

# Research on Fault Diagnosis and Rapid Localization Technology for Transmission Lines

Rui Zhang

State Grid Shandong Electric Power Company Xinxian Power Supply Company, Liaocheng, Shandong, 252400, China

## Abstract

With the rapid development of power system and the continuous expansion of power grid scale, the stable operation of transmission lines is very important to the safety and reliability of the whole power system. However, due to the influence of natural environment, equipment aging, external force damage and other factors, transmission line faults often occur. Therefore, it is of great significance to study transmission line fault diagnosis and rapid positioning technology to improve the operation efficiency of power system and ensure the guarantee of power supply safety. This paper aims to explore the latest development of the current transmission line fault diagnosis and rapid positioning technology, analyze the advantages and disadvantages of various technologies in detail, and propose an innovative diagnosis and positioning scheme combining with various technologies on this basis. Through the implementation of intelligent fault diagnosis and rapid positioning technology, this paper aims to improve the security and operation efficiency of the power system, and provide solid technical support and solutions.

## Keywords

transmission line; fault diagnosis; fast positioning; traveling wave method

## 输电线路故障诊断及快速定位技术研究

张瑞

国网山东省电力公司莘县供电公司, 中国·山东 聊城 252400

## 摘要

随着电力系统的快速发展和电网规模的不断扩大, 输电线路的稳定运行对整个电力系统的安全性和可靠性至关重要。然而, 由于自然环境、设备老化、外力破坏等因素的影响, 输电线路故障时有发生。因此, 研究输电线路故障诊断及快速定位技术, 对于提高电力系统的运行效率和保障供电安全具有重要意义。论文旨在深入探讨当前输电线路故障诊断及快速定位技术的最新发展, 详尽分析各种技术的优势与不足, 并在此基础上提出一种结合多种技术的创新性诊断与定位方案。通过实施智能化的故障诊断与快速定位技术, 论文旨在为提升电力系统的安全性和运行效率, 提供坚实的技术支持和解决方案。

## 关键词

输电线路; 故障诊断; 快速定位; 行波法

## 1 引言

输电线路是电力系统中至关重要的组成部分, 它负责将电力从发电站传输到配电系统并最终输送到用户端。随着电力需求的不断增长, 输电线路的规模和复杂性也在持续扩大。然而, 输电线路由于其长距离、复杂的地理环境和暴露在外特性, 极易受到各种故障的影响, 如雷击、树木接触、设备老化等。这些故障不仅会导致电力供应中断, 还可能对电力系统的稳定性产生严重影响。本研究的主要目的是提升输电线路故障诊断的准确性和故障定位的效率, 确保在最短时间内找到故障点并采取相应的措施, 减少电力系统故障带来的影响。

【作者简介】张瑞(1988-), 男, 中国山东聊城人, 本科, 工程师, 从事电力与输电研究。

## 2 输电线路故障类型及原因分析

输电线路的故障类型主要包括短路故障、接地故障和网络故障, 这些故障的发生不仅影响电力系统的正常运行, 还可能引发严重的经济损失和社会安全问题。在输电线路中, 短路故障最为常见, 通常由导线之间的绝缘失效所致, 导致电流通过较短路径流动。此类故障会导致大电流通过, 产生高热量, 从而损坏设备, 甚至引发火灾和爆炸。短路故障常表现为两相或多相导线之间的直接接触或通过外部介质(如树木或导电物质)的间接接触, 故障诊断的复杂性由此增加。接地故障则是指电流通过导线泄漏至地面, 通常是由导线绝缘破损或导线与外部接地体意外接触引起的。接地故障不仅会导致系统电压不平衡和设备损坏, 还可能引发电气系统的不稳定性, 甚至构成人员安全风险。这种故障在绝缘不良或受外力影响的线路中发生率较高, 尤其在恶劣环境

条件下更为显著。闪络故障则主要发生在输电线路周围的空气中，由于电压过高或空气湿度过大，电流通过空气或绝缘体表面产生放电现象，造成线路跳闸或电力中断。闪络故障具有瞬时性、随机性和不可预测性，尤其在雷雨或雾霾天气等恶劣条件下更容易发生。闪络放电不仅会对输电线路的绝缘性能造成瞬时破坏，还可能引发连锁性电力中断事故，对电力系统的稳定性构成挑战。引发这些故障的主要原因可分为环境因素、设备老化与机械损伤，以及人为因素和外部干扰。在环境因素中，雷电、风暴和冰雪是导致输电线路故障的主要外部诱因。雷击会产生高压电弧，破坏导线的绝缘层，引发短路或接地故障。风暴则可能导致导线摆动、碰撞或树木倒塌等情况，进而导致短路或接地。冰雪天气则增加了导线和绝缘体的负荷，导致积冰引发导线断裂或设备损坏，进而造成故障。

