

海洋石油设施离心式压缩机主轴弯曲修复方法研究及应用

刘 超

中海油能源发展股份有限公司 天津 300452

摘要: 对海洋石油117高压离心式天然气压缩机转子故障诊断方法进行了概述,从转子设计、介质工况、日常维护等方面对主轴弯曲原因进行了分析,然后对主轴弯曲修复方法、选材进行了论证,完成了级间密封优化改造,分析及修复方法为后续类似机组转子维修提供借鉴。

关键词: 离心式压缩机; 主轴弯曲修复; 部件结构优化改造

离心式压缩机因其转速范围宽、结构紧凑、排气平稳、没有气流脉冲、结构简单等优点,在天然气集输、为燃气发动机提供增压燃料气等方面得到广泛应用。本文通过一台离心式压缩机主轴弯曲故障诊断及分析案例,研究适用于海洋石油设施离心式压缩机主轴弯曲修复方法,以及相关零部件优化设计方法,为后续同种类型故障处理方案制定提供借鉴。

1 离心式压缩机转子故障诊断

海洋石油117设施一台高压离心式天然气压缩机达到检修年限后,发生密封泄漏、效率降低,频繁出现喘振现象,返回陆地进行维修。

(1) 离心式压缩机转子几何精度检查: 首先将压缩机转子拆离内缸并清洗,检查转子轴端密封、级间密封、轴颈等关键部位磨损及腐蚀情况,发现转子与级间密封接触处存在划痕。对转子径向跳动、轴向跳动几何精度进行检查,了解转子整体状况。(2) 转子径向跳动精度检查: 对转子轴颈、密封、叶轮等36处关键部位从四个方向(0、90、180、270度)进行径向跳动精度检查。(3) 转子轴向跳动精度检查: 对转子叶轮端面等关键部位进行轴向跳动精度检查。经上述检查发现: 转子若干部位几何精度较差,需要对转子进行拆卸,然后对主轴、叶轮等关键零部件进一步检查,确定故障部件,制定相应修复方法^[1-2]。(4) 主轴径向跳动精度检查: 对主轴21处关键部位从四个方向(0、90、180、270度)进行径向跳动精度检查。(5) 主轴尺寸检查: 对主轴关键轴颈部位尺寸进行检查。(6) 叶轮尺寸检查: 参照转子轴向跳动测点,对叶轮相关部位跳动、孔径进行测量检查。通过对检查结果分析发现: 1) 主轴发生弯曲,弯曲状态为中间位置弯曲较大,并向两端逐渐减小,弯曲方向基本相同,但局部有不规则弯曲。2) 叶轮内孔存在较明显变形,需要进行修孔,相应主轴轴颈位置根据叶轮修孔情况进行修复; 叶轮轮盘侧级间密封处跳动超差,需要对相关叶轮部位进行修正。

2 离心式压缩机主轴弯曲原因分析

2.1 转子模型分析

首先建立转子有限元模型: 从低压侧向高压侧进行分解,模型由68个单元,69个节点组成,三维有限元模型如图

1所示^[3]。

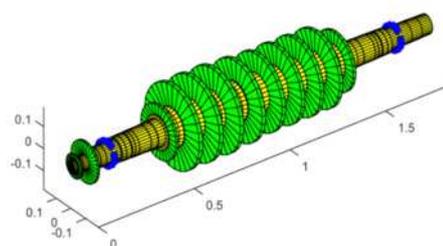


图1 转子有限元模型

通过测量可得各单元数据,通过这个单元数据计算转子各节点集中质量数据。

2.2 转子静载计算

经测量、计算,转子总长1855mm;重心距左端913.57mm;转子重量344kg;轴承载荷 $W_1=1729.47N$;轴承载荷 $W_2=1644.05N$;轴承跨距1495mm;额定工作转速13679RPM;运行转速范围10258-14362RPM。一阶不平衡量 $U=6350 \times (W_1+W_2)/N/1000=1.57kg \cdot mm$,二阶不平衡量 $U_1=6350 \times W_1/N/1000=0.80kg \cdot mm$; $U_2=6350 \times W_2/N/1000=0.77kg \cdot mm$ 。

