

配网运行中的故障诊断与定位

李灵利 陈敏跃 史远航

国网浙江省电力有限公司平湖市供电公司 浙江 嘉兴 314200

摘要: 随着电力系统的快速发展,配电网的规模日益扩大,网络结构也变得更加复杂。配电网运行中的故障诊断与定位技术对于提高供电可靠性、减少停电时间和损失具有重要意义。本文综述了配电网故障诊断与定位技术的研究现状,分析了现有技术的优缺点,并提出了未来的发展方向。

关键词: 配电网;故障诊断;故障定位;供电可靠性

引言

配电网作为电力系统的末端环节,其运行状态直接影响到用户的供电质量。然而,由于配电网结构复杂、设备众多、运行环境恶劣等因素,故障频发且难以快速定位。因此,研究配电网运行中的故障诊断与定位技术,对于提高供电可靠性、降低运维成本具有重要意义。

1 配网运行中的常见故障类型

一是单相接地故障:单相接地故障是配电线路中发生频率最高、查找难度最大的电力故障。由于不足以引起跳闸,单相接地故障往往没有明显的判别标志,需要通过分析电路系统中的暂态信号来进行判断。二是相间短路故障:相间短路故障包括雷击造成的相间短路、外在导体或半导体造成的相间短路、设备绝缘降低造成的相间短路等。这类故障通常会引跳闸,需要迅速隔离并修复。三是高阻故障:高阻故障主要发生在配电线路断裂与高阻抗接触或配电线路断裂与周围物体接触的情况下。由于电流水平明显低于短路电流,高阻故障的在线识别难度较大。四是间歇性故障:间歇性故障是指配电线路在运行过程中出现的间歇性放电现象,具有瞬时性与重复性的特点。这类故障需要线路检修人员及时排查并维修。

2 配电网故障诊断技术

2.1 故障电流法

在配电网故障诊断的技术体系中,故障电流法以其独特的理论基础和实践价值,成为了研究者和工程师们关注的焦点。这一方法深深植根于图论与配电网拓扑模型的沃土之中,通过精妙地结合两者,为故障的快速定位提供了有力的工具。故障电流法的核心在于对故障电流在配电网中传播路径的细致监测。当配电网中的某一区段发生故障时,故障电流会如同潮水般在网络中蔓延,而故障电流法正是利用这一特性,通过捕捉和分析这些电流的传播轨迹,来揭示故障的具体位置。为了实

现这一目标,研究者们构建了网络描述矩阵和故障信息矩阵,这两个矩阵如同配电网的“数字镜像”,能够准确地反映出网络的拓扑结构和故障状态。然而,故障电流法也并非完美无缺。它在实际应用中面临着系统潮流变化带来的挑战^[1]。配电网中的潮流是不断变化的,这种变化会对故障电流的传播产生影响,从而增加故障诊断的复杂性。此外,由于需要对大量的电流数据进行处理和分析,故障电流法的诊断速度可能会受到一定影响,尤其是在面对大规模配电网时,这一局限性尤为明显。

2.2 专家系统法

在配电网故障诊断的广阔舞台上,专家系统法以其独特的魅力,成为了一种备受瞩目的诊断方法。这一方法巧妙地融合了计算机技术与领域专家的深厚知识和丰富经验,通过精心设计的算法和模型,模拟出专家在故障诊断过程中的推理逻辑和决策过程。专家系统法的核心在于其知识库和推理机的构建。知识库是专家系统法的“大脑”,它存储着领域专家在长期实践中积累的大量知识和经验,这些知识和经验被精心组织成易于计算机理解和处理的形式。而推理机则是专家系统法的“思维引擎”,它根据知识库中的知识和经验,以及输入的故障信息,进行逻辑推理和决策分析,从而得出故障诊断的结果。然而,专家系统法也并非没有挑战。知识库的建立和维护是一个复杂而艰巨的任务,需要领域专家和知识工程师的紧密合作,以及大量的时间和精力投入。同时,由于配电网的复杂性和多变性,知识库中的知识和经验可能无法覆盖所有的故障情况,这导致专家系统法在面对某些特殊或罕见故障时可能会显得力不从心。此外,专家系统法的容错能力也相对较弱,一旦输入的信息存在误差或不确定性,可能会影响其推理和决策的准确性。

