

电力智能设备在电气施工中的关键技术研究与应用

杨健

441481*****2911

摘要: 随着电气施工智能化进程的推进,电力智能设备逐渐成为保障施工质量、提升作业效率及强化安全管控的核心工具。本文针对电气施工中电力智能设备的应用需求,系统研究了其关键技术体系,包括智能感知与数据采集技术、边缘计算与本地决策技术、智能诊断与预测维护技术。通过分析这些技术在电气施工场景中的具体应用方式,探讨了设备选型适配性、系统集成兼容性及施工环境适应性等关键问题,并从技术集成创新与工程实践验证的角度,总结了电力智能设备在提升施工安全性、优化资源配置及推动行业数字化转型中的重要作用。研究成果可为电力智能设备在电气施工中的科学应用与技术优化提供理论参考。

关键词: 电力智能设备; 电气施工; 智能感知; 边缘计算; 通信互联; 预测维护

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 12. 042

引言

电气施工是建筑工程中涉及电气系统安装、调试及运行的关键环节,涵盖电缆敷设、配电柜安装、线路连接及设备调试等多个工序,其施工质量直接影响建筑物的用电安全与功能实现。传统电气施工依赖人工经验与常规设备,存在施工精度不足、安全风险高、进度管理粗放等问题。随着物联网、人工智能及自动化技术的快速发展,电力智能设备通过集成传感器、控制器及通信模块,具备了实时感知、智能决策及远程协同的能力,成为推动电气施工智能化转型的重要支撑。电力智能设备的应用不仅能够提升施工过程的精细化水平,还可通过数据驱动的方式优化资源配置,降低人为失误风险。然而,电气施工场景的复杂性(如强电磁干扰、多工种交叉作业、恶劣环境条件)对智能设备的可靠性、适应性及技术集成性提出了更高要求。因此,深入研究电力智能设备在电气施工中的关键技术体系及其应用方法,对促进电气施工行业的技术升级与可持续发展具有重要工程价值。

1 电力智能设备在电气施工中的核心作用与需求分析

1.1 电气施工场景对智能设备的技术需求

电气施工场景具有作业环境复杂、安全风险多元及精度要求高的特点,对电力智能设备的技术需求主要体现在以下方面:一是实时感知能力,需通过高精度传感器采集电气参数(如电流、电压、漏电流)、环境指标(如温湿度、可燃气体浓度)及人员操作行为(如定位轨迹、动作合规性),为施工状态评估提供基础数据;二是智能决策能力,要求设备能够基于采集数据,通过内置算法或云端协同分析,识别潜在风险(如线路过载、

绝缘老化)并生成处置建议(如调整施工顺序、触发安全警报);三是可靠通信能力,需支持多类型通信协议(如 5G、LoRa、Wi-Fi),确保施工数据(尤其是实时性要求高的参数)能够稳定传输至管理平台或边缘节点;四是环境适应性,设备需在强电磁干扰、潮湿粉尘或多变气候条件下保持稳定运行,避免因外部因素导致功能失效。

1.2 电力智能设备的关键功能定位

电力智能设备在电气施工中的功能定位可分为四类:一是安全监测类设备,如漏电保护智能终端、绝缘电阻在线监测仪及可燃气体检测仪,主要用于防范触电、火灾及爆炸等安全事故;二是施工辅助类设备,如智能电缆敷设机、自动化接线工具及三维定位系统,用于提升施工精度与效率;三是管理协同类设备,如集成传感器与通信模块的智能配电箱、支持远程控制的临时电源系统,用于实现施工资源的动态调度与进度跟踪;四是质量评估类设备,如基于机器视觉的电缆接头检测仪、电气参数智能校准仪,用于验证施工质量是否符合设计标准^[1]。这些设备的协同应用,能够覆盖电气施工的全流程(从前期准备到竣工验收),形成“感知-分析-决策-执行”的闭环管理,从而有效降低施工风险、提高工程质量并优化资源利用效率。

2 电力智能设备的关键技术体系研究

2.1 智能感知与数据采集技术

智能感知与数据采集是电力智能设备的基础功能,其核心技术包括高精度传感器设计与多参数融合采集。在电气参数监测方面,采用数字式智能电表(测量精度达 0.5 级)实时采集电流、电压及功率因数,通过霍尔效应传感器或罗氏线圈监测大电流($\geq 100\text{A}$)场景下的

漏电流（分辨率 $\leq 0.1\text{mA}$ ）；在环境感知方面，集成温湿度传感器（测量范围 -40°C 至 125°C ，精度 $\pm 2\%\text{RH}$ ）、可燃气体传感器（检测甲烷、氢气等爆炸性气体，精度 $\pm 5\%\text{FS}$ ）及粉尘浓度传感器（测量范围 $0\text{--}1000\text{mg}/\text{m}^3$ ，精度 $\pm 10\%$ ），用于评估施工环境的安全性；在人员操作监测方面，应用UWB（超宽带）定位标签（定位精度 $\pm 10\text{cm}$ ）或穿戴式传感器（监测心率、动作姿态），结合视频分析技术判断操作合规性（如是否佩戴绝缘手套、是否在带电区域违规作业）^[2]。多参数融合采集技术通过同步采集不同类型传感器的数据（如同时记录电流值与环境温度），利用数据关联分析方法（如主成分分析PCA）识别潜在风险模式。例如，当电缆接头温度升高且环境湿度超过80%时，系统可综合判断为“绝缘老化风险加剧”，而非单一参数异常，从而提高预警的准确性。

