV 曲线分析来进行验证，安装精准度依靠激光测距仪与 BIM 模型对比实现毫米级把控。监测流程覆盖施工整个周期，从原材料入场抽样检验到现场即时影像监测，再到并网前系统性能联合调试，建立闭环式管理。某项目里引入 AI 视觉识别技术来监测支架的安装角度，通过红外热成像排查组件的隐裂风险，让质量问题的检出率提高 40%，运维成本降低 25%^[9]。维护阶段搭建通过物联网的远程监测平台，通过采集组件温度、发电量等信息，实现故障预先告警与精确查找。

（二）人工智能在光伏工程中的应用探索

1. AI 对施工管理的优化作用

机器学习算法通过对过往施工数据的分析，精确预估施工进度偏差，比如根据设备运行参数和环境数据建立的训练模型，能够提前察觉延期风险并自动生成调整方案^[7]。大数据技术融合气象状况、材料供给、人员安排等多源数据，实现施工资源动态优化调配。某分布式光伏工程引入由 AI 驱动的施工管理体系后，施工效能提高 20%，通过实时监测组件安装精准度与支架结构稳固性，质量瑕疵率下降 15%。AI 技术可在极端天气预警之际自动开展影响评估，并给出应急预案建议，保障项目按计划推进，加强质量控制体系的即时性与精确性。

2. AI 在质量控制中的创新实践

通过计算机视觉的 AI 模型能够自动识别光伏组件表面的裂纹、隐裂以及接线盒异常情况，通过无人机巡检来采集高分辨率的图像，再结合深度学习算法实现缺陷的精准定位与分类，检测的准确率相较于传统的人工抽检提高 40% 以上^[8]。AI 系统整合物联网传感器数据，针对支架安装角度、组件平整度等主要参数开展动态监测工作，当参数偏离阈值时便自动发出预警，以此减少因施工误差造成的发电量损失。质量数据解析阶段，AI 通过挖掘过往施工数据和质量问题的关联规则，搭建质量预测模型，预先识别潜藏风险点。某项目运用 AI 进行分析之后，施工质量问题的发生概率下降 35%，工程验收的周期缩短 20%，为分布式光伏工程的规模化推广提供可靠保障。

四、实证研究与未来发展路径

（一）分布式光伏项目案例实证分析

1. 案例项目背景与建设过程

挑选华东地区某商业综合体分布式光伏项目当作典型实例，此项目总体装机容量达 1.2MW，包括综合体屋顶以及南侧停车场车棚范围，地理环境属于亚热带季风气候，年均日照时长约 1800 小时。项目建造周期是 2022 年 3 月至 8 月，业主一方为商业综合体运营企业，EPC 总承包单位拥有电力工程施工总承包三级资质。项目起始阶段开展现场勘查与方案规划，针对屋顶承载限制（ $\leq 2.5\text{kN/m}^2$ ）对组件排列密度进行优化，选用 255Wp 单晶硅组件和组串式逆变器，支架体系采用铝合金材料以符合屋顶构造。施工期间按照分区流水作业进行推进，屋顶区域率先完成防水基层的处理以及支架的安装，同时开展停车场车棚的钢结构搭建工

作，组件安装时严格把控倾角（25°）和间距（1.5m），以此确保发电效率和结构安全。在建设进程里碰到梅雨时节持续降雨，项目团队通过调整施工次序、增添防雨遮盖措施、完善材料进场规划，把工期延误把控在3天以内，规避因天气状况造成的重大进度偏差。项目最终顺利通过电网公司的验收，并网发电后的首年发电量达到135万 kWh，能够满足综合体30%的用电需求，确实降低商业运营过程中的用电成本^[9]。

2. 管理实践与质量效果评估

在项目的施工管理工作里，运用 BIM 技术对支架的安装路径以及组件的排布方案展开模拟，对施工工序加以优化，降低交叉作业的冲突情况，让现场施工效率提高23%^[10]。在质量管控方面，建立三级检验机制，对光伏组件、逆变器、支架等主要装置开展进场抽样检查，抽样检查的合格率达到98.5%；针对屋顶防水处理这一环节，运用 SBS 改性沥青防水卷材和压型钢板屋面的复合施工技术，经过闭水试验检验，渗漏比率为0，切实保障建筑原有功能和光伏系统的协同安全。项目投入运行之后，连续一年发电效率维持在设计值的95%以上，运维成本相较于同类项目降低15%，展现精细化施工管理对长期运行效益的支撑功效。不过案例里也凸显出一些状况：部分施工人员对于新型铝合金支架的安装工艺熟练程度不够，使得局部支架垂直度偏差超出规范标准（最大偏差达到5mm），后期需要通过专项技能培训来加强工艺操作水准；除此之外项目前期地质勘察在对屋顶荷载评估方面存在一定误差，虽然没有对结构安全造成影响，但提醒后续项目要结合无人机三维建模技术，对屋面实际荷载分布开展精细化计算，提高荷载评估的精准度以及施工方案的可靠性。

