

配电系统故障诊断与恢复研究

王新

国网武城县供电公司

摘要：本文主要研究了配电系统的故障诊断与恢复技术。首先概述了配电系统故障诊断技术的重要性，然后详细介绍了三种主要的故障诊断方法：基于信号处理、基于解析模型和基于人工智能的方法。接着，文章阐述了配电系统故障恢复的策略，包括故障隔离与定位、备用电源的自动切换以及分布式电源的协调控制。此外，还探讨了优化故障诊断与恢复技术的相关算法和技术。最后，通过实际案例分析，评估了这些技术在实践中的应用效果。

关键词：配电系统；故障诊断；故障恢复；优化技术

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.12.072

引言

配电系统作为电力系统的重要组成部分，对电力系统的安全可靠运行起着至关重要的作用，而故障诊断与恢复技术作为配电系统故障诊断与恢复的重要组成部分，不仅能够帮助调度人员快速判断出故障位置、快速隔离故障区域并恢复非故障区域供电，还能最大限度地提高供电可靠性。随着电力系统的发展和用户对电能质量要求的提高，配电网越来越复杂，配电系统对提高供电可靠性和电能质量有很大帮助，但是配电网自身存在很多不确定性和随机性因素，导致配电系统中产生各种类型的故障。此外，配电网中大量分布式电源和储能装置的接入，给配电系统故障诊断和恢复带来了新的挑战。

一、配电系统故障诊断技术概述

配电系统故障诊断技术是保障电力系统安全稳定运行的关键技术之一。随着电力系统的不断发展，配电系统结构和运行方式越来越复杂，故障发生的概率和危害性也越来越大。因此，研究和应用配电系统故障诊断技术对于及时发现和解决故障问题，保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。

配电系统故障诊断技术可以根据不同的分类标准分为不同的类型。按照故障诊断的内容可以分为：一次设备故障诊断、二次设备故障诊断和系统故障诊断。按照故障诊断的方法可以分为基于信号处理的方法、基于解析模型的方法和基于人工智能的方法等。

其中，基于信号处理的方法主要包括频域分析、小波变换、混沌理论等；基于解析模型的方法主要包括状态估计、优化方法等；基于人工智能的方法主要包括专家系统、神经网络、支持向量机等。这些方法各有优缺点，适用范围也不同，需要根据实际情况选择合适的故障诊断方法。

二、配电系统故障诊断方法

（一）基于信号处理的方法

基于信号处理的方法是利用信号分析理论对配电系统中的电压、电流等信号进行频域、时域等分析，通过

提取信号的特征信息，判断故障的类型和位置。其中，频域分析是通过分析信号的频谱特征，判断故障的类型和位置；小波变换是一种多尺度信号分析方法，可以用于检测信号中的突变和异常；混沌理论则是利用混沌系统的特性，对配电系统中的电压、电流等信号进行处理和分析，从而判断故障的类型和位置^[1]。

（二）基于解析模型的方法

基于解析模型的方法是利用数学模型对配电系统进行描述，通过状态估计和优化方法等手段，对模型进行求解和分析，从而判断故障的类型和位置。其中，状态估计是利用测量数据和模型参数等信息，对配电系统的运行状态进行估计；优化方法则是通过求解优化问题，找到最优的故障隔离和恢复方案。基于解析模型的方法需要建立准确的数学模型，对数据的准确性和模型的精度要求较高。

（三）基于人工智能的方法

基于人工智能的方法是利用计算机技术、人工智能等技术手段，对配电系统中的故障进行智能分析和判断。其中，专家系统是通过建立故障诊断知识库和推理机，模拟专家的故障诊断思路；神经网络是通过模拟人脑神经元的结构和工作原理，建立故障诊断模型；支持向量机是一种分类和回归方法，可以用于分类和识别故障类型和位置。基于人工智能的方法需要大量的数据支持和训练，同时也需要不断优化和改进模型的结构和工作原理^[2]。

三、配电系统故障恢复策略

（一）故障隔离与定位

故障隔离与定位是配电系统故障恢复的重要步骤。通过快速隔离故障区域，可以防止故障扩大，减少停电范围，提高供电可靠性。故障隔离与定位的主要方法包括：基于故障指示器的故障定位、基于配电网自动化的故障定位和基于人工智能的故障定位。这些方法各有优缺点，适用范围也不同，可以根据实际情况选择合适的故障定位方法。同时，还需要加强配电网的建设和改

造,提高配电网的自动化和智能化水平,提高故障定位的准确性和效率。

(二) 备用电源的自动切换

备用电源的自动切换是配电系统故障恢复的重要策略之一。当配电系统发生故障时,备用电源可以快速自动切换到工作状态,保证非故障区域的正常供电。备用电源的自动切换可以采用手动控制和自动控制两种方式。手动控制方式需要操作人员根据实际情况进行切换操作;自动控制方式则是通过智能化设备和算法,自动判断并完成切换操作。在备用电源的自动切换过程中,需要考虑负荷的分配和备用电源的容量等问题,确保切换操作的可靠性和安全性^[3]。

