

配电自动化终端自愈控制策略研究

钟建国

杭州大有供电服务有限公司桐庐白云源分公司 浙江 杭州 311500

摘要: 配电自动化终端自愈控制对保障电网稳定运行意义重大。本文阐述自愈控制概念内涵,介绍实时数据采集、故障诊断等关键技术及集中式、分布式等控制策略分类。详细设计故障检测定位、隔离、供电恢复等策略及协同机制,从通信可靠性、终端算力、抗干扰能力方面优化性能,为提升配电自动化终端自愈控制水平提供参考。

关键词: 配电自动化终端;自愈控制策略;故障定位;协同机制;性能优化

引言:随着电力系统发展,对供电可靠性与稳定性要求日益提高。配电自动化终端自愈控制作为保障电网稳定运行的关键技术,能实时监测电网,故障时快速定位、隔离并恢复供电,减少停电范围与时间,降低用户损失。研究配电自动化终端自愈控制策略,对提升电网智能化水平、增强应对故障能力、保障电力供应连续可靠具有重要的现实意义。

1 配电自动化终端自愈控制理论基础

1.1 自愈控制概念与内涵

在电力系统不断发展演进中,自愈控制作为先进理念逐渐兴起。它依托实时监测电网运行状态,能敏锐察觉细微异常。故障出现时,可迅速精准锁定故障位置,有效分隔故障与正常区域,防止故障蔓延^[1]。随后通过科学操作,实现非故障区域快速恢复供电,达成电网自我修复目标。自愈控制目标明确且关键。在停电范围控制上,致力于将故障引发停电区域压缩至最小,理想控制在3千米内,减少对用户用电影响。恢复时间方面,尽可能缩短故障发生到供电恢复间隔,确保5分钟内完成,降低用户不便与损失。系统稳定性是核心追求,要保证故障处理及恢复中电网稳定,避免连锁反应引发更严重故障,保障电力供应连续可靠。

1.2 关键技术支撑

实时数据采集与处理技术是自愈控制基石。高速采样技术能以每秒10000次频率采集电网电气参数,为后续分析提供丰富准确数据。边缘计算技术可在数据源头附近初步处理数据,减少传输量,提高处理效率,让系统更快响应电网变化。故障诊断与定位算法是自愈控制关键环节。行波法利用故障行波传播特性确定位置,定位速度快、精度高,0.1秒内可初步定位。阻抗法通过测量故障点阻抗计算距离,在简单电网应用广泛,定位精度达100米内。智能算法如神经网络、遗传算法等,凭借学习优化能力处理复杂故障,提高诊断定位准确性。分

布式控制与协同决策理论为自愈控制提供组织架构。多代理系统将终端设备视为自主决策个体,通过信息交互与协同合作处理复杂任务。分层控制根据电网层次功能分配控制任务,提高系统可扩展性与管理效率,能管理1000个以上终端设备。

1.3 控制策略分类

集中式控制模式下,所有决策均依赖主站进行全局分析和判断。这种策略适用于网络结构相对简单的电网,主站能够全面掌握电网的运行信息,从而做出较为准确的决策,可处理节点数在100个以内的电网。分布式控制赋予终端设备自主决策的能力。在复杂拓扑的电网中,终端设备可根据本地信息和与相邻设备的通信情况,独立判断并执行相应的控制操作,具有响应速度快、灵活性高的优势,响应时间可缩短至0.05秒。混合式控制融合了集中式和分布式控制的特点。在需要全局协调的场景下,主站发挥主导作用;而在局部快速响应需求较高时,终端设备可自主决策。这种策略平衡了效率与可靠性,能够更好地适应不同规模和复杂程度的电网需求,可适应节点数从50到5000的电网。

2 配电自动化终端自愈控制策略设计

2.1 故障检测与定位策略

故障检测与定位是配电自动化终端自愈控制首要环节。基于电气量的故障特征提取是关键,电流突变是常见显著故障特征,电网出现短路等故障时,电流会瞬间急剧变化,通过对电流实时监测分析,能快速捕捉异常突变,为故障检测提供线索。谐波分析也不可忽视,电网中非线性负载等会产生谐波,故障发生时谐波成分和含量会改变,深入分析谐波特征有助于精准识别故障类型和位置。多源信息融合定位提升了定位准确性。终端设备采集的数据是局部信息,主站有全局视角,能综合分析电网运行状态^[2]。将终端数据与主站分析结果结合,利用两者优势,可有效消除单一信息源可能存在的误差

