

基于光差保护的配网合环运行可靠性提升策略

吴彦池

深圳招商供电有限公司, 广东 深圳 518000

DOI:10.61369/EPTSM.2025070001

摘 要： 伴随配电网向智能化、互联化发展，合环运行变成提升供电可靠性和资源利用率的重要模式，但合环过程中存在的故障风险及保护配合问题，制约其广泛应用，光差保护凭借高精度、高速动作特性为处理配网合环运行中的保护问题带来帮助。本文围绕光差保护的配网合环运行可靠性提升展开研究，明确此项工作需遵循的核心原则，随后从多个维度提出针对性策略，研究说明经过科学原则指导和系统策略实施，可显著强化光差保护在配网合环运行中的适应性并有效提升配电网整体供电可靠性。

关 键 词： 光差保护；配网合环运行；供电可靠性；提升原则；优化策略

Strategy to Improve the Reliability of Distribution Network Loop Operation Based on Optical Differential Protection

Wu Yanchi

Shenzhen Merchants Power Supply Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract： With the development of smart and interconnected distribution networks, loop closure operation has become a crucial approach to enhance power supply reliability and resource utilization efficiency. However, existing fault risks and protection coordination issues during loop closure processes hinder its widespread application. Optical differential protection, with its high-precision and rapid-action characteristics, offers significant assistance in addressing protection challenges during distribution network loop closure operations. This study focuses on improving the reliability of optical differential protection in distribution network loop closure operations, clarifying the core principles that must be followed. Subsequently, targeted strategies are proposed from multiple dimensions. The research demonstrates that through scientific principles and systematic implementation of these strategies, the adaptability of optical differential protection in distribution network loop closure operations can be significantly enhanced, effectively improving the overall power supply reliability of distribution network.

Keywords： optical power protection; distribution network closed-loop operation; power supply reliability; improvement principle; optimization strategy

引言

在电力系统持续发展背景下，用户对供电可靠性要求日益提升，配网合环运行因能减少停电时间、提升供电连续性而受到广泛关注，不过配网合环运行过程中，线路故障时的电流分布、保护动作逻辑会发生变动，传统保护方法易发生误动、拒动等问题影响合环运行的安全性和稳定性，光差保护基于光纤通信达成线路两端电气量的实时对比，其具有动作速度快、选择性强的优点，为处理配网合环运行中的保护问题带来新路径，推动配电网高质量发展。

一、基于光差保护的配网合环运行可靠性提升原则

（一）保护动作与合环运行特性适配原则

配网合环运行时，线路潮流分布、短路电流大小与方向会因合环点选择、系统运行方法改变而改变，这和辐射状运行模式存在显著差异，光差保护作为配网合环运行中的重点保护手段，其

动作逻辑和参数设置一定得完全适合合环运行的特性能力，确保在故障发生时准确、高速动作，若光差保护仍沿用辐射状运行时的参数可能因无法识别合环后的故障电流特征而发生误判^[1]。在合环线路发生区外故障时，若保护装置未考量合环带来的电流分流效应，则会误将区外故障判定为区内故障导致跳闸，影响供电连续性；反之若区内故障时因参数不适配导致保护拒动，则会扩

作者简介：吴彦池（1995-），男，四川资阳人，本科，助理工程师，研究方向：继电保护。

大故障影响范围造成更严重的停电事故。所以在提升配网合环运行可靠性过程中，工作人员需优先确保光差保护的動作特性和合环运行的电气特征相匹配并根据合环运行的实际工况动态调整保护参数，使保护装置能精准识别故障类型和位置为合环运行带来可靠保护支撑。

（二）保护系统与通信网络协同可靠原则

光差保护的正常运行高度依赖通信网络的平稳传输，配网合环运行中，保护装置需经过通信网络实时交换线路两端电流、电压等电气量数据，一旦通信网络发生延迟、中断或数据丢包等问题将直接影响光差保护的動作性能，威胁配网合环运行的可靠性^[5]。工作人员为保障保护系统和通信网络协同可靠，则需从通信网络选型、架构设计及冗余配置等方面制定明确要求，以下通过表格形式展示通信网络关键性能指标与适配方案：

通信网络性能指标	要求标准	适配方案	应用效果
传输延迟	≤ 10ms	采用光纤专线通信，减少中间转发节点，优化数据传输路径	确保线路两端电气量数据同步性，避免因延迟导致保护误动
数据丢包率	≤ 0.001%	采用冗余通信链路，当主链路出现故障时，自动切换至备用链路；采用数据重传机制	降低数据丢失概率，保障保护装置获取完整、准确的电气量信息
网络稳定性	全年中断时间 ≤ 1h	定期对通信设备进行维护检修，实时监测网络运行状态，建立故障预警机制	减少通信网络故障次数与持续时间，提升保护系统运行稳定性

