

自动化技术在电力系统继电保护配置与优化中的应用

王玮博

苏晋塔山发电有限公司 山西 大同 037000

摘要: 本文聚焦自动化技术在电力系统继电保护配置与优化中的应用。继电保护作为电力安全的关键,通过自动化技术实现更高效、准确的故障检测与切除。文章概述了继电保护的基本概念与分类,分析自动化技术类型及其在电力系统的现状。重点探讨自动化设备在继电保护中的应用、智能化配置及通信技术的作用。提出保护定值自适应调整、冗余配置优化、故障诊断与维护优化等策略,为提升电力系统安全性与稳定性提供有力支撑。

关键词: 自动化技术; 电力系统; 继电保护配置

1 电力系统继电保护概述

1.1 继电保护的基本概念

继电保护是电力系统安全稳定运行的重要保障,它是指在电力系统发生故障或异常状态时,能够自动、迅速、有选择地将故障元件从系统中切除,或发出警报信号,以防止故障扩大,保证电力系统的其余部分能够继续正常运行的一种技术措施。继电保护装置是实现这一功能的核心设备,它通过对电力系统中的电流、电压、频率等物理量的实时监测,与预设的保护定值进行比较,当监测到的物理量超过定值时,保护装置将发出跳闸信号或警报信号,以实现故障切除或提醒运维人员及时处理。继电保护的基本任务包括:对电力系统的故障进行快速、准确的检测和定位;对故障元件进行快速切除,以防止故障扩大;在故障切除后,能够可靠地恢复电力系统的正常运行;同时,还需具备足够的灵敏度和选择性,以确保在发生故障时仅切除故障元件,而不影响非故障部分的正常运行。

1.2 继电保护的分类与工作原理

继电保护根据其工作原理和特性可以分为多种类型。常见的分类方法包括按保护对象、保护原理、保护范围等进行划分。(1)按保护对象分类,继电保护可以分为线路保护、发电机保护、变压器保护、母线保护等。不同类型的保护对象由于其运行特性和故障特点的不同,需要采用不同的保护原理和装置^[1]。(2)按保护原理分类,继电保护可以分为过电流保护、差动保护、距离保护、方向保护等。过电流保护是通过检测故障电流的大小来判断是否发生故障;差动保护则是通过比较被保护设备两侧的电流差异来判断故障;距离保护是根据故障点到保护安装点之间的电气距离来判断故障;方向保护则是根据故障电流的方向来判断故障。(3)继电保护还可以根据保护范围的大小进行分类,如主保护、

后备保护等。主保护是指能够直接切除故障元件的保护,通常具有较高的灵敏度和选择性;后备保护则是在主保护拒动时,能够切除故障元件的保护,通常具有较长的动作时间和较低的灵敏度。

2 自动化技术基础与在继电保护中的应用可行性

2.1 自动化技术的主要类型与特点

自动化技术在继电保护领域的应用主要依托以下核心技术:(1)SCADA系统:实现电力参数实时监测与数据采集,为运维提供直观系统状态视图。其支持的广域测量技术可获取全网动态数据,为继电保护装置提供精准的运行参数基准。(2)智能RTU:采用嵌入式微处理器技术,在10kV配电网中实现故障电流突变检测,响应时间 $\leq 10\text{ms}$ 。其具备的自适应采样算法可根据负荷变化自动调整采样频率(50Hz-1kHz)。(3)边缘计算节点:部署于变电站智能终端,集成AI推理引擎。在某220kV变电站应用中,实现母线故障类型识别准确率99.2%,较传统方法提升18%。(4)工业物联网平台:构建三层架构(感知层-网络层-应用层),支持2000+继电保护装置并发接入。其时间同步精度达 $\pm 1\mu\text{s}$,满足差动保护对时要求。这些技术通过实时数据交互、智能算法嵌入和分布式协同控制,为继电保护提供了可靠的技术支撑。在110kV线路保护中,基于自动化技术的故障定位误差可控制在50米以内,较传统方法提升3倍。

2.2 自动化技术在电力系统中的应用现状

当前,自动化技术在电力系统中的应用已经取得显著的成效。在发电环节,自动化技术实现了对发电机组的远程监控和自动调节,提高发电效率和稳定性。在输电环节,自动化技术通过对输电线路的实时监测和故障预警,有效降低了线路故障率,保障电力输送的连续性和可靠性。在配电环节,自动化技术实现对配电网的智能化管理和优化调度,提高了配电效率和供电质量。

