

# 电力系统及其自动化的继电保护技术优化

孙适雨

国网四川电力送变电建设有限公司 四川 成都 610000

**摘要:** 在电力系统及其自动化进程中, 继电保护技术至关重要。本文剖析了继电保护技术核心原理与要素, 指出在自动化场景下的运行逻辑。同时, 揭示现存技术适配性、动作可靠性等核心问题。进而从保护算法、硬件设备等多方面提出优化方向与路径, 并阐述信息技术、智能化技术等优化过程中的支撑作用, 为提升继电保护性能、保障电力系统安全稳定运行提供思路。

**关键词:** 电力系统; 继电保护技术; 技术优化; 自动化协同

引言: 随着电力系统规模扩大、结构复杂化, 新能源大规模接入, 交直流混合输电等新技术广泛应用, 电力系统运行面临诸多挑战。继电保护作为电力系统安全稳定运行的关键防线, 其性能直接影响电力系统的可靠性与稳定性。然而, 当前继电保护技术在适配性、可靠性等方面存在不足, 难以满足电力系统发展需求。因此, 对继电保护技术进行优化具有重要的现实意义。

## 1 继电保护技术核心原理与核心要素

### 1.1 继电保护核心工作原理

继电保护作为电力系统安全运行的关键防线, 其核心工作原理基于对故障特征的精准识别与快速响应。当电力系统发生故障时, 故障元件的电气参数会发生显著变化, 如电流突增、电压降低、阻抗变化等<sup>[1]</sup>。继电保护装置通过实时监测这些电气量, 将其与预先设定的整定值进行对比分析。若监测到的电气量超过整定值, 表明系统处于故障状态, 保护装置将迅速动作, 发出跳闸信号, 切除故障元件, 防止故障扩大影响整个系统的稳定运行。这一过程需满足速动性要求, 以最短时间隔离故障, 减少设备损坏和停电范围; 同时要保证选择性, 仅切除故障元件, 避免误动导致非故障区域停电; 还需具备灵敏性, 对轻微故障也能可靠动作; 以及可靠性, 在系统正常运行和故障时均能正确执行相应功能。

### 1.2 继电保护技术核心构成要素

继电保护技术由多个核心构成要素协同工作。测量元件是基础, 负责采集电力系统的电气量信息, 如电流互感器、电压互感器将高电压、大电流转换为适合保护装置处理的低电压、小电流信号。逻辑元件是关键, 依据测量元件传来的信息, 按照预设的逻辑关系进行判断, 确定系统是否发生故障以及故障类型, 为后续动作提供决策依据。执行元件是保障, 当逻辑元件判定系统故障并发出动作指令后, 执行元件迅速动作, 驱动断路器跳

闸, 实现故障切除。此外, 整定计算环节不可或缺, 根据电力系统结构、运行方式、设备参数等因素, 精确计算并设定保护装置的整定值, 确保保护动作的准确性和可靠性。

### 1.3 自动化场景下继电保护的运行逻辑

在电力系统自动化场景下, 继电保护运行逻辑更为复杂且高效。保护装置与自动化监控系统、调度系统紧密集成, 实现数据实时共享与交互。通过高速通信网络, 保护装置可快速获取系统全局信息, 如拓扑结构变化、负荷水平波动等。目前, 通信网络的传输速率可达100Mbps-10Gbps。在此基础上, 保护装置能根据系统实时状态动态调整保护策略, 实现自适应保护。自动化场景下强调区域保护协同, 相邻保护装置通过通信交换信息, 形成协同保护机制, 共同应对复杂故障, 提高故障处理效率和系统整体可靠性。

## 2 电力系统及其自动化中继电保护技术现存核心问题

### 2.1 技术适配性问题

随着电力系统规模持续拓展、结构日益复杂, 新能源大规模接入以及交直流混合输电等新技术广泛应用, 继电保护技术面临严峻的适配性挑战<sup>[2]</sup>。传统继电保护技术多基于固定电网结构和运行模式设计, 面对如今动态变化的电力系统, 在保护原理和算法上难以精准适配。例如, 新能源发电的间歇性和波动性, 使得电网的潮流分布和故障特征发生改变, 原有保护装置的测量和判断依据不再准确, 导致保护动作可能出现误动或拒动, 无法有效保障电网安全稳定运行。

### 2.2 动作可靠性问题

动作可靠性是继电保护技术的关键指标。在实际运行中, 继电保护装置可能因多种因素影响而出现动作不可靠的情况。一方面, 装置硬件元件存在老化、损坏等问题, 如电流互感器二次回路开路、电压互感器绝缘损