### 3 故障诊断技术的发展现状

#### 3.1 传统故障诊断技术

阻抗法、行波法和波形分析法是输电线路故障诊断的三种传统技术。阻抗法通过测量线路两端的电压和电流，基于故障前后线路阻抗的变化来判断故障位置，适用于长距离输电线路，因其计算方法简单而广泛应用。然而由于输电线路的复杂性，该方法在高阻抗故障条件下的准确性较差，且容易受到线路参数变化和系统不平衡的影响。行波法则基于故障发生时在线路中产生的电磁波传播特性进行定位，通过测量行波到达故障检测点的时间差来精确计算故障点的位置<sup>[1]</sup>。行波法在高精度和快速响应方面具有显著优势，尤其适用于长距离、超高压输电线路的故障定位，但它对设备要求较高，需要高采样率的行波检测装置，且在复杂线路环境中可能受到噪声和信号衰减的影响。波形分析法通过分析故障时电流或电压波形的变化来判断故障类型和位置，能够捕捉故障发生瞬间的电气信号，具有较好的实时性。然而，该方法容易受到噪声干扰，并且对数据采集与处理设备要求较高，在复杂环境中难以取得理想效果。

#### 3.2 现代故障诊断技术

随着智能化的不断进步，现代故障诊断技术得到了显著的增强，特别是在人工智能、大数据、智能感知以及在线监测系统等领域。利用人工智能的诊断技术，包括机器学习和神经网络，工程师能够通过分析和学习海量的历史数据，实现对故障类型的智能识别和快速定位。这些技术通过数据驱动模型来识别故障信号的特征，并结合专家系统进行决策，极大地提升了诊断的精确度和可信度<sup>[2]</sup>。深度学习算法能够自动提取故障信号中的关键特征，显著提升了故障诊断的能力。然而在实际应用中，人工智能方法对大量高质量训练数据的依赖性较强，面对新型或极端故障时，可能会出现泛化能力不足的问题。与此同时，基于大数据的诊断方法也逐渐成为现代电力系统中的关键技术之一。随着数据采集能

力的增强，大数据技术能够通过监控海量的实时运行数据，捕捉潜在的故障信号，并通过分析和挖掘历史数据，预测故障发生的概率。大数据诊断技术能够综合考虑各种环境因素、设备状态和故障历史信息，实现故障的精确定位和预警。这种方法的优势在于其强大的数据处理能力，提高了故障预测的准确性。智能感知与在线监测系统是现代输电线路故障诊断技术的关键组成部分。

### 4 输电线路故障快速定位技术

为了应对输电线路故障带来的影响，快速定位技术显得尤为重要。故障快速定位技术能够迅速确定故障位置，缩短停电时间，减少经济损失，并提高电力系统的可靠性如图一。输电线路故障快速定位技术的发展显著提升了电力系统故障响应的速度与准确性。行波定位法作为一种基于电磁行波传播特性的技术，广泛应用于超高压和长距离输电线路中。当故障发生时，故障点会产生电磁行波，该行波沿线路传播，通过测量行波到达测量点的时间差，可以精确确定故障点的位置。行波法的优势在于其高精度和快速响应能力，尤其适用于复杂网络和长距离线路。然而其局限性在于需要高采样率的检测设备，且在实际应用中可能受到线路噪声、信号衰减和多次反射的影响，导致定位精度降低<sup>[3]</sup>。

相比之下阻抗定位法是另一种常用的传统故障定位技术，基于故障前后线路阻抗的变化来确定故障位置。通过测量线路两端的电压和电流，阻抗法能够计算故障点的阻抗值，并根据线路参数推算出故障点的具体位置。阻抗法因其计算方法简单、易于实现而被广泛应用于中短距离输电线路中。但传统阻抗法易受系统不平衡和线路参数变化的影响，近年来，改进的阻抗算法通过引入自适应算法、考虑线路分布参数等方式，提升了定位精度，但在高阻抗故障条件下仍存在局限。随着智能化技术的发展，人工智能专家系统在故障定位中得到了越来越广泛地应用。基于人工智能的故障定位技术通过对大量历史数据的学习和模式识别，能够智能分析故障信号并实现快速定位。通过综合多源数据，人工智能技术具备了自动调整定位模型的自适应能力，特别适用于复杂多变的电力系统环境。此外无线传感器网络（WSN）与智能终端的引入进一步提高了故障定位的自动化和精确性。通过在输电线路沿线布置传感器节点，能够实时监测线路运行状态，并在故障发生时迅速传递信息。配合智能终端，故障数据能够快速收集、处理并传输到控制中心，实现精准定位。故障诊断与快速定位技术的应用如表1所示。