2.2 边缘计算与本地决策技术

边缘计算技术通过在施工点位部署本地计算节点（如工业级ARM控制器或嵌入式AI芯片），实现对采集数据的初步处理与快速决策，降低云端计算负载并提升响应速度。其核心功能包括：一是数据预处理，通过数字滤波算法（如卡尔曼滤波）去除传感器噪声，将原始数据转换为标准单位（如电流值统一为A，温度值统一为 $^{\circ}\text{C}$ ）；二是异常初步筛选，基于本地预设阈值（如漏电流 $> 30\text{mA}$ 、温度 $> 80^{\circ}\text{C}$ ）快速判断是否存在紧急风险，并立即触发本地声光报警（响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ）；三是数据压缩与缓存，在网络中断时暂存未上传数据（存储容量 ≥ 72 小时用量），待网络恢复后按优先级补传（紧急数据优先）。本地决策技术进一步结合预设规则库与轻量级机器学习模型（如决策树算法），实现更复杂的分析功能。例如，当检测到某配电箱连续3次出现电流波动异常时，系统可自动推断为“接线松动可能性较高”，并提示施工人员优先检查该点位，而非等待云端分析结果。这种“边缘-云端”协同的决策模式，既保证了实时性，又充分利用了云端的强大计算能力。

2.3 智能诊断与预测维护技术

智能诊断技术基于历史数据与实时参数，通过机器学习算法（如支持向量机SVM、深度学习LSTM模型）识别设备潜在故障模式。例如，通过分析绝缘电阻监测仪的历史数据，建立绝缘性能衰退模型，预测电缆接头在未来1-2周内可能出现的老化风险；通过对比正常运行时的电流波形与当前波形，利用小波变换技术检测局部放电等早期故障特征^[3]。预测维护技术则根据诊断结果生成维护建议，优化资源配置。例如，系统可根据设备的剩余使用寿命（通过累计运行时间、环境应力等因素

计算），提前安排备件采购与人员调度，避免因突发故障导致的施工停滞。这种“状态修”模式替代了传统的“定期修”，显著降低了维护成本并提高了设备可用率。

3 电力智能设备应用的关键问题与优化方向

3.1 设备选型适配性与系统集成兼容性

电力智能设备的选型需严格匹配电气施工的具体需求。例如，高土壤电阻率区域的接地监测设备需具备抗干扰能力强的传感器，临时用电场景的漏电保护装置需支持快速动作（ ≤ 0.1 秒）且兼容移动配电箱的结构特点。同时，设备的系统集成兼容性至关重要，需支持主流通信协议（如Modbus、IEC 61850）与数据格式（如JSON、XML），确保能够无缝接入现有的施工管理平台或第三方监控系统。

3.2 施工环境适应性与长期运行稳定性

电气施工环境常伴随强电磁干扰（如高压设备附近的电磁场）、潮湿粉尘（如电缆井内高湿度与颗粒物）及温度变化（如夏季高温与冬季低温），这对智能设备的硬件防护（如IP65级防水防尘设计）与软件抗干扰能力（如电磁兼容EMC测试达标）提出了严格要求。此外，设备的长期运行稳定性依赖于可靠的电源管理（如支持太阳能与蓄电池双供电）与故障自恢复机制（如断电重启后自动恢复数据采集功能）^[4]。

4 结论

电力智能设备通过集成智能感知、边缘计算、通信互联及预测维护等关键技术，为电气施工的智能化转型提供了核心支撑。研究从电气施工的实际需求出发，系统分析了智能设备的关键技术体系及其应用方式，探讨了设备选型、系统集成及环境适应等关键问题，并总结了其在提升施工安全性、优化资源配置及推动行业数字化转型中的重要作用。未来，随着5G通信、人工智能及数字孪生技术的进一步融合，电力智能设备将向更精准的风险预测、更自主的决策支持及更深度的系统协同方向发展，为电气施工行业的技术升级与可持续发展注入新的动力。

参考文献

- [1] 李轩, 高博. 基于安全性分析的电气设备智能化控制系统研究[J]. 电气技术与经济, 2024(8): 30-32.
- [2] 唐风会. 电气设备智能化技术在智能变电站的应用研究[J]. 电力设备管理, 2024(17): 182-184.
- [3] 赵云. 电气工程及其自动化的智能化技术应用实践[J]. 中国高新科技, 2022(8): 14-16.
- [4] 董方晨. 电力系统电气工程自动化中智能化技术运用[J]. 电力设备管理, 2024(22): 231-233.