

配电网线路的智能巡检与故障定位一体化系统

赵怡轩, 张家铭

(国网商洛市商州区供电公司)

【摘要】在能源革命与数字技术深度融合的背景下,配电网规模持续扩张、结构日趋复杂,分布式电源与多元负荷加速接入,构建智能巡检与故障定位一体化系统,已成为提升电网运维效率、保障可靠供电的关键举措。文章针对配电网线路巡检效率低、故障定位准确性不足等问题,研究并设计智能巡检与故障定位一体化系统,阐述其架构设计、核心技术及功能模块,旨在提升供电可靠性,为配电网智能化运维提供技术支撑与解决方案。

【关键词】配电网;智能巡检;故障定位;一体化系统;多源数据融合

中图分类号: TM75

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.159

Integrated System of Intelligent Inspection and Fault Location of Distribution Network Lines

ZHAO Yi-xuan, ZHANG Jia-ming

(State Grid Shangluo Shangzhou District Power Supply Company)

【Abstract】Under the background of the deep integration of the energy revolution and digital technology, the scale of the distribution network continues to expand, the structure is becoming more and more complex, the distributed power supply and multiple loads have accelerated access, and the construction of an integrated system of intelligent patrol and fault location have become an inevitable choice to improve the operation and maintenance efficiency of the power grid and ensure reliable power supply. This paper studies and designs an integrated system of intelligent patrol and fault location in view of the problems of low efficiency and insufficient accuracy in the inspection and fault location of distribution network lines. It elaborates on the architectural design, core technology and functional modules of the system, enhance the reliability of power supply, and provide technical support and solutions for the intelligent operation and maintenance of the distribution network.

【Keywords】distribution network; intelligent patrol; fault location; integrated system; multi-source data fusion

1 引言

随着配电网规模持续扩大、结构日趋复杂,叠加分布式电源大量并网,其线路运行环境更趋复杂多元。传统人工巡检效率低下、劳动强度大且故障定位精度不足,已难以适配现代配电网运维需求,研发智能巡检与故障定位一体化系统由此具备重要现实意义。将线路状态感知、智能巡检分析与故障快速定位有机融合,已成为提升配电网运维智能化水平、保障供电可靠性的核心抓手,对推动配电网高质量发展至关重要。

2 智能巡检和故障定位一体化系统的架构设计

2.1 系统总体架构设计的原理和目标

系统总体架构设计遵循可靠性、实时性、扩展性与经济性原则。可靠性方面,关键设备采用冗余设计,如服务器双机热备,确保年运行时间不低于

99.9%,避免单点故障引发数据丢失或系统瘫痪;实时性要求数据采集与处理周期 $\leq 100\text{ms}$,快速响应配电网运行状态变化,且故障定位时间控制在 200ms 内^[1]。扩展性方面,预留不低于20%的接口与计算资源,便于未来接入新监测设备、通信技术及算法模型,适配配电网规模扩张与技术升级。

经济效益上,通过优化设备选型与系统部署,有效控制建设总成本并降低运维费用,较传统运维方法成本降幅超30%。系统旨在实现配电网线路全时段、全方位监控及故障精准定位,借助智能化分析提前72h预警潜在故障隐患,将故障率降低40%。

2.2 感知层的设备部署和数据采集方案

感知层在配电网线路关键节点密集部署多类型传感器:杆塔上每500米安装一组高精度电流、电压传感器,电流传感器测量精度达 $0.1\%FS$,电压传感器精度 $0.2\%FS$,可实时监测线路负荷电流、电压幅值及相位;电缆接头、变压器等易发热区域部署光纤

光栅温度传感器,测量精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,每10个接头至少配备1个;线路绝缘状况监测采用局部放电传感器,灵敏度达5pC,每2km设置1个监测点。此外,分支线路入口装设故障指示器,可快速检测短路与接地故障,响应速度 $\leq 10\text{ms}$ ^[2]。

数据采集环节,各传感器按设定频率持续采集:高频数据(如故障暂态信号)采样频率达1MHz,低频稳态数据每分钟采集1次。传感器内置微处理器,对原始数据初步滤波降噪,减少无效数据传输,提升数据质量与传输效率。

