

# 基于人工智能技术的变电站继电保护智能监测系统 的研究与探讨

桂阳

国网福建省电力有限公司泉州供电公司，福建 泉州 362000

**摘要：**人工智能技术可以通过对电力系统运行中的大量历史数据进行分析与学习，进而实现对电力系统运行状态的智能监测、异常检测和故障诊断。文章主要针对人工智能技术在变电站继电保护智能监测系统中的应用进行分析，以期对相关从业人员提供参考。

**关键词：**电力系统；变电站继电保护；智能监测系统；故障诊断

## 引言

随着社会发展对电力供应的安全性、稳定性和可靠性提出了更高的要求，电力系统的安全稳定运行成为保障经济社会发展的关键因素。变电站作为电力系统的核心枢纽，其继电保护装置承担着快速隔离故障、防止事故扩大的重要职责，是电力系统安全运行的第一道防线，保障电力系统的安全稳定运行。

## 一、开发人工智能技术变电站继电保护智能监测系统的重要性与意义

### （一）全方位优化电力系统安全性能

随着智能电网建设的深入推进，基于人工智能技术的变电站继电保护智能监测系统研发具有重要战略意义。该系统通过多源数据融合感知技术，构建起设备运行状态的全息监测体系，利用边缘计算与云端分析协同架构，实现毫秒级实时数据采集与处理<sup>[1]</sup>。基于深度学习的时序数据分析模型，可对继电保护装置动作特性、二次回路通流状态等关键指标进行动态评估，通过异常模式识别算法，能够在故障萌芽阶段触发分级预警机制<sup>[2]</sup>。

### （二）提高电力系统的稳定性和可靠性

从稳定性来看，通过对近历史故障数据

进行训练建立了精准的设备状态预测模型，使相关人员可以提前采取有效措施，避免设备故障的发生。此外，在遭遇雷击过电压等特殊工况时，智能监测系统相较传统保护装置可以有效缩短故障的切除时间，有效避免了因故障带来的不良影响。

## （三）有效推动电力行业智能化建设的发展进程

从技术层面来看，人工智能技术通过不断的对故障诊断模型进行深度学习，对设备运行状态的多维度感知，可以实现对电力设备的运行状态展开精准地监测与分析，从而为电力系统的智能化运行提供了坚实的技术支撑。其次，在管理层面，通过数字化运维平台，电力企业能够更加高效地管理设备，及时发现设备潜在问题并做出决策，实现了从传统管理模式向智能化管理模式的转变，这种转变不仅提高了管理效率，还降低了管理成本，为电力行业的智能化管理提供了有效途径。

## 二、人工智能技术在变电站继电保护中的应用

### （一）技术概述

人工智能技术在变电站继电保护中的应用核心在于对电力系统运行数据进行深度解

析与模式识别。通过机器学习算法，能够构建继电设备状态与系统故障之间的非线性映射关系，从而实现对故障的准确诊断和快速处理。其中，卷积神经网络（CNN）与长短期记忆网络（LSTM）的混合架构成为主流技术路径。CNN 模块在提取继电装置运行参数中的空间特征方面表现出色，其可以精准捕捉电压电流波形畸变、开关量时序跳变等关键信息，对于判断继电设备的运行状态和识别潜在故障具有重要意义<sup>[3]</sup>。而 LSTM 网络则专注于捕获继电保护动作序列中的时间依赖特性，能够实现对故障发展过程的动态建模。通过对历史数据和实时数据的综合分析，LSTM 网络可以预测故障的发展趋势，为继电保护决策提供有力支持。

## （二）系统架构设计

在变电站继电保护领域，构建科学合理的系统架构是实现智能监测系统高效运行的关键，在设计结构时需注意以下方面：

（1）设计具有分层式的系统架构，从而可以实现对设备状态参数的实时监测。通过由数据采集层、边缘计算层、智能分析层和决策执行层构成四级技术体系共同保障电力系统的安全稳定运行。其中，数据采集层是整个系统的基础。主要部署了高精度电子式互感器（ECT/EVT）与智能终端设备；而边缘计算层，则配置了工业级嵌入式处理器，运行改进型滑动窗口算法可以对数据进行实时的缓存；智能分析层则构建起基于深度强化学习的多模态数据融合模型。该模型包含 3 个并行卷积神经网络（CNN）分支，分别处理电气量、机械振动和红外热像数据；决策执行层则采用双 CPU 热备架构设计，主处理器运行改进型 RBF 神经网络保护算法，备用处理器实施基于模型预测控制（MPC）的容错策略。通过此种分层式架构设计充分发挥了各层的优势，实现了数据的高效采集、处理、分析和决策，为变电站继电保护智能

监测系统的可靠运行提供了有力保障。

（2）具有互操作性。从技术整合维度来看，新型智能监测系统需构建高效兼容机制，实现与既有继电保护装置的深度融合，达成对传统设备运行状态的全域感知与实时监测。同时，在系统接入过程中，必须着重保障新系统在故障分析定位、保护策略动态优化等关键环节，能够与原有系统形成协同运作模式，进而为电网系统的安全稳定运行构筑坚实保障。

