

基于大数据分析的10千伏及以下配电线路故障预测与运维策略

方枝龙

杭州大有供电服务有限公司桐庐白云源分公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17129

[摘要] 本文聚焦10千伏及以下配电线路,分析其短路、断线等典型故障类型,阐述多源数据采集整合与预处理技术。介绍大数据技术在该领域的应用基础,构建集成学习与深度学习结合的故障预测模型,经训练验证满足精度要求。基于此划分故障风险等级,制定差异化运维策略,优化资源配置并明确实施流程,为提升配网运维水平提供有效方案。

[关键词] 10千伏配电线路; 大数据分析; 故障预测; 运维策略

中图分类号: TM726.3 **文献标识码:** A

Fault Prediction and Operation Maintenance Strategies for 10kV and Below Distribution Lines Based on Big Data Analysis

Zhilong Fang

Hangzhou Dayou Power Supply Service Co., Ltd. Tonglu Baiyunyuan Branch

[Abstract] This paper focuses on 10kV and below distribution lines, analyzing typical fault types such as short circuits and broken wires, and elaborates on multi-source data collection, integration and preprocessing techniques. It introduces the application foundation of big data technology in this field, constructs a fault prediction model combining ensemble learning and deep learning, and verifies through training that it meets accuracy requirements. Based on this, fault risk levels are classified, differentiated operation maintenance strategies are formulated, resource allocation is optimized, and implementation processes are clarified, providing an effective solution for improving distribution network operation and maintenance levels.

[Key words] 10kV Distribution Lines; Big Data Analysis; Fault Prediction; Operation Maintenance Strategies

引言

10千伏及以下配电线路作为配网关键部分,其稳定运行关乎供电可靠性。然而,受运行环境、设备状态等因素影响,故障频发。传统运维方式难以及时精准处理故障。大数据分析技术凭借强大数据处理能力,可挖掘数据潜在价值。本文旨在探讨基于大数据分析的故障预测方法,并据此优化运维策略,提高配电线路运维效率与质量。

1 10千伏配电线路故障特征与数据来源分析

1.1 典型故障类型

10千伏配电线路是配网核心,故障与运行环境、设备状态紧密相关。短路故障最常见,含相间短路与单相接地短路。相间短路多因导线覆冰、树木接触、设备绝缘击穿,故障时电流骤增,致开关跳闸、设备烧毁;单相接地短路占比超六成,由线路绝缘子老化、导线断落接地、避雷器损坏导致,初期电压异常波动,长期运行使设备绝缘劣化。断线故障多在导线接头氧化、张力过大或外力破坏时发生,致供电中断,引发后续接地故障。绝缘闪络故障集中在雷雨、潮湿天,由绝缘性能下降引发,故障前有

局部放电现象。不同故障参数差异为识别提供依据。

1.2 多源数据采集与整合

10千伏配电线路数据采集涵盖多维度,运行状态数据来自配电自动化系统,有馈线终端单元采集的三相电流等实时参数、故障录波器记录的波形数据及开关设备动作状态,采集频率1-5分钟/次,故障时达毫秒级^[1]。环境数据由杆塔传感器获取,含温湿度等参数,特殊区域增设雷击计数器等。设备台账数据存于配网GIS系统,含线路型号等静态信息。数据整合采用分布式数据仓库架构,用ETL工具转换格式、统一标准,校准坐标、同步时间,构建综合数据库,为后续分析提供完整数据支撑。

1.3 数据预处理关键技术

10千伏配电线路原始数据有缺失、噪声、异常等问题,预处理需多技术协同。缺失值处理用分类填补策略,连续数据用线性插值法,离散数据用众数填补法,关键参数缺失时调用相邻点数据加权补全。噪声处理用小波变换技术,对故障波形等高频数据用db4小波基3层分解、重构,稳态数据用移动平均法平滑,窗口5-10个数据点。异常值检测结合统计法和领域知识,用3 σ 准则

识别极端异常值,孤立森林算法检测隐性异常,结合检修记录验证。最后数据标准化,转换至 $[0, 1]$ 区间,用主成分分析降维,提升后续分析效率。

2 大数据分析技术在配电线路中的应用基础

2.1 大数据技术概述

适用于配电线路的大数据技术以Hadoop、Spark为核心架构,具备海量数据处理、实时分析和分布式计算能力。Hadoop分布式文件系统可存储PB级配电数据,通过数据块副本机制保障数据安全性,MapReduce编程模型实现数据并行处理,适用于历史故障数据挖掘等离线分析场景。Spark基于内存计算架构,计算速度较Hadoop提升10-100倍,支持流处理模式,可实时处理配电自动化系统传输的实时运行数据,满足故障预警等实时性需求^[2]。数据挖掘技术包括关联规则、聚类分析、神经网络等算法,关联规则用于挖掘故障与环境、设备参数的关联关系,聚类分析实现故障类型自动分类,神经网络支持复杂故障模式识别。此外,图计算技术用于分析配电网拓扑关系,时序数据库技术保障海量时序数据高效查询,这些技术协同构建起配电线路大数据分析的技术支撑体系,实现数据从采集到应用的全流程处理。

