

智能保护装置在配电系统故障快速切除中的作用研究

李乐

宁夏宝丰能源集团股份有限公司

DOI: 10.12238/j.pm.v6i12.8605

[摘要] 智能保护装置是提升配电系统故障快速切除能力的核心支撑，其通过精准感知、快速决策与协同控制，有效缩短故障持续时间，降低故障对配电系统安全稳定运行的影响。阐述智能保护装置的技术特性与工作机制，分析其在故障识别、隔离及恢复过程中的作用路径，明确其对提升配电系统供电可靠性、减少故障损失的关键价值。研究表明，智能保护装置凭借其智能化优势，可显著优化配电系统故障处理流程，为配电系统安全高效运行提供保障。

[关键词] 智能保护装置；配电系统；故障快速切除；供电可靠性；协同控制

Research on the Role of Intelligent Protection Devices in Rapid Fault Isolation of Power Distribution Systems

Li Le

Ningxia Baofeng Energy Group Co., Ltd.

[Abstract] Intelligent protection devices serve as the core support for enhancing the rapid fault isolation capability of power distribution systems. Through precise perception, rapid decision-making, and coordinated control, they effectively reduce fault duration and mitigate the impact of faults on the safe and stable operation of power distribution systems. This study elucidates the technical characteristics and working mechanisms of intelligent protection devices, analyzes their functional pathways in fault identification, isolation, and recovery processes, and highlights their critical value in improving power supply reliability and minimizing fault losses. The research demonstrates that intelligent protection devices, leveraging their intelligent advantages, can significantly optimize fault handling procedures in power distribution systems, thereby ensuring their safe and efficient operation.

[Key words] intelligent protection device; power distribution system; rapid fault clearance; power supply reliability; coordinated control

引言

配电系统作为电力系统与用户连接的关键环节，其运行稳定性直接关系到电力供应的连续性与安全性。故障的发生不仅会导致供电中断，还可能引发设备损坏、电压波动等连锁问题，加剧经济损失与社会影响。故障快速切除是遏制故障扩大、降低损失的关键举措，而传统保护装置存在响应滞后、识别精度不足、协同性差等局限，难以满足现代配电系统复杂运行工况下的故障处理需求。智能保护装置的出现为突破这一困境提供了有效方案，其融合先进感知技术、通信技术与控制技术，在故障处理中展现出独特优势。明确智能保护装置在故障快速切除中的作用，深入探究其技术应用与作用机制，对推动配电系

统升级优化、提升整体运行水平具有重要意义。

一、配电系统故障特性及传统切除方式的局限性

配电系统常见故障包括短路、接地、过载等，各类故障危害显著，短路易烧毁设备、引发电压骤降，接地可能诱发火灾，过载会加速绝缘老化甚至转化为短路，还可能扩散影响大范围供电稳定^[1]。传统故障切除装置以电磁式继电器、熔断器为主，基于单一电气量阈值触发电动，存在动作阈值固定、难以适应动态工况、易误动拒动、缺乏协同通信能力等缺陷，导致故障处理效率低、持续时间长，扩大设备损坏与停电范围，“一刀切”模式无法精准隔离故障，加剧损失，难以适配精益化运行需求。

二、智能保护装置的技术架构及故障处理机制

(一) 智能保护装置的核心技术组成

智能保护装置的核心技术组成涵盖感知检测模块、数据处理模块、通信交互模块与执行控制模块。感知检测模块集成高精度电流互感器、电压互感器及传感器，可实时采集配电系统运行中的电流、电压、温度、绝缘状态等多维度电气量与非电气量数据，为故障识别提供全面的数据支撑。数据处理模块搭载高性能微处理器，具备强大的数据分析与运算能力，可对采集到的实时数据进行滤波、降噪、特征提取等处理，精准识别故障特征信息。通信交互模块采用以太网、无线专网等多种通信技术，实现与配电自动化系统、其他保护装置及终端设备的实时数据交互，保障信息传递的及时性与准确性。执行控制模块由智能断路器、接触器等设备组成，可根据决策指令快速执行跳闸、合闸等操作，实现故障的精准隔离与线路恢复。

(二) 智能保护装置的故障识别与定位机制

智能保护装置采用多维度特征融合的故障识别机制，突破传统单一电气量判断的局限。通过感知检测模块采集故障发生时的电流突变、电压跌落、谐波分量、零序电流等多种特征参数，数据处理模块基于预设的故障特征模型，对多维度参数进行综合分析与比对，精准判断故障类型^[2]。在故障定位方面，智能保护装置利用分布式感知与通信协同优势，通过相邻装置间的信息交互，获取故障区域的电气量分布特征与线路拓扑信息，结合阻抗法、行波法等定位算法，快速确定故障点的精确位置。这种识别与定位机制不仅提升了故障判断的准确性，有效避免误动、拒动问题，还能为后续故障隔离与修复提供精准的位置指引，为快速切除故障奠定基础。

