

# 电力系统继电保护可靠性提升技术探究

柴辉峰

许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

**摘要:** 本文深入探讨电力系统继电保护可靠性提升技术, 概述了继电保护的基本原理、系统组成及其面临的挑战, 包括设备故障与老化、人为因素与管理问题以及复杂地质与气候条件的影响。文章分析了传统与现代可靠性提升技术的现状, 特别是数字化技术、智能化技术和区块链技术在继电保护中的应用。提出优化装置设计、加强设备维护管理以及提升系统整体性能等具体措施。这些技术与方法旨在增强继电保护的准确性、快速性和可靠性, 为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

**关键词:** 电力系统; 继电保护; 可靠性; 提升技术

引言: 电力系统作为现代社会的基础设施, 其稳定运行对于保障经济社会发展和人民生活至关重要。继电保护作为电力系统安全的第一道防线, 其可靠性直接关系到电力系统的故障处理和恢复能力。因此, 深入研究和探讨电力系统继电保护可靠性提升技术, 对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。本文将围绕这一主题, 从继电保护的基本原理出发, 分析存在的问题, 探讨现代先进技术的应用, 并提出具体的技术与措施。

## 1 电力系统继电保护的基本原理

### 1.1 继电保护的基本概念

继电保护是电力系统中一种至关重要的技术措施, 其核心功能在于, 当电力系统遭遇故障或进入异常运行状态时, 能够自动、迅速且精准地识别出故障元件, 并立即将其从系统中隔离出来, 或者及时发出报警信号以警示操作人员。作为电力系统安全稳定运行的坚强后盾, 继电保护不仅能够有效遏制故障的进一步蔓延, 还能显著减少设备的损坏程度, 确保供电质量维持在较高水平, 同时全方位保护人员的生命安全不受威胁。继电保护装置凭借对电力系统内部电气量(涵盖电流、电压、功率、频率等关键指标)或非电气量(诸如温度、压力等重要参数)的敏锐监测, 一旦这些监测值触及预设的阈值条件, 便会立即触发诸如跳闸、闭锁等保护动作, 从而迅速响应并处理故障, 为电力系统的平稳运行保驾护航。

### 1.2 继电保护的工作原理

继电保护的工作原理基于电力系统在正常运行与故障状态下的电气量差异。当电力系统发生故障时, 故障点的电流、电压等电气量会发生显著变化, 继电保护装置通过检测这些变化, 并与预设的保护定值进行比较, 当实际电气量超过保护定值时, 保护装置将判定为故障

状态, 并启动相应的保护动作<sup>[1]</sup>。

继电保护的工作原理还包括选择性、速动性、灵敏性和可靠性四个基本要求: (1) 选择性。仅将故障元件切除, 尽量减小停电范围; (2) 速动性。快速切除故障, 以减少设备损坏和故障持续时间; (3) 灵敏性。在保护范围内发生故障时, 保护装置应能可靠动作; (4) 可靠性。保护装置在不应该动作时不误动, 在应该动作时可靠动作。

### 1.3 继电保护系统的组成

继电保护系统通常由以下几部分组成: (1) 测量元件。用于检测电力系统中的电气量变化, 如电流互感器、电压互感器等; (2) 逻辑判断元件。根据测量元件提供的信息, 通过预设的逻辑关系判断故障是否发生及故障类型; (3) 执行元件。根据逻辑判断元件的指令, 执行跳闸、闭锁等保护动作, 如断路器、继电器等; (4) 辅助设备。如电源装置、信号装置等, 用于提供工作电源、指示故障信息等。随着计算机技术和通信技术的发展, 现代继电保护系统还广泛采用了微型保护装置, 实现了保护功能的数字化、网络化和智能化, 提高了保护的可靠性和灵活性。

## 2 电力系统继电保护存在的问题分析

### 2.1 设备故障与老化问题

在电力系统继电保护中, 设备故障与老化问题是不可忽视的重要挑战。随着设备使用时间的增长, 其内部元器件可能会逐渐老化, 导致性能下降, 甚至引发故障。这些故障可能表现为误动作、拒动作或者动作时间延长等, 严重威胁到电力系统的稳定运行。设备故障与老化问题的原因多种多样, 包括但不限于设备设计缺陷、制造工艺不良、运行环境恶劣以及维护不当等。此外, 长期的高负荷运行也会加速设备的老化过程<sup>[2]</sup>。

