

基于人工智能的配电网故障预测与 预防策略研究

高策

(国网夏县供电公司)

【摘要】配电网的安全稳定运行对电力系统至关重要，传统故障检测方法存在响应滞后、预测精度低的问题。文章提出基于人工智能的故障预测与预防策略，针对配电网的典型故障，构建了机器学习与深度学习模型，提高了预测准确性。经过特征工程、数据训练及优化，实现了高效故障预警，再结合智能调度优化预防策略，提高系统可靠性。研究表明该方法可有效地提升故障预测精度，减少事故发生，提高供电的连续性，为智能电网建设提供技术支撑。

【关键词】配电网；故障预测；人工智能；深度学习；智能调度

中图分类号：TM73；TP18

DOI：10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.028

Research on Fault Prediction and Prevention Strategies of Power Distribution Network Based on Artificial Intelligence

GAO Ce

(State Grid Xia County Power Supply Company)

【Abstract】The safe and stable operation of the distribution network is crucial to the power system, and traditional fault detection methods have problems of lagging response and low prediction accuracy. This paper proposes fault prediction and prevention strategies based on artificial intelligence, builds machine learning and deep learning models for typical failures of power distribution networks, and improves prediction accuracy. Through feature engineering, data training and optimization, efficient fault warning is realized. Combined with intelligent scheduling and optimized prevention strategies, the reliability of the system has been enhanced. Research shows that this method can effectively improve the accuracy of fault prediction, reduce the occurrence of accidents, improve the discontinuities of power supply, and provide technical support for the construction of smart grids.

【Keywords】distribution network; fault prediction; artificial intelligence; deep learning; intelligent scheduling

1 引言

配电网作为电力系统的核心组成部分，其安全稳定运行直接决定供电可靠性。然而，受复杂运行环境、设备老化及外部干扰因素影响，配电网故障频发，导致电能供应中断，影响工商业生产与居民日常生活用电。传统故障检测与诊断方法多依赖规则库和专家经验，暴露出响应滞后、预测精度低、适应性差等问题。近年来人工智能技术在电力系统中的应用取得显著进展，依托机器学习、深度学习方法开展故障预测，能够实现精准预警与智能预防，显著提升系统安全性与供电稳定性。

2 配电网故障机理与数据特征分析

2.1 配电网故障类型与成因分析

配电网在长期运行过程中受负载波动、外部环境干扰及设备老化等多因素影响，易出现不同类

型故障^[1]。这些故障主要包括短路故障、接地故障、断线故障及设备老化故障。短路故障是配电网中最常见的故障形式，通常由导线绝缘损坏、雷击、动物触碰或异物短接所致，导致相间或相对地电流异常增大，触发电网保护装置启动跳闸。短路故障又分为三相短路、两相短路和单相短路，其中三相短路最为严重，可能引发系统级电压崩溃。

接地故障主要因线路绝缘水平降低或击穿，导致相线与地导通，造成零序电流急剧升高，进而影响系统稳定运行，严重时可能产生跨步电压，危害人身安全。断线故障通常由导线机械损伤、老化、外力破坏或高温氧化所致，线路电阻增大、电压失衡，且在部分情况下可能形成悬浮电位，危及用电设备安全。

设备老化故障主要涉及变压器、断路器、电缆接头等关键部件，这些部件在长期运行中受热胀冷缩、潮湿环境、机械振动等因素影响，出现局部放电、接触不良或介质击穿现象，导致设备性能劣化、失效。

2.2 典型故障的物理特性建模

短路故障是配电网中较为严重的一种故障类型,其中三相短路故障由于其对系统电压稳定性的影响较大,常作为重点研究对象。短路故障发生时,故障点处的阻抗急剧降低,导致短路电流迅速上升,从而引发系统保护装置动作^[2]。

2.3 故障数据的采集与特征分析

故障数据的精准获取对预测模型构建起决定性作用,通常依托智能传感器、相量测量单元(PMU)及故障录波器等设备采集。采集数据主要涵盖电流、电压、功率因数、谐波含量等,结合历史故障记录可提取有效特征,提升故障预测精度。以下为南京市郊一处配电网的部分故障数据记录(单位分别为A、V、W、%)(见表1)。

