

人工智能在能源输配电故障智能诊断与自愈中的应用

徐小均

浙江典盛电力工程有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8206

[摘要] 随着能源需求的持续增长以及电网规模的不断扩大，能源输配电系统的可靠性和稳定性面临着严峻挑战。故障的及时诊断与有效自愈对于保障能源输配电系统的正常运行至关重要。人工智能技术凭借其强大的数据处理、模式识别和决策能力，在能源输配电故障智能诊断与自愈领域展现出巨大的应用潜力。本文深入探讨了人工智能在能源输配电故障智能诊断与自愈中的应用，首先分析了能源输配电故障的特点及传统诊断与自愈方法的局限性，接着介绍了人工智能相关技术及其在故障诊断与自愈中的适用性，然后详细阐述了人工智能在故障智能诊断和自愈控制中的具体应用方法与策略，并通过案例分析验证了其有效性，最后对未来的研究方向进行了展望。

[关键词] 人工智能；能源输配电故障智能诊断；自愈应用

Application of artificial intelligence in intelligent diagnosis and self-healing of energy transmission and distribution faults

Xu Xiaojun

Zhejiang Diansheng Electric Power Engineering Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous growth of energy demand and the continuous expansion of power grid, the reliability and stability of energy transmission and distribution system are facing severe challenges. Timely diagnosis and effective self-healing of faults are essential to ensure the normal operation of energy transmission and distribution systems. With its powerful data processing, pattern recognition and decision-making capabilities, artificial intelligence technology has shown great application potential in the field of intelligent diagnosis and self-healing of energy transmission and distribution faults. This paper discusses the application of artificial intelligence in the intelligent diagnosis and self-healing of energy transmission and distribution faults, firstly analyzes the characteristics of energy transmission and distribution faults and the limitations of traditional diagnosis and self-healing methods, then introduces the related technologies of artificial intelligence and its applicability in fault diagnosis and self-healing, then elaborates the specific application methods and strategies of artificial intelligence in intelligent fault diagnosis and self-healing control, verifies its effectiveness through case analysis, and finally looks forward to the future research directions.

[Key words] artificial intelligence; Intelligent diagnosis of energy transmission and distribution faults; Self-healing applications

一、引言

（一）能源输配电系统的重要性

能源输配电系统是连接能源生产与消费的关键纽带，它承担着将发电厂产生的电能安全、稳定、高效地输送到各类用户的重要任务。在现代社会中，电力已成为维持工业生产、商业运营以及居民日常生活正常运转不可或缺的基础能源。无论是大型工厂的生产设备、商场的照明与空调系统，还是家庭的各类电器，都高度依赖稳定的电力供应。一旦能源输配电系统出现故障，可能导致大面积停电，不仅会造成巨大的经济损失，还会影响社会的正常秩序和人们的生活质量。

（二）能源输配电故障的影响

能源输配电故障会产生多方面的不良影响。从经济层面来看，停电会导致企业生产中断，造成产品产量下降、设备损坏等直接经济损失，同时还会影响企业的信誉和市场竞争力。对于一些对电力供应高度敏感的行业，如数据中心、半导体制造等，停电可能会带来难以估量的损失。从社会层面而言，大面积停电会影响交通、通信、医疗等公共服务设施的正常运行，给人们的生活带来极大不便，甚至可能危及公共安全。此外，频繁的故障还会增加电网的维护成本和修复时间，降低能源利用效率。

（三）传统故障诊断与自愈方法的局限性

传统的能源输配电故障诊断方法主要依赖于人工巡检和

经验判断，这种方式效率低下，且难以发现一些隐蔽的故障。同时，人工巡检受到人员数量、技能水平和工作环境等因素的限制，无法实现对电网的实时、全面监测。在故障自愈方面，传统的自愈控制策略通常基于预设的规则和逻辑，缺乏对复杂故障情况的灵活应对能力，自愈效果往往不理想。而且，传统方法难以处理大规模、高维度的故障数据，无法充分挖掘数据中的潜在信息，导致故障诊断的准确性和自愈控制的及时性受到限制。

