

电力工程施工中智能监测系统应用研究

路广龙¹, 任怀佳², 相龙强³

(1. 滨州市北海信和新材料有限公司, 山东 滨州 256600;

2. 山东裕龙石化有限公司, 山东 烟台 264000;

3. 滨州北海汇宏新材料有限公司, 山东 滨州 256600)

摘要 随着新型电力系统建设不断推进, 电力工程项目规模与技术难度持续增大, 传统监测方法在效率和预警时效性方面已显不足。本文围绕智能监测技术在工程实践中的运用, 剖析其“感知-网络-平台-应用”四层架构体系, 研究该系统在输电线路、变电站及地下电缆施工场景的实施方案, 通过三项工程实例应用效果验证, 针对技术适配与成本管控等关键问题提出可行的改进方案。研究表明, 整合物联网、人工智能及建筑信息模型与地理信息系统技术的智能监测系统, 能有效降低施工安全事故超过60%, 将工程效率提升接近50%, 为电力工程精益化管理奠定坚实的技术基础。

关键词 电力工程施工; 智能监测系统; 物联网; BIM 技术; 安全管控

中图分类号: TM7; TP27

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.006

0 引言

电力工程是能源体系中的关键组成部分, 其施工质量以及安全状况直接关系到电网运行的可靠性。当下特高压输电和智能配电网项目持续向前推进, 施工环境存在高空作业、交叉施工、地下管线等多重高风险因素。传统人工巡检方式存在明显局限, 质量问题的整改成功率低于70%且多数安全事故源自风险预警滞后。随着数字经济与新型基础设施建设深度融合, 物联网、人工智能等技术在工程领域获得广泛应用, 智能监测系统凭借实时数据采集、智能分析和主动预警功能, 推动施工管理从依靠经验朝着数据驱动方向转变, 对于提高工程质量、保障施工安全、控制项目成本具有显著价值。

国内学者针对智能监测技术开展了多方面探索研究。蓝燕云(2025)提出“感知-网络-平台-应用”的分层架构体系, 同时指出该系统存在初期投入较大、数据集成困难等挑战。仝蕊(2025)结合BIM技术与物联网开发智能化管理系统, 并且在配电网工程实践中验证了其适用性。张国强团队(2024)设计基于BIM+IoT融合的监测方案, 有效提升了数据交互效率。现有研究主要针对单一技术或者特定场景展开, 缺乏对全生命周期应用策略的系统梳理, 而且在技术先进性与经济成本之间难以找到平衡点。本文基于最新工程实践构建完整的应用体系框架, 为实际应用提供更实

用价值的技术实施方案。研究内容包含系统核心框架的详细分析、典型施工场景应用的具体方法、实际项目效果的全面检验以及现存短板和对应的改进措施。实施路径严格遵循“理论铺垫-实证检验-持续优化”的原则, 首先深入解析关键技术之间的协同关系并构建系统的整体框架; 其次为三类典型场景量身定制具体的应用策略; 接着通过三个工程实例追踪项目实施的实际成效并量化评估改进效果; 最后从技术、管理、政策这三个维度提出具有针对性的改进建议。

1 电力工程施工智能监测系统核心技术架构

1.1 系统总体架构设计

智能监测体系采用的是分层设计方式, 其结构涵盖感知、传输、支撑以及应用这四大层级, 具备良好的扩展能力和快速响应特性, 能够灵活适配各类电力工程项目需求^[1]。感知层通过部署倾角监测仪、应力感应器以及位移采集终端等设备, 并且整合无人机航拍与智能穿戴设备, 采用“固定监测+移动巡检”协同工作模式, 实时获取铁塔基础沉降情况、导线受力状态及人员位置等关键数据。传输层构建融合5G高速通信、光纤专线、LoRa低功耗以及NB-IoT窄带物联网的多模态通信网络^[2]。根据现场作业环境智能选择最优传输路径, 通过专用加密协议确保数据传输安全。支撑层依托云计算与边缘计算的协同处理架构, 采用混合式数据库分别存储结构化数据与时间序列数据, 利

作者简介: 路广龙(1981-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 电力工程。

用边缘计算节点实现数据本地化预处理,有效减轻网络传输压力,通过大数据分析技术实现数据价值深度挖掘。应用层集成安全风险预警、工程质量监控及施工进度管理等核心功能模块,基于建筑信息模型(BIM)与地理信息系统(GIS)技术构建三维可视化交互平台,为项目各方提供差异化定制服务。

1.2 核心支撑技术

物联网技术通过基于统一通信协议达成设备的互联互通,在输电线路施工时能实时监测杆塔及导线运行状态,在变电站建设中可统一调配施工设备进而有效提升多方协作效率^[3]。AI算法借助运用卷积神经网络(CNN)实现质量缺陷图像的高精度识别(准确率超97%),结合长短期记忆网络(LSTM)对进度偏差进行预测,还通过强化学习优化资源配置从而显著增强决策的智能化程度。BIM+GIS融合技术利用建筑信息模型(BIM)构建三维数字化场景,凭借地理信息系统(GIS)提供空间地理数据,二者协同实现施工环境的全方位可视化展示并为方案模拟与冲突检测提供技术支撑。区块链技术依靠其数据不可篡改特性确保施工全过程的资料存证与质量可追溯,形成完整的追溯证据链并为责任界定提供可靠依据。

