

继电保护系统的可靠性评估与提升

袁 悦 李英昊 黄豪翔

国网浙江省电力有限公司平湖市供电公司 浙江 嘉兴 314200

摘要：随着电力系统的快速发展，继电保护系统作为保障电网安全稳定运行的重要组成部分，其可靠性评估与提升显得尤为重要。本文旨在探讨继电保护系统的可靠性评估方法，并提出相应的提升策略，以期为电力系统的稳定运行提供参考。

关键词：继电保护系统；可靠性评估；提升策略；电力系统

引言

继电保护系统能够在电力系统发生故障时迅速切除故障部分，防止故障扩大，保护电网安全稳定运行。然而，由于电力系统运行环境的复杂性和不确定性，继电保护系统的可靠性面临诸多挑战。因此，对继电保护系统进行可靠性评估并提出提升策略，对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。

1 继电保护系统的可靠性评估方法

1.1 可靠性指标

在继电保护系统的可靠性评估中，主要关注以下几个关键指标：正确动作率、不正确动作率以及故障前平均时间（MTBF）。这些指标共同构成了评估继电保护系统可靠性的完整体系。

正确动作率：指的是在一定期限内，继电保护系统正确动作（即按照设计要求准确响应故障或异常情况）的次数与总动作次数之比。这一指标能够直观反映继电保护系统在面临实际故障时的响应能力和准确性。通过定期统计和分析正确动作率，可以及时发现系统存在的问题，并采取相应措施进行改进，以确保系统始终保持在最佳状态。

不正确动作率：包括误动率和拒动率两个子指标，它们分别反映了继电保护系统在不应该动作时却错误地动作（误动）和在应该动作时却未能动作（拒动）的情况。误动和拒动都是继电保护系统严重的性能缺陷，可能导致电网的误停电或故障扩大，对电网的安全稳定运行构成严重威胁^[1]。因此，降低不正确动作率是提升继电保护系统可靠性的关键所在。

故障前平均时间（MTBF）：表示从继电保护系统开始使用到首次发生故障的平均时间。MTBF越长，说明系统的稳定性越好，故障发生的概率越低。通过定期监测和分析MTBF，可以了解系统的使用寿命和故障趋势，为系统的维护、更换和升级提供科学依据。

在可靠性评估过程中，需要综合运用这些指标，对继电保护系统的性能进行全面、客观的评价。同时，结合电力系统的实际运行情况和继电保护系统的特点，可以进一步细化指标，如区分不同故障类型下的正确动作率 and 不正确动作率，以更准确地反映系统的性能差异。此外，还可以利用先进的统计方法和数据分析技术，对指标数据进行深入挖掘和分析，为继电保护系统的优化升级和故障预防提供更加精准的支持。

1.2 评估流程

继电保护系统的可靠性评估是一个系统而复杂的过程，它要求对系统的各个方面进行深入的剖析和准确的量化。为了确保评估结果的准确性和可靠性，需要遵循一套科学、严谨的评估流程。这一流程主要包括数据收集、指标计算以及分析评估三个关键步骤，每一步都至关重要，相互关联，共同构成了继电保护系统可靠性评估的完整框架。

1.2.1 数据收集

数据收集是继电保护系统可靠性评估的第一步，也是整个评估过程的基础。需要广泛而深入地收集继电保护系统的各类运行数据，包括但不限于系统的日常运行记录、故障记录、维护记录、检修记录以及相关的环境参数等。这些数据将为后续的计算和分析提供丰富的素材和依据。在数据收集过程中，要确保数据的真实性、完整性和准确性。为此，可以采用多种手段，如定期巡检、在线监测、故障录波等，以获取第一手资料。同时，还需要建立完善的数据管理制度，确保数据的及时录入、存储和备份，防止数据的丢失或篡改。

1.2.2 指标计算

在收集到足够的的数据后，就可以进入指标计算的阶段。根据继电保护系统的特点和评估需求，需要选择适当的可靠性指标进行计算。这些指标通常包括正确动作率、不正确动作率（包括误动率和拒动率）、故障前平

均时间 (MTBF) 等。在计算过程中, 要严格遵循相关的数学公式和统计方法, 确保计算结果的准确性和可靠性。同时, 还需要注意数据的筛选和清洗, 排除异常数据或无效数据对计算结果的影响^[2]。通过科学的计算, 可以将继电保护系统的性能量化成具体的数值, 为后续的分析评估提供有力的支持。

1.2.3 分析评估

最后, 需要对计算得到的可靠性指标进行深入的分析 and 评估。这一步骤是评估流程的核心, 也是提升继电保护系统可靠性的关键所在。在分析评估过程中, 要结合电力系统的实际运行情况和继电保护系统的特点, 对各项指标进行逐一剖析。要关注指标的变化趋势和异常情况, 找出系统存在的薄弱环节和潜在风险。同时, 还需要将各项指标与行业标准或历史数据进行对比, 以评估继电保护系统的可靠性水平是否达到要求。通过深入的分析评估, 可以提出针对性的改进措施和建议, 如优化系统设计、加强设备维护、提高检修质量等。这些措施的实施将有效提升继电保护系统的可靠性, 为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

2 继电保护系统可靠性的提升策略

2.1 遵循国网公司“九统一”标准

国网公司提出的“九统一”标准, 旨在通过标准化和规范化, 提升继电保护系统的可靠性。这一标准涵盖了功能配置、回路设计、端子排布置、接口标准、屏柜压板、保护定值报告格式、面板显示灯、装置菜单以及信息规范等多个方面, 为电力系统的稳定运行提供了有力保障。具体来说, 功能配置统一确保了保护装置的功能正确、可靠, 满足电力系统的保护需求。回路设计统一则通过规划保护装置的回路设计, 减少回路设计错误和故障, 提高电力系统的可靠性。端子排布置统一规范了端子排的布置方式, 便于现场操作和维护, 降低了操作和维护的难度。接口标准统一确保了保护装置与其他设备之间的兼容性和互操作性, 减少了设备之间的不兼容和故障。屏柜压板统一规范了屏柜压板的规格和布局, 提高了设备的可维护性和可靠性。保护定值报告格式统一规范了保护定值的设定和保护报告的格式, 便于运行人员进行分析和判断。面板显示灯统一规范了面板显示灯的标识和颜色, 帮助运行人员快速识别保护装置的状态。装置菜单统一规范了装置的菜单结构和操作方式, 提高了运行人员的操作效率和准确性。信息规范统一制定了统一的信息规范, 包括故障信息、告警信息等, 便于运行人员进行故障分析和处理。遵循国网公司的“九统一”标准, 不仅有助于提升继电保护系统的可

靠性, 还能提高电力系统的运行效率。

2.2 精确整定与定期校验

在继电保护系统的可靠性提升策略中, 精确整定与定期校验是两个不可或缺的环节。它们对于确保继电保护系统的准确动作和持续稳定运行具有至关重要的作用。首先, 精确整定是继电保护系统正确动作的基础。整定计算需要根据电力系统的实际运行情况和继电保护装置的特性, 合理确定各种保护功能的动作阈值和时间参数。这一过程中, 必须充分考虑系统的短路电流、负荷变化、线路参数等因素, 以确保整定值既能够准确反映故障情况, 又不会因误动而影响系统的正常运行。因此, 整定计算应由经验丰富的专业人员完成, 并严格按照相关规程和标准进行。其次, 新型继电保护装置在投入运行前, 必须按照规程进行严格的检验。这包括外观检查、功能测试、性能测试等多个方面, 以确保装置的各项指标均符合设计要求。同时, 还应进行模拟故障试验, 验证装置在实际故障情况下的动作性能。只有通过全面而严格的检验, 才能确保继电保护装置在投入运行后能够可靠地发挥作用^[3]。此外, 继电保护装置在运行过程中, 由于环境因素、设备老化等原因, 其性能可能会逐渐下降。因此, 必须加强维护, 定期进行校验。校验的内容包括检查装置的外观、接线是否完好, 测试装置的动作性能和准确性等。通过定期校验, 可以及时发现并处理潜在的问题, 确保继电保护装置始终保持良好的工作状态。具体来说, 定期校验应遵循以下原则: 一是制定合理的校验周期, 根据装置的使用情况和环境条件, 确定适当的校验频率; 二是采用先进的校验方法和设备, 提高校验的准确性和效率; 三是建立完善的校验记录和档案, 为后续的管理提供可靠的依据。

2.3 加强二次回路技术改造

为了进一步提升继电保护系统的可靠性, 针对二次回路中存在的问题, 提出以下技术改造建议: 首先, 针对直流系统电压脉动系数大、易导致保护设备工作不稳定的问题, 建议对直流系统进行技术改造。考虑将现有的硅整流装置升级为整流输出交流分量更小、可靠性更高的集成电路硅整流充电装置。这种新型装置能够有效减少直流系统中的电压波动, 提高保护设备的稳定性和准确性, 从而降低误动和拒动的风险。其次, 针对雨季及潮湿天气下户外端子箱易发生直流失电的问题, 建议对升压站的户外端子箱进行改造升级。具体来说, 可以将现有的易老化端子排更换为具有更高绝缘性能和防潮能力的陶瓷端子。这种改造能够显著提升二次回路的绝缘水平, 减少因潮湿环境导致的故障发生, 确保二次回

路的稳定运行。此外,为了提高二次回路的清晰度和可维护性,建议对二次回路进行全面的核对和整改。通过细致的工作,将控制、保护、信号、合闸及热工等回路逐步分开,避免回路间的相互干扰。这将有助于未来的故障排查和检修工作,提高维护效率和准确性。最后,在设备更新方面,建议将传统的水银接点瓦斯继电器替换为更加可靠的干簧接点瓦斯继电器。干簧接点具有灵敏度高、稳定性好的特点,能够更准确地反映变压器的瓦斯情况,提高保护设备的可靠性。同时,也可以考虑将低电压电磁型继电器更换为集成型静态继电器,以进一步提升二次回路的整体性能。

2.4 引入智能监测技术

在继电保护系统的可靠性提升策略中,引入智能监测技术是一个极具前瞻性和创新性的举措。随着人工智能、大数据等技术的飞速发展,智能监测技术已经具备了实时监测和诊断继电保护系统的能力,为提升系统可靠性提供了有力支持。智能监测技术通过部署各类高精度传感器和智能算法,能够实时采集继电保护系统的运行数据,包括电流、电压、频率等关键参数。这些数据被传输至数据分析平台后,智能算法会对其进行深度挖掘和综合分析,以发现潜在的故障模式和异常状态。具体来说,智能监测技术可以通过以下几个方面提升继电保护系统的可靠性:首先,智能算法能够实时分析运行数据,识别出异常或偏离正常范围的参数,及时发出预警信号。这使得运维人员能够在故障发生前采取预防措施,避免故障扩大化,确保系统的稳定运行^[4]。其次,智能监测技术还能够对继电保护系统的历史数据进行深度学习,挖掘出故障发生的规律和趋势。这有助于运维人员提前制定针对性的维护计划,优化维护策略,减少非计划停机时间。此外,智能监测技术还具备自我学习和优化的能力。通过不断学习和积累运行数据,智能算法能够逐渐提高故障识别的准确性和预警的及时性,为继电保护系统的长期稳定运行提供有力保障。

2.5 强化运行维护和管理

在继电保护系统的长期运行中,强化运行维护和管理是确保其可靠性的重要环节。通过定期的检查、维护以及加强人员培训,可以有效提升系统的稳定性和安

全性。首先,定期对继电保护设备进行检查和维护是至关重要的。这包括但不限于对设备的外观进行清洁,以确保没有灰尘或杂物影响其正常运行;检查设备的接线是否牢固、有无破损或老化现象,以确保信号的准确传输;紧固设备的连接部分,防止因振动或温度变化导致的松动。这些维护措施应形成制度化的计划,并按照既定的时间表严格执行,以确保设备的持续可靠运行。其次,加强运行操作人员的现场培训也是提升继电保护系统可靠性的关键。随着技术的不断进步,新的继电保护设备不断涌现,操作人员需要不断更新知识和技能,以适应新设备的要求。培训应涵盖新设备的操作流程、故障处理、维护保养等方面,通过理论讲解与实操演练相结合的方式,提高操作人员的熟悉程度和业务素质。此外,还应建立健全的运维管理制度,明确各级人员的职责和权限,确保运维工作的有序进行。同时,应加强对运维过程的监督和考核,对发现的问题及时进行整改,并对整改情况进行跟踪和复查,以确保问题得到有效解决。

结语

继电保护系统的可靠性评估与提升是保障电力系统安全稳定运行的重要措施。通过遵循国网公司“九统一”标准、精确整定与定期校验、加强二次回路技术改造、引入智能监测技术以及强化运行维护和管理等措施,可以有效提升继电保护系统的可靠性水平。未来,随着技术的不断进步和应用场景的拓展,继电保护系统的可靠性评估与提升工作将面临更多挑战和机遇。

参考文献

- [1]韩健硕.继电保护系统可靠性检测与风险评估研究[D].华北电力大学,2021.
- [2]王幸主,文明浩,李嘉琪,等.双重化继电保护系统可靠性分析方法研究[J].电力系统保护与控制,2024,52(17):168-176.
- [3]金基伟,杨令,王开波,等.220kV智能变电站继电保护系统可靠性探析[J].通信电源技术,2019,36(09):277-278.
- [4]吴永红.电力系统继电保护系统可靠性分析研究[C]//江西省电机工程学会.2020年江西省电机工程学会年会论文集.江西电力工程有限公司贵溪分公司,2021:2.