

基于人工智能的智能自动化仪表故障诊断系统设计与研究

段 彤

北京铝能清新环境技术有限公司 北京 100000

摘要：随着工业自动化程度的不断提高，智能自动化仪表在各个领域得到了广泛应用。然而，仪表故障的发生会影响生产过程的稳定性和安全性，因此，设计一种高效、准确的故障诊断系统具有重要意义。本文深入探讨了基于人工智能的智能自动化仪表故障诊断系统的设计与研究，分析了人工智能技术在故障诊断中的应用，阐述了系统的总体架构、关键技术以及实现方法。

关键词：人工智能；智能自动化仪表；故障诊断系统；系统设计；技术研究

1 引言

在工业生产中，智能自动化仪表作为监测和控制生产过程的关键设备，其运行状态直接关系到生产效率和产品质量。一旦仪表出现故障，可能导致生产过程失控，甚至引发安全事故。传统的故障诊断方法主要依赖人工经验和定期维护，存在诊断效率低、准确性差等问题。随着人工智能技术的快速发展，将其应用于智能自动化仪表故障诊断领域，能够实现对仪表故障的实时监测、快速诊断和准确预测，提高工业生产的智能化水平。

2 智能自动化仪表故障诊断系统总体架构设计

基于人工智能的智能自动化仪表故障诊断系统主要由数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层、故障诊断层以及人机交互层这五个关键层级构成，各层级相互配合，共同保障系统高效运行。数据采集层是整个系统的数据源头，承担着采集智能自动化仪表运行数据的重任^[1]。它借助仪表实时数据及工艺流程历史数据，这些数据为后续的故障诊断提供了坚实基础。数据传输层负责将采集到的数据安全、稳定地传输至数据处理与分析层。它采用有线（如以太网、RS485）和无线（如Wi-Fi、ZigBee）等多种传输方式，确保数据传输的可靠性和实时性，避免数据丢失或错误。数据处理与分析层对传输来的数据进行深度处理。先通过数据清洗、归一化、滤波等操作去除噪声和异常值，提升数据质量；再从处理后的数据中提取时域、频域等反映故障的特征信息；最后利用机器学习和深度学习算法挖掘数据潜在规律。故障诊断层运用人工智能算法，结合多种算法优势，如先以机器学习算法进行初步诊断，再用深度学习算法精确诊断，实现对智能自动化仪表故障的准确识别与分类。人机交互层为用户提供直观便捷的操作界面，用户可查看仪表运行状态、故障诊断结果及历史数据，还能进行系统参数设置、故障报警设置等操作，极大地方便

了用户对系统的使用和管理，提升了用户体验。

3 智能自动化仪表故障诊断系统关键技术研究

3.1 数据预处理技术

数据预处理是故障诊断的重要环节，其质量直接影响后续的特征提取和故障诊断效果。常见的数据预处理方法包括：

数据清洗：去除数据中的噪声、异常值和缺失值。对于噪声数据，可以采用滤波算法（如均值滤波、中值滤波等）进行处理；对于异常值，可以采用基于统计方法（如 3σ 原则）或机器学习方法（如孤立森林算法）进行检测和剔除；对于缺失值，可以采用插值法（如线性插值、样条插值等）进行填充。

数据归一化：将不同量纲和范围的数据进行归一化处理，使其统一到相同的尺度上。常用的归一化方法有最小-最大归一化、Z-score归一化等。数据归一化可以避免因数据尺度差异过大而影响算法的性能。

数据降维：当数据维度较高时，会增加计算复杂度和模型训练时间，同时可能导致过拟合问题。数据降维技术可以将高维数据映射到低维空间，保留数据的主要特征。常见的数据降维方法有主成分分析（PCA）、线性判别分析（LDA）等。

3.2 特征提取技术

特征提取是从原始数据中提取能够反映仪表故障特征的信息，是故障诊断的关键步骤。针对智能自动化仪表的特点，可以采用以下特征提取方法：

时域特征提取：时域特征反映了信号在时间轴上的变化情况，常见的时域特征包括均值、方差、峰值、峰峰值、波形因子、脉冲因子等。这些特征可以通过对信号进行简单的统计计算得到，具有计算简单、直观的优点。

