

分布式电源的继电保护策略

王 健 潘畴宇

中国华电集团贵港发电有限公司 广西 贵港 537101

摘 要：分布式电源接入使配电网继电保护面临诸多挑战。本文围绕分布式电源继电保护展开研究，阐述故障识别、定值设定、动作逻辑设计及保护配合等关键技术，分析不同类型分布式电源的继电保护策略，介绍保护层级、装置及范围划分等配置原则，探讨保护装置日常维护、系统状态监测及策略动态调整等运行维护方法，为分布式电源安全稳定运行提供理论支撑。

关键词：分布式电源；继电保护策略；关键技术；配置原则；运行维护

引言：随着能源转型推进，分布式电源在配电网中的占比日益提升。其接入改变了传统配电网结构与故障特征，传统继电保护策略难以满足需求。分布式电源出力的随机性、间歇性以及双向功率流动特性，给故障识别、保护定值设定、动作逻辑设计及保护配合等带来诸多难题。深入研究分布式电源继电保护策略，对保障电网安全稳定运行、提高供电可靠性具有重要意义。

1 分布式电源继电保护的关键技术

1.1 故障识别技术

分布式电源接入后，配电网故障特征呈现复杂化趋势，传统基于工频量的故障识别方法面临挑战。当前研究聚焦于多信息融合的故障特征提取技术，通过结合暂态分量与稳态分量提升识别精度。暂态保护技术利用故障初期的高频信号，通过小波变换或希尔伯特-黄变换提取特征频段能量，实现故障快速定位^[1]。稳态保护则基于对称分量法分析电压电流的负序与零序分量，适应分布式电源不对称接入场景。部分学者提出基于行波理论的故障识别方案，通过检测故障产生的初始行波到达时间差确定故障位置，该方法对高阻故障具有较高灵敏度。针对逆变型电源的故障特性，研究人员开发了基于电压跌落幅值与相位跳变的复合判据，有效区分系统故障与电源自身波动。

1.2 保护定值设定技术

保护定值需适应分布式电源出力的随机性与间歇性特征。动态定值调整技术成为研究热点，该技术通过实时监测电源出力、线路负荷等参数，建立定值与运行状态的动态映射关系。基于本地信息的定值调整方案采用自适应算法，根据电流有效值变化率修正过流保护阈值。广域测量系统支持下，可实现区域定值协同优化，通过收集多节点电气量信息，构建考虑网络拓扑的定值计算模型。部分研究提出基于机器学习的定值整定方

法，利用历史运行数据训练神经网络，预测最优定值组合。针对分布式电源集群接入场景，开发了分层式定值管理架构，上层系统负责整体协调，下层装置执行本地化定值调整，兼顾响应速度与计算效率。

1.3 保护动作逻辑设计技术

多电源环境要求保护动作逻辑具备方向选择性。方向元件设计成为关键，基于功率方向判别的逻辑通过比较故障前后电压电流相位关系确定故障方向。部分方案采用故障分量方向元件，提取故障产生的增量信号进行方向判断，提高抗过渡电阻能力。针对分布式电源提供的助增效应，开发了基于阻抗测量的动作逻辑，通过计算故障点至保护安装处的等效阻抗确定动作边界。自适应动作逻辑根据电源出力水平调整动作时限，出力较大时缩短延时以快速隔离故障，出力较小时延长延时避免误动。

1.4 保护配合技术

保护配合需解决多级保护间的时序与范围协调问题。阶段式配合方案通过设置不同动作时限实现选择性，但分布式电源接入可能改变短路电流水平，导致保护范围重叠或脱节。基于通信的配合技术通过交换保护状态信息实现精确配合，如纵联保护利用通信通道比较两端电气量，快速切除全线故障。区域保护系统将配电网划分为多个保护域，域内装置通过高速通信协同动作，域间通过边界装置实现信息交互。部分研究提出基于代理思想的配合机制，将保护装置视为智能代理，通过协商确定最优动作策略，提升配合灵活性。

2 不同类型分布式电源的继电保护策略

2.1 光伏分布式电源继电保护策略

光伏电源通过逆变器并网，其故障电流特性受功率控制策略与光照强度影响显著。针对逆变器输出电流的限幅特性，保护策略需重点解决故障电流幅值受限导致

的灵敏度不足问题。基于电压跌落幅值与相位跳变的保护方案通过监测并网点电压相量变化,结合光伏电源等效阻抗模型,构建故障方向判据^[2]。部分研究提出利用逆变器控制环节注入特定频率的探测信号,通过检测故障点反射波实现精准定位。针对高渗透率光伏场景,开发了基于广域测量系统的区域保护策略,通过收集多光伏电源并网点电气量信息,构建故障特征关联矩阵,实现保护动作的快速协同。此外,光伏电源的孤岛效应对保护选择性构成挑战,需结合被动式孤岛检测方法与主动式频率偏移技术,确保故障隔离与孤岛划分的协调性。

