

基于人工智能的配电网自动化故障诊断研究

朱风光¹ 刘明华¹ 张国岩² 丁国强¹ 金国卫³

1. 宁波大榭集装箱码头有限公司 浙江 宁波 315000
2. 宁波海天职业技能培训学校有限公司 浙江 宁波 315000
3. 宁波镇海港埠有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：配电网作为电力系统与用户连接的关键环节，其稳定运行对保障社会生产生活至关重要。本文聚焦基于人工智能的配电网自动化故障诊断研究。首先阐述人工智能技术在配电网自动化故障诊断中具备强大数据处理、自学习与自适应以及快速准确诊断等优势。接着介绍多种基于人工智能的配电网故障诊断方法，包括专家系统、人工神经网络、模糊逻辑、支持向量机及深度学习方法。最后探讨该领域的发展方向，如多方法融合、与物联网深度融合、强化学习应用拓展以及可解释性人工智能的应用，旨在推动配电网故障诊断技术的智能化发展。

关键词：基于人工智能；配电网；自动化；故障诊断；研究

引言：随着配电网规模不断扩大、结构日益复杂，传统故障诊断方法面临诸多挑战，难以满足高效、精准诊断的需求。在此背景下，人工智能技术凭借其独特优势，为配电网自动化故障诊断带来了新的契机。人工智能技术具备强大的数据处理能力，可快速处理海量数据；拥有自学习与自适应能力，能应对复杂多变的故障情况；还能实现快速准确的故障诊断，提高供电可靠性。深入研究基于人工智能的配电网自动化故障诊断，对保障电力系统安全稳定运行、提升供电服务质量具有重要意义。

1 人工智能技术在配电网自动化故障诊断中的优势

1.1 强大的数据处理能力

配电网运行中会产生海量数据，涵盖电压、电流、功率等多维度信息。人工智能技术凭借高效的算法与强大的计算能力，可快速处理这些复杂数据。例如，深度学习算法能自动提取数据中的关键特征，挖掘潜在规律，即便面对大规模、高维度的数据集，也能在短时间内完成分析，精准识别数据中的异常模式，为故障诊断提供坚实的数据支撑，避免因数据处理不及时或失误导致的误判与漏判。

1.2 自学习与自适应能力

配电网故障类型多样且不断变化，传统方法难以应对。人工智能技术具有自学习与自适应能力，可不断积累经验并优化自身模型。以神经网络为例，通过大量故障样本训练，它能自动学习故障特征与类型间的映射关系。当新的故障模式出现时，可依据已有知识进行自适应调整，快速准确识别故障，无需人工重新设定规则，有效提升了故障诊断的灵活性与适应性，适应配电网动

态变化的需求。

1.3 快速准确的故障诊断

快速准确的故障诊断对于减少停电时间、降低经济损失至关重要。人工智能技术能在短时间内对故障进行定位与分类。借助先进的算法模型，它可迅速分析故障特征，与预设的故障模式匹配，快速确定故障位置与类型。同时，其诊断准确性高，能有效区分相似故障特征，避免误诊。相比传统方法，人工智能技术大幅缩短了故障诊断时间，提高了诊断精度，为配电网的快速恢复供电提供了关键支持^[1]。

2 基于人工智能的配电网故障诊断方法

2.1 专家系统方法

(1) 专家系统是一种基于知识的智能程序系统，在配电网故障诊断中，它汇聚了领域专家长期积累的经验和知识。这些知识以规则的形式存储在知识库中，例如“若某线路电流突然增大且超过额定值一定倍数，同时电压下降明显，则判定该线路可能发生短路故障”。当配电网出现故障时，推理机依据知识库中的规则，对实时采集的数据进行分析推理，模拟专家的决策过程，从而快速定位故障。(2) 专家系统具有解释功能。它不仅能给出故障诊断结果，还能详细说明得出该结果的依据和推理路径。这对于运维人员理解故障原因、制定合理的维修策略非常有帮助。同时，专家系统的知识库可以不断更新和完善，随着新故障案例的出现和专家经验的积累，能够及时将新的规则和知识添加到知识库中，提高系统的诊断能力和适应性。(3) 专家系统也存在一定局限性。它对知识获取的依赖性较强，若知识库中的规则不完整或不准确，会影响诊断结果的准确性。而且，

