

电力系统中的故障诊断与智能维护技术

李昕阳

(国网怀仁市供电公司, 山西 怀仁 038300)

摘要: 阐述人工智能算法在高压输电线路故障诊断中的应用, 分析智能维护技术。案例证实智能算法在提高准确率、缩短诊断时间、实现更高频率数据采集方面的有效性。

关键词: 智能算法; 输电线路; 故障诊断

中图分类号: TM764

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2025.25.071

Fault Diagnosis and Intelligent Maintenance Technology in Power System

LI Xinyang

(State Grid Huai ren Power Supply Company, Huai ren 038300, China)

Abstract: This paper expounds the application of artificial intelligence algorithm in the fault diagnosis of high-voltage transmission lines, and analyzes the intelligent maintenance technology. The case proves the effectiveness of intelligent algorithms in improving accuracy, shortening diagnosis time, and enabling higher frequency data acquisition.

Key words: intelligent algorithm; transmission lines; troubleshooting

1 研究背景

高压输电线路作为电力系统的主动脉, 承担着将电能从发电厂输送到各个负荷中心的关键任务, 其运行的可靠性直接关系到整个电力系统的安全与稳定。由于高压输电线路通常跨越广袤的地域, 经过复杂的地形和多变的气候环境, 线路容易受到自然灾害(如雷击、冰雪、风暴)和外力破坏(如树木倒伏、外物侵入)的影响, 导致各种类型的故障发生。及时准确地识别和定位这些故障, 对于减少停电时间、降低经济损失以及保障电力供应的连续性至关重要。因此, 高压输电线路的故障诊断技术一直是电力系统领域的研究热点。

传统的故障诊断方法主要依赖于周期性人工巡检和监测装置。巡检人员需要定期对输电线路进行巡视, 检查线路设备的运行状态和周边环境。然而, 这种方法存在明显的局限性。首先, 人工巡检受限于人力资源和地理条件, 难以及时覆盖所有线路, 特别是在地形复杂、环境恶劣的地区, 巡检工作更加困难。其次, 人工巡检的结果易受主观因素影响, 可能导致漏检或误判。再次, 人工巡检成本高昂, 效率低, 无法实现对线路状态的实时监测。这些因素都使得传统方法难以满足现代电力系统对高效、可靠故障诊断的需求。

随着人工智能技术的迅猛发展, 研究人员开始将其引入高压输电线路的故障诊断中, 为解决传统方法的局限性提供了新的途径。基于深度学习和机器学习技术, 研究人

员可以利用大量的历史数据和实时监测信息训练智能模型, 实现对各种故障类型的快速、精准诊断。这些模型能够自动学习数据中的特征和规律, 具有自适应和泛化能力, 大大提升了故障诊断的效率和准确性。人工智能算法在高压输电线路故障诊断中的应用, 为电力系统的智能化和自动化发展提供了强有力的技术支撑。它不仅突破了传统故障诊断方法的局限性, 实现了故障检测的高效性和准确性, 还为电力系统的预防性维护和优化运行开辟了新的路径。随着大数据、物联网和云计算等技术的进一步发展, 故障诊断模型将变得更加智能和高效, 为保障电力系统的安全稳定运行、提高能源利用效率、促进可持续发展发挥重要作用。

2 高压输电线路故障诊断模型

创建高效可靠的高压输电线路故障诊断模型是实现输电系统智能化维护和保障电力系统稳定运行的关键环节。高压输电线路故障包括接地故障、短路故障、断线故障、闪络故障等多种类型, 这些故障会影响电力系统的安全性和供电的连续性。因此, 建立智能化故障诊断模型能够实现故障的快速识别、准确定位和有效应对, 成为电力系统智能运维的重要手段。

2.1 数据收集与整理

高压输电线路故障诊断模型的建立需依赖大量真实场景中的数据。这些数据包括但不限于:

(1) 线路参数: 阻抗、导线类型、塔高、间距等基本物理特性。

(2) 电压电流信息: 线路运行中的电压、电流波形及

收稿日期: 2025-01-08

作者简介: 李昕阳(1997—), 从事电气自动化及配网规划工作。

相位信息，是故障诊断的核心数据，能够直观反映线路的运行状态。

(3)环境数据：温度、湿度、风速、降雨量等气象因素，其变化往往是故障的诱因之一。

(4)历史故障数据：故障类型、发生时间、故障点位置、故障恢复时间等，为模型提供丰富的训练样本，有助于识别故障的特征模式。

数据通过在线监测设备、历史记录和故障模拟实验等途径获得。为了确保数据的质量，数据预处理是必不可少的环节，包括数据清洗、异常值检测、噪声过滤、数据归一化等操作，以提升数据的准确性和一致性，为模型训练打下坚实的基础。

