

中低压配电系统智能断路器选型与故障保护优化研究

梁艳兵

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

【摘要】：在中低压配电系统迈向“智能感知+动态保护”的新阶段，智能断路器不仅是供电安全的“守门人”，更需适配多场景负荷波动与复杂故障类型。当前选型常忽视全生命周期可靠性参数、故障保护存在“一刀切”现象，易引发保护失配或响应延迟。本文从选型的动态适配性与故障保护的精准化入手，探索科学方法，为提升配电系统韧性、减少非计划停电提供创新技术路径。

【关键词】：中低压配电系统；智能断路器；选型；故障保护

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.070

引言

智能断路器结构紧凑、体积小，具备短路、过负载以及接地等多种智能保护，保护动作精确，供电安全可靠，因此在中低压等级中得到了广泛应用。智能断路器作为广泛使用的中低压总开关，要求相关部门不断进行学习和深入研究，提高断路器选型、分析故障、消除故障的能力，以便在以后的实际工作中能够及时正确处理产生的各种故障，保证单位正常安全生产。

1 中低压配电系统智能断路器概述

中低压配电系统智能断路器是融合电力控制、智能感知与故障保护的核心设备，相较于传统断路器，其集成了电流、电压、温度等多参数监测模块，可实时采集运行数据并上传至配电管理系统，实现设备状态可视化。其具备过载、短路、漏电等多类型故障精准识别能力，能根据故障等级动态调整保护策略，避免“一刀切”保护导致的供电中断，同时支持远程操控与定值整定，减少人工现场操作成本，适配多场景负荷波动。在配电系统中，其不仅是供电安全的“防线”，更通过数据反馈助力系统优化运行，为中低压配电智能化升级提供关键硬件支撑。

2 中低压配电系统智能断路器选型依据分析

2.1 适配配电系统核心参数，筑牢运行基础

配电系统的电压等级、额定电流、短路容量是选型首要依据。断路器额定电压需与系统一致，避免绝缘击穿或保护失效；额定电流需结合实际负荷与扩容需求，预留10%-20%裕量，防止过载影响寿命。同时需核算系统最大短路电流，确保断路器分断能力匹配，避免故障时无法分断引发事故。若系统含非线性负载，还需选择抗谐波干扰的断路器，防止误动作或参数偏差，保障运行稳定。

2.2 贴合故障保护需求，提升保护精准度

需依据场景故障类型与保护要求选型。工业配电系统因负载波动大，应选具备三段式保护（过载长延时、短路短延时、瞬时跳闸）的断路器，实现分级保护；民用建筑配电系统人员密集，优先选集成漏电保护的断路器，漏电动作电流控制在30mA内，保障人身安全。涉及重要负荷时，需关注断路器故障切除时间，选择速动性优的产品，减少故障对设备的损害与范围扩散。

2.3 匹配智能化功能，适配系统升级

选型需结合配电系统智能化需求。需远程监控运维的系统，应选带RS485、LoRa或5G通信模块的断路器，实现数据上传、远程监测与定值整定，降低巡检成本。有回路协同控制需求时，选择支持逻辑编程的断路器，实现多回路联动保护，提升整体效能。同时，需确保断路器与其他智能设备兼容，统一数据接口与协议，避免数据孤岛，为后续升级预留空间。

2.4 考量全生命周期经济性，平衡成本效益

选型需兼顾初期采购与长期运维成本。初期应优先选平均无故障工作时间长、质保期久的产品，减少后期维修更换成本；负荷波动大的系统，选具备自适应调节功能的断路器，避免频繁人工调整；模块化设计的断路器可降低安装维护工时成本。此外，带能耗监测功能的断路器能助力优化用电方案，间接降低能耗成本，实现功能与经济性平衡。

3 中低压配电系统智能断路器故障保护的优化策略

3.1 构建分级分场景保护策略，提升故障响应精准性

传统智能断路器故障保护常采用“统一定值”模式，难以适配不同负荷与场景的差异，优化需从分级保护与场景适配两方面发力。分级保护可根据故障危害程度划分保护等级，如将过载故障细分为轻微过载（负荷超额定值10%-20%）、中度