坏等,会导致测量数据失真,进而使保护装置误动作或不动作。另一方面,软件算法的缺陷也可能引发动作不可靠,如程序逻辑错误、数据处理失误等,在故障发生时无法正确判断和动作,给电力系统带来安全隐患。

### 2.3 响应时效性问题

电力系统故障发展迅速,继电保护装置需在极短时间内做出反应并切除故障,以减少故障对系统的损害。然而,当前部分继电保护装置在响应时效性上存在不足。测量环节的数据采集和传输延迟、逻辑判断环节的复杂计算以及执行环节的机械动作时间等,都会影响保护装置的整体响应速度。在一些对时间要求极高的故障场景下,微秒级的延迟都可能导致故障范围扩大,造成更严重的后果。

### 2.4 自动化协同性问题

在电力系统自动化程度不断提高的背景下,继电保护装置需要与调度自动化系统、变电站自动化系统等其他自动化设备紧密协同工作。但目前不同系统之间的信息交互和共享存在障碍,数据格式不统一、通信协议不兼容等问题,使得继电保护装置无法及时获取全面的系统信息,难以实现与其他设备的协同控制和优化决策,限制了电力系统自动化水平的进一步提升。

### 2.5 抗干扰能力问题

电力系统运行环境复杂,存在各种电磁干扰源,如雷电、开关操作、短路故障等产生的电磁脉冲。继电保护装置若抗干扰能力不足,在这些干扰作用下,其电子元件可能受到损坏,导致装置误动作或死机。此外,通信线路上的干扰也会影响保护信息的准确传输,使保护装置无法正常工作,严重影响电力系统的安全运行。

## 3 继电保护技术优化核心方向与路径

### 3.1 保护算法优化

算法逻辑简化与精准化优化是提升继电保护性能的基础。简化算法逻辑可降低计算复杂度,减少计算时间,使保护装置能更快响应故障。通过引入更精确的数学模型和计算方法,提高算法对故障特征的识别精度,避免误判和漏判<sup>[3]</sup>。自适应算法优化设计能让保护装置根据电力系统实时运行状态自动调整保护参数和策略。例如,依据电网潮流变化、负荷波动等因素,动态修正动作整定值,确保在不同工况下都能准确动作。算法与自动化系统的融合优化可实现信息共享和协同决策。将保护算法与调度自动化、变电站自动化等系统深度融合,利用全局信息优化保护动作,提升电力系统整体运行效率和安全性。

### 3.2 硬件设备优化

保护装置核心部件性能优化是硬件设备优化的关键。采用高性能的处理器、传感器等核心部件,提高数据采集、处理和传输能力,增强保护装置的可靠性和快速性。硬件结构小型化与集成化优化可减少装置体积,降低安装和维护成本,同时提高系统的集成度和抗干扰能力。通过采用先进的封装技术和集成电路设计,将多个功能模块集成在一个芯片或模块中,实现硬件资源的高效利用。硬件抗干扰性能优化能确保保护装置在复杂电磁环境下稳定运行。通过优化电路设计、采用屏蔽措施、增加滤波电路等方法,降低外部干扰对硬件设备的影响,提高装置的抗干扰能力。

### 3.3 自动化协同机制优化

继电保护与调度自动化系统协同优化可实现信息实时交互和共享。调度自动化系统为继电保护提供电网全局运行信息,继电保护装置将故障信息及时反馈给调度系统,以便调度人员做出科学决策,实现电力系统的优化运行。继电保护与配电自动化系统联动优化能提高配电网的故障处理能力。当配电网发生故障时,继电保护装置迅速动作切除故障,配电自动化系统快速进行故障定位和隔离,恢复非故障区域的供电,减少停电时间和范围。多保护装置间自动化协同逻辑优化可实现保护装置之间的协调配合。通过制定合理的协同策略,避免保护装置之间的误动作和拒动作,提高电力系统的保护可靠性。

### 3.4 信号处理技术优化

故障信号采集精度优化是准确识别故障的前提。采用高精度的传感器和先进的采样技术,提高故障信号的采集精度,为后续的信号处理和分析提供准确的数据基础。信号传输稳定性优化可确保故障信号在传输过程中不失真、不丢失。通过采用可靠的通信协议和传输介质,加强信号传输的抗干扰能力,保证保护装置能及时接收到准确的故障信号。干扰信号过滤技术优化能有效去除信号中的噪声和干扰成分。采用数字滤波、小波分析等先进的信号处理技术,提取有用的故障信号,提高故障诊断的准确性。

