

基于人工智能的配电网故障诊断与自愈控制策略研究

杨思勤

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750409

摘要：本文聚焦于配电网故障诊断与自愈控制领域，探讨人工智能技术在其中的应用。首先分析了配电网故障诊断与自愈控制的现状及挑战，阐述了人工智能技术引入的必要性。接着详细介绍了基于人工智能的配电网故障诊断方法，包括深度学习、机器学习等算法在故障特征提取、分类与定位中的应用。随后探讨了自愈控制策略，结合人工智能实现故障的快速隔离与供电恢复。最后通过实际案例分析验证了所提方法与策略的有效性，为配电网的智能化运行提供了理论支持与实践参考。

关键词：人工智能；配电网；故障诊断；自愈控制

引言

人工智能技术凭借其强大的数据处理能力、模式识别能力和自适应学习能力，为配电网故障诊断与自愈控制提供了新的思路和方法。通过引入人工智能技术，可以实现对配电网海量数据的实时分析和处理，自动提取故障特征，准确判断故障类型和位置，并制定合理的自愈控制策略，从而提高配电网的可靠性和供电质量。因此，开展基于人工智能的配电网故障诊断与自愈控制策略研究具有重要的理论意义和实际应用价值。

1 配电网故障诊断与自愈控制现状及挑战

1.1 配电网故障诊断现状

目前，配电网故障诊断方法主要分为基于保护装置信息的方法、基于行波的方法和基于暂态信号分析的方法等。基于保护装置信息的方法通过分析保护装置的动作信号来判断故障位置，但该方法依赖于保护装置的正确动作，且无法准确判断故障类型。基于行波的方法利用故障产生的行波在配电网中的传播特性来确定故障位置，具有较高的精度，但对行波信号的采集和处理要求较高。基于暂态信号分析的方法通过提取故障暂态信号的特征来判断故障类型和位置，但暂态信号容易受到噪声干扰，影响诊断结果的准确性。

1.2 配电网自愈控制现状

配电网自愈控制是指在配电网发生故障时，能够自动检测故障、隔离故障区域，并快速恢复非故障区域的供电，实现配电网的自我修复。目前，配电网自愈控制主要采用分布式控制和集中式控制两种方式。分布式控制通过各个智能终端设备之间的通信和协作来实现故障的快速隔离和供电恢复，具有响应速度快、可靠性高的优点，但对通信网络的依赖性较强。集中式控制通过主站系统收集配电网的运行信息，进行分析和决策，然后

向各个终端设备下达控制指令，具有全局优化能力，但计算量大、实时性较差^[1]。

1.3 面临的挑战

随着配电网的不断发展，故障诊断与自愈控制面临着诸多挑战。一方面，配电网结构日益复杂，分布式能源的接入使得故障特征更加复杂多样，传统的故障诊断方法难以准确识别故障类型和位置。另一方面，用户对供电可靠性的要求越来越高，需要故障诊断与自愈控制系统能够快速响应，在短时间内完成故障隔离和供电恢复。此外，配电网数据量庞大，如何从海量数据中提取有价值的信息，为故障诊断与自愈控制提供准确依据，也是一个亟待解决的问题。

2 基于人工智能的配电网故障诊断方法

2.1 深度学习在故障诊断中的应用

深度学习作为人工智能领域的重要分支，具有强大的特征提取和分类能力。在配电网故障诊断中，深度学习可以通过构建深度神经网络模型，自动学习配电网运行数据中的故障特征。例如，卷积神经网络（CNN）可以有效地处理具有空间结构的数据，如配电网的拓扑结构和电气量波形图。通过将配电网的电气量数据转换为图像形式，输入到CNN模型中进行训练和测试，可以实现对故障类型的准确分类。循环神经网络（RNN）及其变体长短期记忆网络（LSTM）和门控循环单元（GRU）则适用于处理具有时序特性的数据，如配电网的电压、电流时间序列。通过对这些时间序列数据的分析和学习，可以提取故障发生时的动态特征，从而实现故障的准确诊断。

2.2 机器学习在故障诊断中的应用

除了深度学习，传统的机器学习算法也在配电网故障诊断中得到了广泛应用。支持向量机（SVM）是一

种基于统计学习理论的分类算法，具有小样本学习能力强、泛化能力好等优点。在配电网故障诊断中，SVM可以通过选择合适的核函数，将输入空间映射到高维特征空间，在特征空间中寻找最优分类超平面，实现对故障类型的分类。决策树算法则通过构建决策树模型，根据配电网的电气量特征和保护装置信息等条件进行逐步判断，最终确定故障类型和位置。随机森林算法是决策树算法的集成版本，通过构建多个决策树并进行投票表决，提高了故障诊断的准确性和稳定性。

