

# 石油化工设备中压缩机状态监测与智能故障诊断

张 阳

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750000

**摘 要:** 本文聚焦石油化工领域压缩机, 阐述其多为离心式等类型, 运行具重载等特点, 故障分机械与性能两类。介绍状态监测含机械与运行参数监测, 技术分信号采集与预处理, 系统由感知、传输、数据处理层构成。分析智能故障诊断原理, 包括特征提取方法、诊断方法及核心流程。针对监测数据不准确、特征提取不全面、复杂工况诊断精度不足等关键问题, 提出合理选型传感器、融合多种特征提取方法、优化智能诊断模型等解决思路, 为压缩机稳定运行提供保障。

**关键词:** 石油化工设备; 压缩机; 状态监测; 智能故障诊断; 故障识别

**引言:** 在石油化工领域, 压缩机作为关键设备, 其稳定运行对生产至关重要。然而, 压缩机运行特性复杂, 受多种因素影响, 易出现机械故障与性能故障。为保障其可靠运行, 需对压缩机进行状态监测与智能故障诊断。这涵盖状态监测的核心内容与技术, 包括信号采集、预处理及监测系统构成; 智能故障诊断的核心原理与方法, 涉及特征提取、诊断方法及流程; 同时, 还需关注状态监测与智能故障诊断中的关键问题, 并探寻有效的解决思路, 以提升压缩机运行的稳定性与安全性。

## 1 压缩机运行特性及故障核心类型

石油化工领域的压缩机多为离心式、轴流式或往复式压缩机, 其运行特性与石油化工生产的工况密切相关, 具有重载、连续运行、工况波动大等特点。压缩机的运行状态受介质成分、压力、温度、转速等多种因素影响, 各类参数的微小波动都可能导致设备运行异常, 进而引发故障<sup>[1]</sup>。压缩机的故障类型多样, 结合其结构特点与运行工况, 核心故障可分为机械故障、性能故障两大类。机械故障主要源于部件磨损、装配偏差、疲劳损伤等, 表现为轴承磨损、转子不平衡、不对中、密封泄漏、盘车故障等; 性能故障主要源于运行参数偏离设计值、介质影响等, 表现为喘振、流量异常、压力波动、温度异常等, 其中喘振作为离心式压缩机的典型性能故障, 会导致流量与压力剧烈波动, 严重时损坏转子及相关部件, 危及设备安全。

离心式压缩机 	运行特性  <b>重载</b>  <b>连续运行</b>  <b>工况波动大</b>	机械故障	性能故障
轴流式压缩机 		轴承磨损 转子不平衡 不对中	喘振 流量异常 压力波动
往复式压缩机 		密封泄漏 盘车故障	温度异常

1-1 石油化工设备压缩机运行特性及故障核心示意图如下:

## 2 压缩机状态监测核心内容与技术

### 2.1 状态监测核心内容

压缩机状态监测包含机械状态与运行参数监测两方面, 二者相辅相成, 全面反映设备运行状况。(1) 机械状态监测聚焦压缩机核心运动部件, 以振动、磨损、密封监测为重点。振动监测是核心, 压缩机运行时, 转子、轴承等部件异常会使振动信号的幅值、频率等特征改变, 借此可及时发现转子不平衡、不对中、轴承磨损等故障。磨损监测针对轴承、气缸等易磨损部件, 通过监测磨损产物、部件尺寸变化判断磨损程度。密封监测针对机械密封等部件, 监测密封间隙、泄漏量等参数, 识别密封泄漏故障。(2) 运行参数监测关注压缩机工作工况, 重点监测压力、温度、流量、转速等参数, 同时兼顾润滑系统状态。压力监测采集吸气、排气压力, 监测波动以判断压缩效率与喘振隐患; 温度监测采集多部位温度, 异常预示润滑、磨损、散热等问题; 流量监测采集气体流量, 结合压力判断运行稳定性; 转速监测采集转子转速, 确保其设计范围内, 防止设备过载。

### 2.2 常用监测技术

压缩机状态监测技术主要分为信号采集与信号预处理两类, 二者协同为故障诊断筑牢基础。(1) 信号采集技术旨在获取各类监测参数的原始信号。振动信号采集多采用压电式、磁电式等振动传感器, 安装于转子、轴承座等关键部位, 实时采集振动位移、速度、加速度等信号, 以捕捉设备振动异常。压力信号采集依靠压力变送器, 置于吸气口、排气口等位置, 精准采集并实时传输压力参数。温度信号采集选用热电偶、热电阻等温度传感器, 安装于气缸、轴承、电机等关键部位, 实时监测温度变化。流量信号采集采用流量变送器, 需结合压缩机结构类型选择合适测量方式, 确保准确性。(2) 信