过载（超 20%-50%）、严重过载（超 50%），对应设置不同动作延时——轻微过载时延长保护动作时间，避免频繁断电影响正常用电；严重过载时立即触发跳闸，防止设备损坏。场景适配方面，针对工业车间大功率电机启动场景，可设置“启动保护模式”，临时放宽过载定值，避免电机启动瞬间的冲击电流误触发保护。针对民用建筑照明回路，采用“灵敏漏电保护”，将漏电动作电流降至 10-30mA，保障人员安全。同时，通过断路器的可编程功能，为不同回路预设保护参数，如空调回路侧重过载保护，插座回路强化漏电保护，实现“一回路一策略”，减少保护失配问题。

3.2 引入数据驱动故障预警机制，实现风险提前干预

传统故障保护多为“事后响应”，优化需转向“事前预警+事中精准处理”，核心是利用智能断路器的监测数据构建预警体系。相关部门需采集电流波动、温度变化、绝缘电阻值等断路器运行数据，通过边缘计算模块实时分析数据趋势，设定预警阈值，如电流连续 10 分钟超出额定值 15%、温度较常温升高 30℃、绝缘电阻值低于 0.5MΩ 时，触发一级预警，推送信息至运维人员。当数据接近保护动作阈值（如电流超额定值 40%）时，触发二级预警，自动启动预保护措施。同时，结合历史故障数据建立故障预测模型，通过机器学习分析不同数据特征与故障类型的关联（如电流骤升后伴随温度突高多为短路故障），当监测到相似特征时，提前预判故障风险并发出预警，为运维人员争取处置时间。

3.3 建立多设备协同保护机制，强化系统整体防护能力

单一断路器的保护存在局限性，优化需构建“断路器-配电终端-系统平台”协同保护体系，实现故障快速定位与隔离。在设备层，相邻回路的智能断路器可建立通信连接，当某一断路器检测到故障时，立即向相邻断路器发送信号，相邻断路器根据故障类型调整自身保护状态——如某回路发生短路故障，

相邻回路断路器临时提高过载定值，避免故障扩散导致连锁跳闸。在终端层，配电终端可汇总多个断路器的故障数据，通过逻辑判断确定故障位置，精准定位后向故障回路断路器发送跳闸指令，同时向其他回路发送“保持供电”信号，减少停电范围。在系统层，配电管理平台可根据故障影响范围启动应急预案，如故障涉及重要负荷回路时，自动切换至备用电源，保障关键设备持续供电；故障排除后，平台远程控制断路器合闸，恢复正常供电，减少人工操作时间。

3.4 优化运维管理与定值校验，保障保护功能长效可靠

故障保护功能的稳定性依赖规范的运维管理，优化需从定值校验、设备维护、人员培训三方面推进。定值校验方面，建立定期校验制度，每季度通过专业设备对断路器保护定值进行检测，对比实际定值与设定值的偏差，若偏差超过 5%，及时调整参数；每年结合系统负荷普查结果，重新核算短路电流、过载电流等关键参数，更新保护定值，确保定值与系统实际工况匹配。设备维护方面，制定差异化维护计划，对运行环境恶劣（如高温、高湿、多粉尘）的断路器，缩短维护周期（如每月清洁一次、每半年检测一次绝缘性能）；定期检查断路器接线端子是否松动、触点是否氧化，发现问题及时处理，避免因接触不良导致保护动作延迟。人员培训方面，开展专项培训，内容涵盖故障保护原理、定值设定方法、故障排查流程，通过模拟操作，使用仿真软件模拟故障场景，练习定值调整与故障处置，提升运维人员技能，并邀请厂家技术人员讲解新型断路器保护功能，帮助人员掌握先进技术，避免因操作不当导致保护功能失效。

总而言之，科学选型与保护优化是中低压配电系统安全运行的关键。合理选型适配系统需求，保护优化提升响应效能，二者协同降低故障风险。相关部门需持续融合智能技术，推动断路器性能升级，从而实现配电系统的高质量发展。

参考文献：

- [1] 赵亮亮,孙静.智能配电系统的核心内容和关键技术[J].电气应用,2023,42(11):1-8.
- [2] 张昀琦.小型智能断路器系统设计与特性研究[D].沈阳工业大学,2022.
- [3] 曹红伟.低压配电系统故障电弧在线检测及智能断路器研究[D].燕山大学,2022.