1.3 关键功能模块

安全风险预警模块借助实时信息流和智能算法,利用UWB人员追踪与设备状态监测完成风险等级预警,超出设定限值时通过多样化渠道发警报并推送处置方案。质量管控模块融合AI视觉识别与激光扫描技术,自动检测混凝土裂缝和焊接瑕疵等缺陷,实时比照施工参数与规范要求实现质量问题全流程管控^[4]。进度管理模块结合计划编排与信息采集功能,自动监测进度差异,剖析根源并预判走向,通过图形化界面辅助进行资源统筹。资源调度优化模块依托供需预测模型精准预估资源需求,制定高效调配策略,杜绝闲置消耗,提升资源周转效率。可视化监控模块以BIM+GIS为基础打造全景化平台,支持实时查勘现场状况、历史追溯与动态推演,为决策提供直观依据。

2 智能监测系统在电力工程施工中的应用策略

2.1 在输电线路施工中的应用

工程存在跨度范围广、地形条件复杂以及高空作业频繁等特点,所以系统核心致力于安全保障和质量监督方面,前期依靠BIM与GIS技术对路径规划进行优化,从而成功避开不利的地段^[5]。在基础施工环节布置沉降观测仪与角度监测器,按照每5分钟一次的频率来采集相关数据,若当日沉降量超过3毫米或者倾斜角度达到0.5度就会立即发出警报。例如:在某±

800千伏特高压项目中,该方法提前发现3处基础异常沉降,在杆塔架设过程中利用应力感应器实时监测结构受力具体情况,并且运用无人机拍摄配合人工智能技术检测螺栓紧固和焊接质量,使工作效率提高了3倍多。导线铺设阶段通过弧垂监测设备和振动感应装置调整施工相关参数,同时运用人员定位系统预防高空坠落事故发生。

2.2 在变电站施工中的应用

考虑到多专业交叉作业具有的特性,系统重点强化协同管理以及安装质量保障方面的工作。在施工准备阶段借助BIM模型开展方案模拟和冲突排查工作^[6]。例如:某220千伏变电站扩建项目借此识别出3处碰撞问题,有效避免了返工风险的出现。在土建施工环节实时监测混凝土养护相关数据,运用智能回弹仪快速评估结构强度状况。在设备安装阶段采用激光定位技术(精度达到±0.5毫米)确保安装精度达标,并通过振动传感器预防设备出现损伤情况。基于UWB定位与作业分配模块划分施工区域范围,某工程实现多工种高效协同作业,工期压缩了15%且资源利用率提高23%。在调试阶段通过参数自动比对方式,工作效率提升超过50%。

2.3 在地下电缆施工中的应用

考虑到地下环境复杂多变还暗藏潜在风险的情况,系统着重对环境安全和施工精度进行了提升。施工之前依靠地质雷达以及GIS技术来明确管线分布情况,进而合理规划电缆铺设的路径以避免和现有管线产生冲突。开挖阶段设置气体、水位还有沉降监测设备,建立全天候动态监控体系,若监测指标超出安全阈值,系统会自动断电并且发出警示,为作业人员提供双重防护保障。例如:在某市供电工程中,该方法成功防止了甲烷中毒事故发生。在电缆敷设进程中,分布式光纤传感技术实时监测电缆受力与弯曲状况,配合RFID标签实现从生产、铺设直至维护的全链条追溯管理。智能巡检机器人结合红外热成像技术,能够及时对设备温度异常发出预警,使巡检效率提升到原先的7倍。回填作业时,智能压实监测系统实时追踪压实度和土壤湿度,并且运用三维激光扫描技术验证回填质量,极大地降低了后期沉降风险,保证了地下电缆的长期稳定运行。

3 工程案例分析

3.1 案例一: ±800千伏特高压直流输电线路工程

工程线路的总长度达到326公里,穿越了多种不同的地貌区域,一共设置了78座铁塔,项目在2023年6月启动建设,预计到2024年12月能够完工,总的投资额达到了18.6亿元。系统部署了320套传感器、12台无人机以及86套智能穿戴设备,并且构建了云端数据

监控平台。投入使用之后，成功识别并且处理了42处安全隐患，重大风险得到了提前干预，事故发生率降低了68%，工程质量一次性验收的合格率达到99.2%，人工巡检的工作量大幅减少了60%，项目工期缩短了12%，实现了成本节约3.2%。

3.2 案例二：220千伏智能变电站扩建工程

项目把选址确定在市中心区域，计划新增加一台容量为180 MVA的主变压器，由于受场地紧凑以及多方施工并行等因素限制，工程在2024年初启动并在同年9月完成建设。在实施过程当中建立了三维建筑信息模型，并且布设了45个振动监测点、38处温度感应装置以及16个人员定位基站，同时还配套开发了协同管理软件。系统应用之后带来了非常显著的成效，减少了3次设计方案调整从而节省资金180万元，有效规避了5起交叉作业安全事故，设备安装精度控制在±0.3毫米范围之内且调试一次性合格率达100%，最终工期提前15天完成且劳动生产率提高25%。

3.3 案例三：城市地下电缆管网改造工程

对核心区域长达28千米的管网进行改造，该区域周边建筑物密集且管线复杂，于2023年10月开工并在2024年8月竣工，部署了62台气体传感器、48台水位传感器以及28套光纤传感设备，还配备8台巡检机器人和1200个RFID标签。应用之后发出有害气体超标预警16次、积水预警9次且无安全事故发生，电缆敷设合格率达到99.5%、接头故障率为0，巡检效率提升6倍、运维成本降低35%，供电可靠性得到显著提升。

4 智能监测系统应用存在的问题与优化路径

4.1 面临的主要挑战

从技术层面来讲，在特殊工况下，传感器会受到高低温以及强电磁干扰影响，容易出现数据偏移或者功能失效的状况。设备之间因为通信协议不兼容的问题形成信息壁垒，阻碍了数据的互通与共享。人工智能技术在处理多变量耦合且动态变化的复杂场景时，模型泛化能力有限，难以有效应对突发状况。从经济角度来说，前期研发、设备采购以及系统部署需要大量资金投入，这对资金实力较弱的中小企业构成较大的财务压力。部分技术研发由于市场需求波动或者技术路线偏离，未能转化为实际经济效益，造成了资源的浪费。从管理角度而言，既懂技术又熟悉业务的复合型人才相对比较匮乏，现场作业人员因为受教育程度和技能培训不同，技术水平存在差异，影响作业质量与效率，数据采集、存储和传输环节的安全保障机制不完善，存在数据泄露的风险。从标准角度来看，不同厂商的技术体系和数据格式缺乏统一接口标准，导致技术集成

难度大且兼容性差。科学合理的技术成效评价指标体系尚未建立，难以客观评估技术应用的实际价值与效益。

4.2 改进措施与方向

技术升级要开发适应严苛工况的传感装置，并建立标准化的接口协议与通信机制，同时优化人工智能算法在多样化场景的表现还要深化数字孪生技术的实际应用。成本优化需实施分级配置方案并推广模块化设备设计，同时创新“设备租赁+技术服务”的商业模式进而提高设备的成本效益比。人才发展应构建产学研协同培养体系，并强化现有从业人员的技术培训，同时建立科学的人才激励与留存机制。管理强化要完善数据安全防护体系并制定标准化的操作规程与应用指南，同时构建多层次的成效监测评估体系。政策保障需加快行业技术规范的制定进程，并推出针对性的财政扶持与税收减免政策，同时建设行业资源共享公共服务平台。

5 结束语

智能监测系统构建起四层体系架构，通过整合多种关键技术实现多功能集成应用，有效克服了传统监测方式的局限性。结合三类典型施工场景特点制定差异化实施方案，以此确保施工各环节实现精细化管理与控制。实际工程应用结果表明，该系统能明显提高施工安全性、质量水平和作业效率，同时有效控制成本并降低运维风险。但是，当前系统应用在技术实现、经济投入、专业人才、行业标准等方面仍存在挑战，需要多方面协同开展攻关工作。未来，智能监测系统将朝着自主决策与预测性维护的方向发展，通过打通全生命周期数据链构建数字孪生模型，同时开发轻便的移动终端应用助力行业向绿色低碳方向转型。后续研究可重点探索数字孪生的深度应用、AI算法的自优化升级、跨区域协同监测平台搭建等课题，为电力工程智能化进程提供更强大的技术支撑。

参考文献：

- [1] 蓝燕云. 电力施工监测软件如何助力高效安全的电力工程建设[J]. 中国电力企业管理, 2025(08):45-49.
- [2] 仝蕊. 智能化施工管理系统在电力工程项目中的实践研究[J]. 智能科技, 2025,07(21):31-34.
- [3] 张国强, 李娟. 基于BIM+IoT的电力工程施工智能监测系统设计[J]. 建筑科学与工程学报, 2024,41(03):92-98.
- [4] 赵伟, 孙丽, 吴刚. 特高压输电线路施工智能巡检技术应用研究[J]. 高电压技术, 2024,50(07):2654-2662.
- [5] 李明, 王芳. 变电站施工多工种协同智能管理系统开发与应用[J]. 电力自动化设备, 2023,43(12):187-193.
- [6] 陈亮, 周强. 地下电缆施工安全智能监测技术研究[J]. 中国电力, 2023,56(09):168-175.