

关于离心式压缩机振动值超标的原因分析及处理

Analysis and Treatment of the Causes of Excessive Vibration Values of Centrifugal Compressors

曹海江

Haijiang Cao

新疆八一钢铁有限公司 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

Xinjiang Bayi Steel Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

摘要: 论文针对某国产 5000kW 电驱离心式氮气压缩机组启动困难, 启动失败后, 每次解体检查均发现三四级支撑轴承(可倾瓦轴承)存在异常磨损的情况, 论述了通过改变了原来的启动方式, 对三四级轴承进行了改造, 改变机组的润滑油温度等措施, 解决了机组启动困难, 投入生产后三四级轴振周期性波动、振动超标的问题, 并对机组产生这些问题的原因进行了分析说明。

Abstract: This paper focuses on the difficulty in starting a domestic 5000 kW electric drive centrifugal nitrogen compressor unit. After failing to start, ar and tear of the three and four stage support bearings (tilting pad abnormal we bearings) were found during each overhaul. It discusses the modification of the three and four stage bearings by changing the original starting method, changing the lubrication oil temperature of the unit, and other measures to solve the difficulty in starting the unit. After being put into production, the problem of the periodic fluctuations of the three and four stage shaft vibration, excessive vibration were discussed, as well as the reasons for these problems in the unit has been analyzed and explained.

关键词: 离心式压缩机; 共振; 气流扰动; 可倾瓦轴承; 润滑油温度

Keywords: centrifugal compressor; resonance; air flow disturbance; tilting pad bearings; lubricating oil temperature

DOI: 10.12346/etr.v5i6.8234

1 引言

离心式压缩机是一种提高气体压力和输送气体且气体在压缩机中主要沿着径向流动的透平式压缩机, 其转速高、功率大、效率高, 常用于冶金、能源、石油、化工等工业生产的各个领域。在实际生产应用过程中, 由于受到制造缺陷、操作与维护、介质参数变化、磨损、疲劳等各种因素的影响, 难免会发生各种故障, 运行时振动超出设计值是离心式压缩机运行中常见的故障类型之一。离心式压缩机转速高, 振动过大时, 会直接引起机器零部件损坏, 降低运行周期, 影响机组使用寿命, 不及时进行分析处理, 将会危害设备安全、工作人员的人身安全, 造成较大的经济的损失。因此, 针对离心式压缩机振动故障的分析与处理, 对于促进离心式压缩机的安全稳定运行具有极其重要的意义。

2 机组结构简介

压缩机组为长沙赛尔透平机械有限公司生产的 6GH56 型氮气压缩机组。本机组为整体齿轮型离心式压缩机, 由主电机、压缩机、气体冷却器、润滑系统、水管路、气管路及相关仪控设备组成。主电机采用上海电机厂有限公司生产的异步驱动电机, 它与大齿轮轴用膜片式联轴器相连接, 功率为 5000kW, 转速为 2985r/min。压缩机的排气流量为 30000Nm³/h, 排气压力为 2.5MPa。

压缩机主机由进气导叶装置、蜗壳、大齿轮轴、3 根转子、上下箱体、支撑及推力轴承、密封组件等组成。转子 I 和转子 II 与大齿轮轴轴向中心线在同一水平面, 转子 III 位于大齿轮轴斜上方, 均与大齿轮轴平行布置(如图 1 所示)。3 根转子为压缩机的高速旋转部件, 转速分别为 10800/16500/24600r/min, 每根转子由 2 个叶轮、小齿轮、

【作者简介】曹海江(1976-), 男, 中国新疆乌鲁木齐人, 本科, 工程师, 从事设备管理与维护研究。

联接螺栓等零部件组成(如图2所示)。

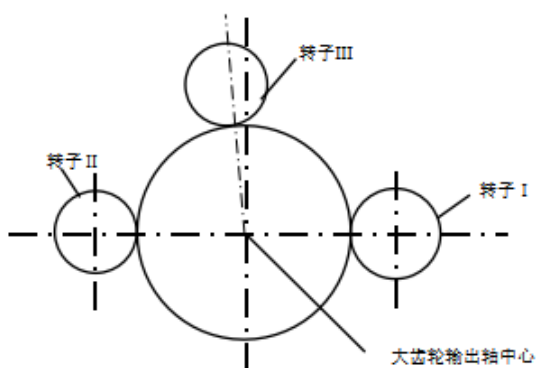


图1 各转子相对位置示意图

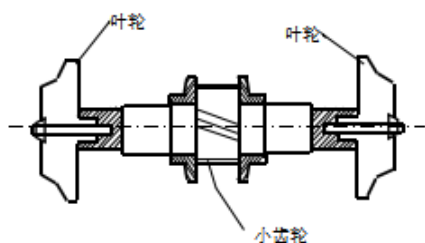


图2 转子示意图

压缩机为一体封闭式结构,同一转子上的两个叶轮位于不同的蜗壳内且为串联关系,转速相同,出口的气体压力不同,六级叶轮之间等温压缩。被压缩的气体从进气导叶装置进入第一级叶轮,经高速旋转的叶轮压缩后压力升高,并以较高流速进入扩压器,在扩压器中气体流速降低,压力进一步升高,最后由蜗壳汇集,经排气管至气体冷却器冷却后,再进入下一级叶轮压缩。

