

基于人工智能的电力系统故障诊断与预测

张小龙

四川省机场集团有限公司，四川 成都 610200

摘 要： 本文围绕电力系统故障诊断与预测的理论框架进行了系统研究。在深入探讨电力系统故障诊断与预测算法之前，本文先对电力系统的故障机理进行了详尽分析，从而为后续的诊断与预测工作奠定了坚实的理论基础。接着，概述了人工智能技术，包括机器学习算法原理、深度学习网络结构、支持向量机理论和神经网络的发展现状，为故障诊断与预测提供了技术支撑。在故障诊断方法研究中，本文探讨了故障特征提取与选择，构建了基于聚类分析、关联规则和集成学习的诊断算法，并评估了诊断模型的性能。在故障预测方法研究中，本文对预测方法进行了分类与比较，构建了基于时间序列分析、回归分析和混合模型的预测算法，并进行了预测结果的验证与优化。

关 键 词： 人工智能；故障预测；机器学习；深度学习；支持向量机

Artificial Intelligence-Based Fault Diagnosis and Prediction in Power Systems

Zhang Xiaolong

Sichuan Provincial Airport Group Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 610200

Abstract： This paper systematically studies the theoretical framework of fault diagnosis and prediction in power systems. Before delving into the algorithms for fault diagnosis and prediction in power systems, this paper first conducts a detailed analysis of the fault mechanisms in power systems, laying a solid theoretical foundation for subsequent diagnosis and prediction work. Then, it provides an overview of artificial intelligence technologies, including the principles of machine learning algorithms, deep learning network structures, support vector machine theory, and the current development status of neural networks, which offer technical support for fault diagnosis and prediction. In the study of fault diagnosis methods, this paper explores fault feature extraction and selection, constructs diagnostic algorithms based on cluster analysis, association rules, and ensemble learning, and evaluates the performance of the diagnostic models. In the study of fault prediction methods, this paper classifies and compares prediction methods, constructs prediction algorithms based on time series analysis, regression analysis, and hybrid models, and performs verification and optimization of prediction results.

Keywords： artificial intelligence; fault prediction; machine learning; deep learning; support vector machines

引言

随着我国经济的快速发展，电力系统的规模不断扩大，结构日益复杂，电力系统的稳定性和可靠性成为保障国家能源安全的重要议题。在这样的背景下，电力系统故障诊断与预测技术显得尤为重要。

近年来，人工智能技术在众多领域取得了显著的成果，其在电力系统领域的应用也日益受到关注。人工智能技术，特别是机器学习、深度学习等方法，为电力系统故障诊断与预测提供了新的理论依据和技术手段。通过对故障机理的深入分析，结合人工智能算法，可以有效提高故障诊断与预测的准确性、实时性和稳定性。

一、电力系统故障诊断与预测理论框架

为深入探究电力系统故障诊断与预测的核心机制，本研究构建了一套理论框架，该框架包括对电力系统故障机理的详细剖析，以及人工智能技术在故障诊断与预测领域的应用原理探讨。

（一）电力系统故障机理分析

电力系统故障机理分析构成了故障诊断与预测工作的理论基

石。作为一项高度非线性、动态演化的复杂系统，电力系统的故障成因呈现出多样性和复杂性，涵盖了设备老化、操作失误、环境干扰等多个方面。通过对故障机理的深入研究和解析，我们能够揭示故障发生的内在规律和根本原因，为电力系统的故障诊断与预测提供坚实的理论基础。

故障机理分析不仅关注设备或系统的物理损坏过程，还涉及电气参数的异常变化、保护装置的動作逻辑以及系统稳定性的动

态评估。这一分析过程要求综合考虑电力系统的结构特性、运行状态、控制策略及外部环境因素，以全面理解故障的孕育、发展直至最终发生的整个过程。通过对故障机理的深入探究，研究人员能够提炼出故障特征的关键信息，进而指导故障诊断算法的设计和优化，提高预测模型的准确性和可靠性。

