

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2024) 05-080-04 中图分类号: TP277

# 火力发电厂继电保护装置故障自动检测维护系统设计与实现

Design and Implementation of an Automatic Fault Detection and Maintenance System for Relay Protection Devices in Thermal Power Plants

★ 刘凯琛 (上海闵行燃气发电有限公司, 上海 201804)

**摘要:** 在现代火力发电厂中, 继电保护装置扮演着至关重要的角色, 它负责监控和保护电力系统, 使其免受过电流、短路等故障的侵害。这些装置确保了电力供应的稳定性和安全性, 可以防止设备损坏、减少停电时间。因此, 设计一个能够自动检测和维持这些故障的系统, 不仅可以提高电力系统的可靠性, 还能降低人力成本, 提升维护效率。本文详细介绍了一种火力发电厂继电保护装置故障自动检测维护系统的设计方案, 并对系统的实施和测试进行了探讨, 旨在提供一个全面、高效的解决方案以增强火力发电厂电力系统的稳定性和可靠性。

**关键词:** 火力发电厂; 自动检测维护系统; 继电保护装置; 故障

**Abstract:** In modern thermal power plants, the relay protection device plays a crucial role; they are responsible for monitoring and protecting the power system from overcurrent, short circuit and other faults. These devices ensure the stability and safety of the power supply, prevent equipment damage, and reduce power outages. Therefore, it is particularly important to design a system that can automatically detect and maintain these faults, which can not only improve the reliability of the power system, but also reduce labor costs and improve maintenance efficiency. In this paper, a design scheme of automatic fault detection and maintenance system for thermal power plant relay protection is introduced in detail, and the implementation and testing of the system are discussed, aiming at providing a comprehensive and efficient solution to enhance the stability and reliability of the power system of thermal power plant.

**Key words:** Thermal power plant; Automatic inspection and maintenance system; Relay protection device; Breakdown

在现代电力系统中, 火力发电厂作为主要的电力生产基地, 其稳定运行对电网的安全、可靠供电具有至关重要的作用。继电保护装置作为火力发电厂电力系统的重要组成部分, 在监测系统状态、保护电力设备免受电气故障影响, 以及确保电力系统稳定运行方面具有不可或缺的作用。然而, 随着电力系统的不断扩大和复杂化, 继电保护装置自身可能遭遇的故障问题也随之增多, 如设备老化、参数设置不当或外部干扰等, 这些问题若及时发现和解决, 将严重威胁电力系统的安全运行。

## 1 继电保护装置概述

继电保护装置作为火力发电厂电力系统不可或缺的组成部分, 其核心职责在于监测电力系统的运行状态, 及时检测并隔离系统中的故障, 以防止故障扩散, 确保电力系统的安全、稳定与可靠运行。这类装置通过实时分析电力系统的电流、电压等电气参数, 基于预设的保护策略和算法, 当检测到异常情况时, 能够自动执行断开或闭合操作, 从而隔离故障区域, 最小化故障对系统及设备的潜在损害。在火力发电厂中, 继电保护装置不仅要应对常见的过电流、短路、接地等传统故障, 还需要面对由于发电、输电复杂性所带来的特殊保护挑战, 如同期操作、过电压、失步保护等, 这就要求继电保护

装置必须具备高度的灵敏度、可靠性和智能化水平。

随着电力系统技术的发展和电网结构的复杂化，继电保护装置的设计与应用也日趋复杂和智能化。现代继电保护装置不仅包括传统的保护继电器、断路器等硬件设备，还集成了高度复杂的软件控制系统，其中运用了微处理器技术、数字信号处理技术、人工智能算法等先进技术，以提高故障检测的精度和响应速度。这些技术的应用使得继电保护装置能够实现更为精细的故障诊断、保护策略的灵活配置以及与电力自动化系统的无缝集成，进而提升了电力系统的整体运行效率和安全水平。

## 2 故障自动检测维护系统设计

### 2.1 系统架构

在火力发电厂继电保护装置故障自动检测维护系统的设计中，系统架构的构建是实现高效、可靠故障检测与维护的关键。该系统架构综合考虑了硬件设施与软件框架的协同工作，旨在通过先进的技术手段，对继电保护装置的状态进行实时监控，及时发现并处理故障，确保电力系统的稳定运行。在硬件组成部分，系统主要包括传感器、数据采集单元、处理单元及通信接口，如图1所示。

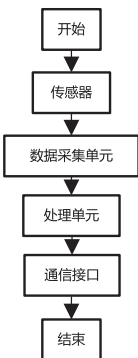


图1 硬件系统设计流程

软件框架主要包括数据处理模块、故障诊断模块、维护决策模块以及用户交互界面，如图2所示。数据处理模块负责对采集单元传来的数据进行清洗、标准化处理，以保证数据质量；故障诊断模块则利用机器学习、人工智能等技术，对处理后的数据进行分析，以识别出潜在的故障特征和故障类型；维护决策