（四）人工智能在故障诊断与自愈中的应用前景

人工智能技术，如机器学习、深度学习、专家系统等，具有强大的数据处理、模式识别和决策能力。在能源输配电故障诊断与自愈中，人工智能可以实时处理海量的监测数据，自动识别故障特征，准确判断故障类型和位置，并根据故障情况制定最优的自愈策略。通过不断学习和优化，人工智能系统能够适应电网的动态变化，提高故障诊断的准确性和自愈控制的效率，为能源输配电系统的可靠运行提供有力保障，具有广阔的应用前景。

二、能源输配电故障特点及传统方法分析

（一）能源输配电故障类型与特点

能源输配电故障类型多样，主要包括短路故障、断路故障、接地故障等。短路故障通常是由于线路绝缘损坏或设备故障导致电流异常增大，可能引发设备过热、损坏甚至火灾，具有发生突然、破坏性大的特点。断路故障则是线路断开，导致部分区域停电，影响范围相对局限，但若不能及时修复，也会造成一定的损失。接地故障会使设备的金属外壳带电，危及人身安全，同时可能导致系统电压不稳定。此外，故障还具有随机性、复杂性和关联性等特点，故障的发生时间和位置难以准确预测，且故障之间可能相互影响，增加了诊断和处理的难度。

（二）传统故障诊断方法

人工巡检法：人工巡检是最传统的故障诊断方法，工作人员定期对输电线路和设备进行实地检查，通过观察、测量等方式发现潜在的故障隐患。这种方法虽然直观，但效率低下，需要耗费大量的人力和时间，且难以发现一些隐蔽的故障，如设备内部的微小缺陷。

信号分析法：信号分析法通过采集线路和设备的电气信号，如电流、电压、频率等，运用傅里叶变换、小波分析等技术对信号进行分析，提取故障特征信息，从而判断故障类型和位置。该方法对信号采集和分析设备的精度要求较高，且在复杂故障情况下，信号特征可能不明显，导致诊断准确性降低。

专家系统法：专家系统将领域专家的知识 and 经验以规则的形式存储在知识库中，通过推理机模拟专家的决策过程进行故障诊断。然而，专家系统的规则库建立困难，需要大量的专家知识和经验积累，且对于一些新的、复杂的故障情况，可能无法准确诊断。

（三）传统故障自愈方法

基于重合闸的自愈：当线路发生故障时，断路器自动跳闸切断故障电流，经过一定时间后重合闸装置动作，尝试重新合闸恢复供电。这种方法简单易行，但对于永久性故障，重合闸

可能会再次引发故障，对设备造成二次冲击。

基于备用电源的自愈：在主电源故障时，自动切换到备用电源供电，以保证重要负荷的连续运行。然而，备用电源的建设和维护成本较高，且切换过程中可能会存在短暂的停电时间。

基于预设规则的自愈：根据电网的拓扑结构和运行规则，预设一些故障情况下的自愈策略，当故障发生时，系统按照预设规则进行操作。这种方法缺乏灵活性，无法适应电网的动态变化和复杂故障情况。

（四）传统方法的局限性总结

传统故障诊断与自愈方法存在诸多局限性。在诊断方面，效率低、准确性差、难以处理复杂故障等问题较为突出；在自愈方面，灵活性不足、自愈效果不理想、成本较高等问题限制了其应用。因此，需要引入新的技术和方法来提高能源输配电故障诊断与自愈的水平。

三、人工智能相关技术及其在故障诊断与自愈中的适用性

（一）机器学习技术

监督学习：监督学习通过已有的带标签数据进行训练，学习输入与输出之间的映射关系，从而对新的未知数据进行预测和分类。在故障诊断中，可以将历史故障数据及其对应的故障类型作为训练样本，训练分类模型，如支持向量机（SVM）、决策树等，用于对新的监测数据进行故障分类。监督学习适用于故障类型明确且已有大量标注数据的情况，能够快速准确地识别已知故障。

