

智能监控系统在光伏电站施工质量管理中的应用

汪小强 何安顺 何 恒 路江昆 王富厅
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610041

摘要：在光伏电站建设中，施工质量直接影响电站的发电效率与运行寿命。智能监控系统通过融合物联网、大数据及AI技术，构建了覆盖光伏电站施工全流程的质量管控体系。该系统借助硬件感知设备与软件平台的协同，实现对基础施工、支架安装、组件铺设等关键环节的实时监测、数据采集与异常预警，有效提升施工质量管理的精细化与智能化水平。本文阐述了智能监控系统的构成及功能特性，分析其在光伏电站施工各阶段的具体应用场景，为提升光伏电站施工质量提供技术参考与实践路径。

关键词：智能监控系统；光伏电站；施工质量管理；应用

引言：随着“双碳”目标推进，光伏电站建设规模持续扩大，施工质量管理成为行业关注焦点。传统施工质量管理存在人工巡检效率低、数据滞后、隐蔽工程隐患难追溯等痛点，难以满足光伏电站高可靠性建设需求。智能监控系统依托传感器网络、边缘计算与云平台技术，将施工质量管理从事后验收转向全流程实时监控，通过数字化手段实现施工工艺标准化、质量问题可视化与风险防控前置化。本文结合光伏电站施工特点，探讨智能监控系统在质量管理中的应用模式，为推动光伏工程建设高质量发展提供新思路。

1 光伏电站施工质量管理概述

光伏电站施工具有工程规模大、技术环节多、施工周期长等特点，其质量管理涵盖从基础建设到设备安装、系统调试的全流程，直接决定电站的发电效率、使用寿命及安全性。在施工过程中，基础施工需确保光伏支架的稳固性，若基础不牢，可能导致支架倾斜甚至倒塌，影响组件采光与电站运行；支架安装精度影响光伏组件的受光角度，偏差过大会降低发电效率；电气布线质量则关乎电站的电力传输与用电安全，任何环节出现质量问题，都可能引发连锁反应，造成重大经济损失与安全隐患。此外，光伏电站施工常涉及高空、户外作业，受自然环境因素影响显著，如强风、暴雨等天气可能干扰施工进度与质量，增加管理难度。同时，光伏产业技术迭代迅速，新材料、新工艺不断涌现，对施工人员的专业技能与质量管理手段提出更高要求。传统的人工巡检、经验判断的管理模式，已难以适应现代化光伏电站建设需求，亟需引入智能化、数字化管理手段，构建科学、高效的质量管理体系，保障光伏电站施工质量，提升电站全生命周期价值^[1]。

2 智能监控系统的构成与功能特点

2.1 系统硬件架构

智能监控系统硬件架构是实现高效施工质量管理的物理基础。在感知层，部署各类传感器，如位移传感器、倾角传感器、温湿度传感器等，实时采集基础沉降、支架倾斜角度、环境温湿度等数据；现场采集设备负责汇总传感器数据，并通过4G/5G、LoRa等通信技术将数据传输至网络层；网络层借助专用通信网络或云计算平台，将数据快速、稳定地传输至数据中心；数据中心配备高性能服务器，对接收的数据进行存储、处理与分析，为软件平台提供数据支持。

2.2 系统软件平台

系统软件平台是智能监控系统的“大脑”，整合多源数据实现智能化管理。其核心模块包括数据管理模块，负责数据的分类、存储与检索，构建标准化数据库；可视化展示模块，以直观的图表、三维模型等形式呈现施工进度、质量数据及异常预警信息；数据分析与决策模块，运用大数据分析、机器学习算法，挖掘数据价值，生成质量评估报告与优化建议；用户管理模块则根据不同角色权限，实现分级管理与协同办公。

2.3 系统的功能特性

智能监控系统具备实时性、智能化、全面性等显著功能特性。实时性体现在系统可对施工过程进行7×24小时不间断监测，及时发现质量隐患；智能化表现在通过AI算法自动识别施工中的违规操作、工艺缺陷等问题，并触发预警；全面性则覆盖光伏电站施工全流程，从基础施工到系统调试，不放过任何一个关键环节。此外，系统还支持历史数据回溯、多项目对比分析等功能，为施工质量的持续改进提供依据，极大提升了质量管理的效率与精度。

