

智能变电站继电保护技术优化研究

王英哲

乐山电力股份有限公司 四川 乐山 614000

摘要：本文围绕智能变电站继电保护技术优化展开研究。阐述了智能变电站特点、继电保护技术原理及现状。指出优化的必要性，包括应对大规模用电需求、提升电能传输稳定性与设备可靠性、增强系统灵活性与适应性。分析现有技术存在的问题，如设备老化与兼容性、光纤不稳定与信息安全风险、数据同步与硬件模块化难题。提出了设备智能化与标准化、优化系统结构、提升信息安全性与稳定性、实现硬件模块化与软件组件化等优化策略，以提升继电保护系统性能。

关键词：智能变电站；继电保护技术；优化策略

1 智能变电站与继电保护技术概述

1.1 智能变电站的特点

智能变电站作为现代电力系统的核心枢纽，融合了先进的传感器技术、通信技术与信息技术，展现出诸多传统变电站无可比拟的优势。其数字化、网络化与智能化特性是显著标志。在数字化方面，智能变电站采用电子式互感器替代传统电磁式互感器，将一次设备的模拟量转换为数字量，通过光纤进行传输，大幅提高数据采集的精度和可靠性。网络化则体现在站内设备之间通过高速以太网进行通信，实现信息的共享和交互，打破传统变电站设备之间信息孤岛的局面。智能化更是贯穿于变电站运行的全过程，从设备状态监测、故障诊断到自动控制，智能变电站能够实时感知设备运行状态，通过智能分析和决策系统，自动调整运行参数，实现变电站的优化运行。智能变电站还具备高度的集成性，将传统变电站中分散的保护、控制、测量等功能集成到少数智能电子设备中，减少了设备数量和占地面积，降低建设和运维成本。

1.2 继电保护技术的基本原理

继电保护技术是保障电力系统安全稳定运行的关键防线，其基本原理基于对电力系统故障特征的检测和判断。当电力系统发生短路、过载、接地等故障时，电流、电压、功率等电气量会发生异常变化^[1]。继电保护装置通过安装在电力系统各节点的传感器实时采集这些电气量，并与预先设定的正常运行参数进行比较。一旦检测到电气量超出正常范围，达到保护装置的动作阈值，继电保护装置就会迅速发出跳闸命令，切断故障线路，防止故障范围扩大，保障非故障部分的正常运行。继电保护还具备选择性、速动性、灵敏性和可靠性等基本要求，以确保在各种复杂故障情况下能够准确、快速地动作。

1.3 智能变电站继电保护技术的现状

目前，智能变电站继电保护技术已经取得一定的发展成果。在技术应用方面，数字化保护装置得到广泛应用，这些装置基于数字信号处理技术，能够更快速、准确地处理和分析故障信息。网络化的通信方式使得保护装置之间能够实现快速的信息交互和协同动作，提高继电保护系统的整体性能。然而，智能变电站继电保护技术在实际应用中仍面临一些挑战。例如，不同厂家生产的智能电子设备在通信协议、数据格式等方面存在差异，导致设备之间的互操作性较差；随着智能变电站规模的不断扩大和功能的日益复杂，继电保护系统的运行维护难度也逐渐增加，对运维人员的技术水平提出了更高的要求。

2 智能变电站继电保护技术优化的必要性

2.1 应对大规模用电需求的挑战

随着社会经济的快速发展，工业生产和居民生活对电力的需求不断攀升，大规模用电已成为常态。智能变电站作为电力输送和分配的关键节点，其继电保护系统必须具备更强的适应能力。大规模用电可能导致电网负荷波动加剧，短路电流水平发生变化，传统的继电保护技术在面对这种复杂多变的运行工况时，可能出现保护误动或拒动的情况。

2.2 提升电能传输稳定性与设备运行可靠性

电能传输的稳定性和设备运行的可靠性是电力系统高效运行的基础。智能变电站继电保护技术的优化对于实现这一目标至关重要。优化后的继电保护系统能够更快速、准确地检测和切除故障，减少故障对电能传输的影响，降低因故障导致的电压波动和频率偏移，从而提高电能传输的稳定性。通过对继电保护技术的优化，可以实现对变电站设备运行状态的实时监测和故障预警，