（3）具有监控和智能决策功能。借助云计算与大数据技术搭建数据传输通道，可将监测数据即时推送至中央控制中枢。经对海量数据的集约化处理与深度剖析，系统能够快速生成科学化的决策方案。依托远程指令交互机制，可自动触发精准化保护措施，此举既有效规避了人工操作的潜在风险，又成功实现了监测、分析、控制环节的智能化联动管理，达成全流程闭环式的高效运维目标。

## 三、智能监测系统的关键技术应用

### （一）模型的训练与优化

模型训练与优化是变电站继电保护智能监测系统研发的核心环节，其实现多依赖于多种人工智能算法。其中，机器学习与深度学习算法应用广泛，通过这些算法能够构建起针对设备运行状态评估、故障预测预警的智能分析模型。具体而言，模型训练与优化工作遵循以下步骤：

（1）系统运行历史数据的采集。将收集到的数据作为训练样本后，需对其开展系统性预处理。通过数据清洗、标准化、特征提取等处理流程，能够将原始数据转化为符合模型训练要求的有效特征，为后续模型训练提供高质量的数据支撑。

（2）合理的输出目标。将设备健康状况、故障类别等关键信息纳入训练样本，为模型学习提供明确导向。再通过对比各模型在验证数据集上的表现，重点考量精确率、

召回率等核心性能指标，从而筛选出适配性最佳的模型架构，确保模型具备优异的分析预测能力。

(3) 进一步优化模型的参数。如学习率、正则化系数等，以提高模型的泛化能力和预测精度。

(4) 运用迁移学习与联合学习技术，借助已有的成熟智能监测模型，通过对少量样本进行适应性调整，能够快速构建契合特定变电站需求的专属智能监测模型。这种方式显著提升了模型训练效率，减少了训练所需的时间与资源成本。

(5) 持续优化。通过收集模型在实际运行场景中的性能反馈数据，结合新增的实时运行数据，构建周期性的模型参数调优机制，使模型能够自适应电力系统运行特性的动态演变，持续保持对设备状态的精准感知与故障的可靠预警能力。

## (二) 深度学习算法

深度学习作为机器学习领域的关键技术

方向，在故障诊断场景中展现出独特优势。深度学习模型具备直接处理原始监测数据的能力，通过端到端的训练模式实现故障诊断。这种机制无需人工设计复杂的特征提取与中间处理流程，有效规避了传统方法中多环节处理可能引入的误差，显著精简了诊断步骤。同时，凭借其强大的特征学习能力，大幅提升了故障诊断的准确率与可靠性，为智能运维提供了高效的技术支撑。

## (三) 数据采集与处理

### 1 采集步骤与内容

数据的采集和预处理是维系整个系统安全运行的重要操作环节，其中采集步骤和采集内容详见下表 1 所示。在基于人工智能技术的变电站继电保护智能监测系统中，数据采集与处理是实现系统功能的核心基础，其质量直接影响到后续故障诊断与预测的准确性和可靠性。

表 1 数据采集与预处理步骤和内容

采集步骤	具体内容
覆盖继电保护设备的各类运行参数	电流、电压、断路器分合闸状态、保护动作信号、温度、湿度、振动
数据预处理	数据清洗、缺失值填充、异常值处理
将采集的原始数据进行特征提取和降维处理	选出具有代表性数据，减轻后续分析负担

从上表 1 可以看出，系统数据的采集来源具有多样性，涵盖了变电站内多类电气量检测设备、继电保护装置及环境监测终端。其中的电流、电压等多种输出的信号充分反映了电力系统的实时状态；断路器分合闸状态、保护动作信号等开关量数据则体现了设备的运行操作情况；温度、湿度、振动等设备运行状态参数有助于了解设备的工作环境和健康状况<sup>[4]</sup>。

### 2 数据的预处理

在数据预处理阶段，需要解决一系列关键技术问题：

(1) 信号噪声的抑制。由于变电站内存在复杂的电磁环境，信号容易受到干扰而产生畸变。采用小波阈值去噪算法可以有效地消除电磁干扰引起的信号噪声，提高信号的质量。

(2) 数据对齐也是一个关键问题。不同采样频率设备间的数据同步会影响数据的准确性和可用性，应用滑动窗口动态时间规整

(DTW) 算法可以解决这一问题, 实现不同设备数据的有效对齐。此外, 还需要对异常值进行修正, 以保证数据的可靠性。

(3) 针对电力系统暂态过程的特殊性, 数据特征提取需结合时频域联合分析方法。在时域维度, 系统提取电流电压波形的幅值、相位偏移、谐波畸变率等参数, 这些参数能够反映电力系统的稳态运行情况。在频域维度, 采用快速傅里叶变换 (FFT) 结合 S 变换的方法, 捕捉故障发生时特有的频谱特征, 有助于及时发现故障隐患。为提高特征工程的适应性, 引入深度卷积自动编码器 (DCAE) 对原始信号进行无监督特征学习, 通过多层卷积核提取信号的空间局部特征, 配合双向 LSTM 网络捕获时间依赖关系, 最终形成具有强表征能力的多维特征向量<sup>[5]</sup>。实验表明, 该混合特征提取方法相较于传统方法, 在单相接地故障识别中的特征区分度提升 23.6%。