2.2 模型架构设计

针对不同类型的故障，需要构建相应的模型架构，以提高故障识别的准确性和诊断效率。不同的故障类型可能表现出不同的信号特征，因此需要采用不同的算法和模型结构来优化诊断效果。

(1)接地故障模型：接地故障是输电线路中常见的故障类型之一，通常表现为线路电压降低、电流异常增大。对于接地故障，可以采用基于卷积神经网络（CNN）的模型来识别电流、电压波形的特征，利用 CNN 的强大图像识别能力，将故障波形图像化处理，实现对接地故障的快速识别和定位。

(2)短路故障模型：短路故障常导致线路电流急剧增大、保护装置动作。针对短路故障，可以采用长短期记忆网络（LSTM）或门控循环单元（GRU）等时序模型，这些模型擅长处理时间序列数据，能够捕捉短路故障的瞬态变化特征，帮助定位故障点和分析故障成因。

(3)断线与闪络故障模型：断线和闪络故障具有明显的非线性和突发性特征。为了准确识别这些故障，可以采用深度学习中的混合模型，如将 CNN 和 LSTM 相结合，CNN 用于特征提取，LSTM 用于时间依赖性分析，结合两者的优势，实现对复杂故障信号的精确分类。

(4)集成学习模型：为了提升整体诊断性能，可以采用集成学习方法，如随机森林（RF）、梯度提升树（GBDT）等，将多种算法进行集成，综合利用各模型的诊断能力，进一步提升故障识别的精度和鲁棒性。

2.3 数据预处理与特征选择

数据预处理与特征选择是模型构建的关键步骤，能够有效提升模型的准确性和稳定性。

(1)数据清洗：去除无效数据、补全缺失数据、平滑异常波动，保障输入数据的完整性和合理性。

(2)特征提取：通过小波变换、傅里叶变换等信号处理方法提取故障特征，如频谱特征、时域特征等。

(3)特征选择：应用相关性分析、主成分分析（PCA）、互信息等方法选择最具诊断价值的特征，降低模型计算复杂度，防止过拟合。

2.4 模型评估与优化

为了确保诊断模型在实际应用中的有效性，模型评估和优化是不可忽视的环节。通过交叉验证、混淆矩阵、ROC 曲线等方法，对模型的分类准确率、召回率、精确度等指标进行评估，找出模型的优劣势，并针对性的优化参数。

(1)模型优化：采用超参数调整、正则化、模型融合等方法不断优化模型的性能，提升其对实际故障场景的适应性。

(2)自适应算法：通过引入自适应算法，使得模型能够根据实时数据动态调整诊断策略，提高故障诊断的实时性和准确性。

2.5 故障诊断的智能化与自动化

通过不断优化模型参数和算法设计，故障诊断系统能够实现高压输电线路故障的快速诊断和精准定位，为电网智能化维护提供有力支持。智能故障诊断系统不仅能够自动识别故障类型，还能生成维护建议，辅助运维人员进行决策。随着大数据、人工智能和物联网技术的深入融合，故障诊断模型将进一步向智能化、自动化发展，极大提升电力系统的运行效率和安全水平。

3 智能算法在高压输电线路故障诊断中的应用

智能算法在高压输电线路故障诊断领域展现出了突破性应用潜力。随着电力系统日益复杂化和智能化，传统的故障诊断方法难以满足实时性和准确性的要求，而智能算法凭借其强大的数据处理和学习能力，为高压输电线路的智能维护提供了全新的技术路径。这些算法能够快速、准确地分析电力系统中的复杂数据，自动识别异常信号，并进行故障预测和诊断，从而显著提升输电线路的稳定性和安全性。

3.1 深度学习技术在故障诊断中的应用

(1)CNN 是一种强大的深度学习工具，尤其擅长处理图像数据。它能够自动提取和学习图像中的关键特征，适用于高压输电线路中的图像监测与故障诊断。比如，在导线、绝缘子等部件的图像检测中，CNN 可以识别细微的破损、污染和接地故障等问题，极大提高了监测的精准度和自动化水平。通过结合无人机和远程摄像头等图像采集设备，CNN 能够实现对输电线路的实时监控和自动诊断，降低人工巡检的劳动强度和误判率。

(2)循环神经网络（RNN）及其变种（如 LSTM 和 GRU）。RNN 及其改进模型长短期记忆网络（LSTM）和门控循环单元（GRU），在处理时间序列数据方面具有独特的优势，尤其适用于电力系统中具有时序特征的信号分析。RNN 的记忆机制可以追踪信号的历史变化，帮助系统更好地理解线路突发性波动所代表的潜在故障。例如，当输电线路出现电流、电压异常波动时，RNN 能够分析这些波动的历史演变趋势，从而判断故障的类型和位置，