另外，自动化技术还在电力系统的运维管理中发挥着重要作用。通过远程监控和数据分析，运维人员能够及时发现和处理系统异常情况，降低运维成本和风险；自动化技术还推动了电力系统的智能化升级，为实现能源互联网和可持续发展目标提供有力支持。

2.3 自动化技术应用于继电保护的优势与可行性分析

将自动化技术应用于继电保护，具有显著的优势和可行性。一方面，自动化技术能够实现对电力系统各项参数的实时监测和数据分析，为继电保护提供准确、可靠的故障信息。通过算法优化和数据处理，自动化技术能够快速识别故障类型和位置，为继电保护装置提供精确的跳闸指令，实现故障的快速切除^[2]。另一方面，自动化技术还能够提升继电保护的可靠性和灵活性。传统的继电保护装置往往存在误动和拒动的问题，而自动化技术通过引入冗余配置、故障自诊断等功能，提高了保护的可靠性和准确性。自动化技术还支持远程配置和升级，使得继电保护装置能够灵活适应电力系统结构的变化和运行需求。

3 自动化技术在继电保护配置中的应用

3.1 自动化设备在继电保护中的应用

自动化设备在继电保护配置中占据核心地位，显著提升电力系统的可靠性与安全性。智能传感器应用广泛，在某220kV变电站中，采用光纤电流传感器实时监测母线电流。其测量精度可达0.1%，远高于传统电磁式传感器。当线路发生短路故障，电流瞬间大幅上升，智能传感器迅速捕捉这一变化，并在1毫秒内将精确数据传输至继电保护装置，为后续快速准确的故障判断提供关键依据。远程终端单元（RTU）在远程变电站发挥关键作用。例如，位于偏远山区的一座110kV变电站，通过RTU实时采集站内电压、电流等数据。一旦线路出现异常，RTU立即将数据通过无线网络传输至几十公里外的中央控制室。在一次线路单相接地故障中，RTU在2毫秒内完成数据上传，使运维人员能及时进行远程故障诊断与处理，极大缩短了停电时间。可编程逻辑控制器（PLC）在复杂保护逻辑实现上优势明显。在某大型工业园区的供电系统中，PLC依据不同运行工况，执行多样化保护策略。当园区内大型设备启动导致电流短时冲击，PLC通过内部预设逻辑，准确判断这并非故障电流，避免继电保护装置误动作；而当真正的相间短路故障发生时，PLC迅速输出跳闸指令，在5毫秒内切断故障电路，保障园区供电安全。

3.2 自动化技术实现继电保护配置的智能化

通过引入人工智能、大数据分析和机器学习等技

术，自动化技术能够实现继电保护的智能配置和优化。例如，基于大数据分析的故障预测算法能够提前识别潜在故障，为继电保护装置提供预警信息，从而提前采取措施避免故障发生。机器学习技术则能够通过历史故障数据的训练和学习，不断优化保护策略和定值设置，提升保护的准确性和可靠性。人工智能技术还能够实现继电保护的自适应调整，根据电力系统的实时运行状态和故障特征，自动调整保护参数和逻辑，确保保护的有效性和及时性^[3]。

3.3 自动化通信技术在继电保护系统中的应用

随着通信技术的不断发展，光纤通信、无线通信等高速、可靠的通信技术被广泛应用于继电保护系统中。这些通信技术不仅能够实现保护装置之间的实时数据传输和状态监测，还能够支持远程配置和故障诊断。光纤通信以其高速、抗干扰能力强的特点，成为继电保护系统通信的首选方案。无线通信技术则以其灵活性和便捷性，在特定场景下为继电保护提供了有效的通信手段。另外，自动化通信技术还支持保护装置的冗余配置和故障切换，确保在通信网络故障时，继电保护系统仍能够正常工作。

4 基于自动化技术的继电保护优化策略

4.1 基于实时监测的保护定值自适应调整

在电力系统复杂多变的运行环境下，基于实时监测的保护定值自适应调整策略至关重要。借助自动化技术，通过分布于电力系统各处的智能传感器，可实时采集海量运行数据，涵盖电流、电压、功率以及系统频率等关键电气量，还包括设备温度、运行状态等非电气量信息。这些数据被快速传输至数据分析中心，运用先进的数据处理算法与模型，对其进行深度剖析，精准提取能够反映电力系统实时运行状态变化的特征量。例如，在电力系统负荷突变、线路故障或有新电源接入时，系统运行参数会随之改变，通过实时监测数据可及时捕捉到这些变化。基于分析结果，保护定值自适应调整算法发挥作用。以电流保护为例，当系统运行方式转变，导致短路电流大小和分布发生变化时，自适应算法依据实时采集的电流数据，自动计算并调整电流保护的動作定值，确保在新的运行工况下，继电保护既能迅速准确地切除故障，又能避免因定值不合理导致的误动作。对于距离保护，算法会根据实时监测的电压、电流相位关系以及线路参数变化，动态调整距离保护的動作特性与定值，以适应电力系统运行方式的动态变化，显著提升继电保护的灵敏性与可靠性，保障电力系统安全稳定运行。

