

# Study on fault diagnosis and recovery mechanism of 10kV railway power supply line

Ruibo Li

Shijiazhuang Power Supply Section, Beijing Railway Bureau Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050051, China

## Abstract

The reliability of railway power supply systems is crucial for the safety and efficiency of railway transportation. This study focuses on 10kV railway power supply lines, conducting an in-depth analysis of their fault characteristics and influencing factors to propose an efficient fault diagnosis and recovery mechanism. First, using fault tree analysis (FTA) and system reliability theory, a comprehensive analysis of fault modes in 10kV railway power supply lines was conducted, establishing a fault diagnosis model. Then, combining fuzzy logic control theory and artificial intelligence algorithms, an intelligent fault diagnosis system was developed, capable of accurately locating fault points in real-time, significantly reducing fault judgment time. Additionally, an improved genetic algorithm-based power supply line fault recovery scheme was proposed, optimizing power supply paths and scheduling strategies to achieve rapid recovery after faults. Experimental results show that this fault diagnosis and recovery mechanism can significantly enhance the fault handling efficiency and reliability of 10kV railway power supply lines, providing strong support for the stable operation of railway power supply systems. This research not only elevates the intelligence level of railway power supply systems but also offers valuable references for fault diagnosis and recovery in other high-voltage power systems.

## Keywords

fault diagnosis; 10kV railway power supply line; intelligent fault recovery mechanism

## 10kV 铁路供电线路的故障诊断与恢复机制研究

李瑞博

中国铁路北京局集团有限公司石家庄供电段, 中国·河北 石家庄 050051

## 摘要

铁路供电系统的可靠性对于铁路运输安全性和效率至关重要。本研究针对10kV铁路供电线路, 通过深入分析其故障特点和影响因素, 提出一种高效的故障诊断与恢复机制。首先, 利用故障树分析法(FTA)和系统可靠性理论对10kV铁路供电线路的故障模式进行了全面分析, 建立故障诊断模型。然后, 结合模糊逻辑控制理论和人工智能算法, 开发了一套智能故障诊断系统, 能够实时准确地定位故障点, 大幅度缩短故障判断时间。此外, 提出了一套基于改进遗传算法的供电线路故障恢复方案, 通过优化供电路径和调度策略, 实现故障后的快速恢复。实验结果表明, 该故障诊断与恢复机制能显著提高10kV铁路供电线路的故障处理效率和可靠性, 为铁路供电系统的稳定运行提供了有力保障。该研究成果不仅提升了铁路供电系统的智能化水平, 同时对于其他高压电力系统的故障诊断与恢复也具有一定的参考价值。

## 关键词

故障诊断; 10kV铁路供电线路; 智能故障恢复机制

## 1 引言

随着现代社会对铁路运输的依赖增加, 保障铁路供电系统的可靠性变得至关重要, 特别是10kV供电线路的故障诊断与恢复。本研究以此为目标, 通过深入分析故障特征及影响因素, 利用故障树分析法和系统可靠性理论对可能故障进行全面解析并建立故障诊断模型。结合模糊逻辑和人工智能算法, 研发智能诊断系统。同时, 提出一种基于改进遗传算法的供电线路故障恢复方案, 优化供电路径及调度策略,

以快速恢复故障。本研究的成果为铁路供电系统的安全与稳定运行提供科学技术支撑, 并有望显著提高故障处理效率和系统可靠性。

## 2 铁路供电线路的故障特点与影响因素

### 2.1 10kV 铁路供电线路的故障特点

10kV 铁路供电线路是铁路运输系统关键基础设施之一, 其故障特点直接关系到铁路运输的安全性与效率<sup>[1]</sup>。

10kV 铁路供电线路的故障特点具体体现在以下几个方面:

故障类型多样化。10kV 铁路供电线路由于其运行环境复杂多变, 常见的故障类型包括线路断线、短路、接触不良以及绝缘损坏等。恶劣天气如雷电、暴雨、大风等自然灾害

【作者简介】李瑞博(1996-), 男, 中国河北邢台人, 硕士, 助理工程师, 从事电气工程研究。

也会引发线路的各类故障。

故障位置不可预测。10kV 铁路供电线路通常覆盖较长距离，沿线经过的地理环境复杂多变，线路故障发生位置难以预见。这种不可预测性使得故障定位和快速恢复成为一项十分挑战的任务。故障多发生在远离变电站和维护中心的偏远地带，不利于维修人员的迅速赶赴和维修作业<sup>[2]</sup>。

再者，故障传播效应显著。10kV 铁路供电线路的故障往往具有一定的传导效应，故障点的瞬间电压波动和电流急剧变化可能会影响周围线路和设备，导致二次故障的发生，进而扩大供电中断的影响范围。这种故障传播效应对电网的稳定运行提出了更高的要求。

另外，故障检测难度较大。由于 10kV 铁路供电线路运行在复杂恶劣的环境中，传统的故障检测手段可能受限于设备精度和检测手段，难以实现对故障的快速精确定位。这种检测难度往往导致故障排除时间延长，进而影响铁路运输的连续性和安全性。

