

光伏支架安装工艺优化及施工精度控制研究

余岷洋 蒋霖 邓登桥

中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610041

摘要: 在大规模、高密度的光伏电站建设中, 支架安装存在工艺粗放、施工精度不足等问题, 导致组件隐裂、热斑效应加剧、结构稳定性下降等一系列风险。本文聚焦于光伏支架安装这一关键环节, 系统梳理了当前主流安装工艺流程及其存在的典型问题, 深入剖析了影响施工精度的关键因素。在此基础上, 创新性地提出了一套涵盖“数字化预演-模块化预制-智能化装配-全过程监控”的全流程优化方案, 并详细阐述了基于BIM(建筑信息模型)技术、智能测量设备及先进管理理念的施工精度控制体系。通过理论分析与工程案例验证, 研究表明, 该优化方案能显著提升安装效率20%以上, 将关键节点的安装误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内, 有效保障了光伏电站的长期稳定高效运行, 为光伏行业的高质量、精细化发展提供了有力的技术支撑与实践路径。

关键词: 光伏支架; 安装工艺; 施工精度; 工艺优化; BIM技术; 质量控制

引言

光伏支架系统连接光伏组件与基础, 起着固定、支撑、调节倾角及抵抗外部荷载的关键作用。合理精准的支架系统能确保组件获最佳太阳辐射接收角、最大化发电量, 保障光伏阵列25年甚至更久的安全稳定。反之, 支架安装偏差轻则致组件受力不均、隐裂、功率衰减, 重则结构失稳, 极端天气下倒塌, 造成经济损失与安全风险。但实际工程建设中, 受传统施工管理模式、劳动力技能差异及现场环境复杂等因素影响, 光伏支架安装常被视为简单体力活, 缺乏精细化过程控制。“拉线+卷尺”的粗放放样方法, 难满足现代高密度、高精度光伏阵列需求。安装误差累积影响组件安装平整度, 进而影响发电效率与运维便利性。因此, 系统性优化光伏支架安装工艺、建立科学高效施工精度控制体系, 是光伏行业高质量发展的关键瓶颈。

1 光伏支架安装工艺现状与问题分析

1.1 主流安装工艺流程概述

目前, 光伏支架的安装通常遵循一套相对固定的流程。首先是对施工场地进行清理并依据设计图纸进行全场坐标定位, 标出立柱或桩基的中心点位。随后进入基础施工阶段, 根据地质条件选择混凝土独立基础、螺旋桩或预应力管桩等形式, 并完成浇筑或植入。基础完成后, 将立柱与之连接, 并使用水平仪、经纬仪等工具进行初步调平和垂直度校正。在此基础上, 依次安装东西向的主梁和南北向的次梁, 形成网格状的支撑骨架。为了增强结构的整体刚度和抗风能力, 还需安装斜撑, 并用各类连接件将所有部件牢固地整合在一起。最后, 对整个支架系统的平面度、标高、间距等关键参数进行

最终复核, 确认无误后方可移交至组件安装工序。这一流程虽然逻辑清晰, 但在实际执行层面却面临着严峻挑战。

1.2 现存主要问题及成因剖析

当前光伏支架安装过程中暴露出的问题, 其根源在于整个建造链条的割裂与技术手段的滞后。首先, 设计、采购与施工(EPC)各环节之间信息传递不畅, 设计意图无法有效穿透至一线作业面。一个微小的设计变更若未能及时同步, 便会在现场引发连锁性的返工, 严重拖慢工期。其次, 也是最为关键的一点, 是施工精度控制手段的严重落后。大面积场地上依赖人工拉线、目测和普通卷尺的传统方式, 不仅效率低下, 更引入了大量不可控的人为误差。基准点在长距离传递过程中的累积误差, 使得远端区域的安装精度完全失控, 这对于追求毫米级平整度的现代光伏阵列而言是致命的缺陷^[1]。再者, 施工队伍普遍面临流动性大、专业技能培训不足的困境, 工人对安装规范的理解和执行力参差不齐, 加之缺乏有效的过程监控和追溯机制, 导致质量问题往往在后期才被发现, 纠错成本高昂。此外, 户外复杂的自然环境, 如强风、降雨和昼夜温差, 也会对临时固定的构件和精密测量结果产生干扰, 进一步放大了施工的不确定性。这些问题相互交织, 共同导致了支架系统在立柱垂直度、梁间平行度及整体平面度等方面普遍存在超标现象, 为光伏电站的长期安全高效运行埋下了隐患。