## 2.2 人为因素与管理问题

人为因素和管理问题在电力系统继电保护中同样占有重要地位。操作人员的专业技能、责任心以及工作习惯等都会影响到继电保护装置的正常运行。例如，操作人员在设置保护定值、进行设备调试或维护时，如果操作不当或疏忽大意，就可能导致保护误动或拒动。另外，管理方面的问题也不容忽视。缺乏有效的管理制度、监督机制和应急预案，可能导致继电保护装置在故障发生时无法及时得到处理，从而扩大故障范围，造成更大的损失。

## 2.3 复杂地质与气候条件下的挑战

电力系统继电保护还面临着复杂地质与气候条件带来的挑战。在地震、滑坡、泥石流等地质灾害频发的地区，电力设施可能会受到严重破坏，导致继电保护装置失效。同时，极端气候条件如暴雨、雷电、高温等也可能对继电保护装置造成不利影响，如设备受潮、绝缘性能下降、雷击损坏等。

## 3 电力系统继电保护可靠性提升技术现状

### 3.1 传统提升技术概述

在电力系统继电保护领域，传统可靠性提升技术主要围绕硬件冗余、定期校验与维护以及经验式故障诊断展开。硬件冗余通过增加保护装置的备份数量，在主设备故障时由备用设备接管保护功能，例如采用双重化配置的线路保护装置，确保单一设备故障不会导致保护失效。定期校验与维护则依赖人工巡检，通过周期性测试保护装置的采样精度、动作逻辑和通信功能，例如每年对变压器差动保护装置进行二次回路绝缘测试和采样值校验。经验式故障诊断依赖技术人员对历史故障案例的分析，例如通过对比故障录波波形与典型故障特征，判断保护拒动或误动的原因。这些传统技术虽在保障继电保护可靠性方面发挥基础作用，但存在维护成本高、响应速度慢、对复杂故障诊断能力不足等局限。

### 3.2 现代先进技术应用

#### 3.2.1 数字化技术

数字化技术通过电子式互感器、光纤通信和IEC61850标准协议，实现了继电保护系统从信号采集到逻辑判断的全流程数字化。电子式互感器采用光学原理直接输出数字信号，避免了传统电磁式互感器的铁芯饱和问题，例如在500kV变电站中，电子式电流互感器将测量精度提升至0.2S级，显著提高了差动保护的可靠性。光纤通信网络以GOOSE（面向通用对象的变电站事件）协议实现保护装置间的实时数据交互，例如在广域保护系统中，通过光纤网络将故障信息传输时间缩短至3ms以

内，支持跨变电站的联动保护动作。IEC61850标准则通过统一的数据建模和通信服务，实现了保护装置与监控系统的无缝集成，例如在数字化变电站中，基于该标准的保护装置可自动适应变电站运行方式变化，减少人工配置错误<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.2 智能化技术

智能化技术通过引入人工智能算法和自适应控制策略，赋予继电保护系统自主分析和决策能力。基于深度学习的故障诊断模型可处理多源异构数据，例如利用卷积神经网络（CNN）分析故障录波波形，在某省级电网的试点应用中，将故障定位准确率从85%提升至98%。自适应保护算法根据系统运行状态动态调整保护定值，例如在新能源高渗透率电网中，通过实时监测风电场出力波动，动态调整线路距离保护阻抗定值，避免因潮流变化导致的误动。智能巡检机器人结合红外热成像和局部放电检测技术，可自动识别保护装置端子排温度异常和二次回路绝缘劣化，例如在某500kV变电站的巡检中，提前发现3起保护装置插件接触不良隐患。

#### 3.2.3 区块链技术

区块链技术通过去中心化数据存储和智能合约机制，为继电保护系统提供可信的数据共享和安全防护。分布式账本技术将保护装置动作记录、故障录波数据和设备状态信息上链存储，例如在某区域电网中，通过区块链技术实现保护动作信息的全网同步，确保故障分析数据的不可篡改性。智能合约可根据预设规则自动执行保护逻辑，例如在分布式电源接入场景中，当检测到光伏电站并网点电压越限时，智能合约自动触发保护装置动作，同时将动作信息广播至相关节点。数字签名技术则保障保护装置与监控系统间的通信安全，例如在调度主站与变电站通信中，采用椭圆曲线密码算法对保护指令进行签名验证，防止恶意篡改导致的误操作。

## 4 提升继电保护可靠性的具体技术与措施

### 4.1 优化继电保护装置设计

提升继电保护可靠性首先需从装置设计入手，通过优化设计来增强设备的固有可靠性和适应性。这一环节涵盖硬件设计、软件算法及保护逻辑等多个方面。在硬件设计上，应选用高质量、高稳定性的电子元器件，采用冗余设计来提高系统的容错能力。例如，采用双A/D转换器、双CPU系统等设计，当一个部件发生故障时，另一个部件能立即接替工作，确保保护装置不会因单点故障而失效。此外，还应注重装置的散热设计，避免因过热导致的性能下降或损坏。软件设计方面，应开发高效、可靠的算法，确保保护装置能够准确、快速地识别

