

基于物联网技术的变电站智能巡检系统

刘学富¹, 王红²

1. 国网山东省电力公司超高压公司, 山东 济南 250000

2. 国网山东省电力公司临邑县供电公司, 山东 德州 251500

DOI:10.61369/EPTSM.2026040008

摘 要 : 基于物联网技术的变电站智能巡检系统把感知终端、通信网络和智能分析技术融合起来, 创建起“全域感知、数据传输、智能决策”的一体化运维体系, 可以对变电站设备运行状况实施全方位实时监测并作出精准判断。本文从系统核心概念、应用价值出发, 根据变电站运维实际需要论述物联网技术在巡检场景中的适配性选择逻辑, 分析系统层级结构和功能实现方式, 探究多技术融合下巡检模式创新和实践拓展, 给变电站运维智能化转型提供坚实的理论支持和技术参考。

关 键 词 : 物联网; 变电站; 智能巡检

Intelligent Substation Inspection System Based on Internet of Things Technology

Liu Xuefu¹, Wang Hong²

1. UHV Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan, Shandong 250000

2. Linyi County Power Supply Company, State Grid Shandong Electric Power Company, Dezhou, Shandong 251500

Abstract : The intelligent substation inspection system based on Internet of Things (IoT) technology integrates sensing terminals, communication networks, and intelligent analysis technologies to establish an integrated operation and maintenance system featuring "omnipresent sensing, data transmission, and intelligent decision-making." This system enables comprehensive real-time monitoring and precise assessment of the operational status of substation equipment. Starting from the core concepts and application value of the system, this paper discusses the adaptive selection logic of IoT technology in inspection scenarios based on the actual operational needs of substations. It analyzes the hierarchical structure and functional implementation of the system, explores the innovation and practical expansion of inspection modes under the integration of multiple technologies, and provides solid theoretical support and technical references for the intelligent transformation of substation operation and maintenance.

Keywords : Internet of Things; substation; intelligent inspection

引言

伴随着电力系统向着智能化、数字化的转变, 变电站作为电网的枢纽, 运维可靠性及效率的好坏直接关系到电力供应是否稳定。传统的巡检方式已经不能满足现代变电站高密度设备、复杂运行环境下的运维需要, 物联网技术的成熟给巡检模式的革新提供关键的支持。基于物联网技术的变电站智能巡检系统冲破了传统巡检的时空束缚, 依靠各种智能感知设备的分布式布置并行运作, 把设备的状态数据, 环境参数这些信息实施实时搜集并加以智能剖析, 促使巡检工作由“依靠经验”转向“依靠数据”, 朝着智能化的方向迈进。本文就该系统的主要理论、架构设计和实践应用进行详细的论述, 目的在于对物联网技术和变电站巡检场景深度融合的路径有全面的认识, 并给相关的研发和工程应用提供一定的参考。

一、物联网赋能变电站巡检的核心内涵与价值导向

(一) 系统核心概念界定

基于物联网技术的变电站智能巡检系统是以物联网的感知、传输、应用三层架构为基础, 将各种类型的传感器、智能巡检终端、通信网络以及数据处理平台相结合, 对变电站内的电气设备、运行环境和人员作业状态进行全方位、自动化、智能化的监

测和管理的综合解决方案^[1]。其主要特点就是感知的全域化、传输的实时化、分析的智能化、决策的精准化, 创建起“数据采集-传输-分析-决策-执行-反馈”的闭环管理体系, 从而达到巡检工作提质增效和安全升级的目的。该系统并不是简单的技术叠加, 而是各个环节之间深入的协同, 把分散的设备数据变成有指导意义的运维决策依据, 从而实现对变电站运维全流程的智能化重塑, 使巡检工作从原来的被动式、局限性的工作中解放出

来,满足现代变电站规模化、复杂化运维管理的要求。系统对变压器、断路器、隔离开关等主要设备进行状态监测,也包括了站内消防设施、安防系统的联动控制,形成了以设备为中心、环境为依托、人员为纽带的全方位巡检模式。

（二）技术应用核心意义

物联网技术在变电站巡检中深度应用之后,就重新塑造了巡检工作执行的逻辑,而且从根本上提高了变电站运维的安全保障水平和管理精细化程度。利用“机器人代人”模式减少人员进入高压、强电磁、高空等高危环境的次数,从源头上降低人身安全风险,依靠智能设备的24小时连续工作能力,实现巡检范围全覆盖和巡检周期灵活调整,避免传统人工巡检由于疲劳、经验不同造成的漏检、误检问题。设备的潜在隐患在萌芽阶段就被及时发现并处理,防止其进一步扩大影响,为变电站安全稳定的运行奠定了技术基础,使电力运维从“被动抢修”转变为“主动预防”,为电网高质量发展打下了基础,推动了能源行业的绿色低碳转型。系统生成的标准化巡检数据可以形成设备全生命周期健康档案,给设备更新改造、运维策略优化提供数据支持,提高变电站运维的科学性、前瞻性。

