

Application of Artificial Intelligence in Fault Diagnosis of Distribution Automation

Liang Fang

State Grid Beijing Power Supply Company Miyun Branch, Beijing, 101500, China

Abstract

Distribution automation systems establish a closed-loop network connecting master stations, terminals, and communication channels. However, fault alarms often exhibit multi-source concurrency and mixed temporal sequences, making manual verification prone to delayed analysis and missegmentation. In recent years, the power industry has adopted data-driven approaches in distribution network master stations, emergency repair command, and operation-inspection operations. By correlating historical work orders, waveform recordings, telemetry signals, and primary topology data, these methods utilize models to assist in fault type identification, section localization, and generation of disposal recommendations. Drawing from frontline control and operation-inspection practices, this paper outlines the application pathways of artificial intelligence in distribution automation fault diagnosis and highlights key implementation considerations. The study concludes that coordinated advancement of data governance and business closed-loop processes is essential for steadily improving diagnostic efficiency and accuracy.

Keywords

State Grid Power; Artificial Intelligence; Distribution Automation; Fault Diagnosis; Application

人工智能在配电自动化故障诊断中的应用

方亮

国网北京市供电公司密云公司, 中国·北京 101500

摘要

配电自动化把主站、终端与通信通道连成闭环,但故障告警往往呈现多源并发、时序混杂的特点,单靠人工逐条核对容易出现研判滞后与误分段。近几年电力行业在配网主站、抢修指挥与运检侧引入数据驱动方法,把历史工单、录波、遥信遥测与一次拓扑做关联,用模型辅助完成故障类型识别、区段定位和处置建议生成。本文结合一线调控与运检实践,梳理人工智能在配电自动化故障诊断中的应用路径并提炼落地要点。研究认为,数据治理与业务闭环协同推进,才能稳定提升诊断效率与准确度。

关键词

国网电力; 人工智能; 配电自动化; 故障诊断; 应用

1 引言

人工智能在配电自动化语境下并不等同于“替代运维人员”,它更像是一套可复用的计算方法,用来把离散的监测量转换为可解释的判断线索。对此,文章将基于文献研究与自身实践背景下,就人工智能在配电自动化故障诊断中的应用展开探讨,以供参考。

2 人工智能概述

人工智能是指计算机系统在一定数据与规则约束下,完成感知、分析、推断与决策的一类技术集合。在电力行业,它通常不是“自我学习”的黑箱,而是由数据采集、特征提取、

模型训练与在线推理组成的工程流程,常用方法包括专家规则、统计学习、神经网络以及面向文本的自然语言处理等。中国近年推动“人工智能+能源”应用,强调在电网运行智能诊断分析、设备状态评价与配电网智能运行管理等场景形成可用模型与可考核指标,这也使人工智能更偏向可解释、可追溯和可运维。对配电自动化而言,人工智能的落脚点是把终端量测、告警与工单知识转化为可复用的研判能力。将人工智能引入配电网故障诊断,可以从海量运行数据中自动提取故障特征,建立故障信息与诊断结果间的复杂映射,快速精准地判断故障类型和位置,并给出最优处置方案,从而克服人工经验判断的局限性,大幅提高故障诊断与处理效率^[1]。

3 人工智能在配电自动化故障诊断中的应用价值

在国网网运行中,配电自动化的故障信息来源既包

【作者简介】方亮(1995-),男,中国湖北武汉人,本科,助理工程师,从事电气工程及其自动化研究。

括主站 SCADA 量测与告警,也包括馈线终端动作信息、故障指示器、计量侧停电信号、95598 报修与抢修工单。人工智能的直接价值首先体现在把这些碎片化证据做融合研判,通过事件关联与拓扑推理把告警压缩为少量可执行结论,从而缩短调控侧从告警出现到下发处置指令的时间。其次,模型能够对接地、短路、开关异常等常见场景形成标准化判据,减少班组经验差异带来的误判断,并把诊断结论沉淀为可追溯的案例库,便于复盘与培训。再次,基于历史数据训练的异常识别可以提前发现终端量测漂移、遥信反向、通信质量下降等隐患,避免在故障时出现信息失真^[2]。最后,多源数据融合用于配电网故障诊断的研究与工程实践已较为明确,且有公开报道显示配电网大数据平台在智能诊断场景具备较高准确率与在线响应能力,这说明在数据治理到位的前提下,人工智能能够支撑配电网从被动抢修向精准研判与协同处置转变。

