

基于边缘计算的配电网自动化系统故障定位与自愈控制策略研究

胡 鑫

张家口宏恒电力实业有限公司阳原分公司 河北阳原 075800

摘 要：随着电力需求的增长和配电网规模的不断扩大，提高配电网的可靠性和供电质量成为电力行业的重要任务。本文深入研究了基于边缘计算的配电网自动化系统故障定位与自愈控制策略。通过对边缘计算技术在配电网中的应用优势进行分析，阐述了其对故障定位准确性和快速性的提升作用。详细探讨了故障定位的多种方法，为提高配电网自动化水平和供电可靠性提供了有价值的参考。

关键词：边缘计算；配电网自动化系统故障定位；自愈控制策略

在现代电力系统中，配电网作为直接面向用户的重要环节，其运行的可靠性和稳定性直接影响着用户的用电体验和社会经济的正常运转。随着分布式能源的广泛接入、智能电网技术的不断发展以及用户对电能质量要求的日益提高，传统配电网面临着诸多挑战，如故障定位困难、故障处理时间长、供电可靠性低等。配电网自动化系统应运而生，旨在通过先进的技术手段实现对配电网的实时监测、控制和管理，提高配电网的运行效率和可靠性。

1. 基于边缘计算的配电网自动化系统的意义

1.1 提高故障处理效率

传统配电网故障处理通常依赖于主站系统进行数据集中处理和决策，数据传输延迟以及主站处理能力的限制，导致故障定位和隔离时间较长。而基于边缘计算的配电网自动化系统，能够在故障发生时，利用安装在配电设备附近的边缘计算设备，第一时间对采集到的电气量数据、设备状态信息等进行本地分析和处理。例如，边缘计算设备可以实时监测配电网中的电流、电压等参数，一旦检测到异常变化，迅速启动故障定位算法，快速确定故障位置。这种就地处理数据的方式大大缩短了故障处理的时间，能够在最短时间内隔离故障区域，恢复非故障区域的供电，有效减少停电时间，提高供电可靠性^[1]。

1.2 增强系统可靠性

边缘计算将部分计算任务从主站转移到边缘设备，降低了主站的负担，减少了因主站故障或通信中断导致的系统瘫痪风险。即使在通信出现故障的情况下，边缘计算设备仍

然能够依据本地存储的数据和预设的控制策略，独立完成故障检测、定位和一定程度的自愈控制操作。

1.3 优化资源利用

在配电网中，分布式能源的接入使得电力流变得更加复杂，对能源的优化调度和管理提出了更高要求。边缘计算设备能够实时采集分布式能源的发电数据、负荷需求数据等，并根据这些数据进行本地分析和决策。例如，通过对分布式电源的输出功率和本地负荷的实时监测与分析，边缘计算设备可以合理调整分布式电源的发电计划，实现能源的就地消纳，减少不必要的电能传输损耗。同时，根据配电网的实时运行状态，边缘计算设备还可以优化配电设备的运行参数，如调整变压器的分接头位置、控制无功补偿装置的投入与切除等，提高配电网的能源利用效率，实现资源的优化配置^[2]。

1.4 适应智能电网发展趋势

随着智能电网的不断发展，配电网将朝着更加智能化、自动化和互动化的方向演进。边缘计算技术与物联网、大数据、人工智能等新兴技术的深度融合，为配电网自动化系统的智能化发展提供了有力支撑。例如，利用边缘计算设备采集的大量实时数据，结合人工智能算法，可以实现对配电网故障的智能诊断和预测，提前发现潜在的故障隐患，采取预防性维护措施，降低故障发生的概率。此外，边缘计算还能够支持分布式能源与配电网之间的实时互动，实现分布式能源的高效接入和灵活控制，满足智能电网对能源管理和控制的更高要求，推动智能电网的建设和发展^[3]。

2. 基于边缘计算的配电网自动化系统故障定位与自愈控制现状

2.1 故障定位现状

2.1.1 基于电气量变化的故障定位方法

目前,基于电气量变化的故障定位方法在实际配电网中应用较为广泛。这类方法主要通过监测配电网故障前后电流、电压等电气量的变化来判断故障位置。例如,阻抗法是一种常见的基于电气量变化的故障定位方法,它利用故障线路首端测量的电压和电流,根据欧姆定律计算出故障点到测量点之间的线路阻抗,再结合线路参数计算出故障距离。然而,该方法容易受到过渡电阻、线路参数不准确以及分布式电源接入等因素的影响,导致故障定位精度不高。此外,在复杂配电网拓扑结构下,由于存在多个电源点和分支线路,电气量的分布规律变得更加复杂,传统的基于电气量变化的故障定位方法难以准确判断故障位置。