(三) 分布式电源的协调控制

随着分布式电源在配电系统中的广泛应用,如何实现分布式电源的协调控制成了故障恢复的重要问题之一。分布式电源具有分散性、灵活性和不确定性等特点,给配电系统的故障恢复带来了新的挑战。通过实现分布式电源的协调控制,可以充分发挥分布式电源的优势,提高故障恢复的速度和质量。具体的协调控制策略需要根据分布式电源的类型和规模、配电网的结构和运行方式等因素进行制定。

四、配电系统故障诊断与恢复的优化技术

(一) 故障诊断技术

1. 故障检测算法

随着人工智能技术的不断发展,基于人工智能的故障检测算法在配电系统中得到了广泛应用。这些算法可以通过对历史数据进行分析,建立故障检测模型,实现故障的快速检测和定位。常用的故障检测算法包括基于神经网络的故障检测算法、基于支持向量机的故障检测算法等。这些算法可以在不同的配电系统和设备中应用,提高故障检测的准确性和效率。

2. 故障识别技术

在配电系统中,故障识别技术是保障系统稳定运行的关键技术之一。基于人工智能的故障识别技术可以快速准确地识别出故障类型和位置,为故障恢复提供有力支持。常用的故障识别技术包括基于专家系统的故障识别技术、基于神经网络的故障识别技术等。这些技术可以利用大量的历史数据和知识库信息,对配电系统中的故障进行智能识别和分析,提高故障识别的准确性和效率^[4]。

3. 故障定位算法

故障定位是故障诊断的重要环节,通过准确定位故障位置,可以为后续的故障恢复提供关键信息。常用的故障定位算法包括阻抗法、行波法等。其中,阻抗法是通过测量配电网的阻抗参数,建立数学模型,计算出故

障距离;行波法则是利用行波的传播特性,通过测量行波的到达时间或速度,判断故障位置。在实际应用中,需要根据不同的配电网结构和故障类型选择合适的算法,提高故障定位的准确性和效率。

(二) 恢复优化技术

1. 负荷转移技术

负荷转移技术是配电系统故障恢复的重要手段之一。当配电系统发生故障时,通过将故障区域内的负荷转移到其他正常的电源点或备用电源上,可以快速恢复供电,减少停电范围。负荷转移技术需要考虑负荷的分配和转移路径等问题,需要综合考虑多种因素,如线路的容量、设备的运行状态、电源的供电能力等。在实际应用中,需要根据实际情况选择合适的负荷转移方案,确保转移过程的安全性和可靠性。

2. 故障隔离技术

在配电系统中,故障隔离是恢复供电的重要步骤之一。通过快速隔离故障区域,可以防止故障扩大,减少停电范围,提高供电可靠性。故障隔离技术可以采用多种方法,如基于故障指示器的故障隔离、基于自动化开关的故障隔离等。这些技术可以在发生故障时迅速定位并隔离故障区域,同时还可以通过优化算法和智能控制手段,实现故障隔离的最优化,提高恢复供电的速度和质量^[5]。

3. 恢复顺序优化

在配电系统故障恢复过程中,需要确定优先恢复的电源点和负荷,以满足重要用户的需求和保证整个系统的稳定性。恢复顺序优化可以采用多种方法,如基于优先级的恢复顺序优化、基于人工智能的恢复顺序优化等。这些方法可以通过对电源点和负荷的重要性和影响程度进行评估和排序,优先恢复重要电源点和负荷,提高恢复供电的效率和质量。

4. 自适应恢复策略

自适应恢复策略是一种智能化的故障恢复方法,可以根据配电系统的实际情况和故障类型,自适应地选择合适的恢复策略和方案。该方法需要建立智能化的决策支持系统和自适应算法,通过实时监测和数据分析,动态调整恢复策略,以满足不断变化的故障情况和用户需求。自适应恢复策略可以提高故障恢复的适应性和灵活性,进一步提高配电系统的可靠性和稳定性^[6]。

五、案例分析与实践

(一) 实际案例介绍

为了更好地说明配电系统故障诊断与恢复的优化技术在实际中的应用,以某城市的一个配电系统为例进行分析。该城市是一个大城市,人口密集,经济发达,对电力供应的可靠性和稳定性要求极高。该配电系统采

用了多种优化技术，如故障检测算法、故障识别技术、故障定位算法、负荷转移技术、故障隔离技术、恢复顺序优化和自适应恢复策略等，实现了快速准确的故障诊断和高效的故障恢复。