从数据表可见,短路与接地故障发生时,电流显著升高、电压明显下降,且总谐波畸变度(THD)大幅增大。正常运行时电流通常维持在100A左右,短路故障时电流峰值超300A,接地故障时电流也出现较大幅度波动。此外,短路故障时电网频率略有下降,反映系统承受较大冲击。通过分析电流、电压、功率、谐波等参数的变化规律,可提取故障特征,为智能故障预测提供高质量数据支撑。结合时间序列分析、模式识别及机器学习算法,可构建数据驱动型预测模型,提升配电网故障预警能力。

3 基于人工智能的故障预测模型构建

3.1 数据预处理与特征工程

配电网故障预测的核心在于数据质量与特征提取,原始数据常存在噪声、缺失值及冗余信息,直接影响模型预测性能。数据预处理阶段,首先需对采集的电流、电压、功率因数、频率、谐波含量等时序

数据进行异常值检测,采用箱型图法或基于滑动窗口的统计分析方法剔除异常点。针对数据缺失问题,可通过线性插值、K近邻插值(KNN)或长短时记忆网络(LSTM)进行填补,保障数据完整性。对于不同类型故障数据,标准化与归一化处理能显著提高模型泛化能力,常用的Z-score标准化方法可将各特征值转换为均值为0、方差为1的标准正态分布,从而消除量纲差异影响,提升特征间可比性。

特征工程是提高故障预测精度的关键环节。原始特征直接输入模型易导致信息冗余或故障区分能力不足,需通过特征选择与特征构造方法提取关键变量。基于相关性分析,可采用皮尔逊相关系数或互信息法筛选高相关度特征。如短路故障发生时,电流快速升高、电压下降,且总谐波畸变(THD)剧烈波动,反映短时内系统内部电气参数剧变;接地故障则主要表现为零序电流增大、功率因数异常,据此可构造短时电流增量、零序电流比值、电压跌落比率等关键特征。借助主成分分析(PCA)或线性判别分析(LDA),可降维以减少冗余特征,提升计算效率^[3]。

3.2 机器学习故障预测的模型构建

故障预测模型的核心目标是在输入特征数据的基础上来准确判断未来是否会发生故障,并且对故障的类型进行分类。对于多分类故障预测问题,决策树的目标是最大化信息增益。较大的信息增益意味着更优的分裂点,使决策树能够更有效地区分故障类型。

梯度提升决策树(GBDT)通过迭代优化提升预测精度,采用损失函数的负梯度作为残差进行拟合,并通过加权组合提升模型性能。

传统的机器学习方法。模型训练过程中,采用交叉验证方法进行参数调优,防止过拟合。模型评估采用精确率(Precision)、召回率(Recall)及F1-

表1 部分故障数据记录

时间	电流 /A	电压 /V	有功功率 /W	无功功率 /W	频率 /Hz	总谐波畸变/%	故障类型
2025/3/1 10:15	120	10100	96000	33000	49.9	2.5	正常
2025/3/2 14:30	310	9500	150000	50000	49.6	8.2	短路
2025/3/3 8:45	85	10250	89000	30000	50	2.3	正常
2025/3/4 19:20	280	9600	140000	47000	49.7	7.5	接地
2025/3/5 22:10	95	10180	94000	32000	49.9	2.6	正常
2025/3/6 17:50	290	9700	145000	48000	49.8	7.8	短路

score 等指标衡量预测性能。

4 故障预防策略与智能调度优化

4.1 预测驱动的主动预防策略

基于故障预测模型的主动预防策略,可提前识别潜在风险并采取干预措施,降低故障发生概率,提升配电网安全性与可靠性。针对短路故障的主动防御,结合历史短路事件数据与当前负载运行状态,采用随机森林或 LSTM 模型预测短路发生概率,提前调整配电网潮流分布,降低关键节点负荷,减少设备过载情况。针对接地故障,采用零序电流监测技术与谐波分析方法,在接地故障发生前识别绝缘特性的异常变化,并通过调度策略优化接地保护整定值,提高接地故障检测灵敏度。

