

# 大型离心压缩机组振动故障诊断与处理

丁锦鸿

沈阳透平机械股份有限公司, 辽宁 沈阳 110000

**[摘要]**随着工业化进程的加速,离心压缩机在石油化工、制冷空调、电力等领域中的应用日益广泛。作为关键的能量转换设备,离心压缩机的运行性能直接关系到生产效率和产品质量。长期的运行和不适当的维护可能导致机器的振动故障,这些故障可能源于结构设计、制造质量、操作条件等多种因素。因此,对离心压缩机的振动故障进行有效的诊断和处理,不仅可以提高设备的可靠性和寿命,还可以降低维护成本,提高生产效率和安全性。

**[关键词]**离心压缩机; 机组振动; 故障诊断; 处理方法

DOI: 10.33142/sca.v7i6.12554

中图分类号: TH113.1

文献标识码: A

## Diagnosis and Treatment of Vibration Faults in Large Centrifugal Compressor Units

DING Jinhong

Shenyang Touping Machinery Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

**Abstract:** With the acceleration of industrialization, the application of centrifugal compressors in fields such as petrochemicals, refrigeration and air conditioning, and electricity is becoming increasingly widespread. As a key energy conversion equipment, the operational performance of centrifugal compressors is directly related to production efficiency and product quality. Long term operation and improper maintenance may lead to vibration failures of machines, which may originate from various factors such as structural design, manufacturing quality, and operating conditions. Therefore, effective diagnosis and treatment of vibration failures of centrifugal compressors can not only improve equipment reliability and lifespan, but also reduce maintenance costs, improve production efficiency and safety.

**Keywords:** centrifugal compressor; unit vibration; fault diagnosis; treatment method

### 引言

离心压缩机作为关键的动力设备,在多种工业应用中都有着广泛的应用,它的稳定运行对于生产效率和设备寿命具有决定性的影响。但是由于其复杂的结构和工作原理,离心压缩机在运行过程中可能会遭遇各种振动故障,这些故障不仅会影响设备的正常运行,还可能导致设备损坏和生产事故。因此,对离心压缩机的振动特性、故障诊断方法以及处理与维护技术进行深入研究和掌握,对于确保设备的安全、稳定和高效运行具有重要意义。

### 1 大型离心压缩机组结构组成

大型离心压缩机组作为一种至关重要的动力设备,在工业生产中的地位不容小觑。这类设备因其体积巨大、重量沉重、构造复杂以及投产时间早,常常承受着严苛的工作环境和高强度的工作任务。这些特性使得其在运行中面临的工况波动性较大,从而增加了在投用阶段出现故障的可能性,特别是振动故障。振动故障不仅会影响设备的稳定运行,还可能导致设备寿命缩短和安全隐患的产生。本文以某 2MCL1406 压缩机为例,叶轮直径为 1500mm,使用滑动轴承。这款设备的所有轴承都采用 L-TSA46#抗氧防锈汽轮机油进行润滑,以确保其在高速运转中的稳定性和寿命。值得注意的是,该压缩机组的额定流量为

290000Nm<sup>3</sup>/h,额定转速为 3972r/min,工作压比为 7.7,轴振允许值为 25.4 μm,这些参数都直接反映了设备的性能指标和工作状态。因此,在设备的运行和维护过程中,需要特别关注这些关键参数,以确保设备能够高效、稳定地运行,同时有效预防和控制振动故障的发生。

