

智慧工地在集中式光伏电站建设中的应用研究

李松庭 张 能 黄鹏飞

大唐南京热电有限责任公司 江苏 南京 210000

【摘 要】：集中式光伏电站建设规模持续扩大，场区施工点位分散、工序穿插密集、户外安全风险和并网节点约束使传统人工管理难以保持及时一致。本文分析集中式光伏电站建设对象和土建安装阶段特征，梳理智慧工地系统架构、交互数字大屏、BIM模型、视频识别、吊装机械安全监测和无人机巡视的应用方式，并讨论大型场区施工组织、行业推广、质量控制和运维衔接中的价值。智慧工地能够把阵列、道路、管沟、材料、机械和人员状态挂接到统一空间单元，推动进度反馈、风险识别、质量追溯和资料移交从分散记录转向连续管理。

【关键词】：智慧工地；集中式光伏电站；工程建设；BIM模型；无人机巡视

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.065

引言

国内集中式光伏电站持续扩容，场区施工呈现点位分散、工序穿插密集、户外作业受天气影响明显等特征。传统管理依赖人工巡场、分包日报和现场会议，面对桩基、支架、组件、箱变、集电线路、升压站及送出工程同步推进的场景，容易出现进度反馈滞后、作业边界不清、质量缺陷发现不及时和安全风险识别粗放等问题。智慧工地将建筑信息模型、物联网感知、视频分析、无人机巡视和移动协同接入同一数据链路，使人员、机械、材料、作业面和环境状态能够被连续记录、比对和处置。

1 集中式光伏电站建设场景

1.1 集中式光伏场区建设对象识别

集中式光伏电站的建设对象不是单一组件安装，而是由光伏方阵区、逆变升压单元、集电线路、升压站、场内道路、排水设施和临时施工营地共同组成的场区系统。方阵区通常按地块、坡向和接入回路分成若干作业片区，桩基施工、支架组装、组件铺设和直流电缆敷设在相邻片区之间滚动推进；升压站和集电线路则受设备到货、试验窗口和并网调度约束，不能简单按土建形象进度判断全场完成度^[1]。智慧工地平台应先把这些建设对象拆成可定位、可计量、可追踪的空间单元，将桩位、支架排布、道路转弯半径、材料堆场和吊装通道写入数字底图，后续进度、质量和安全信息才有准确挂接位置。场区对象空间挂接关系见图1。



图1 集中式光伏电站建设场区对象关系

图1中，已安装光伏方阵、未安装支架阵列、临时道路、管沟和材料堆场处在同一场区边界内，监控立杆分布在道路与阵列边缘。该关系说明智慧工地的基础数据不能只按工程量汇总，应把阵列、道路、管沟和材料位置统一挂接，后续进度、质量和安全事件才能回到具体施工单元。

1.2 光伏阵列土建安装阶段特征

光伏阵列土建安装的显著特征是重复单元多、单点工序短、返工扩散快。桩基偏位会影响支架轴线，支架标高误差会改变组件倾角和排水路径，电缆沟开挖与道路通行相互交叉时还会增加车辆绕行和人员跨沟风险。场区地形越开阔，现场管理越容易被“看得见大面、看不清单元”的错觉影响；山地、滩涂、荒漠和采煤沉陷区等场址还会叠加坡度、软弱地基、风沙、积水和通信覆盖不足等条件。智慧工地的基础作用在于把阵列排号、桩基批次、支架安装状态、组件到货批次和电缆敷设路径按时间轴联动起来，使管理对象从笼统的施工面转为可核对的阵列、道路、吊装区和隐蔽工程节点。

2 智慧工地系统在光伏电站建设中的应用

2.1 智慧工地系统架构配置

集中式光伏电站智慧工地系统宜采用“现场感知—通信传输—数据平台—指挥应用”的分层架构^[2]。现场层接入视频摄像机、人员定位标签、机械设备传感器、气象监测杆、无人机航测载荷和移动终端，采集对象覆盖人员位置、吊装状态、车辆进出、作业面形象、材料堆场和环境条件；传输层结合专网、公网、边缘网关和临时无线覆盖，解决大场区远距离、多点位、弱覆盖条件下的数据回传；平台层统一保存模型、进度、质量、安全和影像资料，避免各分包系统形成孤立台账；应用层面面向项目部、监理、业主和调试单位提供进度比对、风险提醒、质量追溯和资料归档。系统分层和数据流向见图2。



图2 智慧工地系统分层架构

图2中, 摄像机、传感箱、气象杆、吊钩传感器和安全帽标签从场区底层向平台上传状态, 平台再把抽象数据面板汇入指挥室。上行箭头和下行箭头的分离表明智慧工地既要采集现场状态, 也要把进度调整、风险提醒和任务指令返回到具体设备或作业班组。

