

低压配电网络故障预测与快速恢复策略研究

肖云龙 熊彦勇 马昌杰
北京机械设备研究所 北京 100854

摘要: 低压配电网络作为电力系统的末端环节,其稳定运行直接关系到用户的用电体验和安全。本文深入研究了低压配电网络的故障预测与快速恢复策略,旨在通过智能化技术提升故障预测的准确性和时效性,同时构建自愈控制体系和应急抢修预案,确保在故障发生时能够迅速定位、隔离并恢复供电。研究表明,所提出的策略能够显著提高低压配电网络的供电可靠性和韧性,为电力系统的稳定运行提供有力支持。

关键词: 低压配电网络;故障预测;快速恢复策略;供电可靠性

引言:随着城市化进程的加速和电力需求的不断增长,低压配电网络的规模和复杂性日益增加,故障发生的概率也随之上升。故障不仅会导致停电,影响用户的正常生活和生产活动,还可能引发安全事故,造成财产损失和人员伤亡。因此开展低压配电网络故障预测与快速恢复策略的研究,对于提升电力系统的稳定性和安全性具有重要意义。本文将从故障预测技术和快速恢复策略两个方面进行深入探讨。

1 低压配电网络概述

1.1 网络结构与组成

低压配电网络是指将高压电能通过变压器降压后,分配给各个用户的电力网络。它是电力系统的重要组成部分,承担着将电能从发电厂或高压输电网传输到最终用户的重要任务。低压配电网络通常由配电变压器、配电线路、配电开关设备以及一些附属设施等组成。配电变压器负责将高压电能降压至适合用户使用的低压电能,而配电线路则负责将电能传输至各个用户。配电开关设备则用于控制和保护配电网络的运行,确保电能的稳定和安全供应,低压配电网络还可能包括无功补偿电容等设备,以提高电力因数,减少电能损耗。

1.2 运行特性

低压配电网络的运行特性主要体现在几个方面:第一,电压等级低。低压配电网络的电压等级相对较低,一般为380V/220V,适用于普通居民用电、商业用电及小型工业用电等。第二,结构复杂。由于低压配电网络需要覆盖广泛的区域,因此其网络结构相对复杂,包括树干式、放射式、环网式等多种接线方式。这些复杂的接线方式使得低压配电网络能够灵活应对各种负荷变化,确保电能的稳定供应^[1]。第三,负荷变化大。低压配电网络的负荷随用户用电需求的变化而波动。低压配电网络需要具备良好的负荷调节能力,以确保电力系统

的稳定运行。同时负荷的变化也要求低压配电网络在设计时充分考虑其灵活性和可扩展性,以适应未来负荷的增长和变化。第四,供电可靠性高。低压配电网络是电力系统中与用户直接相连的环节,其稳定运行对于满足用户用电需求具有重要意义。通过合理的规划和设计,低压配电网络能够实现电能的优化分配和负荷的均衡,从而提高电力供应的可靠性和稳定性。第五,电能损耗低。在低压配电网络中,通过采用先进的节能技术和设备,可以有效降低电能传输过程中的损耗,提高能源利用效率。这不仅有助于减少能源浪费,还有助于降低用户的用电成本。

2 低压配电网络常见故障类型

2.1 短路故障

短路故障是低压配电网络中最为常见的一种故障类型,其发生机制与后果均不容忽视。当配电网络中的两个或多个原本应保持隔离的不同电位导体之间,由于某种原因发生了直接接触,电流便会绕过正常的负载路径,直接在导体之间形成回路,这种现象即为短路。短路故障一旦发生,通常会伴随着电路中电流的急剧增大,这种瞬间的电流冲击往往远超电路设计的承受范围,因此很容易引发电路中的保险丝熔断或断路器跳闸等保护机制动作。更为严重的是,短路故障若未能及时得到控制,还可能因高温电弧、火花等引发火灾等安全事故,对人员和财产构成严重威胁。短路故障的原因多种多样,包括但不限于线路因长期使用而老化、绝缘层因外力作用而破损、设备内部元件损坏导致短路、小动物误入配电网络并咬噬线缆等。

2.2 过载故障

过载故障是低压配电网络中另一种常见的故障类型,它指的是配电网络中的电流超过了电路或设备所能承受的额定电流值。当电路或设备长时间处于过载状态

时，其内部温度会不断上升，这不仅会加速绝缘材料的老化过程，还可能导致设备内部的机械结构因热胀冷缩而损坏。长期过载运行还会使线路和设备的整体性能下降，缩短其使用寿命。过载故障的原因通常较为复杂，可能包括电路设计之初就存在的缺陷，如额定电流设置不合理；负载的增加未能及时得到调整，导致电路或设备长期超负荷运行；设备选型不当，所选设备的额定电流值低于实际负载需求等。这些因素都可能引发过载故障，对配电网络的稳定运行构成威胁。

