

基于边缘计算的输电线路监测系统及其应用

操晨润*, 王 勇, 梅学雄, 卢天白

(国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314300)

摘要: 数字化、智能化是电网高质量发展的重要支点, 输电线路监测系统是电网数字化转型的主要应用形式之一。文章介绍了数字化运维转型的背景, 结合输电线路物理特性总结了在线监测系统的建设意义; 详细阐述了基于边缘计算的输电线路监测系统的总体架构、硬件配置与关键技术, 以及基于该系统的全景监测业务流程。以国网嘉兴供电公司为例, 结合典型应用实例分析了该系统的应用成效及存在的不足, 并对未来发展趋势进行了展望。

关键词: 输电线路; 监测系统; 边缘计算; 应用成效

中图分类号: TM743

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2408A007

CSTR: 32400.14.ncdqh.2408A007

Edge Computing-based Transmission Line Monitoring System and Its Applications

CAO Chenrun*, WANG Yong, MEI Xuexiong, LU Tianbai

(State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Jiaxing Power Supply Company, Zhejiang Jiaxing 314300, China)

Abstract: Digitization and intelligence are important supports for the high-quality development of the power grid, and the transmission line monitoring system is one of the main application forms of the power grid digital transformation. This paper introduces the background of digital operation and maintenance transformation, and summarizes the construction significance of online monitoring systems based on the physical characteristics of transmission lines. The overall architecture, hardware configuration and key technologies of the transmission line monitoring system based on edge computing, as well as the panoramic monitoring business process based on the system, are described in detail. Finally, taking a power supply enterprise as an example, combined with typical application examples, the application effect and shortcomings of the system are analyzed, and the future development trend is prospected.

Keywords: transmission lines; monitoring system; edge calculation; application effectiveness

0 引言

输电线路具有点多、线长、面广等分布特点, 因其长期暴露在自然环境中, 除了复杂的“电磁热流”多物理场力作用、导线与金具的正常机械载荷作用外, 还须经受雷击、强风、洪水、滑坡沉陷、机械异物等外力破坏, 一旦发生故障将导致严重的经济损失^[1]。随着电网规模的不断扩大, 输电线路的运维日趋复杂, 以人工巡检为主的运维模式人员需求量大、人力成本高、人员到位难以监督, 且普遍存在效率低下、盲点漏检率高、响应速度慢等问题^[2], 在恶劣天气下存在人身安全隐患。

2011年, 国网浙江电力首次大规模推广在线监测系统应用^[3]。2012年, 国网嘉兴供电公司作为试点单位协助省公司完成在线监测远程管控技术平台

收稿日期: 2024-08-02; 修回日期: 2024-12-22

开发, 率先开展平台应用实践, 成效显著^[4]。近年来, 在线监测系统在防山火、防树障、防外力破化等方面取得了良好的应用成效。目前输电线路通道监测技术普遍采用“一后端一接口多前端”的技术方案^[5], 图像类监测通常是设定固定采样步长, 通过前端采集现场图片回传后台处理, 按照预设的告警等级发出提示信息。如何优化输电线路在线监测系统的处理方式, 减少对人力资源的过度依赖, 是当前各地市级供电公司亟待解决的问题。

1 基于边缘计算的输电线路监测系统

数字化技术的应用推动了运维模式的转型, 使得输电线路运维工作逐渐向自动化、智能化、远程化方向发展^[6], 配合图像识别及大数据分析等算法的应用, 能够实现高效无死角的监测, 提高应急快速响应能力, 同时降低运维成本, 提升了电网的整

体运行水平。

采用基于边缘计算的监测设备，聚焦线路和设备的数据、告警、风险等内容，通过引入先进的传感器技术、图像识别技术、大数据分析等，能够在前端完成实现数据采集、处理和报警等功能，可实现差异化的监测方案，有效避免了海量数据回传^[7-9]。

1.1 系统总体架构

系统总体架构由数据采集层、数据处理层和数据应用层组成。数据采集层主要由视频采集模块、系统供电模块等硬件系统组成，负责实时采集输电线路的运行数据，包括温度、湿度、风速、振动等参数以及线路周围环境的图像信息；数据处理层由图像识别算法、运算处理模块等软件系统组成，负责将采集到的数据通过无线通信技术传输至数据中心；数据应用层由在线监测主机组成的 PC 端、移动端等监测系统组成，负责为运维人员提供告警及运维决策支持。输电监测系统总体架构见图 1。