提前发现设备潜在的故障隐患,及时采取维护措施,避免设备故障的发生,提高设备运行的可靠性,减少设备维修成本和停电时间。

2.3 增强继电保护系统的灵活性与适应性

现代电力系统正朝着多元化、分布式的方向发展,大量分布式电源、储能装置和电动汽车等接入电网,使得电网的结构和运行方式变得更加复杂。这就要求智能变电站继电保护系统具备更强的灵活性和适应性^[2]。优化继电保护技术可以通过引入先进的控制算法和智能决策系统,使继电保护装置能够根据电网运行方式的变化自动调整保护定值和动作特性,适应不同电源接入和负荷变化的需求。优化后的继电保护系统还能够与其他智能设备和系统进行协同工作,实现对电网的更高效管理和控制。

3 智能变电站继电保护现有技术存在的问题

3.1 设备老化与兼容性问题

随着智能变电站运行时间的增长,部分继电保护设备逐渐出现老化现象。设备老化会导致其性能下降,如传感器精度降低、通信模块稳定性变差等,影响继电保护装置的正常运行。由于智能变电站建设过程中采用了不同厂家、不同时期的设备,这些设备在通信协议、接口标准等方面存在差异,导致设备之间的兼容性问题突出。兼容性问题使得继电保护系统在信息交互和协同动作时容易出现故障,降低了系统的整体可靠性。

3.2 光纤不稳定与信息安全风险

在智能变电站继电保护系统中,光纤通信作为主要的信息传输方式,其稳定性直接影响着继电保护的性。然而光纤容易受到外界环境因素的影响,如温度变化、机械损伤等,可能导致光纤信号衰减、中断等问题,进而影响继电保护装置之间的信息交互。随着智能变电站网络化程度的不断提高,信息安全风险也日益凸显。继电保护系统中的数据包含着重要的电网运行信息和控制指令,一旦遭受网络攻击,如黑客入侵、病毒感染等,可能导致保护装置误动作、数据篡改等严重后果,威胁电力系统的安全稳定运行。

3.3 数据同步与保护装置硬件模块化难题

在智能变电站继电保护系统中,多个保护装置需要实时采集和处理大量的数据,数据同步是确保保护装置正确动作的关键。由于不同装置的采样频率、传输延迟等因素的影响,实现高精度的数据同步存在一定的困难。数据不同步可能导致保护装置对故障的判断出现偏差,从而引发保护误动或拒动。保护装置硬件模块化也是当前面临的一个难题。硬件模块化能够提高设备的可

维护性和可扩展性,但目前保护装置的硬件设计缺乏统一的标准和规范,不同厂家的硬件模块之间难以互换和集成,限制了继电保护系统的升级和优化。

4 智能变电站继电保护技术优化策略

4.1 设备智能化与标准化

实现设备智能化是智能变电站继电保护技术优化的核心路径之一,对提升系统整体性能具有关键意义。在智能化方面,人工智能与大数据技术的深度融合为继电保护设备赋予了全新能力。以机器学习算法为例,通过对智能变电站长期积累的海量运行数据,如设备的电流、电压、温度、振动等参数进行分析,能够建立精准的设备运行状态模型。该模型可实时监测设备运行状况,预测设备故障的发生概率。当预测到某台变压器可能出现绕组过热故障时,继电保护设备能够提前发出预警,并根据预设策略自动调整运行参数,如降低变压器负载,避免故障发生。深度学习算法可对故障波形进行分析,快速识别故障类型和故障位置,极大提高了故障处理的效率和准确性^[3]。在设备标准化建设方面,统一的通信协议、接口标准和数据格式是保障设备互操作性和兼容性的基础。当前,智能变电站中存在多种通信协议,如IEC61850、Modbus等,不同协议间的差异导致设备之间信息交互困难。通过推行IEC61850标准,实现了变电站内智能电子设备间的无缝通信,使保护装置、测控装置、计量装置等能够高效共享数据,协同工作。严格制定设备制造和检验标准,从原材料采购、生产工艺到成品检测,建立全流程质量管控体系。

4.2 优化继电保护系统结构

优化继电保护系统结构是提升系统性能和可靠性的重要举措,分层分布式系统结构是当前的主流选择。在过程层,作为继电保护系统的数据采集源头,优化传感器和智能终端的配置至关重要。采用高精度电子式互感器替代传统电磁式互感器,能够实现更精准的电气量采集,减少测量误差。智能终端具备强大的数据处理和传输能力,可将采集到的模拟量转换为数字量,并通过光纤快速传输至间隔层。间隔层是继电保护系统的核心处理环节,加强保护装置之间的协同工作能够实现故障的快速定位和隔离。各间隔保护装置通过高速以太网进行通信,共享故障信息和运行状态。当某条线路发生短路故障时,该线路的保护装置检测到故障后,立即将故障信息发送给相邻线路和变电站内的其他保护装置。其他保护装置根据预设的逻辑和策略,判断故障是否在自己的保护范围内,从而实现有选择性地切除故障线路,避免故障范围扩大。站控层作为整个继电保护系统的大

