

大型离心式压缩机振动监测与故障诊断技术研究

谢德有

福建合盛气体有限公司 福建福州

【摘要】随着工业发展，大型离心式压缩机应用广泛。其运行稳定性关乎生产效益，振动问题易引发故障。本文聚焦其振动监测与故障诊断，阐述监测方法、分析故障特征，结合实例探讨诊断技术应用，旨在提升压缩机可靠性，为保障工业连续生产提供技术支撑。

【关键词】离心式压缩机；振动监测；故障诊断；工业生产；可靠性

【收稿日期】2025 年 2 月 24 日 【出刊日期】2025 年 3 月 28 日 【DOI】10.12208/j.jer.20250110

Study on vibration monitoring and fault diagnosis of large centrifugal compressors

Deyou Xie

Fujian Hesheng Gas Co Ltd, Fuzhou, Fujian

【Abstract】As industry advances, large centrifugal compressors have found widespread application. Their operational stability is crucial for production efficiency, and vibration issues can easily lead to malfunctions. This paper focuses on vibration monitoring and fault diagnosis, detailing monitoring methods and analyzing fault characteristics. It also explores the application of diagnostic techniques through case studies, aiming to enhance compressor reliability and provide technical support for ensuring continuous industrial production.

【Keywords】Centrifugal compressor; Vibration monitoring; Fault diagnosis; Industrial production; Reliability

引言

在现代工业进程中，大型离心式压缩机是关键设备，广泛服务于石化、冶金等领域。它的持续稳定运行极为重要，一旦故障停机，将造成巨大经济损失。而振动异常常是故障先兆，研究其振动监测与精准的故障诊断技术，对提前预警、及时维护、保障生产连续性意义重大。

1 振动监测基础构建

在大型离心式压缩机的运行过程中，振动监测至关重要。大型离心式压缩机作为工业生产中的关键设备，其运行状态直接关系到整个生产流程的稳定性和效率。为实现全面、精准的监测，需构建完善的振动监测基础体系。该体系犹如设备运行的“健康卫士”，为设备的稳定运行提供坚实保障^[1]。其核心环节便是运用各类先进传感器，如加速度传感器、位移传感器、速度传感器等，配合专业信号采集系统，从多方位、多角度对压缩机的振动数据展开采集工作。加速度传感器能够敏锐捕捉压缩机运行时瞬间的加速度变化，位移

传感器可精准测量部件的位移情况，速度传感器则能实时反馈运行速度的波动。

加速度传感器以其卓越的动态响应特性，对压缩机运行时的瞬间变化极为敏感。在压缩机运转过程中，机械部件的高速碰撞、摩擦，以及强大气流的冲击，都会引发设备加速度的微妙改变，而加速度传感器能够精准捕捉到这些变化。位移传感器则主要关注压缩机关键部件在运行时的位置变动情况。无论是部件因受力产生的极其微小的线性位移，还是因强烈振动引发的径向、轴向位移，位移传感器都能凭借其高精度的测量技术进行精确测定^[2]。这些传感器如同精密布置在压缩机各个关键部位的“触角”，在设备运行期间，时刻保持警觉，一旦捕捉到原始振动信息，便立即通过专门的数据传输线路，将这些信息实时、快速地传递出去，为后续的数据分析和故障诊断提供关键的数据支持。

专业信号采集系统宛如整个监测体系的“中枢神经”，负责整合来自不同传感器的数据。它以极高的采样频率，对加速度、位移等信号进行不间断采集，确

保不会遗漏任何一个关键瞬间的振动变化。在数据采集过程中,系统能够精准捕捉到振幅这一关键指标,振幅的大小直观反映了压缩机振动的剧烈程度,是判断设备运行状态是否稳定的重要依据。频率信息也被精确获取,不同频率的振动往往对应着不同的故障类型,例如低频振动可能与基础松动、转子不平衡等问题相关,高频振动则可能暗示着机械部件的磨损、碰撞等故障隐患。