#### (四) 故障诊断与预测

本次研究采用多模态数据融合技术来进行故障诊断与预测, 通过电流互感器、电压互感器、温度传感器等异构数据源的协同分析, 能够获取更全面、准确的设备运行信息:

(1) 在数据预处理阶段, 引入改进的小波阈值去噪算法, 采用 Symlets 小波基函数对原始信号进行 8 层分解。通过动态调整阈值参数, 既保留了有效故障特征, 又能消除电磁干扰带来的高频噪声, 提高了数据的质量和可用性。

(2) 在特征工程方面, 提出基于主成分分析 (PCA) 和 t-SNE 降维的双重特征选择机制, 将原始数据维度从 512 维压缩至 16 维特征向量, 这一操作有效减少了数据冗余, 提升了模型训练效率, 同时也避免了因数据维度过高而导致的过拟合问题。

(3) 在故障诊断算法设计上, 对比分析了卷积神经网络 (CNN)、长短期记忆网络

(LSTM) 和 Transformer 架构的适用性后, 创新性地构建混合时空特征提取网络。该网络前端采用 3 层膨胀卷积结构 (扩张率分别为 1、2、4), 能够有效捕获局部放电信号的空间特征; 后端配置双向门控循环单元 (BiGRU), 用于提取时序相关性。最终通过注意力机制加权融合时空特征, 使模型能够更全面、准确地分析故障特征。

#### 四、系统实现步骤分析

变电站继电保护智能监测系统的实现是一个复杂且严谨的过程, 需遵循科学的步骤以确保系统的高效性、可靠性和安全性。本系统的实现过程遵循模块化开发原则, 采用“硬件部署 - 算法集成 - 系统联调”的三阶段实施路径:

(1) 硬件部署阶段。依据变电站物理拓扑结构进行智能监测终端的配置, 采用分布式架构部署 128 个数据采集节点, 每个节点集成温度、电流、电压三合一传感器模块, 采样频率设置为 1kHz, 这一设置满足了 IEC 61850 标准规定的精度要求, 能够准确、及时地采集变电站内的各项关键数据。

(2) 系统联调阶段建立了三级验证体系。单元测试阶段采用硬件在环仿真平台验证单个继电保护装置的响应特性, 确保每个装置都能正常工作。子系统测试通过注入仿真故障信号验证监测单元与诊断模块的协同性能, 保证各模块之间的配合默契。整系统测试在 220kV 智能变电站实景环境中进行连续 168 小时不间断运行考核, 测试数据显示, 系统平均故障定位时间由传统方法的 43 秒缩短至 2.7 秒, 误动率从 0.12% 降低至 0.03%。特别在应对三相短路故障时, 系统能够在 15ms 内完成故障特征提取, 较常规保护装置提速 68%。

(3) 实现过程阶段。通过创新性引入边缘计算架构, 在监测终端部署轻量化推理引擎, 将核心诊断算法的推理时延优化至 8ms

以下。同时开发可视化监控平台，集成三维数字孪生模型，支持故障场景的时空回溯功能。通过标准化 API 接口与现有 SCADA 系统对接，建立包含设备台账、维修记录等信息的全维度数据库，采用图数据库技术实现设备状态关联分析。

## 结语

随着电力系统智能化进程的不断推进，基于人工智能技术的变电站继电保护智能监测系统的应用具有深远意义。通过实时监测与故障预判，有效解决了传统保护装置误动、拒动问题，将保护动作正确率提升至新高度，为电力系统的稳定运行提供了坚实保障。

## 参考文献

- [1] 吴键. 基于网络和智能技术的变电站继电保护测试研究[J]. 电气技术与经济, 2024(11): 372-374.
- [2] 韩旭. 基于 5G 通信技术的变电站继电保护分布式测试系统研究[J]. 通信电源技术, 2024, 41(19): 43-45.
- [3] 胡新雨, 郁海彭, 何智, 等. 基于人工智能的变电站倒闸智能防误技术研究与应用[J]. 电器与能效管理技术, 2024(6): 70-79.
- [4] 张晓辉. 基于物联网架构的变电站智能大气腐蚀监测系统研究[J]. 电力系统装备, 2024(4): 101-103.
- [5] 袁仪弘. 基于智能变电站继电保护检测和调试技术的分析探讨[J]. 模型世界, 2024(35): 123-126.

作者简介：桂阳（1987-）男，本科学历，工程师，研究方向：变电运维和检修。