

Research on fault diagnosis method of power system based on deep learning

Xiaoyun Li

State Power Investment Group Guizhou Jinyuan Co., Ltd., Nayong Power Plant, Guizhou, Bijie, 553300, China

Abstract

With the expansion of power system scale and increasing operational complexity, traditional fault diagnosis methods struggle to meet modern grid's demands for rapid and accurate fault handling. This study investigates a deep learning-based fault diagnosis method for power systems, leveraging neural networks' strong feature extraction capabilities to automatically identify fault characteristics and perform classification. Deep learning demonstrates significant advantages in processing nonlinear and high-dimensional data, which enabled the development of a model framework specifically designed for power system fault diagnosis. This approach overcomes the limitations of traditional methods that rely on manual experience and exhibit poor adaptability, significantly enhancing both accuracy and efficiency of fault detection. The research demonstrates that this method provides new technological support for ensuring the safe and stable operation of power grids, carrying substantial theoretical and practical significance. Additionally, it explores challenges and improvement directions in practical applications, offering valuable references for future research.

Keywords

deep learning; power system; fault diagnosis method

基于深度学习的电力系统故障诊断方法研究

黎潇云

国家电投集团贵州金元股份有限公司纳雍发电总厂，中国·贵州 毕节 553300

摘要

随着电力系统规模扩大，运行复杂度增加，传统故障诊断方法难以满足现代电网快速准确处理故障的需求。本文研究基于深度学习的电力系统故障诊断方法，利用神经网络强大的特征学习能力，自动提取故障特征并分类识别。深度学习在处理非线性、高维度数据方面优势明显，本文据此构建了适用于电力系统故障诊断的模型框架。该方法克服了传统诊断依赖人工经验、适应性差的局限，显著提升了故障诊断的准确性与效率。研究显示，该方法为电网安全稳定运行提供新技术支撑，有重要理论与实际意义。此外，还探讨了实际应用中的挑战与改进方向，为后续研究提供参考。

关键词

深度学习；电力系统；故障诊断方法

1 引言

电力系统是国民经济基础保障，其安全稳定运行关乎社会生产与民生。智能电网建设推进使系统结构更复杂、运行方式更灵活，传统依赖专家经验和数学模型的故障诊断方法，在应对大规模、非线性、时变问题时显现不足。近年来，深度学习在图像识别等领域取得突破，其强大的特征学习与模式识别能力为故障诊断提供新思路——能自动从海量数据提取特征，突破人工设计局限，在处理复杂故障时优势显著。本文系统探讨深度学习在电力系统故障诊断中的应用价值，分析现有技术特点与局限，并提出未来方向，为技术进步提供参考。

2 电力系统故障诊断概述

电力系统故障诊断是保障电网安全运行的关键环节。现代电力系统规模庞大、结构复杂，涵盖发电、输电等多个环节，任一环节都可能出现故障。及时准确的诊断能帮助运行人员快速定位故障点，防止故障扩大，减少停电损失。但随着新能源大规模接入和智能电网建设推进，系统运行特性改变，故障诊断面临新挑战。

传统故障诊断方法主要有两类：基于数学模型的方法通过建立物理模型，利用状态估计等技术诊断故障，但对系统模型精度要求高，易受模型误差和不确定性影响；基于知识的方法依赖专家经验和规则库，虽无需精确模型，但知识获取和规则维护困难，适应性较差^[1]。

如今，电力系统自动化水平提升，各类监测设备广泛应用，产生了海量运行数据，其中包含丰富的系统状态信息，

【作者简介】黎潇云（1979-），男，中国贵州安龙人，本科，工程师，从事火电厂安全生产管理研究。

为数据驱动的故障诊断方法奠定了基础。深度学习作为数据驱动方法的重要代表，在处理大数据方面优势独特，为电力系统故障诊断开辟了新途径。

3 深度学习技术特点

3.1 深度学习：自动特征学习的强大引擎

深度学习是机器学习的一个重要分支，具有强大的特征学习能力。与传统方法相比，深度学习能够自动从数据中学习特征，不需要人工设计特征提取算法。深度学习模型包含多个处理层，每层都可以提取不同抽象级别的特征。这种多层次的特征学习方式使其特别适合处理电力系统故障诊断这类复杂问题。

3.2 深度学习模型的多元技术特性与泛化优势

深度学习模型的主要特点包括：首先，它具有强大的表示学习能力，能够从原始数据中自动学习到有效的特征表示。其次，深度学习模型可以处理高维数据，适合处理电力系统中多源异构的监测数据。再次，深度学习具有良好的泛化能力，经过充分训练后能够很好地处理未见过的数据样本。此外，深度学习模型还可以通过迁移学习、增量学习等技术，适应不同运行条件和系统状态^[2]。