2.3 网络层的通信架构和数据传输设计

网络层采用光纤通信、5G通信与电力载波通信(PLC)融合的混合架构:城市核心区域及重要线路铺设光纤专网,提供 $\geq 100\text{Mbps}$ 带宽的稳定传输通道,保障故障定位等实时性数据快速传输,时延 $< 5\text{ms}$;边远山区与农村区域应用5G通信,满足设备数据回传需求,通信带宽达50Mbps,时延控制在20ms内;低压配电网借助PLC技术,通过现有电力线路传输数据,虽带宽较小(1Mbps~10Mbps),但可实现设备大范围接入^[3]。

2.4 应用层功能模块和系统平台架构

应用层功能模块兼具丰富性与实用性:智能巡检模块基于线路状态与历史故障数据自动生成巡检计划,规划无人机或机器人巡检路径,实现线路智能巡检;线路状态监测模块通过图形化界面展示电流、电压、温度等实时参数,参数超阈值时即时报警;故障定位模块融合行波定位、阻抗定位等多算法,快速精准锁定故障点,定位误差 $\leq 50\text{m}$;运维决策辅助模块综合故障信息、设备台账及天气状况,为运维人员提供故障处理建议与抢修方案。

系统平台以云计算为基础,采用分布式存储与计算方式,可承载不低于10万路设备数据及100万条历史故障记录;依托B/S架构,运维人员通过浏览器在任意终端访问系统,实现远程监控与操作,提升运维便捷性与效率。

3 一体化系统的核心技术

3.1 多源异构数据的融合技术

配电网线路智能巡检及故障定位一体化系统关键核心在于多源异构数据的融合技术,配电网运行过程中会产生来自不同装置、不同种类的数据,例如

传感器采集的电气量、无人机巡检得到的影像、卫星定位得到的地理信息等,这些数据具有不同的格式、结构和语义,需通过有效整合以支撑系统决策,在数据层融合中,对电流和电压传感器采集的电气量数据采用卡尔曼滤波算法进行融合。以10kV配电网为研究对象,其电流测量范围一般在0~1000A,电压为10kV,传感器精确度可达0.2级。卡尔曼滤波技术能基于前一时刻的估计值和当前测量数据,动态更新估计结果,有效消除噪声干扰,确保数据误差维持在 $\pm 0.5\%$ 范围内,从而确保电气数据的准确性和稳定性(见图1)。

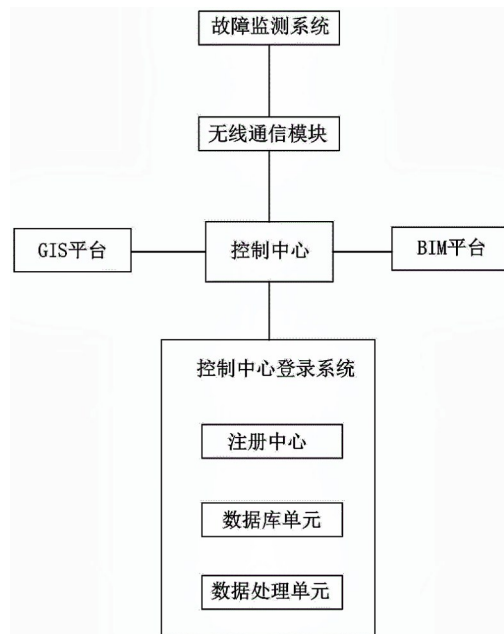


图1 多源异构数据融合技术

3.2 智能巡检中的图像识别和缺陷诊断算法

智能巡检图像识别和缺陷诊断算法为配电网线路安全运行提供了重要技术支持。该技术以深度学习目标检测算法为核心,如经优化的YOLO系列算法,通过改进网络架构和训练策略,提升缺陷检测能力。在网络结构优化方面,引入注意力机制模块,例如空间注意力(SA)、通道注意力(CA)等;对绝缘子进行识别时,SA可使模型聚焦于绝缘子的边缘、形状等关键空间特征,CA则关注绝缘子不同通道信息,增强对绝缘子外观细节(如裂纹、污秽)的敏感度。测试结果显示,在加入注意力机制之后,绝缘子的识别准确性从原先的85%提升至92%,在训练数据的扩展和增强方面,利用数据采集车、无人机等工具收集了大量的配电网线路巡查图像,构建了一个

