

电力工程施工安全与智能监控研究

臧天雅

(湖南湘中输变电建设有限公司, 湖南 娄底 417000)

摘要 电力工程施工涉及高空作业、带电操作、起重吊装等高危环节, 传统安全管理存在监控效率低、预警滞后等不足, 亟需引入智能化手段提升管理水平。通过构建基于物联网感知、AI 图像识别、多源数据融合的智能监控体系, 实现对施工现场人员行为、设备状态、环境参数的实时采集与智能分析。工程应用结果表明, 该体系可使人身伤害事故率下降 67.2%, 隐患发现效率提升至原来的 3.4 倍, 预警响应时间缩短 92.9%。智能监控技术与施工安全管理的深度融合, 能够有效弥补传统模式的技术短板, 为电力基础设施建设安全提供有力支撑。

关键词 电力工程; 施工安全; 智能监控; 物联网; 风险预警

中图分类号: TP277; TM72

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.029

0 引言

电力工程作为国民经济发展的重要基础设施, 其施工过程涉及高空作业、带电操作、大型设备吊装等高危环节, 安全风险突出, 传统安全管理模式主要依赖人工巡检与事后处理, 存在监控盲区多、响应速度慢、预警能力弱等问题。近年来, 随着物联网 (IoT, Internet of Things)、人工智能 (AI, Artificial Intelligence)、云计算等技术的快速发展, 智能监控技术在工程施工领域得到广泛应用, 将先进的智能监控技术引入电力工程施工安全管理, 实现对施工现场人员、设备、环境的实时感知以及智能分析, 对于预防安全事故, 保障施工人员生命安全具有重要的理论价值与现实意义。

1 电力工程施工安全关键技术

1.1 高空作业与临边防护技术

在电力工程施工中, 输电线路架设、铁塔组立、变电站设备安装等作业普遍在高空环境下进行, 高空坠落事故是导致人员伤亡的首要因素, 针对这一问题, 高空作业安全防护技术的核心在于构建“人一机一环境”三位一体的立体防护体系。

在个人防护装备方面, 采用智能安全带与自锁式防坠器相结合的方式, 当作业人员发生意外坠落时, 防坠器能够在 0.3 秒内自动锁止, 有效限制坠落距离。在临边防护方面, 针对塔上作业平台、脚手架边缘等危险区域, 采用装配式防护栏杆与安全网组合防护, 防护栏杆高度不低于 1.2 米, 并设置踢脚板防止工具坠落伤人。

突破性地提出基于风险等级的动态防护策略, 根据作业高度、气象条件、人员技能等因素综合评估作业风险等级, 动态调整防护措施强度, 建立高空作业风险综合评估模型, 其风险指数计算公式如下, 表示为式 (1)。

$$R=\alpha H+\beta W+\gamma S \quad (1)$$

式 (1) 中, R 为综合风险指数, H 为作业高度因子, W 为气象条件因子, S 为人员技能因子, α , β , γ 分别为各因子权重系数, 通过层次分析法 (AHP, Analytic Hierarchy Process) 确定, 取值范围为 0 至 1, 且 $\alpha+\beta+\gamma=1$ 。

该模型的核心作用在于将定性的安全评估转化为定量指标, 为现场安全管理决策提供科学依据, 实现从经验管理向数据驱动管理的转变。

1.2 带电作业安全控制技术

带电作业为电力工程施工与运维中的特殊作业样式, 作业人员需在不停电状态中开展设备检修以及线路维护事宜, 电弧烧伤等极具威胁的风险, 带电作业安全控制技术的核心之处是创建可靠的电气绝缘屏障与安全距离保障模式。

在绝缘防护相关事宜上, 选用复合绝缘材料制成的绝缘服、绝缘靴这类个人防护器材, 其绝缘等级应达到相应电压等级的要求, 对于 110 kV 及以上电压等级下的带电作业操作, 绝缘工具泄漏电流不可超出规定的限定数值, 就安全距离控制而言, 严格依照最小安全距离既定要求执行, 实施 220 kV 线路带电作业的时段, 人体与带电体之间的最小距离不少于 1.8 米。

作者简介: 臧天雅 (1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 电力工程技术。

1.3 起重吊装作业安全技术

电力工程施工开展阶段，断路器等大型设备安装以及输电铁塔构件组立都涉及起重吊装作业，在吊装作业中存在起重机倾覆的情形，诸如碰撞挤压的风险，起重吊装安全技术的核心内容为保证起重设备的稳定与吊装过程的可控。

就起重机稳定性问题而言，作业开始前需进行地基承载力验算，使支腿支撑面积与地基承载力满足相关要求，在实施吊装作业期间，借助力矩限制器实时监控起重机的实际工作力矩，若力矩达到额定值的90%就发出预警，若超过额定值，会自动切断起升机构的动力，在吊具安全相关范畴，钢丝绳的安全系数不低于6，吊环这类索具要定期开展探伤检测。

