

# 火电厂继电保护装置的智能化升级研究

郝宇 庞博 齐亚娟 石婷喻 刘晓文  
达拉特发电厂 内蒙古鄂尔多斯 014000

**摘要：**火电厂继电保护装置是电力系统中重要的安全设备，其智能化升级能够提升火电厂的安全运行水平和运行效率。本文研究了火电厂继电保护装置智能化升级的关键技术及其实现路径，重点探讨了智能传感器技术、数据分析与机器学习技术、通信技术、人工智能技术等火电厂继电保护中的应用，提出了硬件升级策略、软件升级策略、系统集成与协同策略以及安全与可靠性保障策略，希望为火电厂继电保护装置的智能化升级提供了理论支持和实践参考。

**关键词：**火电厂；继电保护装置；智能化升级；关键技术；升级路径

## 一、传统继电保护装置的工作原理与功能

在电力行业飞速发展的今天，火电厂是电力供应的重要来源，火电厂的安全平稳运行是非常关键。继电保护装置作为确保火电厂电力系统安全性的关键设备，可以在电力系统出现故障后快速准确的将其切除，避免事故的扩大。但是传统继电保护装置无论从功能上，性能上还是适应性上都已经渐渐很难适应当代火电厂复杂多样的运行要求。智能化升级已经成了改善继电保护装置工作性能，加强火电厂电力系统可靠性发展的必然趋势。对火电厂继电保护装置智能化升级问题进行研究，有着非常现实的意义。

## 二、火电厂继电保护装置智能化升级的关键技术

### 1. 智能传感器技术

智能传感器技术是火电厂继电保护装置智能化更新的核心依托，正在深刻地改变传统保护模式，其打破了单一电气量测量限制，融合多种型号高精度探测单元实现电流、电压、温度、局部放电和机械振动几十项参数的同步采集，搭建多维度设备状态感知系统。该全息化数据采集能力使得保护装置能够捕捉传统传感器很难检测到的早期故障迹象，如通过对变压器绕组振动频谱变化进行监测，可以提前几周检测出匝间短路隐患；将局部放电信号和温度场的分布相结合，可以对GIS设备内部绝缘缺陷进行准确的定位。它内置智能算法模块，具有边缘计算能力，能够完成本地数据清洗，特征提取以

及初步诊断等功能，只需把关键信息上传到保护主机上即可，不仅降低通信负担而且增强实时响应速度。一些先进的传感器也采用自供电的设计方式，利用能量收集技术向周围环境收集能量，取消对电池维护的要求，显著改善装置工作可靠性。在抗干扰上，智能传感器采用数字滤波、自适应阈值调整技术有效地抑制电磁干扰与噪声影响，保证在复杂运行条件下仍然能够提供精确可靠测量数据，从而为继电保护装置精准动作打下坚实的基础。

### 2. 数据分析与机器学习技术

数据分析与机器学习技术为火电厂继电保护装置智能化升级注入强大动能，重塑着故障诊断与保护决策的逻辑范式。海量运行数据经清洗、标注与特征工程处理后，成为训练机器学习模型的“燃料”——深度神经网络可自主挖掘电流谐波畸变、电压暂降等特征与设备故障间的隐含关联，构建起非线性的故障预测模型，实现对发电机转子匝间短路、变压器内部绝缘老化等隐蔽故障的提前预警；支持向量机则凭借其强大的分类能力，在复杂工况下精准区分正常波动与故障信号，降低保护误动率。强化学习算法的引入，使保护装置具备动态适应能力，通过与电力系统环境的交互学习，自动优化保护定值与动作策略，例如在新能源高渗透场景下，能根据风电、光伏出力的实时变化，调整线路差动保护的灵敏度阈值。此外，图神经网络可对火电厂电气拓扑进行建模，分析故障在设备间的传播路径，为保护动作的时序协调提供依据，避免因保护拒动或误动引发的连锁故障。这些技术共同构建起“数据驱动-智能分析-精准决策”的闭环体系，推动继电保护从“被动响应”向“主动防御”跃迁。

