

500kV 线路保护二次回路数字化故障诊断模型与应用软件开发

王新越, 张鹏望, 孔令斌

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司大理局, 云南 大理 671000

摘 要 : 目前线路保护二次回路复杂, 需结合相关断路器保护等图纸共同查看回路信息, 对照多份设计图纸查看回路信息时, 不清晰直观、不便于回路识图。同时, 线路保护装置故障点的定位对二次人员专业技术要求较高, 严重制约线路保护装置二次回路故障的查找与分析时间。因此, 针对上述问题, 设计出500kV线路保护二次回路数字化故障诊断模型与多平台应用软件, 应用此软件, 直观展示线路保护二次回路信息, 辅助现场开展故障排查处理、检修人员培训, 最终测试结果表明, 在使用故障整断辅助定位软件后, 与传统的看图查故障相比, 排查故障时间将减少50%, 故障定位的准确率提高40%, 表明在该款软件的辅助下, 线路保护故障定位将更加快捷, 更加具有针对性, 具有较高的实际应用价值。

关 键 词 : 500kV线路保护; 数字化; 故障定位; 应用软件

Development of Digital Fault Diagnosis Model and Application Software for 500kV Line Protection Secondary Circuit

Wang Xinyue, Zhang Pengwang, Kong Lingbin

China Southern Power Grid Co., LTD. Ultra-high voltage transmission company Dali Bureau, Dali, Yunnan 671000

Abstract : At present, the secondary circuit of line protection is complex, and it is necessary to jointly view the circuit information with relevant circuit breaker protection drawings. When comparing multiple design drawings to view the circuit information, it is not clear and intuitive, and it is not easy to identify the circuit diagram. At the same time, the location of the fault point of the line protection device requires high professional skills from secondary personnel, which seriously restricts the search and analysis time of the secondary circuit fault of the line protection device. Therefore, in response to the above issues, a digital fault diagnosis model and multi platform application software for the secondary circuit of 500kV line protection have been designed. By using this software, the secondary circuit information of line protection can be visually displayed, assisting in on-site troubleshooting and maintenance personnel training. The final test results show that after using the fault breaking auxiliary positioning software, compared with traditional visual inspection of faults, the troubleshooting time will be reduced by 50%, and the accuracy of fault localization will be improved by 40%. This indicates that with the assistance of this software, the fault location of line protection will be faster, more targeted, and have higher practical application value.

Keywords : 500kV line protection; digitize; fault location; application software

引言

在电力系统中, 线路保护装置二次回路故障是较为重要的一种故障类型, 覆盖范围广, 影响力大, 如果不及时做出维护处理, 极有可能导致电力系统的崩溃、瘫痪, 因此, 线路保护装置的二次回路故障的快速查找和定位对于确保电力供应的可靠性和安全性至关重要, 为解决这一问题, 提出了变电站继电保护二次回路在线监测及线路故障诊断研究方法^[1], 提出了基于虚拟现实技术的继电保护装置及二次回路仿真培训系统, 这类方法和系统太过笼统和简单, 仅实现大概定位故障位置, 整体的效率较低, 且故障定位结构多设定为单向形式, 定位处理的质量无法保证, 为此本文着重针对500kV线路保护二次回路进行主要功能回路的建模, 利用全回路二次图节点的故障变换设置来分析故障回路中的电压变位及节点的开断, 进而结合实际故障排查工作验证故障回路的电位变化, 确定精准的故障位置。同时, 为确保现场应用人员可以方便使用, 开发设计了多平台可使用的软件程序, 将其可以安装于手机或平板中, 方便现场作业人员的使用, 提高故障排查效率。

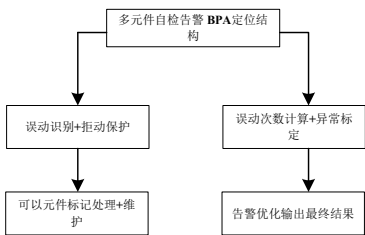
作者简介:

1. 王新越 (1998.02-), 男, 汉族, 云南红河, 本科 助理工程师, 继电保护;
2. 张鹏望 (1988.10-), 男, 汉族, 云南大理, 本科, 高级工程师, 继电保护;
3. 孔令斌 (1991.05-), 男, 汉族, 云南昆明, 本科, 工程师, 继电保护。

一、设计线路保护装置二次回路故障定位方法

(一) 设计多元件自检告警 BPA 定位结构

采用多元件自检告警的方式，利用 BPA 框架设计故障定位结构。先结合实际的故障定位需求，设计对应的自检告警 BPA 定位结构，如图1所示：



> 图1 多元件自检告警 BPA 定位结构图

基于故障定位的要求，设置自检告警的结构保护定位标准。具体如下所示：

- (1) 分析线路保护二次回路处于拒动还是误动状态^[2]；
- (2) 结合元件自检告警状态，缩小故障的定位范围，统计拒动（误动）关联数据；
- (3) 结合 BPA 框架，测算出可以元件的举证值，进行前后标准的比对，获取故障数据。

(二) 构建线路保护二次回路故障定位模型

- 1.整理线路保护主要功能回路二次回路图纸，绘制从线路保护至一次设备的二次回路原型图；
- 2.依据绘制的初步原型图，进行三维建模，实现线路保护二次回路三维虚拟回路的构建；
- 3.构建线路保护的二次回路三维虚拟回路操作机制，形成完善的线路保护二次回路三维虚拟回路演示程序，可以在电脑端使用；
- 4.用编译器将虚拟回路演示模型开发至安卓系统，编译成可以下载的软件，实现数字化模型的便于移植功能，确保可以在手机或平板平台上使用^[3]。

同时，利用上述设计的自检告警的保护定位标准，对线路保护出现故障的位置进行模糊标定，同时获取对应的数据、信息。通过数字孪生技术，在初始的模型中建立故障定位的映射，在合理的可信度范围之内，针对故障集合进行举证处理，并明确当前的故障范围。

基于此范围的变化，调整模型的识别定位区域，结合数字孪生技术，改变对应的映射条件，形成完整的模型定位结构，如图2所示：



> 图2 数字孪生线路保护装置二次回路故障定位模型图

(三) 故障定位核心实现方案

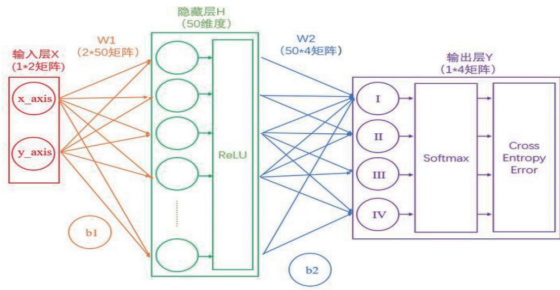
通过传感器和测量设备，获取实时监测电流、电压、频率、功率和温度等电气参数。传感器通常采用高精度、快速响应的技术，使用霍尔效应传感器和电压互感器，以确保数据的准确性和可靠性。将采集到的实时数据通过光纤通信，传输至中央处理单元。系统采用高带宽、低延迟的通信技术，以保证数据传输的实时性和稳定性。实时监测系统通过与设定的阈值和故障特征数据库比对，及时检测到异常情况。当监测到的参数超出设定范围时，系统会自动发出警报，通知运维人员进行干预，系统可提供详细的故障信息和建议辅助决策。

获取500kV线路保护二次回路中收集历史故障数据，包括电流、电压、频率、温度等电气参数以及故障类型和发生时间。收集的数据可能存在噪声和缺失值，因此需要进行预处理，包括数据清洗、归一化和去噪，确保数据质量。对预处理后的数据进行特征提取，识别出对故障诊断有意义的特征。使用信号处理技术，傅里叶变换提取频域特征，以及基于统计分析的方法提取时域特征。运用特征选择算法，主成分分析 PCA 筛选出对模型性能影响最大的特征，降低维度，提升计算效率^[4]。