2.2 交互数字大屏及进度管控流程

交互数字大屏在光伏电站建设中不应只显示汇总比例, 而要把场区分区、工序状态和责任边界放在同一界面。项目部可按阵列区、道路区、升压站区和集电线路区建立进度看板, 将桩基完成、支架安装、组件铺设、电缆敷设、箱变就位和调试条件作为不同状态叠加到数字底图上。进度异常的判断重点不是某一天少报多少工作量, 而是前置工序是否阻断后续流水, 例如桩基复测未闭合会压缩支架安装窗口, 电缆沟回填滞后会影响场内道路通行, 箱变基础验收延迟会改变设备到场计划^[3]。数字大屏把日报、影像、模型和任务单并列展示后, 管理人员可以沿着“空间位置—工序状态—责任班组—纠偏期限”的链路处理问题, 减少会议纪要与现场实际脱节。在多标段施工条件下, 大屏还要区分计划完成、具备作业面、等待验收和受阻停工等状态, 避免把未交付的前置条件误判为后续班组低效。场区道路、吊装通道和电缆沟交叉位置一旦发生阻断, 系统应把受影响的阵列排号和设备到场计划同时标出, 便于项目部调整施工顺序。

2.3 光伏方阵 BIM 模型管理要点

光伏方阵 BIM 模型的价值在于建立阵列、支架、基础、电缆和检修道路之间的空间约束, 而不是追求复杂外观。模型精度应服务施工管理: 桩基中心、支架轴线、组件倾角、电缆桥架或直埋路径、箱变基础和道路边界应保持可核查关系; 临建、材料堆场和吊装通道则可采用轻量化构件表达^[4]。施工阶段的模型管理重点是版本一致和现场反馈, 设计调整、地形修正、桩位变更、道路绕行和设备基础偏移必须进入同一模型版本, 避免现场按旧图施工、资料按新图归档。模型还可与进度看板连接, 用颜色或构件状态标识不同作业片区的完成情况, 使支架安装、组件铺设和电气敷设的接口问题提前暴露。

2.4 视频监控下现场作业识别规则

视频监控在光伏电站场区中的布点应围绕高风险和高流

动区域展开, 包括材料堆场、临时道路交叉口、吊装作业区、电缆沟开挖边、升压站土建区和夜间值守点。普通摄像头只能提供事后回看, 叠加边缘识别后才能把人员进入吊装半径、车辆靠近沟槽、未佩戴安全帽、材料占压道路和动火区域异常等事件转为可提醒状态^[5]。识别规则应与现场作业边界一致, 吊装区、禁入区、沟槽边缘和材料堆放区应在数字底图中预设几何范围, 算法输出再与人员位置、机械状态和时间段交叉核对, 减少因视角遮挡、扬尘和光照变化造成的误报。现场识别与风险边界见图3。



图3 视频监控下现场作业识别关系

图3中, 人员、吊装设备、沟槽边界、禁入区和材料堆放点被不同颜色框定, 识别结果通过箭头汇集到底部风险确认符号。该图说明视频监控的重点不是增加摄像头数量, 而是把视觉对象与预设作业边界绑定; 当人员进入吊装半径或沟槽边缘时, 平台才能把影像变化转化为可处置事件。

2.5 吊装机械高处作业安全监测配置

组件、支架、箱变和电气设备安装阶段存在频繁吊装和高处作业, 安全监测配置必须贴合光伏场区的低高度、大范围、重复搬运特点。吊装机械可接入载荷、幅度、支腿状态、回转半径和地面坡度信息, 平台将这些状态与预设作业区、人员定位和天气数据共同判断; 高处作业可通过安全帽标签、电子围栏、移动巡检和视频识别核对人员是否进入支架未固定区域、组件铺设边缘或升压站脚手架区域。大风、强降雨和高温条件下, 系统不宜只发出笼统预警, 而应关联具体作业票、机械设备和片区位置, 提示暂停吊装、调整班组或改变运输路线。安全监测的有效性来自现场规则和数据联动, 单一传感器读数不能替代班组交底、设备检查和监护人确认。对于箱变、逆变器、支架成捆材料和组件托盘等不同吊装对象, 监测规则要分别绑定吊点、地基承载、支腿展开和人员站位, 避免用同一报警阈值覆盖全部作业。高处作业记录还应与班前交底、作业票和天气条件关联, 便于复盘风险发生前的管理状态。

2.6 无人机巡视与应急处置联动流程

无人机适合解决集中式光伏电站场区跨度大、道路绕行长和局部异常发现慢的问题。施工阶段可按阵列区、道路区、排水沟、材料堆场和升压站外围设置固定航线, 获取支架安装形象、道路占用、积水、边坡冲刷、材料散落和人员聚集等信息;

搭载红外或高清载荷时,还能后续组件热斑、接线异常和设备发热巡检积累航线基础。应急处置流程应从发现异常开始,先由无人机影像定位异常点,再由平台推送至最近班组或值守车辆,随后将现场处置照片、封闭范围和复查结果回传。无人机巡视处置关系见图4。



