

结合物联网技术的电气工程自动化监控系统设计

康倩倩

大唐陕西发电有限公司水电事业部石泉厂站 陕西 安康 725200

摘要：随着工业4.0和智能制造战略的深入推进，传统电气工程自动化系统在数据采集、远程控制、故障预警及能效管理等方面逐渐暴露出响应滞后、信息孤岛、扩展性差等瓶颈。物联网（Internet of Things, IoT）技术以其泛在感知、高速互联与智能分析能力，为电气工程自动化系统的升级提供了全新的技术路径。本文围绕“结合物联网技术的电气工程自动化监控系统”展开研究，首先分析了电气监控系统的需求，继而提出一种基于物联网架构的新型监控系统设计方案。该方案采用三层体系结构：感知层部署智能传感器与边缘计算节点，网络层融合5G、NB-IoT与工业以太网等多种通信协议，应用层构建基于云平台的数据处理与可视化模块，并引入人工智能算法实现设备状态预测与能效优化。本文的研究成果对推动电气工程自动化向数字化、网络化、智能化方向发展具有重要的理论价值与实践意义。

关键词：物联网；电气工程自动化；监控系统；边缘计算；云平台；智能诊断

引言

电气工程自动化是现代工业、建筑、交通及能源系统的核心支撑技术，其核心目标在于实现对电力设备、线路及负载的自动监测、控制与保护。传统自动化监控系统多依赖于现场总线（如Modbus、Profibus）与分布式控制系统（DCS），虽在特定场景下表现稳定，但存在诸多固有缺陷：一是数据采集粒度粗，难以捕捉瞬态故障；二是系统封闭性强，不同厂商设备难以互联互通；三是缺乏远程访问能力，运维响应慢；四是数据分析能力弱，无法实现预测性维护。与此同时，物联网技术近年来迅猛发展，其“万物互联、智能感知、云端协同”的特性恰好弥补了上述短板。根据国际数据公司（IDC）预测，到2025年全球将有超过410亿台物联网设备联网运行，其中工业物联网（IIoT）占比超过30%。在此背景下，将物联网技术深度融入电气工程自动化监控系统，不仅是技术演进的必然趋势，更是实现“双碳”目标、构建新型电力系统的关键举措。

1 系统需求分析

1.1 功能性需求

现代电气工程对监控系统提出了更高维度的功能要求。系统不仅需要完成基础的电压、电流、功率因数等电气参数的采集，还应涵盖温湿度、局部放电、谐波含量等环境与状态指标，以实现了对设备健康状况的全面刻画。在此基础上，远程监控与控制能力成为刚需，运维人员无论身处何地，都应能通过标准Web浏览器或移动端实时查看设备运行状态，并在授权范围内执行分合闸、定值修改等操作指令。更为重要的是，系统需具备

主动预警与智能诊断功能，能够基于实时数据流与历史趋势，自动识别过载、短路、绝缘劣化等异常工况，并精确定位故障源，从而将被动抢修转变为主动预防^[1]。此外，能效管理亦不可忽视，系统应能统计各回路能耗，生成日/月/年能效报告，并结合负载特性提供无功补偿、负载均衡等优化建议。所有操作行为与监测数据均需完整记录，支持按时间、设备编号或事件类型进行高效追溯，为事故分析与责任界定提供依据。

1.2 非功能性需求

除功能外，系统的非功能性指标同样关键。高可靠性是电力监控的生命线，系统整体可用性应不低于99.9%，关键数据在传输过程中需具备冗余路径与自动重传机制，以防单点故障导致信息丢失。实时性方面，控制指令从发出到执行的端到端延迟应控制在500毫秒以内，报警信息的生成与推送则需在2秒内完成，以满足快速响应的安全要求。安全性贯穿整个系统生命周期，必须采用多层次防护策略，包括设备身份认证、传输加密（如TLS/SSL）、访问控制列表（ACL）以及操作审计日志，防止未授权访问与数据篡改。可扩展性决定了系统的生命力，架构设计应支持从几十台到数千台设备的平滑扩容，且新增功能模块不应影响现有业务运行。最后，兼容性是实现互联互通的前提，系统需原生支持IEC 61850、Modbus TCP、DL/T645等主流电力通信协议，确保与既有设备和第三方平台无缝对接。

