

智慧化监管在电力施工现场安全管理中的应用

张秀存

华电科工股份有限公司 北京 100070

摘要: 电力施工现场高危风险多、传统人工监管存在滞后、漏检、效率低等诸多短板。本文依托物联网、AI 图像识别、大数据及北斗定位等智慧技术,搭建多层次智慧化监管体系,覆盖人员、设备、环境及施工全流程管控。结合工程应用数据验证,该体系可有效压缩隐患整改周期、降低事故发生率、节约管理成本。同时剖析当前设备适配不足、数据孤岛等问题,针对性提出优化方案,为电力施工安全精细化管理提供实践参考。

关键词: 智慧化监管; 电力施工; 现场安全管理; 应用

引言: 电力施工工序复杂、作业环境特殊,高处作业、有限空间、大型吊装等高危场景集中,安全风险隐患突出。传统安全管理依赖人工巡查与纸质记录,存在监管滞后、管控盲区多、隐患闭环低效等问题,难以适配现代化电力工程安全管控需求。为破解传统管理痛点,依托新一代信息技术推进安全监管智慧化转型势在必行。本文探究智慧化监管体系的构建与应用,分析应用成效与现存问题,给出优化策略,助力电力施工安全提质增效。

1 电力施工现场安全管理与智慧化监管基础理论

1.1 电力施工安全管理核心内容

(1) 场景与高危特征: 涵盖输变电、配网、地下电缆及带电作业, 高危作业包括高处作业(铁塔组立、跨越架线)、深基坑、大型吊装及有限空间作业, 具环境复杂、能量集中、工序连锁性, 事故突发且易连锁。(2) 风险与隐患: 五大风险为触电、高处坠落、物体打击、机械伤害、坍塌。隐患源于方案缺陷、交底虚化、防护缺失、违章操作及气候影响^[1]。(3) 传统管理模式: 以“制度约束—责任划分—监督检查—整改闭环”为主线, 依托规程、工作票及三级教育运行, 手段为人工巡查、纸质记录、定期考评, 信息滞后, 决策凭经验。

1.2 智慧化监管核心技术概述

(1) 物联网感知技术在施工监管中的应用原理。通过部署传感器、定位终端和环境监测装置, 实时采集设备状态、人员位置及环境参数, 经无线网络上传平台, 实现施工现场状态全量数字化映射。(2) 人工智能图像识别与智能预警技术。基于深度学习算法, 对监控视频进行实时分析, 自动识别未戴安全帽、区域入侵、吊臂

回转半径内站人等违章行为, 并联动告警, 有效缩短响应时间。(3) 大数据分析云端协同监管技术。汇聚多源异构数据, 构建风险预测模型, 实现安全态势综合评估与趋势预判。云端平台支撑多方协同, 支持跨层级、跨项目数据共享与统一调度。(4) 北斗定位、VR 模拟实训等辅助监管技术。北斗系统提供高精度定位与电子围栏功能, VR 技术构建沉浸式安全演练场景, 提升作业人员风险感知与应急处置能力, 强化事前培训效果。

1.3 智慧化监管与传统安全管理的对比优势

(1) 监管时效性: 从事后整改到事前预防、事中管控转变。传统模式依赖事后追溯, 智慧化监管通过实时监测与动态预警, 将风险控制关口前移, 实现全过程主动防控。(2) 监管精准性: 解决人工监管盲区、漏检、误检问题。AI 视觉与传感器协同覆盖机械、环境及人员行为, 实现全天候不间断监测, 有效填补管理真空地带。(3) 监管高效性: 降低人工成本, 提升安全管理标准化水平。自动化数据采集与智能分析取代大量重复性人工巡检, 统一数据标准与预警规则, 推动管理流程规范化、精细化和可复制化。

2 电力施工现场智慧化监管体系构建与应用场景

2.1 智慧化监管体系整体架构设计

(1) 感知层: 施工现场数据采集终端布局与配置。围绕“人、机、环、法”四大要素, 在作业面、通道口、起重设备、临电设施等关键点位部署智能安全帽、固定式监控摄像头、UWB 定位基站、气体传感器及电力参数监测模块, 形成多维度、立体化的前端感知网络, 实现现场状态的全息感知。(2) 传输层: 数据实时传输与安全加密机制。依托施工现场自组网、5G 及光纤通信融合方案, 实现多源数据低延迟上传。采用国密算