2.3 故障特征提取与融合

为了提高故障诊断的准确性，需要从配电网的多种数据源中提取丰富的故障特征，并进行融合处理。除了传统的电气量特征（如电压、电流、功率等）外，还可以提取非电气量特征，如温度、湿度、振动等。同时，结合配电网的拓扑结构信息和保护装置的动作信息，可以更全面地描述故障特征。在特征融合方面，可以采用加权融合、主成分分析（PCA）等方法，将不同特征进行融合，提取出最具代表性的故障特征向量，为故障诊断模型提供更准确的输入。

3 基于人工智能的配电网自愈控制策略

3.1 故障快速隔离策略

当配电网发生故障时，快速且精准地隔离故障区域是自愈控制的核心环节，其成效直接关系到整个配电网的稳定运行以及后续供电恢复的效率。基于人工智能的自愈控制系统凭借其强大的数据处理与分析能力，为故障快速隔离提供了高效可靠的解决方案。该系统通过广泛分布在配电网中的各类传感器，实时监测配电网的运行状态，涵盖电压、电流、功率等关键电气参数，以及设备温度、环境湿度等环境信息。这些海量且复杂的数据被源源不断地传输至中央处理单元，人工智能算法对这些数据进行深度挖掘与分析。结合先进的故障诊断模型，该模型基于大量的历史故障数据和专家经验进行训练，能够快速、准确地判断故障类型，如短路故障、接地故障等，并精准定位故障位置。一旦确定故障位置，系统会迅速制定合理的故障隔离方案。智能开关设备在这一过程中发挥着至关重要的作用，例如智能断路器具具备快速切断故障电流的能力，能够在故障发生的瞬间迅速动作，将故障区域与正常运行的电网隔离开来；智能负荷开关则可以根据系统指令，灵活地调整负荷的通断状态，辅助完成故障隔离操作。这些智能开关设备不仅具备快速动作特性，还支持远程控制和本地智能算法控制。远程控制使得运维人员可以在控制中心对开关设备进行集中操作，大大提高了故障处理的效率；本地智能

算法则赋予了开关设备一定的自主决策能力，在通信中断等特殊情况下，能够根据预设的规则自行动作，确保故障隔离的及时性。同时，随着分布式能源在配电网中的广泛应用，其接入给故障隔离带来了新的挑战^[2]。分布式能源，如太阳能光伏发电、风力发电等，具有间歇性和随机性的特点，其出力的波动可能会对故障隔离和供电恢复产生不利影响。因此，在故障隔离过程中，需要协调分布式能源的运行。系统会实时监测分布式能源的出力情况，通过调整其并网点的功率因数、限制其出力等方式，确保分布式能源在故障隔离期间不会向故障区域反向送电，避免故障范围的扩大，同时保障非故障区域的供电安全。

3.2 供电恢复策略

在成功完成故障隔离后，尽快恢复非故障区域的供电是自愈控制的下一重要目标。基于人工智能的供电恢复策略综合考虑了配电网的拓扑结构、负荷分布和分布式能源的出力情况等多方面因素，通过采用先进的优化算法，寻找最优的供电恢复路径，以实现高效、可靠的供电恢复。配电网的拓扑结构是供电恢复的基础，它决定了电力传输的路径和方式。人工智能算法会对配电网的拓扑结构进行详细分析，识别出所有可能的供电恢复路径。同时，负荷分布情况也是影响供电恢复的重要因素。不同区域的负荷大小、负荷类型以及负荷的重要性各不相同，在制定供电恢复方案时，需要优先恢复重要负荷的供电，确保关键用户的用电需求得到满足。分布式能源的出力情况则为供电恢复提供了额外的电源支持。合理利用分布式能源的出力，可以减少对主电网的依赖，提高供电恢复的灵活性和可靠性。为了寻找最优的供电恢复路径，系统采用了多种优化算法，如遗传算法、粒子群算法等。遗传算法模拟了生物进化过程中的自然选择和遗传机制，通过对初始解进行选择、交叉和变异等操作，逐步迭代生成更优的解，最终找到满足各种约束条件的最优供电恢复路径。粒子群算法则借鉴了鸟类群体觅食的行为模式，通过粒子之间的信息共享和协作，在解空间中搜索最优解。这些优化算法能够在复杂的配电网环境中快速、准确地找到最优方案，大大提高了供电恢复的效率。然而，供电恢复过程并非一帆风顺，还面临着电压稳定性和功率平衡等诸多问题。电压稳定性是保障电力设备正常运行和用户用电质量的关键，在供电恢复过程中，如果电压波动过大，可能会导致设备损坏或无法正常工作。功率平衡则关系到电网的稳定运行，恢复供电时需要确保输入功率与输出功率相匹配，避免出现功率过剩或不足的情况。因此，系统会