4.2 继电保护装置的冗余配置与可靠性优化

继电保护装置的冗余配置是提升电力系统可靠性的关键手段。其原理在于通过增设备用保护装置或备用通道，当主保护装置或主通信通道出现故障时，备用部分能迅速投入运行，维持继电保护系统正常工作。在硬件冗余方面，常见的双重化保护配置，即设置两套相互独立且功能相同的保护装置，同时对电力系统运行状态进行监测与保护。当其中一套装置发生故障时，另一套可立即接替工作，极大降低因保护装置硬件故障导致的保护拒动风险。软件冗余则采用容错算法，即便在软件运行过程中出现局部错误或异常，算法也能通过内部纠错机制，保证软件整体功能正常运行，维持保护装置的准确动作。通信冗余通过搭建双通信链路，如在光纤通信基础上增设无线通信备用链路，确保在主通信链路遭受物理损坏、信号干扰等情况时，继电保护装置之间以及与监控系统间的数据传输不受影响，保障保护动作指令的及时下达与执行；为评估冗余配置系统的可靠性，常运用故障树分析（FTA）与可靠性框图（RBD）等工具。故障树分析从系统故障现象出发，通过逻辑推理，找出导致故障发生的所有可能原因及原因组合，从而计算系统故障概率；可靠性框图则以图形化方式展示系统各组成部分之间的逻辑关系，结合各部分的可靠性指标，计算系统整体可靠度。依据可靠性评估结果，可针对性地优化冗余配置方案^[4]。比如，在选择冗余设备时，综合考虑设备的可靠性指标、成本以及维护难度等因素，选择性价比高且可靠性强的设备；优化冗余结构，合理安排备用设备与主设备的连接方式和切换逻辑，在确保系统可靠性满足要求的同时，最大程度降低成本，提升继电保护系统的经济性与可靠性。

4.3 自动化技术助力继电保护系统的故障诊断与维护优化

基于信号处理的故障诊断方法，如小波分析与傅里叶变换，可对继电保护装置采集的电气信号进行分析处理。小波分析能够在不同时间尺度下对信号进行分解，有效提取信号中的瞬态特征与奇异点，有助于准确识别故障发生时刻与故障类型；傅里叶变换则将时域信号转

换为频域信号，通过分析信号的频率成分，判断是否存在异常频率分量，以此诊断设备故障。基于人工智能的故障诊断方法，如神经网络与支持向量机，通过对大量历史故障数据和正常运行数据的学习训练，构建故障诊断模型。利用自动化监测与数据分析技术，可实现继电保护装置的预测性维护。通过持续实时监测装置的运行参数，运用数据挖掘与机器学习算法，对设备运行状态进行趋势分析与预测。例如，通过监测保护装置的工作温度、电源电压波动、信号传输延迟等参数，结合历史数据与设备老化模型，预测装置可能出现故障的时间与类型。基于预测结果，提前制定维护计划，安排维护人员在设备即将发生故障前进行检修与维护，更换老化部件、优化软件程序等。这种预测性维护策略能有效降低设备故障率，减少因设备突发故障导致的停电时间，延长设备使用寿命，同时降低运维成本，提高电力系统的整体运行效率与可靠性。

结束语

综上所述，自动化技术在电力系统继电保护配置与优化中的应用，不仅提升了保护的效率和准确性，还显著增强了电力系统的可靠性和安全性。随着智能电网和物联网技术的不断发展，自动化技术在继电保护中的应用前景将更加广阔。未来，应继续深化自动化技术与继电保护技术的融合创新，不断提升继电保护系统的智能化水平，为电力系统的安全稳定运行提供更加全面、高效的保障。

参考文献

- [1]林琳,郭珉.电力系统中继电保护自动化的应用[J].大众标准化,2023(21):158-160.
- [2]成瑀,杨子荷.电力系统中的继电保护自动化技术分析[J].集成电路应用,2023(10):246-247.
- [3]徐婷婷.继电保护自动化技术在电力系统中的应用[J].现代工业经济和信息化,2023(09):181-183.
- [4]吴玉玲,王能胜,王黄磊等.继电保护自动化技术在电力系统中的应用研究[J].信息技术,2021(04):164-169.