2.3 人工神经网络法

人工神经网络法在配电网故障诊断中的应用,是通

过模拟人脑神经元的结构和功能,构建出具有强大自学习和泛化能力的模型来实现的。这一过程始于数据的收集与预处理,需要广泛搜集配电网的正常运行数据和各种故障状态数据,并进行清洗、归一化等预处理工作,以确保数据的质量和一致性。接下来,根据故障诊断的复杂程度,设计合适的神经网络结构,包括确定网络层数、每层神经元数量以及选择适当的激活函数。这些设计决策对于网络的性能和准确性至关重要。模型训练是人工神经网络法实现故障诊断的核心环节。训练过程中,首先将预处理后的数据划分为训练集和测试集,然后设置训练参数,如学习率、迭代次数和批处理大小等。通过反向传播算法,网络不断调整权重和偏置,以最小化损失函数,从而学习到故障信号与故障类型之间的映射关系。训练完成后,模型即可用于故障诊断。将待诊断的故障数据输入到神经网络中,通过前向传播算法,网络能够输出诊断结果,包括故障类型、位置和可能的原因。这一结果对于及时采取维修措施、恢复配电网的正常运行具有重要意义。然而,人工神经网络法的应用并非一劳永逸。为了保持模型的准确性和适应性,需要对其进行持续的性能评估和优化。这包括使用测试集数据验证模型的泛化能力,根据评估结果调整网络结构、训练参数等,以及不断收集新的故障数据进行持续学习和更新。

3 配电网故障定位技术

3.1 阻抗法

阻抗法,作为一种经典的配电网故障定位方法,其原理基于欧姆定律。当配电网发生故障时,故障电流会在故障点产生电压降。通过测量故障前后的电压、电流数据,可以推算出故障位置的阻抗值,进而根据配电网的线路参数,如线路长度、导线电阻率等,确定故障位置。阻抗法的优点在于其简单易行,不需要额外的设备投入,仅利用现有的测量装置即可实现。然而,该方法也存在明显的局限性。首先,阻抗法的定位精度受线路参数的影响较大。在实际配电网中,线路参数可能因环境因素、老化等原因而发生变化,导致定位结果产生偏差。其次,故障类型也会影响阻抗法的定位效果。例如,对于接地故障,由于故障电流较小,电压降不明显,阻抗法的定位精度可能会降低^[2]。为了提高阻抗法的定位精度,研究者们提出了多种改进方法。例如,通过引入线路参数的实时测量技术,减少线路参数变化对定位结果的影响;或者采用多种故障类型的综合定位算法,提高定位结果的准确性。然而,这些方法往往需要增加额外的设备投入或算法复杂度,因此在实际应用中

需要综合考虑成本效益。

3.2 注入法

注入法是一种基于信号注入的配电网故障定位方法。其原理是通过向配电网注入特殊的信号电流,如高频信号、脉冲信号等,然后利用故障点与信号源之间的信号强度差异来确定故障位置。注入法的优点在于它不受系统潮流变化的影响,因为注入的信号是独立于系统电流的。此外,注入法还可以用于定位接地故障等难以通过传统方法定位的故障类型。然而,注入法也存在一些局限性。首先,注入的信号可能受到配电网中其他设备的干扰,如变压器、电容器等,这些设备可能会对注入的信号产生吸收、反射或衰减作用,从而影响定位精度。其次,注入法的定位范围受限。由于注入的信号强度有限,当故障位置距离信号源较远时,信号强度可能不足以进行准确的定位。为了克服注入法的局限性,研究者们提出了多种改进方法。例如,采用更高频率的信号进行注入,以提高信号的穿透能力和定位精度;或者采用多点注入的方式,通过比较不同注入点接收到的信号强度差异来确定故障位置。这些方法在一定程度上提高了注入法的定位性能和适用范围。

3.3 行波法

行波法是一种基于故障产生的行波在配电网中传播特性的故障定位方法。当配电网发生故障时,故障点会产生行波,这些行波会沿着线路向两端传播。通过测量行波到达测量点的时间差或波形特征,可以计算出故障位置与测量点之间的距离,从而实现故障定位。行波法的优点在于其定位精度高。由于行波的传播速度接近光速,且受线路参数影响较小,因此行波法能够实现高精度的故障定位。此外,行波法还可以用于定位复杂故障类型,如相间短路、接地故障等。然而,行波法的应用也面临一些挑战。首先,行波的传播速度和衰减受多种因素影响,如线路参数、故障类型、环境因素等。这些因素可能导致行波波形发生变化,从而影响定位精度^[3]。其次,行波法的设备成本较高。为了实现高精度的行波定位,需要安装高精度的测量装置和数据处理系统,这增加了设备成本和维护成本。为了克服行波法的局限性,研究者们提出了多种改进方法。例如,采用先进的信号处理算法来提取行波特征,提高定位精度;或者采用分布式测量技术,通过多个测量点协同工作来提高定位的可靠性和准确性。这些方法在一定程度上推动了行波法在配电网故障定位中的应用和发展。