号预处理技术是提升监测数据可靠性的关键环节，核心在于消除噪声干扰、修正数据偏差。常用预处理方法有滤波处理、信号放大、数据归一化等。滤波处理可去除环境噪声、电磁干扰等无关信号，保留有效信号；信号放大能增强微弱异常信号，便于后续分析；数据归一化可统一不同类型监测参数的量纲，避免其对后续诊断结果产生不良影响<sup>[2]</sup>。

### 2.3 监测系统的核心构成

压缩机状态监测系统是一个精密且高度集成的体系，其核心构成主要涵盖感知层、传输层以及数据处理层这三个关键部分，各层之间紧密配合、协同运作，共同完成监测数据从采集到反馈的完整流程。(1) 感知层作为整个监测系统的基础支撑，由多种类型的传感器精心布局组成。这些传感器如同敏锐的“触角”，能够精准且实时地采集振动、压力、温度、流量等涵盖设备运行各个方面的原始监测数据，为后续的分析判断提供丰富且全面的信息来源。(2) 传输层承担着数据“搬运工”的重要角色，它采用有线传输与无线传输相结合的灵活方式，将感知层所采集到的原始数据稳定、高效地传输至数据处理层，有效避免了数据在传输过程中出现丢失或延迟的情况。(3) 数据处理层则负责对传输过来的原始数据进行深度处理，包括消除噪声干扰、提取有效特征参数等，并对处理后的数据进行妥善存储与初步分析，一旦监测参数超出预设阈值，便会迅速发出异常预警信号。

## 3 压缩机智能故障诊断核心原理与方法

### 3.1 故障特征提取方法

故障特征提取是智能故障诊断的关键，其成效直接影响诊断精准度，核心在于从预处理后的监测信号里，提取能表征故障状态的特征参数，以区分设备正常运行与故障运行状态。常用方法有时域、频域和时频域特征提取三类。(1) 时域特征提取针对振动、压力等时域信号，提取幅值、波形、统计等特征，如峰值、有效值、方差、峭度等。该方法计算简便、实时性强，适用于故障初步识别，能快速判断设备有无异常。(2) 频域特征提取借助傅里叶变换、功率谱分析等，将时域信号转为频域信号，提取频率特征，如特征频率、谐波分量等，可精准识别故障类型，像转子不平衡会在特定频率现峰值，不对中会出现倍频峰值。(3) 时频域特征提取结合时域与频域优势，通过小波变换、经验模态分解等，提取不同时间、频率下的特征参数，适用于非平稳信号，能有效捕捉压缩机故障发展动态特征，提升特征提取的全面性与精准度<sup>[3]</sup>。

### 3.2 智能故障诊断方法

石油化工设备中，压缩机的智能故障诊断方法主要

分为传统与深度学习两类，二者技术原理不同，适用场景有别，可单独或结合使用以提高诊断精度。(1) 传统智能诊断方法以模式识别为核心，借助统计学习、机器学习等技术构建故障诊断模型，常用支持向量机、决策树、贝叶斯分类器等。它需先经特征提取获取故障特征参数，再输入模型，经训练与模式匹配完成诊断。该方法结构简单、计算量小，适用于故障类型少、特征参数单一的场景，但泛化能力欠佳，难以满足压缩机复杂工况下多故障、混合故障的诊断需求。(2) 深度学习诊断方法依托深度神经网络，无需人工手动提取故障特征，能自动从监测信号中提取深层特征，构建高精度故障诊断模型，常用卷积神经网络、长短期记忆网络等。其特征学习与泛化能力强，可处理多源异构监测数据，适用于复杂工况，能有效提升诊断精准度与效率，解决传统方法难以处理的复杂故障问题。此外，融合物理先验知识与深度学习的混合诊断方法，可克服纯数据驱动模型的“黑箱”问题，增强模型的可解释性与可靠性。

### 3.3 故障诊断的核心流程

压缩机智能故障诊断的核心流程分为四个步骤，形成闭环诊断体系，确保故障诊断的精准性与及时性。(1) 数据采集与预处理，通过状态监测系统采集压缩机运行过程中的各类监测数据，采用滤波、放大、归一化等方法消除噪声干扰，修正数据偏差，提取有效数据；(2) 故障特征提取，采用时域、频域或时频域提取方法，从预处理后的有效数据中，提取能够表征故障状态的特征参数，形成故障特征向量；(3) 故障识别与定位，将故障特征向量输入训练好的智能诊断模型，通过模型运算与模式匹配，判断故障类型、故障位置及故障严重程度，生成故障诊断报告；(4) 诊断结果验证与反馈，结合设备运行的实际状态，对故障诊断结果进行验证，若诊断结果存在偏差，及时调整诊断模型参数与特征提取方法，优化诊断模型，提升后续故障诊断的精准度。