2.3 接地故障

接地故障是低压配电网络中一种较为严重的故障类型，它指的是配电网络中的某一相导体与大地之间发生了直接接触，导致电流泄漏到大地中。接地故障不仅可能导致设备损坏，还可能因电流泄漏而引发人员触电等安全问题。在严重情况下，接地故障还可能因电流过大、局部温度升高而引发火灾等严重后果^[2]。接地故障的原因同样多种多样，可能包括线路因长期使用而老化、绝缘层破损导致导体裸露并与大地接触；接地装置设计或安装不当，如接地电阻过大、接地线连接不牢固等；以及外部环境因素，如土壤湿度变化、腐蚀作用等导致接地装置性能下降。

3 低压配电网络故障预测技术

3.1 基于历史数据的统计分析预测

基于历史数据的统计分析预测是一种传统的预测方法，它依赖于对过去一段时间内低压配电网络故障数据的收集和分析。这种方法通过统计故障发生的频率、类型、位置等信息，揭示故障发生的规律和趋势。具体来说，首先需要对历史故障数据进行清洗和整理，去除异常值和重复数据，确保数据的准确性和完整性。然后，运用统计学方法对数据进行分析，如绘制故障频率分布图、进行相关性分析等，以识别故障发生的热点区域和关键时段。最后，根据分析结果，建立故障预测模型，预测未来一段时间内故障发生的可能性和趋势。这种预测方法的优点在于简单易行，不需要复杂的数学模型和计算资源。然而，其局限性在于对历史数据的依赖性强，对于新出现的故障类型或异常情况可能无法准确预测，由于统计方法的局限性，预测结果的精度和可靠性可能受到一定限制。因此在实际应用中，需要结合其他预测方法进行综合分析和判断。

3.2 基于机器学习的智能预测

随着人工智能技术的快速发展，基于机器学习的智能预测技术在低压配电网络故障预测领域得到了广泛应用。机器学习算法能够从大量数据中学习并提取特征，

建立准确的预测模型。在低压配电网络故障预测中，可以运用机器学习算法对故障数据进行挖掘和分析，发现故障发生的潜在规律和模式。具体来说，需要收集并整理低压配电网络的故障数据，包括故障类型、位置、时间、天气条件等。运用机器学习算法对数据进行预处理和特征提取，如数据标准化、降维等。接着，选择合适的机器学习模型进行训练，如支持向量机、神经网络、随机森林等。通过训练，模型能够学习到故障发生的规律和特征，从而实现对未来故障的预测。基于机器学习的智能预测方法具有高度的准确性和可靠性，能够应对复杂多变的低压配电网络故障情况。这种方法需要大量的历史数据和计算资源，且模型的训练和优化过程相对复杂。在实际应用中，需要综合考虑模型的性能、计算资源的消耗以及预测结果的精度等因素。

3.3 基于实时监测数据的动态预测

基于实时监测数据的动态预测是一种实时性更强的预测方法。它利用安装在低压配电网络中的传感器和监测设备，实时采集和传输网络状态数据，如电流、电压、温度等。通过对这些数据的实时监测和分析，可以及时发现网络中的异常和潜在故障，从而实现对故障的预警和预测。具体来说，需要建立低压配电网络的实时监测体系，包括传感器部署、数据采集、传输和存储等环节。运用数据分析算法对实时监测数据进行处理和分析，如数据平滑、滤波、异常检测等。通过数据分析，可以发现网络中的异常变化和潜在故障趋势，从而及时发出预警信号。还可以结合历史数据和机器学习算法，建立故障预测模型，进一步提高预测的准确性和可靠性。基于实时监测数据的动态预测方法具有实时性强、预测精度高等优点，能够及时发现并处理低压配电网络中的异常情况，这种方法需要建立完善的实时监测体系和数据分析算法，且对传感器的性能和稳定性要求较高。由于实时监测数据的采集和传输需要消耗一定的时间和资源，因此在实际应用中需要权衡预测结果的实时性和准确性^[3]。

