

The integrated application of Internet of Things and energy metering in the operation and maintenance of 10kV distribution network

Xu Zhao Zilin Li

State Grid Jiangxi Electric Power Co., Ltd. Jiujiang Chaisang District Power Supply Branch, Jiujiang, Jiangxi, 332100, China

Abstract

With the deepening of "Internet plus" smart energy construction, the integration of electric energy measurement and the Internet of Things has become an important way to improve the operation and maintenance level of 10kV distribution network. This article explores the innovative application of the integration of the Internet of Things and energy metering in the operation and maintenance of 10kV distribution networks. Firstly, an intelligent energy metering system based on the fusion of multiple heterogeneous sensors was designed, which achieved precise collection, edge processing, and deep mining of metering data, providing data support for the precise operation and maintenance of the distribution network. Secondly, the mechanism of 10kV line tripping caused by metering faults was deeply analyzed, and an intelligent fault diagnosis expert system integrating IoT monitoring technology was developed. Finally, an integrated operation and control platform for distribution network and metering based on digital twin technology was explored, achieving precise operation and control throughout the entire scenario and process. The application practice in a certain region shows that the proposed IoT+energy metering integrated operation and maintenance mode can significantly improve the efficiency of distribution network operation and maintenance, reduce line loss rate, and achieve considerable economic benefits.

Keywords

electricity metering; Internet of Things; Distribution network operation and maintenance; Measurement malfunction

物联网 + 电能计量在 10kV 配电网运维中的融合应用

赵旭 李子林

国网江西省电力有限公司九江市柴桑区供电分公司, 中国·江西九江 332100

摘要

随着“互联网+”智慧能源建设的不断深化,电能计量与物联网的融合成为提升10kV配电网运维水平的重要途径。本文从物联网与电能计量融合的视角出发,探讨了其在10kV配电网运维中的创新应用。首先,设计了一种基于多元异构传感器融合的智能电能计量系统,实现了计量数据的精准采集、边缘处理和深度挖掘,为配电网的精准运维提供数据支撑。其次,深入分析了计量故障导致10kV线路跳闸的机理,研发了融合物联网监测技术的智能故障诊断专家系统。最后,探索了基于数字孪生技术的配电网-计量一体化运维管控平台,实现了全场景、全过程的精细化运维。某区域的应用实践表明,所提出的物联网+电能计量融合运维模式可显著提升配电网运维效率,降低线损率,取得了可观的经济效益。

关键词

电能计量; 物联网; 配电网运维; 计量故障

1 引言

随着以新能源为代表的分布式电源大规模接入,10kV配电网呈现出多源互联、双向潮流的复杂特性,对配电网运维提出了更高要求。传统的电能计量装置独立于配电网运行,数据采集和处理滞后,无法适应“互联网+”智慧能源发展需求。电能计量与物联网的深度融合,利用先进的传感、通信、边缘计算等技术,构建智慧物联电能计量体系,将有

力支撑配电网的高质量发展。

2 基于物联网的智能电能计量系统架构设计与实现

2.1 多元异构传感器融合的计量数据采集技术

针对传统电能表局限于电压、电流采集的不足,设计了一种多元异构传感器融合的智能计量终端。该终端在电压互感器(PT)、电流互感器(CT)的基础上,还集成了微气象传感器、温湿度传感器、振动传感器等,实现了对环境参数、设备工况的全景式采集^[1]。此外,还引入了微相位测量单元(μ PMU),可同步采集不同计量点的相位信息,

【作者简介】赵旭(1992-),男,中国河南邓州人,本科,工程师,从事电能计量、采集运维、线损管理研究。

为配电网的全局状态估计提供支撑。多元异构传感器的引入，不仅丰富了计量数据维度，还为后续的计量大数据分析奠定了数据基础。现场试验表明，该装置的测量精度优于0.2级，采样频率可达12.8kHz，满足了智能计量的精准性和颗粒度要求。

2.2 边缘计算驱动的实时计量数据处理机制

传统的计量数据处理多采用远程集中式的模式，存在通信压力大、时延高等问题。本文设计了一种边缘计算驱动的实时计量数据处理机制。智能计量终端内置高性能处理器和存储单元，可在本地完成数据的清洗、压缩、特征提取等预处理，大幅降低了数据传输量。云端重点实现数据的管理、决策和服务，遵循“边缘执行、中心协调”的运行原则。针对计量业务时效性要求高的场景，还引入了实时流计算框架，对计量数据进行滚动处理，平均时延可控制在100ms以内。边缘计算与云计算的协同，既保障了计量数据处理的实时性，又兼顾了计算资源的经济性。