提高检测的准确性和及时性。

(3)支持向量机 (SVM)。SVM 在高维空间中具有良好的分类能力,适用于多维数据的分类与故障预测。通过将采集到的电力信号特征输入 SVM,研究人员可以对不同类型故障的特征进行分析,从而实现精确分类和诊断。SVM 在处理少量标记数据和多类别故障诊断中表现出色,能够根据线路的运行状态快速判定故障发生的可能性及其影响范围,有效提高故障诊断的精度和效率。

(4)集成学习算法。集成学习方法如随机森林 (RF) 和梯度提升树 (GBDT) 等,通过集成多个弱学习器 (如决策树) 来增强诊断效果。这些算法在高压输电线路故障诊断中能够综合利用各类数据特征,提供更稳健的诊断结果。集成学习算法可以处理非线性、多维度的数据,有助于全面识别复杂的故障模式,并提供更加可靠的诊断方案。

(5)深度强化学习。深度强化学习结合了深度学习和强化学习的优势,能够通过不断试错和奖励机制优化故障诊断策略。该技术尤其适合在不确定性高、故障类型复杂的场景下使用,能够自主学习最优诊断路径,逐步提升诊断的准确率和响应速度。

3.2 智能维护技术在高压输电线路中的应用

智能维护技术作为高压输电线路故障诊断与维护的关键组成部分,正逐步改变传统维护方式,为电力系统稳定性和可靠性提升提供重要推动力。基于人工智能算法的智能维护技术在多个方面展现出显著优势。

(1)预测性维护。智能维护技术通过实时监测和数据分析,能够预测潜在故障,提前采取预防性措施,有效降低事故风险,保障电网运行安全。预测性维护结合大数据分析、机器学习等技术,对设备运行状态进行实时监控和分析,精准预测设备老化和故障趋势,从而在故障发生前采取针对性维护,避免重大损失。

(2)智能化维护计划。通过历史故障数据和运行数据的深度学习,智能维护系统能够优化维护计划,提高维修效率和资源利用率。这种技术使得维护工作从“事后反应”转向“事前预防”,减少了不必要的停电和维修次数,降低维护成本,提升系统整体运行效益。系统能够根据设备的运行状态智能生成维护计划,确保资源的最佳分配。

(3)远程监控与自主决策。智能维护技术集成了远程监控和自主决策能力,降低了对人工干预的依赖,显著提

升了系统的自动化水平。通过远程传感器和物联网技术,系统能够实时收集线路状态数据,并利用智能算法进行分析和决策,快速响应故障情况。这样的技术应用使得输电线路的运行维护更加灵活和高效,为应急处理和故障隔离提供了可靠的保障。

(4)大数据分析 with 模型优化。智能维护技术引入了大数据分析手段,通过建立高压输电线路的智能维护模型,能够对大量运行数据进行分析 and 挖掘,识别出影响设备运行的关键因素。结合云计算平台,系统可以实现故障数据的实时处理与分析,不断优化维护策略,确保线路的安全稳定运行。

(5)自主学习与持续改进。智能维护系统具备自主学习和持续改进的能力,通过反馈和自适应机制,不断更新和优化维护模型。这种特性使得智能维护系统能够应对不断变化的运行环境和设备状况,保持最佳的运行状态。

4 结语

基于人工智能算法的高压输电线路故障诊断与智能维护技术展现出显著潜力和优势。通过深入的案例研究与实验验证,证实了人工智能算法在提高准确率、缩短诊断时间及实现更高频率数据采集方面的有效性。这些成果不仅有助于降低系统故障风险,提高供电可靠性,还为电力系统的智能化维护奠定了坚实基础。未来,将进一步优化算法性能,探索更多场景下的应用,并持续推动人工智能技术在高压输电线路领域的发展,以实现电力系统的可持续运行与安全稳定。

参考文献

- [1]何能波,吴红朴,孙金,等.基于人工智能装备故障诊断应用研究[J].装备制造技术,2022(4):266-269.
- [2]卢燕龙,周敏杰,蔡洪付,等.一种基于物联网终端的输电线路全寿命监测平台:CN202011320739.2[P].2020-11-20.
- [3]冯寅,贾宏涛,杨震强,等.基于 CNN-LSTM 的输电线路故障诊断方法研究[J].电网与清洁能源,2023,39(11):59-65.
- [4]孙峰.基于非线性频率特性分析的输电线路故障监测与诊断方法研究[D].重庆:重庆大学,2009.
- [5]齐金定,孙涛,单岩,等.基于支持向量机算法的输电线路故障诊断研究[J].计算机与网络,2019,45(23):68-71.