2 系统总体设计

2.1 感知层设计

感知层作为整个监控系统的神经末梢，直接决定了

数据源头的质量与丰富度。本系统在关键电力节点——如高压开关柜、干式变压器绕组、电缆接头处——部署了高度集成的智能传感终端。这些终端内置高精度电流互感器（CT）与电压互感器（PT），配合数字信号处理器实现毫秒级采样，并通过嵌入式ADC与数字滤波算法有效抑制噪声干扰，确保电流测量误差不超过0.5%，电压误差控制在0.2%以内。同时，温湿度、局部放电等环境与状态传感器被同步集成，形成多维感知能力^[2]。为提升本地处理能力，系统在配电室或控制间配置了边缘计算网关。该网关以ARM Cortex-A系列处理器为核心，运行轻量级Linux操作系统，不仅能完成Modbus、DL/T645等现场协议到MQTT的转换，还能在本地执行简单的规则判断（例如当电流持续超过额定值的120%时立即触发告警），并在网络中断期间缓存数据，待恢复后自动续传，从而保障数据完整性与系统鲁棒性。

2.2 网络层设计

网络层承担着海量感知数据的可靠传输任务，其设计需兼顾带宽、时延、覆盖与功耗。针对不同应用场景，系统采用“有线+无线”混合组网策略。在主控室与高压配电室之间，采用工业以太网构建骨干网络，支持千兆速率与IEEE 1588精密时钟同步，确保多点采样数据的时间一致性。对于分布广泛或移动性较强的设备（如巡检机器人、户外环网柜），则利用5G专网提供超可靠低时延通信（uRLLC）服务，满足远程控制的严苛时延要求。而对于部署在电缆井、地下室等信号盲区的低功耗传感器，则选用NB-IoT或LoRa技术，以极低的功耗实现数公里范围的广域覆盖。在通信协议层面，上行数据采用轻量级、发布/订阅模式的MQTT协议，极大降低终端资源消耗；下行控制指令则通过CoAP或HTTP RESTful API下发，确保与云平台的高效交互。这种异构融合的网络架构，既保证了关键业务的实时性，又兼顾了广域覆盖的经济性。

2.3 应用层设计

应用层部署于弹性可扩展的云平台之上，是系统智能决策的核心。设备管理平台负责所有终端的全生命周期管理，包括注册激活、状态监控、配置下发及固件OTA升级。海量时序数据被写入高性能时序数据库（如TDengine），支持每秒百万级数据点的写入与毫秒级查询响应。规则引擎模块基于Drools框架或自定义脚本，实现复杂事件处理（CEP），例如“连续三次谐波畸变率超标且伴随温度异常上升”可判定为潜在绝缘故障。更进一步，系统集成了AI分析引擎：利用LSTM神经网络对电流、温度等时间序列进行建模，预测关键设备的剩余

使用寿命；通过快速傅里叶变换（FFT）实时解析谐波频谱，识别非线性负载特征；并基于强化学习算法动态优化无功补偿装置的投切策略，最大化能效收益^[3]。所有分析结果通过基于Vue.js与ECharts开发的Web前端进行可视化呈现，用户可直观查看电气拓扑、历史趋势、报警看板等信息，同时配套的微信小程序支持移动端随时随地的运维操作。

2.4 安全架构

面对日益严峻的网络安全威胁，本系统构建了纵深防御的安全体系。在设备端，采用硬件安全芯片（Secure Element）存储设备唯一密钥与证书，防止固件被恶意篡改或克隆。在网络传输环节，所有MQTT通信均强制启用TLS 1.3加密，并实施双向证书认证，确保通信双方身份真实可信。在云平台层面，实施严格的基于角色的访问控制（RBAC），不同权限用户仅能访问其职责范围内的数据与功能，所有敏感操作均被记录至不可篡改的审计日志。对于存储于数据库中的密码、密钥等敏感信息，则采用AES-256算法进行加密处理。通过这一系列从端到云的立体化防护措施，系统有效抵御了包括中间人攻击、DDoS、SQL注入在内的多种网络威胁，保障了电力监控业务的安全稳定运行。

