

煤化工离心式压缩机故障诊断系统设计应用研究

何旭东

国家能源集团新疆哈密能源化工有限公司 新疆 哈密 839000

摘要: 本文聚焦于煤化工领域离心式压缩机的故障诊断系统设计与应用。首先阐述了煤化工离心式压缩机的重要性及常见故障类型,分析了传统故障诊断方法的局限性。接着详细介绍了基于现代信号处理技术、机器学习算法的故障诊断系统设计方案,包括系统架构、数据采集与预处理、特征提取与选择、故障分类模型构建等关键环节。通过实际应用案例,验证了该故障诊断系统的有效性与准确性,能够显著提高离心式压缩机的运行可靠性和维护效率,降低设备故障带来的经济损失,为煤化工企业的安全生产提供有力保障。

关键词: 煤化工;离心式压缩机;故障诊断系统;信号处理;机器学习

1 引言

1.1 研究背景与意义

煤化工产业作为我国能源领域的重要组成部分,在保障国家能源安全和推动经济发展方面发挥着关键作用。离心式压缩机作为煤化工生产过程中的核心设备之一,广泛应用于气体输送、压缩等关键环节,其运行状态直接影响到整个生产流程的稳定性和安全性。一旦离心式压缩机出现故障,不仅会导致生产中断,造成巨大的经济损失,还可能引发安全事故,对人员和环境造成严重危害。因此,开发一套高效、准确的离心式压缩机故障诊断系统,实时监测设备运行状态,及时发现潜在故障并采取相应措施,具有重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

国外在离心式压缩机故障诊断领域起步较早,已经取得了较为丰富的研究成果。许多发达国家的企业和科研机构投入大量资源开展相关研究,开发了一系列先进的故障诊断技术和设备。例如,美国的一些公司利用先进的传感器技术和数据分析算法,实现了对离心式压缩机故障的早期预警和精准诊断。国内虽然在该领域的研究起步相对较晚,但近年来随着煤化工产业的快速发展,对设备故障诊断的需求日益增长,推动了相关研究的深入开展。国内学者和企业借鉴国外先进经验的基础上,结合国内实际情况,在故障特征提取、诊断模型构建等方面取得了一定的进展,但与国外先进水平仍存在一定差距。

2 离心式压缩机常见故障及传统诊断方法分析

2.1 离心式压缩机常见故障类型

2.1.1 转子故障

转子是离心式压缩机的核心部件,常见的转子故障包括不平衡、不对中、转子裂纹等。转子不平衡会导致

机组振动加剧,产生异常噪音,严重时可能损坏轴承和其他部件;转子不对中会使轴承承受额外的载荷,加速轴承磨损,降低设备运行效率;转子裂纹则可能引发转子断裂等严重事故,对设备安全构成极大威胁。

2.1.2 轴承故障

轴承是支撑转子的重要部件,其故障形式主要有磨损、疲劳剥落、润滑不良等。轴承磨损会导致间隙增大,引起振动和噪声变化;疲劳剥落会使轴承表面出现坑洼,影响轴承的正常运转;润滑不良会加剧轴承磨损,降低轴承使用寿命,甚至导致轴承烧毁。

2.1.3 密封故障

密封装置用于防止气体泄漏,常见的密封故障有密封环磨损、密封气泄漏等^[1]。密封环磨损会导致密封性能下降,气体泄漏量增加,不仅会造成能源浪费,还可能影响生产环境的安全;密封气泄漏则可能使密封系统失效,引发更严重的故障。

2.2 传统故障诊断方法及局限性

2.2.1 振动分析法

振动分析法是目前应用较为广泛的故障诊断方法之一,通过测量设备的振动信号,分析其频率、幅值等特征参数,判断设备是否存在故障及故障类型。然而,振动分析法在实际应用中存在一定的局限性。一方面,振动信号容易受到外界干扰,如周围设备的振动、环境噪声等,影响诊断结果的准确性;另一方面,对于一些复杂的故障模式,仅依靠振动信号难以进行准确诊断。

2.2.2 油液分析法

油液分析法通过对设备润滑油中的磨损颗粒、污染物等进行分析,了解设备的磨损状态和故障情况。该方法可以提供设备内部的磨损信息,但对于一些非磨损类故障,如电气故障、密封故障等,油液分析法无法有效诊断。此