（二）故障诊断

该配电系统在运行过程中突然遭遇了停电事故，整个系统陷入了瘫痪状态。面对这一突发状况，相关人员迅速启动了故障检测算法和识别技术，对系统进行了全面而细致的检查。通过这些先进技术的应用，系统快速而准确地识别出故障类型为短路故障，并且精确地定位到了某一条线路的某一节点。

这一过程仅仅用了几分钟的时间，相较于传统的故障诊断方式，大大缩短了故障诊断时间，提高了故障处理的效率。这不仅避免了因长时间停电给用户带来的不便，还为企业节约了大量因故障导致的额外成本。

在短路故障的定位和诊断过程中，该配电系统展现出了强大的技术实力和高效的应对能力。这得益于故障检测算法和识别技术的不断优化和完善，以及相关人员的专业素养和经验积累。

（三）恢复优化

在确定了故障类型和位置后，系统自动启动了恢复优化技术。首先，通过负荷转移技术，将故障线路上的负荷转移到了其他正常的电源点上，保证了非故障区域的正常供电。然后，通过故障隔离技术，快速隔离了故障区域，防止了故障扩大。最后，通过恢复顺序优化，系统优先恢复了重要电源点和负荷，满足了重要用户的需求。整个恢复过程仅用了几十分钟，大大缩短了停电时间，提高了供电可靠性。

（四）自适应恢复策略

在电力系统的恢复过程中，除了基础的恢复动作，系统还能根据实际情况自适应地调整恢复策略。这种自适应恢复策略，其核心在于能够根据实时反馈和算法计算，动态调整负荷转移的顺序和路径，从而优化整个恢复过程。

这种自适应调整的优点在于能够及时响应各种突发的故障情况和变化多端的用户需求。在面对复杂多变的配电环境时，这种策略能够迅速而准确地做出调整，确保系统始终保持在一个高效、稳定的状态。

这种自适应恢复策略的实现，依赖于先进的算法和实时的监控反馈系统。算法通过收集大量的数据并进行计算分析，从而判断出最优的负荷转移方案。而监控系统则负责实时监测系统的运行状态，一旦发现异常或故障，能够迅速反馈给算法，使其能够及时作出调整。这不仅提高了配电系统的恢复速度，而且也提高了系统的可靠性和稳定性。

（五）实际效果

通过运用一系列先进的优化技术，这个配电系统在故障诊断和恢复方面取得了显著的成效。在传统的配电系统中，故障诊断往往需要耗费大量时间和人力，而恢复供电的过程也相对缓慢。然而，这个系统采用了智能化的故障诊断算法，能够快速准确地识别出故障所在，并自动触发相应的恢复机制。

在本次停电事故中，该系统仅用了几十分钟就恢复了正常供电，相比传统方法节省了大量的时间。这一成果得益于系统所采用的优化技术，包括先进的传感器、大数据分析和人工智能算法等。这些技术协同工作，能够实时监测电网运行状态，快速发现并解决潜在问题，确保供电的可靠性和稳定性。

除了高效的故障恢复，这些优化技术还显著提高了系统的自动化和智能化水平。传统的配电系统往往需要大量的人工干预和操作，不仅增加了成本，还可能因为人为错误而导致更大的问题。而该系统通过自动化的故障诊断和恢复机制，大大减少了人工干预的需求。这不仅降低了操作成本，还提高了系统的稳定性和可靠性。

结语

综上所述，本文介绍了配电系统故障诊断与恢复的优化技术，包括故障检测算法、识别技术、定位算法、负荷转移技术、故障隔离技术、恢复顺序优化和自适应恢复策略等。通过实际案例分析，证明了这些优化技术在提高故障诊断和恢复的准确性和效率方面具有显著的优势。未来，随着人工智能和大数据技术的进一步发展，配电系统的故障诊断与恢复技术将更加智能化和自动化。同时，随着分布式电源和储能技术的广泛应用，配电系统的结构和运行方式将发生深刻变化，对故障诊断与恢复技术提出更高的要求。因此，需要进一步加强相关技术的研究和应用，提高配电系统的可靠性和稳定性，满足不断增长的用户需求和社会发展需要。

参考文献

- [1] 刘晓琴, 王晨旭, 孙海军, 王千. 基于小波和贝叶斯网络的智能建筑供配电系统故障诊断研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2020, 40(06): 78-84.
- [2] 鲍玉川, 张萌, 张巧霞, 王海鸣. 考虑多类故障假说变量的配电系统故障诊断方法研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(02): 63-67+100.
- [3] 田方媛, 张岩, 徐兵, 文福拴, 朱炳铨, 徐立中. 多代理系统框架下的主动配电系统故障诊断[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(06): 19-26.
- [4] 雷倩, 吉兴全, 文福拴, 刘志鹏, 于永进, 许焕奇. 利用暂态分量的含分布式电源配电系统故障诊断[J]. 电力建设, 2016, 37(02): 42-49.