2.1.2 基于故障特征信号的故障定位方法

为了克服基于电气量变化的故障定位方法的局限性,基于故障特征信号的故障定位方法逐渐受到关注。这类方法通过提取故障发生时产生的特定特征信号,如零序电流、负序电流、暂态行波等,来实现故障定位。以暂态行波法为例,当配电网发生故障时,会产生向线路两端传播的暂态行波,通过测量暂态行波在不同监测点的到达时间差,结合行波传播速度,可以计算出故障点到监测点的距离,从而实现故障定位。该方法具有较高的故障定位精度和速度,不受过渡电阻和分布式电源接入的影响。但是,暂态行波信号在传播过程中容易受到线路参数、故障类型以及噪声干扰等因素的影响,导致信号特征提取困难,对监测设备的性能要求较高。此外,在实际配电网中,由于线路分支众多、拓扑结构复杂,暂态行波在传播过程中会发生折射、反射等现象,增加了故障定位的难度^[4]。

2.2 自愈控制现状

2.2.1 故障隔离现状

故障隔离是配电网自愈控制的关键环节,其目的是迅速将故障区域与非故障区域隔离开来,防止故障扩大,保障非故障区域的正常供电。目前,故障隔离主要通过智能开关设备来实现,如断路器、负荷开关、重合器等。在传统配电网中,故障隔离通常采用逐级跳闸的方式,即从故障点上游的开关开始,依次跳闸,直到将故障区域隔离。这种方式虽

然简单易行,但故障隔离时间较长,会对非故障区域的供电造成较大影响。随着配电网自动化技术的发展,基于通信的故障隔离方案得到了广泛应用。例如,通过配电自动化终端(FTU、DTU)实时采集开关设备的状态信息和电气量数据,并将这些信息上传至主站系统,主站系统根据故障定位结果,通过通信网络向相应的开关设备发送跳闸命令,实现故障隔离。然而,这种基于通信的故障隔离方案依赖于通信网络的可靠性,当通信网络出现故障时,故障隔离功能可能无法正常实现。

2.2.2 负荷转移现状

负荷转移是在故障隔离后,将非故障区域的负荷转移到其他正常供电的线路或电源上,以恢复对用户的供电。目前,负荷转移主要通过联络开关的操作来实现。在配电网规划阶段,通常会设置一定数量的联络开关,将不同的馈线或变电站连接起来,形成环网结构。当某条馈线发生故障时,通过操作联络开关,将故障馈线上的非故障负荷转移到相邻的正常馈线上。然而,在实际操作中,负荷转移需要考虑诸多因素,如线路的负载能力、电压质量、潮流分布等。如果负荷转移不合理,可能会导致部分线路过载、电压越限等问题,影响配电网的安全稳定运行。此外,负荷转移的决策过程较为复杂,需要对配电网的实时运行状态进行全面分析和评估,目前的负荷转移策略大多依赖于经验和简单的规则,难以实现最优的负荷转移方案^[5]。

3. 基于边缘计算的配电网自动化系统故障定位与自愈控制策略

3.1 故障定位策略

3.1.1 多源数据融合的故障定位方法

为了提高故障定位的准确性和可靠性,本文提出一种基于多源数据融合的故障定位方法。该方法充分利用边缘计算设备采集的多种数据,包括电流、电压、功率等电气量数据,以及设备温度、振动等状态监测数据。通过数据融合技术,将不同类型的数据进行整合和分析,提取出更全面、准确的故障特征信息。例如,可以采用D-S证据理论对多源数据进行融合,首先对每种数据源进行独立的故障判断,得到相应的基本概率分配函数,然后利用D-S合成规则将这些基本概率分配函数进行融合,得到最终的故障判断结果。通过多源数据融合,可以有效弥补单一数据源故障定位方法的不足,提高故障定位的精度和可靠性。

3.1.2 基于改进智能算法的故障定位模型

针对传统智能算法在故障定位中存在的样本数据需求大、泛化能力差等问题,本文提出一种基于改进智能算法的故障定位模型。该模型采用深度学习算法中的卷积神经网络(CNN),并对其进行改进。通过在CNN模型中引入注意力机制,使模型能够更加关注与故障相关的关键特征信息,提高模型的学习效率和故障定位精度。同时,为了减少对大量故障样本数据的依赖,采用迁移学习技术,将在其他类似配电网系统中训练好的模型参数作为初始化参数,在此基础上对目标配电网的少量故障样本数据进行微调训练,快速建立适用于目标配电网的故障定位模型。通过这种方式,既提高了故障定位模型的准确性和泛化能力,又降低了对样本数据的需求,提高了模型的实用性。

