

基于人工智能的配电网故障定位与自愈控制方法研究

吴 毅

江西博微电力设计有限公司 江西南昌

【摘要】配电网故障的快速定位与高效自愈是保障电力系统稳定运行的关键。传统方法存在定位耗时、自愈响应滞后等问题，人工智能技术的引入为解决这些难题提供了新路径。通过构建基于深度学习的故障特征识别模型，可精准提取故障信号中的关键信息，实现故障类型与位置的快速判定；结合强化学习算法优化自愈控制策略，能根据电网拓扑结构与负荷状态动态调整恢复方案，缩短故障恢复时间。这一研究为提升配电网的可靠性与韧性提供了技术支撑，对保障电力持续供应具有重要意义。

【关键词】人工智能；配电网；故障定位；自愈控制；电力系统

【收稿日期】2025 年 4 月 17 日

【出刊日期】2025 年 5 月 19 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250185

Research on artificial intelligence-based fault location and self-healing control methods for distribution networks

Yi Wu

Jiangxi BoWei Electric Power Design Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi

【Abstract】Rapid fault location and efficient self-healing of distribution networks are crucial for ensuring the stable operation of power systems. Traditional methods have problems such as time-consuming location and delayed self-healing responses, and the introduction of artificial intelligence technology provides a new path to solve these problems. By constructing a fault feature recognition model based on deep learning, key information in fault signals can be accurately extracted to achieve rapid determination of fault types and locations; combining reinforcement learning algorithms to optimize self-healing control strategies can dynamically adjust recovery plans according to the grid topology and load status, shortening the fault recovery time. This research provides technical support for improving the reliability and resilience of distribution networks and is of great significance for ensuring continuous power supply.

【Keywords】Artificial intelligence; Distribution network; Fault location; Self-healing control; Power system

引言

配电网作为电力系统与用户连接的关键环节，其故障会直接影响千家万户的用电安全。故障发生后，每一秒的延误都可能造成巨大的经济损失与社会影响。传统的故障处理方式依赖人工巡检与经验判断，难以应对复杂电网结构下的故障挑战。人工智能技术凭借强大的数据处理与自主决策能力，正逐步打破这一困境。将其应用于配电网故障定位与自愈控制，既能实现故障的精准快速锁定，又能推动恢复过程的智能化，为构建更可靠、更灵活的电力供应体系注入新动能。

1 配电网故障定位与自愈控制的现存技术瓶颈

1.1 故障定位精度不足制约快速响应

传统故障定位方法依赖于线路分段开关的状态反馈与电流突变检测，在复杂拓扑结构的配电网中易出

现误判。分支线路交织形成的多电源点，会导致故障电流传播路径复杂，单一检测点的信号采集难以区分故障区段与正常区段^[1]。分布式电源接入后，其输出功率的波动性进一步干扰故障特征信号，使基于阻抗计算的定位模型产生显著偏差。此外，配电网中普遍存在的负荷不对称现象，会弱化故障信号的特征差异，导致定位结果出现“模糊区间”，延长人工排查的时间成本。现有自愈控制多采用预设逻辑规则，难以应对动态变化的电网运行状态。当发生多重故障或连锁故障时，固定的恢复路径可能因负荷转移过载而失效，需重新计算最优方案，导致自愈过程中断。配电网的拓扑结构随用户接入与退出动态调整，预设策略无法实时更新适应，易出现开关操作序列冲突。此外，自愈控制与调度系统的协同性不足，恢复过程中缺乏对用户重要性等

级的差异化考量,可能导致关键负荷恢复延迟,影响供电可靠性。

1.2 多源数据融合与处理能力薄弱

配电网故障检测涉及 SCADA 系统、智能电表、故障指示器等多类设备的数据采集,现有系统缺乏统一的数据处理标准,不同设备的采样频率、数据格式存在差异,导致信息孤岛现象严重^[2]。海量实时监测数据的传输与存储压力,使数据处理延迟增加,难以支撑故障的实时分析。数据质量问题同样突出,电磁干扰与设备老化导致的信号噪声,会降低故障特征提取的准确性,进一步制约定位算法的有效性。系统兼容性与扩展性限制技术升级:传统配电网自动化系统多为封闭架构,不同厂商的设备与通信协议存在兼容性问题,新增智能检测终端时需进行大量接口改造,增加技术升级成本。系统的计算能力与存储资源固定,难以满足大规模分布式电源接入后的数据处理需求,在高渗透率新能源场景下易出现算力不足。此外,现有系统对边缘计算与云计算的融合应用不足,终端设备的本地分析能力薄弱,过度依赖主站处理导致响应延迟,无法适应配电网数字化转型的需求。