（二）人工智能技术概述

自从 2006 年，AlphaGo 成功的战胜了世界围棋高手李世石开始，人工智能这个词语就深深的映入人们眼帘，成为当年热度最高的科技话题。目前随着人工智能技术飞快的发展，我们已经在日常生活中看多许许多多关于人工智能的产品^[1]，人工智能技术作为一种模拟人类智能行为的方法论，为电力系统故障诊断与预测提供了强大的工具。在探讨机器学习算法原理时，核心焦点在于如何利用数据驱动机制，实现计算机对模型的自动学习和优化过程。机器学习算法通过对大量历史故障数据的训练，能够挖掘出故障特征与故障类型之间的关联性，从而实现故障的智能诊断。

深度学习网络结构作为一种高效的特征提取和模式识别工具，在电力系统故障诊断与预测中发挥着重要作用。深度学习通过多层神经网络结构，能够自动提取故障数据的抽象特征，提高故障诊断的准确性和实时性。此外，深度学习网络在处理复杂非线性问题方面具有显著优势，有助于揭示电力系统故障的深层规律。

支持向量机理论是一种基于统计学习理论的机器学习方法，它通过寻找最优分类平面，实现故障样本的有效分类^[2]。在电力系统故障诊断与预测中，支持向量机具有较强的泛化能力和抗干扰能力，能够在有限样本条件下获得满意的诊断效果。

神经网络作为一种模拟人脑神经元结构的计算模型，在电力系统故障诊断与预测领域取得了丰硕的成果。随着神经网络的不断发展，各种新型网络结构和技术层出不穷，如卷积神经网络、循环神经网络等，为电力系统故障诊断与预测提供了更多可能性。当前，神经网络在故障诊断与预测方面的研究正朝着更加智能化、高效化的方向发展。

二、故障诊断方法研究

在电力系统故障诊断领域，方法研究是提升诊断效率和准确性的关键所在。以下将深入探讨故障诊断方法的研究内容，包括故障特征提取与选择、诊断算法构建以及诊断模型性能评估。

（一）故障特征提取与选择

故障特征提取与选择是故障诊断方法研究的首要环节。在此环节中，借助数学变换与信号处理技术，从原始监测数据中提炼出能够表征故障本质的特征量。这些特征量应当具有高辨识度、低冗余性，以便于后续诊断算法能够准确识别故障类型^[3]。特征选择则是在提取出的众多特征中，筛选出对故障诊断贡献最大的特征子集，这有助于降低诊断算法的复杂度，提高诊断效率。

（二）诊断算法构建

在诊断算法构建方面，基于不同理论和方法的研究层出不

穷。基于聚类分析的故障诊断方法，通过将相似故障数据归为一类，实现对故障的自动识别。聚类算法无需预先设定故障标签，能够发现数据中的潜在模式，对于处理未知故障类型具有显著优势^[4]。而基于关联规则的故障诊断方法，则侧重于挖掘故障特征之间的内在联系，通过构建故障规则库，实现对故障的快速定位。

进一步地，基于集成学习的故障诊断方法，融合了多种单一诊断模型的优点，通过投票或堆叠等方式，提高了故障诊断的准确性和鲁棒性。集成学习能够有效减少单一模型的过拟合风险，提升模型在复杂多变电力系统环境中的泛化能力。

（三）诊断模型性能评估

最后，诊断模型性能评估是故障诊断方法研究不可或缺的一环。评估指标包括准确率、召回率、F1 分数等，它们从不同角度反映了诊断模型在实际应用中的性能。性能评估的实施使得诊断模型的效果得以量化，从而为模型的进一步优化与改进提供了可靠依据。此外，交叉验证、混淆矩阵等评估方法的应用，确保了评估结果的客观性和可靠性，为电力系统故障诊断的实践应用奠定了坚实基础。