2 故障特征精准剖析

转子失衡是较为常见的故障之一,通常由转子质量分布不均、材质缺陷或转子部件脱落等原因导致。当转子失衡时,离心力会产生周期性变化,从而引发压缩机振动。通过对振动信号的分析,可以发现其在频谱上呈现出以转子旋转频率为基频的高次谐波,且幅值较大。在某型号离心式压缩机中,当转子出现失衡故障时,振动信号频谱图上的基频幅值明显高于正常运行状态,且二阶、三阶谐波分量也显著增加^[3]。通过对这些特征的准确识别,可以快速判断出转子失衡故障的存在,并进一步分析其失衡程度,为后续的维修工作提供依据。

轴承磨损也是影响压缩机运行的重要因素。随着压缩机的长时间运行,轴承会因摩擦、疲劳等原因逐渐磨损。轴承磨损后,其间隙会增大,导致转子的稳定性下降,进而引发振动。在振动信号方面,轴承磨损故障表现为振动幅值随时间逐渐增大,且在低频段出现明显的振动分量。由于轴承磨损过程中的非线性特性,振动信号中还可能出现调制现象,即在基频及其倍频周围出现边频带。某压缩机在运行过程中,通过对轴承振动信号的监测发现,低频段的振动幅值逐渐上升,且在基频两侧出现了间隔均匀的边频带,经分析确定为轴承磨损故障。

气流激振是由压缩机内部气流的不稳定流动引起的振动现象。在压缩机的运行过程中,气流的压力脉动、旋转失速和喘振等都会导致气流激振的发生。这种故障在振动信号上的表现较为复杂,通常包含宽频带的振动成分,且振动幅值会随着工况的变化而剧烈波动^[4]。当压缩机发生喘振时,振动信号会出现低频、大幅度的波动,同时伴有高频的压力脉动信号。通过对气流激振故障特征的详细分析,可以准确判断故障类型,并通过调整压缩机的运行参数或优化内部结构,有效抑制气流激振,保障压缩机的稳定运行。

3 诊断技术实战运用

在大型离心式压缩机的运行过程中,采集数据并结合故障特征进行分析是实现精准故障诊断的关键步

骤。通过各类传感器,能够获取压缩机在运行时的振动、温度、压力等多维度数据。这些原始数据往往较为繁杂,需借助频谱分析、小波变换等前沿技术对其进行深度挖掘。频谱分析能够将时域的振动信号转换为频域信号,清晰呈现不同频率成分的能量分布,使诊断人员能够精准识别出与常见故障模式相对应的特征频率,例如不平衡故障对应的1倍频、不对中故障对应的2倍频等异常频率信号。

在石化行业中,大型离心式压缩机作为核心设备,承担着气体压缩、输送等关键任务。某石化企业的一台大型离心式压缩机在运行过程中出现了异常振动现象^[5]。技术人员迅速利用监测系统采集振动数据,并运用频谱分析技术对数据进行处理。通过频谱图,清晰地观察到1倍频处的振动幅值显著升高,同时伴有高次谐波成分,结合压缩机的故障特征库,初步判断为转子不平衡故障。进一步通过小波变换对振动信号进行细节分析,精准定位到转子上的某一位置存在质量偏心。基于这一精准诊断结果,维修团队快速制定维修方案,对转子进行动平衡校正。

在电力行业,大型离心式压缩机常用于电站的空气压缩系统、燃气轮机的进气增压等环节,其稳定运行直接关系到电力供应的可靠性。以某大型火力发电厂为例,该厂的一台离心式压缩机在运行时出现了周期性的异常声响和振动波动。通过对采集的振动数据进行频谱分析,发现存在明显的低频振动成分,且频率与压缩机的轴系旋转频率相关,初步怀疑是轴系不对中故障^[6]。随后采用小波变换对振动信号进行深入剖析,成功提取到了故障特征的时频图像,清晰地显示出轴系在特定时刻的不对中状态变化。依据诊断结果,电厂维修人员及时对压缩机的轴系进行了重新校准和调整。经过处理后,压缩机运行恢复平稳,异常声响消失,有效保障了电厂的正常发电生产,确保了电力的稳定供应,彰显了精准诊断技术在保障电力行业核心设备安全运行方面的重要作用。

4 维护策略优化升级

基于精准的故障诊断结果,制定科学、全面且具有前瞻性的维护计划,是保障大型离心式压缩机长期稳定运行的关键。维护计划首要着重强调定期巡检的重要性,巡检人员必须严格按照精心规划的详细巡检路线与严谨规范流程,对压缩机的各个关键部位展开全方位细致检查。轴承作为支撑转子运转的关键部件,需重点关注其润滑状况与磨损程度;密封装置关乎介质的有效隔离,防止泄漏,要仔细查看是否存在密封不严