(三) 智能保护装置的快速响应与协同控制逻辑

智能保护装置通过硬件性能优化与软件算法升级，构建了高效的快速响应机制。硬件层面采用高速微处理器与高精度检测元件，缩短数据采集与信号处理的延迟时间，确保故障发生后能够在极短时间内完成信号感知与特征识别。软件层面搭载自适应保护算法，可根据配电系统运行工况的变化，自动调整保护参数与动作阈值，提升响应的灵活性与针对性。在协同控制逻辑方面，智能保护装置通过通信网络与配电自动化系统实现信息互通，形成分布式协同保护体系。当故障发生时，邻近区域的多个保护装置可快速共享故障信息，通过协同决策确定最优的故障切除方案，实现故障区域的精准隔离，避免非故障区域的不必要的停电，同时为后续的供电恢复操作提供协同支持，进一步优化故障处理流程。

三、智能保护装置在故障快速切除中的核心作用体现

(一) 提升故障识别精度加速切除启动

智能保护装置凭借多维度特征融合的识别机制，大幅提升

了故障识别的精度与效率，为快速切除启动提供关键保障。相较于传统装置依赖单一电气量的识别方式，智能保护装置可综合分析故障发生时的多种电气参数变化，有效区分故障信号与负荷波动、谐波干扰等正常运行中的扰动信号，显著降低误识别概率。精准的故障识别能够确保保护装置在故障发生瞬间立即启动切除程序，避免因识别延迟导致故障持续扩大。同时，针对不同类型故障的特异性特征，智能保护装置可快速完成故障类型判定，为后续选择针对性的切除策略提供依据，进一步缩短故障处理的准备时间，加速切除流程的启动与推进。

(二) 实现故障精准隔离缩小影响范围

智能保护装置通过分布式协同控制与精准定位技术，能够实现故障区域的精准隔离，有效缩小故障影响范围。在传统故障切除方式中，由于缺乏精准的定位与协同能力，往往需要对故障线路所在的整个供电分区进行停电隔离，导致大量非故障区域用户停电^[3]。而智能保护装置在确定故障点精确位置后，可通过与相邻装置的协同配合，精准控制故障点两侧的开关设备动作，仅将故障段线路从配电系统中隔离，保障非故障区域的正常供电。这种精准隔离方式不仅减少了停电用户数量，降低了故障造成的经济损失与社会影响，还为后续的故障修复与供电恢复工作提供了便利，避免了对非故障线路的不必要操作，提升了配电系统故障处理的精益化水平。

(三) 优化故障处理流程保障供电连续性

智能保护装置通过整合故障识别、定位、隔离与恢复等多个环节的功能，显著优化了配电系统故障处理流程，为保障供电连续性提供有力支撑。在故障发生后，智能保护装置可同步完成故障识别与定位，无需人工干预即可快速启动隔离程序，相较于传统装置需要人工排查定位的处理流程，大幅缩短了故障处理总时长。同时，智能保护装置可与配电自动化系统中的重合闸装置、备用电源自动投入装置等协同工作，在完成故障隔离后，自动判断非故障区域的供电需求，快速启动备用电源供电或线路重合闸操作，实现供电的快速恢复。这种全流程自动化的故障处理模式，减少了人工操作的延迟与失误，提升了故障处理的效率与可靠性，最大限度保障了供电的连续性。

四、智能保护装置应用中的关键技术要点

(一) 装置硬件选型与性能适配要点

智能保护装置的硬件选型需紧密结合配电系统的运行工况与故障特性，确保设备性能与系统需求精准适配。在核心处理器选型方面，应优先选择运算速度快、处理能力强、抗干扰性能优异的微处理器，以满足多维度数据实时处理与快速决策的需求。检测元件的选型需注重精度与响应速度，电流、电压互感器应具备宽量程、低误差的特性，能够准确捕捉故障发生时的电气量突变信号^[4]。开关执行机构应选用动作时间短、可靠

性的智能断路器，确保故障切除指令能够快速准确执行。同时，硬件设备还需具备良好的环境适应性，能够耐受配电系统运行环境中的温度波动、湿度变化、电磁干扰等不利因素，保障在复杂环境下的稳定运行，为故障快速切除提供硬件支撑。

(二) 保护算法优化与自适应调节技术

保护算法的优化与自适应调节技术是提升智能保护装置故障处理能力的核心软件支撑。针对配电系统拓扑结构复杂、负荷波动频繁的特点，需优化传统保护算法的局限性，开发具备自适应能力的保护算法。通过引入人工智能、机器学习等技术，使保护算法能够自主学习配电系统的运行规律，根据负荷变化、线路切换等工况变化自动调整保护参数与动作阈值，提升算法的适应性与灵活性。同时，针对不同故障类型的特征差异，优化故障特征提取与识别算法，增强算法对轻微故障、隐性故障的识别能力，避免故障漏判。此外，还需优化算法的运算效率，缩短数据处理与决策时间，确保保护装置能够在故障发生后极短时间内做出响应，保障故障快速切除的实现。