图4 无人机巡视与应急处置联动关系

图4中,无人机沿蓝色虚线覆盖多个阵列区,红色、橙色和蓝色异常点分别落在道路、组件和积水区域,指挥车位于场区边缘接收信号。该关系说明无人机巡视的价值在于把分散异常转化为空间坐标和处置路线,使应急班组可以按最近通道到达现场,并在复查后把影像记录回写到同一场区档案。

3 智慧工地系统在光伏电站建设中的应用价值

3.1 大型场区施工组织适配价值

智慧工地对大型场区施工组织的价值,首先体现在流水节奏和资源配置的可视化。集中式光伏电站常以阵列区为单位展开平行施工,桩基班组、支架班组、组件班组、电缆班组和道路维护班组之间存在强接口关系;任一片区材料不到位或道路受阻,都会影响后续连续作业^[9]。平台把片区状态、机械位置、材料库存和天气风险并列呈现后,项目部能够按作业面成熟度调整班组投入,而不是简单按照合同总量平均分配资源。对业主和监理而言,空间化进度也便于识别形象进度与资料进度的偏差,例如现场支架已完成但隐蔽验收、复测记录和影像资料缺项时,系统可提醒补齐证据链,避免竣工移交阶段集中返补。

3.2 光伏行业建设推广应用价值

光伏行业建设推广智慧工地,应抓住可复制的对象而非复制同一套界面。集中式电站的共性对象包括阵列排布、桩基支架、电缆通道、设备基础、临时道路、气象条件和远距离巡视,

参考文献:

- [1] 杜勇.智慧工地系统在大型光伏电站建设中的应用分析[J].通讯世界,2024,31(12):130-132.
- [2] 蒋伟志,张文文.光伏电站智慧工地建设方案研究[J].工程建设与设计,2025,(23):165-167.
- [3] 刘晓冬,马建宝.新型感湿材料与传感技术在光伏电站基建工程中的应用[J].粘接,2025,52(7):95-98.
- [4] 李建,单伟璐.BP神经网络算法在光伏电站项目中的应用[J].电气技术与经济,2026,(7):135-138.
- [5] 凌文青.无人机红外巡检技术在光伏电站故障诊断中的应用研究[J].无人机,2026,(7):183-185.
- [6] 于峰,宗恩情.大型光伏电站并网调试阶段智能监控诊断技术的应用[J].电力设备管理,2026,(12):134-136.
- [7] 高江,孙少华,巨恒照.无人机在油田分布式光伏电站输电线路巡检及缺陷检测的应用研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(6):315-317.

这些对象可以形成行业化的数据字段;不同项目的差异则来自地形、容量、送出条件、施工组织和通信条件。推广应用时,平台宜提供轻量化配置能力,使项目部能够按场区分区、工序清单和风险规则快速建模,同时保留与设计、采购、施工、监理和运维系统的数据接口^[7]。对于新能源基地项目,智慧工地还可把多个标段的进度、质量和安全状态放入同一坐标体系,降低分包边界造成的信息断点。推广价值不在于增加管理层级,而在于让重复建设对象形成统一编码、统一位置和统一过程记录。

3.3 质量控制和运维衔接带动作用

集中式光伏电站的建设质量会直接影响运维阶段的发电稳定性和检修成本。桩基标高、支架紧固、组件倾角、电缆弯曲半径、接地连接、箱变基础和道路排水等问题,如果只在竣工验收时集中核对,缺陷位置往往已经被组件、回填土或设备遮蔽。智慧工地把施工影像、验收记录、模型位置和责任班组绑定后,可以在移交时形成可追溯的数字档案,运维人员能够沿着阵列编号和设备位置查询施工过程。并网调试阶段的智能监控、无人机巡检和设备状态记录还可以延续到运维巡检,减少建设期与运维期之间的数据断裂。质量控制和运维衔接的带动作用不是单纯提高资料完整度,而是让每个建设单元都留下可定位、可复查、可解释的状态信息,为后续故障排查和消缺提供清晰入口。移交资料若能保留构件位置、施工影像、验收意见和整改闭合状态,运维单位在排查发电异常、接地故障或道路排水问题时,可以直接回到建设阶段的责任单元。建设期形成的数字档案越贴近现场对象,后续消缺越容易避免重复开挖、重复巡检和责任边界争议。

4 结语

智慧工地应用于集中式光伏电站建设,关键在于把大面积场区拆解为可定位的阵列、道路、管沟、设备基础和作业区域,再用模型、视频、传感、无人机和移动终端把现场状态连续写入同一数据链路。系统分层架构、数字大屏、BIM模型、视频识别、机械安全监测和无人机巡视能够连接进度控制、质量追溯、安全预警和运维移交。应用落点不是增加管理层级,而是让每个建设单元留下可复查的过程记录,为并网调试和运行维护保留清晰依据。