以某城市配网合环项目为例，该项目初期采用无线通信方法传输光差保护数据因无线信号易受外界干扰，传输延迟最高达50ms导致光差保护在多次故障模拟测试中发生動作延迟问题，后改为光纤专线通信并配置冗余链路，传输延迟控制在5ms以内，数据丢包率降至0.0005%以下^[2]。光差保护動作准确率显著提升，合环运行的可靠性得到有效保障，由此可见保护系统和通信网络协同可靠是提升配网合环运行可靠性的重要原则，工作人员需经过科学的通信方案设计和管埋，为光差保护带来稳定的通信支撑。

（三）故障处理与供电恢复高效统筹原则

在配网合环运行中，光差保护的重点目标不只是快速切除故障，更要与供电恢复措施高效统筹，以最大限度减少故障造成停电时间提升供电可靠性，当配网合环线路发生故障时，光差保护需在最短时间内准确切除故障线路防止故障扩散，保护系统应与配网自动化系统实时联动将故障信息高速传递至调度核心，为调度人员制定供电恢复方案带来依据，若仅着重故障切除速度而忽视与供电恢复统筹协调，则可能导致故障切除后，调度中心无法实时获取准确地故障信息而延长供电恢复时间，影响用户用电体验^[3]。比如某配网合环线路发生单相接地故障，光差保护虽高速切除故障但因未实时将故障位置、故障类型等信息同步至自动化系统，调度人员只能经过人工巡检排查故障，导致供电恢复时间长达2小时远超预期，所以在提升配网合环运行可靠性过程中，工

作人员需遵循故障处理和供电恢复高效统筹原则创建光差保护、自动化系统和调度中心协同机制，达成故障切除和供电恢复的无缝衔接，在缩短停电时长的同时提升配网合环运行整体可靠性。

二、基于光差保护的配网合环运行可靠性提升策略

（一）优化光差保护参数，适配合环电流特征

配网合环运行时，线路短路电流幅值和相位会发生变化，需经过优化光差保护参数适配合环电流特征，工作人员一开始需结合配网合环运行的潮流计算结果确定各类合环方法下线路的最大短路电流和最小短路电流，以此为依据调整光差保护的動作电流阈值。当配网采用双侧电源合环方法时，线路短路电流会显著增大，若仍采用辐射状运行时的動作电流阈值可能导致保护装置在正常合环操作时误动，此时根据合环后的最大短路电流适当提升動作电流阈值，保证在区内故障时保护装置能可靠動作^[4]。针对合环线路可能发生的故障电流方向改变问题，工作人员需优化光差保护的方向判别逻辑采用自适应方向判别算法，基于合环运行方法自动调整方向判别门槛防止因电流方向改变导致保护拒动，比如某地区配网在合环运行改造中利用潮流计算得出合环线路最大短路电流为3.2kA，最小短路电流为0.8kA，据此将光差保护動作电流阈值调整为0.6kA（低于最小短路电流确保区内故障可靠動作），使保护装置能准确识别故障电流方向，改造后经过故障模拟测试，光差保护在各类合环方法下的動作准确率达到100%，有效防止误动、拒动问题，提升配网合环运行的可靠性^[5]。

（二）构建分层通信架构，保障数据传输稳定

在处理光差保护依赖的通信网络易受干扰、稳定性不足的问题时，工作人员需构建分层通信架构保障数据传输平稳，该架构从上至下分为核心层、汇聚层与接入层，核心层采用双节点冗余设计部署高性能路由器和交换机，负责完成各类配网区域间的通信互联，保证数据在大范围传输过程中的稳定性；汇聚层设置在配网变电站内经过光纤链路和中心层连接，接入多个接入层节点实现对区域内光差保护数据汇聚和转发，减少数据传输路径长度^[6]；接入层直接和配网线路上的光差保护装置连接，采用光纤专线或工业以太网方法来保障保护装置和汇聚层之间数据传输实时性、准确性。工作人员在分层通信架构中还需引入网络监控系统，对各层级通信设备的运行状态、数据传输速率、延迟等指标实行实时监测，当发现通信异常时则自动发出预警信号并启动冗余链路切换机制，保证数据传输不中断，还要定期对通信设备实行固件更新、维护，消除设备潜在故障隐患进一步提升通信网络稳定性，为光差保护的正常运行带来可靠的通信保障^[7]。

（三）建立保护与自动化联动机制，加速故障处理

光差保护与配网自动化系统联动不足会导致故障处理效能低下，创建二者联动机制可加速故障处理以及提升配网合环运行可靠性，具体而言在光差保护装置检测到线路故障并動作跳闸后立即将故障信息（涵盖故障线路编号、故障类型、故障发生时间、故障电流幅值等）经过通信网络上传至配网自动化系统，自动化系统接收到故障信息后结合配网拓扑结构和实时运行数据来高速

分析故障影响范围并生成最优的供电恢复方案，随后自动化系统将供电恢复方案下发至相关的断路器、隔离开关等设备达成故障线路隔离与非故障区域供电恢复^[8]。为验证该联动机制的有效性，某配网开展了现场测试，测试结果如下表所示：