2.2 风电分布式电源继电保护策略

风力发电的间歇性与随机性导致故障电流特征波动较大,保护策略需适应风速变化引起的出力调整。双馈风电机组与直驱永磁机组的故障特性差异要求分类制定保护方案。对于双馈机组,转子侧变流器控制可能引发故障电流谐波含量增加,需采用基于傅里叶变换的谐波分量提取技术,构建包含基波与谐波信息的复合判据。直驱机组通过全功率变流器并网,故障电流幅值受变流器过流能力限制,保护策略需结合机组运行状态与故障类型动态调整定值。针对海上风电场景,开发了基于行波传播特性的保护方案,通过部署分布式行波传感器,利用故障产生的初始行波与反射波到达时间差计算故障位置,克服长距离输电线路的定位难题。

2.3 储能型分布式电源继电保护策略

储能系统双向充放电特性对保护方向性提出更高要求。保护策略需区分充电与放电模式下的故障特征,构建适应不同运行工况的判据体系。基于功率流向的保护方案通过监测储能装置端口有功与无功功率方向,结合系统拓扑结构确定故障位置。针对电池储能系统的过充过放风险,开发了包含状态估计与容量预测的保护模块,通过实时评估电池健康状态调整保护定值。部分研究提出利用储能变流器控制灵活性,在故障发生瞬间主动调整输出电流波形,为保护装置提供更清晰的故障特征,提升动作可靠性。此外,储能系统参与电网调频时,需协调保护动作与频率调节指令,避免因保护误动导致系统频率进一步恶化。

2.4 微型燃气轮机分布式电源继电保护策略

微型燃气轮机以同步发电机形式并网,其故障电流特性与传统电源相近,但转速调节特性对保护时限配合产生影响。针对燃气轮机启动与停机过程中的暂态过程,保护策略需设置专门的暂态判据,避免误动。基于转速偏差的保护方案通过监测机组转速变化率,结合原动机功率输出特性,构建故障早期预警机制。部分研究

提出利用燃气轮机排气温度与燃料流量等辅助参数,开发多信息融合的保护策略,提升故障识别准确性。针对分布式供电场景,开发了包含黑启动能力的保护架构,通过配置分布式电源间的通信接口,实现故障隔离与系统重构的协同控制,缩短停电恢复时间。

3 分布式电源继电保护的配置原则

3.1 保护层级配置原则

分布式电源接入后,配电网保护层级需从单一主保护向主-后备协同保护体系转变。主保护应具备快速切除故障的能力,通过本地电气量信息实现无延时动作,确保故障影响范围最小化。后备保护则需覆盖主保护盲区,通过延长动作时限或扩大保护范围提供冗余保护。针对分布式电源多端接入特性,保护层级设计需考虑电源位置对短路电流分布的影响,在电源并网点与线路末端配置差异化保护策略^[3]。部分研究提出基于保护动作时间梯度的层级配置方法,通过设置不同保护装置的动作时限差值,构建阶梯式保护时序,避免保护范围重叠导致的越级跳闸。此外,保护层级应与电网运行方式动态适配,通过实时监测电源出力与负荷水平,自动调整保护动作时限与定值,提升层级配置的灵活性。

3.2 保护装置配置原则

保护装置配置需兼顾功能完整性与经济性,根据分布式电源类型与接入位置选择适配的保护类型。逆变型电源并网点应配置具备方向识别能力的保护装置,通过监测电压电流相位关系判断故障方向,防止反向故障误动。同步发电机型电源需配置差动保护与过流保护组合装置,利用电流互感器采集的电气量构建差动判据,快速切除机端短路故障。针对储能系统双向功率流动特性,保护装置应支持充放电模式自动切换,通过调整定值与动作逻辑适应不同运行工况。部分研究提出采用集成化保护装置,将测量、控制与保护功能整合于单一设备,减少二次回路复杂度,提升装置可靠性。此外,保护装置应具备通信接口,支持与上级系统或相邻装置的信息交互,为广域保护策略实施提供硬件基础。