3 系统部署与工程应用分析

3.1 系统部署的关键挑战与应对策略

将物联网技术深度融入电气工程自动化监控系统，在工程落地过程中面临多重现实挑战。首先是设备异构性问题，既有老旧配电柜仅支持RS485接口和Modbus协议，又有新型智能断路器采用IEC 61850标准，如何实现统一接入成为首要难题。对此，系统通过在边缘网关中嵌入多协议解析引擎，动态识别并转换不同通信规约，形成标准化的数据模型，有效屏蔽底层差异。其次是网络覆盖与稳定性问题，尤其在地下配电室、大型厂房等复杂电磁环境中，无线信号易受干扰甚至中断。为解决此问题，系统采用有线与无线互补的混合组网方式，并在网络层引入自适应路由与断点续传机制，确保关键数据不丢失。此外，电力系统对安全性的极端敏感也对物联网架构提出更高要求。传统IT安全策略难以直接套用于OT（运营技术）环境，因此系统在设计之初即遵循“安全内生”原则，将身份认证、加密传输、访问控制等安全能力嵌入设备固件与通信协议栈中，而非依赖外围防火墙，从而构建纵深防御体系。

3.2 工程实施路径与集成方法

系统的成功部署依赖于科学的工程实施路径。通常可划分为四个阶段：现状评估、方案定制、分步部署与

持续优化。在现状评估阶段,需对现有电气设施的类型、通信接口、运行年限及维护记录进行全面摸底,识别高风险节点与改造优先级。方案定制阶段则根据用户实际需求(如是否侧重能效管理或故障预警)灵活配置感知层设备密度与云平台功能模块,避免“一刀切”式建设^[4]。进入部署阶段,采用“先试点、后推广”的策略,在单个配电房或产线先行部署,验证系统稳定性与业务适配性,再逐步扩展至全厂乃至集团级平台。在与既有系统集成方面,系统提供标准API接口与OPC UA适配器,可无缝对接企业现有的能源管理系统(EMS)、楼宇自控系统(BAS)或ERP平台,实现数据共享与业务协同,避免形成新的信息孤岛。整个过程强调“平滑过渡”,最大限度减少对正常生产的干扰。

3.3 运维管理机制与服务模式创新

物联网监控系统的价值不仅在于建设,更在于长期运维效能的释放。传统“被动响应式”运维已无法满足现代电力系统对可靠性的要求,本系统推动运维模式向“主动预防+智能决策”转型。通过云平台的设备健康度评分模型,运维团队可提前规划检修计划,将资源集中于高风险设备,显著提升人效比。同时,系统支持建立分级告警机制:一般参数越限由系统自动记录并生成工单;严重故障则触发多通道告警(短信、APP推送、声光提示),并联动应急预案。在服务模式上,系统支持SaaS(软件即服务)交付,用户无需自建机房与运维团队,按需订阅监控、诊断、能效分析等服务模块,大幅降低初始投入与技术门槛。对于大型集团用户,还可构建多级管理架构——总部监控全局能效与安全态势,区域中心负责设备运维,现场人员执行具体操作,实现“集中监管、分级负责”的高效管理体系。

4 结语

本文设计并实现了一套融合物联网技术的电气工程自动化监控系统。通过构建端-边-云协同架构,系统不仅实现了高精度、低延迟的实时监控,还引入AI算法赋能预测性维护与能效优化。该系统在功能性、可靠性、经济性等方面均显著优于传统方案,具有良好的工程应用前景。未来工作将聚焦于以下方向:一是探索数字孪生技术,构建电气设备的三维动态模型,实现物理世界与虚拟空间的实时映射与仿真推演;二是研究区块链在电力监控中的应用,利用其去中心化与不可篡改特性,保障关键操作日志与计量数据的可信存证;三是将监控范围从单一电能扩展至冷、热、气等多能源形式,支撑综合能源服务与微电网协同优化;四是积极推进核心软硬件的国产化替代,采用国产芯片与操作系统,提升系统在关键基础设施领域的自主可控水平。随着“新基建”与“双碳”战略的持续推进,基于物联网的智能电气监控系统将成为构建安全、高效、绿色现代能源体系的重要基石。

参考文献

- [1]王凯,杨欲晓.物联网在电气工程中的应用探究[J].产业创新研究,2024,(08):96-98.
- [2]孙桂磊,张博,刘光辉.基于物联网技术的电气工程设计远程监控研究[J].数字通信世界,2025,(04):34-36.
- [3]刘冲,刘新宁,董贺峰.基于物联网的新能源电气工程监控系统技术研究[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(五).中国船舶集团有限公司系统工程研究院,;2025:127-134.
- [4]朱文衡.物联网技术在电气工程领域的应用研究[J].数字通信世界,2022,(10):127-129.