

配电自动化环境下继电保护装置 协同运行策略

巩楠¹, 姜帆²

(1. 国网陕西省电力有限公司商洛市商州区供电分公司; 2. 国网陕西省电力有限公司丹凤县供电分公司)

【摘要】配电自动化系统的广泛应用对继电保护装置的协调运行提出了更高要求, 文章研究了多源接入背景下的继电保护协调需求, 分析了故障特征识别、时间配合优化与通信联动机制在策略设计中的具体实现, 探讨了动态整定方法与仿真验证在应用效果评估中的作用, 对提升配电网故障响应速度、降低保护误动率及支撑智能配电系统稳定运行具有工程实践价值。

【关键词】配电自动化; 继电保护; 协同策略; 时间配合

中图分类号: TM77; TM76

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.162

Collaborative Operation Strategy of Relay Protection Devices in the Power Distribution Automation Environment

GONG Nan¹, JIANG Fan²

(1.State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Shangluo Shangzhou District Power Supply Branch; 2.State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Danfeng County Power Supply Branch)

【Abstract】The wide application of power distribution automation system puts forward higher requirements for the coordinated operation of relay protection devices. The article studies the coordination needs of relay protection in the context of multi-source access, analyzes the specific realization of fault feature identification, time coordination optimization and communication linkage mechanism in strategic design, and discusses the role of dynamic timing method and simulation verification in the evaluation of application effect. It has engineering practical value for improving the fault response speed of the distribution network, reducing the protection error rate and supporting the stable operation of the intelligent distribution system.

【Keywords】power distribution automation; relay protection; collaborative strategy; time cooperation

1 引言

配电自动化系统在智能电网中广泛部署,使得继电保护装置在结构配置、功能响应及信息交互方面呈现复杂化趋势。多源异构电源接入、负荷波动频繁及故障特征多样化,导致传统保护策略在识别准确性与动作配合性上存在显著不足,易出现误动、拒动及保护盲区等情况。继电保护装置需具备灵活判据、精准动作及系统级联动能力,为分布式供电环境下的稳定运行提供支撑。文章围绕协同运行策略,深入分析配电网典型故障下保护判据的适应性、上下级配合逻辑及通信联动模式,结合动态整定机制与实际案例数据评估策略应用效果,为配电系统保护策略优化及工程部署提供技术支撑。

2 协同运行需求分析

2.1 多源接入场景下的保护协调问题

配电自动化系统接入光伏、风电、储能及大功率

电动负载后,故障电流来源呈现多方向、多路径分布特征,导致传统基于电流方向元件和电流幅值设定的保护动作逻辑难以保障判据稳定性。部分分布式电源具备限流控制特性,故障时电流幅值不足以触发保护装置动作,进而引发判据失效^[1]。同时,电动汽车大规模充电行为造成负荷波动频繁,系统等效阻抗动态变化,改变故障电流传播路径。多源供电状态下,末端线路可能形成环网或弱反送电场景,常规时限配合机制丧失区分度,易导致主备保护发生非选择性跳闸。需对各节点短路电流方向与电源支撑能力进行实时判断,构建基于拓扑状态自适应的保护区域划分机制,增强继电保护装置在复杂供电环境中的协同配合能力。

2.2 故障特征识别对装置协同的影响

电压骤降、电流畸变与频率偏移是配电系统故障状态的典型扰动特征,保护装置需依托扰动数据快速完成故障识别与类型判定,驱动上层协同联动

机制。对故障前后的电流变化率进行实时计算,可作为故障发生的触发判据,常用识别判据如下:

$$k = \frac{I_t - I_{t-\Delta t}}{\Delta t} \quad (1)$$

式(1)中: k 为电流变化率, I_t 为当前时刻电流值, Δt 为采样时间间隔。该判据可用于判定瞬时突变,辅助甄别暂态扰动与真实故障。故障诊断结果与继电保护装置的联动关系需建立在同步时间戳、统一接口协议及状态映射模型基础上,确保不同装置间的动作协调。协同策略需引入状态驱动逻辑,使不同类型保护装置可根据识别结果动态调整整定值与跳闸判据,增强系统整体响应的一致性与选择性。

