

智能变电站继电保护安全措施探析

耿志华 张雅雯

国网河南新乡县供电公司 河南 新乡 453700

摘要：智能变电站作为电力系统转型的先锋，其继电保护系统的安全性成为电网稳定运行的核心。本文全面分析了智能变电站继电保护面临的信息沟通障碍、电磁干扰及设备故障等挑战，并提出了包括优化设计、强化抗干扰能力、严格设备管理以及实施有效隔离在内的综合安全措施。旨在为智能变电站的继电保护提供全面保障，确保电力系统的安全、高效与可持续发展。

关键词：智能变电站；继电保护；安全措施

引言：智能变电站作为现代电力系统的核心组成部分，其继电保护系统的安全稳定直接关系到电网的可靠运行。随着技术的不断进步，智能变电站面临的信息传输、电磁干扰和设备故障等问题日益凸显，对继电保护的安全措施提出了更高要求。本文旨在全面分析智能变电站继电保护的安全挑战，并提出相应措施，以保障电力系统的安全稳定运行，为智能电网建设贡献力量。

1 智能变电站概述

1.1 智能变电站的定义与特点

智能变电站是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求，自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能，并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站。（1）与传统变电站的区别。传统变电站依赖大量电缆连接，信息传输以模拟信号为主，设备间联动性差，需人工干预较多；智能变电站则实现信息全数字化，通过网络通信替代电缆，设备具备自我诊断能力，可实现远程监控与自动协同，运维效率大幅提升，且适应新能源并网等复杂场景。（2）智能变电站的技术架构与组成。技术架构分为过程层、间隔层、站控层三层。过程层包含智能传感器、合并单元、智能断路器等，负责实时采集与执行；间隔层由保护装置、测控装置组成，处理本间隔信息并实现控制保护；站控层包括监控主机、数据服务器等，实现全站监控与调度通信。此外，还需网络通信系统与时间同步系统支撑数据传输与协同。

1.2 智能变电站的工作原理

（1）信息采集与处理。过程层设备通过电子式互感器采集电流、电压等数据，经合并单元数字化处理后，形成标准化信息帧，剔除噪声干扰，确保数据精准性，

为后续控制保护提供可靠依据。（2）网络通信与数据共享。采用光纤以太网构建通信网络，通过IEC61850标准实现数据格式统一，过程层与间隔层、间隔层与站控层间实时交互信息，打破传统设备信息孤岛，实现全站数据共享与高效联动。（3）自动化控制与保护。间隔层装置根据采集数据实时判断电网状态，发生故障时快速启动保护逻辑，通过智能执行机构隔离故障；站控层根据全局信息优化控制策略，实现电压调节、负荷分配等自动化操作，保障电网稳定运行。

2 智能变电站继电保护原理与功能

2.1 继电保护的基本概念与原理

（1）继电保护的作用与任务。继电保护是电力系统的“安全卫士”，其核心作用是防止故障扩大和减少设备损伤。具体任务包括：当电力系统发生短路、接地等故障时，迅速切断故障元件，避免故障蔓延至整个系统；在设备出现过负荷、过电压等异常运行状态时，发出告警信号并自动采取调整措施，保障设备安全；同时，确保非故障区域的电力供应不受影响，维持系统稳定运行。（2）继电保护的工作原理与实现方式。继电保护基于“故障特征识别”原理，通过检测电力系统中的电流、电压、相位等参数变化，判断是否发生故障。传统实现方式依赖电磁式继电器，通过机械动作触发保护；智能变电站则采用数字化保护装置，利用微处理器对采集的数字量进行实时运算分析，结合预设的保护算法（如差动保护、距离保护），快速判断故障类型与位置，并发出跳闸指令，实现毫秒级响应。

2.2 智能变电站继电保护的功能与特点

（1）对电力系统故障的快速响应与切除。借助全站数字化信息传输与高速通信网络，智能继电保护可实时获取过程层设备的精准数据，省去传统模拟信号转换环节，将故障检测与切除时间缩短至20-50毫秒，有效限制

故障电流对设备的冲击,降低停电范围与损失。(2)自适应保护与智能化决策。保护装置能根据电网运行方式(如负荷变化、新能源接入)自动调整保护定值与逻辑,例如在分布式电源并网时,动态优化零序保护参数;通过人工智能算法分析历史故障数据,预判潜在风险,实现从“被动保护”到“主动防御”的升级。(3)与智能变电站其他系统的协同工作。通过IEC61850标准与站控层、过程层深度融合,保护动作信息可实时同步至监控系统,辅助调度中心制定恢复策略;与智能巡检机器人、状态监测系统联动,结合设备健康状态调整保护灵敏度,避免误动或拒动,提升全站安全防御体系的协同性^[1]。

