

变电运行中的继电保护技术分析

李赞

内蒙古电力（集团）有限责任公司，包头供电分公司

【摘要】本文针对变电运行中的继电保护技术展开深入分析，重点探讨了其基本原理、主要功能以及在变电运行中的关键作用。通过梳理继电保护在装置老化、配置不合理以及通信融合不足等方面存在的问题，提出了强化继电保护技术、优化配置策略和提升通信技术融合度的解决措施。特别是智能在线核定技术、智能算法和高效通信网络的引入，为继电保护的精准性、实时性和可靠性提供了技术保障。文章旨在为提高现代变电运行的安全性和稳定性提供理论支持和实践指导。

【关键词】变电运行；继电保护；智能算法；通信技术

Analysis of Relay Protection Technology in Substation Operation

Li Yun

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd., Baotou Power Supply Branch

【Abstract】 This article conducts an in-depth analysis of relay protection technology in substation operation, focusing on its basic principles, main functions, and key roles in substation operation. By sorting out the problems of aging devices, unreasonable configuration, and insufficient communication integration in relay protection, solutions have been proposed to strengthen relay protection technology, optimize configuration strategies, and enhance communication technology integration. Especially with the introduction of intelligent online verification technology, intelligent algorithms, and efficient communication networks, technical guarantees have been provided for the accuracy, real-time performance, and reliability of relay protection. The article aims to provide theoretical support and practical guidance for improving the safety and stability of modern substation operation.

【Key words】 substation operation; Relay protection; Intelligent algorithm; communications technology

引言

随着电力系统规模的不断扩大和运行复杂性的逐步提升，变电运行中的继电保护技术成为确保电网安全与稳定运行的核心手段。继电保护不仅需要满足实时性和高效性的要求，还必须应对新能源接入和分布式电网结构带来的新挑战。然而，目前继电保护技术在装置老化、配置不合理以及通信技术融合度不足等方面仍存在显著问题。针对这些问题，本文结合实际运行需求，分析了继电保护技术的现状与不足，并提出了强化技术措施、优化配置策略及深化通信技术应用的具体解决方案。通过研究先进技术的应用，进一步探索提升继电保护系统可靠性和适应性的有效路径。

1 变电运行中的继电保护概述

1.1 继电保护的基本原理

继电保护是电力系统中确保设备安全与运行稳定的重要技术手段，其核心原理是通过实时监测电力系统中的电流、电压、频率等关键参数，当检测到异常或故障信号时，自动发出指令切断故障设备，避免事故的扩大化和设备损坏。继电保护装置由检测元件、测量元件、比较元件和执行

元件组成，形成一个完整的保护闭环。其工作过程通常包括故障检测、信号分析和指令执行三个环节。通过对短路、过载等典型电力故障的快速识别与隔离，继电保护在实现电网稳定运行的同时，保护了电力设备及相关人员的安全。

1.2 继电保护在变电运行中的关键作用

在变电运行中，继电保护是确保变电站安全可靠运行的核心技术。其关键作用体现在多个方面：首先，继电保护可有效防止变电站设备因过载、短路或其他异常情况导致损坏，从而延长设备使用寿命。其次，在发生故障时，继电保护能够快速切除故障设备，避免对系统其他部分造成连锁反应，维持电网的稳定性。此外，继电保护在保证供电可靠性和用户用电安全方面发挥了不可或缺的作用。通过先进的智能化技术应用，现代继电保护还实现了实时监控和故障定位，为变电运行的数字化管理提供了重要支撑。

2 变电运行中继电保护存在的问题

2.1 继电保护装置老化及更新不及时问题

2.1.1 装置老化导致的性能下降

继电保护装置的老化主要表现为硬件设备和内部元器件的物理性能下降。长期运行的继电保护设备，其电子元件、

传感器以及连接线路会受到环境温度、湿度、灰尘等多种因素的影响,逐步出现老化现象。这种老化直接导致装置的检测精度降低、动作响应延迟以及误报、漏报情况的增多。此外,由于早期继电保护装置的设计和制造工艺相对较为落后,其抗干扰能力和容错性能较低,在现代复杂电网运行环境下难以胜任动态变化的负荷和频繁的故障需求。这种性能下降不仅降低了保护装置的有效性,还增加了电网运行风险,可能引发更大范围的设备损坏和供电中断。

2.1.2 更新不及时带来的安全隐患

更新不及时是老化问题进一步扩大的主要原因之一。在许多变电站中,继电保护装置的更新频率未能跟上电网发展和技术进步的步伐,导致设备的功能和性能无法满足现代电力系统的需求。特别是对于负荷日益增长和新能源接入增多的电网来说,老旧装置的处理能力和适应性已经不能胜任。例如,一些老旧的继电保护装置无法支持智能化和远程监控功能,这使得故障检测和快速响应能力大打折扣。此外,更新不及时还可能导致装置兼容性问题,难以适应与新设备和新技术的协调运行,从而引发继电保护的盲区或误动问题。这些隐患一旦在运行中暴露,可能引发电网大规模事故,带来严重的经济损失和社会影响。

2.2 继电保护配置不合理问题

2.2.1 配置不当导致的保护盲区

继电保护配置的合理性直接影响到变电运行的安全性和稳定性。然而,在实际应用中,由于设计或实施阶段对系统需求和设备性能考虑不足,可能导致继电保护配置不当,从而形成保护盲区。这些盲区通常表现在两个方面:一是保护装置覆盖范围的遗漏,例如部分重要设备或节点未被纳入保护范围;二是保护装置的整定参数不准确,导致无法在故障发生时及时切除问题设备。保护盲区的存在使得某些故障无法被迅速识别和隔离,可能进一步扩大事故范围。此外,现代电网日益复杂,新能源的大规模接入和多种负荷的动态变化,也使得传统配置难以满足实际需求,从而加剧了保护盲区问题。为解决这一问题,必须加强电网结构的动态监控,优化保护装置的布置及整定参数,确保覆盖范围全面且响应迅速。

2.2.2 冗余配置造成的资源浪费

与配置不足形成鲜明对比的是,部分变电站在继电保护配置上存在过度冗余的现象。这种情况多由于缺乏统一规划或对系统实际需求认识不足而造成。过多的保护装置虽然在某些程度上可以提升可靠性,但也会带来诸如设备成本增加、维护复杂度上升以及资源浪费等问题。冗余配置不仅增加了设备购置和运行的经济成本,还可能引发不同保护装置之间的误动作或相互干扰,影响系统的整体协调性。

2.3 继电保护与通信技术融合不足问题

2.3.1 信息传输延迟影响保护效果

随着电网规模的扩大和运行环境的复杂化,继电保护系统对通信技术的依赖性越来越高。然而,在一些变电站中,

通信系统与继电保护的融合不足,导致信息传输延迟问题突出,严重影响保护装置的快速响应能力。例如,当故障发生时,保护装置需要通过通信网络与其他装置交换数据以判断故障位置并发出切断指令。如果通信延迟过大,可能导致故障设备未能及时切除,进一步扩大故障范围。特别是在新能源接入和分布式电网环境中,信息流量的急剧增加加剧了传输延迟的风险。因此,提升通信系统的传输速度与稳定性,优化数据处理流程,是提高继电保护性能的重要方向。

2.3.2 通信故障导致的保护失效

通信故障是继电保护运行中的另一重大隐患。当通信系统出现中断、误码或信号丢失时,继电保护装置可能无法获取必要的信息,导致保护动作的错误或失效。例如,光纤中断或网络节点故障可能中断保护装置之间的数据交换,使得故障判断和指令执行无法顺利完成。此外,通信设备的可靠性和抗干扰能力不足,也可能导致系统在外部环境干扰或异常负荷变化时无法正常运行。为减少通信故障对继电保护的影响,应加强通信系统的冗余设计,提升设备的抗干扰能力,并定期进行通信设备的检查和维护,确保其在复杂环境下的稳定运行。同时,可通过引入分布式保护方案和智能化技术,提高系统在通信故障条件下的容错性和自主响应能力。

3 变电运行中继电保护问题的解决措施

3.1 强化继电保护技术措施

3.1.1 智能在线核定技术

在变电运行过程中,智能在线核定技术作为一种现代化的继电保护手段,具有重要的技术优势。它通过实时在线监测电网运行状态,核定保护装置参数的合理性,从而确保保护系统能够及时、精准地响应异常状况。智能在线核定技术依赖于先进的传感设备和数据处理算法,可以对电压、电流、功率等关键参数进行连续记录和分析。结合大数据和人工智能技术,该方法能够动态调整继电保护装置的设定值,避免因固定参数设置导致的保护误动作或拒动问题。

此外,该技术显著提升了电力系统运行的透明度和可靠性。例如,在电网发生短路故障时,在线核定技术可以迅速核查故障点的参数特征,提供精确的定位信息,从而缩短检修时间,提高电网恢复效率。与此同时,这项技术还具有较强的适应性,能够根据负荷变化和季节性波动等因素,动态优化保护装置的整定值,进一步提高保护系统的运行效率。

3.1.2 过电压保护技术

过电压保护技术是保障变电运行安全的关键技术之一,主要用于防止由于过电压引起的设备损坏和系统故障。在变电站运行过程中,过电压的产生往往与雷击、操作冲击以及系统故障等因素密切相关,这对继电保护装置的灵敏度和快速反应能力提出了较高的要求。为应对这些挑战,现代过电压保护技术不断创新,采用多种手段实现综合防护。

一方面,先进的过电压保护装置能够实时监测系统电压

变化,准确识别过电压类型,并采取相应的保护措施。例如,针对雷电过电压,避雷器作为主要防护设备,可以通过快速放电将过电压能量泄放到地,从而有效保护设备安全。另一方面,在操作过电压保护中,采用电磁兼容性设计和绝缘强化技术,可以显著降低操作冲击对系统的影响。

3.2 优化继电保护配置

3.2.1 根据电网结构和运行需求合理配置保护

首先,应根据电网拓扑结构合理划分保护区域。对于主干线路、电厂和变电站等重要节点,应采用多级保护策略,包括主保护和后备保护,确保在主保护失效时,后备保护能够迅速启动,避免大范围停电事故。其次,应充分考虑电网运行需求及可能的故障类型,对保护装置进行针对性配置。例如,在负荷波动较大的地区,可采用动态整定值的保护装置,实时调整保护参数以适应系统变化。在一些高可靠性要求的场景(如医院、数据中心等),可以配置双重保护系统,确保即使一套保护系统出现故障,备用系统也能立即接管。

3.2.2 引入智能算法提高保护性能

一种典型的应用是基于神经网络的故障识别算法。该算法可以通过训练大数据样本,快速准确地识别出故障类型、故障位置及其成因,大幅缩短故障处理时间。例如,在电网发生短路时,智能算法可以分析故障电流的波形特征,迅速判断是否需要切除故障设备或采取其他保护措施。此外,模糊逻辑算法和遗传算法也被广泛应用于继电保护参数的优化和保护动作时序的设计,有效解决了传统方法难以处理的复杂非线性问题。

引入智能算法还为继电保护系统的自适应能力带来了革命性改变。通过不断采集和分析实时数据,智能算法能够对保护装置的设定值和保护逻辑进行动态调整,以适应负荷变化、系统扩展以及运行环境的变化。比如,在新能源接入和分布式电源增多的场景下,智能算法能够自动适应分布式电网的不确定性,提高保护系统的灵活性和稳定性。

3.3 提升继电保护与通信技术的融合度

3.3.1 加强通信技术研究与应用

首先,应加快研究高速、可靠的通信协议和传输网络。例如,基于 IEC 61850 标准的通信协议能够实现继电保护装置与监控系统之间的无缝连接,并通过标准化的数据建模和传输机制,确保不同厂商设备的互操作性。此外,光纤通信、5G 技术和下一代宽带网络的应用,可以显著提高数据传输的速度和稳定性,为继电保护系统提供更加快速、精准的故障

处理支持。

其次,应注重通信网络的安全性与冗余设计。电力通信网络是电网运行的核心支撑,其稳定性直接关系到继电保护的可靠运行。通过部署多路径冗余传输网络和分布式存储技术,可以有效降低单点故障或网络攻击对系统的影响。同时,加强通信加密技术和网络入侵检测系统的研究,能够防范网络威胁,提高系统抗干扰能力。

此外,加强通信技术与继电保护系统的联合仿真和测试也是提升融合度的重要措施。在实验室中模拟电网运行环境,对通信网络与保护装置之间的交互性能进行全面测试,不仅能够发现潜在的问题,还能为实际运行提供优化参考。

3.3.2 提高信息传输的实时性和准确性

为提升实时性,必须优化通信网络的架构和数据传输路径。例如,采用分层分区的通信网络设计可以减少信息传输的延迟,同时结合边缘计算技术,将部分计算任务下沉至保护装置或就近的边缘节点,降低数据回传中心的负担。此外,通过引入时间同步技术(如 IEEE 1588 PTP 协议),可以确保多设备间的时钟同步,进一步提高保护动作的协调性和准确性。

在提高信息传输准确性方面,先进的编码技术和数据校验机制发挥着重要作用。纠错编码技术能够有效识别并修正传输过程中可能出现的误码,确保数据的完整性和可靠性。同时,采用多通道并行传输和链路备份机制,可以降低通信链路故障对继电保护系统的影响,增强系统的容错能力。

4 结语

继电保护技术作为变电运行中的核心技术,直接关系到电网的安全稳定运行。通过本文的分析可以发现,继电保护在装置老化、配置优化及通信融合等方面仍存在改进空间。智能在线核定技术、过电压保护技术以及智能算法的引入,为继电保护技术提供了新的发展方向,同时通信技术的深度融合也为系统的实时性和可靠性提升奠定了基础。在未来的实践中,需要进一步加强技术研究与应用,完善相关配套设施,推动继电保护向智能化和数字化方向发展,以满足现代电力系统日益复杂的运行需求,为实现高效、安全的电网运行提供有力保障。

参考文献

- [1]申宝松,许传敏,赵岑冉.变电运行中的继电保护技术应用[J].集成电路应用,2023,40(09):174-175.
- [2]王贵平,史峰,闫述涛,等.变电系统中的继电保护技术应用[J].集成电路应用,2023,40(08):420-421.
- [3]王飞鹏.智能电网继电保护的关键技术分析[J].集成电路应用,2022,39(12):200-201.
- [4]季升.智能变电站的继电保护技术分析[J].集成电路应用,2022,39(09):158-159.