专家系统缺乏自学习能力，难以处理一些未知的、复杂的故障情况。不过，通过与其他人工智能方法相结合，可有效弥补这些不足，进一步提升配电网故障诊断的智能化水平。

2.2 人工神经网络方法

(1) 人工神经网络具有强大的非线性映射能力，这使其非常适用于配电网故障诊断。配电网故障特征与故障类型之间存在着复杂的非线性关系，传统方法难以精准刻画，而人工神经网络通过大量的神经元互联，能够自动学习和捕捉这种复杂的非线性规律。例如，在处理因设备老化、环境变化等多种因素共同作用引发的故障时，它可以凭借自身结构对输入的故障特征数据进行深度分析和处理，建立起从故障特征到故障类型的准确映射模型。(2) 人工神经网络具备自学习和自适应能力。在训练过程中，它可以根据给定的故障样本数据不断调整神经元之间的连接权重，优化自身的性能。随着新故障数据的不断输入，网络能够持续学习和适应新的故障模式，从而提高对未知故障的诊断能力。这使得人工神经网络在面对配电网不断变化和发展的故障情况时，依然能够保持较高的诊断准确性和可靠性。(3) 人工神经网络也存在一些不足之处。其训练过程需要大量的故障样本数据，且训练时间可能较长。同时，网络的性能在很大程度上取决于网络结构的设计和参数的选择，若设计不合理，容易出现过拟合或欠拟合等问题。不过，通过不断改进网络结构和训练算法，人工神经网络在配电网故障诊断中的应用前景依然十分广阔。

2.3 模糊逻辑方法

(1) 模糊逻辑方法能够有效处理配电网故障诊断中的不确定性和模糊性问题。在配电网实际运行中，由于设备老化、环境干扰、测量误差等因素，故障特征信息往往具有模糊性，难以用精确的数值来界定。例如，对于线路过载故障，很难明确界定电流超过额定值多少就判定为过载。模糊逻辑通过引入模糊集合和隶属度函数，可以将这些模糊的故障特征信息进行量化描述。比如，定义电流过载程度为“低”“中”“高”等模糊状态，并确定每个状态对应的隶属度函数，从而更贴合实际情况地表达故障特征。(2) 模糊逻辑具有较强的推理能力。它基于专家经验和知识建立模糊规则库，通过模糊推理机制，根据输入的模糊故障特征信息，推导出故障类型和程度的模糊结论。这些规则以“如果 - 那么”的形式呈现，简单易懂且便于修改和完善。例如，“如果电流过载程度高且电压下降明显，那么线路发生严重故障的可能性大”。(3) 模糊逻辑方法也存在一定局限

性。其规则库的建立依赖于专家经验，主观性较强，可能影响诊断结果的准确性。而且，模糊逻辑对于复杂故障模式的处理能力有限。不过，通过与其他人工智能方法相结合，如与神经网络融合，可充分发挥各自优势，提升配电网故障诊断的性能。

2.4 支持向量机方法

(1) 支持向量机(SVM)在处理配电网故障诊断中的小样本问题时具有显著优势。配电网故障数据获取往往面临成本高、难度大等困境，导致可用于训练的样本数量有限。SVM 基于结构风险最小化原则，能在有限样本下寻求最优分类超平面，最大程度地将不同故障类型的数据分隔开，有效避免过拟合问题，提高模型的泛化能力，即便样本不多，也能对新的故障数据进行较为准确的分类诊断。(2) SVM 对于高维数据的处理能力出色。配电网故障特征包含电气量、非电气量等多维度信息，数据维度较高。SVM 通过核函数将原始输入空间映射到高维特征空间，在高维空间中构建线性分类器，从而巧妙地解决了非线性分类问题。例如，利用径向基函数(RBF)核函数，可将复杂的非线性故障特征关系转化为线性可分问题，实现对各类故障的有效识别。(3) SVM 也有一些局限性。核函数及其参数的选择对模型性能影响较大，目前尚缺乏系统有效的选择方法，通常需要凭借经验进行多次试验确定。而且，当样本数量非常大时，SVM 的训练时间会显著增加，计算复杂度较高。不过，随着优化算法的不断改进，支持向量机在配电网故障诊断领域仍有着广阔的应用前景。

2.5 深度学习方法

(1) 深度学习具有强大的特征自动提取能力。在配电网故障诊断中，故障数据往往包含大量复杂且冗余的信息，传统方法需要人工设计特征，不仅耗时费力，还可能遗漏关键特征。而深度学习通过构建深层神经网络，如卷积神经网络(CNN)，能够自动从原始故障数据中学习并提取多层次、抽象的特征。例如，CNN 可以利用卷积层和池化层对故障信号进行逐层处理，挖掘出隐藏在数据中的故障模式和特征，无需人工干预，大大提高了特征提取的效率和准确性。(2) 深度学习模型对复杂故障模式的识别能力强。配电网故障类型繁多，且不同故障之间可能存在复杂的关联和相似性。深度学习模型凭借其庞大的参数和复杂的网络结构，能够学习到故障数据中细微的差异和复杂的非线性关系，从而准确区分不同类型的故障。像循环神经网络(RNN)及其变体长短时记忆网络(LSTM)，可以处理具有时序特性的故障数据，更好地捕捉故障发生和发展的动态过程。

