

基于智能算法的电气系统故障预测与诊断研究

张何子越

杭州华电半山发电有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：本文研究了基于智能算法的电气系统故障预测与诊断方法。首先概述了智能算法和电气系统故障分析的基础理论，然后详细介绍了数据采集与预处理、特征提取与选择以及故障预测模型建立与训练的过程。接着探讨了基于智能算法的电气系统故障诊断系统的架构设计、流程与算法实现以及诊断结果的评估与验证方法。最后总结了智能算法在电气系统故障预测与诊断中的优势，包括提高诊断准确性、增强实时性以及具备良好的适应性和扩展性，为电气系统的安全、可靠运行提供了有力保障。

关键词：智能算法；电气系统；故障预测；故障诊断

1 智能算法与电气系统故障相关理论基础

1.1 智能算法概述

智能算法是一类模拟人类智能活动或自然现象的算法，它们能够在不确定、复杂或动态的环境中做出决策，解决实际问题。智能算法包括但不限于神经网络、支持向量机、决策树、随机森林、深度学习、遗传算法、粒子群优化等。这些算法通过学习和优化过程，能够自动提取数据中的特征，识别模式，并进行预测和决策。在电气系统故障预测与诊断领域，智能算法的应用具有显著优势。它们能够处理大量的实时监测数据，自动学习系统的正常运行状态和故障特征，从而实现对故障的精准预测和快速诊断。

1.2 电气系统故障分析

电气系统作为工业生产中的重要组成部分，其故障类型多种多样，包括但不限于过电流故障、短路故障、接地故障、过电压故障等。这些故障不仅会导致系统停机，还可能引发火灾、爆炸等严重安全事故。电气系统故障的发生往往与系统的运行环境、设备老化、操作不当等因素有关。因此，在进行故障预测与诊断时，需要综合考虑系统的历史数据、实时监测数据以及可能的外部影响因素^[1]。

2 基于智能算法的电气系统故障预测模型构建

2.1 数据采集与预处理

数据采集是构建电气系统故障预测模型的基础，其准确性和完整性直接影响模型的性能。电气系统运行过程中会产生大量的数据，包括电压、电流、温度、振动等参数。数据采集主要通过安装在电气设备上的各类传感器实现，如电压传感器、电流传感器、温度传感器、振动传感器等。这些传感器能够实时感知电气设备的运行状态，并将物理量转化为电信号或数字信号。例如，

在电力变压器上安装温度传感器，可实时采集变压器绕组和油温的温度数据；在高压开关柜上安装电流传感器，能够监测电路中的电流大小。采集到的数据往往存在噪声、缺失值和异常值等问题，需要进行预处理。数据清洗是预处理的重要环节，通过去除重复数据、填补缺失值、识别和修正异常值，提高数据的质量。对于缺失值的处理，可采用均值填充、中位数填充、回归填充等方法。例如，当某一时刻的电流数据缺失时，可根据该时间段前后的电流数据计算平均值进行填充。噪声数据会干扰对真实故障特征的提取，可通过滤波算法进行去除，如采用高斯滤波、中值滤波等方法对振动信号进行处理，去除其中的噪声成分。数据归一化也是预处理的关键步骤，将不同范围的数据统一映射到特定区间，可避免数据量纲对模型训练的影响，提高模型的收敛速度和准确性。常用的归一化方法有最小-最大归一化和 Z-score 归一化。

2.2 特征提取与选择

特征提取是从原始数据中提取能够有效反映电气系统运行状态和故障特征的特征，其目的是降低数据维度，突出故障信息。在电气系统故障预测中，常用的特征提取方法包括时域分析、频域分析和时频域分析。时域分析通过对原始信号在时间域内的统计特征进行计算，如均值、方差、峰值等，获取信号的基本特征。例如，计算电流信号的均值和方差，可反映电流的平均大小和波动情况，当电流方差突然增大时，可能预示着电气设备存在异常。频域分析则是将时域信号通过傅里叶变换等方法转换到频域，分析信号的频率成分。在电气设备故障诊断中，不同的故障类型往往对应着特定的频率特征。例如，电动机轴承故障会在振动信号的频谱中产生特定频率的峰值，通过分析这些频率成分，可判断

轴承是否存在故障以及故障的类型。时频域分析结合了时域和频域分析的优点,能够同时反映信号在时间和频率上的变化特征,如小波变换可将信号分解为不同尺度的子信号,清晰地展示信号在不同时间和频率段的特征,对于分析非平稳信号具有独特优势。