2.2 配电线路数据来源与采集

配电线路数据来源呈现多主体、多类型特征,采集方式结合自动化监测与人工记录。电网企业核心数据来自配电自动化系统,馈线终端单元安装于线路分支点和开关处,实时采集电流、电压、功率等电气参数,故障时触发录波功能,记录故障前后3秒内波形数据。智能巡检系统通过无人机、机器人实现数据采集,无人机搭载红外热像仪和高清相机,获取线路绝缘子发热、导线接头松动等图像数据,机器人沿线路行走检测导线磨损、金具腐蚀情况,人工巡检补充记录设备外观缺陷和周边环境变化。用户侧数据来自智能电表和用电信息采集系统,包含用户用电量、负荷波动等数据,可反映线路负荷分布特征。采集设备通过4G/5G、光纤等通信方式传输数据,边缘计算节点对数据进行初步过滤,剔除无效数据后上传至区域数据中心,形成覆盖发电、输电、用电全环节的多源数据采集网络。

3 基于大数据分析的故障预测模型构建

3.1 故障预测模型选择

结合10千伏配电线路数据特征和预测需求,选择集成学习与深度学习结合的模型架构。随机森林模型作为基础预测模块,适用于处理多维度特征数据,通过构建100棵决策树集成决策,能有效捕捉设备状态、环境参数与故障的非线性关系,对绝缘子老化、接头松动等渐进性故障预测准确率达85%以上。针对短路、闪络等突发性故障,采用长短期记忆神经网络模型,利用其门控机制捕捉时序数据中的长期依赖关系,输入故障前1小时的电流、电压时序序列,可实现故障发生时间与类型的精准预测,预测误差控制在5分钟内。对于多因素耦合引发的复杂故障,构建堆叠集成模型,以随机森林、长短期记忆神经网络、支持向量机为基模型,通过逻辑回归作为元分类器融合各模型输出结果,解决单一模型泛化能力不足问题。模型选择过程中通过交叉验证

对比不同算法性能,最终确定的集成模型在测试集上准确率达92%,满足工程应用需求。

3.2 模型特征工程

模型特征工程围绕数据筛选、构造、选择三个环节展开,提升模型预测性能。特征筛选阶段基于领域知识剔除冗余数据,保留电流有效值、电压偏差、功率波动、环境温度、湿度、设备运行年限、检修间隔等核心基础特征,剔除与故障关联度低于0.3的次要特征。特征构造通过时域、频域分析提取深层特征,时域上计算电流电压的均值、方差、峰值因子等统计量,频域上通过傅里叶变换提取故障特征频率分量,构造绝缘子污秽度、导线老化指数等复合特征,其中老化指数结合运行年限、负荷率、环境腐蚀程度加权计算。特征选择采用递归特征消除法,以随机森林模型输出的特征重要性为依据,逐步剔除贡献度最低的特征,结合交叉验证确定最优特征子集,最终保留28个关键特征。通过特征工程处理,模型输入维度从原始65维降至28维,训练效率提升40%,同时避免过拟合问题,模型泛化能力显著增强。

3.3 模型训练与验证

模型训练采用分阶段训练策略,基于历史数据与实时数据构建混合训练集。训练集选取某地区50条10千伏线路近5年的运行数据,包含2000条故障样本和8000条正常样本,按7:2:1比例划分为训练集、验证集、测试集,采用SMOTE算法处理故障样本不平衡问题,通过随机打乱数据顺序避免训练过程中的序列偏差。训练过程中采用自适应学习率优化策略,初始学习率设为0.01,每迭代100次根据验证集损失值调整学习率,损失值连续3次不下降时采用早停策略防止过拟合^[3]。模型验证采用多指标综合评估体系,准确率反映整体预测效果,精确率和召回率评估故障样本识别能力,F1分数平衡精确率与召回率,ROC曲线下面积衡量模型区分能力。经训练后模型在测试集上准确率92%、精确率90%、召回率93%、F1分数91.5%、ROC曲线下面积0.95,满足故障预测精度要求,通过实地试点测试后,模型预测结果与实际故障情况吻合度达90%以上。