(3) 深度学习需要大量的数据进行训练,且模型训练过程复杂、计算量大,对硬件资源要求较高。不过,随着大数据技术的发展和计算能力的提升,深度学习在配电网故障诊断中的应用将越来越广泛,为保障配电网的安全稳定运行提供有力支持^[2]。

3 基于人工智能的配电网故障诊断方法的发展方向

3.1 多方法融合诊断

单一的人工智能故障诊断方法存在各自局限,多方法融合诊断是必然趋势。专家系统虽能利用专家经验,但知识获取与更新困难;神经网络擅长模式识别,却缺乏解释性;模糊逻辑可处理不确定性,但规则制定主观性强。将多种方法融合,可优势互补。例如,把专家系统的知识库与神经网络的学习能力结合,神经网络通过学习优化专家系统的规则,专家系统为神经网络提供初始知识和引导,提升诊断准确性与可靠性。还能融合模糊逻辑处理故障诊断中的模糊信息,增强系统鲁棒性。多方法融合能综合利用不同方法的优势,适应配电网故障的复杂性和多样性,为故障诊断提供更全面、精准的解决方案,推动诊断技术向智能化、综合化发展。

3.2 与物联网技术深度融合

物联网技术可实现配电网设备广泛互联与数据实时采集,与人工智能深度融合将极大提升故障诊断水平。通过物联网传感器,能实时获取设备运行状态、环境参数等海量数据,为人工智能模型提供丰富素材。人工智能则可对这些数据进行深度分析,挖掘潜在故障特征,实现故障早期预警和精准定位。例如,利用物联网实时监测线路温度、电流等参数,人工智能算法可及时发现异常并判断故障类型和位置。同时,融合还能实现远程监控与智能决策,运维人员可远程获取诊断结果并采取措施,提高故障处理效率,降低运维成本,保障配电网安全稳定运行,构建智能化的配电网故障诊断体系。

3.3 强化学习在故障诊断中的应用拓展

强化学习通过智能体与环境交互学习最优策略,在配电网故障诊断中应用前景广阔。在故障诊断场景里,智能体将配电网系统视为环境,以诊断结果准确性作为奖励反馈。通过不断尝试不同诊断策略,根据奖励信号调整行为,找到最优诊断方案。面对复杂故障,强化学

习可自主探索最佳诊断路径,提高诊断效率和准确性。而且,它能适应配电网动态变化,当系统结构或运行方式改变时,快速学习并调整策略。未来,可拓展强化学习在故障预测、故障恢复等领域的应用。在故障预测中,提前感知潜在故障;在故障恢复时,智能规划恢复路径,构建更智能、自适应的配电网故障诊断与处理体系。

3.4 可解释性人工智能在故障诊断中的应用

传统人工智能模型在配电网故障诊断中多为“黑箱”,难以解释诊断结果依据,限制了实际应用。可解释性人工智能旨在让模型决策透明化。在故障诊断中,它能明确模型如何根据输入数据得出结论,识别关键特征对故障判断的作用。这有助于运维人员理解结果,增强对模型的信任,便于采取针对性措施。例如,通过可视化技术展示模型推理过程,让运维人员直观看到哪些特征导致故障判定。同时,可解释性可辅助模型优化,分析解释结果发现不足并改进。随着配电网对诊断可靠性和可理解性要求提高,可解释性人工智能将成为重要方向,推动人工智能在配电网领域更广泛应用,保障电力系统的安全稳定运行^[3]。

结束语

综上所述,基于人工智能的配电网自动化故障诊断研究意义重大且成果初显。人工智能方法凭借其独特优势,有效提升了故障诊断的准确性、及时性与智能化水平。然而,目前研究仍面临如模型可解释性不足、复杂场景适应性待加强等挑战。未来,随着技术的持续进步,多方法融合、与物联网等新技术深度结合将成为发展方向。

参考文献

- [1]李辉,李振坤,罗凌.基于改进深度残差收缩网络的配电网故障分类方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(08):1-10.
- [2]刘科研,盛万兴,何开元.基于深度学习LightGBM算法的配电网故障定位方法[J].电网技术,2020,44(01):298-306.
- [3]王振浩,王志强,赵鹏程.基于改进YOLOv5的配电网设备红外图像故障诊断方法[J].电力自动化设备,2023,43(12):213-220.