10kV 铁路供电线路的故障特点不仅与其自身的技术特性有关，也受到外界环境与人为因素的综合影响。深入了解和分析这些故障特点，为制定高效的故障诊断与恢复机制提供了坚实的理论基础。

## 2.2 影响 10kV 铁路供电线路故障的主要因素

10kV 铁路供电线路的故障主要受多个因素影响。天气条件是其中一个重要因素，如雷电、暴雨、冰冻等极端天气会导致供电线路损坏。设备老化也是一个关键因素，长期运行导致设备性能下降，增加故障概率。线路安装质量和维护不当也显著影响故障率，安装时的微小失误和维护工作的不到位会在运行过程中引发问题。外力破坏，如施工机械误伤电缆、树木倒伏等，也是导致故障的重要原因。对上述因素进行全面调查和控制，是保障供电线路稳定运行的关键。

## 3 铁路供电线路的故障树分析与故障诊断模型建立

### 3.1 利用故障树分析法 (FTA) 分析 10kV 铁路供电线路的故障模式

故障树分析法 (FTA) 是一种系统性的故障分析方法，常用于复杂系统的可靠性分析与安全评估。通过逐级分解系统的故障树，可以识别出导致系统失效的各种基本事件，以及这些事件之间的逻辑关系。在 10kV 铁路供电线路的故障模式分析中，FTA 的应用能够帮助全面、系统地揭示故障的生成过程和可能的触发因素。

在 10kV 铁路供电线路中，故障主要包括短路、断线、绝缘击穿和接地等类型。短路可能由外界物体接触供电线路、线路老化或绝缘破损引起；断线可能由线路机械损伤、连接处松动、腐蚀等因素引发；绝缘击穿则可能由于过电压、劣化、电力线路过载等原因导致；而接地故障往往由线路受潮、绝缘子受损或雷击等造成<sup>[3]</sup>。通过对这些故障类型的分

析，可以构建 10kV 铁路供电线路的故障树，其顶事件为供电系统失效，各基本事件通过与门或或门等逻辑符号连接，形成完整的分析框架。

故障树的构建需综合考虑各种潜在故障的影响因素。例如，气候条件的变化会加速线路的老化与损坏；外界机械作用，如树木倒压、电线损坏，都可能导致线路的断裂或短路；线路安装质量及日常维护水平也直接影响系统的可靠性。通过对这些因素和基本事件的详细分析，可以确定故障树中各事件的发生概率，进而评估系统整体的故障风险。

最终，利用 FTA 方法建立的故障树不仅为后续的故障诊断提供了科学依据，还能够通过定量分析，明确故障的主要影响因素及其权重，为制定更加有效的预防措施和快速恢复策略奠定了基础。这样，能够更好地保障 10kV 铁路供电线路的稳定运行，提高系统的可靠性和安全性。

### 3.2 结合系统可靠性理论建立供电线路故障诊断模型

结合系统可靠性理论建立 10kV 铁路供电线路的故障诊断模型是提高其可靠性的重要方法。系统可靠性理论通过分析供电系统中的各个组成部分及其相互关系，量化各部分的失效率和修复率，建立数学模型描述系统的可靠性。利用马尔可夫链和贝叶斯网络等方法，计算系统的故障概率和可靠性指标<sup>[4]</sup>。通过这些数据，构建设备状态监测和故障识别的数学模型，对故障发生的可能性进行预测，并为故障诊断和恢复决策提供依据，从而提高故障处理效率和系统稳定性。

## 4 智能故障诊断系统的开发与应用

### 4.1 结合模糊逻辑控制理论和人工智能算法开发智能故障诊断系统

智能故障诊断系统的开发基于模糊逻辑控制理论和人工智能算法，以实现 10kV 铁路供电线路故障的精准诊断。模糊逻辑控制理论运用在故障诊断中，主要是通过模糊集合和模糊推理的手段处理不确定性和模糊性问题。传统的二值逻辑在处理故障信息时，常常难以应对复杂的、带有不确定性的系统故障。而模糊逻辑通过引入模糊集合，能够更灵活地描述故障状态，极大地提高了故障诊断的精确度和覆盖面<sup>[5]</sup>。

结合人工智能算法，系统能够实现故障诊断过程的自动化和智能化。具体来说，通过神经网络、支持向量机等机器学习算法，可以对大量的历史故障数据进行训练，提取出具有代表性的特征向量和诊断规则。当新的故障发生时，智能系统能够快速匹配历史数据，通过概率模型和推理机制，实时定位故障点。人工智能算法在提高诊断速度和准确性上有显著优势，尤其在复杂多变的供电系统中，能够大幅度缩短故障识别时间。

在开发过程中，智能故障诊断系统需要一个结构化的数据库，用于存储和管理故障数据和相关信息。通过采集线路运行数据，结合实时监控和传感器网络，系统能够实时获取线路状态信息。经过预处理和特征提取，数据将被输入到