3.2 自愈控制策略

3.2.1 基于分布式协同控制的故障隔离策略

为了提高故障隔离的速度和可靠性,减少对通信网络的依赖,本文提出一种基于分布式协同控制的故障隔离策略。该策略利用边缘计算设备的本地决策能力和通信能力,实现各智能开关设备之间的分布式协同控制。在故障发生时,靠近故障点的智能开关设备通过本地测量的电气量数据和设备状态信息,快速判断是否发生故障。如果判断为故障,则立即向相邻的智能开关设备发送故障信息。相邻的智能开关设备接收到故障信息后,结合自身的测量数据,进一步判断故障范围,并向其他相邻设备转发故障信息。通过这种分布式协同的方式,快速确定故障区域,并控制相应的智能开关设备动作,实现故障隔离。在通信网络正常时,各智能开关设备还可以将故障信息上传至主站系统,主站系统对故障隔离过程进行监控和协调。当通信网络出现故障时,智能开关设备仍然能够依据本地的分布式协同控制策略完成故障隔离操作,提高了故障隔离的可靠性和适应性。

3.2.2 优化负荷转移策略

为了实现最优的负荷转移方案,本文提出一种基于优化算法的负荷转移策略。该策略以配电网的安全稳定运行和最小化停电损失为目标,综合考虑线路负载能力、电压质量、潮流分布等约束条件,建立负荷转移优化模型。采用粒子群优化算法(PSO)对负荷转移优化模型进行求解,通过不断迭代搜索,寻找最优的联络开关操作方案,实现负荷的合理转移。在负荷转移过程中,利用边缘计算设备实时监测配

网的运行状态,根据实际情况对负荷转移方案进行动态调整。例如,当发现某些线路在负荷转移后出现过载或电压超限等情况时,边缘计算设备及时调整联络开关的操作顺序或负荷分配比例,确保负荷转移过程的安全稳定进行。通过这种优化负荷转移策略,可以有效提高配电网在故障情况下的供电恢复能力,减少停电损失。

3.2.3 快速供电恢复策略

为了实现快速供电恢复,本文提出一种将自动重合闸与智能分布式供电恢复相结合的策略。在故障切除后,首先启动自动重合闸装置,尝试对故障线路进行重合。如果重合成功,则说明故障为瞬时性故障,配电网恢复正常供电。如果重合失败,则判断为永久性故障,立即启动智能分布式供电恢复策略。智能分布式供电恢复策略利用边缘计算设备的本地决策能力和通信能力,通过对配电网拓扑结构和实时运行状态的分析,快速寻找备用供电路径,控制相应的开关设备动作,将非故障区域的负荷转移到备用电源上,实现快速供电恢复。在供电恢复过程中,边缘计算设备实时监测配电网的电压、电流等参数,确保供电恢复后的配电网运行稳定。同时,将供电恢复信息及时上传至主站系统,以便主站系统对整个供电恢复过程进行监控和管理。通过这种快速供电恢复策略,可以在最短时间内恢复对用户的供电,提高供电可靠性。

结束语:

综上所述,本文对基于边缘计算的配电网自动化系统故障定位与自愈控制策略进行了深入研究,分析了边缘计算在配电网中的应用意义以及当前故障定位与自愈控制的现状,提出了一系列基于边缘计算的故障定位与自愈控制策略。通过多源数据融合、改进智能算法以及考虑分布式电源影响的故障定位方法,提高了故障定位的准确性和可靠性;通过基于分布式协同控制的故障隔离策略、优化负荷转移策略以及快速供电恢复策略,实现了配电网自愈控制的高效性和稳定性。

参考文献:

- [1] 王小龙. 基于神经网络的电网调度自动化系统的设计与实现[J]. 电气技术与经济,2023,(09):20-22.
- [2] 甄庆,陆涛,牛浩楠,等. 基于SCADA的电网调度自动化系统应用[J]. 电子技术,2023,52(10):127-129.
- [3] 孙晓晨. 电网自动化系统中的智能技术应用[J]. 电子

技术,2023,52(10):398–399.

[4] 吴天辰. 智能电网中的配电自动化系统分析 [J]. 集成电路应用,2023,40(10):180–181.

[5] 金潇,丁奎全. 电网调度自动化系统安全运行分析 [J].

集成电路应用,2023,40(09):194–195.

作者简介: 姓名: 胡鑫 (1984 2 月 28 日 –), 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 河北省张家口市, 学历: 专科, 职称: 工程师, 研究方向: 电力系统自动化技术。