

# The Realization Path of Electrical Engineering Automation for Intelligent Diagnosis of Secondary Circuit Fault in Xinzha Power Station

Yantao Qian

Guangdong Hydropower Yunnan Investment Jinping Electric Power Co.,Ltd., Honghe Prefecture, Yunnan, 661506, China

## Abstract

This study develops an automated fault diagnosis system for secondary circuits at the Xinzhai Power Station, with intelligent diagnostic technology as its core. The system architecture and key modules are designed to collect operational data from circuits, while integrating feature extraction and intelligent algorithms to achieve rapid fault identification and localization. By combining expert rules with machine learning models, the system enhances diagnostic accuracy and response speed. Validation results demonstrate the solution's strong practicality and stability, effectively addressing fault management in complex scenarios. The research provides robust support for improving power station operational reliability and electrical engineering automation, while establishing a technical foundation for intelligent operation and maintenance systems.

## Keywords

Xinzhaiguan Hydropower Station; secondary circuit; intelligent diagnosis; electrical automation; fault identification

## 新寨电站二次回路故障智能诊断的电气工程自动化实现路径

钱严涛

广东水电云南投资金平电力有限公司, 中国·云南红河州 661506

## 摘要

本文以智能诊断技术为核心, 构建了适用于新寨电站的二次回路故障自动化诊断系统, 研究设计了系统架构与关键模块, 采集回路运行数据, 结合特征提取与智能算法, 实现了对故障类型的快速识别与定位。系统集成专家规则与机器学习模型, 提高了诊断准确率和响应速度。验证结果表明, 该方案具备较强的实用性和稳定性, 能够满足复杂场景下的故障处理需求。研究成果为提升电站运行可靠性和电气工程自动化水平提供了有力支撑, 也为构建智能运维体系奠定了技术基础。

## 关键词

新寨电站; 二次回路; 智能诊断; 电气自动化; 故障识别

## 1 引言

二次回路作为电站自动化系统中连接保护、测控、信号及执行装置的重要通道, 其运行稳定性直接关系到整个电力系统的安全性和可靠性。随着电站规模不断扩大和系统复杂度持续提升, 传统依赖人工经验的故障排查方式已难以满足快速、精准的运维需求。面对频发的故障现象与诊断效率低下的问题, 智能化、自动化的诊断手段逐渐成为技术发展方向。本文结合新寨电站的实际需求, 探索基于智能算法和电气自动化系统的诊断路径, 为构建高效运维体系提供理论依据与技术支撑。

## 2 二次回路故障特征分析

二次回路作为连接保护装置、测控设备与执行单元的关键媒介, 在电力系统中承担信息传输和控制执行的重要任务, 其故障形式复杂多样, 具有较强的隐蔽性和连锁性。在实际运行中, 常见故障类型包括回路断线、接点接触不良、元器件损坏以及绝缘老化引发的短路等问题, 这些故障往往伴随电流突变、电压异常或控制逻辑失效等现象, 难以通过表面现象直接判断根本原因。回路中各类信号的异常表现既可能独立存在又可能相互影响, 使得故障具备不确定性和易扩散的特征。诊断过程中需要结合实时波形、逻辑时序与设备状态等多维信息, 分析信号变化路径和系统响应机制, 构建故障演化链条, 以实现精准定位与溯源。复杂工程现场中, 故障信号常受电磁干扰、数据采集延迟以及继电保护动作遮蔽的影响, 进一步增加了诊断难度, 需要在诊断逻辑中引入容错机制与异常识别模型, 提升系统对不规则信号的分析能

【作者简介】钱严涛(1999-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 助理工程师, 从事电气工程及其自动化研究。

力。对二次回路故障特征的深入理解，是构建智能诊断系统的基础前提，也是实现自动化故障响应策略的重要保障<sup>[1]</sup>。

### 3 智能诊断系统设计

#### 3.1 架构模块设计

针对新寨电站复杂的二次回路结构与多类型故障表现特征，智能诊断系统的架构需具备高度集成性、模块协同性与功能完整性，能够满足实时感知、深度分析、精准定位与自动反馈等多种功能需求。系统整体结构由感知层、数据层、决策层和执行层四个功能模块构成，形成闭环式自动化诊断控制链。感知层主要负责采集电压、电流、逻辑状态信号及

设备运行参数，通过分布式智能传感单元实现对各回路节点的动态监测。数据层构建基于边缘计算与本地缓存的数据接入与预处理平台，支持高频率、低延迟的数据传输与清洗，为后续分析环节提供准确基础。决策层整合规则引擎、知识图谱与学习算法，通过模型训练、状态识别与逻辑推演生成诊断结果，并对故障等级、部位与原因进行分类判断。执行层完成故障响应策略的联动触发，包括报警信息推送、运维人员通知与可视化展示等功能，同时支持对故障恢复过程的闭环跟踪。各模块间通过工业以太网与边缘控制器进行高速数据交互，采用标准化通信协议保障系统稳定运行<sup>[2]</sup>。