频域特征提取：频域特征反映了信号在频率轴上的分布情况，能够揭示信号的频率成分和能量分布。常用

的频域特征提取方法有傅里叶变换（FFT），通过FFT可以将时域信号转换为频域信号，然后提取频域特征，如主频、频带能量、频谱熵等。

时频域特征提取：时频域特征结合了时域和频域的信息，能够更全面地描述信号的特征。常见的时频域分析方法有短时傅里叶变换（STFT）、小波变换（WT）等^[2]。通过这些方法可以得到信号的时频分布，然后提取时频域特征，如小波包能量、小波熵等。

3.3 人工智能算法优化技术

为了提高人工智能算法在智能自动化仪表故障诊断中的性能，需要对算法进行优化。常见的算法优化方法包括：

参数优化：机器学习和深度学习算法通常具有多个参数，如神经网络的层数、神经元个数、学习率等。参数优化就是通过调整这些参数，使算法的性能达到最优。常用的参数优化方法有网格搜索、随机搜索、贝叶斯优化等。

模型融合：模型融合是将多个不同的模型进行组合，以提高故障诊断的准确性和鲁棒性。常见的模型融合方法有投票法、堆叠法等。投票法是将多个模型的预测结果进行投票，选择得票最多的结果作为最终预测结果；堆叠法则是将多个模型的输出作为新的特征，再训练一个元模型进行最终预测。

迁移学习：迁移学习是将在一个任务上学到的知识和经验迁移到另一个相关任务上。在智能自动化仪表故障诊断中，由于不同类型仪表的故障数据可能存在相似性，可以利用迁移学习将在一个仪表故障诊断任务上学到的模型参数迁移到另一个仪表故障诊断任务上，减少数据需求和训练时间。

4 智能自动化仪表故障诊断系统的实现

4.1 搭建数据采集平台

4.1.1 选择合适的工艺流程及仪表

工艺流程的选择：在试验阶段可以在现场选择短期退出不影响整个系统运行的成熟工艺流程，如废水系统的处理单元、电厂灰库/渣库的排气除尘器系统等等，并积累选用的工艺流程2个月以上运行数据；

仪表选型：根据介质的不同进行仪表选型。汽油、柴油的流量测量选用涡轮流量计或科氏质量流量计；工艺水流量测量优先选择电磁流量计；石灰石料位测量选择雷达料位计等等，这些仪表的输出信号为4-20mA信号。

4.1.2 数据传输设备

有线传输设备：工业现场有线传输稳定性高、速率快。常见设备有以太网交换机、RS485转换器。以太网

交换机适合长距离、高速率传输，能实现多设备网络连接，方便数据集中管理共享

无线传输设备：安装方便、灵活性高，适用于布线困难或需移动监测场合^[3]。常见有Wi-Fi模块、ZigBee模块。Wi-Fi模块传输速率高，适合大量数据传输，但功耗大；ZigBee模块低功耗、可自组网，适合构建小型无线传感器网络。选型时考虑传输距离、信号强度、抗干扰能力及与现有网络兼容性。

上述设备可以选择成熟的ADVANTECH及MOXA产品。

4.1.3 数据处理设备

（1）计算机：对数据处理能力要求高时，选高性能计算机。需具备足够内存、高速处理器和大容量硬盘，安装相应操作系统和软件开发环境，以运行数据处理、分析软件及故障诊断模型。（2）单片机：若对功耗、体积和成本有着严格限制，单片机作为数据处理设备更为合适。它集成度高、功耗低且成本较低，能满足实时数据处理和故障诊断的需求。可根据具体需求挑选合适的单片机型号，并开发相应软件，实现数据的高效实时处理与故障精准诊断。

4.2 软件实现

4.2.1 数据采集软件

（1）设备驱动开发：开发与数据采集设备通信的驱动程序，依据设备接口协议和通信规范编程，实现数据读写，确保软件能正确控制设备与采集数据。（2）数据采集控制：具备设置采样率、采集通道、时间等参数功能，用户可按需调整，同时实时显示采集数据，便于观察仪表状态。（3）数据存储：支持文本、二进制、数据库等多种存储格式，根据数据量和查询需求选择。大量数据建议用数据库存储，提高查询效率与管理便利性。