3 智能变电站继电保护面临的安全问题

3.1 信息沟通障碍与光纤脆弱性

(1)光纤通信在继电保护中的应用与问题。光纤通信是智能变电站继电保护信息传输的核心方式,凭借高带宽、抗电磁干扰优势,支撑着保护装置与过程层设备的实时数据交互。但实际应用中问题突出:接口易受环境影响,灰尘附着或湿度超标会导致信号衰减,户外端子箱密封不良时尤为明显;多芯光纤标识混乱可能造成链路误接,使保护装置接收错误数据;不同厂商设备的协议差异还可能引发数据丢包,延缓保护响应。(2)光纤弯折、断裂对信息传输的影响。光纤物理特性脆弱,弯折半径过小会导致纤芯形变,光信号损耗骤增,引发数据延迟或保护装置误判“失压”;断裂则直接切断通信通道,故障时保护装置因无法获取实时数据而拒动,放任故障扩大。光纤修复需专业熔接,恢复时间长,期间继电保护系统处于风险状态,威胁电网安全。

3.2 电磁干扰与静电影响

(1)电磁辐射对继电保护装置的干扰。变电站内高压设备运行产生强电磁辐射,可通过空间耦合侵入保护装置。暂态电磁脉冲会干扰微处理器时钟,导致运算错误;高频辐射穿透外壳后,会干扰模数转换模块,使电流、电压信号失真,造成保护误动作或灵敏度下降,影响故障判断准确性。(2)静电放电对继电保护装置的影响。人员操作、设备摩擦产生的静电,达到一定电压后会通过接触或空气放电侵入装置。瞬间强电场和电流可能击穿集成电路芯片,造成硬件损坏;即使未直接损坏,也可能干扰程序运行,引发保护逻辑混乱,如误发告警或拒执行跳闸指令,降低系统可靠性。

3.3 设备故障与误动作风险

(1)继电保护设备自身故障的可能性。智能保护装置集成大量电子元件和软件,故障风险多样:电源模块

老化导致电压不稳,引发装置重启;采样回路元件损坏造成数据偏差;软件漏洞可能在特定工况下触发逻辑错误,如系统振荡时误判短路。此外,灰尘堆积、散热不良会加速芯片老化,增加故障概率。(2)误动作对电力系统稳定运行的影响。误跳闸会使正常设备突然断电,引发负荷转移和线路过负荷,甚至导致电网潮流紊乱;拒动则让故障元件持续运行,可能烧毁主设备,引发区域性停电。对新能源并网变电站,保护误动作还会导致风光电源脱网,加剧电压、频率波动,破坏系统稳定。

4 智能变电站继电保护安全措施

4.1 优化继电保护系统设计

(1)选择具有针对性和可行性的保护模式。根据变电站电压等级、网络结构及负荷特性选择保护模式。新能源并网变电站宜采用“采样直采+跳闸直跳”模式,减少数据中转延迟;多端电源网络优先用光纤差动纵联保护,通过同步采样消除相位偏差。同时预留升级接口,适应未来电网拓扑与负荷变化,避免保护模式僵化导致的适配问题。(2)强化系统元件的多阶段配合后备保护措施。构建“主保护+近后备+远后备”三级体系:主保护快速切除本元件故障,近后备作为冗余在主保护拒动时动作,远后备覆盖相邻元件形成跨区域屏障。如线路保护中,主保护用光纤差动,近后备设距离保护Ⅱ段,远后备启用相邻线路过流保护Ⅲ段,通过0.3-0.5秒时间级差配合,确保任一环节失效仍能可靠切除故障。

4.2 积极采取抗干扰措施

(1)软件抗干扰:强弱信号隔离与二次回路电软值控制。软件层面通过数字滤波隔离强弱信号,对电流、电压数据滑动平均处理以剔除高频干扰;设置二次回路电软值阈值,信号超范围(如电压瞬时超额定值1.2倍)时触发多源采样对比,验证信号真实性。同时植入看门狗程序监控装置状态,程序异常时立即重启,保障逻辑稳定^[2]。(2)硬件抗干扰:隔离与屏蔽电磁能量。硬件上用光电隔离器分隔模拟输入与数字处理回路,阻止电磁干扰传导;装置外壳用1.5mm以上冷轧钢板并接地,形成法拉第笼屏蔽辐射。高压设备附近二次电缆采用双屏蔽铠装电缆,内层单点接地抑差模干扰,外层多点接地削弱共模干扰,且远离高压母线敷设以降低电磁耦合。