3.3 保护范围划分原则

保护范围划分需确保全线路无保护死区,同时避免保护范围交叉导致的动作冲突。基于电气距离的保护范围划分方法通过计算故障点至保护安装处的等效阻抗,结合系统拓扑结构确定动作边界,适用于辐射状配电网。针对环网结构,开发了基于故障电流分布系数的范围划分策略,通过分析故障时各支路电流占比,动态调整保护动作阈值。分布式电源接入可能改变短路电流路径,保护范围划分需考虑电源助增或分流效应,通过建

立包含电源等值模型的计算工具,精确预测故障电流分布。部分研究提出采用自适应保护范围技术,利用实时监测的电气量信息更新保护范围参数,使保护动作特性与系统运行状态保持匹配。此外,保护范围划分应与断路器分断能力协调,确保故障切除后系统残压维持在安全水平,避免设备绝缘损坏。

4 分布式电源继电保护的运行维护

4.1 保护装置的日常维护方法

分布式电源保护装置的日常维护需围绕功能验证与状态检查展开。定期开展装置自检功能测试,通过模拟故障信号触发保护动作,验证硬件回路与逻辑程序的正确性^[4]。针对逆变型电源保护装置,需重点检查电流采样通道的线性度与相位误差,利用标准信号源注入特定幅值与频率的电流,对比装置测量值与实际值,确保采样精度满足保护要求。同步发电机型电源保护装置的维护需关注差动保护回路的平衡性,通过短接电流互感器二次侧端子,检测装置显示的差流值是否在允许范围内。部分研究提出采用红外热成像技术检测装置内部元件温升,通过分析温度分布异常定位潜在故障点,提前预防接触不良或元件老化问题。此外,维护人员应定期清理装置表面灰尘,检查端子排紧固程度,避免因环境因素导致接触电阻增大影响保护性能。

4.2 保护系统的状态监测方法

保护系统状态监测需整合多源数据实现全链路感知。基于电气量信息的监测方法通过采集保护装置输入输出的电压电流信号,构建时频域特征指标,利用小波变换提取暂态分量能量分布,结合支持向量机算法评估装置运行状态。通信链路状态监测采用心跳包机制,通过定时发送检测信号并统计响应时间,判断通信通道的可靠性与延迟特性,确保保护指令及时传输。部分研究开发了基于边缘计算的监测平台,在保护装置侧部署轻量化分析模块,实时计算装置动作次数、误动率等关键指标,通过阈值比较触发预警信号。针对分布式电源集群接入场景,采用分层式监测架构,上层系统汇总各节点监测数据,通过构建状态评估矩阵识别系统级风险,下层装置执行本地化数据采集与初步分析,提升监测效

率与可扩展性。

4.3 保护策略的动态调整方法

保护策略动态调整需响应电源出力与系统运行方式变化。基于功率预测的调整方法通过收集气象数据与历史运行记录,利用长短期记忆网络预测未来时段电源出力,结合负荷预测结果生成保护定值调整曲线,使保护动作特性与系统状态保持匹配。针对储能系统充放电模式切换,开发了基于状态机的策略调整机制,将储能运行状态划分为充电、放电、闲置三类,每类状态对应独立的保护定值组,通过检测储能变流器控制信号自动切换定值,避免模式切换导致的保护误动^[5]。部分研究提出采用强化学习算法优化保护策略,以保护动作正确率与系统停电时间为优化目标,通过不断试错学习最优定值组合,提升策略对复杂工况的适应性。此外,保护策略调整需考虑与上级电网的协调性,通过建立包含分布式电源与主网保护的動作时序模型,确保故障隔离后系统能够快速恢复稳定运行。

结束语

分布式电源继电保护策略的研究涵盖多方面内容,从关键技术突破到不同类型电源保护策略制定,再到配置原则与运行维护方法探索,形成了一套较为完整的理论体系。通过合理应用这些策略与方法,能够有效应对分布式电源接入带来的挑战,提升配电网保护性能,保障分布式电源与电网的安全稳定运行,推动能源可持续发展。

参考文献

- [1]袁加为,徐智远.基于分布式电源并网的继电保护策略研究[J].电气技术与经济,2025(7):89-91.
- [2]王娜.考虑分布式电源影响的电力系统继电保护协同控制策略研究[J].光源与照明,2025(6):211-213.
- [3]吴一凡,王玉财.含分布式电源配电网继电保护策略研究[J].电力设备管理,2023(9):8-10.
- [4]段冬瑞.配电网中分布式电源对继电保护策略的影响及优化措施分析[J].电力设备管理,2023(12):44-46.
- [5]李锦锦,谷妍,宋雨锴.分布式电源的并网系统继电保护策略分析[J].电子技术,2025,54(7):168-169.