3 协同运行策略设计

3.1 时间配合与逻辑判据优化策略

继电保护装置在配电自动化场景下的配合策略需建立在差动保护、方向元件及电流幅值等判据的协同逻辑之上^[2]。基于短延时差动保护的判别机制适用于母线与主干线路区域,其响应时间可控制在10ms内,提升了对强故障的快速识别能力。方向元件依据故障电流正序与负序分量计算结果判定电流流向,结合电流相位与电压相位差角度进行判据设定,有效解决了多源并联时电流方向不确定的问题。上下级装置之间采用固定时差原则进行配合优化,辅以跳闸确认信号反馈,保障区域选择动作准确。

分层判据系统按照配电网拓扑层级设置动作逻辑,下层线路保护装置执行基于电流幅值与方向的故障识别与区段隔离策略,中间层保护装置依据差动量与电压失压判据进行联动判断,主干装置执行越级判断与后备跳闸任务。在多节点供电场景中,装置应具备自适应判据切换功能,当检测到拓扑变化或电源模式改变时,自动调整保护级差与动作逻辑。配合逻辑的优化还应考虑短时负荷冲击、非故障性电压跌落等暂态扰动情形,通过设定复合逻辑判据滤除干扰因素,提升动作的选择性与安全性。

3.2 基于通信联动的保护联控机制

继电保护装置在配电自动化场景下的配合策略,需基于差动保护、方向元件及电流幅值等判据的协同逻辑^[2]。短延时差动保护判别机制适用于母线与主干线路,响应时间 $\leq 10\text{ms}$,提升强故障快速识别能力。方向元件通过故障电流正序与负序分量判定流向,结合电流与电压相位差设定判据,有效解决多源并联时电流方向不确定问题。

上下级装置采用固定时差原则配合优化,辅以跳闸确认信号反馈,保障区域选择动作准确。分层判据系统按配电网拓扑层级设置动作逻辑:下层装置执行基于电流幅值与方向的故障识别及区段隔离,中间层依据差动量与电压失压判据联动判断,主干装置负责越级判断与后备跳闸。

多节点供电场景中,装置需具备自适应判据切换功能,检测到拓扑或电源模式变化时,自动调整保护级差与动作逻辑。配合逻辑优化还需考虑短时负荷冲击、非故障性电压跌落等暂态扰动,通过复合逻辑判据滤除干扰,提升动作选择性与安全性。

3.3 状态感知驱动的动态整定方法

配电系统故障发生时,电流、电压及拓扑状态常偏离整定初值,导致固定整定值策略出现误判^[3]。动态整定机制依托状态量实时获取与判断,将负荷率、系统阻抗、开关状态等信息作为输入条件,动态调整装置整定值范围及判据阈值。实时状态量采集模块可接入DMS平台数据或SCADA系统变量,经计算模块输出整定建议值。保护装置执行侧配置判据缓存区与转换逻辑,故障前后依据状态切换不同整定策略,确保判别模型与当前运行特征匹配。

动态整定策略需支持区域差异与设备分级设定,重要负荷接入点设置更高灵敏度阈值,且允许短时整定超限动作。低压末端可配置整定缓冲机制,避免多次扰动触发跳闸。表1为典型工况下不同状态量对整定值的调节参数。

高负荷与多电源并网场景中,电流整定系数与方向元件延时参数呈降低趋势,反映系统故障判断

表1 不同运行状态下保护装置整定值调整参数表

运行场景描述	负荷率	并网电源数量	电流整定系数	电压判据阈值/V	方向元件延时/ms
日间低负荷单电源运行	30	1	1.15	190	100
傍晚用电高峰双源供电	70	2	0.95	180	80
夏季高温极端负荷+三路并网电源运行	95	3	0.85	170	60
节假日中负荷独立光伏供电	50	1	1	185	90

对灵敏度与响应速度的要求提升;电压判据阈值随负荷率增加而下调,增强对电压跌落故障的识别能力;低负荷或单源供电状态下整定值相对保守,侧重稳定性与误动抑制,整体整定参数随运行状态动态调整,保障继电保护动作准确性与系统运行安全性。