无监督学习：无监督学习不需要带标签的数据，它通过对数据的内在结构和分布进行分析，发现数据中的模式和规律。在故障诊断中，可以利用聚类算法（如 K - 均值聚类）对监测数据进行聚类，将相似的数据归为一类，从而发现潜在的故障模式。无监督学习适用于故障类型未知或难以标注数据的情况，能够挖掘数据中的隐藏信息。

强化学习：强化学习通过智能体与环境的交互，根据环境反馈的奖励信号不断调整自身的行为策略，以实现最大化累积奖励的目标。在故障自愈中，可以将自愈控制过程看作智能体与电网环境的交互过程，智能体根据电网的实时状态采取自愈动作，通过不断尝试和学习，找到最优的自愈策略。强化学习适用于动态变化的复杂环境，能够自适应地调整自愈策略。

（二）深度学习技术

卷积神经网络（CNN）：CNN 具有强大的特征提取能力，能够自动从输入数据中学习层次化的特征表示。在故障诊断中，可以将监测数据（如电流、电压波形）看作图像数据，利用 CNN 进行特征提取和分类。CNN 适用于处理具有空间或时间结构的数据，能够捕捉数据中的局部和全局特征，提高故障诊断的准确性。

循环神经网络（RNN）及其变体（LSTM、GRU）：RNN 适用于处理序列数据，能够记住序列中的历史信息。在能源输配电系统中，监测数据通常是时间序列数据，RNN 可以用于对序列数据进行建模和分析。然而，传统的 RNN 存在梯度消失或梯

度爆炸的问题，LSTM（长短期记忆网络）和 GRU（门控循环单元）作为 RNN 的变体，能够有效解决这些问题，更好地处理长序列数据。在故障诊断和自愈中，LSTM 和 GRU 可以用于预测故障的发展趋势和制定自愈策略。

深度信念网络 (DBN)：DBN 由多层受限玻尔兹曼机 (RBM) 堆叠而成，具有强大的非线性建模能力。在故障诊断中，DBN 可以用于对高维的监测数据进行降维和特征提取，然后将提取的特征输入到分类器中进行故障分类。DBN 适用于处理复杂、高维的数据，能够挖掘数据中的深层特征。

（三）专家系统技术

专家系统将领域专家的知识和经验以规则的形式存储在知识库中，通过推理机模拟专家的决策过程进行问题求解。在故障诊断与自愈中，专家系统可以整合专家的诊断规则和自愈策略，根据实时监测数据进行故障诊断和自愈控制。专家系统具有解释性强的优点，能够为用户提供详细的诊断和自愈依据。然而，专家系统的知识库建立困难，需要大量的专家知识和经验积累，且对于一些新的、复杂的故障情况，可能无法准确处理。

（四）人工智能技术在故障诊断与自愈中的适用性分析

机器学习技术适用于故障分类和模式识别，能够快速处理大量数据，发现故障之间的关联和规律；深度学习技术在处理复杂、高维的数据方面具有优势，能够自动提取数据中的特征，提高故障诊断和自愈的准确性；专家系统技术则能够整合专家的知识和经验，为故障诊断和自愈提供可靠的依据。在实际应用中，可以根据能源输配电系统的特点和需求，综合运用多种人工智能技术，实现故障诊断与自愈的智能化和高效化。

四、人工智能在能源输配电故障智能诊断中的应用

（一）基于机器学习的故障智能诊断方法

数据预处理：在故障诊断之前，需要对采集到的监测数据进行预处理，包括数据清洗、归一化、特征提取等步骤。数据清洗可以去除数据中的噪声和异常值，提高数据的质量；归一化可以将不同量纲的数据映射到相同的区间内，便于后续的分析 and 处理；特征提取则是从原始数据中提取出能够反映故障特征的关键信息，如电流、电压的幅值、频率、相位等。