2.4 系统在施工质量管理中的协同工作机制

在施工质量管理中,智能监控系统构建了高效的协同工作机制。硬件设备实时采集数据上传至软件平台,软件平台经分析处理后,将预警信息与整改建议及时推送至施工人员、质量管理人员终端。施工人员收到信息后立即整改,整改情况反馈至平台;质量管理人员同步监督整改过程,通过平台审核确认。同时,系统打破部门间的数据壁垒,实现设计、施工、监理等多方数据共享与协同,形成闭环管理,确保施工质量问题及时发现、快速解决,保障光伏电站施工顺利推进^[2]。

3 智能监控系统在光伏电站施工各环节的具体应用

3.1 基础施工阶段

(1)在光伏电站基础施工阶段,地基开挖是重要环节。智能监控系统通过在施工现场部署深度传感器与定位设备,实时监测地基开挖的深度、尺寸是否符合设计要求。一旦出现开挖深度不足或超挖现象,系统会立即发出预警,提醒施工人员及时调整,避免因基础深度不当导致后期支架稳定性问题。(2)基础浇筑过程中,混凝土的强度、浇筑速度和均匀性对基础质量至关重要。智能监控系统在模板内埋设温度传感器与应力传感器,实时采集混凝土内部温度变化和应力分布数据。通过数据分析预测混凝土的凝结状态,判断是否存在裂缝风险。若发现混凝土浇筑速度过快或温度异常,系统自动推送预警信息,指导施工人员调整浇筑参数,确保混凝土基础质量达标。(3)基础回填作业时,智能监控系统通过压实度传感器和位移监测设备,对回填土的压实度和基础沉降情况进行动态监测。系统持续记录压实度数据,当压实度未达到设计标准时,及时提示施工人员补压;同时,若监测到基础出现异常沉降,会立即触发警报,以便施工团队迅速采取补救措施,防止因回填不当引发基础变形。(4)在基础施工质量验收环节,智能监控系统汇总整个施工过程的监测数据,生成可视化质量报告。报告中详细呈现基础施工的各项参数、偏差情况及整改记录,为验收人员提供全面、准确的评估依据。验收人员借助系统的历史数据回溯功能,可追溯施工过程细节,确保基础施工质量符合设计规范,为后续支架安装及组件铺设奠定坚实基础。

3.2 支架安装阶段

(1)在支架定位环节,智能监控系统借助高精度GPS定位设备与全站仪,实时获取支架安装位置坐标,并与设计图纸中的定位数据进行比对。一旦发现支架位置偏移超过允许误差范围,系统即刻发出声光报警,同时在可视化平台上标注偏差位置,引导施工人员精准调整,

确保支架布局符合设计要求,为光伏组件安装提供准确基准。(2)支架角度调节是影响光伏电站发电效率的关键。系统通过倾角传感器实时监测支架倾斜角度,结合当地经纬度、季节变化等因素,依据太阳高度角算法,自动计算出最佳安装角度。当支架角度与理论值存在偏差时,系统推送调节方案至施工人员终端,辅助其快速完成角度校准,保证光伏组件最大限度接收光照,提升发电效率。(3)支架连接紧固质量直接关系到整个光伏阵列的稳定性。智能监控系统利用扭矩传感器监测螺栓紧固扭矩,当扭矩值未达到设计标准时,系统自动标记未合格螺栓位置,并生成紧固任务清单,提醒施工人员进行二次紧固。(4)在支架安装质量验收阶段,智能监控系统整合定位、角度、紧固等全流程监测数据,生成三维可视化验收报告。报告中不仅直观展示支架安装的各项参数达标情况,还能通过动画模拟支架在不同工况下的受力状态,帮助验收人员全面评估支架安装质量。

3.3 光伏组件安装阶段

(1)在组件搬运过程中,智能监控系统通过在搬运设备及组件表面部署震动传感器与压力传感器,实时监测搬运时的震动幅度和受力情况。一旦震动强度超标或受力不均,系统立即发出警报,提醒搬运人员调整操作方式,避免因剧烈震动、挤压导致光伏组件隐裂或内部电路受损,从源头保障组件质量。(2)组件安装定位时,智能监控系统利用机器视觉技术与激光定位设备,自动识别组件安装位置与相邻组件的间距。系统将实际安装情况与设计图纸进行AI图像比对,若出现组件偏移、间距不一致等问题,会在施工终端生成调整提示,指导安装人员快速校准,确保组件排列整齐,减少因安装误差导致的发电效率损耗。(3)电气连接是保障光伏组件正常发电的关键步骤。智能监控系统通过电流传感器和绝缘电阻测试仪,实时检测组件间电气连接的通断状态与绝缘性能。一旦发现线路虚接、短路或绝缘电阻不达标等问题,系统立即锁定故障位置,并推送解决方案,避免因电气连接问题引发设备损坏或安全事故,确保整个光伏阵列电气系统的稳定性与安全性。(4)在组件清洁与验收环节,智能监控系统通过污垢识别传感器监测组件表面的灰尘、鸟粪等污染物覆盖情况,当污染程度影响发电效率时,自动生成清洁任务并发送至维护人员终端。验收阶段,系统汇总安装全过程的监测数据,生成包含组件安装精度、电气性能测试结果等信息的可视化报告,结合无人机航拍的组件阵列全景图像,辅助验收人员全面评估组件安装质量,为光伏电站并网发电提供可靠保障。