测试项目	无联动机制	有联动机制	提升效果
故障识别时间	15s	3s	缩短80%
供电恢复时间	45min	12min	缩短73.3%
停电范围	3个台区	1个台区	缩小66.7%

从测试效果可以看出创建光差保护与配网自动化联动机制后，故障识别时间、供电恢复时间显著缩短，停电范围大幅缩小，故障处理效能得到极大提升有效保障配网合环运行的可靠性^[9]。

（四）引入状态监测技术，实现保护提前预警

防止光差保护装置因自身故障导致配网合环运行可靠性下降的过程中，工作人员需引入状态监测技术实行保护提前预警，状态监测技术是指在光差保护装置内部及重点部件（如电流互感器、电压互感器、通信接口等）安装传感器，实时采集装置运行参数（如装置工作温度、电源电压、电流采样精度、通信信号强度等）和状态信息，再将采集到的数据传输至状态分析平台，平台采用大数据分析和人工智能算法对数据实行处理分析，识别光差保护装置的潜在故障隐患^[10]。平台在检测到装置参数超出正常范围或存在异常走向时自动生成预警信息并基于故障严重程度划分预警等级（如一般预警、重要预警、紧急预警），及时推送至运维人员，运维人员围绕预警信息制定针对性检修计划，在装置发生实际故障前实行维护或更换防止因保护装置故障影响配网合环运行，状态监测技术还能积累光差保护装置运行数据为装置寿命评估、检修周期改良带来依据，进一步保证配网合环运行的效果^[11]。

（五）加强运维管理体系建设，促使保护长期可靠

光差保护的长期可靠运行离不开完善的运维管理体系，加大运维管理体系建设是提升配网合环运行的重要保障，企业要创建健全运维管理制度，明确运维人员职责和 workflows，涵盖光差保护装置的日常巡检、定期检测、故障处理等环节的具体要求，保证运维工作规范化、标准化，还要加大运维人员培训，定期组织技术培训和实操演练使运维人员熟悉光差保护装置的工作原理、参数设置方法及故障排查技巧，提升运维人员专业技能水平^[12]。在保护装置发生故障时，运维人员能高速、准确做出处理，还可以引入运维信息化管理平台，将光差保护装置运行数据、检修记录、故障信息等纳入平台管理实现运维数据集中存储、查询与分析，为运维决策带来数据支撑，随着加大运维管理体系建设可实时发现并处理光差保护运行过程中的问题，促进配网合环运行的稳定性。

三、结束语

综上所述，配网合环运行是提升供电可靠性的重要举措，而光差保护作为保障合环运行安全的核心技术，其应用成效直接影响配网整体运行质量，本文明确基于光差保护的配网合环运行可靠性提升原则，从保护参数优化、分层通信架构构建、系统联动机制、进行状态监测及运维管理等方面提出针对性策略，为处理光差保护在配网合环运行中的适配性和协同性问题带来思路。企业在今后要进一步结合实际配网案例对各策略应用结果实行量化分析，探索光差保护和新能源接入、智能调度等技术融合路径，持续优化配网合环运行可靠性提升体系，推动配电网向更高效、更可靠的方向发展，为用户带来更优质电力服务。

参考文献

[1] 颜湘武,邵晨,彭维锋,等.基于旋转式潮流控制器的有源配电网柔性合环及紧急功率控制方法[J].中国电机工程学报,2023,43(16):6192-6204.

[2] 成龙,李国庆,王翀,等.考虑预测误差不确定性和功率互济的配电网直流合环重构[J].电力系统保护与控制,2024,52(24):97-108.

[3] 杜苗苗.基于无缝合环转电装置的配电网优化运行[D].华中科技大学,2024.

[4] 欧阳金鑫,陈纪宇,袁毅峰,等.基于分布式电源主动控制的配电网合环电压波动抑制方法[J].2024,44(1).

[5] 徐洪海,刘文松,潘明,等.基于移相调压技术的紧凑型配电网合环系统研制[J].电气应用,2023(1):80-85.

[6] 陈世威,荣娜,罗勇,等.基于1D-CNN的含DG中压馈线合环电流预测方法[J].建模与仿真,2023,12(5):4499-4514.

[7] 熊吟龙,曾晓丹,彭程,等.10kV配网线路长期合环风险辨识及检测方法[J].电气技术与经济,2023(10):181-183.

[8] 王凯,王洋,杜鹏,等.计及分布式电源输出特性的主动配电网合环电流计算方法[J].电网与清洁能源,2023,39(6):144-150.

[9] 高文俊.基于合环电压波动抑制的配电网故障恢复协同控制方法[J].电气技术与经济,2024(12):339-342.

[10] 张宇翔.10kV配电网不停电合环倒切负荷技术研究[J].电力设备管理,2024(3):26-28.

[11] 褚亦遥.基于配电网合环倒切接地故障分析的改进保护方案与合环条件[J].电瓷避雷器,2024(1):119-130.

[12] 刘文松,徐洪海,皇甫晨晨,等.基于灵敏度分析的电力系统合环决策模型[J].办公自动化,2023,28(24):59-61.