### 5 故障诊断与快速定位技术的结合应用

故障诊断与快速定位技术的应用正朝着智能化和多源信息融合的方向发展。通过多源信息融合技术，能够集成传感器、SCADA系统和历史故障数据等不同来源的信息，借助加权平均、卡尔曼滤波和贝叶斯推断等方法，有效提升故障诊断的准确性和可靠性。同时，将传统的电流、电压测

量、波形分析、频谱分析与现代模态分析等多种诊断方法结合,不同故障类型(如短路、接地、断路等)的识别和定位能力得到显著优化。这种多方法的有机结合大幅度提高了整体诊断系统的精度和效率。在智能算法的驱动下,综合诊断定位系统进一步实现了故障分析的智能化。通过引入支持向量机、随机森林、KNN等机器学习算法以及卷积神经网络、长短时记忆网络等深度学习模型,系统可以对故障数据进行深度特征提取,并自动识别复杂的故障模式。这类算法经

过大数据训练后,能够适应多样化的故障情境,并通过自适应调整来提高系统的响应能力。此外模型优化和参数调节是确保系统高效性的重要手段。通过超参数调优、交叉验证、遗传算法等技术,诊断模型可以得到不断优化,确保其在复杂环境下的稳定性和精确性,从而实现故障的快速诊断与定位。智能算法与多源信息融合的结合,为现代输电线路的故障诊断和快速定位提供了强有力的技术支撑,并有望显著提升电力系统的整体运行效率与安全性。

表1 故障诊断与快速定位技术的应用

技术方向	应用内容	提升效果
多源信息融合技术	集成传感器、SCADA系统、历史故障数据等,提升故障诊断的准确性和可靠性。	提升故障诊断的准确性和可靠性。
传统诊断方法的优化	结合电流、电压测量、波形分析、频谱分析、模态分析,优化不同故障类型的识别和定位能力。	显著优化不同故障类型的识别和定位能力。
智能算法的应用	引入支持向量机、随机森林、KNN、卷积神经网络等,进行故障数据的深度特征提取与模式识别。	提高系统的响应能力,自动识别复杂的故障模式。
模型优化与参数调节	通过超参数调优、交叉验证、遗传算法等技术,确保诊断模型在复杂环境下的稳定性与精确性。	提高模型的稳定性和精确性,实现快速诊断与定位。

## 6 实际工程案例分析

在某输电线路项目中,先进的故障诊断与快速定位技术成功实现了故障点的精准定位。该项目采用了行波法与阻抗法相结合的策略。在一次恶劣天气引发的故障中,行波检测装置捕捉到了电磁行波信号,通过分析两端信号的时间差,准确计算出故障点的位置。随后阻抗法用于二次验证,进一步提升了定位的可靠性。整个故障定位过程仅在几秒内完成,大幅缩短了停电时间。数据分析表明,定位误差仅为几十米,显著提升了运维效率,降低了经济损失。

该案例充分展示了行波法与阻抗法相结合的优势,特别是在复杂环境中能够迅速、准确地定位故障。智能监测设备的实时数据采集和分析为故障定位提供了有力支持,提升了整个过程的效率。然而行波法对高采样率设备的依赖增加了系统的成本和复杂性,且在多次信号反射和严重信号衰减的情况下,其精度可能受到影响。此外阻抗法在应对高阻抗故障时依然存在定位误差。未来的技术改进应重点提升行波法的抗干扰能力和设备的性价比,优化数据处理算法以减少信号反射和衰减带来的误差。结合人工智能与大数据技术的智能故障定位系统将是未来的发展趋势。这些技术将进一步提高故障定位的准确性和自适应性,增强系统的整体

安全性,从而更有效地应对复杂的输电环境和多样化的故障类型。

## 7 结语

输电线路的故障诊断与快速定位技术在电力系统的稳定性和安全性中起着关键作用。论文通过对传统与现代故障诊断技术的分析,揭示了各类技术的优势与局限,并指出了未来技术发展的方向。人工智能和大数据的引入为故障诊断与定位技术带来了显著提升,特别是在复杂输电环境和多样化故障类型的情况下,智能化系统展现了更高的适应性与精准度。通过多源信息融合技术与智能算法的结合,输电线路的故障诊断与快速定位将更加高效和可靠。未来的研究应进一步优化行波法的抗干扰能力、改进设备性价比,并深入探索智能化技术的应用,以应对不断变化的输电系统需求。

## 参考文献

- [1] 王旭立,赵嘉琛.输电工程中的线路运行维护分析[J].模具制造,2023,23(10):211-213.
- [2] 李万棉.电力工程及其输电线路设计与施工的技术问题[J].广西电业,2023(3):65-69.
- [3] 范文剑.35kV高压输电线路导线架设施工及技术要点[J].中国高新科技,2022(23):90-92.