

智能物联网技术在电力施工安全管理中的应用研究

李田庭

450330*****0712

摘要:随着我国电力基础设施建设的快速推进,电力施工安全管理面临环境复杂、人员流动性高、风险因素多样等挑战。传统安全管理模式依赖人工巡检与经验判断,存在监测滞后、数据处理效率低、风险预警能力不足等问题。智能物联网技术通过整合物联网感知、大数据分析、人工智能等技术,构建覆盖电力施工全流程的智能监控体系,可有效提升安全管理的前瞻性与精准性。本文系统梳理智能物联网技术的核心架构,分析其在电力施工现场环境监测、设备状态管控、人员行为管理及应急响应等场景的具体应用路径,探讨技术落地过程中面临的挑战并提出优化对策,为电力施工安全管理向智能化、数字化转型提供理论支撑与实践参考。

关键词:智能物联网;电力施工;安全管理;传感器网络;大数据分析

DOI: 10.64216/3104-9664.25.01.025

引言

电力工业作为国民经济的基础产业,其施工安全直接关系到电网稳定运行与社会公共安全。近年来,随着特高压工程、新能源电站等大型电力项目的大规模建设,施工场景日益复杂,涉及高空作业、带电操作、交叉施工等多重风险点。传统安全管理模式以“事后追责”为主,难以实现对风险的主动预判与过程控制。智能物联网技术作为新一代信息技术的重要组成部分,通过“物物相连、数据互通”的特性,可将电力施工现场的人员、设备、环境等要素全面数字化,构建实时感知、智能分析、快速响应的安全管理体系。在此背景下,研究智能物联网技术在电力施工安全管理中的应用逻辑与实践路径,对推动行业安全管理升级具有重要意义。

1 电力施工安全管理的物联网架构设计

针对电力施工场景的特殊性,智能物联网系统可划分为感知层、网络层、平台层与应用层四层架构: (1)感知层是系统的“神经末梢”,部署各类智能传感器与终端设备。例如,环境监测传感器(温湿度、可燃气体、粉尘浓度)、设备状态传感器(电流、电压、振动频率)、人员定位标签(北斗/GPS定位、UWB超宽带定位)及穿戴设备(心率、血压、跌倒检测)等。这些设备通过低功耗广域网(LPWAN)或5G网络接入,实现对施工现场“人-机-环”的全方位感知。(2)网络层承担数据传输功能,需满足电力施工场景的高可靠性与低延迟要求。5G网络的毫秒级时延与高连接密度特性,可保障视频监

控、应急指令等实时数据的稳定传输;同时,采用工业级VPN与加密隧道技术,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。(3)平台层是系统的“大脑”,包含数据存储、处理与算法模型三大模块。数据存储模块采用分布式数据库(如HBase)存储海量感知数据;数据处理模块通过流计算框架(如Flink)对实时数据进行清洗、聚合与特征提取;算法模型模块集成机器学习(如随机森林、LSTM)与知识图谱技术,构建风险预测模型与决策支持系统。(4)应用层面向电力施工安全管理的具体业务场景,提供可视化监控、风险预警、应急指挥等功能。通过数字孪生技术,可在虚拟空间中同步映射施工现场状态,管理人员通过PC端或移动端即可实时掌握全局信息。

2 智能物联网技术在电力施工安全管理中的典型应用场景

2.1 施工现场环境风险监测与预警

电力施工常涉及野外作业、地下管廊施工等场景,环境风险(如极端天气、有害气体泄漏、地质塌陷)是威胁人员安全的重要因素。智能物联网技术可通过多源传感器网络实现环境参数的全时监测: (1)气象监测:在施工现场部署风速仪、雨量计、温度传感器,结合气象部门数据,构建区域气象预警模型。当检测到6级以上大风或暴雨红色预警时,系统自动推送停工指令至现场负责人,并通过短信、APP通知所有作业人员。(2)有害气体监测:针对电缆沟开挖、变电站施工等场景,部

署可燃气体（甲烷、氢气）、有毒气体（硫化氢、一氧化碳）传感器，设定阈值（如甲烷浓度 $>1\text{LEL}$ ）触发报警。系统可联动通风设备自动启动，并通知附近人员撤离。（3）地质安全监测：在山区或软土基施工区域，布设位移传感器与倾角传感器，实时监测边坡位移量与支架倾斜角度。当位移速率超过预警值（如 $>5\text{mm/天}$ ）时，系统发出塌方预警，指导现场调整施工方案。