脑,建立智能决策系统可实现对系统的统一管理和控制。智能决策系统通过收集和分析来自过程层和间隔层的大量数据,实时掌握变电站的运行状态。当系统发生故障时,智能决策系统能够快速分析故障原因和影响范围,制定最优的故障处理方案,并向间隔层和过程层下达控制指令。站控层还可对继电保护系统进行远程配置和维护,提高运维效率,降低运维成本。同时优化系统结构减少设备之间的连接电缆,不仅降低系统的复杂性,还减少因电缆故障导致的系统故障,提高了系统的可靠性。

4.3 提升信息安全性与稳定性

在智能变电站继电保护系统中,提升信息安全性与稳定性是保障系统可靠运行的重要前提。针对光纤通信不稳定的问题,需要从多个方面采取措施。在光纤线路维护和管理上,建立定期巡检制度,及时发现并处理光纤线路的老化、破损等问题。采用冗余光纤配置,即同时铺设多条光纤线路,当一条线路出现故障时,可自动切换到备用线路,确保通信不中断。引入光信号放大技术,对长距离传输过程中衰减的光信号进行放大,保证信号的强度和质量。利用先进的光纤监测技术,如光时域反射技术(OTDR),实时监测光纤的长度、损耗、故障点等信息,实现对光纤线路的精准管理和快速故障定位。在信息安全方面,构建完善的信息安全防护体系是关键。首先,采用加密技术对传输的数据进行加密处理,确保数据在传输过程中不被窃取和篡改。其次,实施严格的访问控制技术,对进入继电保护系统的用户和设备进行身份认证和权限管理,防止非法用户和设备接入系统。部署入侵检测系统,实时监测系统的网络流量和设备运行状态,一旦发现异常行为,立即发出警报并采取相应的防护措施。另外,加强对继电保护系统软件和固件的安全管理,定期进行漏洞扫描和补丁更新,修复已知的安全漏洞,防止黑客利用漏洞攻击系统,确保继电保护系统的安全稳定运行。

4.4 实现保护装置硬件模块化与软件组件化

实现保护装置硬件模块化与软件组件化是提高继电保护系统可维护性和可扩展性的有效途径。在硬件方面,制定统一的硬件模块标准是实现模块化的基础。统

一的标准明确了硬件模块的尺寸、接口、电气性能等参数,使不同厂家生产的硬件模块具有互换性和兼容性^[4]。采用模块化设计方法,将保护装置的硬件划分为多个功能模块,如采样模块负责采集电气量信号,处理模块对采集到的数据进行分析 and 计算,通信模块实现与其他设备的数据交互。这种模块化设计使得设备的安装、调试和维护更加便捷。当某个模块出现故障时,只需更换对应的模块,无需对整个装置进行更换,大大缩短了设备的维修时间,降低了维修成本。在软件方面,软件组件化开发能够提高软件的可扩展性和可维护性。将保护装置的软件功能划分为不同的组件,每个组件具有独立的功能和接口。各组件之间通过标准接口进行通信,当需要对软件功能进行升级或扩展时,只需对相应的组件进行修改或添加,而不影响其他组件的正常运行。通过硬件模块化和软件组件化,不仅提高了继电保护系统的开发效率和质量,还降低系统的维护成本,使系统能够更好地适应智能变电站不断发展的需求。

结束语

智能变电站继电保护技术的优化是保障电力系统安全稳定运行的关键。本文通过对智能变电站继电保护技术现状、问题及优化策略的研究,为提升继电保护系统的性能和可靠性提供了理论支持和实践指导。随着电力系统的不断发展,智能变电站继电保护技术仍面临诸多挑战,需要进一步深入研究。未来,应不断探索新技术、新方法,持续优化继电保护技术,以适应电力系统发展的需求,为电力行业的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]马旭,张嗣铂.智能变电站继电保护装置自动测试系统的设计和应用[J].光源与照明,2022(8):120-122.
- [2]赵秋雨,武红玉.基于SCD的继电保护网络通信路径自动规划技术研究及应用[J].许昌学院学报,2022,41(5):117-122.
- [3]薛晨.基于状态信息关联性的变电站继电保护实时检测方法研究[J].电气传动自动化,2022,44(5):44-47.
- [4]王栋,赵博.分区域广域继电保护的系統结构与故障识别[J].集成电路应用,2021,38(12):128-129.