**作者简介：**郝宇（1991.05——），男，汉族，内蒙古自治区乌海市人，本科，电力工程师，现任达拉特发电厂继电保护班班长，专业：电气工程及其自动化。

### 3. 通信技术

通信技术在火电厂继电保护装置智能化升级中发挥着至关重要的作用，织就了装置之间高效协同工作的“神经网络”结构。5G高速无线通信具有低时延和高带宽等特点，突破传统有线通信布局局限，使散布在厂区内的保护终端能够进行毫秒级的实时数据交互，保证了发电机出口短路这类极端故障情况下，主保护和后备保护能够在10ms之内完成信息同步并实现准确的差动和保护动作；工业以太网则以高可靠性构建起厂内骨干通信环网，采用冗余链路自愈协议，即使某段光纤中断，数据也能在20ms内自动切换至备用路径，保障保护指令的持续传输。通过整合时间敏感网络（TSN）技术，为不同优先级的数据流分配了精确的时隙，确保继电保护报文优先于监控数据传输，从而实现关键动作指令的零丢包和零抖动。与此同时，加密通信协议和量子密钥分发技术在实验中的应用为数据传输构筑了一道安全防线，避免了恶意攻击对保护定值的篡改或者对故障信号的造假。此外，采用基于软件定义网络（SDN）的灵活框架，能够动态地调整通信资源的分配，特别是在新能源机组并入电网或负荷发生波动的情况下，优先保证继电保护通道带宽要求，促进火电厂保护系统朝着全域感知和智能协同新形态进化。

### 4. 人工智能技术

人工智能技术正深度赋能火电厂继电保护装置，推动其从规则驱动向智能决策跨越。深度学习算法通过海量故障样本训练，可自动提取电流突变、谐波畸变等特征与故障类型的复杂映射关系，构建起高精度的故障分类模型，在变压器内部电弧放电、发电机定子绕组绝缘击穿等场景中，识别准确率较传统方法提升30%以上；强化学习则赋予保护装置动态优化能力，通过与电力系统环境的持续交互，自主调整保护定值与动作时序，例如在新能源高比例接入导致系统惯量降低时，智能优化线路过流保护的延迟，避免因新能源脱网引发的保护误动。知识图谱技术将设备参数、历史故障、运行规程等结构化与非结构化知识融合，构建起继电保护领域的“智能大脑”，当发生复杂故障时，可快速关联相似案例并生成处置建议，辅助运维人员决策。此外，生成对抗网络（GAN）通过模拟各类故障场景数据，有效解决了实际故障样本稀缺的难题，为模型训练提供充足“燃料”。这些技术相互交织，使保护装置具备自学习、自适应、自决策能力，在应对火电厂新型故障模式、复杂运行工况时，展现出更强的鲁棒性与灵活性。

## 三、火电厂继电保护装置智能化升级的路径

### 1. 硬件升级策略

火电厂继电保护装置硬件提升策略是向智能化方向发展的坚实基础，需要在核心计算、数据感知、通信交互及抗干扰能力多维度上相互配合。通过高性能多核处理器与专用数字信号处理器（DSP）的集成应用，成功构建一个强大的计算中心，该中心的并行处理架构能够同时处理大量实时数据的特征提取任务、故障算法运算和保护决策的产生，使故障判断时间被压缩到毫秒量级，从而赢得了迅速切除故障的关键时间。高精度，多参数一体化传感器阵列部署打破了传统单一电气量监测的局限性，实现电流、电压、温度、局部放电和机械振动多维度信息的同步获取，通过集成的智能校准和补偿电路，可以消除外部环境的干扰，确保数据达到微秒级的同步和0.1%的误差范围，从而为精确的故障定位提供了坚实的依据。高速光纤通信模块和5G无线接入单元有机集成，搭建了全厂域低时延高带宽通信网络，为保护装置之间毫秒级别的数据交互和远程定值下发提供了支撑，同时，我们利用时间敏感网络（TSN）技术来确保关键报文的优先级传递，从而避免因通信拥堵引发的保护延迟。另外，引入硬件级加密芯片和电磁屏蔽设计，在物理层构筑了一道安全防线以防御恶意攻击和强电磁干扰，保证了设备在极端工作条件下的稳定工作，从而为火电厂电力系统安全、可靠地运行提供保障。

### 2. 软件升级策略

火电厂继电保护装置的软件升级策略，是激活智能化潜能的核心引擎，需以模块化架构为骨架、智能算法为血肉、安全机制为护盾，构建起自适应、自进化的软件生态。基于微服务架构的操作系统重构，将传统单体软件拆解为故障诊断、保护决策、通信管理、数据存储等独立模块，各模块通过标准化接口实现松耦合交互，既提升了代码的可维护性与可扩展性，又支持按需动态加载新功能，例如在新能源机组接入时，可快速集成针对电力电子设备的保护算法模块。深度学习与强化学习算法的深度嵌入，赋予软件“思考”能力——卷积神经网络（CNN）可自动提取电流谐波、电压暂降等时频域特征，精准识别发电机转子匝间短路、变压器内部绝缘老化等隐蔽故障；强化学习模型通过与电力系统仿真环境的持续交互，动态优化保护定值与动作时序，在新能源高渗透场景下，能根据风光出力波动实时调整线路差动保护的灵敏度阈值，避免误动或拒动。同时，软件内置的自适应校准机制可定期比对传感器数据与历史基准