### 2 离心压缩机组的振动特性

离心压缩机组作为重要的动力设备,在运行过程中常常面临各种振动问题。这些振动问题主要源自其复杂的结构和工作原理,涉及叶轮、轴承、机壳等多个部件的协同作用。振动的产生机制可以通过以下公式进行描述:

$$F_{\text{unbalance}} = m \times r \times \omega^2 \quad (1)$$

其中,  $F_{\text{unbalance}}$  是由于叶轮不平衡引起的振动力,  $m$  是叶轮的质量偏差,  $r$  是叶轮的径向距离,  $\omega$  是叶轮的角速度。叶轮的高速旋转会导致不平衡的离心力,这种离心力将引发机组的径向和轴向振动。同时,轴承在工作过程中的摩擦和滚动也会产生振动信号。流体在叶轮和机壳之间的流动压力,特别是在机组工作在低流量或高压条件下,将导致机壳的弯曲和扭转振动。此外,当机组的自然频率与外部激励频率相匹配时,可能会发生结构共振进一步增大振动幅度<sup>[1]</sup>。离心压缩机组的振动特性可以进一步

细分为机械振动、流体动力学振动和结构共振振动。机械振动主要由机组内部部件的运动不平衡或摩擦引起,其频率与机组的旋转速度和叶轮的设计特性有关。流体动力学振动是由于流体在叶轮和机壳之间的流动引起的压力脉动,其频率与机组的工作条件、流体特性和流量有关。结构共振振动则是机组结构在特定频率下的自然振动,这通常是由于机组的结构刚度、材料和几何形状导致的。

### 3 振动故障的诊断方法

#### 3.1 振动信号采集

振动信号的准确采集是诊断振动故障的首要步骤,它直接影响到后续的信号分析和故障诊断结果的准确性。在选择传感器时需要考虑其频率响应、灵敏度、稳定性以及耐用性等关键参数。常用的振动传感器包括加速度传感器、速度传感器和位移传感器。其中,加速度传感器因其高频响应和灵敏度,常被用于采集高频振动信号。速度传感器则更适用于低频振动的采集,而位移传感器则可以提供更为精确的位移信息。在传感器布置方面,应考虑机组的关键振动区域,如叶轮、轴承和驱动部件等。通常至少需要在机组的三个正交方向(垂直、水平和轴向)上布置传感器,以获取全面的振动信息。以某离心压缩机组为例,机组在运行过程中出现异常振动,影响了其性能和寿命。为了准确诊断问题,工程师通过对采集的振动信号进行分析,成功诊断出转子不平衡和轴承磨损等问题,进而采取了相应的维修措施,有效减少了机组的振动水平。数学公式在振动信号分析中也是不可或缺的工具,其中最常用的是傅里叶变换(Fourier Transform, FFT)用于将时域信号转换为频域信号,公式如下:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

这个公式允许工程师将复杂的振动信号分解为不同频率成分,从而更容易地诊断出振动故障的原因。

#### 3.2 振动信号分析

##### 3.2.1 频谱分析

频谱分析是振动信号分析中的一种核心技术,它能够将在时域内的复杂振动信号转换为频域表示,从而揭示信号中包含的不同频率成分及其相对强度。通过傅里叶变换(Fourier Transform, FFT)等数学方法,振动信号可以分解为一系列不同频率的正弦和余弦波成分。这些频率成分对应于机械系统中的不同振动模式和潜在故障特征,如轴承故障、叶片失衡等。因此,频谱分析能够为故障诊断提供关键线索和信息。在实际应用中,工程师通常会绘制振动频谱图,以直观地识别主导频率和异常频率点,进而判断机组的运行状态和存在的潜在故障。

##### 3.2.2 时域分析

时域分析直接研究振动信号在时间轴上的变化特性,它能够提供信号的振幅、波形和周期等关键信息。时域分

析特别适用于捕捉和评估振动信号的瞬态特性和动态行为,如冲击、跳动和脉冲等。通过对时域波形的观察和分析,工程师可以快速判断机组的运行状态,检测异常振动事件,并初步诊断可能的故障原因。例如,轴承故障通常会产生间歇性的冲击和跳动振动,这些特征在时域波形中往往能够清晰地展现出来。因此,时域分析是振动故障诊断中不可或缺的重要手段。