4.2 AI 辅助的故障告警与健康评估

AI 辅助故障告警系统依托深度学习与数据挖掘技术,可精准评估设备健康状态,并在故障发生前提供有效预警。实验数据取自南京市郊 10kV 配电线路监测系统,通过分布式数据采集终端(DTU)、智能传感器及在线监测系统采集设备运行状态数据,同时结合历年故障维修记录,构建健康评估数据库。数据采集周期为 5 分钟,覆盖一年内不同季节、不同负荷条件下的运行状态。经数据清洗与异常值剔除保障数据质量后,采用 LSTM 模型开展时间序列预测,评估不同时间段设备健康趋势。基于 AI 模型计算的健康评分及告警等级如表 2 所示。

表 2 健康评估结果数据表

设备编号	运行时间/h	负载率/%	绝缘电阻/MΩ	温度/°C	健康评分	告警等级
T001	5000	85	1.2	75	92	低风险
T002	7200	90	0.8	85	78	中风险
T003	9500	95	0.5	95	62	高风险
T004	12000	97	0.3	105	48	高风险

从数据可以看出,设备 T003 和 T004 的健康评分较低,主要由于其运行时间较长、负载率过高、绝缘电阻下降以及温度超标,这些因素均增加了设备发生故障的可能性^[4]。

4.3 智能调度优化方法

智能调度优化方法依托人工智能算法,对配电网潮流进行实时调整,实现负荷合理分配,提升供电可靠性的同时降低故障发生率。基于近一年负荷数

据构建环境状态空间,训练智能代理通过调整分布式电源接入、负荷转移等策略优化潮流分布,将关键节点负载率控制在安全阈值以内。智能调度优化前后配电网关键节点的负载情况如图 1 所示。

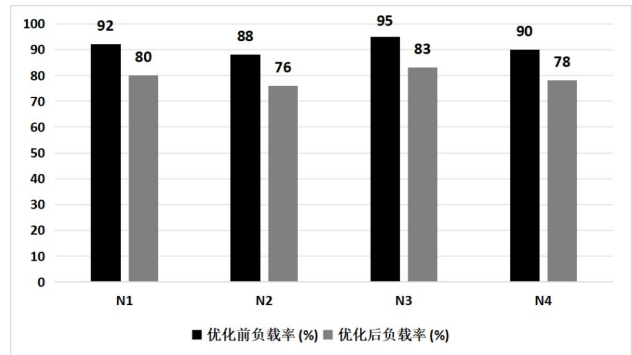


图 1 关键节点优化前后负载率

优化的关键节点负载率降低了 12%~13%,显著减少了设备过载情况,提高了配电网的稳定性。在实际应用中,智能调度算法会动态调整负荷分配,并在大功率设备投入运行前预先平衡潮流分布,以降低对系统的冲击。

5 结语

基于人工智能的配电网故障预测与预防策略能够显著提高电网的运行可靠性和安全性。研究分析了配电网故障的机理,还构建了短路的典型故障的数学模型,并在机器学习和深度学习算法的基础上建立了故障预测的模型,从而提高了预测精度。经过数据预处理和特征工程优化模型输入,实现对故障的精准识别。智能故障预警与健康评估系统大大降低了误报率,增强设备状态监测能力。研究结果表明,人工智能技术能够有效地提升配电网的故障预测和防控能力,优化调度策略,提高供电连续性,为智能电网建设提供技术支持。

参考文献

- [1] 李建伟, 郭攀, 马俊杰. 矿井开采设备齿轮减速器故障预测模型[J/OL]. 金属矿山, 1-9.
- [2] 余琼霞, 吴帅帅, 孙俊杰, 等. 时滞执行器故障下高速列车无模型自适应预测协同控制[J/OL]. 铁道科学与工程学报, 1-13.
- [3] 李清升, 吴海涛. 基于人工智能的电气设备故障预测与维护策略研究[J]. 中国设备工程, 2025 (5): 26-28.
- [4] 李贵俊, 杜柯予, 余国强, 等. 一种设备故障预测诊断专家经验数字化的方法与实现[J]. 中国设备工程, 2025 (5): 206-209.