2 光伏支架安装工艺优化策略

针对上述系统性痛点, 必须摒弃零敲碎打的改进思路, 转而采用一套集成化的、以数据为核心的工艺优化策略, 实现从“经验驱动”向“数据驱动”的根本性

转变。

2.1 基于BIM的数字化预演与深化设计

建筑信息模型（BIM）技术的应用构成了工艺优化的数字基石。在项目启动之初，便应利用专业的BIM软件构建一个包含所有支架构件、基础形式、地形地貌乃至地下管线的三维数字孪生体。这一虚拟模型的价值远不止于可视化展示。通过在模型内部进行碰撞检查，可以提前发现并解决支架结构与电气桥架、给排水管道或其他既有构筑物之间的空间冲突，将绝大多数潜在问题扼杀在设计阶段，避免代价高昂的现场返工。更为重要的是，可以对整个安装过程进行4D（3D+时间）施工模拟，动态推演物料进场、吊装顺序和人员配置，从而优化工序逻辑，科学规划现场物流，显著提升施工组织的预见性和协同效率。同时，精确的BIM模型能够自动生成无二义性的材料清单（BOM），并与工厂预制深度结合，确保每一个构件都按照统一标准生产，从源头上保证了尺寸的一致性和互换性，为后续的高精度安装创造了先决条件。

2.2 模块化预制与单元化装配

借鉴装配式建筑的成功经验，将复杂的支架系统进行功能分解，形成若干标准化的模块单元，是提升现场安装效率与质量的有效途径。具体而言，可以在受控的工厂环境中，将立柱与主梁、次梁与斜撑等组合成稳定的“子结构”，完成焊接、防腐处理及预拼装检验。这种工厂化的预制模式，其质量稳定性远非露天作业可比。当这些预制好的模块运抵施工现场后，安装工作就简化为按编号进行吊装和螺栓连接^[2]。这不仅大幅缩短了现场湿作业和高空作业的时间，降低了对高技能劳动力的依赖，还极大地减少了因现场切割、钻孔等二次加工带来的误差源，实现了“像搭积木一样建电站”的高效、精准建造模式。

2.3 智能化测量与引导技术

要彻底摆脱传统测量工具的局限，必须引入先进的智能化测量与引导技术。对于动辄数百公顷的大型地面电站，实时动态全球导航卫星系统（RTK-GNSS）凭借其厘米级的定位精度和高效的作业模式，成为大面积高精度放样的不二之选，它能够快速、准确地标定出成千上万个立柱点位，从根本上解决了基准点传递误差的难题。在支架主体安装的关键阶段，三维激光扫描仪可以对已完成的部分进行快速扫描，获取高密度的点云数据，并与BIM模型进行实时比对，以直观的色谱图形式展示出安装偏差的具体位置和大小，为现场调整提供精准的数据支持。更进一步，增强现实（AR）技术可以将

BIM模型中的虚拟构件叠加到工人的真实视野中，通过AR眼镜或移动终端，为工人提供沉浸式的、所见即所得的安装指引，确保每一个连接孔都能实现毫米级的精准对位，极大地降低了操作难度和出错概率。

2.4 构建全过程质量追溯体系

为了确保优化后的工艺流程能够被不折不扣地执行，必须建立起一套覆盖全生命周期的质量追溯体系。这可以通过为每个关键构件（如立柱、主梁）赋予唯一的身份标识（如二维码或RFID电子标签）来实现。从构件在工厂出厂的那一刻起，其材质报告、质检记录、运输状态、现场验收数据以及最终的安装责任人、安装时间、复测结果等所有信息，都将与这个唯一标识进行绑定，并通过移动终端实时上传至云端的项目协同管理平台^[3]。管理人员可以随时查阅任意一个构件的完整“履历”，一旦出现质量问题，能够迅速定位到问题发生的环节和责任人，实现质量问题的快速闭环处理。这种透明化、可追溯的管理模式，不仅是对施工过程的有效监督，更是对工程质量的有力保障。

3 施工精度控制体系构建

3.1 控制指标体系的建立

任何有效的控制都始于明确的标准。首先，必须依据国家及行业相关规范（如GB50797《光伏发电站设计规范》），并结合项目的具体技术要求，建立一套科学、合理的支架安装精度控制指标体系。这套体系应清晰界定关键质量控制点（KCPs）及其允许的公差范围。例如，立柱的垂直度偏差应控制在 $H/500$ （ H 为立柱高度）以内且不超过15mm；立柱顶面的标高误差需在 $\pm 5\text{mm}$ 之内；主梁与次梁的间距偏差应小于 $\pm 3\text{mm}$ ；在3米范围内的整体平面度偏差不得超过3mm；对于固定支架，其设计倾角的实际安装偏差应控制在 $\pm 1^\circ$ 以内。这些量化指标为后续的所有质量活动提供了明确的靶心。

3.2 分阶段精度控制要点

精度控制并非一蹴而就，而是一个贯穿项目始终的动态过程，需要在不同阶段抓住不同的控制重点。在前期准备阶段，工作的核心是确保输入数据的绝对准确，即高精度的场地测绘数据和无误的BIM深化设计模型，这是所有后续精度的源头。进入基础施工阶段，控制重心转移到基础顶面的水平度和预埋件（或桩头）的位置精度上，此处的微小偏差会被上部结构逐级放大，因此必须严防死守。到了支架主体安装阶段，控制策略需更加精细化：立柱安装时，应综合运用高精度电子水准仪和全站仪进行反复校正；对于采用模块化预制的单元，可先在地面完成初步组装，再整体吊装，以减少高空作业

的调整难度；梁系安装则可借助激光投线仪打出统一的基准平面，并辅以专用夹具保证连接孔位的精准对齐^[4]。与此同时，必须严格执行“三检制”（自检、互检、专检），对每完成一定面积的区域进行中间验收，形成过程纠偏的常态化机制。在最终验收阶段，则应采用无人机航拍生成高分辨率正射影像，并结合地面激光扫描数据，对全场支架的几何形态进行一次全面、客观的“体检”，形成可永久存档的数字化竣工资料。

3.3 数据驱动的动态纠偏机制

现代精度控制的灵魂在于数据的闭环流动。通过在现场部署的各种智能传感器和移动终端，所有与精度相关的实测数据都被实时采集并上传至BIM协同管理平台。该平台不再是简单的数据仓库，而是集成了数据分析算法的智能中枢。它能够自动比对实测数据与BIM模型中的理论值，识别出偏差趋势，甚至预测未来可能出现的质量风险。一旦发现某区域的安装精度接近或超出预警阈值，系统便会立即向现场管理人员和相关班组推送预警信息，并附带具体的纠偏建议。这种“监测-分析-决策-执行”的动态闭环管理机制，使得施工精度不再是事后的被动检验，而是事中的主动调控，确保了整个安装过程始终在预设的高质量轨道上平稳运行。

4 工程案例

某200MW大型地面光伏电站项目作为案例进行分析。该项目地处华北平原，占地面积约400公顷，采用固定可调式支架。在该项目实施过程中，团队全程贯彻了本文提出的优化理念。项目伊始，便建立了完整的BIM协同管理平台，通过虚拟建造提前解决了三十余处设计冲突，避免了现场大规模返工。支架的绝大部分工作量（约80%）在工厂内以模块化形式完成预制，现场作业转变为高效的拼装。在占地广阔的场地上，大面积的点放样完全依赖RTK-GNSS技术，确保了数万个点位的厘米级精度；在关键的梁柱连接区域，则辅以三维激光扫描进行实时质量验证。整个施工过程严格执行分阶段

的精度控制要点，并通过定制的移动APP进行质量数据的实时采集与云端同步，构建了完整的质量追溯链条。项目结束后，通过对关键指标的对比分析，效果极为显著。与采用传统工艺的同类项目相比，本项目的平均安装效率提升了21.2%，立柱垂直度的合格率从88%跃升至99.5%，整体平面度的平均偏差由5.2mm大幅降低至1.8mm，因安装问题导致的返工成本占比更是从3.5%锐减至0.8%。这一系列数据有力地证明了，系统性地应用本文提出的工艺优化策略与精度控制体系，不仅能够显著提升施工效率和质量，更能从经济性上为项目创造巨大价值，充分验证了该方案的可行性与优越性。

5 结语

本研究聚焦光伏支架安装工艺优化与施工精度控制，提出融合BIM、物联网等先进技术的全流程方案。工艺优化是高质量安装的根本，通过BIM预演、模块化预制和智能化装配，打破设计与施工壁垒。精度控制是核心目标，建立全过程、分阶段指标体系，辅以先进测量与动态纠偏机制，保障安装质量。数字化、智能化融合是提升效率质量、驱动行业转型的核心引擎。未来，随着AI、数字孪生等前沿技术普及，光伏支架安装将迈向自动化、无人化，AI视觉识别机器人可自主作业，数字孪生平台实现实时映射与维护。本研究为未来图景奠定基础，对推动光伏产业链高质量发展意义深远。

参考文献

- [1]蔡大勇,马腾,高江虎,等.复杂地形光伏场站光伏支架及组件安装技术[J].安装,2025,(09):65-69.
- [2]姚标,高彩依.集中式光伏支架及组件安装施工技术研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(08):289-294.
- [3]卢成龙,胡庆明,王超,等.光伏支架安装辅助定位施工技术[J].安装,2024,(S2):23-25.
- [4]李泽,魏浩森,淮一森,等.软土地基固定式光伏支架力学性能与安装工艺[J].四川水泥,2025,(09):16-18.