

Analysis and Treatment of Abnormal Vibration Causes of High Pressure Cylinder in Air Compressor Units

Chaoneng Li Ping Chen Quanming Shuai

Equipment Operation and Maintenance Center of Yunnan Shuifu Yuntianhua Co., Ltd., Shuifu, Yunnan, 657800, China

Abstract

There are many factors that can cause abnormal vibration of the unit, which are often difficult to verify and clarify. If not resolved in a timely manner, it may develop into a major equipment accident. During the overhaul of a certain company's ammonia synthesis unit, the air compressor unit underwent a routine overhaul. After the overhaul was completed, the high-pressure cylinder vibration was abnormal during the unit's testing and operation, and the amplitude values of the four channels monitored for vibration suddenly increased significantly. This paper analyzes the phenomenon of vibration changes from the principle of rotor imbalance and vibration related knowledge; Analyze the abnormal phenomenon of process parameters from the principle of axial force balance in compressors; Perform force analysis based on the structure of the high-pressure cylinder balance device. On the basis of cause analysis, handling measures were proposed, and the abnormal vibration was eliminated after the implementation of the handling plan, which effectively solved the actual problem. I hope that the analysis and handling of this case can provide reference and guidance for similar equipment failures.

Keywords

compressor; vibration; high pressure cylinder; balance disk; axial force

空压机组高压缸振动异常原因分析及处理

李超能 陈平 帅全明

云南水富云天化有限公司装备运维中心, 中国·云南水富 657800

摘要

机组异常振动的引起因素众多, 往往难以查证明确, 如果得不到及时解决, 有可能发展成大的设备事故。某公司合成氨装置大修期间空压机组常规大修, 大修完成后机组试车、开车过程中高压缸振动异常, 监测振动的四个通道振幅值突然大幅上升, 论文根据振动变化的现象从转子不平衡原理、振动相关知识进行了分析; 从压缩机轴向力平衡原理分析工艺参数异常现象; 根据高压缸平衡装置的结构进行受力分析。在原因分析的基础上提出了处理措施, 处理方案实施后异常振动得到消除, 较好地解决了实际问题。希望通过本案例的分析及处理能够对类似设备故障起到借鉴和参考作用。

关键词

压缩机; 振动; 高压缸; 平衡盘; 轴向力

1 概述

1.1 事故简述

某公司合成氨装置空压机 2023 年 3 月在装置停车期间大修后开车, 低速运行过程中一切正常。机组升压过程中出现高压缸振动异常波动, 随后高压缸轴承的四个通道振动幅值跃升且居高不下, 在振动上升的过程中, 轴位移也明显上涨。

1.2 设备简介

空压机高压缸为二段水平剖分多级离心式压缩机, 在高压段靠近轴承方向的末端设置有转子轴向力平衡装置。高

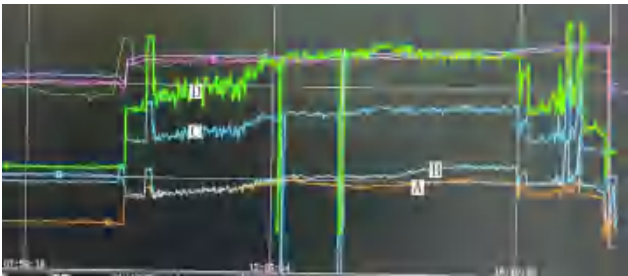
压缸平衡盘密封、级间和轮盖密封采用软密封。空气压缩机组是由美国 DELAVAL 公司设计制造。

2 原因分析

高压缸振动在上午 9 点 34 分突然跃升, 最大值达到 $60\ \mu\text{m}$, 高压缸后端轴承的两个通道的振动值明显变化较大, 高压缸前端轴承振动虽然也突变上涨, 但是变化幅度不大, 相比后端轴承变化小得多。

从图 1 可以看出异常振动从早上 9 点 30 分持续到下午 17 点 30 分未见好转, 其间振动值有偶发的突增、突降, 下午 16 点 10 分出现了振动值下降现象, 但是波动剧烈。

【作者简介】李超能 (1975-), 男, 中国重庆人, 本科, 工程师, 从事解决化工企业现场大型机组疑难问题研究。



A—高压缸前端 X5 通道振动；B—高压缸前端 Y5 通道振动；
C—高压缸后端 X6 通道振动；D—高压缸后端 Y6 通道振动

图 1 高压缸四通道异常振动图

从振动趋势图分析，振动幅值^[1]发生大幅上涨很可能是转子发生了不平衡故障或者发生了严重碰擦故障。

2.1 转子质量不平衡分析

正常在用的转子发生不平衡故障^[2]，其原因是转子上有质量在某处增加或掉落，这两种情况都会引起振动幅值的增加。

转子质量的增加有可能是装置大修后管道未吹扫干净，有灰尘、管道中的积垢脱落在流动中来到叶轮中并粘附在叶轮上，这种情况振动幅值会上升，但很少有突然大幅上升。也有可能是管道中有异物脱落卡在叶轮中，这种情况较难发生，因为高压缸的叶轮流通通道大，不容易发生异物卡住的情况，同时异物即使卡在叶轮中，只是引起较大的径向力发生径向振动上升，对轴向力影响小，本次振动上升的过程中轴位移也明显上涨，说明异物卡在叶轮中可能性很小。

如果转子有质量掉落，如叶轮脱块，振动趋势在跃升后振动值会比较稳定不会有大幅度波动，图 1 中的振动发生跃升后波动较为剧烈，因此质量掉落的可能性较小。

观察转子振动与转速的情况，转子在转速不变的情况下振动仍然波动较大，这表明转子振动异常与转子不平衡关系不大，因为如果是转子不平衡引起的振动变化只要转速稳定后，振动值也会保持在一个稳定的水平。