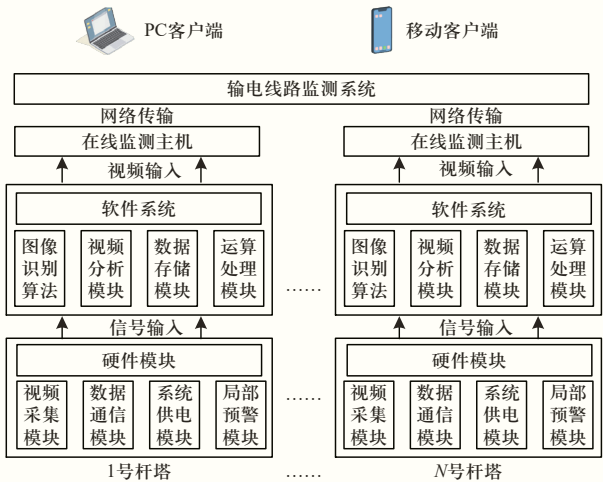


图1 输电监测系统总体架构

1.2 系统硬件与软件

系统硬件主要包括各种传感器、摄像头、通信设备等。其中，传感器负责实时采集输电线路的运行数据；摄像头采用 AI 智能低功耗云台摄像，其特点是针对环境要素变化，自适应捕捉线路周围的图像信息；通信设备则配备边缘网关一体机，负责前端采集数据的传输。系统软件则包括数据采集与处理程序、数据分析与挖掘程序、可视化展示程序等，用于实现对采集数据的深入分析和应用，系统主要模块见图 2。

输电线路监测系统会产生大量的实时数据和历



图2 系统主要功能模块

史数据，这些数据中蕴含着丰富的信息和规律。依托高精度摄像设备，将三维点云数据和摄像机实时图像进行特征提取与匹配，结合 AI 目标识别和测距算法，实时分析施工车辆等目标的空间位置和线物空间距离，并自动发出预警和报警，实现对输电通道的全天候自动监测，完全替代人工值守。在施工隐患辨识方面，构建通道隐患目标数据集，提出了 YOLO-2MCS 模型和卷积注意力机制模块，提升对多尺度目标的检测能力，可在一帧画面中快速辨识挖掘机、推土机、吊车、泵车等多种潜在隐患。在目标空间测量方面，融合三维通道激光点云模型数据与实时视频，建立了统一的三维空间坐标系，通过投影变换获取单目视频中通道隐患深度信息，现场完成隐患与导线之间的最小空间距离实时测量。根据距离值大小设定预警等级，启动隐患处理流程。

通过大数据分析技术，系统能够提取出有价值的信息，发现潜在的安全隐患和故障规律，为运维人员的决策提供有力支持。同时大数据分析技术还可以辅助系统进行故障预测和优化运行，提高输电线路的运行效率和安全水平。

1.3 全景监测业务流程

防控技术的不断创新驱动运维模式逐步转型，相关标准规范也在不断完善，形成了系列标准、业务指导书、作业指导书等应用成果，覆盖“平时预、灾前防、灾中守、灾后抢、事后评”等各环节，指导和优化联防机制，并为系统的研发和应用提供了统一的技术依据，提高了输电线路实时状态监测能力；不断优化的联防机制与标准规范，实现了输电线路状态数据全感知的智能可靠监测与深度分析。

2020 年以来，国网嘉兴供电公司逐步扩大基于边缘计算的监测设备覆盖面，加大输电通道可视化在线监测设备的投入，大幅提升输电通道可视化范围，同时探索完善生产信息闭环管控。建立并完善的信息处理流程，开展全景监测业务、闭环管理、

在线监测系统上报的信息。全景监测业务主要是推动输电专业设备、人员和业务管理向全景远程集中监测模式转变，依托监测中心开展输电线路的日常监测，及时研判预警信息，并派发告警工单，跟踪告警工单闭环情况。全景监测业务流程见图3。