特征选择是从提取的众多特征中筛选出最具代表性和区分度的特征,进一步降低数据维度,提高模型的训练效率和预测准确性。常见的特征选择方法包括基于过滤式的方法、基于包裹式的方法和基于嵌入式的方法。基于过滤式的方法,如方差选择法、相关系数法等,根据特征的统计特性对特征进行排序和筛选,去除与故障相关性较低的特征。基于包裹式的方法以模型的预测性能为评价指标,通过不断尝试不同的特征组合,选择使模型性能最优的特征子集。基于嵌入式的方法则在模型训练过程中自动进行特征选择,如Lasso回归通过在目标函数中添加L1正则化项,使部分特征的系数变为0,从而实现特征选择^[2]。

2.3 故障预测模型的建立与训练

以神经网络算法为例,建立电气系统故障预测模型首先需要确定网络结构。网络结构包括输入层、隐藏层和输出层的神经元数量。输入层神经元数量取决于提取的特征数量,例如提取了10个故障特征,则输入层神经元数量为10。隐藏层的层数和神经元数量的确定较为复杂,通常需要通过实验和经验进行调整。一般来说,隐藏层数量越多、神经元数量越多,网络的表达能力越强,但也容易出现过拟合问题。输出层神经元数量根据故障类型的数量确定,若要预测3种不同类型的电气故障,则输出层神经元数量为3。选择合适的激活函数对于神经网络的性能至关重要。常用的激活函数有Sigmoid函数、ReLU函数和Tanh函数等。Sigmoid函数将输入映射到(0,1)区间,适用于二分类问题;ReLU函数能够有效缓解梯度消失问题,在深层神经网络中应用广泛;Tanh函数将输入映射到(-1,1)区间,常用于处理数据具有正负特性的情况。在训练过程中,还需要选择合适的优化算法,如随机梯度下降(SGD)、自适应矩估计(Adam)等,以更新网络的权重和阈值,使损失函数最小化。

模型训练是将预处理后的数据输入到建立好的神经网络模型中,通过不断调整网络参数,使模型能够准确地预测电气系统故障。在训练过程中,将数据集划分为训练集、验证集和测试集。训练集用于训练模型,验证集用于调整模型的超参数,防止过拟合,测试集用于评估模型的泛化能力。通过多次迭代训练,观察模型在验证集上的性能指标,如准确率、召回率、均方误差等,

当模型在验证集上的性能不再提升时,停止训练,得到最终的故障预测模型。

3 基于智能算法的电气系统故障诊断方法研究

3.1 故障诊断系统架构设计

基于智能算法的电气系统故障诊断系统架构主要包括数据采集层、数据传输层、数据处理层和应用层。数据采集层由各类传感器组成,负责实时采集电气设备的运行数据,如电压、电流、温度、振动等信号,并将其转换为数字信号。数据传输层负责将采集到的数据传输到数据处理中心,可采用有线传输(如以太网、RS-485总线)和无线传输(如Wi-Fi、ZigBee、5G)等方式。有线传输具有稳定性高、传输速率快的优点,适用于距离较近、对数据传输稳定性要求高的场景;无线传输则具有安装灵活、成本低的特点,适合在布线困难的环境中使用。数据处理层是故障诊断系统的核心,包括数据预处理模块、特征提取与选择模块以及故障诊断算法模块。数据预处理模块对采集到的数据进行清洗、归一化等处理;特征提取与选择模块从预处理后的数据中提取故障特征,并筛选出最具代表性的特征;故障诊断算法模块利用智能算法,如神经网络、支持向量机等,对提取的特征进行分析,判断电气系统是否存在故障以及故障的类型。应用层为用户提供友好的界面,展示故障诊断结果、设备运行状态等信息,并可实现故障预警、历史数据查询、诊断报告生成等功能。

3.2 故障诊断流程与算法实现

故障诊断流程首先从数据采集层获取电气设备的运行数据,通过数据传输层将数据传输到数据处理层。在数据处理层,数据预处理模块对数据进行清洗、归一化等处理,去除噪声和异常值,使数据满足后续处理要求。接着,特征提取与选择模块采用合适的方法从预处理后的数据中提取故障特征,并筛选出关键特征。然后,故障诊断算法模块将提取的特征输入到预先训练好的故障诊断模型中,如神经网络模型或支持向量机模型,模型根据学习到的故障模式对输入特征进行分析判断,输出故障诊断结果^[3]。最后,应用层将诊断结果以直观的方式展示给用户,当检测到故障时,及时发出预警信息。以神经网络算法为例,在故障诊断算法实现过程中,将提取的特征向量输入到神经网络的输入层,经过隐藏层的计算和变换,在输出层得到故障诊断结果。每个神经元的输出是通过对输入信号进行加权求和,并经过激活函数处理得到。网络通过前向传播计算输出结果,然后根据实际故障类型与输出结果的差异计算损失函数,再通过反向传播算法将误差信号反向传播,调整