模块根据故障诊断结果，结合维护策略库，自动生成维护建议和行动计划，以指导现场维护工作的开展；用户交互界面为系统操作人员提供了一个直观、友好的操作环境，不仅可以实时显示系统状态、故障报警信息，还可以查询历史数据、故障记录等，为操作人员提供了强大的决策支持。

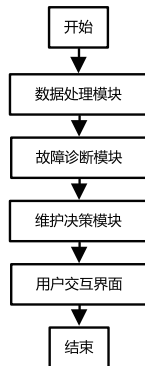


图2 软件系统设计流程

整个系统的设计充分考虑了故障检测与维护过程的自动化、智能化需求，以及系统的稳定性、可靠性和实时性需求。通过在硬件和软件层面的紧密配合与优化，该系统能够有效提升火力发电厂继电保护装置的故障自动检测与维护能力，减少了人为干预，降低了维护成本，提高了电力系统的整体运行效率和可靠性<sup>[1]</sup>。此外，系统的设计还考虑了未来技术发展的可能性，留有足够的扩展空间，以便于集成更多先进技术，如大数据分析、云计算等，进一步提升了系统的性能和功能。

### 2.2 故障自动检测技术

故障自动检测技术在火力发电厂继电保护装置的设计和实施了核心地位，其旨在通过先进的监测和分析技术，实时准确地识别和定位系统中的故障，从而保障电力系统的稳定运行。为了实现这一目标，我们采用了基于时间序列分析的故障检测算法（Time Series Analysis-based Fault Detection, TSA-FD）。该算法利用电力系统运行中生成的大量数据，通过时间序列分析来识别异常模式，从而实现故障的早期检测<sup>[2]</sup>。

TSA-FD算法的核心在于构建电力系统正常运行状态下的时间序列模型，并将实时数据与该模型进行对比，以识别出偏离正常模式的异常信号。假设电力系统中的某一电气量（如电流、电压等）在正常运行状态下的时间序列可以表示为 $X(t)$ ，其模型可以通过公式

(1) 定义:

$$X(t) = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots + a_n \cdot t^n + \alpha(t) \quad (1)$$

其中,  $a_0, a_1, \dots, a_n$  是模型参数,  $t$  是时间,  $\alpha(t)$  是误差项, 表示模型与实际数据之间的偏差。通过对历史运行数据的分析, 可以确定模型参数的最优值, 从而构建出反映电力系统正常状态的时间序列模型。

在故障自动检测过程中, 实时监测到的电力系统数据  $Y(t)$  将被连续输入到 TSA-FD 算法中, 算法首先计算当前数据与时间序列模型的偏差, 如式 (2) 所示:

$$D(t) = Y(t) - X(t) \quad (2)$$

随后, 利用偏差序列  $D(t)$  来识别故障。为了准确识别故障, 定义一个阈值  $\theta$ , 当偏差序列的绝对值超过这一阈值时, 即认为系统出现故障:

如果  $|D(t)| > \theta$ , 则判断为故障发生。

通过这种方式, TSA-FD 算法能够实时监测电力系统的运行状态, 及时发现并报告任何偏离正常模式的异常, 为故障的早期检测和快速响应提供了强有力的技术支持。

该故障自动检测技术的应用不仅显著提升了火力发电厂继电保护装置的敏感性和响应速度, 还有助于减少因故障扩散造成的设备损坏和停电时间, 确保了电力系统的高效、稳定运行<sup>[3]</sup>。此外, TSA-FD 算法的实施还能够为电力系统运维提供重要的数据支持, 优化了维护和修复工作的计划和执行, 从而提高了电力系统的整体运行效率和可靠性。

### 2.3 故障诊断

故障诊断在火力发电厂继电保护装置的功能架构中扮演着至关重要的角色, 其主要任务是在故障自动检测技术发现异常情况后, 准确地识别故障的类型、位置和原因, 为后续的修复工作提供指导。为实现高效准确的故障诊断, 本文介绍了一种基于改进的神经网络算法—故障诊断神经网络 (Fault Diagnosis Neural Network, FDNN) 算法, 该算法通过学习电力系统运行数据中的故障模式, 实现对故障的快速准确诊断。

FDNN 算法的设计基于深度学习原理, 利用具有多层结构的神经网络对电力系统的故障特征进行模式识别。考虑到电力系统故障诊断的复杂性, FDNN 算法采用了一种改进的网络结构, 包含输入层、多个隐藏层以

及输出层。其中, 输入层接收来自故障检测模块的特征向量  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ , 每  $x_i$  个特征代表电力系统运行数据中的一个故障指标, 如电压、电流等的异常变化。

隐藏层的设计关键在于通过非线性变换提取故障数据中的深层特征, 其中每个隐藏层的输出可以通过公式 (3) 计算:

$$Y_j = f(W_j \cdot Y_{j-1} + B_j) \quad (3)$$

其中,  $W_j$  和  $B_j$  分别表示第  $j$  个隐藏层的权重和偏置,  $f$  是激活函数, 用于引入非线性因素, 以增强网络的表达能力。  $Y_{j-1}$  是前一层的输出, 对于第一层隐藏层而言,  $Y_0$  即为输入层的特征向量  $X$ 。

