

基于人工智能的变电运维故障诊断新方法

陆珺

国网福建省电力有限公司上杭县供电公司，福建 上杭 364200

摘要： 本文聚焦于电力系统变电运维故障诊断领域，深入探讨基于人工智能的创新方法。详细阐述了深度学习、机器学习、专家系统、多传感器信息融合以及自然语言处理等技术在变电运维故障诊断中的应用原理与优势。通过对这些方法的理论分析，展示了其在提升故障诊断准确性、及时性和可靠性方面的巨大潜力，为推动电力系统智能化运维发展提供了理论支持与实践指导，有助于保障电力系统的安全稳定运行。

关键词： 人工智能；变电运维；故障诊断；深度学习；信息融合

New Method for Fault Diagnosis of Substation Operation and Maintenance Based on Artificial Intelligence

Lu Jun

State Grid Fujian Electric Power Company, Shanghang County Power Supply Company, Shanghang, Fujian 364200

Abstract： This article focuses on the field of fault diagnosis for substation operation and maintenance in the power system, and deeply explores innovative methods based on artificial intelligence. It elaborates on the application principles and advantages of technologies such as deep learning, machine learning, expert systems, multi-sensor information fusion, and natural language processing in fault diagnosis for substation operation and maintenance. Through theoretical analysis of these methods, it demonstrates their great potential in improving the accuracy, timeliness, and reliability of fault diagnosis, providing theoretical support and practical guidance for promoting the development of intelligent operation and maintenance of the power system, and helping to ensure the safe and stable operation of the power system.

Keywords： artificial intelligence; substation operation and maintenance; fault diagnosis; deep learning; information fusion

引言

电力系统作为现代社会的关键基础设施，其稳定运行对于经济发展和社会生活的正常运转至关重要。变电运维作为电力系统中的核心环节，负责变电站内各类设备的运行维护和管理，确保电力的可靠传输与分配。然而，变电设备在长期运行过程中不可避免地会出现各种故障，传统的故障诊断方法主要依赖人工巡检、定期试验以及基于经验的简单数据分析，这些方法存在着效率低下、准确性不高、对复杂故障诊断能力有限等诸多弊端^[1]。

随着信息技术的飞速发展，人工智能技术在各个领域展现出强大的应用潜力，变电运维故障诊断也迎来了新的发展机遇。人工智能技术能够对海量的设备运行数据进行快速处理和深度分析，挖掘数据背后隐藏的故障特征和规律，从而实现对变电设备故障的精准诊断和提前预警。本文将详细介绍基于人工智能的变电运维故障诊断新方法，从理论层面剖析其应用原理和优势，以期为电力系统的智能化运维提供有益的参考和借鉴。

一、深度学习在变电运维故障诊断中的应用

深度学习是人工智能领域的重要分支，通过构建具有多个层次的神经网络模型，能够自动从大量数据中学习复杂的特征表示和模式规律。在变电运维故障诊断中，深度学习算法展现出了卓越的性能。

卷积神经网络（CNN）是一种广泛应用于图像处理领域的深

度学习模型，在变电运维中可用于对设备外观图像、红外热像图等进行分析。例如，通过对变电站内设备的外观图像进行采集和预处理后，输入到 CNN 模型中，模型能够自动提取设备表面的特征信息，如设备外壳的裂缝、变形、锈蚀以及绝缘子的污秽、破损等异常情况^[2]。CNN 的卷积层通过卷积核在图像上滑动，提取不同尺度的局部特征，池化层则对特征进行下采样，减少数据量的同时保留关键信息，全连接层最终对特征进行分类，判断设备

是否存在外观故障以及故障的类型和严重程度。

循环神经网络（RNN）及其变体（如 LSTM 和 GRU）适用于处理时间序列数据，变电设备的运行参数（如电压、电流、温度、功率等）随时间变化形成的时间序列数据蕴含着设备运行状态的丰富信息。RNN 能够记忆序列中的历史信息，并利用这些信息对当前时刻的状态进行预测和判断。在变电运维故障诊断中，RNN 模型可以根据设备运行参数的历史数据，学习到正常运行状态下的参数变化规律和趋势，当出现故障时，能够及时捕捉到参数的异常变化，如电流的突变、温度的异常升高、功率的波动等，并通过对这些异常变化模式的识别，诊断出可能的故障原因，如变压器绕组短路导致电流增大、冷却系统故障引起温度上升等。

二、机器学习在变电运维故障诊断中的应用

机器学习算法涵盖了众多经典的分类和回归方法，在变电运维故障诊断中也发挥着重要作用。

支持向量机（SVM）是一种常用的二分类和多分类机器学习算法，其基本思想是在高维空间中寻找一个最优的超平面，将不同类别的样本数据尽可能地分开^[3]。在变电运维故障诊断中，SVM 可以根据设备的运行特征数据（如电气参数、机械振动参数、绝缘油色谱分析数据等）进行训练，构建故障分类模型。通过对大量已知故障类型和正常运行状态下的样本数据进行学习，SVM 能够确定一个最优的分类超平面，将新的设备运行数据映射到该超平面上，判断其所属的类别，即设备是否正常运行或属于哪一类故障情况。例如，对于变压器故障诊断，可将变压器的油中溶解气体含量、绕组绝缘电阻、铁芯接地电流等参数作为输入特征，利用 SVM 模型对变压器的正常、过热、放电等故障状态进行分类诊断。