3.4 电气布线阶段

(1) 在电气布线施工中,智能监控系统以设计图纸和施工规范为准则,通过定位传感器与激光标线仪实时监测线缆铺设路径。系统自动对比实际与预设布线,一旦发现迂回、交叉等违规情况,立即报警并在管理平台标注问题位置,指导施工人员及时修正,优化线路走向,降低电能损耗与后期维护成本。(2) 线路连接质量管控上,系统借助端子压接检测仪、焊点成像仪,利用图像识别与压力传感技术,对电线端子压接、电缆焊接部位进行实时检测。通过分析压接力度和焊点微观结构,精准识别虚接、冷焊等隐患,发现问题后锁定故障点,推送修复方案,保障电气连接安全可靠。(3) 绝缘防护环节,系统采用绝缘电阻测试仪与红外热成像仪协同监测。前者实时扫描绝缘层,发现电阻值异常时定位破损点;后者捕捉异常热源,预判绝缘老化与过热风险。两者数据融合分析,提前预警,有效杜绝漏电、触电事故。(4) 接地检测与验收时,系统运用接地电阻测试仪精准测量,自动记录数据并与标准对比,超标时生成整改建议。验收阶段,系统整合全流程监测数据,结合三维布线模型,生成可视化报告,为验收人员提供全面评估依据,筑牢电站电气安全防线。

3.5 整体调试与验收阶段

整体调试与验收阶段是保障光伏电站稳定运行的关键环节,智能监控系统在此过程中发挥着核心作用。(1) 在系统性能测试时,智能监控系统联动功率分析仪、气象监测站等设备,实时采集光伏组件发电功率、逆变器转换效率、环境光照强度等关键数据。通过与理论发电模型对比分析,系统能够精准定位发电效率不足、设备参数异常等问题,并自动生成故障诊断报告,为调试人员提供清晰的优化方向,确保电站达到设计发电能力。(2) 数据校验过程中,智能监控系统利用大数据分析机器学习算法,对施工各阶段积累的海量数据

进行深度核查。从基础沉降监测数据到电气布线绝缘测试结果,系统自动识别数据异常波动与逻辑矛盾,及时发现数据缺失、错误等问题,并向相关人员发出预警,确保施工数据真实可靠,为电站运维提供坚实的数据支撑。(3) 针对调试与数据校验中发现的质量缺陷,系统构建闭环整改管理机制。依据缺陷严重程度分级推送整改任务,实时跟踪整改进度。施工人员通过系统上传整改记录,管理人员在线审核确认,形成“发现-整改-验收”的完整流程,确保所有隐患彻底消除。(4) 最终验收环节,智能监控系统整合全流程监测数据,生成包含施工质量、设备性能、测试结果等信息的三维可视化验收档案。验收人员可通过虚拟漫游查看电站细节,结合数据分析报表全面评估施工质量,同时系统支持多方远程协同验收,显著提升验收效率与透明度,为光伏电站安全并网与长期稳定运行奠定基础^[3]。

结束语

智能监控系统深度融合物联网、大数据与AI技术,为光伏电站施工质量管理提供了精准、高效的解决方案。通过对基础施工、组件安装、电气布线等各环节的实时监测与智能管控,显著降低了质量风险,提升了工程建设水平。随着光伏产业的蓬勃发展与数字化技术的持续创新,智能监控系统将朝着更智能化、集成化方向演进,在优化施工工艺、降低运维成本等方面发挥更大价值,为推动光伏产业高质量发展、实现“双碳”目标注入强劲动能。

参考文献

- [1]田忠民,付春旺.智能电力监控系统在配电系统中的应用[J].南方农机,2018,49(23):240-241.
- [2]崔智婕,陈姗姗,张子兵.智能电力监控系统在配电系统中的应用[J].节能,2017,36(05):28-31.
- [3]赵颖滨,王晓明,何新伟.电力监控软件在智能配电系统中的应用[J].大众用电,2010,26(08):33-34.