法对传输数据进行端到端加密,保障终端、平台与用户终端之间的信息安全,防止数据篡改与泄露,确保监管数据的完整性、机密性和可用性^[2]。(3)平台层:智慧监管云端平台功能模块搭建。平台整合数据接入、存储计算、AI分析、预警引擎及业务管理五大核心模块,支持多项目并发接入,具备设备管理、规则配置、预案设定等后台功能,为上层应用提供统一数据服务与开放接口,满足不同规模电力工程的灵活部署需求。(4)应用层:面向管理人员的可视化监管应用体系。构建PC端监管驾驶舱与移动端APP协同体系,实现现场态势一张图展示、预警消息实时推送、任务工单闭环处置及数据报表自动生成,有效支撑管理人员远程指挥与精准决策,显著提升安全管理的信息化与可视化水平。

2.2 人员安全智慧化监管应用

(1)施工人员实名制与精准定位管理。通过人脸识别门禁与实名制台账联动,实现人员出入场自动登记与考勤统计。结合UWB/北斗高精度定位技术,实时追踪人员位置轨迹,定位精度可达厘米级;支持电子围栏灵活设定,对闯入危险区域、长时间静止或脱离指定作业面等异常行为自动告警,有效防范人员失控风险。(2)高危作业人员行为智能识别与违规预警。基于AI视频分析技术,自动识别高处作业未佩戴安全带、起重臂下站人、攀爬过程中手持物品、临边防护缺失等典型违章行为,即时触发语音提醒与平台告警。系统支持多路视频并行分析,实现违规行为的快速发现、自动抓拍存证与精准干预,大幅减少人为巡查疏漏^[3]。(3)人员安全资质、岗前培训智能化核查管理。建立一人一档电子数据库,将特种作业证、体检报告、三级教育记录与考勤系统关联。每日开工前系统自动校验人员资质有效期与培训状态,资质过期或未参加班前交底的人员将被禁止进入施工作业区,同时推送提醒至安全管理人员,从源头杜绝不合规人员上岗作业。

2.3 设备与环境安全智慧化监管应用

(1)施工机械设备运行状态实时监测与故障预警。在塔吊、升降机、卷扬机等设备安装倾角仪、称重传感器及振动监测装置,实时采集载荷、幅度、力矩、倾角等运行参数,当接近额定阈值时分级报警,有效预防设备超载和倾覆事故。同时建立设备健康档案,基于运行数据趋势分析,实现维保周期的智能提醒与预测性维护。(2)临时用电、高空作业设备安全智能管控。在配电箱加装漏电监测与电流电压传感模块,实时监测线路负荷及漏电状况,异常时自动断电并推送报警;高空作业平台集成姿态传感与限位检测,异常偏移或超限时自

动锁定并推送预警,保障临电与登高作业安全,有效降低触电与高处坠落风险。(3)施工现场环境参数监测与风险预警。部署扬尘监测仪、风速风向仪及温湿度传感器,对PM_{2.5}/PM₁₀、风力等级、温度、湿度等环境因子进行连续采集。当监测值超过施工安全阈值时联动预警,恶劣天气(如风力超过六级、暴雨等)自动触发停工建议及应急措施提醒,为施工调度与防灾避险提供及时、可靠的数据依据。

2.4 施工流程与隐患闭环智慧化管理

(1)施工工序标准化智能管控。将施工方案拆解为标准化作业步骤,在平台内设定工序执行序列与验收节点,通过定位签到、影像留存及电子签认等方式逐项确认,确保每道工序按规执行,防止工序混乱与验收缺位。系统自动记录工序流转全过程,为质量追溯与责任界定提供有力证据链。(2)安全隐患自动排查、上报、整改闭环管理。构建“AI巡检+人工上报”双轨机制,系统自动生成隐患工单并推送责任人,整改过程支持文字、图片及定位水印留痕,整改完成后提交复查申请,由安全员线上审核,形成排查—派单—整改—复查—归档的完整闭环,确保隐患治理责任清晰、过程可溯、时限可控,杜绝隐患久拖不决^[4]。(3)施工安全日志、台账智能化生成与归档。平台依据实时监测数据、巡检记录及告警事件,每日自动生成标准化安全日志,涵盖人员出勤、设备状态、环境指标及隐患处理汇总。各类安全台账按项目、时间维度自动分类归档,支持关键词检索与多维度导出,为安全管理回溯、统计分析及监管检查提供可靠、规范的数据支撑,有效提升安全管理的标准化与精细化水平。