2 基于人工智能的配电网故障定位模型构建

2.1 多源故障数据的预处理与特征工程

配电网故障定位模型的构建需以高质量数据为基础,针对 SCADA 系统、故障指示器、智能电表等多源设备采集的数据,需进行标准化预处理。通过数据清洗去除电磁干扰产生的异常值,采用插值法填补设备通信延迟导致的缺失数据,确保时序数据的连续性^[3]。特征工程环节聚焦故障特征的深度提取,从电压暂降、电流畸变、零序分量等信号中挖掘与故障类型、位置相关的关键特征,如故障发生时刻的谐波含量、波形突变斜率等。同时,结合配电网拓扑结构信息,将线路分段编号、节点连接关系等空间特征转化为数值化向量,与电气特征融合形成多维输入矩阵,为模型训练提供全面的特征支撑。要基于深度学习的故障定位模型架构设计,采用深度学习网络构建故障定位模型,以适应配电网复杂拓扑与动态运行状态。输入层采用自适应特征缩放机制,对不同量纲的电气特征与空间特征进行归一化处理,避免特征权重失衡影响模型精度。隐藏层由卷积神经网络(CNN)与长短期记忆网络(LSTM)组合而成,CNN 层通过卷积核提取故障信号的局部特征,捕捉电压电流波形的突变模式;LSTM 层则利用门控机制处理时序数据,挖掘故障发展过程中的动态特征,有效解决传统模型对分布式电源波动干扰的适

应性不足问题。输出层采用 softmax 分类器,直接输出故障区段的概率分布,实现故障位置的精准判定,提升模型对复杂故障场景的识别能力。

2.2 模型训练与优化策略

模型训练过程需构建包含各类故障场景的样本集,涵盖不同负荷水平、分布式电源出力状态、故障类型下的历史数据与仿真数据,确保样本的多样性与代表性^[4]。采用迁移学习方法初始化模型参数,将在典型配电网场景中训练好的模型参数迁移至目标网络,减少新场景下的训练样本需求量,加速模型收敛。损失函数设计引入加权因子,对故障定位误差较大的样本赋予更高权重,提升模型对“模糊区间”故障的识别精度。训练过程中通过 dropout 技术抑制过拟合,结合贝叶斯优化算法动态调整学习率、批处理大小等超参数,使模型在保证定位精度的同时具备良好的泛化能力。为满足配电网故障定位的实时性要求,需对模型进行轻量化处理。采用模型剪枝技术去除冗余神经元与连接权重,在保证精度损失可控的前提下压缩模型体积,减少计算资源消耗。将部分特征提取与初步推理过程下沉至边缘计算终端,利用终端设备的本地算力完成实时数据处理,仅将关键中间结果上传至主站,降低数据传输延迟^[5]。同时,设计模型动态加载机制,根据配电网拓扑结构的变化自动调用适配的子模型,避免全量模型运行带来的效率损耗,使模型能够快速响应电网结构调整,保持稳定的定位性能。

3 融合人工智能的配电网自愈控制策略优化

3.1 基于强化学习的自愈控制决策机制构建

强化学习为配电网自愈控制提供了动态决策框架,通过智能体与电网环境的持续交互优化控制策略。将配电网的拓扑结构、负荷分布、故障状态作为环境状态空间,其中拓扑结构需包含线路连接关系、开关位置及设备参数等细节,负荷分布需细化至各节点的实时功率与负荷类型,故障状态则需明确故障点位置、故障类型及影响范围。以开关操作、负荷转移、电源切换等作为动作空间,每个动作都需关联具体的操作对象与执行参数,如开关的分合时序、负荷转移的功率阈值等^[6]。以故障恢复时间最短、负荷恢复量最大为奖励函数,同时引入惩罚项,对操作过程中出现的过电压、过电流等异常状态进行扣分,构建完整的马尔可夫决策过程模型。智能体在训练中通过试错学习积累经验,在初始阶段随机执行动作,记录不同动作对应的环境反馈与奖励值,逐步构建动作价值函数。