2.2 施工设备全生命周期安全管理

电力施工设备（如起重机、挖掘机、带电作业车）的状态直接影响作业安全。传统管理依赖定期检修与人工巡检，难以发现早期故障隐患。智能物联网技术可实现设备“状态修”与“预测性维护”：（1）设备定位与轨迹管理：通过安装北斗定位模块，实时追踪大型设备的位置与移动轨迹。当设备进入非作业区域（如高压带电区）时，系统自动锁定操作权限并报警，防止误触引发事故。（2）运行状态实时监测：在设备关键部件（如起重机钢丝绳、发动机）部署振动传感器与温度传感器，采集振动频率、温度异常等数据。结合机器学习模型分析，可提前识别部件磨损、润滑不良等故障征兆。例如，钢丝绳振动频率异常升高可能预示断丝风险，系统可提示更换时间窗口。（3）远程运维与故障诊断：通过5G网络将设备运行数据上传至云端平台，由专家团队远程分析故障原因。对于简单故障，可推送维修指南至现场人员；复杂故障则调度就近服务团队，缩短停机时间。

2.3 作业人员行为安全管控

人员不安全行为（如未佩戴安全装备、违规进入受限区域、疲劳作业）是电力施工事故的主要诱因。智能物联网技术可通过“感知-分析-干预”闭环实现人员行为的全程管控：（1）安全装备穿戴监测：为作业人员配备智能手环与定位工牌，集成加速度传感器与红外探测器。当检测到未佩戴安全帽（加速度传感器识别头部运动特征）或进入高压区（红外探测器触发）时，工牌立即震动报警，同时后台推送提醒至安全监督员。（2）疲劳状态识别：通过智能手环采集心率变异性（HRV）、体温、运动轨迹等数据，结合机器学习模型评估人员疲劳程度。当疲劳指数超过阈值（如连续作业4小时且心率波动异常），系统自动限制其操作权限，并建议休息。（3）违规行为智能识别：在施工现场部署AI摄像头，

利用计算机视觉技术识别未系安全带、跨越防护栏等违规动作。识别结果实时上传至管理平台，同步触发声光报警，督促现场纠正^[1]。

2.4 应急响应与协同处置

电力施工事故具有突发性强、扩散快的特点，高效的应急响应可大幅降低伤亡与损失。智能物联网技术可构建“监测-预警-处置”一体化应急体系：（1）事故快速定位：当事故发生（如火灾、触电）时，现场传感器（烟雾、温度、电流）立即触发报警，系统通过地理信息系统（GIS）标注事故坐标，同步显示附近救援资源（如消防器材、医疗点）分布。（2）救援方案智能生成：基于历史事故数据与实时监测信息，AI模型可推荐最优救援路径（避开危险区域）、救援物资调配方案（如灭火器类型、数量）及人员疏散路线。（3）多方协同指挥：通过视频通话、集群对讲等功能，实现现场救援人员、后方专家、企业管理层的实时沟通。系统自动生成应急处置日志，记录关键决策节点与执行效果，为事后复盘提供依据。

3 智能物联网技术应用的关键技术支撑

3.1 多源异构数据融合技术

电力施工场景中，传感器类型多样（如模拟量、数字量、视频流），数据格式与传输协议各异（如Modbus、MQTT、HTTP），导致数据融合难度大。多源异构数据融合技术通过以下步骤解决这一问题：（1）数据标准化：制定统一的数据采集规范，定义传感器类型、数据格式、时间戳等元数据，确保不同设备数据的一致性。（2）特征级融合：针对同一对象的多维度数据（如设备振动数据与温度数据），提取时域、频域特征并关联分析，消除单一特征的局限性。例如，设备振动异常且温度升高可能预示轴承故障，单一特征易产生误判。（3）决策级融合：基于多模型输出结果（如机器学习预测模型与环境规则库），采用D-S证据理论或贝叶斯网络进行综合决策，提升风险判断的准确性^[2]。

3.2 边缘计算与云端协同计算

电力施工数据具有实时性要求高（如应急报警需毫秒级响应）与计算量大（如视频图像分析）的双重特性。边缘计算与云端协同计算通过分层处理优化性能：（1）边缘侧处理：在靠近数据源的边缘节点（如施工现场网关）完成数据清洗、简单特征提取与低延迟决策。例如，

人员未佩戴安全帽的识别可在边缘端通过轻量级 AI 模型完成，无需上传云端，响应时间缩短至 200ms 以内。

(2) 云端深度分析：复杂任务（如长期趋势预测、跨项目数据对比）由云端服务器完成。云端利用分布式计算框架（如 Spark）处理海量历史数据，训练更精准的机器学习模型，并将优化后的模型下发至边缘节点，形成“训练在云端、推理在边缘”的协同模式。

3.3 数据安全与隐私保护技术

电力施工数据涉及敏感信息（如人员位置、设备参数），一旦泄露可能引发安全事故或法律纠纷。数据安全与隐私保护技术通过多重机制保障数据全生命周期安全：(1) 传输加密：采用国密 SM4 算法对传输数据进行加密，结合 TLS1.3 协议建立安全通道，防止中间人攻击。(2) 存储加密：敏感数据（如人员生物特征、设备密钥）采用 AES-256 算法加密存储，访问需经过多因素认证（如密码+指纹）。(3) 隐私计算：在不共享原始数据的前提下，通过联邦学习技术实现跨主体数据联合建模。例如，不同电力企业的施工安全数据可在本地训练模型，仅交换模型参数，保护数据隐私^[3]。

4 智能物联网技术应用的挑战与对策

4.1 技术融合与标准化难题

电力施工场景涉及电力工程、信息技术、通信技术等多学科交叉，不同厂商的设备协议不兼容、数据格式不统一，导致系统集成难度大。对策如下：(1) 推动行业标准制定：联合行业协会、龙头企业制定电力施工物联网设备接口规范、数据格式标准与安全防护要求，促进设备互联互通。(2) 构建开放平台：鼓励企业开发支持多协议转换的物联网关与云平台，降低不同系统间的集成成本。例如，平台可兼容 Modbus、LoRa、NB-IoT 等多种协议，支持第三方应用快速接入。

4.2 数据质量与模型可靠性问题

施工现场环境复杂（如电磁干扰、传感器老化），可能导致数据缺失、噪声过大，影响模型预测准确性。对策包括：(1) 数据质量管控：部署数据校验模块，通过时间序列分析、异常值检测等方法剔除噪声数据；

对缺失数据进行插值补全（如线性插值、KNN 插值），保障数据完整性。(2) 模型动态优化：建立模型在线更新机制，定期利用新采集数据重新训练模型，适应施工场景的变化^[4]。

4.3 人员技能与管理模式转型

智能物联网技术的应用对人员素质提出更高要求，部分管理人员与作业人员存在“技术抵触”或“能力不足”问题。对策如下：(1) 开展分层培训：针对管理人员，重点培训系统操作、数据分析与决策方法；针对作业人员，通过模拟演练熟悉智能终端的使用（如定位工牌、智能手环）及预警响应流程。(2) 优化管理模式：从“经验驱动”转向“数据驱动”，建立基于物联网数据的安全考核指标（如风险预警响应及时率、设备故障预测准确率），激励全员参与安全管理。

5 结论

智能物联网技术通过整合物联网感知、大数据分析、人工智能等技术，为电力施工安全管理提供了从被动应对到主动预防的全新解决方案。本文系统分析了其在环境监测、设备管理、人员管控及应急响应中的应用场景，探讨了多源数据融合、边缘计算、数据安全等关键技术支撑，并提出了技术标准化、数据质量管控与人员培训等优化对策。未来，随着 5G、数字孪生等技术的进一步发展，智能物联网将在电力施工安全管理中发挥更核心的作用，推动行业向更高效、更安全的方向迈进。

参考文献

- [1] 肖靖, 曾锦松, 林鸿玲, 王玮, 陈芳. 智能监控系统在电力施工安全管理中的应用研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(12): 86-89.
- [2] 张文智, 何洪洋, 高岳, 李金德. 智能监控系统在电力施工安全管理中的应用[J]. 电子技术, 2023, 52(1): 322-324.
- [3] 刘新玲. 智能监控系统在电力施工安全管理中的应用分析[J]. 新潮电子, 2025(14): 31-33.
- [4] 黄紫英. 基于物联网与人工智能技术的电力施工现场管控系统研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(8): 62-64.