三、故障预测方法研究

在电力系统安全运行保障体系中，故障预测方法研究扮演着至关重要的角色。它不仅能够提前发现潜在故障，还为系统维护和健康管理工作提供了科学依据。以下将详细探讨故障预测方法的研究内容，包括预测方法的分类与比较，以及预测算法的构建。

（一）预测方法分类与比较

预测方法分类与比较是故障预测研究的起点。根据不同的理论基础和技术特点，故障预测方法可分为时间序列分析、回归分析、机器学习以及混合模型等多种类型^[5]。每种方法都有其独特的优势和适用场景。例如，时间序列分析擅长处理具有明显趋势和季节性的数据，而回归分析则更侧重于挖掘变量之间的因果关系。通过对性能的系统性评估，实现了对诊断模型效果的量化分析，为模型的深入优化与持续改进奠定了坚实的数据基础。

（二）预测算法构建

在预测算法构建方面，基于时间序列分析的预测方法，通过分析历史数据的时间依赖性，建立预测模型。这类方法通常包括自回归模型（AR）、移动平均模型（MA）以及自回归移动平均模型（ARMA）等^[6]。它们能够有效地捕捉电力系统参数的动态变化，为故障预测提供了一种有效的手段。

基于回归分析的预测方法，则侧重于建立因变量与自变量之间的数学关系。线性回归、逻辑回归等算法在此领域得到了广泛应用。这些算法通过拟合历史数据，构建回归模型，从而对电力系统的未来状态进行预测。回归分析在处理具有明确因果关系的故障预测问题中表现出较高的准确性。

此外，基于混合模型的预测方法，是将不同预测方法的优势结合起来，以提高预测的准确性和鲁棒性。这类方法通常涉及多种算法的融合，如将时间序列分析与机器学习算法相结合^[7]，或

者将回归分析与深度学习网络相集成。混合模型能够从不同角度捕捉数据特征，从而在复杂多变的电力系统环境中实现更为精准的故障预测。

四、故障诊断与预测算法性能分析

在电力系统故障诊断与预测领域，算法性能分析是评估和优化算法的关键环节。以下将详细探讨故障诊断与预测算法的性能分析，包括算法稳定性、准确性和实时性三个方面。

（一）算法稳定性分析

算法稳定性分析是衡量故障诊断与预测算法在实际应用场景中可靠性的核心指标。该分析深入探讨了算法在遭遇多样化工况、噪声干扰、数据缺失等复杂因素时的表现，特别是其输出结果的一致性与鲁棒性^[8]。稳定性优异的算法应具备在多变且复杂的环境条件下，维持诊断与预测结果相对稳定的能力，从而有效避免因环境变动导致的性能大幅度波动。

稳定性分析不仅揭示了算法在应对各种挑战时的潜在缺陷，更为针对性地优化和提升算法在实际应用中的可靠性提供了重要的理论依据和技术指导。通过深入剖析算法在不同场景下的表现，我们能够针对性地制定改进措施，以增强算法的适应性和鲁棒性，确保其在复杂多变的应用环境中发挥稳定、高效的作用。在此基础上，稳定性分析对于推动故障诊断与预测技术的发展，保障关键基础设施安全运行具有重要意义。

（二）算法准确性分析

算法准确性分析是评估故障诊断与预测算法性能的关键组成部分。该分析专注于算法在故障类型识别、故障发生时间及位置预测等方面的精确度^[9]。一个高性能的算法不仅应具备对已知故障类别进行准确分类的能力，还应当能够有效识别和预测未知或罕见的故障模式，这对于保障系统稳定运行至关重要。

准确性分析的过程通常涉及一系列严谨的实验方法，如对比实验、交叉验证等，以量化算法的性能。通过计算准确率、召回率、F1分数、均方误差等指标，可以全面而客观地评价算法的预测精度。这些量化结果为算法的性能优化提供了明确的方向，同时也为在不同应用场景下选择最合适的算法提供了科学的决策依据。