和不确定性,精准定位故障位置,定位误差可控制在50米以内。动态拓扑适应算法解决了电网网络结构变化问题。随着电网运行和改造,网络拓扑结构会不断变化,传统定位方法可能无法适应。动态拓扑适应算法能实时感知电网拓扑变化,自动调整定位策略和参数,确保不同网络结构下都能准确故障定位,可适应10种以上的拓扑变化情况。

2.2 故障隔离策略

快速保护动作逻辑是故障隔离的核心。差动保护通过比较被保护设备两端电流的差值来判断故障,具有动作迅速、选择性好的特点,能够在故障发生的瞬间快速切断故障电流,防止故障的进一步扩大。方向保护则根据故障电流的方向来确定保护动作的方向,避免保护误动作,提高故障隔离的准确性。分段开关与联络开关的协同控制对于实现故障的有效隔离至关重要。分段开关将电网划分为多个区域,当故障发生时,通过控制分段开关的动作,能够快速将故障区域与正常区域隔离开来。联络开关则用于在故障隔离后,将非故障区域的负荷转移到其他供电线路上,保障供电的连续性。孤岛运行与解列控制为局部供电的连续性提供了保障。在故障导致部分电网与主网分离时,合理控制孤岛运行,利用分布式电源为孤岛内的负荷供电,减少停电范围。当故障排除后,及时进行解列控制,使孤岛重新并入主网,恢复正常供电。

2.3 供电恢复策略

网络重构算法是供电恢复的关键技术。基于图论的最优路径搜索方法,将电网抽象为图,通过寻找最优路径来实现网络的重构,使供电恢复的路径最短、损耗最小,提高供电恢复的效率和质量。负荷转供优先级划分在供电恢复过程中起着重要作用。重要负荷如医院、学校等对供电可靠性要求较高,在负荷转供时应优先考虑。同时,要考虑过载风险,避免将过多负荷转供到某条线路上导致过载,保障电网的安全稳定运行。分布式电源与储能的协同参与提升了供电恢复的灵活性。分布式电源如太阳能、风能等可以在故障发生时为局部负荷提供电力支持,储能装置则可以在电力充足时储存能量,在需要时释放能量,与分布式电源相互配合,为供电恢复提供更多的选择和保障。

2.4 自适应控制策略

根据故障类型动态调整控制参数是实现自适应控制的重要方式。短路故障和接地故障具有不同的特点,对控制参数的要求也不同。针对不同类型的故障,动态调整保护动作的阈值、时间等参数,能够提高控制的准确

性和有效性。基于历史数据的策略优化借助机器学习等技术,对大量的历史故障数据进行分析和学习,挖掘数据中的规律和模式。根据学习结果辅助决策,不断优化自愈控制策略,使控制策略能够更好地适应电网的运行变化和故障情况。

3 配电自动化终端自愈控制协同机制

3.1 终端间协同控制

在配电自动化终端自愈控制体系里,终端间协同控制是保障系统高效运行关键^[3]。邻域终端信息交互协议为终端间沟通搭建桥梁,像GOOSE通信这类协议,凭借高速、可靠的数据传输特性,能让邻近终端设备迅速交换运行状态、故障信息等关键数据。及时共享信息,使终端设备对周边电网情况更全面了解,为后续协同操作奠定基础。分布式一致性算法是实现终端决策同步核心手段。在复杂多变的电网环境中,各终端设备独立决策可能出现不一致情况。分布式一致性算法通过特定计算规则和交互机制,让所有参与终端设备在决策中逐步达成共识,确保它们在故障处理、供电恢复等关键环节协调一致行动,避免因决策差异导致控制混乱,提升系统协同效率。

3.2 主站与终端协同控制

主站与终端协同控制充分发挥两者优势,实现高效分工。主站具备全局视角,能对整个电网运行状况综合分析和优化。在自愈控制过程中,主站可依据电网拓扑结构、负荷分布等信息制定科学恢复方案,为终端设备操作提供宏观指导。终端设备凭借靠近现场优势,负责执行具体隔离、恢复等局部决策操作,快速响应主站指令,确保控制措施精准落地。动态权限切换机制进一步增强系统灵活性和可靠性。电网正常运行时,终端设备有一定自主控制权限,可快速处理局部小故障。当故障严重程度超出终端设备处理能力范围,动态权限切换机制及时启动,主站接管控制权,集中资源全局协调决策,以更有效应对复杂故障,保障电网稳定运行。