4.3 加强继电保护设备管理力度

(1)把控设备采购质量,确保设备达标。建立严格的供应商准入机制,要求设备符合IEC61850标准及国家电网《智能变电站继电保护技术规范》,优先选择通过型式试验且运行案例丰富的产品。采购时增加出厂抽检环节,重点测试设备在高温(55℃)、高湿(95%RH)

环境下的稳定性及抗电磁干扰能力（如承受10kV静电放电测试），杜绝不合格设备入网。（2）设备安装后的调试与稳定性验证。安装完成后，进行全工况调试：模拟各种短路故障（如三相短路、单相接地），测试保护装置的动作时间与定值准确性；通过网络分析仪检测光纤链路的传输时延（要求 $\leq 10\text{ms}$ ）与误码率（ $\leq 10^{-9}$ ）；开展24小时带负荷试运行，监测装置温升与数据传输稳定性，确保无异常告警。调试合格后出具详细报告，作为设备投运的必备依据。（3）结合气候条件建设防护措施，降低风险。针对高温地区，在保护屏柜加装强制风冷系统，控制环境温度不超过40℃；多雨潮湿地区，采用防潮密封端子箱并内置除湿机，保持相对湿度 $\leq 70\%$ ；高寒地区选用宽温型设备（-40℃至70℃），并对户外光纤接头加装保温套，防止低温脆化。同时，在变电站周边种植防护林，减少风沙对设备接口的磨损^[3]。（4）利用监控系统提高故障发现与解决速度。部署全站统一的状态监测系统，实时采集保护装置的电源电压、CPU负载、通信流量等参数，通过AI算法分析数据趋势，预判潜在故障（如电容老化导致的电源波动）。系统设置分级告警机制，轻微异常推送至运维终端，严重故障触发声光报警并自动定位故障点，配合电子工单系统派发维修任务，将故障处理时间缩短至2小时以内。

4.4 实施有效的隔离措施

（1）投退保护设备中的SV软压板与GOOSE软压板。通过软压板实现保护功能的灵活投退：SV（采样值）软压板用于隔离过程层至间隔层的采样数据，检修时退出该压板可防止无效数据干扰；GOOSE（通用面向对象变电站事件）软压板控制跳闸指令传输，设备调试时退出跳闸压板，避免误动。操作时严格执行“双人监护”制度，通过监控系统确认压板状态，确保与操作票一致。（2）利用物理断开连接光纤实现“明显断开点”。在

光纤链路中设置可插拔光模块或光纤配线架，需要隔离时物理断开光纤，形成可视化的断开点，比软压板更可靠。例如，检修线路保护时，断开该线路与合并单元的光纤连接，确保保护装置完全脱离采样回路，防止远方信号误触发。断开后需用防尘帽密封接口，避免灰尘污染^[4]。（3）注意光纤接口插拔对设备运行的影响。插拔光纤前需确认相关保护已退出，避免瞬时信号中断导致的误动作；插拔时动作轻缓，避免过度弯曲光纤（弯折半径 $\geq 50\text{mm}$ ）；每次插拔后用光功率计检测信号强度，确保接收光功率在设备允许范围（通常-20dBm至-10dBm）内。对于多芯光纤，插拔后需重新核对标签，防止接错链路引发新的安全隐患。

结束语

综上所述，智能变电站继电保护的安全措施是多维度、综合性的，涉及技术优化、设备管理、人员培训等多个方面。通过实施有效的安全防护策略，不仅可以提升智能变电站的运行可靠性，还能增强整个电力系统的韧性。未来，随着技术的持续革新，我们应不断探索和完善继电保护安全措施，以应对新的挑战，确保智能变电站及电网的长期安全、高效运行，为能源互联网的构建奠定坚实基础。

参考文献

- [1]万鹏.智能变电站继电保护安全措施探析[J].技术与市场,2020,(10):148-149.
- [2]易妍,张静.电力系统中智能变电站继电保护技术分析[J].中国设备工程,2020,(18):158-159.
- [3]陈大华.智能变电站继电保护安全措施探讨[J].电工材料,2021,(06):63-64.
- [4]徐曼,周程.智能变电站二次安装中的继电保护关键技术[J].集成电路应用,2022,(06):72-73.