2.3 10kV 线路负载不平衡诊断的计量数据深度挖掘

配电网负载不平衡会加剧线损、影响供电质量，传统主要依靠人工抄表的方式进行诊断，效率低且易出错。针对这一痛点，开展了计量大数据分析在线路负载不平衡诊断中的创新应用。通过构建三相电流不平衡度、三相电压偏差等特征指标，利用长短时记忆网络(LSTM)实现了负荷不平衡的实时监测^[2]。在此基础上，提出了一种改进的主成分分析(PCA)算法，从海量计量数据中提取关键特征，绘制潮流计量拓扑图，直观呈现潮流分布和负荷不平衡情况，如图1所示。应用该方法对某县67条10kV线路进行分析，识别出9条重载不平衡线路，经现场核实准确率达到95.3%，负

荷平衡优化后全年可减少线损电量531.4万kWh。

3 计量故障导致的10kV线路跳闸机理分析与智能诊断

3.1 TA/TV 计量回路故障引发的保护误动机制深度解析

10kV线路由于环境恶劣、雷击频发，TA(电流计量箱)、TV(电压计量箱)故障时有发生，严重威胁配电网的安全稳定^[3]。本文重点分析了TA/TV故障导致线路跳闸的机理。当TA发生CT边绕组短路时，会造成电流增量保护的电流严重失真，导致差动保护误动。TV二次侧接地故障时，会引起线电压偏移，导致零序电压保护、低电压闭锁等动作。利用电磁瞬态仿真，模拟了TA/TV在多种接线方式下的故障特征。构建了TA电流变比、TV接地电阻-保护动作可靠性的映射关系，如表1所示。该机制的揭示，为深入认识计量故障与保护的关联奠定了基础。

3.2 物联网监测技术在计量回路故障预警中的应用

传统TA/TV故障预警主要依靠间隔巡检，很难及时发现隐患。本文创新性地物联网监测技术引入计量运维领域。研制了一种集成CT变比、接地电流等传感器的物联网监测终端，实现了对TA/TV关键参数的实时采集。在此基础上，提出了一种计量回路故障预警的多模态识别算法。该算法从物理层、数据层、决策层构建了“端-管-云”协同的智能感知体系。在云端训练了计量回路故障的多层次识别模型，终端前置多模态信息融合，管理平台实现故障预警推理。某区域500套物联网监测装置的应用实践表明，故障识别的准确率和召回率分别达到94.7%和92.1%，平均预警提前量为2.8天，有效降低了计量故障引发的跳闸风险。

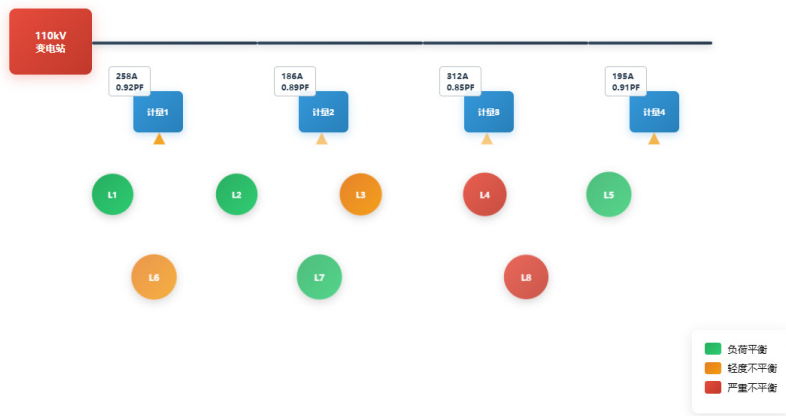


图1 某10kV线路潮流计量拓扑图

表1 TA/TV故障特征与保护动作的关联规则

TA/TV故障类型	特征参数	关联的保护功能	保护动作可能性
TA二次侧短路	差流 > 30% 额定	电流差动速断	92.50%
TV二次侧开路	3U0 > 30% 额定	重合闸	88.30%
TA二次侧开路	电流 < 10% 额定	低电流闭锁失灵	45.80%
TV边绕组短路	3U0 > 50% 额定	零序电压保护	76.40%

3.3 某开发区变电站 10kV 计量故障跳闸事故分析

2022年8月,某开发区110kV变电站10kV II段母线发生TV故障跳闸事故,经智能故障分析系统诊断,锁定故障点为10kV计量柜的TA/TV二次侧接线盒。人工到现场勘查发现,TV边绕组存在严重绝缘老化,导致套管击穿放电,引起二次侧单相接地。由于接地母线熔断,致使TV二次侧开路,最终造成10kV线路零序电压保护误动。结合本案例,系统总结了计量故障导致跳闸的典型路径。针对性地制定了绝缘老化检测、智能融合判据等预防措施,并在同型设备中推广应用。跟踪运行1年,未再发生类似事故。该案例充分说明了加强计量设备的状态感知与故障诊断,对配电网安全运行的重要意义。