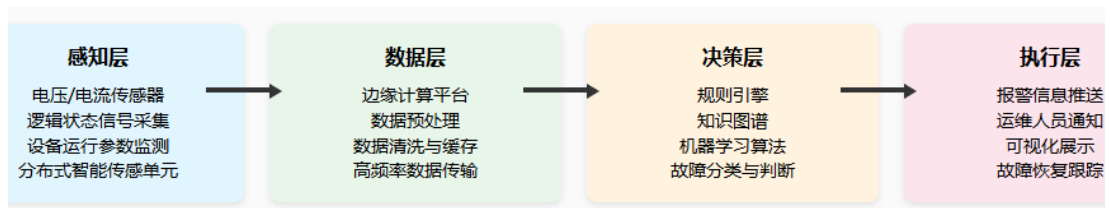


图1 智能诊断系统总体架构

#### 3.2 数据处理机制

数据处理机制作为智能诊断系统的核心中枢，在保障诊断准确性、稳定性与实时性方面发挥关键作用。系统需要面对海量异构信号，涵盖电气量、逻辑量与状态量等多维度数据，并存在数据频率差异、格式非统一与采集延迟等问题。因此设计需覆盖数据采集、预处理、融合、建模与特征提取等全过程，并在处理流程中构建针对性算法模型。采集环节使用多协议适配器连接各类传感器与监控装置，统一传输标准后进入本地数据网关，在不依赖传统人工抄录或点检的条件下实现连续性数据获取。预处理阶段重点解决数据冗余、噪声干扰与采样错误的问题，采用均值滤波、中值滤波、窗口滑动等方法去除无效信息，并对缺失数据进行插值修复与误差修正，提升数据质量稳定性。融合阶段建立时间戳统一机制，将多源异步数据按统一时序对齐，构建多维特征向量，为算法模型提供统一输入空间。建模环节依据回路结构拓扑关系构建逻辑映射关系矩阵，支持对故障影响路径的模拟分析，并实现对系统状态的整体还原。特征提取模块依据数据突变、逻辑跳变与能量变化等异常特征进行动态检测，并通过主成分分析与独立成分分析等方法压缩特征维度，突出关键诊断特征。数据处理机制在智能诊断系统中不仅承担前端数据质量控制功能，同时对诊断精度、模型效率与响应速度有直接影响，是实现故障识别与溯源能力的技术支点<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 智能算法选型

智能算法作为诊断系统的核心计算引擎，承担故障模式识别、异常判断、因果推理与结果反馈等一系列关键功能，选择合适的算法架构直接影响系统性能表现。在二次回路复杂工况下，单一规则系统往往难以应对动态变化的故障形态和非线性特征，因此需构建多算法融合的智能分析机制。专

家系统具备较强的逻辑规则处理能力，在应对常见故障类型时具备高可靠性，系统中可预设各类型故障的响应规则及诊断路径，结合电站经验知识形成知识库，并依托推理机进行逻辑判断。但专家系统受限于规则覆盖率和维护成本，对新型故障适应能力较弱。为提升泛化能力与学习能力，系统引入机器学习算法作为核心补充，基于支持向量机、决策树与随机森林等监督学习模型对采集样本进行训练，建立分类识别器对故障类型进行自动识别。这类算法适用于数据量充足、特征显著的场景，具备快速收敛和较强稳定性的优势。在多源高维数据环境下，还需结合深度学习模型构建更强大的特征提取与时序分析能力，采用卷积神经网络提取局部空间特征，利用长短期记忆网络分析信号在时间序列中的演化关系，从而实现复杂模式的建模与预测。为保障模型可靠性，需设置训练集与验证集比例，并进行交叉验证与参数优化，提升诊断精度与泛化能力。此外，结合逻辑回归或贝叶斯推断模型引入不确定性量化机制，可为系统提供风险评估与预警功能，使诊断结果更具解释性与实用性。多算法融合的策略通过模型投票机制或集成学习框架进行结果整合，实现对多类型故障的全面感知与准确判断，在工程应用中体现出更高的适应性与鲁棒性<sup>[4]</sup>。

### 4 自动化实施路径

#### 4.1 系统对接策略

自动化诊断系统的部署需面向现有的新寨电站一次与二次设备系统进行全面对接，涵盖监控系统、保护设备、通讯网络与信息管理平台等多个层面，在系统对接设计中，应重点分析原有保护逻辑结构与信号采集流程，识别各类接口协议、通信格式与拓扑关系的差异，构建具备互通能力的适

配层模块，二次回路中的信号数据通过保护装置与测控单元汇总至后台系统，需在此节点建立高可靠性数据采集通道，同时确保信号同步性与时效性。在通信层面上，采用 IEC 61850 协议作为统一标准，通过 GOOSE 报文与 MMS 服务实现系统间的数据快速交互与设备控制接口接入，消除异构设备之间的通信障碍。在数据管理层，构建兼容现有调度自动化平台的数据库结构，完成故障数据的统一归档、标识与调用，并为后续智能算法的在线推理与离线训练提供接口服务。在功能协同层，通过中间件平台实现诊断逻辑与控制策略在原有主控系统中的动态加载，确保新旧系统并行运行与平稳切换。系统对接策略的关键在于降低原系统改造成本与运行干扰风险，同时提升诊断系统的部署效率与现场适应性，使得诊断功能能够在复杂工程环境中稳定运行并发挥实际效益。