外,油液分析需要定期采集油样,并进行实验室分析,诊断周期较长,难以实现实时监测和故障预警。

2.2.3 温度、压力监测法

温度、压力监测法通过安装温度、压力传感器,实时监测设备关键部位的温度和压力参数,当参数超出正常范围时发出报警信号。该方法简单直观,但对于一些早期故障,温度和压力变化可能不明显,难以及时发现故障隐患^[2]。而且,温度、压力参数只能反映设备的局部状态,无法全面了解设备的运行情况。

3 煤化工离心式压缩机故障诊断系统设计

3.1 系统总体架构设计

本故障诊断系统采用分层分布式架构,主要包括数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层和用户界面层。数据采集层负责采集离心式压缩机的各种运行数据,如振动信号、温度、压力、转速等;数据传输层将采集到的数据通过有线或无线方式传输到数据处理中心;数据处理与分析层对接收到的数据进行预处理、特征提取和故障分类诊断;用户界面层将诊断结果以直观的方式展示给用户,并提供故障预警和决策支持功能。

3.2 数据采集与预处理

3.2.1 传感器选型与布置

根据离心式压缩机的结构和故障特点,选择合适的传感器进行数据采集^[3]。对于振动信号采集,选用高灵敏度、宽频带的加速度传感器,安装在压缩机的轴承座、机壳等关键部位;温度传感器选用热电偶或热电阻,安装在轴承、电机等部位;压力传感器安装在压缩机的进出口、级间等位置;转速传感器采用磁电式或光电式传感器,安装在转子轴端。

3.2.2 数据预处理

采集到的原始数据往往包含噪声和干扰信号,需要进行预处理以提高数据质量。常用的数据预处理方法包括滤波、去噪、归一化等。滤波处理可以采用低通滤波器、高通滤波器或带通滤波器,根据信号的频率特性去除噪声干扰;去噪方法可以采用小波去噪、经验模态分解(EMD)去噪等;归一化处理将数据映射到特定的区间,消除不同传感器量纲和数值范围的影响,便于后续的特征提取和模型训练。

3.3 特征提取与选择

3.3.1 时域特征提取

时域特征直接从信号的时间历程中提取,常用的时域特征参数包括均值、方差、峰值、峭度、脉冲因子等。这些参数能够反映信号的幅值变化和能量分布情况,对于一些简单的故障诊断具有一定的有效性。

3.3.2 频域特征提取

频域特征通过对信号进行傅里叶变换,将时域信号转换为频域信号,然后提取频域特征参数。常用的频域特征参数包括频谱重心、频率方差、谐波因子等。频域特征能够反映信号的频率成分和能量分布,对于识别设备的周期性故障和特定频率故障具有重要作用。

3.3.3 时频域特征提取

时频域分析方法能够同时反映信号在时间和频率上的变化特征,常用的时频域分析方法包括短时傅里叶变换(STFT)、小波变换(WT)等。通过时频域分析可以提取信号的时频特征,如小波能量谱、时频熵等,这些特征对于处理非平稳信号和复杂故障模式具有独特优势。

3.3.4 特征选择

从原始数据中提取的特征数量往往较多,其中可能存在冗余特征和无关特征,这些特征会影响故障诊断模型的性能和效率。因此,需要采用特征选择方法筛选出最具代表性的特征子集。常用的特征选择方法包括过滤式方法、包裹式方法和嵌入式方法。过滤式方法根据特征的统计特性进行筛选,如相关系数法、卡方检验法等;包裹式方法将特征选择与模型训练过程相结合,以模型性能为评价准则进行特征选择;嵌入式方法在模型训练过程中自动完成特征选择,如L1正则化、决策树等。

3.4 故障分类模型构建

3.4.1 支持向量机(SVM)模型

支持向量机是一种基于统计学习理论的机器学习算法,具有强大的非线性分类能力。在故障诊断中,SVM通过寻找一个最优超平面将不同类别的故障样本分开,实现故障分类。为了提高SVM模型的性能,可以采用核函数将样本映射到高维特征空间,常用的核函数包括线性核函数、多项式核函数和径向基函数(RBF)核函数等。

3.4.2 人工神经网络(ANN)模型

人工神经网络是一种模拟人脑神经元结构的计算模型,具有自学习、自适应和非线性映射能力。在故障诊断中,常用的ANN模型包括多层感知器(MLP)、径向基函数神经网络(RBFNN)等^[4]。通过训练神经网络,使其能够学习到故障特征与故障类型之间的映射关系,从而实现对故障的准确分类。

