

## 氧化空气压缩机组不对中故障机理分析及验证思路

牛广原

沈鼓集团股份有限公司, 辽宁 沈阳 110869

**[摘要]**某氧化空气压缩机组在运行过程中出现压缩机高速轴振动持续缓慢上涨的现象。文中通过现场调试机组运行状态,系统分析在线监测数据,结合频谱特征、轴心轨迹和相位变化等多维度信息,深入探究故障根源。研究采用逐步排除法,首先排除高速轴转子动平衡、轴承磨损和齿轮损伤等常见故障,最终锁定联轴器不对中问题。通过详实的案例分析,阐述了故障诊断的系统性思路和科学方法,为同类设备的故障诊断与预防提供了重要参考。

**[关键词]**故障诊断; 振动分析; 转子动平衡; 不对中; 轴心轨迹; 频谱特征; 氧化空气压缩机

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17181

中图分类号: TP277

文献标识码: A

### Mechanism Analysis and Verification Ideas for Misalignment Fault of Oxidation Air Compressor Unit

NIU Guangyuan

Shengtu Group Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110869, China

**Abstract:** During the operation of a certain oxidation air compressor unit, the high-speed shaft vibration of the compressor continued to slowly increase. Through on-site debugging of the unit's operating status, system analysis of online monitoring data, and the combination of multi-dimensional information such as spectrum characteristics, axis trajectory, and phase changes, the root cause of the fault is deeply explored in the article. The study adopts a gradual elimination method, first eliminating common faults such as high-speed shaft rotor dynamic balance, bearing wear, and gear damage, and finally locking the problem of coupling misalignment. Through detailed case analysis, the systematic thinking and scientific methods of fault diagnosis are elaborated, providing important references for fault diagnosis and prevention of similar equipment.

**Keywords:** fault diagnosis; vibration analysis; rotor dynamic balance; not right; axis trajectory; spectral characteristics; oxidation air compressor

#### 引言

氧化空气压缩机作为化工生产中的关键设备,其运行稳定性直接影响生产效率和设备安全。在实际运行中,由于安装误差、基础沉降或部件磨损等原因,常会出现轴系不对中故障。本文以某化工厂氧化空气压缩机为研究对象,针对其压缩机高速轴振动异常问题,开展系统的故障诊断分析。通过详实的监测数据和专业的分析方法,揭示了故障产生的机理,并提出了有效的解决方案。

#### 1 设备案例

##### 1.1 系统组成

化工苯酚丙酮装置中的氧化空气压缩机组通常采用多单元联动设计,包括驱动电机、增速齿轮箱、离心式多轴压缩机等。机组带有两个级间冷却器、一个末级冷却器的组装型整体齿轮增速离心式空气压缩机。压缩机由电机来驱动,并通过大齿轮轴端的膜片联轴器与电机相联接。压缩机本体及电机安装在公用底座上、气体冷却器及油站单独布置,齿轮箱和冷却器容器是焊接结构,蜗壳为铸件。调节功能,当出现转速异常升高时,电机自动脱扣实现机组紧急停机。

##### 1.2 异常表现

2019年4月起,该机组主传动轴段开始出现振动幅度渐进性攀升现象,其中靠近驱动机侧的监测点1V1X与

1V1Y振幅值增长趋势尤为显著。振动数据呈现两个特征:一是以约 $10\mu\text{m}/\text{月}$ 的速率持续上升,二是伴随明显的波动性变化。截至9月检修前,空压机靠近驱动机侧的两个监测点1V1X与1V1Y的振动峰值已升至 $60\mu\text{m}$ ,并且振幅之波动最大差值超过了 $10\mu\text{m}$ ,总体振动峰值接近压缩机高速轴振动报警阈值。值得注意的是,同期低速轴各振动测点的振动数据保持稳定,未出现明显波动。压缩机高速轴振动变化趋势详见附图1。