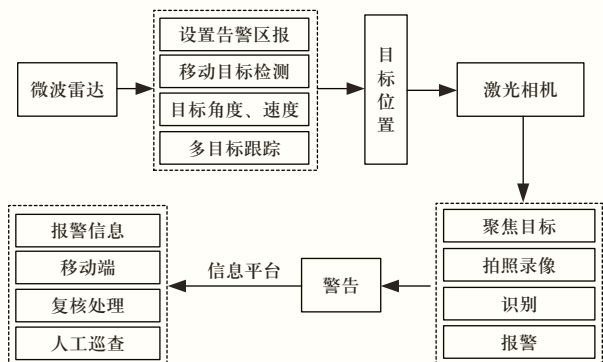


图3 全景监测业务流程示意图

通过信息共享和资源整合，构建了“市—县—工区”联防机制，能够迅速响应和处理突发事件，降低事故损失，提高电网的安全性和可靠性。成立全景监控中心，统筹规范开展输电线路监测预警工作，实现了跨区域、跨部门的协同监测和应急响应。按时间节点梳理输电线路运维二十四节气表，高风险时期启动24 h值班，发布预警通知单，建立“监测—预警—处置—反馈”的闭环管控工作机制。

2 系统应用成效及不足

以国网嘉兴供电公司为例，截至2024年11月底，架空输电线路在线监测设备总数量约为8600余套，其中基于边缘计算的图像类监测设备占比超过70%。与传统监测类设备相比，基于边缘计算的图像类监测设备回传告警信息数据下降65%，误判率降低49%。在全景监测业务流程下，输电线路全感知的智能可靠监测与深度分析模式正逐步形成。

2.1 应用成效分析

2.1.1 防火灾成效显著

每年11月至次年4月，山林地区山火多发，山火突发性、随机性强，持续时间长，影响范围广。

通过实时监测输电线路周围的火源和烟雾情况，输电线路监测系统能够及时发现并处置山火隐患。不仅降低山火对电网的影响，还有效减少火灾带来的经济损失和社会影响。此外，农田烧荒、意外起火等引起的火情，也给输电线路带来跳闸隐患。

案例：2024年3月15日12:50，国网嘉兴供电公司监测中心收到系统告警信息，某线路密集通道内出现浓烟，判定为火情告警。监测中心立即通知运维人员前往现场管控，经了解该处农户在焚烧秸秆，焚烧点距离杆塔约6 m。运维人员现场制止，并及时报警，消防迅速赶到熄灭火种，避免火势及浓烟蔓延致线路短路跳闸。

2.1.2 防外力破坏能力提升

输电线路监测系统通过监测线路附近的施工、盗割等行为，能够及时发现并制止外力破坏行为，有效保护电网的安全，减少因外力破坏导致的停电事故和经济损失。案例：2024年7月17日15:43，国网嘉兴供电公司监测中心收到告警信息，遂通过全景监测应用系统对在册危险点图像监测巡视，发现线路杆塔附近有机械隐患，极有可能造成线路跳闸及大面积停电。监测中心立即通知运维人员前往现场管控，经了解该处为某线路边线外11 m临时采用吊机维修墙体施工，维修墙面高13 m，导线高度为18 m，未来2 d内还有多次作业计划。运维人员现场发放隐患告知书，并提前安排现场监护。此次在线监测中心与现场运维人员的联动，及时排除了线路隐患，避免了输电线路跳闸事故的发生。

2.1.3 防树障效果明显

通过监测输电线路下方的树木生长情况，系统能够及时提醒运维人员进行修剪或清除超高树木。有效防止了因树木触碰导线而引发的安全事故，保障了电网的安全稳定运行。案例：2024年4月13日09:03，国网嘉兴供电公司监测中心通过全景监测应用系统对山区线路通道进行视频监测巡视，某线路通道内树竹生长迅速，对比上次视频巡视情况，短期内可能进一步长高触线，监测中心立即通知运维人员前往现场复核。经复核，树竹距离导线不足3 m，运维人员立即组织修剪，避免树线矛盾导致跳闸。

2.2 存在不足探讨

随着应用时间的推移，输电监测系统同样面临着硬件维护、数据安全以及算法优化等诸多挑战。如何平衡技术更新与维护成本的关系，是电力行业亟待解决的问题。

2.2.1 恶劣天气对硬件性能的影响

在大风、暴雨等恶劣天气条件下，监测设备的

性能可能受到影响,导致数据传输中断或误报。为了提高系统的稳定性和可靠性,须进一步研究恶劣天气条件下的设备防护和数据处理策略。

2.2.2 传输效率与安全性须提升

为了满足实时监测的需求,需要优化数据传输协议和网络架构,提高数据传输效率。同时还应加强数据安全保护措施,确保数据的安全性和隐私性。

2.2.3 智能研判算法需进一步优化

虽然现有的智能研判算法在识别异常行为和预测事故风险方面取得了一定的成效,但仍存在一定的局限性,尤其是因监测角度问题带来的误判问题较为明显。为了提高系统的智能化水平,须进一步研究和发展更加先进、准确的智能研判算法^[10]。