网络的权重和阈值,不断优化模型的诊断性能。

3.3 诊断结果评估与验证

为了评估基于智能算法的电气系统故障诊断方法的准确性和可靠性,需要采用合适的评估指标对诊断结果进行评估。常用的评估指标包括准确率、召回率、F1值和混淆矩阵等。准确率是指正确诊断的样本数量占总样本数量的比例,反映了诊断模型的整体准确性;召回率是指正确诊断出的故障样本数量占实际故障样本数量的比例,体现了诊断模型检测故障的能力;F1值是准确率和召回率的调和平均数,综合考虑了模型的准确性和检测能力;混淆矩阵则详细展示了模型在不同故障类型上的诊断情况,通过分析混淆矩阵,可以了解模型在哪些故障类型上容易出现误判,从而有针对性地改进模型。诊断结果的验证通常采用交叉验证的方法,如K-折交叉验证。将数据集划分为K个互不相交的子集,每次选择其中K-1个子集作为训练集,剩下的1个子集作为测试集,重复K次,得到K个模型的性能指标,取平均值作为最终的评估结果。通过交叉验证,可以更全面地评估模型的泛化能力,避免因数据集划分不合理导致的评估偏差。此外,还可以通过实际案例对诊断结果进行验证,将诊断系统应用于实际电气系统中,对比诊断结果与实际故障情况,进一步验证诊断方法的有效性和实用性。

4 智能算法在电气系统故障预测与诊断中的优势

智能算法在电气系统故障预测与诊断中具有显著优势。(1)在准确性方面,传统的故障诊断方法如基于阈值判断的方法,往往只能根据简单的规则进行故障判断,对于复杂的故障情况和微弱的故障特征难以准确识别。而智能算法通过对大量历史数据的学习,能够建立复杂的故障模式识别模型,捕捉到电气系统运行数据中细微的变化和潜在的故障特征,从而实现更准确的故障预测与诊断。例如,神经网络算法可以学习到电气设备在不同故障阶段的多种特征组合,相比传统方法,能够更精准地判断故障类型和故障程度^[4]。(2)在实时性方面,随着电气系统规模的不断扩大和运行速度的加快,对故障预测与诊断的实时性要求越来越高。智能算

法具有强大的并行处理能力,能够快速处理大量的实时数据。例如,基于深度学习的故障诊断模型可以利用图形处理器(GPU)的并行计算能力,实现对海量数据的快速分析,在短时间内完成故障诊断任务,及时发现故障隐患,为电气系统的快速修复和恢复运行争取时间。

(3)智能算法还具有良好的适应性和扩展性。电气系统的运行环境复杂多变,设备的型号、参数和运行工况也各不相同。智能算法可以根据不同的电气系统和运行条件,通过调整模型参数或重新训练模型,快速适应新的环境和需求。同时,随着电气系统的发展和新故障类型的出现,智能算法可以方便地添加新的训练数据,对模型进行更新和扩展,使其能够不断适应新的故障诊断需求,保持良好的诊断性能。此外,智能算法还可以与其他技术如物联网、大数据等相结合,进一步提升电气系统故障预测与诊断的智能化水平和综合性能,为电气系统的安全、可靠运行提供有力保障。

结束语

综上所述,智能算法在电气系统故障预测与诊断领域的应用前景广阔。通过充分利用智能算法的学习和优化能力,可以有效提升电气系统故障预测与诊断的准确性和效率,为保障电气系统的稳定运行提供强有力的技术支持。未来,随着智能算法的不断发展和电气系统复杂性的增加,我们应持续探索和创新,将智能算法与更多先进技术相结合,进一步提升电气系统故障预测与诊断的智能化水平,为工业生产和社会的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]安培源.探讨机电运动非线性系统智能控制技术及应用[J].装备制造技术,2024,(06):139-141.
- [2]陶来发,樊焕贞,吕琛,等.机电系统故障预测技术的现状与分析[J].控制工程,2022,18(04):636-639.
- [3]刘子涵.复杂机械系统状态监测与健康管理技术研究[J].制造业自动化,2023,45(2):13-17.
- [4]陈晨.远程监控与智能诊断技术在机械系统维护中的应用[J].自动化与仪器仪表,2022(3):18-21.