输出层的任务是将隐藏层提取的深层特征映射到故障类型上, 输出向量  $O = [o_1, o_2, \dots, o_m]$  中的每个元素代表相应故障类型的概率。输出层的计算公式如式 (4) 所示:

$$O = g(W_o \cdot Y_{last} + B_o) \quad (4)$$

$W_o$  和  $B_o$  是输出层的权重和偏置,  $g$  是激活函数, 通常选用 softmax 函数以输出概率分布,  $Y_{last}$  是最后一个隐藏层的输出。

### 2.4 故障维护与处理

在火力发电厂继电保护装置故障自动检测维护系统设计中, 故障维护与处理机制的有效实施对于确保电力系统的稳定运行和安全性至关重要。该机制涵盖了一系列从故障检测到最终故障修复的步骤, 包括故障隔离、通知维修人员, 以及依据具体情况采取的自动或手动重启等措施<sup>[4]</sup>。本部分旨在深入探讨故障维护与处理流程中的关键环节, 采用系统设计专业术语, 阐述其实施策略和方法。故障隔离是故障维护与处理的首要步骤, 旨在防止故障扩散至健康的系统部分, 以减小故障带来的影响。故障隔离策略依赖于故障检测系统的准确性和响应速度, 通过实时监控系统状态和性能指标, 系统能够在检测到异常参数时立即启动预设的隔离程序。

## 3 系统测试

本研究所采用的数据集精心选取自专业的火力发电厂继电保护装置故障记录, 旨在确保实验的真实性与可靠性。此类数据集的选取, 确保了研究结果的实际应

用价值和科研的严谨性<sup>[5]</sup>。数据集主要用于系统功能测试，旨在评估故障自动检测维护系统的性能，包括故障检测准确率、故障定位准确率、故障诊断时间、系统响应时间和故障恢复时间等关键指标。实验设计围绕5组数据进行，每组数据均精心筛选，以覆盖不同类型的故障场景和条件。这些数据集包含了不同的故障案例，每条数据都详细记录了故障发生的设备名称、故障发生时间、故障发生前后的历史数据记录、当前故障的详细描述以及故障发生时各项电压电流的具体指标等信息，如表1所示。

表1 系统测试结果

组别	故障检测准确率 (%)	故障定位准确率 (%)	故障诊断时间 (秒)	系统响应时间 (秒)	故障恢复时间 (秒)
1	96.87	95.84	2.28	0.93	3.05
2	98.03	96.54	2.79	0.33	2.22
3	98.17	97.62	0.05	0.37	1.6
4	98.65	98.68	0.45	0.44	3.13
5	99.45	95.94	1.74	0.44	2.83

结果表明，系统在各项测试指标上表现出了优异的性能，尤其是在故障检测准确率和故障定位准确率方面。这表明系统能够有效地识别和定位发电厂继电保护装置中的故障，为快速有效的故障恢复提供了强有力的

支持。同时，故障诊断时间、系统响应时间和故障恢复时间的数据表明，系统在发现故障后能够迅速做出反应，并在较短的时间内完成故障处理和系统恢复，进一步证实了系统设计的高效性和实用性。

## 4 结语

综上所述，基于安全等级制度的企业网络数据安全防护系统设计的研究背景、目的与价值均体现在对电力系统稳定运行的保障上。通过设计并实现这一系统，不仅能够提升火力发电厂电力系统的安全性和可靠性，还能够促进电力行业安全管理水平的提升，对保障国家能源安全、推动电力行业的科技进步具有重要意义。此外，该研究成果的实施将为电力系统的智能化、自动化管理提供技术支持，具有重要的理论价值和广阔的应用前景。AP

### 作者简介：

刘凯琛（1996-），男，河南三门峡人，助理工程师，学士，现就职于上海闵行燃气发电有限公司，主要从事火力发电、电气试验和电气维检方面的工作。

### 参考文献：

- [1] 刘涛. 火力发电厂继电保护装置故障检测及处理方法[J]. 电力设备管理, 2023 (23): 74 - 76.
- [2] 王旭星. 火力发电厂继电保护装置故障检测及处理方法分析[J]. 智能城市, 2021, 7 (11): 87 - 88.
- [3] 裘德玺. 影响火力发电厂继电保护可靠性因素分析及改善措施[J]. 科技与创新, 2022, (02): 73 - 75 + 79.
- [4] 张祥. 火力发电厂继电保护装置故障分析及处理方法研究[J]. 智能建筑与工程机械, 2020, 2 (7): 123 - 124.
- [5] 何小明. 火力发电厂继电保护装置故障分析及处理措施分析[J]. 中国战略新兴产业, 2019 (28): 187.