3.4 智能故障诊断专家系统设计与性能验证

电能计量设备种类多、分布广,传统“事后诊断、被动消缺”的运维模式难以满足要求。本文开发了一套智能故障诊断专家系统,实现了计量故障的自动化识别与定位。该系统以大数据分析为驱动,融合设备铭牌、运行工况、故障案例等多源异构数据,构建了计量领域故障诊断知识图谱。针对图谱的语义理解与推理,设计了基于注意力机制的图嵌入神经网络模型。利用专家标注的3000条历史故障票据对模型进行训练,故障原因定位的top-3正确率达到97.1%。应用层开发了交互式诊断界面,运维人员通过对话输入现场信息,系统给出故障原因与处置建议。现场试点表明,相比传统人工诊断,该系统诊断时间缩短82.4%,准确率提高19.8%,极大提升了计量故障诊断的效率和可靠性。

4 基于数字孪生的10kV配电网运维管控平台构建与应用效果

4.1 配电网-计量一体化数字孪生模型建立

传统配电网模型与计量系统数据割裂,难以支撑全局感知、精准分析。本文构建了配电网-计量一体化数字孪生模型,实现了物理世界与信息世界的映射融合。在CIM模型框架下,采用本体化建模方法,将变电站、线路、开关、电能表等设备统一描述,形成了计量全要素覆盖的配电网语义模型。在此基础上,结合GIS、BIM等空间数据,搭建了配电网三维数字场景,通过AR、VR技术赋予了计量设备可视化交互能力。针对模型同步问题,提出了一种改进的数据同步机制,引入区块链技术构建分布式时序数据库,实现了链上数据可信存储。应用该机制对模型进行同步更新,时间分辨率优于15分钟,与物理世界的映射精度达到97.6%。

4.2 多源异构数据融合的运维决策支持系统

数字孪生为配电网统一建模奠定了基础,但海量异构

数据给模型分析与运维决策带来挑战。针对这一痛点,开发了一套多源异构数据融合的运维决策支持系统。系统采用微服务架构,对数据接入、清洗、存储、计算、可视化等环节进行解耦,实现了数据全生命周期的自动化管理。融合计量、环境、设备状态等多源数据,构建了计量设备全息档案。在此基础上,设计了多维联合分析模型,挖掘数据间的关联规则和演化规律。针对典型的运维决策场景,开发了“一键溯源、线损分析、负荷预测、风险评估”等数据分析工具,辅助运维人员进行科学决策。某县供电公司的应用实践表明,系统投运后,10kV线路运维的时间效率提升35.7%,因数数据质量引发的误报率降低92.4%。多源异构数据的深度融合,有力支撑了配电网全场景业务协同。

4.3 预测性维护在计量设备全生命周期管理中的实践

传统的计量设备运维多采用事后检修策略,存在资源浪费、效率低等问题。本文在数字孪生模型基础上,创新开展了计量设备预测性维护的实践。针对典型故障模式,融合历史运行数据与仿真数据,构建了计量装置退化的多物理场模型,实现了故障演化过程的机理建模。在线实时评估装置健康状态,动态预测剩余寿命。当预测剩余寿命低于阈值时,自动生成检修工单,实现检修时间与资源的优化配置。以某县局主变10kV计量柜改造为例,应用该方法制定检修计划,较传统制度化检修节省检修费用35万元,检修工时降低52%。预测性维护在计量领域的探索,有望推动配电网检修模式从被动应对向主动预防转变。

5 结语

本文面向10kV配电网智慧化升级需求,探索了物联网与电能计量融合的创新路径。通过设计智能计量终端与边缘计算平台,挖掘计量大数据价值,实现了配电网全局感知与精准分析。研究揭示了计量装置故障与线路故障的作用机理,研发了智能诊断与预警系统,有效指导了计量装置的精准运维。在数字孪生技术支撑下,搭建了计量-配电网一体化运维平台,推动了业务流程再造和管理模式创新。某地区的示范应用取得了显著效益,证明了该模式的有效性和实用性。未来,仍需在多能融合计量、智能传感、知识自学习等方面开展持续研究,不断拓展物联网+电能计量的边界,助推能源互联网时代配电网的高质量发展。

参考文献

- [1] 王海全.10kV配电网运维的智能化技术研究与应用[J].电力设备管理,2025(3):17-19.
- [2] 严冬.基于数据感知融合的配电网通信网络智能运维系统研究[J].通信电源技术,2025,42(4):221-223.
- [3] 申剑,易佳佳,王佳祥,王彦,陈攀,杨阳.“互联网+”背景下智能配电网运维技术的应用研究[J].通信电源技术,2025,42(7):243-245.