决策树算法是一种基于树形结构的分类和回归方法，通过对数据集的特征进行逐步划分，构建一棵决策树模型，每个内部节点表示一个特征测试，每个分支代表该特征测试的一个输出，叶节点则表示最终的分类结果。在变电运维故障诊断中，决策树可以根据设备的运行参数和故障特征之间的逻辑关系，构建故障诊断决策树^[4]。例如，对于断路器故障诊断，可根据断路器的分合闸时间、行程、操作机构的压力等参数，通过决策树的层层判断，确定断路器是否存在拒动、误动、机械故障或电气控制故障等具体故障类型。决策树算法具有直观易懂、计算效率高、能够处理多类别分类问题等优点，在变电运维故障诊断中得到了广泛应用。

三、专家系统在变电运维故障诊断中的应用

专家系统是一种基于知识和推理的人工智能系统，它将领域专家的经验知识和专业知识以规则、框架、语义网络等形式表示出来，并通过推理机制模拟专家的思维过程，对实际问题进行求解和诊断。

在变电运维故障诊断中，专家系统首先需要构建知识库，知识库中包含了变电设备的结构原理、运行特性、常见故障类型、故障原因、故障现象以及相应的处理措施等知识^[5]。这些知识可以通过领域专家的经验总结、设备技术手册、历史故障案例分析等途径获取，并以一定的知识表示形式存储在知识库中。例如，对于变压器故障诊断专家系统，知识库中会包含变压器的绕组结构、铁芯材料、冷却方式等基本信息，以及绕组短路、铁芯多点接地、绝缘老化、冷却系统故障等常见故障的原因、现象和处理方法等知识。

当接收到变电设备的运行数据和故障信息时，专家系统的推理机根据知识库中的知识和推理规则进行推理诊断^[6]。推理机可以采用正向推理、反向推理或混合推理等策略。正向推理是从已知的事实和数据出发，按照一定的规则逐步推导出结论；反向推理则是从目标问题出发，反向寻找支持该问题的证据和条件；混合推理则结合了正向推理和反向推理的优点，先通过正向推理确定可能的故障范围，再通过反向推理进一步验证和细化故障诊断结果。例如，当监测到变压器的油温升高、瓦斯继电器动作等故障现象时，专家系统通过正向推理，在知识库中查找与这些现象相关的故障原因，如可能是绕组过热、铁芯故障或冷却系统故障等，然后再通过反向推理，进一步核实这些故障原因是否与当前的设备运行参数和其他相关信息相符合，最终确定最有可能的故障原因和相应的处理措施^[7]。

四、多传感器信息融合在变电运维故障诊断中的应用

变电运维中，为了全面、准确地监测设备的运行状态，通常会布置多种类型的传感器，如温度传感器、振动传感器、电流传感器、电压传感器、气体传感器、声音传感器等。这些传感器从不同的角度采集设备的运行信息，然而，单一传感器的数据往往具有局限性，可能受到环境干扰、传感器自身精度等因素的影响，导致故障诊断的准确性不高。

多传感器信息融合技术通过对来自多个传感器的信息进行综合处理和分析，充分发挥各传感器的优势，提高故障诊断的可靠性和准确性。信息融合的层次主要包括数据层融合、特征层融合和决策层融合。

数据层融合是指直接对来自多个传感器的原始数据进行融合处理，例如将多个温度传感器在不同位置采集到的温度数据进行加权平均、卡尔曼滤波等方法的处理，得到一个更准确的温度估计值，用于判断设备的温度状态是否异常。数据层融合能够保留原始数据的全部信息，但对传感器的同步性和数据量要求较高，计算复杂度也相对较大。

特征层融合是先对各传感器的数据进行特征提取，然后将提取的特征向量进行融合^[8]。例如，对于变压器的故障诊断，分别从振动传感器数据中提取振动频率、幅值等特征，从油中溶解气体传感器数据中提取气体含量、气体比例等特征，然后将这些特征向量组合成一个新的特征向量，再通过模式识别算法进行故障诊断。特征层融合在一定程度上减少了数据量，同时保留了数据的

关键特征信息，提高了故障诊断的效率和准确性。

决策层融合是指各个传感器独立进行决策判断，然后将这些决策结果进行融合。例如，温度传感器判断设备温度是否过高，振动传感器判断设备是否存在机械故障，电流传感器判断设备的电气性能是否正常等，最后通过投票法、贝叶斯推理等方法将这些独立的决策结果进行综合，得出最终的故障诊断结论。决策层融合具有较强的灵活性和容错性，对传感器的依赖性相对较小，但可能会因为各传感器的决策误差而影响最终的诊断结果。