#### 4.2 实施阶段规划

智能诊断系统的落地应用需依据工程现场的实际运行条件与技术演进节奏，制定科学合理的实施阶段规划，分步骤推进系统部署与功能上线，避免技术风险集中与运维冲击过大，在系统实施阶段的划分上，采用三阶段推进策略，包括局部试点部署、区域推广应用与系统优化迭代三个层次。在试点部署阶段，选取典型负荷区段或故障频发区域作为实施样板，构建小规模诊断系统单元，通过实时数据采集、算法调试与响应验证完成初步功能验证与参数标定。该阶段重点关注系统的部署可行性与故障诊断初始准确性，通过人工比对与历史案例验证诊断结果，为后续优化提供依据。在区域推广阶段，逐步拓展系统覆盖范围，建立区域集中诊断平台，将各子系统节点数据统一接入，并融合至调度控制平台完成统一展示与联动控制，提升系统的整体协调性与诊断处理效率。在系统优化阶段，根据大规模运行反馈结果，分析模型适应性与系统稳定性问题，持续迭代算法参数，扩展算法模型的训练样本，并通过软硬件升级进一步提高诊断响应速度与综合准确率。三阶段规划方案强调工程实施的渐进性与可控性，使系统在演进过程中不断适应复杂负荷特性与现场结构变化，构建动态调整与迭代演进的工程实施机制。

#### 4.3 效果评估方法

诊断系统的运行效果评估需从多维度、多指标对比分析入手，涵盖诊断准确率、响应时延、误报率、可用性与系统稳定性等核心指标，并结合实际故障处理数据进行定量分析，在评估体系构建中，基于历史故障案例数据库与人工巡检记录，选取同期典型故障数据作为评估样本，将人工诊断结果与系统自动诊断输出进行对比，采用精度、召回率与 F1 值等常用评价指标量化诊断性能。系统响应时延通过 SCADA 平台数据记录模块进行统计，测量从故障发生到

诊断结果输出之间的时间差，并对多个样本取平均值以代表系统实时性能水平。误报率统计采用人工二次验证机制，对系统输出的异常警报逐项核实判断，剔除误判与重复报警数据。下表为基于新寨电站 2025 年 4 月至 6 月期间系统试运行阶段收集的部分关键运行数据分析结果，统计样本为 36 起实际故障事件。

表 1 智能诊断系统运行效果评估数据表

评估指标	系统平均值	人工诊断参考值	差值分析
诊断准确率	0.944	0.872	提高 7.2%
响应时延 (秒)	3.6	16.4	缩短 12.8 秒
误报率	0.019	-	可接受范围内
平均处理用时 (秒)	9.2	23.5	缩短 14.3 秒
系统可用性	0.992	-	运行稳定

由上表可得，诊断准确率提升体现了系统对典型与非典型故障识别能力的增强，在复杂回路条件下依然保持稳定的判别输出，说明特征提取与模型匹配效果较优，响应时延控制在 3.6 秒以内，较人工诊断缩短 12.8 秒，显著提高故障处理响应效率，为保护系统抢先动作争取了时间。误报率维持在 1.9% 以内，主要出现在信号重叠区或临界变化区，未对现场造成误操作影响，表明系统具备较强的容错能力与自适应分析能力。平均处理用时压缩至 10 秒以内，在诊断、推理与界面反馈等环节表现出良好的并行处理效率。系统可用性高达 99.2%，测试期间未出现通信中断或处理异常情况，验证了系统在实际负载条件下的稳定性与工程可行性。

## 5 结语

智能诊断系统在新寨电站二次回路故障识别中的应用展现出良好的响应速度与准确率，能够有效支撑复杂工况下的故障定位与处理策略优化。系统在架构设计、数据处理与算法应用等方面体现出高度集成性与工程适应性，满足电气自动化高效运维的核心需求。研究成果为构建面向未来的智能电站运维体系提供了技术基础与方法支持，对提升电力系统安全性与智能化水平具有重要工程意义。

### 参考文献

- [1] 谌峰,熊建英,刘子秀.一次通流检查电流二次回路完整性试验方法[C]/江西省电机工程学会.2023年江西省电机工程学会年会论文集.中国电建集团江西省电力建设有限公司,2024:310-312.
- [2] 章琦,王宝山,康金,等.继电保护电气二次回路隐患排查分析[J].电站系统工程,2023,39(04):80-81+84.
- [3] 章文浦,刘志强.一个光伏电站二次跳闸回路的优化[J].江西电力,2020,44(12):38-41.
- [4] 吴小锋,张鑫,刘鹏龙.交流穿入直流检测系统二次回路设计[J].电工技术,2019,(07):33-34.