4 基于故障预测的10千伏及以下配网运维策略优化

4.1 故障风险等级划分

结合故障预测模型输出的故障发生概率、故障影响范围和后果严重程度,建立三级故障风险等级划分标准。高风险等级对应故障发生概率 $\geq 80\%$,或故障发生后影响用户数 ≥ 500 户、重要用户 ≥ 5 户,或造成线路停运时间 ≥ 24 小时的情况,主要涉及老旧线路、重载线路及重要用户供电线路,此类线路需优先开展运维工作。中风险等级指故障发生概率40%-80%,故障影响用户数100-500户、重要用户1-4户,或停运时间8-24小时的线路,多为运行年限10-15年、负荷波动较大的线路。低风险等级为故障发生概率 $< 40\%$,故障影响用户数 < 100 户、无重要用户,或停运时间 < 8 小时的线路,主要是投运年限 < 10 年、运行状态稳定的线路。风险等级划分采用加权评分法,故障概率权重0.4、影响用户数权重0.3、停运时间权重0.3,计算综合得分后确定等级,划分结果每季度根据预测模型更新调整。

4.2 差异化运维策略制定

针对不同风险等级线路制定差异化运维策略,实现运维资源精准投放。高风险线路实施精益化运维,每月开展1次无人机红外巡检,每季度进行1次全面停电检修,重点更换老化绝缘子、氧化接头等缺陷设备,安装在线监测装置实时监控运行状态,建立故障应急抢修预案,配备专属抢修队伍,确保故障发生后30分钟内响应。中风险线路采用预防性运维,每两月开展1次无人机巡检,每半年进行1次停电检修,对检测出的一般缺陷实行闭环管理,利用负荷低谷期开展设备维护,建立负荷监测机制,避免重载运行,组织运维人员每季度开展1次线路通道清理。低风险线路实施常态化运维,每季度开展1次人工巡检,每年进行1次停电检修,主要开展线路通道巡视和基础设备检查,采用状态检修模式,仅在设备出现异常时开展针对性维护,减少不必要的停电时间。

4.3 运维资源优化配置

运维资源优化配置围绕人员、设备、资金三大核心要素展开,基于风险等级划分结果合理分配。人员配置采用“核心+机动”模式,高风险线路配置10人专属运维班组,成员具备高级工及以上资质,熟练掌握在线监测数据分析和应急抢修技能;中风险线路由3个区域运维班组负责,每组15人,兼顾巡检与维护职责;低风险线路由区域班组兼职负责,配备基础巡检人员。设备配置方面,高风险线路区域配备2架带红外热像仪的无人机、1套应急抢修车及全套检测设备;中风险区域配备3架普通无人机、2套常规检修设备;低风险区域配备基础巡检工具,实现设备资源共享。资金分配向高风险线路倾斜,年度运维资金占比达50%,重点用于设备更新和在线监测系统建设;中风险线路资金占比35%,主要用于预防性维护;低风险线路资金占比15%,保障常态化运维需求。建立资源动态调整机制,每月根据风险等级变化优化资源配置。

4.4 运维策略实施流程

运维策略实施流程包含数据采集、风险评估、计划制定、执行反馈四大环节,形成闭环管理。数据采集阶段,每日收集线路运行数据、监测数据和巡检数据,通过数据平台整合后传输至故障预测模型。风险评估环节,每周运行模型输出故障预测结果,结合实时数据更新风险等级,生成风险评估报告,经运维专家审核后确定各线路风险等级。计划制定阶段,每月根据风险评估报告制定运维计划,明确各线路运维内容、时间、人员和设备,高风险线路运维计划报上级部门审批,中低风险线路计划由区域运维中心审核^[4]。执行阶段,严格按照运维计划开展工作,利用运维管理系统记录工作进度和发现的缺陷,实现过程可追溯,高风险线路运维过程全程监督。反馈环节,每月召开运维工作总结会,分析运维效果,结合故障发生情况评估模型准确性和策略合理性,及时调整模型参数和运维方案,形成“数据-评估-执行-优化”的闭环流程。

5 结束语

本文借助大数据分析技术,成功构建10千伏及以下配电线路故障预测模型,实现故障精准预测。依据预测结果划分风险等级,制定差异化运维策略并优化资源配置,形成闭环实施流程。实际应用表明,该方案有效降低故障发生率,提升运维效率。未来可进一步拓展数据维度,优化模型算法,为配网运维提供更强大支持。

[参考文献]

- [1]李泽.基于深度学习的输配电线路雷击故障预测与雷击防护性能提升策略[J].新疆钢铁,2025(2):249-251.
- [2]章治民.基于人工智能的配电网线路故障诊断研究[J].电力系统装备,2025(1):83-84,110.
- [3]郑智银.10kV配电线路故障定位与智能化监测技术研究[J].电气技术与经济,2024(10):120-121,125.
- [4]鲁登旻.10kV配电线路故障及其自动化技术分析[J].无线互联科技,2023,20(23):28-30,35.