(三) 通信网络构建与信息交互保障

通信网络的稳定构建与信息交互的高效保障是智能保护装置实现协同工作的关键前提。需构建覆盖整个配电系统的高速、可靠通信网络，结合有线通信与无线通信的优势，形成多元化的通信链路。有线通信可采用光纤通信技术，利用其传输速率高、抗干扰能力强的特点，保障核心区域装置间的信息高速传输；无线通信可采用 5G、LoRa 等技术，解决偏远区域、复杂地形下的通信覆盖问题。同时，需建立完善的信息交互协议与数据加密机制，规范装置间的数据传输格式与交互流程，确保信息传递的准确性与安全性，避免因数据丢失、误传导致协同保护失效。此外，还需配备通信冗余备份机制，当主通信链路发生故障时，自动切换至备用链路，保障通信的连续性，为智能保护装置的协同故障切除提供稳定的信息支撑。

五、智能保护装置助力配电系统故障治理的实践路径

(一) 基于智能保护装置的故障预防与预警体系构建

依托智能保护装置的实时感知与数据分析能力，构建配电系统故障预防与预警体系，实现从被动故障处理向主动故障预防的转变。智能保护装置持续采集配电系统运行中的各类电气参数与设备状态信息，通过数据处理模块对信息进行深度分析，识别设备绝缘老化、线路过载趋势、接触不良等潜在故障隐患。基于分析结果，结合预设的隐患判定标准，生成故障预警信号，及时推送至配电系统运维管理平台。同时，根据隐患的严重程度与发展趋势，制定针对性的预防措施，指导运维人员开展预防性检修工作，提前消除故障隐患。这种预警体系的构建，能够有效降低故障发生概率，减少故障切除操作的频次，进一步提升配电系统的运行稳定性。

(二) 智能保护装置与配电自动化系统的深度融合应用

推动智能保护装置与配电自动化系统的深度融合，实现故障处理全流程的自动化与智能化协同。将智能保护装置的故障识别、定位、隔离等功能与配电自动化系统的拓扑分析、负荷转移、供电恢复等功能有机结合，构建一体化的故障治理平台。当故障发生时，智能保护装置将故障信息快速上传至配电自动化系统，系统基于实时拓扑信息与负荷分布情况，制定最优的故障切除与供电恢复方案，并向相关智能保护装置、开关设备下发控制指令，实现故障的快速隔离与非故障区域的快速供电恢复。这种深度融合应用，能够充分发挥两者的技术优势，弥补单一装置或系统的功能局限，提升配电系统故障治理的整体效率与智能化水平，保障供电的连续性与可靠性。

(三) 智能保护装置应用效果的动态评估与优化

建立智能保护装置应用效果的动态评估与优化机制，持续提升其在配电系统故障快速切除中的作用效能。制定科学的评估指标体系，涵盖故障识别准确率、故障切除响应时间、停电范围缩小比例、供电恢复时长等关键指标，通过智能保护装置与配电自动化系统的信息交互，实时采集相关数据，对装置的应用效果进行动态监测与评估^[5]。

结语

本文围绕智能保护装置在配电系统故障快速切除中的作用展开研究，明确其核心支撑价值。智能保护装置通过精准识别、快速响应与协同控制，有效突破传统故障切除方式的局限，在提升切除效率、缩小故障影响范围、保障供电连续性等方面发挥关键作用。其技术架构优化、关键技术适配及与配电自动化系统的融合应用，为配电系统故障治理提供了有效路径。未来，随着技术的不断迭代，智能保护装置将在配电系统故障治理中展现更显著的效能，为构建安全、可靠、高效的配电系统提供坚实保障。

参考文献

- [1] 乔旭东, 刘杰, 李政浩. 电力系统保护装置的智能化改进与实践探索[J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39 (08) : 247-249.
- [2] 管茗同. 继电保护装置在智能变电站中的配置优化[J]. 电气技术与经济, 2025, (08) : 198-201.
- [3] 瞿彦如. 智能继电保护装置的检修与管理分析[J]. 集成电路应用, 2025, 42 (07) : 270-271.
- [4] 张涵琳, 汪楚. 智能继电保护装置在电网故障诊断中的应用效果评估与公式验证[J]. 自动化应用, 2025, 66 (S1) : 306-308.
- [5] 朱兆江, 钟声, 肖隆恩. 智能保护装置在框架式低压断路器中的应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (01) : 306-307.