3.3 跨系统协同控制

跨系统协同控制拓展了配电自动化终端自愈控制边界,提升系统整体效能。与调度自动化系统数据共享是重要方面,通过共享负荷预测、发电计划等数据,配电自动化终端能提前了解电网未来运行趋势,合理安排自愈控制策略。例如,根据负荷预测结果,提前调整电网运行方式,避免负荷高峰期故障造成大面积停电。与需求响应系统联动则为电网稳定运行提供新思路。需求响应系统可引导用户调整用电行为,在电网故障或负荷紧张时,通过合理激励措施,让用户减少不必要用电或转

移用电时间。配电自动化终端与需求响应系统联动，能更好平衡电网供需关系，在保障供电可靠性同时，提高电网运行效率和资源利用率。

4 配电自动化终端自愈控制性能优化

4.1 通信可靠性优化

通信的可靠性是配电自动化终端自愈控制稳定运行的基础。双通信通道冗余设计能有效提升通信的稳定性，采用光纤与无线相结合的方式便是典型应用。光纤通信具备高速、稳定、抗干扰能力强的优势，能保障大量数据准确且快速地传输^[4]。而无线通信则具有灵活性高、部署便捷的特点，可作为光纤通信的补充。当光纤通道出现故障时，无线通道可迅速接管通信任务，确保终端与主站之间的信息交互不中断，为自愈控制的实时性和准确性提供有力支撑。数据压缩与加密技术对通信性能优化同样至关重要。数据压缩能够减少数据传输量，降低通信带宽的占用，从而有效降低传输延迟，让终端能更快地获取关键信息并做出响应。数据加密则可防止数据在传输过程中被窃取或篡改，保障数据的安全性，避免因数据泄露或错误导致的自愈控制失误，为电网的安全稳定运行筑牢防线。

4.2 终端算力提升

终端算力的强弱直接影响自愈控制的效率和效果。嵌入式处理器性能优化是提升终端算力的关键途径之一。采用多核架构可使处理器同时处理多个任务，提高数据处理的速度和效率。硬件加速技术则针对特定的计算任务，如故障诊断算法、数据加密解密等，通过专门的硬件模块进行加速处理，大幅缩短计算时间，让终端能更及时地完成自愈控制所需的各项计算任务。边缘计算与云计算协同能有效减轻终端的计算负担。边缘计算可在终端设备附近对数据进行初步处理和分析，只将关键信息上传至云端，减少数据传输量。云计算则凭借强大的计算能力和丰富的资源，对边缘计算上传的数据进行深度处理和综合分析，为终端提供更精准的控制策略。两

者协同工作，使终端在有限的算力条件下，也能实现高效的自愈控制。

4.3 抗干扰能力增强

配电自动化终端运行环境复杂，增强抗干扰能力是保障稳定运行的关键。电磁兼容设计可有效抑制高次谐波与雷击干扰。通过合理设计终端的电路布局、选用抗干扰能力强的元器件等措施，降低高次谐波对终端电子元件的影响，避免因谐波干扰导致的数据错误或设备故障。同时采用防雷设计，如安装避雷器等，可防止雷击对终端造成损坏，确保终端在恶劣天气条件下也能正常工作。故障容错机制为终端的稳定运行提供了额外保障。当终端掉线时，备用控制策略可立即启动，根据预先设定的规则和历史数据，继续执行部分自愈控制功能，如故障隔离、负荷转供等，避免因终端掉线导致自愈控制中断，保障电网的供电连续性。

结束语

配电自动化终端自愈控制策略研究涵盖多方面内容。通过合理设计故障检测定位、隔离、供电恢复及自适应控制策略，构建协同机制，并从通信、算力、抗干扰等方面优化性能，可有效提升终端自愈控制能力。这有助于提高电网应对故障的效率，保障电力供应的连续性与稳定性，为电力系统的安全可靠运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]刘焯,王冬雪,宋世杰.配网馈线自动化终端防止自愈误合闸判别方法的研究[J].今日自动化,2024(9):132-134.
- [2]李超超,赵军,章宝歌,等.基于馈线终端的配电网可自愈系统研究[J].河南工程学院学报(自然科学版),2024,36(3):44-49,56.
- [3]冯志,李光洋,韩江伟,等.基于智能终端的配电自动化系统故障定位与自愈控制研究[J].科海故事博览,2025(25):31-33.
- [4]陈文,刘洋,邱益林,等.智能终端在配电网故障定位与自愈控制中的应用分析[J].电力设备管理,2025(11):109-111.