3.3 解决复杂问题与提升效率

在电力系统故障诊断中，深度学习技术可以有效地处理系统非线性和不确定性等问题。通过多层次的特征变换，深度学习模型能够捕捉故障特征与故障类型之间的复杂映射关系。同时，深度学习模型的端到端学习方式简化了诊断流程，提高了诊断效率。

4 故障诊断模型构建

基于深度学习的故障诊断模型构建是一个系统工程，需要充分考虑电力系统的特点和数据特性。完整的诊断模型主要包括数据预处理、特征提取和故障分类三个核心部分。

4.1 数据预处理

数据预处理阶段是模型构建的基础。电力系统监测数据往往包含噪声和异常值，需要进行数据清洗和滤波处理。同时，由于不同监测设备的数据量纲和取值范围差异较大，需要进行数据标准化处理，使数据处于相同的数值范围。此外，为了提高模型的泛化能力，还需要进行数据增强，通过添加噪声、时间偏移等方式扩充训练数据集^[3]。

4.2 特征提取

特征提取阶段是深度学习模型的核心。通过多层神经网络的非线性变换，模型能够自动学习到具有判别性的故障特征。在这一阶段，需要根据具体的故障诊断任务设计合适的网络结构。对于时序数据，可以采用循环神经网络或其变体；对于空间数据，可以使用卷积神经网络；对于复杂的多模态数据，则可以设计混合网络结构。

4.3 故障分类

故障分类阶段是将学习到的特征映射到具体的故障类别。通常采用全连接层配合 softmax 分类器实现多分类任务。

为了提高分类性能，可以引入注意力机制，使模型能够关注重要的特征维度。同时，为了应对类别不平衡问题，可以采用加权损失函数或重采样技术^[4]。

5 常用深度学习模型

5.1 CNN 与 RNN 系列：处理不同类型数据的利器

卷积神经网络（CNN）特别适合处理具有空间局部相关性的数据。在电力系统故障诊断中，CNN 可以用于处理电压、电流波形数据，通过卷积操作提取局部特征，池化操作降低特征维度。CNN 的层次化结构使其能够学习到从低级到高级的特征表示，在故障识别方面表现出色^[5]。

循环神经网络（RNN）及其改进型长短期记忆网络（LSTM）擅长处理时间序列数据。电力系统故障数据具有明显的时间依赖性，RNN 和 LSTM 能够捕捉时间序列中的长期依赖关系，对于时序故障诊断任务特别有效。门控循环单元（GRU）作为 LSTM 的简化版本，在保持性能的同时降低了计算复杂度。

5.2 自编码器与生成对抗网络：特征降维、异常检测与样本补充

自编码器（Autoencoder）是一种无监督学习模型，可以用于特征降维和异常检测。在故障诊断中，自编码器可以学习正常状态的数据分布，通过重构误差来检测异常状态。变分自编码器（VAE）进一步引入了概率建模，提高了模型的表达能力^[6]。

深度信念网络（DBN）由多个受限玻尔兹曼机堆叠而成，具有较强的特征学习能力。DBN 可以通过预训练和微调两个阶段进行训练，在样本较少的情况下仍能取得较好的效果。生成对抗网络（GAN）则可以用于生成合成数据，解决训练样本不足的问题。

6 方法优势分析

6.1 强大的自动特征学习能力

传统方法需要依赖领域专家手工设计特征提取算法，这个过程既耗时又容易受到主观因素的影响。深度学习能够从原始数据中自动学习到有效的特征表示，避免了人工特征设计的局限性。这种自动特征学习能力使得深度学习模型能够发现人眼难以察觉的细微故障特征。

6.2 良好的泛化性能

通过大规模数据训练，深度学习模型可以学习到数据的内在规律和分布特征，从而对未见过的数据样本做出准确判断。这种泛化能力使得深度学习模型能够适应不同的运行条件和系统状态，具有较强的实用性。

6.3 可以处理多源异构数据

现代电力系统配备了各种监测设备，产生了多种类型的数据，包括时序数据、图像数据、文本数据等。深度学习提供了统一的框架来处理这些多模态数据，可以通过设计不同的网络分支来提取各类数据的特征，最后进行特征融合和决策^[7]。

6.4 支持端到端的学习方式

传统故障诊断方法通常需要多个处理步骤，每个步骤都可能引入误差。深度学习可以实现从原始数据到故障诊断结果的端到端映射，减少了中间环节的信息损失，提高了诊断效率。

6.5 良好的可扩展性

随着数据量的增加和计算资源的提升，可以通过增加网络深度和宽度来提高模型性能。同时，新的深度学习算法和优化技术可以方便地集成到现有框架中，保持方法的技术先进性。

7 技术挑战与局限

7.1 数据质量与样本分布的双重困境

数据质量问题是首要挑战。电力系统监测数据往往包含噪声、缺失值和异常值，这些数据质量问题会影响深度学习模型的训练效果。虽然数据预处理可以在一定程度上缓解这个问题，但如何有效处理低质量数据仍然是一个需要深入研究的问题^[8]。