4 人工智能在配电自动化故障诊断中的应用要点

4.1 单相接地选线定位

针对小电流接地系统单相接地的选线定位,人工智能在配网主站侧可按工程链路实施。第一,人工智能将零序电压、零序电流、暂态录波、故障指示器动作与开关遥信做毫秒级对齐,按事件号关联录波起始点与开关分合时刻,用短窗互证处理对时漂移、采样率差异与通信抖动,并对开关遥信采用状态机去抖以避免瞬态翻转,再依据馈线拓扑版本把告警归并到主线、分段、支线层级,样本标签以现场查到的接地点、试拉结果和接地电阻投切试验为准,同时记录消弧线圈档位、选线装置投退与重合闸状态以消除工况差异。第二,人工智能构建可计算特征,对暂态段提取能量积分、相位突变量、零序电压变化率与衰减速率,对稳态段计算谐波占比、零序电流方向一致性及同馈线支路间幅值差分,并引入湿度降雨、负荷水平和装置运行方式作为辅助量,分别训练瞬时、间歇与高阻接地模型,对间歇接地采用多时间窗投票稳定排序,在线输出候选区段排序并给出关键特征贡献。第三,人工智能部署在主站告警过滤与拓扑校核之后运行,先排除遥信丢包、指示器误动和录波缺失导致的伪动作,再生成最小排查清单,并对试拉、分段转供、接地电阻投切等操作自动生成闭锁条件、许可边界与五防校验要点,调控侧按清单执行并回传结论。第四,人工智能运维闭环把抢修工单、现场照片、试验记录与波形回填到同一案例库,对季节性绝缘变化和线路改造后的拓扑变更进行增量训练,对误选线案例回溯调整阈值与特征窗口,同步更新终端采样配置、对时容差和告警合并策略,形成地区化参数集并定期回放评估。

4.2 相间短路区段判别

配电自动化中相间短路区段判别的关键在于把主站侧

事件与终端量测融合为可追溯的诊断链。首先,人工智能在主站侧以毫秒级时标对齐保护动作码、FTU 上送相电流幅值与方向、分段开关遥信与分合闸时刻以及馈线电压骤降与恢复曲线,自动生成故障事件链,并对录波按故障前 1 至 2 周波和故障后若干周波自适应截取,训练样本同时纳入不同接线方式、负荷水平、故障电阻和分布式电源并网引起的电流反向,样本标签以现场定位点、试送电验证和分段隔离结果闭环校正。随后,人工智能在特征侧以相电流突变率、负序分量、短路期间电压跌落斜率、三相不平衡持续时间、开关动作先后关系和终端告警组合为主,并对告警做去重归并,叠加故障电流方向一致性与保护区段映射规则,采用轻量化分类器区分主线故障、分支故障、站内母线异常与开关误动,并输出最可能分段开关及其上下游杆塔范围,供主站生成首选巡视路线与复核清单^[3]。接着,人工智能在线推理结果与 GIS 杆塔档案、检修停电计划、用户报修空间分布和营销侧停电范围边界开展一致性校核,若模型指向区段与停电边界明显矛盾,系统触发二次拓扑核对、遥信一致性检查与终端通信质量评估,必要时降低缺失终端的权重并重排候选区段,避免把站内问题或报文丢失误判为线路短路。最后,人工智能把现场确认的烧损点、断线点、熔断器动作位置与保护定值调整记录回灌样本库,按终端型号对采样偏差、采样率差异与动作延时进行标定,针对极端短路造成波形缺失的样本引入离线仿真与半监督补齐特征,同时保留原始版本与修订版本用于回归验证。

4.3 瞬时与永久故障区分

配电自动化中为使调度处置与自愈策略一致,主站侧应把瞬时与永久故障区分交由人工智能闭环判定。首先,人工智能以重合闸前后电压电流录波为主数据,按毫秒时标对齐保护动作、FTU 故障电流与开关遥信,补采开关操作次数与间隔、故障指示器动作及复归时刻,并对录波自动截取故障前后片段以剔除 CT 饱和与通信抖动影响,同时接入线路综合在线监测与避雷器计数,并按线路和季节检索近年同类工单与消缺记录作为对照样本,统一生成事件链,避免单次暂态波形被误定为永久缺陷。其次,人工智能训练时突出故障持续时间、重合闸后电流回归形态、零序量衰减速度、告警复现间隔与负荷回升斜率等特征,对不同接线方式和分布式电源反送电场景分层采样,采用序列模型在多窗口上做一致编码,输出可运行观察、限次重合后跟踪、建议转供隔离三类结论,并同步给出阈值触发点与不确定度分数以便留痕。再次,人工智能在线推理需与保护定值、重合闸策略及分段开关转供能力做一致性校核,并接入雷暴大风等气象预警,若出现重复跳闸趋势或不确定度持续上升,系统自动提升告警等级、锁定疑似区段及上下游范围,提示巡检优先核查跨越点、杆塔金具、树障密集段和外力施工点。最后,人工智能将现场消缺原因、通道治理、避雷器更换与重合闸动作次数回填案例库,对误判样本建立校正集并复核标签,迭