（二）质量控制优化策略

1. 质量问题识别与预防机制

实际案例里的质量风险要点主要包括组件隐裂、接线端子松动、支架安装偏差这类常见状况。某商业屋顶的光伏项目，因组件安装的倾角误差超出3°，使得年发电量的损失达到12%；某户用光伏项目由于接线盒密封状况不佳，在雨季时引发短路故障，导致设备被烧毁且发电中断。通过 AI 的即时诊断技术能够有效处理这类问题，通过部署边缘计算装置采集施工进度里的图像、振动、温度等多模态数据，运用计算机视觉算法对组件隐裂开展精确检测，检测的准确率能够达到95%以上，相较于传统人工抽检方法有明显提高。搭建施工质量风险预估模型，凭借历史数据开展训练来识别组件安装、电气接线这类高危工序。某光伏电站运用该模型之后，施工返工率下降30%，确实减少因质量缺陷所造成的经济损失。未来要进一步融合 BIM 和物联网技术，实现施工流程的数字化映射，通过实时模拟质量风险的演变路径，为质量控制提供动态的决策支撑。

2. 持续改进方案的实施

持续优化方案将设计质量反馈回路作为核心，建立施工进度与设计环节的动态数据交互体系。把现场施工期间发觉的材料性能偏差、安装工艺瑕疵、设备运行反常等状况及时反馈到设计端，结合 BIM 模型以及物联网传感器收集的施工参数，建立设计优化的量化根据。AI 算法针对施工质量数据展开深度分析，识别组件排布的

合理性、支架结构的稳定性、电气连接的可靠性等方面存在的适配性问题，通过迭代来优化设计方案，实现设计与施工的协同改善。持续优化方案要融入全生命周期管理程序，在施工环节通过物联网传感器跟踪组件安装角度偏差、接线盒密封状况、支架垂直程度等核心质量指标，运维环节收集发电量起伏、组件衰减比率、设备故障频次等长期运行数据，把实际运行成效反馈到设计环节的材料选择与系统布局优化上，建立设计、施工、运维闭环的质量持续优化机制，最终实现工程质量和经济效益的双重提高。

（三）人工智能融合的未来展望

1. 智能技术在建设中的深化路径

通过搭建通过人工智能的智能监测体系，实时收集设备运行状况、施工环境指标以及人员操作举动等多源数据，融合 BIM 模型的空间信息和时间方面，实现施工进度与质量的动态模拟和智能预警。物联网传感器精确捕捉组件安装的精度误差、支架垂直度改变等主要数据，AI 算法迅速识别潜在的质量风险并自动生成调整措施，明显提高施工效率与精度管控水准。未来体系要对设计、采购、施工、运维各个环节的多源数据开展整合，建立从设计优化直至施工验收的全流程智慧管控方案。融合数字孪生技术，搭建工程全生命周期的虚拟影像，实现物理实体和数字模型的实时映照与互动，为分布式光伏工程的大规模应用提供可视化、可预判、可优化的技术保障，促进新能源建设朝智能化、精细化方向改革升级。

2. 挑战、机遇与政策建议

人工智能于分布式光伏工程管理里的融合运用遭遇多方面挑战。费用方面智能监测装置和算法模型的研制、布置及维护费用较高，中小型光伏项目难以承受，限制技术推广；技术推广方面，一线施工人员对智能系统的操作水平普遍欠缺，并且不同地区的地理状况、气候条件差别较大，导致通用算法的适配度有限；监管方面人工智能生成的施工数据和质量评估结果需与现有监管体系有效衔接，数据安全和隐私保护机制尚未健全。未来的发展要重点开发具备轻量化、低成本特点的智能工具，以符合中小项目的需求；强化施工人员在智能技术方面的培训，建立区域化的算法优化体系，加强算法对不同环境的适应能力。在政策方面，需推出专项补贴措施，削减智能设备购置成本；拟定人工智能于光伏施工管理里的技术准则与数据规范，清楚数据采集、传输、存储、运用的安全规定；搭建跨部门数据共享监管平台，打破设计、施工、运维、监管各环节的数据障碍，促进人工智能和分布式光伏工程管理的深度结合，全方位提高行业整体效率与质量水准。

参考文献

- [1] 陈志远. 补贴退坡背景下分布式光伏项目投资策略博弈研究 [D]. 南华大学, 2023.
- [2] 赵恒. 基于 MSPC 的光伏产品生产过程质量控制研究 [D]. 安徽理工大学, 2023.
- [3] 庄静茹. 分布式光伏并网的电能质量分析与评估 [D]. 山东大学, 2022.
- [4] 陈瑶. TW 光伏新能源公司采购成本控制优化研究 [D]. 西北农林科技大学, 2022.
- [5] 周亦蒙. W 大学科研楼工程施工质量控制研究 [D]. 山东大学, 2022.
- [6] 王煥. 交通工程施工管理与质量控制 [J]. 四川建材, 2024, 50(2): 214-215, 218.
- [7] 王金明. 交通工程施工管理与质量控制研究 [J]. 砖瓦世界, 2023(13): 121-123.
- [8] 李星. 园林工程施工质量管理与控制 [J]. 广东建材, 2023, 39(8): 123-125.
- [9] 王庆, 刘顺江. 新能源光伏发电项目施工管理研究 [J]. 模型世界, 2025(33): 216-218.
- [10] 王明, 李浩. 电力工程施工管理与质量控制策略 [J]. 通讯世界, 2023, 30(7): 73-75.