五、自然语言处理在变电运维故障诊断中的应用

变电运维过程中会产生大量的文本数据，如设备的检修记录、故障报告、运行日志、操作票等，这些文本数据中蕴含着丰富的设备运行信息和故障线索。自然语言处理技术通过对这些文本数据的分析和理解，能够辅助故障诊断人员快速获取关键信息，提高故障诊断的效率和准确性。

文本分类是自然语言处理中的一项重要任务，在变电运维故障诊断中可用于对故障报告、检修记录等文本进行分类^[9]。例如，将故障报告按照设备类型（变压器、断路器、互感器等）、故障性质（电气故障、机械故障、绝缘故障等）、故障严重程度（轻微故障、一般故障、严重故障等）等进行分类，便于故障诊断人员快速定位和查找相关的故障案例和处理经验。文本分类方法通常采用基于机器学习的分类算法，如朴素贝叶斯、支持向量机、深度学习中的文本卷积神经网络等，通过对大量标注好的文本数据进行训练，构建分类模型，实现对新的文本数据的自动分类。

命名实体识别是从文本中识别出具有特定意义的实体名称，如设备名称、故障部件、故障原因、故障时间等。在变电运维故障诊断中，通过命名实体识别技术可以从故障报告和检修记录中提取出关键的实体信息，例如“变压器 A 的绕组在 2023 年 5 月 10 日发生短路故障”，从中识别出“变压器 A”“绕组”“短路故障”“2023 年 5 月 10 日”等实体，这些实体信息对于故障诊断和分析具有重要的参考价值。命名实体识别方法主要包括基于规则的方法、基于统计机器学习的方法（如隐马尔可夫模型、条

件随机场等）以及基于深度学习的方法（如 BiLSTM - CRF 模型）等。

此外，自然语言处理技术还可以实现文本的自动摘要生成、语义理解和问答系统等功能。例如，通过自动摘要生成技术对冗长的设备运行日志进行摘要提取，快速概括出关键的运行状态信息和异常事件；利用语义理解技术对故障描述文本进行语义分析，挖掘文本背后的深层含义和故障关联关系；构建变电运维故障诊断问答系统，方便运维人员通过自然语言提问的方式获取故障诊断的相关知识和建议，提高运维工作的效率和智能化水平^[10]。

六、结论

基于人工智能的变电运维故障诊断新方法为电力系统的安全稳定运行提供了强有力的技术支持。深度学习、机器学习、专家系统、多传感器信息融合以及自然语言处理等技术在变电运维故障诊断中的应用，极大地提高了故障诊断的准确性、及时性和可靠性。深度学习算法能够自动学习设备运行数据中的复杂特征和故障模式，机器学习算法通过对历史数据的学习构建有效的故障分类和预测模型，专家系统利用领域专家的知识和经验进行推理诊断，多传感器信息融合技术综合多个传感器的数据实现更全面准确的故障判断，自然语言处理技术则从文本数据中挖掘出有价值的故障信息，辅助运维人员进行故障诊断。

然而，这些人工智能方法在实际应用中仍面临一些挑战，如数据质量和数据量的要求较高，模型的训练和优化需要大量的计算资源和专业知识，不同方法之间的融合和协同工作还需要进一步深入研究等。未来，随着人工智能技术的不断发展和完善，以及电力系统智能化建设的推进，基于人工智能的变电运维故障诊断方法将不断优化和创新，为电力系统的高效可靠运行提供更加坚实的保障，推动电力行业向智能化、自动化方向迈进。同时，还需要加强电力行业与人工智能领域的跨学科合作，培养既懂电力专业知识又掌握人工智能技术的复合型人才，以更好地适应电力系统智能化发展的需求。

参考文献

- [1] 王若愚. 数字化技术在变电运维工作中的运用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (33): 75-78.
- [2] 郑凯. 智能化变电运维中的技术体系分析 [J]. 电子技术, 2024, 53 (10): 106-107.
- [3] 吉云飞. 智能变电运维中的安全策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (10): 288-289.
- [4] 樊建鹏. 智能变电运维技术在电力工程中的实践 [J]. 电力设备管理, 2024, (17): 188-190.
- [5] 王珂, 王璐昕. 电网变电运维误操作事故防控措施研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65 (S2): 164-166.
- [6] 马西跃. 电力系统中的变电运维技术及其应用分析 [J]. 光源与照明, 2024, (11): 51-53.
- [7] 王若愚. 数字化技术在变电运维工作中的运用探究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (33): 75-78.
- [8] 孔德鑫. 变电运维中的风险与应对策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 332-333.
- [9] 李春晓. 变电运维中的安全策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 370-371. DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2024.11.176.
- [10] 黄洪彬. 变电运维中的隐患风险与对策分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (11): 378-379.