4 低压配电网络快速恢复策略

4.1 故障定位技术

故障定位技术是低压配电网络快速恢复的首要环节。在故障发生后，准确、迅速地确定故障位置，是隔离故障区域、恢复非故障区域供电的前提。传统的故障定位方法依赖于人工巡检，不仅耗时费力，且效率低下。随着技术的进步，智能化故障定位技术应运而生，极大地提升了故障定位的准确性和时效性。智能化故障定位技术主要依赖于分布式测量单元（DMU）、故障指

示器以及高级数据分析算法。DMU能够实时监测电流、电压等关键参数,通过对比分析故障前后的数据变化,快速锁定故障区域。故障指示器则直接安装在配电线路上,一旦检测到异常电流或电压波动,立即发出报警信号,指示故障位置。而高级数据分析算法则能够整合来自多个源的数据,运用机器学习或深度学习技术,自动识别故障特征,实现故障的精确定位。除了智能化技术,故障定位还需结合地理信息系统(GIS)进行空间定位,以便运维人员快速到达现场。GIS能够直观展示配电网络的布局和拓扑结构,将故障位置标记在地图上,提供最优路径规划,缩短故障响应时间。

4.2 自愈控制策略

自愈控制策略是低压配电网快速恢复的核心机制。自愈控制策略的实施依赖于配电自动化系统(DAS)。DAS通过集成监控、控制、保护和数据分析功能,实时监测网络状态,一旦发现异常,立即启动自愈流程。DAS利用故障定位技术确定故障位置,自动调整网络结构,如通过遥控开关隔离故障区域,同时启动备用电源或重新分配负荷,确保非故障区域的供电不受影响^[4]。DAS还能根据故障类型和严重程度,动态调整恢复策略,如优先恢复关键负荷或实施临时供电方案,以最小化对用户的影响。自愈控制策略的成功实施,关键在于系统的可靠性和灵活性。在设计和部署DAS时,需充分考虑网络的拓扑结构、负荷特性、设备兼容性以及通信网络的稳定性。同时定期进行系统测试和演练,确保自愈流程在真实故障发生时能够迅速、准确地执行。

4.3 应急抢修预案

尽管故障定位技术和自愈控制策略能够显著提升低压配电网的恢复能力,但在某些极端情况下,如设备严重损坏或自然灾害导致的广泛故障,仍需依赖人工抢修来恢复供电。制定完善的应急抢修预案,是低压配电网快速恢复策略不可或缺的一部分。应急抢修预案应涵盖故障报告流程、抢修队伍组织、物资储备与调配、安全作业规范以及用户沟通机制等多个方面。首先,建

立快速响应机制,确保故障信息能够迅速传达至抢修队伍。其次,根据故障类型和规模,合理调配抢修资源和人员,确保抢修工作高效有序进行。同时加强抢修队伍的培训和演练,提高应对复杂故障的能力。在物资储备方面,应建立应急物资库,储备足够的抢修工具和备件,确保在紧急情况下能够迅速调用。加强与供应商的合作,确保在需要时能够及时补充物资。安全作业是应急抢修工作的重中之重,抢修队伍应严格遵守安全操作规程,佩戴必要的个人防护装备,确保作业过程中的人身安全。加强与调度中心的沟通,确保抢修工作不会对整个网络的稳定运行造成负面影响。用户沟通机制也是应急抢修预案的重要组成部分,在故障发生后,应通过多种渠道及时向用户通报故障情况、抢修进展以及预计恢复时间,增强用户的信任和理解。对于关键用户或重要负荷,应建立专门的沟通渠道,确保在紧急情况下能够获得优先恢复供电的支持。

结束语

低压配电网故障预测与快速恢复策略的研究对于提升电力系统的稳定性和可靠性至关重要。通过智能化技术的应用,实现故障预测的高精度和实时性,为运维人员提供宝贵的决策支持。同时自愈控制策略和应急抢修预案的构建,确保故障发生时的快速响应和高效恢复。未来,将继续深化研究,探索更多创新技术,为低压配电网的智能运维和可靠供电贡献力量。

参考文献

- [1]刘文威,林浩灿,刘博伟,等.配电网中低压协同自愈装置及其配套系统[J].大众用电,2023,38(11):34-35.
- [2]钱隽丰.考虑多负荷水平的中低压配电网无功补偿优化规划[J].中国高新科技,2023,(21):87-89.
- [3]陈涛涛.中低压配电线路的维护与故障识别技术研究[J].设备管理与维修,2023,(16):32-34.
- [4]沙杰.解析电力系统中配电网的安全运行技术[J].中国设备工程,2020,(22):216-217.