故障。这包括采用先进的滤波算法减少噪声干扰,以及利用自适应算法根据电力系统运行状态动态调整保护定值,提高保护的灵敏度和选择性。同时,软件应具有强大的自检功能,能够实时检测内部故障并发出报警信号,保护逻辑的优化同样关键,应根据电力系统的实际情况,合理设置保护定值和时间配合,确保在故障发生时能够迅速切除故障元件,同时避免误动作对正常运行部分的影响。此外,还应考虑保护装置与其他设备的协调配合,如与重合闸装置、自动装置等的配合,以提高整个电力系统的稳定性和可靠性。

#### 4.2 加强继电保护设备的维护与管理

设备的维护与管理是提升继电保护可靠性的重要环节,这包括定期的预防性试验、设备巡检、故障排查及维修等工作。预防性试验是确保设备状态良好的有效手段,通过定期对继电保护装置进行性能测试和功能验证,可以及时发现潜在故障并采取措施予以消除。试验内容应包括绝缘电阻测试、动作时间测试、定值校验等。根据试验结果对设备进行分类管理,对存在缺陷的设备进行重点监控和及时维修。通过定期对继电保护装置进行外观检查、接线检查及运行环境检查等,可以发现并处理设备表面的污垢、腐蚀、松动等问题。巡检过程中还应重点关注设备运行中的异常现象,如异响、过热等,及时采取措施予以处理。故障排查及维修是确保设备正常运行的关键,当设备发生故障时,迅速组织专业人员进行故障排查,准确定位故障点并采取有效措施予以修复。同时,建立故障记录和分析机制,对故障原因进行深入分析并总结经验教训,以便在后续工作中避免类似故障的发生。在设备管理方面,建立健全的管理制度和 workflows,明确各级人员的职责和权限。通过加强人员培训、提高操作技能和管理水平等措施,确保各项维护工作得以顺利开展<sup>[4]</sup>。此外,还应加强设备档案管理,详细记录设备的采购、安装、调试、运行、维修等全过程信息,为设备的管理和维护提供有力支持。

#### 4.3 提升继电保护系统的整体性能

提升继电保护系统的整体性能需要从多个方面入手,包括系统架构设计、信息传输与处理、保护算法优化及与其他系统的协调配合等。在系统架构设计方面,注重系统的冗余性和可扩展性。通过采用分布式架构、

模块化设计等手段,提高系统的容错能力和灵活性。同时,考虑系统与其他电力系统的接口问题,确保信息的准确传输和处理的实时性;信息传输与处理是继电保护系统的重要组成部分,应采用高速、可靠的信息传输通道和高效的信息处理算法来确保保护信息的准确性和实时性。例如,采用光纤通信、无线通信等先进技术来提高信息传输速度和可靠性;采用先进的滤波算法、数据压缩技术等来减少信息传输的延时和带宽占用。保护算法的优化是提升继电保护系统性能的关键,根据电力系统的实际情况和需求,采用自适应保护算法、智能算法等先进技术来提高保护的灵敏度和选择性。还应考虑算法的稳定性和鲁棒性,确保在各种运行条件下都能保持良好的性能;与其他系统的协调配合也是提升继电保护系统整体性能的重要因素。例如,与自动重合闸装置、自动电压调节装置等的协调配合可以提高电力系统的恢复能力和稳定性;与电网调度系统的信息共享可以实现对电力系统状态的实时监测和控制等。因此,在设计和实施过程中应注重与其他系统的接口设计和数据交换协议的制定等工作。

#### 结束语

综上所述,提升电力系统继电保护的可靠性是一项系统工程,需要从装置设计、设备维护管理以及系统整体性能等多个方面入手。通过采用数字化技术、智能化技术和区块链技术等现代先进技术,可以显著提高继电保护的准确性、快速性和可靠性。未来,随着技术的不断发展,电力系统继电保护可靠性提升技术将继续向更高水平迈进,为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的技术支撑。

#### 参考文献

- [1]陈俊逸.电力系统继电保护与自动化装置的可靠性提升策略分析[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):71-73.
- [2]贾少华.电力系统继电保护与自动化装置的可靠性提升策略分析[J].大众标准化,2022,(22):158-160.
- [3]吴魏峰,孙斌.智能变电站继电保护的可靠性分析[J].光源与照明,2021(11):108-110.
- [4]黄新星.电气自动化中的电气接地及电气保护技术[J].工程技术研究,2020,5(18):112-113.