3.2 考虑多目标约束的自愈策略动态优化

配电网自愈控制需平衡多个目标的优先级, 包括重要负荷恢复速度、网络损耗、设备过载风险等, 这些目标之间往往存在相互制约, 需通过智能算法实现动态平衡。采用多目标优化算法与人工智能结合的方式, 构建基于深度神经网络的目标权重动态调整模型, 该模型以故障类型、负荷等级、设备状态为输入, 通过多层感知器与激活函数的组合运算, 输出各目标的实时权重系数^[7]。例如, 当发生涉及一级负荷的故障时, 模型会自动提高重要负荷恢复速度的权重; 当设备处于重载状态时, 会增加设备过载风险目标的权重, 根据实际情况实时优化目标函数。

对医院、交通枢纽等一级负荷, 通过注意力机制强化其在恢复序列中的优先级, 在模型训练中为这些负荷节点分配更高的特征权重, 使智能算法在决策过程中优先关注其恢复需求, 确保优先供电。同时, 为一级负荷设置独立的恢复时间阈值, 若在规定时间内未完成恢复, 将触发紧急预案, 调用备用电源或临时供电方案。对普通居民负荷, 则在满足网络安全约束的前提下, 最大化恢复容量, 通过聚类算法将地理位置相近、负荷特性相似的居民负荷归为一组, 统一制定恢复策略, 提高恢复效率。

3.3 自愈控制与调度系统的智能协同机制

打破自愈控制与调度系统的信息壁垒是提升配电网整体运行效率的关键, 需构建基于人工智能的协同决策平台, 实现数据共享、决策协同与流程自动化。通过知识图谱技术整合配电网拓扑数据、设备参数、运行规程等信息, 其中拓扑数据需包含各层级电网的连接关系, 设备参数需涵盖额定容量、运行年限、维护记录等细节, 运行规程需转化为可执行的规则库, 形成统一的知识底座^[8]。知识图谱采用实体 - 关系模型构建, 通过语义网络实现信息的关联查询与推理, 为自愈策略与调度指令的一致性提供支撑, 例如当自愈策略涉及跨区域电源调配时, 可快速查询调度系统中的电源分配规则与约束条件。采用联邦学习框架实现分布式训练, 各区域自愈系统作为联邦学习的参与方, 在本地完成数据处理与模型训练, 仅将模型参数更新部分上传至联邦服务器, 服务器对各参与方的参数进行聚合

优化后, 再将更新后的模型下发至各区域, 既保护数据隐私, 又能实现全局优化。这种分布式训练方式可避免各区域数据孤岛问题, 使模型能学习到不同区域的电网特性, 提升策略的通用性。

4 结语

将人工智能技术应用于配电网故障定位与自愈控制, 能有效突破传统方法的局限。通过构建精准的故障定位模型和优化的自愈控制策略, 可大幅提升故障处理效率与准确性, 增强配电网的可靠性和韧性。这一研究为电力系统的智能化发展提供了有力支撑, 对保障电力持续稳定供应、降低故障带来的损失具有重要现实意义, 也为未来配电网的高效运维开辟了新路径。

参考文献

- [1] 李涛, 刘学成. 基于人工智能的配电网自动化巡检系统设计[J]. 电气时代, 2025, (07): 27-30.
- [2] 贺电. 推动配电网数智化转型[J]. 大众用电, 2025, 40(06): 81.
- [3] 周敏, 马龙. 人工智能支持下的配电网负荷预测及优化控制分析[J]. 电气技术与经济, 2025, (06): 234-237.
- [4] 关润洁, 刘崇林. 基于人工智能的弹性配电网主动预防调度技术研究[J]. 长江信息通信, 2025, 38(05): 114-116.
- [5] 高怡婷, 黄佳琦. 人工智能技术在配电网故障诊断与调度优化中的应用[J]. 集成电路应用, 2025, 42(05): 338-339.
- [6] 周润云. 智能算法在配电网项目负荷预测中的应用[J]. 集成电路应用, 2025, 42(04): 164-165.
- [7] 蒙海梅. 基于泛在物联网的配电网主动感知与故障抢修应用研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (03): 90-92.
- [8] 郭泽霖. 人工智能技术在配电网故障识别中的应用探析[J]. 软件, 2025, 46(02): 156-158.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS