

智能变电站继电保护系统可靠性研究

吴 衡

杭州水电建筑集团有限公司 浙江 杭州 310016

【摘要】：智能变电站继电保护系统是电网安全运行的关键设施，其运行稳定状态直接关系供电网络整体安全。结合智能变电站数字化网络化运行特征，梳理继电保护系统运行中的现存短板，剖析各类内在外在条件对运行稳定状态产生的作用。从设备配置运行环境运维管理等角度梳理提升路径，完善系统运行管控方式，为电力行业提升继电保护运行品质、稳固电网安全运行根基提供参考借鉴。

【关键词】：智能变电站；继电保护；可靠性；运行维护；优化路径

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.090

引言

电力网络智能化升级进程持续推进，智能变电站应用范围不断拓宽，继电保护系统承担着故障隔离与设备防护的关键职责。电网运行工况日趋复杂，站内设备结构与通信模式不断革新，给继电保护系统平稳运行带来诸多新的挑战。各类运行隐患若不能及时把控，极易引发供电异常与设备损伤。梳理系统运行短板、理清各类影响条件、完善防护管控方式，对维系电网常态供电秩序有着重要现实价值。

1 智能变电站继电保护系统可靠性核心内涵及重要意义

1.1 智能变电站继电保护系统可靠性的核心定义

智能变电站继电保护系统的可靠性，核心是指系统在规定的运行条件、规定的时间范围内，能够稳定发挥故障检测、判断、跳闸及信号反馈等核心功能，准确响应电网各类故障，不发生误动、拒动等异常情况的能力。其核心内涵涵盖稳定性、准确性与连续性三个维度，稳定性体现为系统在复杂电网环境下长期运行无异常；准确性体现为故障识别精准、动作指令无误；连续性体现为故障发生时能够快速响应，避免因系统中断导致故障扩大^[1]。不同于传统变电站继电保护系统，智能变电站继电保护系统依托数字化采样、网络化通信，其可靠性还体现在数据传输的实时性与完整性，以及不同保护装置间的协同配合能力，任何一个环节出现偏差，都可能影响系统整体可靠性。

1.2 智能变电站继电保护系统可靠性的核心价值

继电保护系统的可靠性直接关联电力系统的安全稳定运行，其重要意义体现在多个层面。从电网安全角度而言，可靠的继电保护系统能够在故障发生瞬间快速识别故障类型、定位故障范围，及时发出跳闸指令，隔离故障设备，防止故障蔓延至整个电网，避免大面积停电事故的发生，保障电网整体运行安全。从设备保护角度而言，继电保护系统可有效避免电力设备在故障状态下长期运行，减少设备损坏程度，延长设备使用寿命，降低电力企业设备维护与更换成本。从供电服务角度而

言，继电保护系统的可靠运行能够保障供电的连续性与稳定性，减少因故障停电给工业生产、居民生活带来的损失，提升供电服务质量，助力电力行业高质量发展。

1.3 智能变电站继电保护系统的运行特性与可靠性关联

智能变电站继电保护系统依托数字化技术、网络通信技术与智能控制技术，形成了与传统系统不同的运行特性，这些特性直接影响系统可靠性。数字化采样替代了传统的模拟采样，提升了数据采集的精度，但也对采样装置的稳定性、数据传输的抗干扰能力提出了更高要求；网络化通信实现了保护装置、测控装置、断路器等设备的信息共享，提升了系统协同效率，但也增加了通信链路故障引发系统异常的风险。智能变电站继电保护系统的逻辑控制更复杂，依赖软件程序的正常运行，软件漏洞、程序误判等问题都可能影响系统可靠性，这些运行特性与可靠性密切相关，也是后续研究的核心重点。

2 智能变电站继电保护系统可靠性现存问题及薄弱环节

2.1 设备自身质量与老化问题影响系统可靠性

智能变电站继电保护系统的运行依赖各类硬件设备，包括保护装置、采样装置、通信设备、断路器等，设备自身质量与老化程度直接影响系统可靠性。部分设备在生产制造过程中存在质量缺陷，如电子元件性能不达标、结构设计不合理，导致设备在运行过程中易出现故障；部分设备长期处于高负荷运行状态，缺乏科学的维护保养，出现部件老化、磨损、性能衰减等问题，如采样模块精度下降、通信接口接触不良，进而导致保护系统误动、拒动，影响系统整体可靠性^[2]。部分老旧设备与新型智能设备兼容性不足，接入系统后易出现信号冲突、数据丢失等问题，进一步加剧可靠性隐患。

2.2 运行环境因素对系统可靠性的干扰

智能变电站继电保护系统的运行环境复杂，各类环境因素会对系统可靠性产生显著干扰。温度、湿度的异常变化会影响电子元件的性能，高温易导致元件过热损坏，高湿度易引发设备绝缘性能下降、短路故障；电网电压波动、谐波干扰会影响

保护装置的正常工作,导致装置逻辑判断失误,发出错误指令;外界电磁干扰,如雷电、工业电磁辐射等,会破坏系统通信链路,干扰数据传输,导致保护系统无法及时接收、处理故障信号,延误故障处置时机。变电站现场的粉尘、振动等因素也会影响设备运行稳定性,增加系统故障发生率。

2.3 系统设计与协同配合存在的不合理之处

智能变电站继电保护系统的设计合理性直接决定其可靠性,当前部分系统在设计环节存在诸多不合理之处。部分系统的保护配置缺乏针对性,未结合变电站的运行规模、负荷特性、故障类型进行精准配置,导致保护装置在故障发生时无法发挥最佳作用;系统的通信网络设计不完善,通信链路冗余不足,一旦某条链路出现故障,无法快速切换至备用链路,导致数据传输中断;不同厂家生产的保护装置、通信设备存在协议不统一、兼容性差的问题,导致设备间无法实现高效协同配合,出现信号误传、指令延迟等问题,影响系统整体可靠性。

3 智能变电站继电保护系统可靠性影响因素深度分析

3.1 硬件因素对系统可靠性的影响

硬件设备是智能变电站继电保护系统运行的基础,其性能与质量是影响系统可靠性的核心因素。保护装置的核心部件,如CPU、存储器、输入输出模块等,其性能直接决定装置的运算速度、逻辑判断精度与运行稳定性,部件性能不达标会导致装置在复杂故障场景下无法快速响应;采样装置的精度与稳定性,直接影响故障数据采集的准确性,采样误差过大可能导致保护装置误判故障类型与范围;通信设备的传输速率、抗干扰能力,决定了数据传输的实时性与完整性,通信设备故障会导致保护指令无法及时传递,影响故障处置效率。硬件设备的安装工艺也会影响系统可靠性,安装不规范、接线错误等问题会引发设备故障。

3.2 软件因素对系统可靠性的影响

智能变电站继电保护系统的软件部分,包括保护逻辑软件、通信软件、监控软件等,其稳定性与安全性直接影响系统可靠性^[3]。保护逻辑软件是系统实现故障判断、指令发出的核心,软件设计存在漏洞、逻辑算法不合理,会导致保护装置误动、拒动,如故障识别逻辑不严谨,可能将正常运行状态误判为故障状态,或无法识别隐性故障;通信软件的协议不完善、兼容性差,会导致不同设备间的数据传输出现异常,如数据丢失、延迟、误码等;监控软件的功能不完善,无法实时监测系统运行状态,不能及时发现设备异常与故障隐患,导致故障扩大,影响系统可靠性。

3.3 运维管理因素对系统可靠性的影响

运维管理水平是保障智能变电站继电保护系统可靠运行的重要支撑,运维管理不到位会显著降低系统可靠性。缺乏完

善的运维管理制度,导致设备维护、故障排查、定期检测等工作无章可循,无法及时发现设备老化、性能衰减等问题;运维人员专业素养不足,对智能继电保护系统的结构、运行原理、故障处置方法掌握不熟练,在设备维护、故障排查过程中易出现操作失误,加剧故障隐患;定期检测工作流于形式,未对系统的关键设备、核心环节进行全面、细致的检测,无法及时发现隐性故障,导致故障突发时无法快速处置,影响系统可靠性。

4 提升智能变电站继电保护系统可靠性的针对性优化措施

4.1 优化硬件配置与设备管理,筑牢系统运行基础

针对硬件设备存在的问题,需从配置、质量、维护三个方面进行优化。在硬件配置上,结合智能变电站的运行需求、负荷特性,选用性能优良、兼容性强、质量达标的设备,优先选择经过实践验证、口碑良好的厂家产品,确保设备性能满足系统运行要求;对于关键设备,采用冗余配置,如双套保护装置、备用通信链路,提升系统抗故障能力。在设备质量管控上,加强设备进场检验,严格核查设备的出厂合格证、性能检测报告,杜绝不合格设备投入使用。在设备维护上,建立常态化维护机制,定期对设备进行清洁、检修、校准,及时更换老化、损坏的部件,做好设备运行状态记录,确保设备始终处于良好运行状态。

4.2 改善运行环境,降低环境因素干扰

针对运行环境对系统可靠性的干扰,需采取针对性措施优化运行环境。在温度、湿度控制方面,在变电站安装恒温、恒湿设备,合理设置温度、湿度阈值,实时监测环境参数,确保环境条件符合设备运行要求;在防电磁干扰方面,对保护装置、通信设备进行电磁屏蔽处理,合理布置设备位置,避免设备受到雷电、工业电磁辐射等干扰,同时加强防雷接地设计,提升系统防雷能力^[4]。在电网环境优化方面,安装电压稳定装置、谐波抑制装置,减少电网电压波动、谐波对系统的干扰;定期清理变电站现场的粉尘,采取减震措施,减少粉尘、振动对设备运行的影响,为系统可靠运行提供良好的环境条件。

4.3 完善系统设计,提升协同运行能力

优化智能变电站继电保护系统设计,提升系统整体协同性与可靠性。在保护配置设计上,结合变电站的运行规模、故障类型,制定精准的保护配置方案,明确各保护装置的职责与动作逻辑,确保故障发生时保护装置能够精准响应、协同动作;在通信网络设计上,完善通信网络结构,增加通信链路冗余,采用高性能的通信设备与传输协议,提升数据传输的实时性、完整性与抗干扰能力,确保设备间信息共享顺畅。在设备兼容性设计上,统一设备通信协议,选用兼容性强的设备,加强不同厂家设备的协同测试,确保设备间能够高效配合,避免出现信号冲突、指令延迟等问题,提升系统整体运行可靠性。

5 智能变电站继电保护系统可靠性保障的长效机制构建

5.1 建立健全运维管理长效机制

构建完善的运维管理体系，明确运维管理职责，将运维工作细化到具体岗位、具体人员，确保各项运维工作有序开展。制定科学的设备维护、故障排查、定期检测制度，明确检测周期、检测内容、检测标准，定期对系统的关键设备、核心环节进行全面检测，及时发现并处置故障隐患。建立设备运行状态监测体系，利用智能化监控技术，实时监测设备运行参数，实现故障隐患的提前预警、及时处置，提升运维管理的智能化水平。加强运维人员培训，定期开展专业技能培训与应急演练，提升运维人员对系统结构、运行原理、故障处置方法的掌握程度，减少操作失误。

5.2 构建技术创新与升级机制

技术创新是提升智能变电站继电保护系统可靠性的核心动力，需构建完善的技术创新与升级机制。加强对智能继电保护技术的研发投入，探索数字化、智能化的保护技术，优化保护逻辑算法，提升系统故障识别、处置的精准度与速度^[1]。定期对系统软件进行升级优化，修复软件漏洞，完善软件功能，提升软件的稳定性与安全性；结合智能电网发展趋势，及时引入新型技术、新型设备，对老旧系统进行升级改造，提升系统整体性能与可靠性。加强技术交流与合作，借鉴行业内先进的

技术与经验，推动继电保护系统技术水平的持续提升。

5.3 建立可靠性评估与优化改进机制

建立科学的智能变电站继电保护系统可靠性评估体系，结合系统运行特性、故障发生情况，制定合理的评估指标，定期对系统可靠性进行全面评估，精准识别系统存在的薄弱环节与不足。根据评估结果，制定针对性的优化改进方案，明确改进目标、改进措施与改进时限，确保改进工作落地见效。建立评估结果反馈机制，将评估中发现的问题及时反馈给运维、设计、研发等相关环节，形成“评估—优化—改进—再评估”的闭环管理，持续提升智能变电站继电保护系统的可靠性，为电力系统安全稳定运行提供长效保障。

6 结语

本文围绕智能变电站继电保护系统可靠性展开系统研究，明确了系统可靠性的核心内涵与重要意义，梳理了当前系统存在的可靠性问题及薄弱环节，深入分析了影响系统可靠性的硬件、软件与运维管理因素，提出了针对性的优化措施，并构建了保障系统可靠性的长效机制。智能变电站继电保护系统可靠性关乎电力系统安全稳定运行，后续需持续优化系统设计与运维管理，推动技术创新，不断提升系统抗干扰能力与故障处置水平。通过系列举措，可有效筑牢电力系统安全防线，助力智能电网高质量、可持续发展。

参考文献：

- [1] 秦玮,王宇明,杨昌益.智能变电站继电保护系统运维优化策略研究[J].华东科技,2025,(10):52-55.
- [2] 刘宴辉.智能变电站的“守护者”：数字化继电保护系统[J].南岛视界,2025,(09):63-65.
- [3] 韩鹏翔,刘越.智能变电站继电保护自动化检测方法[J].科技视界,2025,15(25):58-60.
- [4] 张富泽.智能变电站继电保护系统运维辅助决策方法研究[D].华北电力大学,2025.
- [5] 刘秀丽.智能变电站继电保护调试技术研究[J].光源与照明,2025,(02):198-200.