机组大齿轮轴的径向轴承采用剖分式滑动轴承,3根高速转子的径向轴承采用可倾瓦轴承最少由3块弧形瓦块组成,常见瓦块数为3、4、5块。每块瓦的瓦背弧与轴承座内径为线接触,在运转时能够随转子负载的变化而自由摆动,增加了轴承的挠性,具有能够承受各个方向的径向负载的能力和良好抑震作用;每块瓦分别在轴颈周围形成独立油楔且作用在轴径上的各油膜压力总是通过轴颈中心,消除了引起轴径涡动的失稳力,具有旋转精度高,稳定性好的特点。此外,还具有检修方便、瓦块互换性强的优点。可倾瓦轴承在现代大功率、高转速机器设备上采用的越来越广泛。该压缩机组可倾瓦轴承由5个瓦块均匀分布在轴承体的槽内,用专用的螺钉进行定位。轴承体沿水平中分面分为上、下两半,用定位销进行定位、螺钉紧固构成整体。

3 机组检修及开机运行情况

该机组启动过程中振动大,开机困难,2022年2月底,

完成对此机的第一次维修,维修内容为:三四级转子动平衡校验;更换三四级轴承;更换三四级轮盖密封;更换三四级气封;更换三四级油封。检修结束3月1日下午开机,第一次启动时,由于检查疏忽,没有发现进口导叶定位器异常,导叶开度显示为5%,实际启动时处于全开状态,带负荷启动导致了过载脱扣跳停。第二次打开放空阀对室外放空,启动时进口导叶依然处于全开状态。成功启动,各级振动值在正常范围。最高值为 $25\mu\text{m}$,平稳运行到3月2日上午11:00左右,手动停机。3月2日下午,维修好进口导叶定位器,按照厂家使用说明书上要求^[1]开启压缩机进口送气阀;进口导叶(5%~10%);压缩机旁通阀全开;压缩机放空阀关闭,轻负荷启动,启动失败。失败原因为三四级振动超高。解体检查发现三四级轴承巴氏合金面磨损严重,三四级气封和油封磨损严重,三四级轮盖密封有磨损痕迹。后续又对该机组进行了2次的维修,更换了三四级轴承及相关的部件,每次检修结束按照上述厂家使用说明书上的要求开机试车,均启动失败。拆机检查每次仍是上述问题。

通过上述的开机与检修情况,现场决定对该机组全面复核各转子动平衡,各级齿轮的齿向、齿形、齿接触,对中,轴瓦以及与机组相连的进排气管道等所有安装数据并进行调整,另外委托专业厂家增加三四级轴承的承受载荷能力。2022年7月8日该机组检修结束开机试运,启动依然失败,失败原因仍为三四级振动超高。拆机检查发现三四级轴瓦磨损严重,三四级油封磨损严重,轮盖密封正常。7月14日,再次更换三四级轴瓦,并调整好安装数据。7月15日,鉴于上述的带负荷启动成的经验决定按带负荷模式启动,启动前进口导叶开度30%,回流阀全开,放空阀全关,液阻柜脱离后,迅速开大进口导叶开度到40%。启动依然失败,失败原因仍为三四级振动超高。经研究决定第二次启动,启动程序为进口导叶开度30%,回流全开,放空全关,启动过程中不再加大进口导叶开度,以保证启动过程气流稳定,启动成功。启动后四级振动波动较大,最高值达到 $48\mu\text{m}$,但小于报警值 $50\mu\text{m}$,20分钟后,慢慢降低,稳定在 $25\mu\text{m}$ 和 $48\mu\text{m}$ 之间。随后,逐渐加大进口导叶开度,关小回流阀,机组运行数据在正常范围,投入运行。

在投产运行期间该机组四级振动始终在 $30\mu\text{m}$ 到 $53\mu\text{m}$ 之间波动,多次出现振动高报警的情况。通过在线监测数据,发现油温的细微波动对该级轴承的振动有直接影响(如图3所示),表现为温度升高,振动下降;温度降低,振动升高。研究决定提高该机组的润滑油温度,经过多次试验最终将润滑油供油温度从 42°C 左右提高到 48°C 左右,该机组四级振动稳定在 $25\mu\text{m}$ 左右,轴承温度 56°C 左右。提高油温后该机组各轴承的温度上升了 6°C 左右,完全满足压缩机正常运行要求,振动基本没有变化,整台机组运行状态良好。