### 3.5 保护配置优化

基于系统运行特性的保护配置调整可根据电力系统的实际运行情况,如电网结构、负荷特性、设备参数等,合理调整保护装置的配置和参数,提高保护的针对性和有效性。分层分区保护配置优化可将电力系统划分为不同的层次和区域,根据各层次和区域的特点制定相应的保护策略,实现保护的选择性和快速性。自动化场景下保护配置的动态适配优化能根据电力系统的实时运行状

态和自动化需求,动态调整保护配置,确保保护装置在不同场景下都能发挥最佳性能。

#### 4 优化过程中的核心技术支撑

##### 4.1 信息技术支撑

信息技术为继电保护技术优化搭建了坚实的数据传输与处理平台。在数据采集环节,高速、高精度的数据采集技术借助先进的传感器网络,能够实时、精准地获取电力系统中各类电气量与非电气量信息,如电压、电流、功率因数以及设备状态参数等,数据采集频率可达1000Hz-10000Hz,为后续分析提供丰富且准确的数据基础。数据传输方面,高速通信技术保障了数据在继电保护装置与监控中心、调度系统等之间的快速、稳定传输<sup>[4]</sup>。光纤通信技术凭借大容量、低损耗、抗干扰能力强的优势,成为长距离、高速率数据传输的首选,其传输速率可达10Gbps-100Gbps,确保故障信息能在第一时间传达至相关系统,为快速决策提供支持。数据处理领域,大数据分析技术发挥着关键作用。通过对海量历史数据和实时数据的深度挖掘与分析,能够发现电力系统运行的潜在规律和故障特征,为保护算法的优化、保护配置的调整提供科学依据。云计算技术则为数据处理提供了强大的计算资源支持,可实现复杂计算任务的快速处理,提高继电保护系统的响应速度和处理能力。

##### 4.2 智能化技术支撑

智能化技术赋予继电保护系统自主感知、决策和执行的能力。人工智能算法中的神经网络算法,能够模拟人类神经网络的信息处理方式,对电力系统的复杂故障特征进行学习和识别。通过对大量故障样本的训练,神经网络可以准确判断故障类型、位置和严重程度,提高故障诊断的准确性和可靠性。模糊逻辑算法则擅长处理不确定性和模糊性问题。在电力系统运行中,存在许多难以精确描述的状态和参数,模糊逻辑算法可以根据这些模糊信息,通过模糊推理做出合理的决策,增强继电保护系统对复杂工况的适应能力。专家系统将专家的知识 and 经验以规则的形式存储在计算机中,当电力系统出现故

障时,专家系统能够根据这些规则进行推理和判断,为保护装置提供决策支持,实现类似专家的智能决策过程。

##### 4.3 电力电子技术支撑

电力电子技术在继电保护技术优化中主要应用于保护装置的硬件设计与改进。功率半导体器件如绝缘栅双极型晶体管(IGBT)、集成门极换流晶闸管(IGCT)等,具有高开关频率、低导通损耗等优点,能够提高保护装置的能源转换效率和响应速度,开关频率可达10kHz-100kHz。采用电力电子技术设计的电源模块,具有高稳定性、高效率和宽输入范围等特点,可为保护装置提供可靠的电源支持,确保在各种恶劣工况下保护装置都能正常工作。此外,电力电子技术还可用于实现保护装置的快速开关动作,提高断路器的分合闸速度,减少故障切除时间,降低故障对电力系统的损害<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

电力系统及其自动化的继电保护技术优化是一项系统且长期的工作。通过保护算法、硬件设备、自动化协同机制等多方面的优化,以及信息技术、智能化技术、电力电子技术的有力支撑,能够有效提升继电保护性能,增强电力系统应对故障的能力,保障电力系统安全、稳定、高效运行,为经济社会发展提供坚实的电力保障。

#### 参考文献

- [1]王荣荣.电力系统继电保护与自动化装置的协同优化[J].建筑与施工,2024,3(21):180-181.
- [2]朱新华.电力系统保护与控制中电气工程及其自动化技术的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):93-95.
- [3]牛贞贞.基于电力系统继电保护及自动化故障风险研究[J].电力设备管理,2025(16):232-234.
- [4]李晓燕.电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J].建筑工程与设计,2025,4(5):259-260.
- [5]卢迪.电力系统自动化继电保护技术分析[J].科技创新导报,2022,19(23):108-110.