包含超过 50 万张图像的数据集,这些数据集包括了正常设备和各种缺陷设备的图像样本。采用旋转、缩放、裁剪和添加噪声的数据增强技术对数据的多样性进行扩展,使得模型的泛化能力得到提高。通过对数据进行增强训练的模型,在不同的光线和气候条件下,其缺陷识别的准确性提升了 10%~15% (见图 2)。

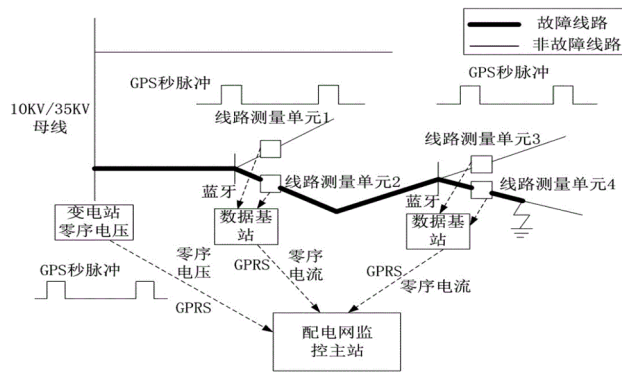


图2 缺陷诊断算法

4 系统功能模块的实现

4.1 智能巡检的计划实施

智能巡检规划执行模块基于时空大数据和强化学习算法,实现对巡检任务的动态规划和准确执行。系统根据历史故障数据、设备老化程度和气象条件等 10 多项指标构建巡检优先级评估模型,为配电网线路风险打分,得分范围为 0~100 分。其中 80 分及以下的地区设为高风险巡检地区,需要一周内至少进行一次巡检。该规划算法运用了优化过的遗传算法,成功地将巡检路径的规划时间从传统算法的 30 分钟缩短到不超过 3 分钟,路径优化率超过 25%,同时单次巡检的平均里程也减少了 18%。

实施环节采用无人机与巡检机器人协同作业模式。所用无人机搭载 4K 高清摄像头与红外热成像仪,巡检速度达 15km/h,图像分辨率 3840×2160 像素,可精准识别直径 > 1mm 的绝缘子裂纹;红外测温精度 ±2℃,能实时探测设备温度异常。地面巡检机器人配备超声波局放检测仪,检测灵敏度达 10pC,每小时可完成 500 米线路巡查。两类设备通过 5G 网络实时回传数据,传输时延 < 10ms,保障巡检任务高效推进。

4.2 对线路状态进行实时监控

线路状态实时监控模块融合多源数据,实现配

电网运行参数的毫秒级采集与可视化呈现。系统部署的电流/电压传感器采样频率达 10kHz,测量精度分别为 0.1%FS、0.2%FS,可实时监测三相电流、电压、功率因数等 20 余项电气参数。温度监测采用分布式光纤测温技术,测温精度 ±0.5℃、空间分辨率 1m,覆盖电缆沟、开关柜等关键区域。

监测平台以地理信息系统(GIS)为载体,结合三维建模技术呈现线路拓扑结构,实时数据更新频率达 100ms。当线路电流超过额定值 80%、设备温度超出预警阈值(如电缆接头温度 > 70℃)时,系统自动触发声光告警,并通过短信、APP 推送等方式通知运维人员,告警响应时间 < 3s。历史数据保存周期不低于 3 年,支持秒级数据回溯与趋势分析,为线路状态评估提供可靠数据支撑。

5 结语

配电网线路智能巡检及故障定位一体化系统融合多项先进技术,实现巡检与故障定位的协同联动,显著提升了配电网运维效率与故障处置能力。随着科技持续创新发展,该系统必将为配电网智能化建设提供更强助力,在保障电力可靠供应、推动能源转型等方面发挥重要支撑作用。未来需进一步优化系统功能、深化新技术融合,以适配配电网复杂多样的运行环境需求。

参考文献

- [1] 徐超平. 基于物联网技术的配电网线路巡检系统设计与实现[J]. 电子技术, 2024, 53 (9): 260-261.
- [2] 李晨曦, 邵蒙悦, 冯杰. 基于深度学习的配电网线路设备缺陷智能检测[J]. 浙江电力, 2021, 40 (3): 97-103.
- [3] 贾秉健, 刘博文, 张润贤, 等. 配电网线路无人机智能巡检技术研究[J]. 信息记录材料, 2024, 25 (1): 130-132.