##### 3.2.3 相位分析

相位分析是振动信号分析的一个补充技术,它关注的是不同频率成分之间的时间关系或相对相位差。通过精确测量和分析信号中各个频率成分的相位角度,相位分析能够揭示振动信号的相互关系和时序特性。这对于诊断某些特定的振动故障,如叶片与叶片之间的相位失调或旋转机械中的不同旋转部件的相位差异,具有重要意义。在实际应用中,相位分析常与频谱分析和时域分析结合使用,以获得更为全面和深入的故障诊断信息。通过准确测量和解析振动信号的相位特性,工程师能够更精确地定位故障源,从而采取针对性的维修和调整措施,提高机组的运行可靠性和效率。

### 4 常见的振动故障与诊断

#### 4.1 主电机振动故障

主电机在离心压缩机组中扮演着核心的驱动角色,运行状态直接关系到整个机组的稳定性和性能<sup>[2]</sup>。由于多种因素,主电机在运行过程中可能出现各种振动故障,这些故障对机组的安全和效率产生严重影响。主电机的振动故障通常分为以下几种类型:不平衡振动、对齐问题、轴承故障和电机磁场问题。例如,不平衡振动是由于电机转子质量不均匀或安装不当导致的,这会引发电机的径向和轴向振动。对齐问题主要是由于电机与其驱动设备之间的轴线不同心,导致电机运行时产生扭转和侧向振动。轴承故障通常表现为电机运行时的高频振动,这是由于轴承内部的损伤或润滑不足引起的。电机磁场问题可能导致电机运行时的异常振动,这通常与电机的绝缘状况、电流波形和电压不稳定有关。在某石油企业的大型离心压缩机组中,主电机突然出现了明显的振动,导致机组运行不稳定影响生产效率。经过专业的故障诊断,发现是由于电机轴承故障导致的振动问题。轴承内部的滚珠损伤和润滑不足引起了电机运行时的高频振动。为了解决这一问题,维护团队对电机进行了全面的维修,更换了损坏的轴承并优化了润滑系统。经过维修和调试,主电机的振动问题得到了有效控制,机组的运行状态得到了明显改善,生产效率也得到了提升。

#### 4.2 离心压缩机自身振动故障

离心压缩机作为关键的能量转换设备,自身的稳定运行对整个系统的正常工作至关重要。但是由于结构特性、材料问题、制造误差等多种因素,离心压缩机在运行过程

中可能会出现各种振动故障,这些振动故障主要表现为机壳振动、叶轮不平衡、轴承故障以及流体动力学振动等。机壳振动是离心压缩机最常见的振动问题之一,主要原因可能包括机壳结构设计不合理、焊接质量不良或机壳与基础固定不当等。叶轮不平衡是由于叶轮在制造过程中质量分布不均匀或叶片损伤导致的,这会引发机组的轴向和径向振动。轴承故障通常表现为高频振动,这是由于轴承内部的损伤、磨损或润滑不足所引起的。流体动力学振动是由于流体在叶轮和机壳之间的流动导致的压力脉动,其频率与机组的工作条件、流体特性和流量有关。在某化工企业的离心压缩机组中,机组在运行过程中突然出现了明显的振动导致生产效率下降,严重影响了生产安全。经过专业的振动分析和诊断,发现是由于叶轮不平衡和轴承故障共同引起的振动问题。叶轮的质量分布不均和叶片的轻微损伤导致了叶轮的不平衡振动,而轴承的润滑不足和磨损则引发了高频振动。为了解决这些问题,维护团队对离心压缩机进行了全面的检修和维护,更换了叶轮和轴承,并对机组进行了动平衡调试。经过这些维修和调整措施,离心压缩机的振动问题得到了有效控制,机组的运行状态和生产效率都得到了显著改善。