突破性地给出智能吊装监控方案，在起重机的关键部位安置倾角传感器，负载传感器与风速仪设备，构建多参数融合的吊装安全监测体系，此系统可实时算出起重机的稳定性裕度，与风载荷预测模型相结合，预先发觉吊装作业的潜在风险，为吊装指挥进行决策提供技术后盾。

2 施工现场智能监控技术体系

2.1 物联网感知与数据采集技术

物联网感知技术是智能监控体系的基础支撑，其关键作用是实现施工现场物理世界和信息世界的有效贯通，为上层的智能分析提供全面、实时的数据支撑。

就传感器部署而言，构建囊括人员、设备及环境三大要素组成的感知网络。就人员感知层面，为施工人员分发集成定位芯片装置，带有生命体征传感器的智能安全帽，及时采集位置，如体温这类的数据^[1]。在设备状态察觉层面，在起重机械上面，给施工车辆等关键设备安装运行状态监测传感器，采集设备工作时的工况参数。在环境感知层面，摆放温湿度监测探头，如有毒有害气体浓度的环境监测传感器。

数据传输采用“边缘到云端”协同架构，现场边缘网关对传感器数据进行预处理，接着完成协议转换后，采用5G或工业以太网的方式上传到云端平台，开拓性地提出基于时序数据特征的自适应采样途径，在保障数据完整状态的情形下，依据参数的变化速度动态调整采样频率，有效减轻网络传输负荷与存储成本压力，实现感知资源的合理配置。详见图1。

2.2 视频监控与AI图像识别技术

视频监控是施工现场安全管理的重要手段，而运用AI图像识别技术使视频监控从被动记录过渡到主动识别，其核心用途是自动发现安全隐患然后实时报警，大幅增进监控效益。

就视频采集而言，采用高清网络摄像机去覆盖施工现场关键区域，含有作业的区块、物资堆放处、设备运行区块、人员走动通道等，鉴于电力施工现场光照条件复杂这一情形，采用具有宽动态范围(WDR)作用的摄像装备，保证强光与阴影区域都可以清晰成像。

从图像识别算法角度，依靠深度学习框架开发电力施工场景专属的目标检测模型，实现对安全帽佩戴的检测、检查反光背心穿戴检测、危险区域闯入检测、违规行为辨认等功能，别出心裁地构建电力施工场景专用数据集，含有超过10万张已标注的图像，含有变电站，如配电工程的典型场景，模型的识别精准度达到95%以上，此专用数据集与模型的构建弥补了电力施工领域AI监控的空白，具备重要的应用推广价值。

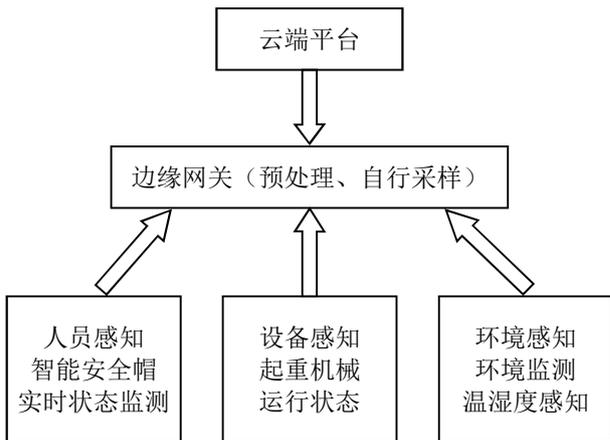


图1 物联网感知与数据采集架构

2.3 人员定位与行为智能分析技术

人员定位技术能实时把握施工人员的空间分布状态，行为分析技术可辨别人员的动作状态与行为模式，二者结合的核心功效是实现对人员安全状态精准感知以及对异常行为及时预警。

在定位技术筛选方面，室外开阔的空间采用北斗/GPS(Global Positioning System)来进行卫星定位，定位精度超出1米精度，室内连同遮挡区域采用UWB(Ultra Wide Band, 超宽带)定位技术，定位精度能实现厘米级水平，借助融合算法实现室内外定位的无间隙切换，保障人员轨迹的连续跟踪。

在行为分析方面，基于定位数据与视频数据的融合，开发人员行为智能分析算法，建立行为风险评估模型，综合考虑人员停留时间、移动速度、所处区域危险等级等因素，其行为风险度计算表示为公式(2)。

$$D = \frac{T \times L}{V + \epsilon} \quad (2)$$

式(2)中，D为行为风险度，T为危险区域停留时间，L为区域危险等级系数，V为人员移动速度，ε为修正常数，防止分母为零，通常取0.1。

2.4 风险预警与应急响应平台技术

风险预警与应急响应平台是智能监控体系的中枢，其核心作用是聚合多源数据，解析潜在风险，公布预警资讯，配置应急资源，实现安全管理的全闭环控制。

平台采用微服务架构实施设计，含有数据接入层、数据处理区块、业务应用范畴与展示交互范畴。数据接入层承担着对接各类传感器的工作，视频设备连同业务体系^[2]。数据处理层凭借大数据技术实现对海量数据的存储，去除杂质再分析、业务应用层把风险评估纳入封装范畴、应急指挥等核心相关功能。展示交互层凭借数字孪生技术构建施工现场的三维可视化模型，直接呈现安全情形。