对供电恢复方案进行实时评估和调整。通过实时监测电压、功率等关键参数,利用人工智能算法对供电恢复方案进行动态优化,及时调整供电恢复路径和分布式能源的出力,确保电压稳定性和功率平衡。此外,需求响应技术也为供电恢复提供了新的思路。通过与用户进行互动,引导用户调整用电行为,如在供电恢复期间适当减少非必要负荷的使用,可以降低供电恢复的难度和压力,提高供电恢复的效率和可靠性。系统可以通过智能电表、移动应用等渠道向用户发送需求响应信号,用户根据信号调整用电设备的使用时间和功率,实现与电网的良性互动。

3.3 自愈控制系统的协调与优化

配电网自愈控制系统是一个高度复杂的系统,它涉及到多个子系统和设备之间的紧密协调与配合。这些子系统和设备包括监测系统、故障诊断系统、开关控制系统、分布式能源管理系统等,它们各自承担着不同的功能,但又相互关联、相互影响。为了实现自愈控制的目标,需要建立一个高效、协调的运行机制,确保各个子系统和设备之间能够无缝对接、协同工作。基于人工智能的自愈控制系统通过建立多智能体系统(MAS)来解决这一问题。在MAS中,将各个子系统和设备视为具有自主决策能力和通信能力的智能体。每个智能体都能够根据自身的感知信息和局部目标,独立地进行决策和行动。同时,智能体之间通过通信网络进行信息交换和协作,共同完成自愈控制的任务。例如,监测系统智能体负责实时采集配电网的运行数据,并将这些数据发送给故障诊断系统智能体;故障诊断系统智能体根据接收到的数据进行分析判断,确定故障位置和类型,并将结果反馈给开关控制系统智能体;开关控制系统智能体根据故障诊断结果,制定故障隔离方案,并控制智能开关设备进行动作;分布式能源管理系统智能体则负责协调分布式能源的运行,确保其在故障隔离和供电恢复过程中发挥积极作用。通过MAS的建立,各个子系统和设备之间的协调与配合得到了有效加强,提高了自愈控制系统的整体性能和响应速度^[3]。然而,为了进一步提高系统的性能和稳定性,还需要利用人工智能算法对自愈控制系统的参数进行优化。自愈控制系统的参数包括智能

体的决策阈值、通信延迟、控制策略等,这些参数的合理设置直接影响到系统的运行效果。强化学习算法是一种有效优化系统参数的方法。它将智能体与环境进行交互,通过试错的方式学习最优的决策策略。在自愈控制系统中,可以将每个智能体视为强化学习中的智能体,将系统的运行状态视为环境,将智能体的决策动作视为对环境的操作,将系统的性能指标(如故障隔离时间、供电恢复时间等)视为奖励信号。通过强化学习算法,智能体能够根据环境的反馈不断调整自己的决策策略,使自愈控制系统能够在不同的故障场景下做出最优的决策。例如,在面对复杂的故障情况时,强化学习算法可以快速调整智能体的决策阈值,使系统能够更加准确地判断故障类型和位置,从而提高故障隔离和供电恢复的效率。此外,还可以利用深度学习算法对自愈控制系统的历史数据进行分析挖掘,发现系统运行中的潜在规律和问题,为系统的优化提供依据。通过对大量历史故障数据的学习,深度学习算法可以预测故障的发生概率和可能的位置,提前采取预防措施,降低故障发生的可能性。同时,深度学习算法还可以对系统的运行参数进行实时监测和评估,及时发现参数的异常变化,为系统的维护和优化提供指导。

结束语

本文围绕基于人工智能的配电网故障诊断与自愈控制策略展开研究,分析了配电网故障诊断与自愈控制的现状及挑战,介绍了基于人工智能的故障诊断方法和自愈控制策略,并通过实际案例分析验证了所提方法与策略的有效性。研究表明,人工智能技术能够显著提高配电网故障诊断的准确性和自愈控制的效率,为配电网的智能化运行提供了有力支持。

参考文献

- [1]王庆荣,王瑞峰.基于改进粒子群算法的配电网重构策略[J].计算机应用,2018,38(9):2720-2724.
- [2]廖建庆,王涵,王咸鹏.混沌动态步长果蝇优化算法[J].传感器与微系统,2019,38(8):139-142.
- [3]任江波,郭志忠.电网自愈控制中的状态估计模式研究[J].电网技术,2007,31(3):59-63.