3.4.3 深度学习模型

深度学习是机器学习的一个分支,它通过构建深度神经网络模型,自动学习数据的层次化特征表示。在故障诊断领域,常用的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体(如LSTM、GRU)等。CNN擅长处理具有局部相关性的数据,如图

像和振动信号的时频图；RNN及其变体则适用于处理序列数据，能够捕捉数据的时间依赖关系。

3.5 系统软件设计

系统软件采用模块化设计思想，主要包括数据采集模块、数据预处理模块、特征提取与选择模块、故障分类诊断模块和用户界面模块。各模块之间相互独立，通过接口进行数据交互，便于系统的开发、维护和扩展。数据采集模块负责与传感器进行通信，实时采集设备运行数据；数据预处理模块对采集到的数据进行滤波、去噪等处理；特征提取与选择模块根据设定的算法提取和选择故障特征；故障分类诊断模块利用训练好的模型对设备状态进行诊断；用户界面模块将诊断结果以图表、报表等形式展示给用户，并提供故障预警和决策支持功能。

4 应用案例分析

4.1 案例背景

某煤化工企业拥有一套大型离心式压缩机，用于合成气压缩。在生产过程中，该压缩机频繁出现振动异常问题，严重影响生产安全和设备寿命。为了准确诊断压缩机故障原因，企业引入了本文设计的故障诊断系统。

4.2 系统安装与调试

在压缩机关键部位安装了振动传感器、温度传感器、压力传感器和转速传感器，并将传感器与数据采集设备连接。对数据采集设备进行参数设置，确保能够准确采集设备运行数据。同时，在数据处理中心安装故障诊断系统软件，并进行系统调试和参数优化。

4.3 故障诊断过程与结果

系统运行一段时间后，采集到了大量的压缩机运行数据。对采集到的数据进行预处理后，提取了时域、频域和时频域特征。采用特征选择方法筛选出最具代表性的特征子集，并将其输入到训练好的故障分类模型中进行诊断。诊断结果显示，压缩机振动异常的主要原因是转子不对中，同时伴有轴承磨损问题。根据诊断结果，企业对压缩机进行了停机检修，调整了转子对中状态，更换了磨损的轴承。检修后，压缩机运行平稳，振动值明显降低，恢复了正常生产。

4.4 系统应用效果评估

通过实际应用案例验证，本文设计的故障诊断系统能够准确诊断离心式压缩机的常见故障类型，如转子故障、轴承故障等。系统具有实时监测和故障预警功能，

能够及时发现设备潜在故障隐患，为设备的维护和检修提供科学依据。与传统的故障诊断方法相比，该系统具有更高的诊断准确性和可靠性，能够有效降低设备故障发生率，提高设备运行效率和生产安全性，为企业带来了显著的经济效益和社会效益。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文设计了一套适用于煤化工离心式压缩机的故障诊断系统，通过对传统故障诊断方法的分析，提出了基于现代信号处理技术和机器学习算法的系统设计方案。系统采用分层分布式架构，实现了数据的实时采集、传输、处理和分析。通过特征提取与选择方法，筛选出最具代表性的故障特征，提高了故障诊断的准确性和效率。采用多种机器学习模型构建故障分类模型，并通过实际应用案例验证了系统的有效性和可靠性。

5.2 研究不足与展望

虽然本文在离心式压缩机故障诊断领域取得了一定的研究成果，但仍存在一些不足之处。例如，系统的故障诊断模型在面对复杂多变的工况和新型故障模式时，诊断性能还有待进一步提高；系统的智能化水平还有待提升，未来可以结合人工智能技术，实现故障诊断系统的自适应学习和自主决策功能。未来的研究方向可以包括：深入研究复杂工况下离心式压缩机的故障机理，优化故障特征提取方法；探索更加先进的机器学习算法和深度学习模型，提高故障诊断的准确性和泛化能力；加强故障诊断系统与其他设备管理系统的集成，实现设备的全生命周期管理。

参考文献

- [1]姜志国,雷广东,吕景荆.石油化工离心式压缩机故障诊断系统设计应用研究[J].石油和化工设备,2021,24(04):76-78.
- [2]田振华,田金艳.煤化工用离心式压缩机自动控制系统研究[J].山西化工,2018,38(04):145-147.
- [3]陈兆龙,孙冠龙.化工企业离心式压缩机的故障检查维修与设备管理措施分析[J].石化技术,2025,32(08):263-265.
- [4]陈旭东.大型离心压缩机智能监测预警方法与叶轮故障机理研究[D].大连理工大学,2023.