3 结束语

基于边缘计算的输电线路监测系统可实现差异化的监测方案,同时避免海量数据的回传,在防山火、防外力破坏、防树障等方面取得了显著成效,但在实际应用中仍存在一些问题和挑战。

随着技术的不断进步,输电线路监测系统将更加完善、高效。具体可从以下几个方面的发展:1)传感器技术的持续创新将进一步提高监测数据的准确性和可靠性;2)通信技术的不断发展将提升数据传输的效率和安全性;3)图像识别和大数据分析技术

的不断进步将使系统更加智能化、精准化;4)标准规范的进一步完善将推动系统的规范化、标准化发展。在这些因素的共同推动下,输电线路监测系统将为电网的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 李程.特高压输电线路在线监测技术应用[J].农村电气化,2023(11):3-5,86.
- [2] 金尧.输电线路防外力破坏多级监控平台[J].农村电气化,2018(4):49-51.
- [3] 殷德聪.输电线路视频监控管理策略与效果分析[J].农村电气化,2020(7):44-45.
- [4] 国家电网公司生产技术部.国家电网公司输变电设备状态监测系统总体框架设计[Z]2010.
- [5] 韩筱慧,王阳,韩中杰,等.变电在线监测远程管控技术平台应用实践[J].电气技术,2016(1):113-115,119.
- [6] 李奔,张宇东.在线监测技术在智能电网输电线路中的应用[J].光源与照明,2024(11):69-71.
- [7] 许凌晓.输电运检公司数字化管理优化研究[D].太原理工大学,2023.
- [8] 江俊杰,胡军,马国明,等.数字化电力装备专用传感应用需求与发展趋势[J].高电压技术,2024,50(8):3271-3307.
- [9] 康宇昊.边缘计算在输电线路监测通信组网中的应用分析[J].技术与市场,2024,31(11):50-53,60.
- [10] 余涛,梁敏航,罗庆全,等.新型电力系统专用传感与边缘智能关键技术及其展望[J].高电压技术,2024,50(8):3324-3338.

作者简介

操晨润(1993—),男,硕士,工程师,主要从事电力系统输配变管理工作,E-mail: chen1993@vip.qq.com。

(责任编辑:袁航)

(上接第25页)

4 结束语

本文深入分析故障及爆燃机理,结合目前先进的状态监测技术,创新提出2种设备状态预警策略以及一种综合事件化策略,可以有效提升大型充油电力设备防爆预警监测水平,降低异常发展至故障的概率,为电力系统的稳定运行提供有力支持。

大型充油电力设备的防爆研究是保障电网安全运行的重要课题。下一步,须在大型充油电力设备本质安全提升、故障防爆及性能验证方面实现突破。

参考文献

- [1] 李博宇,郝治国,李斯盟,等.油浸式电力变压器内部游离气体运动汇集规律[J].中国电机工程学报,2024,44(21):8673-8683.

- [2] 周远翔,李宇航,赵义焜,等.变压器电弧故障防爆燃技术现状与发展趋势[J].高电压技术,2024,50(10):4273-4296.
- [3] 高宗宝,江建明,单银忠,等.500 kV电力变压器着火事故分析研究[J].电工技术,2016(4):52-53,59.
- [4] 杨嘉晨,汤向华,许周宁,等.一起110 kV变压器油中乙炔异常增大的分析与处理[J].农村电气化,2021(7):32-35.
- [5] 宋天慧.运行中变压器表面振动信号特征分析与提取[D].华北电力大学,2017.
- [6] 刘璋玮,董翔,韩晓昆.基于物联网应用的变压器智能运检模式[J].农村电气化,2019,(8):30-34.

作者简介

胡泽民(1993—),男,硕士,工程师,主要从事集控站建设及管理工作,E-mail: 948088486@qq.com。

彭潇(1991—),女,硕士,工程师,主要从事变电监控工作,E-mail: 995868451@qq.com。

焦政国(1993—),男,硕士,工程师,主要从事输电线路智能运检工作,E-mail: 18810825101@163.com。

(责任编辑:袁航)