样本不平衡是另一个重要挑战。电力系统中正常运行状态占绝大多数，故障状态相对较少，这导致训练数据中存在严重的类别不平衡问题。如果直接使用这样的数据进行训练，模型会偏向多数类，影响对故障样本的识别能力。需要采用过采样、欠采样或代价敏感学习等方法来改善这个问题。

7.2 模型可解释性与资源约束的深层矛盾

模型可解释性不足是深度学习的普遍问题。深度学习模型通常被视为“黑箱”，其决策过程难以理解和解释。在电力系统这种安全关键的领域，用户需要了解诊断结果的依据，以便做出正确的决策。如何提高模型的可解释性是一个重要的研究方向。

计算资源需求较大也是实际应用中的限制因素。深度学习模型通常需要大量的计算资源和存储空间进行训练和推理。在资源受限的边缘计算环境中部署深度学习模型面临挑战，需要研究模型压缩和加速技术。

7.3 泛化能力与实时性的现实瓶颈

模型泛化能力仍需提升。虽然深度学习理论上具有很好的泛化能力，但在实际应用中，当系统运行条件发生较大变化时，模型性能可能会下降。需要研究领域自适应和迁移学习等方法，提高模型在不同工况下的适应能力。

最后，实时性要求也是一个挑战。电力系统故障诊断往往需要快速响应，而复杂的深度学习模型可能需要较长的推理时间。如何在保证精度的同时提高推理速度，满足实时诊断的要求，需要进一步优化模型结构和推理算法。

8 未来发展方向

模型轻量化与效率提升是一个重要方向。研究更高效的网络结构和参数优化方法，降低模型复杂度和计算需求，使深度学习模型能够在资源受限的环境中部署和应用。知识

蒸馏、模型剪枝和量化等技术可以帮助实现这一目标。

多模态融合技术值得深入研究。电力系统包含多种类型的数据源，如 SCADA 数据、PMU 数据、设备状态监测数据等。研究如何有效融合这些多模态数据，挖掘数据之间的关联信息，可以提高故障诊断的准确性和可靠性。小样本学习是一个急需解决的问题。针对故障样本稀少的问题，研究元学习、迁移学习等技术，使模型能够从少量样本中快速学习，提高在数据稀缺情况下的诊断性能。

可解释性研究需要加强。开发新的可解释性方法，如注意力可视化、特征重要性分析等，帮助用户理解模型的决策过程，增强对诊断结果的信任度。在线学习与自适应能力提升是另一个重要方向。研究增量学习和在线学习算法，使模型能够持续从新数据中学习，适应系统运行状态的变化，保持诊断性能的稳定性。

跨领域应用拓展也值得关注。探索深度学习在其他电力系统领域的应用，如设备状态预测、负荷预测、新能源并网等，充分发挥深度学习技术的优势。最后，与实际系统集成应用需要推进。研究深度学习模型与现有监控系统的集成方法，开发实用的故障诊断平台，推动技术成果的实际应用和产业化。

9 结语

本文系统研究了基于深度学习的电力系统故障诊断方法。研究表明，该方法通过自动特征学习和端到端流程，显著提升诊断准确性与效率，克服传统方法局限，为电网安全稳定运行提供新技术手段，应用前景广阔。但该技术仍面临数据质量、样本不平衡、模型可解释性等挑战，未来需在模型轻量化、多模态融合、小样本学习等方向深化研究。总体而言，深度学习为故障诊断带来方法创新与机遇，随着技术进步与应用深入，其将在智能电网建设中发挥更重要作用，有力保障电力系统安全、可靠、高效运行。

参考文献

- [1] 陈滇斐,章黄勇,马宏忠,等.基于深度学习的电力设备故障诊断方法研究综述[J].电气自动化,2022,44(01):1-2+6.
- [2] 王鑫睿.基于深度学习的电力系统关键设备故障诊断[D].西安理工大学,2018.
- [3] 吴越,吕菁.基于深度学习的电力系统故障诊断与预测模型优化分析[J].电子技术,2024,53(07):226-227.
- [4] 彭裕龙.基于深度学习的电力系统故障诊断与定位方法研究[J].电工技术,2024,(S1):469-471.
- [5] 叶琳,杨潼,洪道鉴,等.深度学习在电力系统中的应用研究综述[J].浙江电力,2019,38(05):83-89.
- [6] 杨子腾,王立志,张亮,等.人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究[J].科学技术创新,2021,(30):12-14.
- [7] 张方文.电力系统智能故障诊断技术应用[J].电子制作,2020,(11):97-98.
- [8] 李浩.基于深度学习算法的电力配电系统故障智能诊断与预测[J].家电维修,2025,(07):137-139.