## 4 压缩机状态监测与智能故障诊断的关键问题及解决思路

### 4.1 监测数据不准确的问题及解决思路

监测数据不准确是状态监测过程中的核心问题之一。据统计，约30%~40%的监测数据偏差源于传感器选型不合理、安装位置不当、监测环境干扰、数据传输故障等因素。这些因素致使采集的原始数据存在偏差，无法真实反映压缩机运行状态，影响后续故障特征提取与诊断<sup>[4]</sup>。

针对该问题，解决思路主要有三方面：(1) 合理选型传感器。结合压缩机结构类型、运行工况及监测参数类型，选精度高、稳定性强、抗干扰能力强的传感器。

如振动监测中,在高温、高压环境,压电式传感器准确率可达90%以上,能更好适应恶劣环境;(2)优化传感器安装位置。依据压缩机故障特征与振动分布规律,将传感器装于故障敏感部位,避免非敏感或干扰严重位置,确保采集有效信号;(3)加强数据传输与处理管控。采用抗干扰强的传输方式,减少环境噪声、电磁干扰影响,同时优化数据预处理方法,消除原始数据偏差与噪声,提升数据准确性与可靠性。此外,定期校准维护传感器,避免老化导致数据偏差。

#### 4.2 故障特征提取不全面的问题及解决思路

故障特征提取不全面主要有两方面原因:(1)压缩机故障类型多、机理复杂,不同故障特征参数重叠,单一提取方法难以全面捕捉。如某石化企业压缩机异常振动,单一时域分析难以区分转子不平衡与轴系不对中故障;(2)监测数据多源异构,不同类型数据(振动、压力等)特征规律不同,单一提取方法易致后续诊断漏判、误判,如另一企业仅依据温度数据漏判轴承磨损故障。

针对此问题,解决思路如下:(1)融合多种特征提取方法,结合时域、频域、时频域优势,构建多维度体系,全面提取故障特征参数。如采用小波变换与时域特征提取结合,在某压缩机故障诊断中,既捕捉动态特征,又提取统计特征,成功区分两类故障,提升全面性;(2)运用多源数据融合技术,融合振动、压力等不同类型监测数据,挖掘关联关系,提取全面表征压缩机运行状态的融合特征参数,避免单一数据提取不全面问题,同时结合物理先验知识优化提取过程,重点提取与故障机理相关的核心参数,增强针对性。

#### 4.3 复杂工况下诊断精度不足的问题及解决思路

石油化工生产里,压缩机运行工况复杂,转速、压力、温度等参数频繁变动,且不同故障可能同时出现形成混合故障,致使故障特征相互干扰。传统诊断方法和单一深度学习方法难以满足复杂工况下的诊断精度要求,易出现漏判、误判。

针对此问题,解决思路有三:(1)优化智能诊断模型,融合传统智能诊断与深度学习方法的优点,构建混合诊断模型,如将支持向量机与卷积神经网络结合,利用深度学习自动提取深层特征,借助支持向量机提升模型泛化能力与运算效率,以适应复杂工况诊断;(2)引入自适应学习机制,使诊断模型能依据压缩机工况变化自动调整参数,增强抗干扰能力与诊断精度;(3)加强故障机理研究,明确不同故障的成因、发展规律及特征表现,把故障机理知识融入诊断模型构建,提升对混合、复杂故障的识别能力,减少误判。此外,还可借助数据增强技术扩充故障样本,提升模型训练效果与泛化能力<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

石油化工领域压缩机运行工况复杂,状态监测与智能故障诊断至关重要。监测中存在数据不准确、特征提取不全面、复杂工况下诊断精度不足等关键问题。针对这些问题,可通过合理选型及安装传感器、融合多种特征提取与多源数据融合技术、优化智能诊断模型、引入自适应学习机制、加强故障机理研究等解决思路,提升监测数据准确性、特征提取全面性与诊断精度,保障压缩机安全稳定运行,为石油化工生产的高效与可靠提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]李永强.往复式压缩机振动分析与治理[J].当代化工,2024,53(6):1472-1475.
- [2]李凡.丙烯压缩机振动异常分析及处理[J].设备管理与维修,2024(11):157-159.
- [3]雷中华.石油化工企业仪表自动化设备故障智能检测研究[J].石化技术,2024,31(06):49-51.
- [4]侯东波,杨明阳,尹石庄,等.石油化工用离心压缩机干气密封故障及处理措施[J].石油和化工设备,2021,24(2):100-102.
- [5]孙宏飞.石油化工厂压缩机振动过高的原因分析及对策[J].石化技术,2022,29(7):102-104.