$$X_{\text{mean}} = X - \text{mean}(X)$$

> 图3 数据标准化

构建神经网络模型将历史故障数据分为训练集、验证集和测试集，以确保模型的泛化能力^[5]。构建神经网络的架构，选择层数和节点数，确定激活函数、损失函数和优化算法。通过将训练集输入模型，进行前向传播计算输出，并与实际标签进行对比^[6]，计算损失值。利用反向传播算法更新模型参数，以最小化损失函数。在训练过程中，使用验证集监控模型性能，调整超参数以避免过拟合。完成训练后，使用独立的测试集对模型进行评估，计算准确率、召回率、F1-score等指标，以衡量其在实际故障数据上的表现，通过混淆矩阵分析不同故障类型的识别能力，从而确认模型的有效性和可靠性，模型的训练和评估结果将用于进一步的优化和调整^[7]，以确保其在实际应用中的准确性和稳定性。



> 图4 神经网络结构图

利用神经网络模型对实时数据进行预测，生成动态阈值。模型将实时监测到的参数输入^[8]，基于学习到的特征与模式，自动调整各参数的阈值，以适应设备的运行状态和环境变化^[9-10]。这种动态阈值能够在不同情况下提供更为合理的警戒线，减少误报和漏报的风险。系统持续监测电气参数，当监测到的参数接近动

态阈值时，系统会进行深度分析，判断是否为真正的故障。如果确认为故障，则触发报警；如果未达到故障状态，则可继续运行。该机制确保了故障检测的高效性和准确性。

二、结束语

此技术方案带来了多个显著的有益效果，智能故障诊断模型的应用显著提高了故障识别的准确性，通过数据驱动的方法减少了传统经验判断带来的误诊和漏诊风险，实时数据监测系统的实施确保了对电气参数的连续监测，使得故障响应时间显著缩短，

能够及时发现和处理异常情况，提升了电力系统的安全性，自适应阈值设定结合神经网络算法的引入，使得故障检测的灵活性和适应性增强，能够动态调整报警阈值，降低了误报和漏报的概率，通过高效的数据处理和分析能力，本发明能够应对海量实时数据，提高了故障诊断的效率，降低了运维人员的工作负担，整体系统的集成性和用户友好的界面设计，提升了运维人员的操作体验，使其能够快速理解设备状态和故障信息，从而优化决策过程。综上所述，本发明不仅提升了500kV线路保护二次回路的故障诊断能力，也为电力系统的安全、可靠和高效运行提供了坚实的技术支持。

参考文献

[1] 林燎东. 变电站继电保护二次回路在线监测及线路故障诊断研究 [J]. 中国设备工程, 2021, (06):175-176.

[2] 吴双, 胡晓丽. 基于虚拟现实技术的继电保护装置及二次回路仿真培训系统 [J]. 光源与照明, 2022, (12):148-150.

[3] 沈海平, 刘晓伟, 张雪峰, 等. 基于虚拟现实技术的输电线路带电作业仿真培训系统 [J]. 中国水运 (下半月), 2011, 11(05):66-68.

[4] 叶克书. 虚拟现实技术在带电作业仿真培训系统中的应用 [J]. 云南电业, 2013, (08):39-40.

[5] 唐洪良, 骆志刚. 基于虚拟现实技术的配电线路巡检虚拟仿真培训系统 [J]. 科技创新与应用, 2013, (29):56.

[6] 周琪琪, 孙建平. 基于虚拟现实技术的风电仿真培训系统 [J]. 电力科学与工程, 2018, 34(09):73-78.

[7] 李海川, 段冲. 基于虚拟现实技术的三维输气管道仿真培训系统 [J]. 中国管理信息化, 2012, 15(16):64-66.

[8] 徐良军, 章建, 蒋毅, 等. 基于虚拟现实技术的电力安监仿真培训系统 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19(11):162-165+147.

[9] 陈海波, 郑健, 费瑞轶, 等. 虚拟现实技术在电力系统中的典型应用 [J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(02):20-25.

[10] 黄晓敢, 许晓伟, 徐军杨, 等. 虚拟现实技术在电力系统中的应用研究 [J]. 电工技术, 2023, (22):87-89+92.