代序列窗口长度、特征计算周期与告警合并规则,使不同地区雷暴特性下判别口径保持一致。

4.4 终端与开关异常研判

针对配电自动化中终端与开关异常研判可按采集对齐、模式识别、处置联动、闭环回填四步展开。第一,人工智能在主站侧汇聚终端心跳、SOE时标、通信时延丢包、遥测电流电压、遥信变位序列及就地开关位置指示,按馈线拓扑拉取相邻终端电气量和负荷转移信息作对照,先形成设备自身异常与线路真实故障两类假设,再调取同线路同季节缺陷工单与消缺记录对照。第二,推理阶段人工智能先以规则先验硬过滤,校正时钟偏差引起的SOE乱序,抑制通信抖动遥信毛刺,识别点表错位导致的遥信错位,并对遥控命令回执、辅助触点反馈与位置回告做一致性校验,随后叠加无监督异常检测,对心跳消失但量测连续、遥信抖动而量测平稳、回执正常但位置不变、电流突增而保护未动作等模式判别,输出需核对的端子号、采集点号、开入开出板卡、分合闸回路节点与电源模块^[4]。第三,在线处置中人工智能将结论结构化化为处置清单,按可信度分级推送调控界面并自动派单,界面标注数据可信度与替代依据,调控员分段时优先引用相邻终端、故障指示器、台区停电信号与报修热区,对可疑终端设置暂退自愈、限次遥控并提示就地核对。第四,闭环阶段人工智能把终端更换、通信维护、二次回路检查与缺陷验收结果回填,按厂家型号建立参数基线和故障画像,持续统计误报率、漏报率、处置时长与复发率,滚动调整告警合并规则与采样配置。

4.5 通信中断与非自动化开关故障识别

面向配电自动化在线研判,人工智能应把通信侧与电气侧信号纳入同一证据链,先判信息缺失再判一次异常,形成闭环流程。第一,人工智能在主站侧汇聚通道告警、终端心跳、报文序号连续性、链路时延与丢包率,并同步核验SOE时标、遥测缺失比例与遥信冻结时长,随后以相邻终端电压电流连续曲线和同期用户报修量作参照,按通信劣化电气量连续、通信正常电气量突变、两侧同时异常分流,只有通信满足阈值且异常具备上下游一致性时才能触发定位。第二,人工智能在训练阶段以通信质量特征、告警突发密度、

时钟漂移量和缺失结构为输入,先用规则过滤计划检修、主站拥塞与点表变更窗口,再用轻量分类模型输出通信故障、终端故障、疑似一次故障三类标签,并按处置顺序给出主备通道切换、终端复位、对时校准、端子与采集点核对的建议及优先级,在线推理同时记录置信度与触发阈值。第三,针对非自动化开关或环网柜覆盖不全区段,人工智能将台区停电信号、计量侧失压时刻、报修地址聚类与馈线拓扑约束绑定,采用状态估计计算各分支可达性与负荷回流方向,结合历史负荷曲线校验转供后电流回升形态,推断最可能断点及关联支线,并输出需现场核查的最短巡查清单及建议进出线顺序。第四,在暴雨冰雪等成片停电场景下,人工智能对多点报修、开关动作、转供操作与复电结果进行事件链对齐与时间排序,识别重复送电失败区段、频繁跳闸设备与疑似隐藏故障点,对同一设备的告警合并去重并标注持续时间,结果以工单形式推送至抢修指挥端以便动态调配人员、车辆与物资^[5]。

5 结语

配电自动化故障诊断的难点不在算法本身,而在数据来源复杂、现场状态多变以及处置链条长。国网推进人工智能应用时,应把主站研判、运检消缺与抢修回填串成闭环,使模型能够持续校正并适应网架演进。同时要重视终端采样与对时的标准化。工程实施要坚持可解释、可运维和可考核的原则,在典型故障场景先做成可复制的样板,再逐步推广到更大范围。

参考文献

- [1] 关培兴.基于人工智能的配电网自动化故障诊断研究[J].通信电源技术, 2024, 41(23):210-212.
- [2] 刘青青,施大伟,徐荣姬,等.人工智能技术在配电网故障抢修中的应用[J].中国高新科技, 2023(23):45-47.
- [3] 滕励.人工智能在电力工程自动化中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2023.
- [4] 孙庆雷.输配电网自动化系统中的智能故障诊断与恢复策略分析[J].电子技术, 2024(6):258-259.
- [5] 胡彬.配电自动化系统中的智能运维技术分析[J].集成电路应用, 2024, 41(12):206-207.