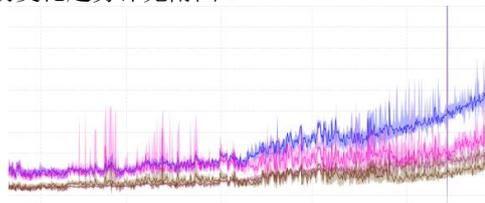


图1 压缩机高速轴振动趋势

##### 1.3 运行期间的基础性调试现象观察

###### 1.3.1 调节机组转速观察机组振动现象

在机组振动持续缓慢上涨的过程中,曾尝试在工作转速下,将机组缓慢降低 $1000\text{rpm}$ ,转速降低至设定转速值后,振动仍缓慢持续上涨,空压机靠近驱动机侧的两个监测点1V1X与1V1Y分别的对应的振幅值随机组转速降低有小幅

下降,但是整体仍有上涨趋势,上涨速率并无明显变化。

在机组转速降低 1000rpm 并持续运行一周后,将机组转速提升至工作转速,空压机靠近驱动机侧的两个监测点 1V1X 与 1V1Y 的振幅值有明显提升迹象,1V1X 振幅 28 $\mu\text{m}$  短时间提升至 37 $\mu\text{m}$ ,1V1Y 振幅由 30 $\mu\text{m}$  短时间提升至 39 $\mu\text{m}$ ,但几小时后机组靠近驱动机侧的两个监测点 1V1X 与 1V1Y 的振幅值开始缓慢下降,逐渐将至 30 $\mu\text{m}$  左右,1V1X 与 1V1Y 振幅值再次开始持续缓慢上涨。相比两个转速下,机组的故障现象与趋势有着一定的重复性,高速轴的动平衡状态很可能已经产生了变化。

### 1.3.2 调节机组轴承的进油温度及进油压力

机组支撑轴承的工程供油压力设计值为,0.08~0.12MpaG,设计流量范围为 20~45L/min,在机组其他条件不变的情况下,尝试调低机组支撑轴承的供油压力至设计允许值下限 0.08MpaG,流量约 25L/min,靠近驱动机侧的两个监测点 1V1X 与 1V1Y 振幅值仍然无明显变化,后续也尝试将轴承供油量提升至设计上限值,但 1V1X 与 1V1Y 振幅值仅有小幅下降,表现十分不明显。轴承温度始终稳定可控,机组各轴承测点温度均在 60~80 $^{\circ}\text{C}$  之间,可基本判断轴瓦运行情况十分良好,机组润滑油供油的进回油路通畅无堵塞。

### 1.3.3 测量机组壳振数据

机组运行后期即将检修前,使用手持测振仪,对氧化空压机以及驱动电机各支撑处测量了壳振数据,其测量数据差异十分明显,氧化空压机及驱动电机都为靠近联轴器测振动数据较大,分别为 3.5mm/s 与 2.8mm/s,以产品联轴器为中心,双向向两侧延伸,壳体的振动数据呈现减弱趋势,空压机及驱动电机靠近两联轴器侧的壳振数据依次是 2.6mm/s 与 1.9mm/s,而空压机及驱动电机两侧盲端的壳振动数据最小,依次是 0.6mm/s 与 0.2mm/s。为充分排查机组外围故障,使用塞尺实际测量了空压机及驱动电机各支撑处配合面的间隙情况,整体测量间隙均符合设计标准要求,排除了联轴器附近基础支撑刚性不足导致的问题。

## 1.4 故障分析

氧化空气压缩机机组结构相对简单,在正常运行工况下,维持机组转速不变的情况下,其振动趋势通常较为平稳。若出现振动持续上升并伴有明显波动的情况,可能由以下因素导致:

### 1.4.1 支撑轴承磨损导致刚度下降

轴承磨损通常会导致轴承间隙增大,降低支撑刚度,进而引发振动上升。此类故障的一个典型特征是振动传感器的 GAP 电压(间隙电压)持续升高。然而,通过对比检修前后的监测数据,压缩机齿轮箱高速轴和低速轴各通道的 GAP 电压均未出现明显变化。因此,可以排除轴承磨损的可能性,振动上涨并非由轴承支撑问题引起。