## 5 振动故障的处理与维修

### 5.1 故障原因分析

在处理和维修离心压缩机的振动故障时,进行准确的故障原因分析是至关重要的第一步。故障原因可能涉及机械设计、制造质量、运行参数、维护管理以及外部环境等多个方面。首先,从机械设计和制造质量角度看,可能存在的叶轮失衡、轴承座不稳、轴心偏心和转子弯曲等问题,这些都是振动故障的常见机械原因。不合理的结构设计、材料选择和加工工艺都可能导致设备在运行中出现不稳定和振动增大。其次,运行参数,如流量、压力、温度和速度等,也是导致振动故障的重要因素。工作在超出设计范围的工况下,或由于操作不当引起的负荷波动,都可能导致设备振动异常。此外,不恰当的启停操作、频繁的负荷变化以及长时间的高速运行等运行管理问题,也可能对设备的振动性能产生不良影响。再者,维护和保养的不足或不当也是振动故障的常见原因。轴承润滑不足、密封失效、紧固件松动和磨损零部件未及时更换等,都会导致设备振动加剧。此外,外部环境因素,如基础不稳、地震、温度变化和湿度等,也可能对设备的振动性能产生影响。

### 5.2 故障处理方法

针对离心压缩机的振动故障,选择合适的处理方法是确保设备快速恢复正常运行和延长其使用寿命的关键<sup>[3]</sup>。对于由于叶轮失衡、轴承座不稳或转子弯曲等机械因素引起的振动故障,通常需要进行机械校正和调整。通过动平衡测试和精密加工技术,可以有效地改善设备的旋转平衡

和结构稳定性,从而降低振动水平。此外,确保设备的正常运行和减少振动,关键是加强日常维护和润滑管理。定期检查和更换磨损的轴承、密封和其他关键零部件,选择合适的润滑油和润滑方式,都可以有效减少由于摩擦和磨损引起的振动。调整和优化离心压缩机的运行参数,如流量、压力、温度和速度等,也是降低设备振动的有效措施。通过控制负荷、平稳启停和避免频繁的负荷变化,可以提高设备的运行稳定性和振动性能。针对设备设计和制造中存在的缺陷和问题,进行结构改进和优化,利用现代化的振动控制技术,如主动振动控制、被动振动隔离和智能诊断系统等,都可以实现对离心压缩机振动的实时监测和控制,提前预警和诊断潜在的振动故障,从而实现快速响应和准确处理。

### 5.3 维护与预防措施

为确保离心压缩机的长期稳定和高效运行,有效的维护与预防策略至关重要。定期维护检查包括评估轴承、密封、叶轮等关键部件的磨损,进行润滑、紧固件调整或更换磨损零件,以减少因零部件问题引起的振动。动平衡测试应定期进行,确保设备旋转部件的平衡性,避免不合理的振动。优化运行参数,根据设备工作环境调整流量、压力和速度,并避免频繁负荷变化和突然启停,可降低设备振动。采用高质量材料和先进制造工艺,强化设备结构和动态平衡,有助于减少潜在振动问题。加强操作人员培训,熟练掌握操作规程和维护方法,提高设备运行可靠性和安全性。引入现代化振动监测与诊断系统,如在线振动监测和智能诊断软件,实时监控设备振动状态,提前诊断潜在故障,有针对性地进行维护,有效预防振动故障。

## 6 结语

离心压缩机的振动故障对其运行稳定性和生产效率有着直接影响。本文详细探讨了离心压缩机的振动特性、故障诊断及处理策略。深入理解和有效应对这些振动问题,对确保设备安全、稳定运行至关重要。通过本文的探讨,目的是为工程师和技术人员提供实用的指导,推动离心压缩机技术的持续进步和广泛应用。

### [参考文献]

- [1]程鹏达.大型离心压缩机组振动故障诊断与处理分析[J].中国设备工程,2021(23):186-187.
  - [2]刘金旭,齐晋苗,吕文浩.离心压缩机组振动故障机理、辨识与处理对策[J].内燃机与配件,2020(16):148-149.
  - [3]徐世博.离心压缩机振动故障的分析和处理[J].化工管理,2023(30):126-128.
- 作者简介:丁锦鸿(1991.9—),毕业院校:南京航空航天大学,所学专业:机械工程及自动化,当前工作单位:沈阳透平机械股份有限公司,职务:工艺员,职称级别:工程师。