2.3 轴瓦分析

根据轴颈尺寸、轴瓦宽度、润滑油类型、进油温度、瓦块厚度、巴氏合金厚度、轴颈材料等就基本参数建立轴承模型,如图2所示。

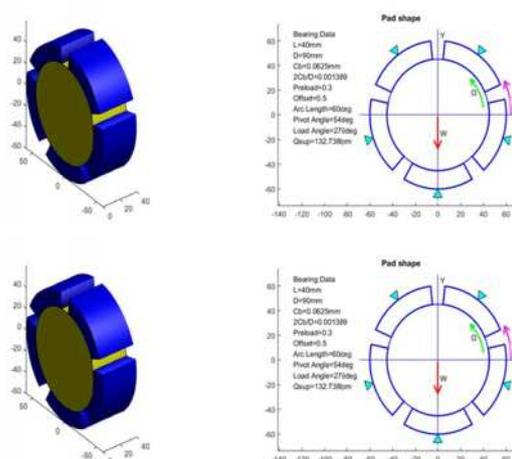


图2 左、右可倾轴瓦模型

经模拟分析, 确定机组处于额定工况下可倾轴瓦压力分布、温度变化、功率损耗均满足使用要求。

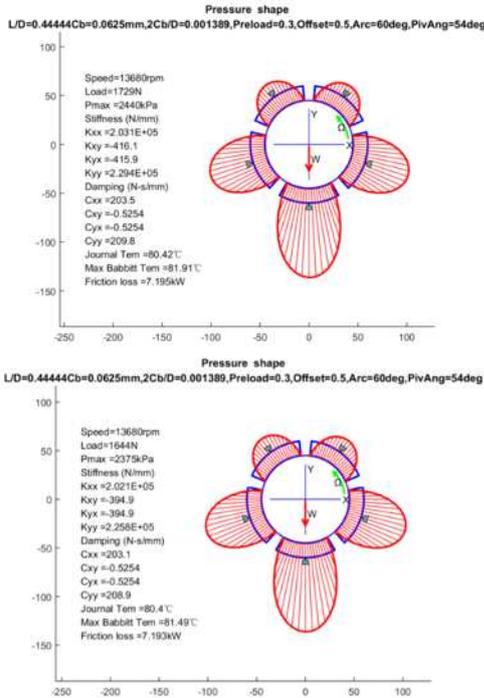


图3 左、右可倾轴瓦压力分布

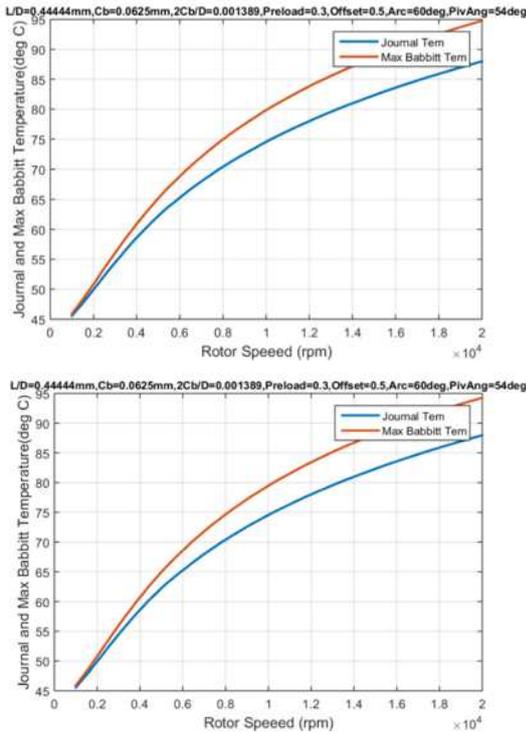


图4 左、右可倾轴瓦温度变化趋势

2.4 转子模态分析

通过1/2阶转子刚性模态、2阶转子阻尼模态、2阶转子扭转模态等动力学计算分析, 确定转子动力学满足API617设计要求。经比较发现: 主轴弯曲的部位与转子1阶临界最大弯曲部位相重合, 结合机组运转工况, 分析主轴弯曲原

因: 转子属高速旋转, 细小的不平衡量便会影响转子的稳定运行, 易造成级间密封与转子发生过度摩擦, 此项推断已通过密封及转子接触部位磨损情况得到验证; 该机组转子平衡盘为蜂窝结构式密封, 该形式的结构密封具有密封性好、抑振性好等优点, 但伴随着摩擦时接触面大, 发热量高, 且不易扩散等缺点, 积聚的摩擦热使得转子相关部位产生热变形, 即造成主轴弯曲。

3 主轴弯曲修复方法

主轴弯曲修复方法一般为: 直轴处理和更换主轴。其中直轴处理为对主轴弯曲部位进行冷压和热压处理, 优点是维修成本低, 缺点是操作难度大、成功率低, 易发生二次弯曲; 更换主轴为重新加工主轴, 缺点是维修成本较高, 优点是质量保证度高。此次主轴修复方法采用更换主轴的策略, 在选材方面: 由于天然气中含有H₂S, 摩尔百分数为0.15%, 最大工作压力为5617KPa, H₂S分压为5617×0.15%=8.4255KPa, 根据API标准, H₂S分压超过0.3KPa时, 材料屈服强度不超过620N/mm², 硬度不超过Rc22, 主轴材料应选择镍铬钼钢。原主轴材料为AISI4340, 此次选用与原材料化学成分及价格相近的34CrNi3Mo, 机械性能优于原材料, 更适于油气田介质和工况。

4 压缩机级间气封结构优化改造

由于机组原平衡盘密封为蜂窝结构, 摩擦时接触面大, 发热量高, 即造成主轴弯曲等故障发生。本次维修对级间气封结构进行优化, 更改为梳齿结构, 梳齿密封在保证密封性能的同时能减少摩擦面积及摩擦热的产生, 有效降低主轴弯曲故障率。

通过对离心式天然气压缩机转子故障诊断方法研究, 研究了一套适用于海洋石油设施离心式压缩机主轴弯曲修复方法, 维修改造后的机组现场运转情况良好: 机组振动噪声、轴承温度等参数均优于维修前, 达到验收标准; 同时密封等零部件的优化改造使泄露等问题得以消除。离心式压缩机主轴弯曲故障诊断和分析, 以及相关零部件优化设计方法, 为后续同种类型故障处理方案制定提供借鉴。

参考文献:

- [1]马国军,高俊福,郭峰,谭鑫,吴承伟.压缩机主轴-叶轮摩擦性能及过盈装配主轴弯曲变形研究[J].大连理工大学学报,2015,(6).
- [2]门显锋.离心式鼓风机损坏原因分析及改进措施[J].广州化工,2012,(11).
- [3]王秀瑾,李汪繁,王卫国.高炉煤气余压透平转子弯曲振动模态分析研究[J].发电设备,2012,(4).

作者简介: 刘超, 1988年8月, 男, 汉族, 机械工程师, 河北省衡水市, 硕士研究生, 从事海洋石油设施动设备完整性管理工作。