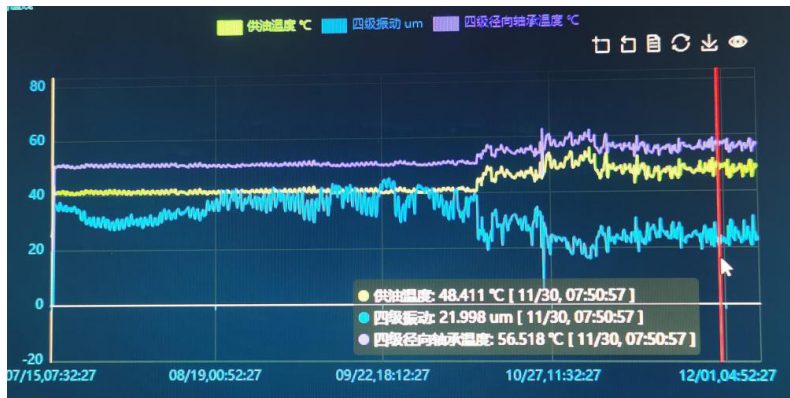


图3 四级轴承振动、轴承温度与进油温度的曲线

4 原因分析及处理

某些旋转机械在启动升速过程中，当运转到某个（或某些）转速时，就会出现振动快速增加，但超过这个转速值（或范围）振动又会快速降低的现象。有些机械严重时在工作转速下也可能产生非常剧烈的振动。这些现象有可能是转子运行在临界转速下的旋转频率与机器上的零部件固有频率（又叫作自振频率）重合叠加发生共振所导致的。机器设备上的每个零部件都有固有频率。当机器运转产生的频率等于固有频率时，就发生共振。通过对整个的处理过程分析，本例中机组启动时振动大、无法启动的主要原因是在启动过程中产生了共振。本机组三四级高速轴的工作转速为16500r/min，该高速轴的临界转速为 $ncr_1=10939r/min$ ， $ncr_2=12742r/min$ ， $ncr_3=23648r/min$ ，达到工作转速要过一、二阶临界转速，发生两次共振。在启动升速的过程中无法快速地避开共振区，发生了共振。

本机组为离心压缩机，它在运行过程中会受到气动干扰力的影响。气动干扰力可能来自多方面，它不仅包括叶片差异引起的干扰力，还包括轮盘和轮罩的晃动干扰、反馈气流的干扰力和壳内压力分布差异的影响。机组启动过程的气流不稳定，共振与气流不稳同时存在，也进一步加剧了振动。通过优化开机流程，将进口到导叶由5%改为30%，启动过程不再加载确保气流稳定，较大的进气量也同时抑制了转子的共振幅度，为后续的开机创造了良好的条件。

每次启动在较短的时间内三四级轴承均出现了较为严重磨损，产生此问题的原因为三四级轴承不能承受转子共振产生的附加载荷，油膜破裂，无法形成良好的液体润滑，在较高的转速下发生磨损。这也进一步验证了每次检修结束启动一次后，后续的启动振动更加剧烈的原因是启动后三四级轴瓦在第一次启动时就已经损坏，轴承损坏更加加剧了三四级转子的轴振而无法开机。这也验证了瓦块磨损等各种形式的损坏是导致振动的主要原因^[2]。由于改变转子临界转速，需要从改变整个转子的重量、结构、转速、附属件性能等入手，难以落实。决定增加该处轴承宽径比，提高轴承承载能力。在确保轴承外形尺寸保持不变的前提条件下，将的瓦块宽度

由原来的55mm增加到80mm，宽径比增加了1.5倍左右，通过后续的运行验证，状态良好。

机组在启动成功，投入生产以后三四级转子振动值波动是由于此处轴承宽径比增大后，在其他条件基本不变的情况下油膜增厚，转子不稳定所引起的。轴承宽径比的大小，直接影响轴承性能。直径相同的滑动轴承宽径比越小，从轴承两端流失油越多，油膜压力下降明显，这会显著降低轴承的承载能力。宽径比增加，油从轴承两端流失变少，油膜压力上升，厚度增加，承载能力变大。但是油膜厚度的增加同时也会减少轴颈在轴承内的偏心率，降低轴承刚度、阻尼，直接影响滑动轴承的稳定性，造成转子的失稳。同等条件下，润滑油的粘度是影响油膜厚度的重要原因之一，润滑油的油温高低决定了运动粘度的变化趋势，油温升高，油的粘度值降低，而油膜厚度随着润滑油温度的升高将同步变小，所以进油温度对可倾瓦油膜特性影响较大^[3]。现场采用减少冷却水量来提高润滑油温度同时降低了的粘度，减小了油膜的厚度来提高该机组可倾瓦轴承-转子系统的稳定性^[4]，消除了振动波动问题。

5 结语

引起离心式压缩机振动的原因很多，振动现象相同，引起振动的原因不一定相同。要针对可能造成这一现象的原因逐一排查、分析，找到引起振动的直接原因，并及时采取相应的处理措施。分析过程中要结合调试，运行，检修中机组表现出来的各项参数以及状态来进行，才能取得事半功倍的效果。

参考文献

- [1] 长沙赛尔透平机械有限公司.6GH56型氮气压缩机安装试车说明书[Z].2013:14-15.
- [2] 郭玉杰.可倾瓦轴承损伤的振动特征及诊断[J].轴承,2010(1):38-42.
- [3] 张艾萍,李刚,党翠.运转参数对可倾瓦轴承油膜特性的影响[J].润滑与密封,2014,39(2):86-88.
- [4] 沈轶帆,王春光,金健.可倾瓦轴承参数及工作参数对转子系统振动性能的影响[J].轴承,2014(1):25.