3 智慧化监管在电力施工现场安全管理中应用成效、问题与优化策略

3.1 工程应用成效分析

(1)安全隐患排查整改效率提升效果。智慧化监管体系部署后,隐患排查由人工周期性巡查转变为全天候在线监测与自动告警,发现隐患的平均响应时间大幅缩短。以某输变电工程为例,隐患从发现到整改完成的平均闭环周期由传统模式下的5.7天压缩至2.3天,整改及时率提升约60%,有效遏制了隐患演变为事故的进程。(2)施工安全事故发生率下降数据分析。通过对多个试点工程的数据统计,智慧化监管体系运行期间,现场违章行为发生率同比下降约65%,一般安全事故起数下降约52%,未发生较大及以上安全事故。AI视觉识别与电子围栏等技术在防高坠、防触电等关键风险点发挥了显著预防作用。(3)安全管理人力、时间成本优化成

效。自动巡检、电子台账和智能预警功能替代了大量人工巡查及文书工作,现场专职安全监管人员配置可减少约30%。同时,每日安全日志生成时间由传统手工记录的约1.5小时缩减至系统自动生成的5分钟以内,大幅释放了管理资源用于现场决策与协调。

3.2 当前智慧化监管应用存在的问题

(1) 设备适配性不足,复杂施工场景监测盲区依然存在。部分传感器在高温、高湿、强电磁干扰等电力施工典型环境中稳定性下降,地下管廊、高空塔架等区域存在信号衰减或设备安装困难,导致感知覆盖存在薄弱环节。(2) 数据融合度低,各监管模块存在信息孤岛。人员定位、设备监测、环境感知等子系统之间数据格式和通信协议各异,平台间未实现深度互通,多源信息难以联动分析,制约了综合风险研判能力。(3) 人员操作能力不足,智慧监管系统利用率偏低。部分基层管理人员对智能终端和平台功能掌握不熟练,习惯于传统管理模式,系统高级功能(如趋势分析、预案推演等)使用率不高,造成技术资源的闲置浪费。(4) 运维体系不完善,设备故障、数据延迟问题频发。前端感知设备缺乏定期校准与维护,现场网络环境不稳定,导致部分时段数据中断或传输延迟,影响监管连续性和预警及时性。

3.3 电力施工现场智慧化监管优化策略

(1) 优化硬件设备配置,适配复杂电力施工场景。针对不同场景选型工业级、高防护等级的感知设备(防尘防水等级不低于IP65,宽温域工作范围-20℃至70℃),在地下、高空等特殊区域采用中继增强与冗余部署方案,弥补信号盲区,确保感知层覆盖完整、数据采集可靠。(2) 搭建一体化数据平台,实现多模块数据互联互通。统一数据标准与接口规范,打破各子系统壁垒,建立数据中台实现跨模块信息汇聚与关联分析,为综合预警与协同决策提供数据基础,实现“一次告警、多源印证、联动响应”的监管效果。(3) 开展专项技

能培训,提升管理人员智慧监管操作能力。制定分层分类培训计划,结合现场实操与模拟演练,将系统操作纳入安全管理人员考核指标,定期组织技能比武和经验交流,确保平台功能充分发挥效能,推动智慧监管工具深度融入日常管理^[5]。(4) 建立常态化运维机制,保障系统稳定高效运行。设立专职运维团队,制定设备周检、月检与故障4小时内响应的服务规程,部署网络质量监测与备用通信链路,建立备品备件库,确保系统在施工关键期内连续、稳定运行,最大程度降低设备故障对监管工作的影响。

结束语

本文构建的电力施工现场智慧化监管体系,实现了安全管理从事后整改向事前预防、事中管控的转变,有效弥补了传统管理模式的短板,显著提升了施工现场安全管控质效。针对目前设备适配性差、数据融合度低、人员能力不足等现存问题,提出硬件优化、数据互通、技能培训、常态化运维等优化策略。未来需持续迭代智慧监管技术,完善管控体系,全面赋能电力施工现场安全管理标准化、智能化、精细化发展。

参考文献

- [1] 赵伟,陈亮.特高压变电站施工人员行为安全智能监管体系构建与实践[J].中国电力,2022,55(11):201-207.
- [2] 杜远,孙阳.基于人工智能技术的电力线路施工现场安全图像识别监管方法[J].电工技术,2022,17(14):87-90.
- [3] 王浩,张磊.电力基建施工现场智慧安全监管系统设计与应用[J].电力安全技术,2023,25(06):32-37.
- [4] 刘军,周洋.智慧工地技术在电力工程施工安全风险管控中的应用研究[J].电力系统保护与控制,2024,52(09):112-118.
- [5] 李田庭.智能物联网技术在电力施工安全智慧监管中的应用研究[J].现代工程技术与管理,2025,12(01):45-49.