### 1.4.2 齿轮啮合不良(如轮齿损伤或断裂)

本氧化空压压缩机为齿轮式离心压缩机,齿轮箱的主

要功能是调整转速并传递扭矩。在氧化空气压缩机机组运行过程中,转速通常保持稳定,负荷波动较小。此外,随着制造工艺的提升,齿轮损伤类故障已较为罕见。通过对振动波形进行分析,发现各通道信号呈现良好的正弦波形态,重复性高,且未出现周期性冲击特征(见图 2)。因此,可以排除齿轮啮合不良或齿面损伤的可能性。

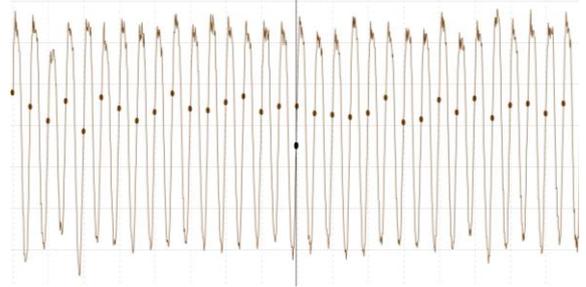


图 2 压缩机齿轮箱高速轴波形频谱示意图

### 1.4.3 轴系平衡状态异常引发的振动增长

作为刚性转子结构的齿轮箱传动轴,在出厂动平衡达标的情况下,运行期间通常不会出现显著的平衡性问题。然而,当关联设备(如联轴器)存在对中偏差、膜片组断裂或结构性损伤时,可能呈现渐进式的转子不平衡特征。

振动频谱分析显示,压缩机齿轮箱高速轴各测点的振动增长主要表现为工频(1X)分量幅值的持续上升(图 3),同时伴随工频相位的规律性漂移(图 4)。值得注意的是,同期相连的主驱动机电工频振动却呈现缓降趋势。这种反向变化特征明确表明,该轴系的动态平衡状态已发生实质性改变,符合联轴器异常或转子系统失衡的典型故障模式。

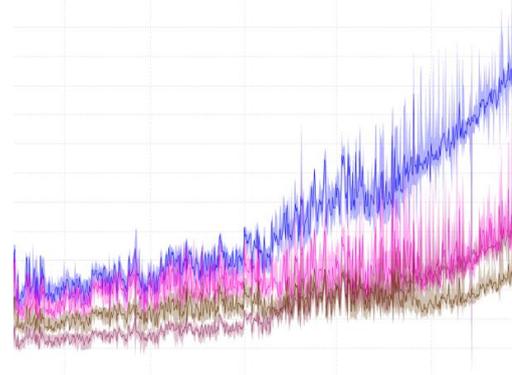


图 3 高速轴 1X 幅值趋势图

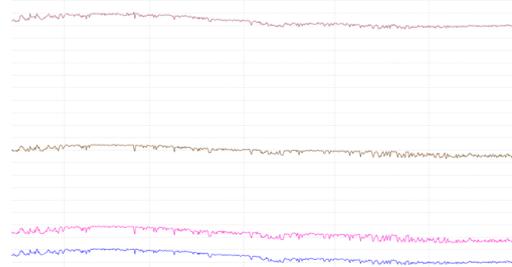


图 4 压缩机齿轮箱高速轴 1X 相位趋势图

#### 1.4.4 轴系对中不良的振动特征分析

通过对主驱动机振动频谱的深入检测,发现与齿轮箱连接端的两个测点呈现显著的二倍频(2X)振动特征,其幅值甚至超过工频(1X)成分(详见附图5)。与此同时,压缩机齿轮箱高速轴连接端的轴心轨迹分析显示典型的非线性运动形态——一端呈现“香蕉型”轨迹,另一端则表现为“8字形”特征(见附图6、7)。这种频谱特征与轨迹形态的组合,是轴系对中不良的典型诊断依据,表明机组在运行过程中存在明显的联轴器对中偏差问题。