4 策略应用效果评估

4.1 故障隔离响应速度对比分析

4.1 仿真平台响应时间测试

所构建的配电自动化仿真平台内,基于10kV双电源环网供电结构搭建母线—主干线—分支线路三级拓扑结构,模拟多种典型工况下的故障隔离过程。仿真系统采用时域动态建模方式,继电保护装置布设于主干线入口、分支节点及负荷末端,集成时间同步、通信交互及整定切换等功能模块^[4]。协同策略启用前,装置基于静态整定与本地判断执行动作;启用后通过GOOSE通信发布跳闸信号、采集同步数据并启动联动判据链路。系统在多个样本点重复开展试验,每组数据取三次平均值,得到保护装置从故障检测到跳闸执行的响应时间对比数据,结果如图1所示。

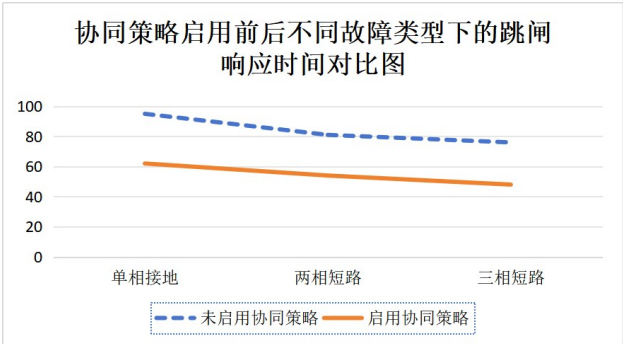


图1 协同策略启用前后不同故障类型下的跳闸响应时间对比 (单位:ms)

启用协同策略后,各类故障的跳闸响应时间均显著缩短,其中单相接地故障缩短33ms,三相短路故障缩短28ms,表明协同机制提升了故障判断效率与联动动作一致性。

4.2 典型配电网案例中的误动率验证

选取含分布式光伏接入、年负荷波动幅度大、支路拓扑复杂的典型城乡接合部配电线路,开展误动率验证分析。测试线路总长15.4km,包含主干线1段、支路A与支路B各1段,共部署三套继电保护装置^[5]。装置均具备采样同步、逻辑判断与本地执行功能,通信接口符合IEC61850标准规范。测试期为30

天,数据采集覆盖负荷低谷、日间波动、傍晚高峰等典型运行阶段。

协同策略实施前,保护装置采用电流定值、定时限运行模式,部分扰动(如负荷突升、无故障电压跌落等)易被误判为故障;策略实施后引入整定自适应机制、方向联动逻辑及闭锁逻辑协同判断,显著提升装置对非故障扰动的识别能力。测试结束后汇总误动作次数,按保护段划分统计,结果如表2。

表2 典型配电网保护段误动作次数对比表 次

保护段位置	协同策略前	协同策略后
主干线保护段	9	3
分支A线路保护段	7	2
分支B线路保护段	5	1

实施协同策略后,各保护段误动作次数均显著减少,主干线段减少6次,支路A、B段分别减少5次、4次,体现出动态判据与通信协调机制在降低误动率方面的显著成效。

5 结语

协同运行策略围绕配电自动化系统中继电保护装置的响应机制构建,通过优化时间配合与判据逻辑,实现保护装置在多源供电、复杂拓扑环境下的精准协同与区域隔离。基于通信联动的保护机制增强了动作一致性与跳闸指令实时性,动态整定方法提升了装置对运行状态变化的适应能力,避免了静态整定下的误动与拒动现象。实验验证了协同策略在故障识别效率、保护动作稳定性及系统选择性方面的技术优势,后续可结合运行状态数据深化判据演化逻辑,提升保护策略的智能调度与联动管控能力。

参考文献

[1] 黄頔. 浅析新能源接入情境下继电保护和配电自动化系统的应用[J]. 中国战略新兴产业, 2025 (3): 92-94.
[2] 贾轶峰. 基于配电自动化与继电保护技术的协同保护故障与应对策略[J]. 光源与照明, 2024 (12): 162-164.
[3] 陈俊梁. 基于继电保护与配电自动化的10kV配电线路故障处理分析[J]. 电工技术, 2024 (S2): 692-695.
[4] 郦君婷. 基于继电保护与配电自动化协同故障处理技术[J]. 大众标准化, 2024 (17): 112-114.
[5] 庞勇. 探析继电保护与配电自动化配合的配电网故障处理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024 (12): 13-15.