3 智能监控应用效果分析

3.1 典型电力工程应用案例

选择某 500 kV 变电站新建项目与某特高压输电线路项目作为智能监控技术应用的验证事例，系统开始到完成部署的周期分别是 18 个月与 24 个月。

500 kV 变电站工程配置了齐全的智能监控体系，安排了 152 个环境监测点位，48 处高清视频监控点，全员范围实现定位终端覆盖，系统工作期间，累计识别出的安全隐患达 387 项，其中高空作业防护方面缺失的有 127 项，违规闯入危险区域 89 起，设备异常状态的预警数量为 171 项^[3]。AI 图像识别系统日均所处理的视频帧数超出 200 万帧，安全帽佩戴检测的判定精准度达 96.3%。

特高压输电线路工程针对施工点分布得比较分散，地形凸显复杂的特质，采用“4G/5G 与北斗结合”的移动监控方案，在 126 基铁塔施工现场投放便携式监控设备，实现远程可视化掌控，系统成功对大风进行预警，雷电等糟糕天气 23 次，及时安排人员撤离，杜绝了潜在的安全事故发生。

3.2 安全管理效能综合评估

为科学评估智能监控技术在电力工程施工安全管理上的提升效果，制定包含事故控制、以管理效率等三个维度构建的综合评估指标体系，采集智能监控技术应用前后各 12 个月的安全管理数据，完成对比剖析。

在事故驾驭方面，统计出现的人身伤害事故、设备损毁事故、环境污染事故的出现频次与危害程度，隐患整治维度，统计实际发现的隐患数量，隐患排除整改闭环率，整改周期的平均值^[4]。在管理成效方面，算出巡检的人工工时数量，预警反馈时长，资讯传递效率。

对比分析后得出，运用智能监控技术，安全效益

实现显著提升，人身伤害事故发生率出现 67.2% 的下降，隐患发现数量达到原来的 3.4 倍之多，平均整改所需周期缩短了 58.6%，巡检所需的人工工时降低了 45.3%。

智能监控技术在提高发现隐患能力上的效果极为突出，这是因为 AI 图像识别以及多源数据融合分析技术的采用，实现了对施工现场的全天无停歇、无盲区监控^[5]。预警响应时间的极大缩短验证了风险预警平台实时与有效的属性，为预防事故争得了宝贵时间。

3.3 存在问题与优化方向

即便智能监控技术在电力工程施工安全管理中展现出突出成效，但在实际应用中依然存在若干问题需要去处理。在设备适应特性方面，现有的传感器及监控设备在极端环境条件下的稳定性尚待提高，如强电磁干扰这类环境因素会对设备正常运行造成影响，引起数据采集出现中断与失真状况，未来需研发适应电力施工特定环境的专用监测设备，加强系统对环境的适应能力。

就算法准确性而言，AI 图像识别面对复杂的光照条件、遮挡场景下，识别准确率还有进一步提升的空间。就电力施工中的特种作业行为而言，如带电作业规范性的评定，存在吊装指挥手势识别等情形，需进一步扩大训练数据的集合，优化算法模型。

4 结束语

以物联网的感知为依托，人工智能图像辨认，采用风险预警等技术构建的智能监控体系，切实攻克了电力工程施工安全管理中隐患难发现、回应速度慢的问题，工程验证说明，人身伤害事故率降低至 67.2%，隐患发现效率增长至 3.4 倍。随着边缘计算与数字孪生技术的深度融合，智能监控将朝着预测能力变强、决策支持更精准的方向发展，助推施工安全管理实现主动预防的转变。

参考文献：

- [1] 余秋里. 基于物联网的电力工程施工安全监管平台研究 [J]. 信息与电脑, 2025, 37(24): 101-103.
- [2] 胡悦涛. 基于深度学习的电力工程施工现场安全风险自动识别方法 [J]. 信息与电脑, 2025, 37(24): 77-79.
- [3] 王勇. 10 kV 电力工程施工安全管理及现场质量控制措施 [J]. 大众标准化, 2025(22): 22-24.
- [4] 刘思蓉, 孙文强, 沈金林. 配电网电力工程技术及施工安全措施研究 [J]. 品牌与标准化, 2025(06): 196-198.
- [5] 刘旭. 智能化技术在电力工程施工现场安全管控中的应用 [J]. 电气技术与经济, 2025(10): 112-114.