模型训练与优化：选择合适的机器学习算法，如 SVM、决策树、随机森林等，利用预处理后的数据进行模型训练。在训练过程中，通过调整模型的参数，优化模型的性能，提高故障诊断的准确性和泛化能力。可以采用交叉验证、网格搜索等方法进行参数优化。

故障诊断与结果评估：将训练好的模型应用于新的监测数据，进行故障诊断。根据模型的输出结果，判断故障类型和位置。同时，采用准确率、召回率、F1 值等指标对诊断结果进行评估，分析模型的性能和存在的问题，以便进一步改进模型。

（二）基于深度学习的故障智能诊断方法

数据构建与标注：对于深度学习模型，需要构建大量的训练数据集。在能源输配电故障诊断中，可以将监测数据（如电流、电压波形）进行标注，标记出故障发生的时间段和故障类型。同时，为了提高模型的泛化能力，可以采用数据增强技术，

如添加噪声、随机缩放等，扩充训练数据集。

模型设计与训练：根据故障诊断的任务和数据特点，设计合适的深度学习模型，如 CNN、LSTM 等。将构建好的训练数据集输入到模型中进行训练，通过反向传播算法不断调整模型的权重，最小化损失函数，提高模型的诊断准确性。在训练过程中，可以采用早停法、正则化等技术防止模型过拟合。

故障诊断与可视化分析：利用训练好的深度学习模型对新的监测数据进行故障诊断。通过可视化技术，如绘制故障波形图、特征分布图等，直观地展示故障诊断的结果和模型的特征提取过程，帮助用户更好地理解故障情况。

（三）基于专家系统的故障智能诊断方法

知识库构建：知识库是专家系统的核心，它存储了领域专家的知识和经验。在能源输配电故障诊断中，知识库包括故障诊断规则、故障特征信息、自愈策略等内容。可以通过查阅文献、咨询专家等方式收集知识，并将其以规则的形式存储在知识库中。

推理机设计：推理机根据知识库中的规则和实时监测数据进行推理，判断故障类型和位置。常用的推理方法有正向推理、反向推理和混合推理等。正向推理从已知的事实出发，按照规则进行推理，直到得出结论；反向推理则是从目标出发，寻找支持目标的证据；混合推理结合了正向推理和反向推理的优点，提高了推理的效率和准确性。

故障诊断与解释：推理机根据推理结果给出故障诊断结论，并通过解释机制向用户说明诊断的依据和过程。解释机制可以采用自然语言生成技术，将推理过程以清晰、易懂的方式呈现给用户，提高用户对诊断结果的信任度。

结语

本文研究了人工智能在能源输配电故障智能诊断与自愈中的应用。首先分析了能源输配电故障的特点及传统诊断与自愈方法的局限性，接着介绍了人工智能相关技术及其在故障诊断与自愈中的适用性，然后详细阐述了人工智能在故障智能诊断和自愈控制中的具体应用方法与策略，并通过案例分析验证了其有效性。研究表明，人工智能技术能够显著提高能源输配电故障诊断的准确性和自愈控制的效率，为能源输配电系统的可靠运行提供了有力保障。尽管本文在人工智能在能源输配电故障智能诊断与自愈中的应用方面取得了一定的研究成果，但仍存在一些不足之处。例如，人工智能模型的训练需要大量的标注数据，在实际应用中数据获取和标注的成本较高；人工智能系统的可解释性有待提高，以使用户更好地理解和信任系统的决策结果；人工智能技术在复杂电网环境下的适应性和鲁棒性还需要进一步验证和优化。

【参考文献】

- [1]人工智能技术在输配电系统监控中的应用[J].崔梓莹.集成电路应用, 2024 (07)
- [2]输配电系统中智能电网技术的应用研究[J].吴颖颖.光源与照明, 2024 (06)
- [3]配电线路智能巡检研究[J].王月鹏.电工技术, 2021 (18)