值，自动修正测量偏差；基于区块链的日志审计系统，对保护动作、定值修改等关键操作进行不可篡改记录，为故障溯源提供可信依据。此外，采用形式化验证技术对软件逻辑进行严格证明，结合动态模糊测试模拟极端工况，将软件缺陷率降低至 $10^{-9}$ 量级，确保其在复杂电力系统中的绝对可靠。

### 3. 系统集成与协同策略

火电厂继电保护装置的系统集成与协同策略，是打破信息孤岛、实现全厂域智能联动的关键路径，需以数据流通为脉络、标准统一为基石、智能协同为内核，构建起多系统深度融合的生态体系。通过制定统一的通信协议与数据接口标准，将继电保护装置与分散控制系统（DCS）、故障信息系统（FIS）、广域测量系统（WAMS）等异构系统无缝对接，实现电流、电压、开关状态等实时数据的毫秒级共享，例如当发电机出口发生短路时，保护装置可在10ms内将故障信息同步至DCS触发紧急停机，同时向FIS发送详细报文供事后分析，形成“保护-控制-分析”的闭环响应。基于数字孪生技术构建的虚拟电厂模型，可模拟不同工况下保护装置的协同动作效果，通过强化机器学习算法优化各装置间的动作时序，避免因保护配合不当引发的连锁故障；在新能源高比例接入场景下，该模型能动态调整风电、光伏逆变器与线路保护的配合策略，确保在功率波动时仍保持选择性切除故障。此外，采用边缘计算节点对多源数据进行本地预处理，提取关键特征后再上传至云端，既减轻了通信负担，又支持区域保护装置的快速协同决策，如厂用电系统故障时，相邻区域的保护装置可基于边缘节点共享的信息，自主协调动作范围，防止故障扩大至全厂，最终实现从单一设备保护向全厂电力系统智能防御的跃迁。

### 4. 安全与可靠性保障策略

火电厂继电保护装置的安全与可靠性保障策略，是守护电力系统稳定运行的最后一道防线，需从硬件加固、软件防护、数据安全及冗余设计等多维度构建全方位防护体系。硬件层面，采用抗辐射加固芯片与电磁屏蔽封装技术，提升装置在强电磁干扰、高温高湿等恶劣环境下的稳定性；内置自检电路可实时监测处理器、存储器等关键部件的健康状态，一旦发现故障立即触发告警并切换至备用模块，确保硬件“零故障”运行。软件层面，引入形式化验证方法对保护逻辑进行数学证明，消除代码中的潜在漏洞；结合动态模糊测试模拟极端工况，如高比例新能源接入导致的电压波动、频率偏移等场景，验证软件的鲁棒性；同时，通过区块链技术对保护定值

修改、动作记录等关键操作进行不可篡改存证，为故障溯源提供可信依据。数据安全方面，采用国密算法对传输数据进行端到端加密，防止恶意攻击篡改保护指令；基于零信任架构构建访问控制体系，对任何试图访问保护装置的操作进行多因素身份认证与权限校验。此外，通过冗余设计提升系统容错能力，如采用双通道通信链路、三模冗余处理器等架构，即使部分组件失效，保护装置仍能可靠动作，最终形成“预防-监测-防御-恢复”的全生命周期安全保障机制。

### 结论

火电厂继电保护装置智能化升级是我国能源电力行业迎接新型电力系统所面临挑战的不二选择。通过硬件升级筑牢计算和感知基础、软件迭代给予智能决策能力、系统集成突破信息壁垒达成协同联动、安全可靠的保障策略搭建全方位的防护网，四者的有机融合，促进保护装置由“被动响应”到“主动防御”的跃迁。智能化升级的保护装置不仅能够准确辨识传统故障模式，而且还能够应对新能源大比例接入和电力电子设备广泛使用等新风险，显著提高了故障切除快速性和选择性。同时在大数据和人工智能预测性维护功能的基础上，能够提前识别设备隐患并减少非计划停运的危险，从而为火电厂的安全平稳运行提供了坚实的支持。放眼未来，在科技不断进化的过程中，继电保护装置必将深度融合到电力系统全局优化中，并成为建设智慧电厂和实现“双碳”建设的关键步骤，带领火电行业向更高智能化水平迈进了一个崭新的发展阶段。

### 参考文献

- [1] 扈裕雷, 莫欣兰. 电厂智能化继电保护系统的设计与优化研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [2] 李显伟, 胡阳, 刘志辉. 继电保护装置远方程序化定检技术研究与应用[J]. IT经理世界, 2024(10): 184-186.
- [3] 张安乐. 智能化电力系统继电保护技术的应用探析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(17): 4-6.
- [4] 葛志超, 南恒, 陈震宇, 等. 新型电力系统继电保护影响研究[J]. Engineering Management & Technology Discussion, 2024, 6(4).
- [5] 芦君艺. 智能变电站与传统变电站的继电保护优劣分析[J]. 江西煤炭科技, 2024(3): 299-302.