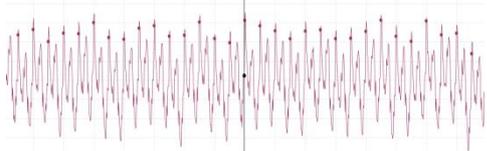


图5 驱动侧侧波形频谱图

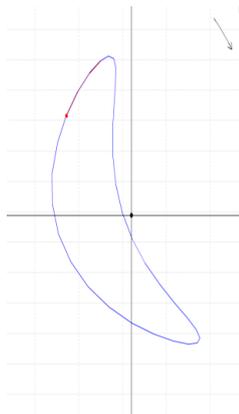


图6 压缩机齿轮箱高速轴轴心轨迹图

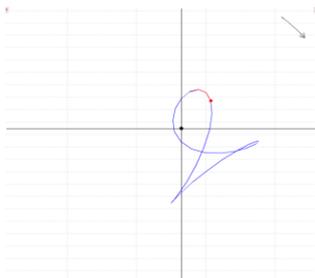


图7 驱动端轴心轨迹图

#### 1.5 检修处理过程

2021年1月上旬,机组按计划停机检修。经拆检发现,首先机组转定子间没有明显的刮碰迹象,各处机械密封以及油封都未与转子主轴发生刮碰,机组的各级叶轮也均运行良好,复检各处装配间隙都在设计间隙范围内,各级转子两侧支撑轴颈外观质量良好,润滑油供油油路通畅无堵塞,但在检查机组联轴器时,发现了压缩机齿轮箱高速轴与主驱动机之间的联轴器膜片存在明显的疲劳断裂损伤(具体损伤形貌见图8)。进一步测量轴系对中数据,

结果显示实际对中偏差远超设计允许范围。这一发现验证了前期振动分析中关于对中不良的判断,膜片断裂正是导致振动持续上升的根本原因。

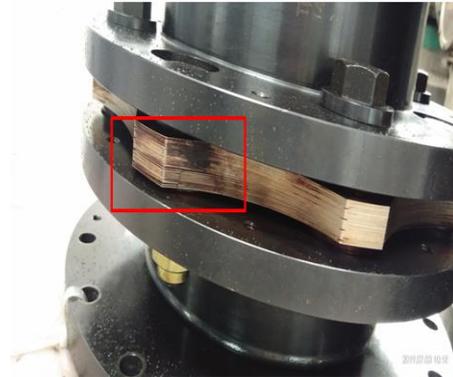


图8 联轴器图状态

#### 1.6 结论与启示

本案例通过系统的故障分析,为类似问题的诊断提供了清晰的解决路径:首先基于在线监测数据,排除了齿轮箱自身故障的可能性;随后通过对压缩机齿轮箱高速轴频谱、轴心轨迹、相位特征以及主驱动机连接端的振动特性进行综合分析,最终确认故障根源为轴系不平衡问题。实际检修发现,压缩机齿轮箱高速轴与驱动机的对中偏差导致联轴器膜片长期承受异常扭转应力,进而引发膜片塑性变形和疲劳损伤,表现为典型的轴系不平衡特征,这正是压缩机齿轮箱高速轴振动持续升高的根本原因。本案例所采用的诊断逻辑和分析方法——从振动特征识别到故障机理验证的系统性流程,不仅成功解决了本次故障,更为同类压缩机设备对中不良问题的分析处理提供了可复用的技术范本,具有重要的机组工程运行指导价值。

#### [参考文献]

- [1]张玲,王宏岩.大型机组不对中故障的正确诊断方法[J].石油和化工设备,2013,16(9):64-66.
- [2]刘成俊,杨泽林.离心压缩机动态不对中故障诊断[J].风机技术,1995,11(2):36-38.
- [3]郭用坚.旋转机械几种常见故障的分析[J].化工自动化及仪表,1993,11(1):22-26.
- [4]汪磊,苏军会,罗文.汽轮发电机组联轴器不对中振动分析与诊断[J].节能,2020,39(3):14-16.
- [5]张祖德,王玉强.旋转机械转子不对中的故障诊断[J].特钢技术,2010,16(4):56-59.

作者简介:牛广原(1988.6—),毕业院校:辽宁工业大学,所学专业:机械设计制造及其自动化,当前就职单位:沈鼓集团股份有限公司,职务:项目经理,职称级别:工程师。