（三）技术选型适配逻辑

变电站智能巡检系统物联网技术选择要契合变电站运行特点和巡检要求,兼顾技术先进性和场景适配性^[2]。在感知层上优先选择适合高压、强电磁、高湿度等恶劣环境的高精度传感器和智能终端,例如抗干扰型温度传感器、防爆型气体探测器、高清红外热成像仪等,并且支持传感器即插即用以及模块化扩展,便于后期系统的更新换代;传输层考虑到站内设备分布分散,部分区域信号被屏蔽的情况,采用5G、工业以太网、LoRa、ZigBee等不同的通信方式建立“骨干网+接入网”的双层传输体系,保证数据传输的低延时、高可靠,5G可以满足高清视频、实时控制等高速度的要求,LoRa可以满足低功耗、远距离传感器的数据传输;应用层利用边缘计算和云计算相结合的优势,在设备端做实时的数据预处理,在云端做深度的分析和模型的训练,既满足了实时分析的需求,也兼顾了长期的优化,形成了一个与变电站运维场景相匹配、具有很强适应性的技术组合方案。

二、变电站智能巡检系统的物联网架构设计与功能实现

（一）多层级物联网架构构建

基于物联网技术的变电站智能巡检系统采用分层架构设计,各个层次之间既相互独立又互相配合,保证系统稳定可靠以及可扩展性^[3]。感知层利用固定式传感器、移动巡检机器人、无人机、高清摄像设备等终端来建立“固定+移动”、“空中+地面”的立体化感知网络,对设备的温度、振动、局部放电、绝缘状况、环境温湿度、气体浓度、光照强度等各个方面进行全方位的采集,并且可以对人员的作业轨迹、安全防护装备的佩戴情况进行实时监测,移动巡检机器人具有自主导航、自动充电的功能,可以按照预定的路线进行常态化巡检,无人机对高空设备、

大范围区域进行快速侦察,网络传输层是数据交互的关键纽带,采用工业交换机、无线网关等设备,结合多种通信技术搭建起覆盖全站的高速传输通道,具有数据加密、断点续传、负载均衡等功能,保证采集到的数据能够及时返回到控制中心,控制中心再将指令准确下发到各个设备上,网络传输层还与变电站现有的SCADA系统、EMS系统等数据互通。

（二）核心功能模块协同运作

系统主要的功能模块根据巡检业务的全流程来运行,形成闭环的管理体系,保证巡检高效有序地进行^[4]。数据采集模块采用多终端协同的方式,根据设备种类和巡检需求制定不同的采集方案,主要对变压器油温、油位、局部放电信号、断路器分合闸情况、机械特性进行监测,实现对关键设备以及区域的全方位监测,采集图像、音频等多种类型的数据,并且对这些数据进行标准化处理,保证各个终端之间可以互相通信、互相兼容。智能分析模块装有AI算法引擎,结合多种专项算法,可以自动识别设备各种异常并同标准库进行对比,得出缺陷等级和处理意见,算法不断更新以提高精度。任务调度模块按照设备的运行状况,以往来的缺陷数据以及巡检计划自动生成并分配给任务,支持路径智能规划和自动调整,能够对突发状况执行优先级改变(设备报警时调用机器人做复核)。预警反馈模块把分析结果变成分级预警信息,经由多种途径推送给责任人,留下处置过程和成果的记载,塑造起“发现-剖析-预警-处理-复查”的闭环体系,保证问题彻底消除。

（三）关键技术融合应用

物联网技术同人工智能、数字孪生、边缘计算等技术深度融合,是系统功能达成的主要依靠,给系统智能化水平的改善赋予关键驱动力。AI算法的嵌入使系统具有自主的缺陷识别和智能诊断能力,经过大量的运维数据训练来提高算法的精度,可以从大量的数据中准确地提取出异常信息,还可以预测出设备的故障发展趋势,比如通过对设备振动数据进行分析来预测机械部件的磨损等,数字孪生技术的应用就是将变电站物理场景进行了1:1的虚拟映射,把实时巡检的数据和孪生模型动态关联起来,可以实现设备状态的可视化监测、故障模拟分析以及运维方案预演等功能,给复杂的故障处置提供直观的参考,运维人员可以通过虚拟场景对设备内部结构及运行状况进行远程观察,边缘计算技术的应用也解决了站内海量数据的实时处理问题,在巡检机器人、边缘网关等设备端部署轻量化的算法,对数据进行预处理和快速分析,大大提高了系统的响应速度,及时处理异常情况,减少云端数据传输的压力,降低网络带宽的消耗,形成“就近处理、快速响应、云端优化”的协同模式,边缘节点在网络中断的时候也能自行完成基本的巡检工作,保证系统的连续性。