准确性分析的重要性在于，它不仅揭示了算法在处理实际问

题时可能存在的误差和偏差，而且对于提升算法在实际工程应用中的可靠性具有指导性作用。通过深入分析算法在不同数据集上的表现，可以针对性地调整算法参数，改进算法结构，从而提高算法在复杂多变环境中的预测能力，确保故障诊断与预测系统的有效性和实用性。

（三）算法实时性分析

算法实时性分析专注于评价故障诊断与预测算法在数据处理速度和响应时间方面的性能。在电力系统等实时性要求极高的领域，算法的实时性直接关系到故障诊断与预测的时效性，进而影响系统安全与稳定运行的能力。

实时性分析深入探讨了算法的计算复杂度、数据处理速度以及硬件资源利用效率等多个维度。一个具备高实时性的算法，应当在确保诊断与预测准确性的基础上，能够迅速完成数据解析、特征提取、模型推理及更新等环节，以适应电力系统对快速响应的严格要求。

实时性分析的目标是通过优化算法设计、简化计算流程、提高数据处理效率等措施，有效减少算法的计算延迟^[10]。这一过程不仅涉及算法理论的创新，还包括对现有算法结构的精细调整和硬件资源的合理配置。通过实时性分析，可以显著提升算法在实时应用场景中的响应速度，确保在故障发生时，系统能够及时获取诊断信息并采取相应的预防或补救措施，从而保障电力系统的连续可靠运行。实时性分析的研究成果对于推动故障诊断与预测技术在实时性敏感领域的应用具有重要的实践价值和理论意义。

五、结束语

展望未来，人工智能技术将继续在电力系统故障诊断与预测领域发挥重要作用。伴随着算法的持续优化、计算能力的增强以及大数据技术的广泛部署，有充分理由预期，基于人工智能的电力系统故障诊断与预测技术将趋于成熟，为我国电力行业的持续进步提供稳固的技术支撑。同时，应当关注新型人工智能技术与电力系统更深层次的整合，持续探索跨学科研究路径，以应对电力系统所遭遇的多样挑战，助力实现绿色、智能、高效的电力系统发展目标。在此，期待更多研究同仁加入这一领域，共同推进电力系统故障诊断与预测技术的革新与发展。

参考文献

- [1] 袁云佳. 人工智能的发展与应用综述 [J]. 科技风, 2020, (17): 25-26. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.202017023.
- [2] 赵海萍, 刘晓琴, 邱昱. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [C] // 中国电机工程学会电力信息化专业委员会, 国家电网公司信息通信分公司. 2022 电力行业信息化年会论文集. 国网甘肃省电力公司数字化事业部, 2023: 4. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.053543.
- [3] 杨湛鸿. 人工智能在电力系统故障诊断中的应用 [C] // 中国电力设备管理协会. 中国电力设备管理协会第二届第一次会员代表大会论文集 (2). 广东电网有限责任公司湛江供电局, 2022: 5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2022.050065.
- [4] 刘虎林, 苏柏松, 刘中平. 人工智能技术在电力系统继电保护中的应用 [J]. 电气时代, 2022, (03): 44-46.
- [5] 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.
- [6] 郑聪, 彭庆忠, 周海峰, 等. 基于人工智能专家系统的船舶电力系统故障诊断研究 [J]. 广州航海学院学报, 2021, 29(03): 5-8+24.
- [7] 方萌, 史可敬. 对于人工智能在电力系统故障诊断中的应用及研究 [J]. 中国科技投资, 2021, (22): 63-64.
- [8] 王小东. 基于人工智能和数据挖掘的电力系统故障分类预测 [D]. 天津理工大学, 2021. DOI: 10.27360/d.cnki.gtlgy.2021.000439.
- [9] 欧阳圣睿. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势 [J]. 电气传动自动化, 2021, 43(04): 40-42+64.
- [10] 史雪涛, 孙浩南, 肖文飏, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, (07): 221-222.