的隐患；叶轮则是压缩机实现能量转换的核心，对其完整性与动平衡状态的检查不容有丝毫疏忽^[7]。在巡检过程中，巡检人员一方面要通过肉眼敏锐观察设备外观，不放过任何一处是否有磨损、变形、泄漏等异常迹象，另一方面需借助红外测温仪、压力传感器、振动分析仪等专业工具，精准测量关键部位的温度、压力、振动等参数，并秉持严谨负责的态度如实记录。定期巡检频率并非一概而论，而是依据压缩机的运行工况，例如负载大小、连续运行时长，以及使用年限等复杂因素进行合理设定。如此一来，方能确保在设备运行过程中，能够及时捕捉到设备初期那些细微但可能引发严重故障的变化，为后续维护决策提供坚实可靠的基础数据支持。

预防性维修同样是维护计划的核心环节。在分析历史运行数据、故障案例以及部件寿命预测模型的基础上，针对潜在故障隐患提前采取措施。当监测到轴承的振动幅值虽在正常范围内但呈缓慢上升趋势时，依据经验与数据分析判断轴承可能出现早期磨损，此时便提前安排停机，对轴承进行清洗、润滑或更换，避免故障进一步恶化引发严重事故。合理安排部件更换周期至关重要。不同部件因其材质、工作环境与受力情况不同，使用寿命存在差异^[8]。对于易损件，如密封件、过滤器等，根据实际运行状况与厂家建议，适当缩短更换周期，确保设备密封性能良好、气体过滤效果达标；而对于关键且昂贵的部件，如叶轮、主轴等，则通过先进的无损检测技术实时评估其健康状态，在保证安全运行的前提下，尽量延长使用周期，降低维护成本。

在数字化与智能化浪潮的推动下，积极探索智能运维新模式成为提升压缩机运行效能的新方向。利用物联网技术，将压缩机的各类传感器数据实时上传至云端平台，通过大数据分析 with 人工智能算法，实现设备运行状态的实时监测与智能诊断。系统能够自动识别设备运行中的异常模式，并快速给出故障原因与解决方案建议。智能运维还可结合预测性维护理念，根据设备历史数据与实时运行状态，预测部件剩余使用寿命，提前规划维护任务与备件采购，减少计划外停机时间。借助远程监控技术，专家团队可在千里之外对压缩机

运行状况进行实时指导，实现运维资源的高效配置，最大程度提升压缩机运行效能，为企业生产运营提供坚实保障。

5 结语

大型离心式压缩机振动监测与故障诊断技术持续发展意义深远。未来，随着科技进步，监测手段将更智能、精准，诊断效率会大幅提升。新算法、新材料应用有望延长设备寿命，降低运维成本，确保工业各领域安全生产、高效运转，推动产业蓬勃向前。

参考文献

- [1] 宫彦双,王立辉,贾海民,等.离心式压缩机振动异常信号分析与辨别[J].中国设备工程,2025,(S1):202-204.
- [2] 肖航,黄国强,李斌,等.本特利 3500 振动监测系统在管线压缩机组的故障分析[J].石化技术,2024,31(08):101-103.
- [3] 梁英涛.基于小波变换的离心压缩机回流管线异常振动监测方法[J].机械管理开发,2024,39(04):37-39.
- [4] 蒋安荔,甘捷,余俊.天然气长输管道压缩机组振动监测方式分析研究[J].压缩机技术,2023,(06):29-31.
- [5] 张睿.振动监测与诊断技术在离心压缩机故障处理的应用[J].化工管理,2022,(32):136-139.
- [6] 李进.基于振动监测的海洋石油双螺杆压缩机组在线监测与诊断应用分析[J].凿岩机械气动工具,2022,48(02):57-60.
- [7] 魏旭.氢气压缩机振动原因及解决措施[J].氯碱工业,2022,58(01):26-28.
- [8] 张锡恒.压缩机的振动数据采集与监测分析的应用[J].自动化应用,2021,(07):46-49.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