三、物联网巡检系统的技术拓展与实践应用延伸

（一）多技术融合创新路径

以物联网为依托的变电站智能巡检系统向着多技术深度融合方向发展,不断扩大应用范围,提高智能化程度,使运维模式不

断更新^[5]。通过 AR 增强现实技术把设备参数、巡检指引、缺陷位置等信息叠加到真实的场景中，给运维人员提供实时的指导和远程的协同支持，在复杂的设备检修、新员工培训等场景中起到重要的作用，维修人员可以通过 AR 眼镜查看设备内部线路和操作步骤；采用知识图谱技术构建设备运维知识库，将巡检数据同历史维护记录、设备台账、行业标准规范联系起来，塑造起结构化的知识体系，改进故障诊断的精确度并加强决策的科学性，可以自动匹配类似故障案例及处理办法，依靠区块链技术创建可信数据存证平台，保证巡检数据从产生、传送、保存的全部过程都能被追踪并且不能被随意改动，从而给设备整个生命周期的管理以及责任判定赋予可信的数据支撑，探寻同电力行业其它系统之间的数据互通共享，促使形成跨场景的智能化运维生态，达成变电站和调度中心、运维班组之间的协同联动。

（二）全场景巡检应用适配

系统根据不同的巡检场景灵活地布置感知终端、功能配置，达到全方位、全覆盖的目的，满足各种运维的需求。根据室内高压设备区空间狭小、设备密集的特点，采用轨道式巡检机器人加高清云台摄像头和局部放电传感器的方式做精细化检测，机器人可以灵活穿梭在设备间隙里，完成近距离观测，室外开阔区域使用无人机搭载红外热成像仪、高清相机做大范围快速巡检，在短时间内可以完成设备外观、线路连接等情况的排查，适合于输电线路、避雷器等高空设备的巡检，对于电缆沟、地下室等狭小空间和高危区域，使用小型履带式机器人代替人工完成作业，具有自主避障、爬坡越障的能力，可以适应复杂的地形环境，同时配备环境感知设备，实时监测暴雨、暴雪、高温、雷电等极端天气对设备运行的影响，自动调整巡检策略和频次，高温天气增加变压器测温频次，暴雨天气加强户外设备绝缘监测，保证巡检工作的全天候、全场景覆盖，满足不同规模、不同类型的变电站运维需求。

（三）运维管理模式优化升级

物联网巡检系统应用促使变电站运维管理方式发生根本性改

变，形成起了现代化、高效化的运维管理体系。从巡检周期来说，彻底摆脱传统“定期巡检”的固定模式，转而采用以设备状态为基础的状态检修方式，依靠实时监测数据和智能分析结果，准确判断设备健康状况，合理安排维护时间及资源，避免过度检修或者检修不足，降低运维成本；从作业模式来说，由原来的“人工为主”转变为“智能为主”，智能设备承担了大部分的重复性、高强度巡检任务，大大减少了人工干预，提高了巡检效率和准确性，使运维人员把精力放在了故障处理、设备保养这些关键工作上，从而激发人力资源的价值；同时创建起全域可视化的运维管理平台，借助 GIS 地图、数据看板等方式，使管理人员随时掌握全站巡检进展、设备运行状况以及缺陷处置情况，能够开展多维度的数据统计和趋势分析，例如按照设备种类统计缺陷分布、按时间序列剖析故障演变规律等等，促使运维决策趋向科学化、精细化并做到透明化，助力变电站管理水准迈入新高度，给打造无人值守、少人值守变电站赋予技术支撑。

四、结束语

以物联网技术为基础的变电站智能巡检系统依靠架构改良、技术融合以及功能革新，创建起一套符合变电站运维需求的智能化巡检解决办法，较好地改善了巡检工作效能，精确度和安全性。该系统把物联网技术和电力运维场景融合起来，促使变电站运维模式朝着数字化方向转变，给电网安全稳定运行赋予了强有力的支撑。未来随着物联网技术不断更新，多技术融合不断加深，系统在自主决策能力、多场景适配性等各方面会得到进一步提高，给新型电力系统建设、电力行业高质量发展提供更强动力。

参考文献

- [1] 柏小乐, 刘为国. 一种基于物联网技术的智能变电站监控系统 [J]. 物联网技术, 2025, 15(01): 36-39.
- [2] 杨继超, 张慧. 物联网技术在变电站智能监控系统中的应用 [J]. 光源与照明, 2024, (12): 195-197.
- [3] 吕松祥, 陈晨. 基于物联网技术的变电站智能监测系统构建 [J]. 信息记录材料, 2024, 25(10): 94-96.
- [4] 杨官霞, 陈杰. 基于物联网技术的变电站智能监控系统设计 [J]. 自动化技术与应用, 2024, 43(05): 93-97.
- [5] 董玉印, 李凤海, 高宇航, 刘婷. 基于物联网技术的变电站智能钥匙管理系统应用研究 [J]. 机械与电子, 2023, 41(06): 55-59.