4.2.2 数据处理与分析软件

（1）数据预处理模块：对原始数据清洗、归一化、降维。清洗用均值滤波等算法，归一化用最小-最大或Z-score方法，降维用PCA等算法，提升后续处理效率。（2）特征提取模块：按仪表类型和故障特点，从预处理数据中提取故障特征。时域特征用统计计算函数，频域特征用傅里叶变换，时频域特征用短时傅里叶变换或小波变换。（3）数据挖掘模块：用Python的scikit-learn、TensorFlow、PyTorch等库实现机器学习和深度学习算法。训练模型时划分训练集和测试集，用交叉验证评估性能并优化参数。

4.2.3 故障诊断软件

（1）模型加载与调用：编写模型加载函数，将训练

好的模型文件（如.h5、.pkl）加载到内存，再编写诊断函数，输入特征数据得到诊断结果^[4]。（2）诊断结果输出：以直观方式呈现故障类型、概率、发生时间等信息，并存储到数据库或文件，方便后续查询分析。（3）诊断策略优化：根据历史诊断数据和实际维修情况，调整优化诊断策略，如对易误诊故障增加规则或调整模型权重。

4.2.4 人机交互软件

（1）界面设计：采用Qt、Tkinter等工具设计简洁易操作的GUI界面，包括仪表状态、诊断结果、参数设置等区域，方便用户查看数据和设置参数。（2）交互功能实现：实现鼠标点击、键盘输入等交互操作，如点击按钮控制数据采集，输入框设置参数，系统及时响应并反馈。（3）数据可视化：用Matplotlib、Plotly等图表库，以折线图、柱状图等形式展示数据和诊断结果，如折线图展示测量值变化趋势，柱状图展示故障类型发生概率。

4.3 系统集成与测试

4.3.1 系统集成

（1）硬件连接：按系统架构连接数据采集、传输及处理设备。确保仪表与传输设备、传输设备与处理设备间连接正常，关注接口匹配与信号质量，避免接触不良或干扰。（2）软件部署：将数据采集、处理分析、故障诊断及人机交互软件部署到对应硬件。计算机软件直接安装，嵌入式软件需交叉编译和烧录。确保软件版本兼容、配置正确，防止冲突或错误。（3）系统联调：硬件连接与软件部署后进行联调。依次启动各软件，检查数据采集、处理分析、故障诊断及人机交互功能，确保软件模块间正常通信和数据交互，及时解决问题。

4.3.2 系统测试

（1）功能测试：验证系统功能是否达标。测试数据采集、处理分析、故障诊断及人机交互功能，制定详细测试用例，全面测试各功能点，确保功能完整正确。（2）性能测试：评估系统响应时间、准确率等指标。模拟不同规模任务测响应时间，用已知故障数据测准确率。分析性能瓶颈并优化，提升系统性能。（3）可靠性测试：测试系统长时间运行及不同环境下的稳定性。让系统连续运行，模拟温度、湿度、电磁干扰等环境条件，记录问题并修复，提高可靠性。

结语

本文设计并研究了基于人工智能的智能自动化仪表故障诊断系统，分析了人工智能在故障诊断中的应用，设计了系统架构，研究了关键技术并给出实现方法。未来可从多源数据融合入手，融合生产过程、设备维护等数据提升诊断准确性与全面性；研究在线学习与自适应技术，使系统适应故障特征变化；探索故障诊断结果的可视化与可解释性技术，便于用户理解；还可将边缘计算与云计算结合，提高系统响应速度、数据处理能力并降低传输成本。

参考文献

- [1]敬芃辉.基于人工智能的工业仪表自动化系统设计与实现[J].电气时代,2025,(03):36-38.
- [2]白永胜.发电厂热工自动化仪表的安装与故障分析[J].仪器仪表用户,2025,32(05):118-120.
- [3]孙献花.仪表自动化控制系统故障及其维护研究[J].仪器仪表用户,2024,31(02):1-3+6.
- [4]张盼,闫刚刚.智能制造与仪表自动化融合提高现代生产效率的分析[J].智慧中国,2025,(05):104-105.