3.4 基于广域测量系统(WAMS)的方法

随着智能电网的发展,广域测量系统(WAMS)在配

电网中的应用越来越广泛。WAMS通过安装在配电网关键节点的测量装置实时监测网络状态,包括电压、电流、相位角等电气量信息。结合先进的算法和数据处理技术,WAMS能够实现故障的快速定位和分析。基于WAMS的故障定位方法具有定位精度高、速度快等优点。由于WAMS能够实时监测配电网的电气量信息,因此能够迅速捕捉到故障发生的瞬间,并通过算法计算出故障位置。此外,WAMS还可以结合其他故障定位方法,如阻抗法、行波法等,形成综合定位方案,提高定位的准确性和可靠性。然而,基于WAMS的故障定位方法也存在一些局限性。首先,WAMS的设备成本和维护成本较高。为了实现实时监测和数据处理,需要安装大量的测量装置和数据处理系统,这增加了设备成本和维护成本。其次,WAMS的定位精度受测量装置精度和算法性能的影响。如果测量装置精度不够或算法性能不佳,可能会导致定位结果产生偏差。为了克服基于WAMS的故障定位方法的局限性,研究者们正在不断探索新的技术和方法。例如,采用更高精度的测量装置和更先进的算法来提高定位精度和速度;或者结合人工智能和机器学习技术,实现故障的智能识别和定位。这些方法有望推动基于WAMS的故障定位方法在配电网中的广泛应用和发展^[4]。

4 实践案例分析:广西某供电公司配电网电缆故障及缺陷部位精准现场定位项目

4.1 案例背景

广西某供电公司负责区域内大量电力电缆的运维工作,这些电缆承担着为城市提供稳定电力的重要任务。然而,由于电缆长期埋设在地下或铺设在复杂环境中,容易受到外界因素的伤害,导致电缆故障频发。传统的电缆故障检测方法往往需要挖掘地面、破坏电缆护套等,不仅耗时耗力,还可能对电缆造成二次损伤。因此,该公司急需一种高效、无损的电缆故障检测手段。

4.2 案例内容

2022年9月1日,广西某供电公司决定采用基于阻抗反射系数谱的LIRA ACQURIE便携式电缆无损探伤测试系统,对一条疑似存在故障的4080米长配电网电缆进行缺陷部位定位检测。该系统由国内外知名电力设备制造商研发,采用先进的阻抗反射原理,能够准确、快速地定位电缆中的故障点和缺陷部位。

4.3 检测过程

(1) 电缆长度检测:在测试开始前,现场工程师首

先使用LIRA ACQURIE系统对电缆长度进行了精确测量,结果为4080米,与供电公司提供的电缆长度数据一致,验证了系统的准确性。(2) 线性阻抗谱检测:随后,工程师对电缆进行了线性阻抗谱检测。该过程无需借助发电机及大功率移动电源,仅需将测试设备与电缆一端连接,即可开始数据采集。测试过程中,系统实时显示电缆各位置的阻抗波形,工程师通过观察波形变化,初步判断电缆中是否存在缺陷或故障。(3) 数据分析与定位:经过约30分钟的采集和分析,系统成功生成了电缆的阻抗波形图。工程师发现,在距离测试端1210米和706米处,接头位置的阻抗波形存在明显异常,疑似为电缆缺陷。同时,在280米处也观察到阻抗波形变化异常,可能是电缆接头工艺问题导致的。(4) 现场确认:根据系统检测结果,供电公司迅速组织人员进行了现场确认。经挖掘检查,发现1210米处电缆确实存在击穿故障,与阻抗波形显示一致。此外,280米处的电缆接头也存在工艺缺陷,需要进一步处理。

4.4 案例成果

本次检测项目充分展示了LIRA ACQURIE便携式电缆无损探伤测试系统在配电网电缆故障及缺陷部位定位方面的强大能力。该系统不仅能够现场获取电缆情况信息未知的情况下,准确快速地定位电缆中的故障点和缺陷部位,还无需借助其他电缆检测设备介入,大大提高了检测效率和准确性。同时,该系统的便携性和易用性也受到了现场工程师的高度评价。

结语

配电网运行中的故障诊断与定位技术是提高供电可靠性和降低运维成本的重要手段。现有技术各有优缺点,未来的发展方向是多源信息融合、智能化和适应分布式电源的发展。通过不断研究和创新,将推动配电网故障诊断与定位技术的进一步发展。

参考文献

- [1]贾欢,边睿喆.配电网故障诊断与故障定位技术研究[J].光源与照明,2024,(03):81-83.
- [2]董灵斌.配电网电缆故障诊断与定位方法的研究[D].沈阳航空航天大学,2022.
- [3]洪天星.城市配电网电缆故障诊断研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2021,39(03):145-149.
- [4]肖松庆.主动配电网故障诊断与定位技术研究[D].合肥工业大学,2021.