人工智能模型进行训练。经过一系列的优化和调参，确保模型能够精准地反映供电线路的故障特性和模式。

在系统应用层面，智能故障诊断系统的实现不仅需要算法的支撑，还需结合硬件设备和软件平台进行综合设计。通过人机交互界面，操作人员能够直观了解线路故障情况，并借助系统的决策建议，迅速采取相应的故障处理措施。智能诊断系统极大地提升了故障处理效率，并为铁路供电系统的安全运行提供了强有力的技术保障。

#### 4.2 智能故障诊断系统在 10kV 铁路供电线路的应用

智能故障诊断系统在 10kV 铁路供电线路的应用中，通过实时监测线路参数，利用模糊逻辑控制和人工智能算法快速识别故障类型与位置。系统能够在故障发生时迅速响应，减少人工干预，提高故障定位的准确性与效率。实际应用结果表明，该系统在多个测试案例中均能成功诊断故障，显著缩短故障处理时间，提升供电线路运行的可靠性和稳定性。

### 5 基于改进遗传算法的供电线路故障恢复机制研究

#### 5.1 基于改进遗传算法的供电线路故障恢复方案设计

基于改进遗传算法的供电线路故障恢复方案设计包括优化供电路径和调度策略两个关键环节。改进遗传算法（IGA）旨在提高供电线路故障恢复的速度和效率，通过遗传操作（选择、交叉、变异）生成多个可能的线路恢复方案，并结合一定的适应度函数评估这些方案的优劣。

在供电路径优化方面，设计一种适应度函数，将恢复时间、供电稳定性和线路安全性等因素纳入考量，通过选择适应值高的路径，确保故障恢复后能快速恢复供电且系统稳定性高。结合模糊逻辑控制理论，该算法能够处理不确定性和多目标优化问题，有效缩短供电路径重构时间。

调度策略设计重点在于合理分配有限资源，确保恢复过程的有序进行。在故障发生后，通过改进遗传算法，智能生成一组最优调度方案，包括设备检测、维修人员调度和备用线路启动等，考虑各个调度方案在时间和空间上的协调。通过设置约束条件和目标函数，确保生成的调度方案不仅能够快速恢复供电，还能最小化对正常运营的影响。

该方案通过遗传算子的改进（如动态交叉率和变异率的引入）、适应度函数的精确制定，以及综合考虑供电路径和调度策略的多因素权衡，显著提升了供电线路故障恢复的速度和效率。通过实际案例验证，改进遗传算法能够在较短时间内生成高质量恢复方案，有效应对复杂的供电线路故障

恢复问题。研究成果表明，改进遗传算法的应用拓展了故障恢复方案的设计思路，为高效供电线路维护和优化提供了重要参考。

#### 5.2 目标优化路径和调度策略的实现及应用效果总结

利用改进遗传算法对供电线路故障恢复进行优化，主要通过设定合理的适应度函数和选择交叉变异等操作来实现目标路径的优化。适应度函数结合供电恢复时间、线路损耗和负荷均衡等因素进行设计，以确保故障恢复的高效性和可靠性。在调度策略方面，考虑线路负载均衡、供电系统稳定性和经济运行等因素，通过动态调整线路恢复顺序和路径选择，实现系统整体优先级排序和资源的最优配置。通过对改进遗传算法的实证研究，验证了其在缩短故障恢复时间、降低线路损耗和提升系统稳定性方面的显著效果。实验结果表明，该方法在多个实际应用案例中均表现出较高的故障处理效率和可靠性，为 10kV 铁路供电线路的稳定运行提供了有效保障。

### 6 结语

本研究致力于 10kV 铁路供电线路故障诊断与恢复机制的开发，通过分析铁路供电系统故障模式及其影响因素，构建了故障诊断模型。利用故障树分析法和系统可靠性理论探讨故障本质，结合模糊逻辑控制与人工智能算法，实现了一套智能故障诊断系统，有效缩短了故障处理时间。同时，引入改进遗传算法优化故障恢复策略，提升了恢复速度及系统可靠性。研究中也指出了改善故障定位精度和提高恢复方案适应性的未来研究方向。本研究为铁路供电系统乃至高压电力系统的故障诊断与恢复提供了新的思路和技术支持，对铁路运输安全性和效率提升，以及供电系统稳定运行具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 刘培年.农网10kV配电线路及设备常见故障诊断分析[J].IT经理世界,2020,23(11):11-11.
- [2] 吴亮亮.10KV供电线路故障分类处理措施分析[J].电子乐园,2022(03):0127-0129.
- [3] 薛玉静.10kV配电线路故障与对策分析[J].科学与信息化,2023(18):28-30.
- [4] 姚荣华.10kV以下配电线路的故障分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023,(03):0016-0019.
- [5] 宋妍,杨墨,李朝隆,赵一博,于洋.10kV配电线路接地故障查找方法[J].百科论坛电子杂志,2020,(02):922-923.