所以，本次振动异常不是转子质量发生不平衡故障引起的。

2.2 动静部件碰擦分析

从图 1 可以看出，振动跃升后振动并不稳定，振动幅值在高位波动。这个现象表明高压缸转子与静止部件可能存在碰擦，并且一直持续，偶尔有短暂的振动值突然下降现象（图 1 中 12:05 后两处趋势线明显向下的情况），这可能是转子与定子短暂离开不接触或接触的摩擦力不大。下午 16 点 10 分出现振动值下降但波动剧烈，有可能是动静部位的间隙被转子磨损后静止部件对转子的强迫作用减少造成的。

2.2.1 平衡盘套结构及受力分析

从工艺参数分析发现高压缸平衡管压力有问题。工艺人员发现压缩楼下的高压缸平衡管压力表读数异常。正常情况平衡管压力表的读数是 0.2MPa，但振动上升后压力表的读数变化到 0.4MPa，变化非常明显，这样高的读数在以往

的操作中都未出现过。

从振动趋势图 1 可以看出，振动幅值最高的两个通道是靠近平衡盘一端，同时在振动跃升的时候轴位移是上升的，结合平衡管压力升高的现象可以初步推测高压缸平衡盘及其相关部件发生了问题。

高压缸的平衡结构是由转子上的平衡盘和安装在缸体上的平衡盘套组成。本次大修更换了平衡盘套。更换的平衡盘套由钢制基体和软密封层组成（见图 2）。软密封层是靠燕尾槽结构装配在金属基体上。平衡盘套端面有孔，这些孔与软密封层与基体之间的环槽相连通。这些孔并不是通孔，停止于另一侧环槽位置，这些孔的开口端朝向高压侧。

平衡盘套在工作时软密封层的内径面和外径面的受力情况是不一样的。软密封层的内径面的受力是通过密封梳齿减压后的压力，越靠近低压侧压力越小。平衡盘套端面的孔安装方向在平衡盘的高压侧，软密封层外径面的受力是通过孔洞和环槽从高压侧进来的气体产生的压力。当低速试车时，压力不高，软密封层内外的压差不大。但当机组增加负荷压力升高后，高压侧气体的压力随之升高，软密封层内径面通过密封梳齿降压特别是靠近低压侧的部分压力几乎接近低压侧的压力；软密封层整个外径面受到的压力是高压侧气体通过孔洞与环槽直接作用产生的压力。所以软密封层在机组压力升高后内外径面受到的压力差异变大（受力示意图见图 2），特别是靠近低压侧部分压差会非常大，外径面的压力比内径面的压力大得多，因此软密封层受到一个由外径指向内径的力，这个力足够大后使软密封层与基体脱离，软密封层就会与转子接触，发生严重碰擦。

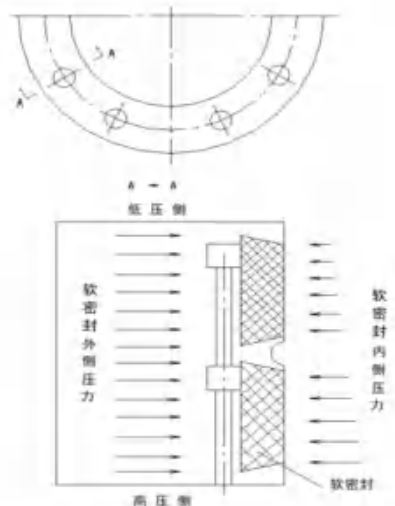


图 2 高压缸平衡盘套结构及受力情况示意图

2.2.2 转子轴向力平衡分析

压缩机平衡盘靠近叶轮端是高压腔室，另一边是靠近轴承位置接入口的低压腔室，平衡盘两边的压差形成的轴向力与转子叶轮产生的轴向力相反，由此抵消了大部分转子由高压指向低压的轴向力^[3]。平衡盘外径靠梳齿结构来密封，

平衡盘的梳齿与平衡盘套之间的密封间隙很小，高压气体向低压腔室流动时在平衡套与梳齿形成的空间膨胀降压起到密封作用，防止高压气体直通低压腔室。平衡管压力表显示的压力是接通平衡盘低压腔室的压力，它的压力比正常情况上升了一倍，说明高压气体通过平衡盘气封大量泄漏进低压腔室，造成平衡盘两侧的压差减少了，因此平衡盘产生的反向轴向力随之减少，转子收到的正向轴向力相应增大，所以发现转子的轴位移明显增加。

综上所述，平衡盘气封可能受到了损坏，平衡盘的梳齿有可能磨损甚至断裂，安装在缸体上的平衡盘套的软密封层也有可能破裂或脱落。

2.3 原因小结

经过上面的分析可以较为明确地得出一个结论：压缩机平衡机构发生动静元件碰擦和大量泄漏故障，造成转子径向振动幅值异常升高和轴位移上涨。

3 处理措施

由于原因较为明确，采取了以下措施：

①立即停机抢修。

②采用内径面衬巴氏合金的整体式平衡盘套（无孔洞结构）。

4 验证情况

揭开高压缸大盖后发现转子低压侧平衡盘梳齿有明显的摩擦痕迹，摩擦部分显现出光亮的金属本色，但梳齿并未受到实质性伤害；平衡盘套软密封层已经脱离安装的燕尾槽并有部分贴在密封梳齿上（图3）。从检修的情况看，故障现象与分析完全一致。

更换整体式平衡盘套后机组开车，机组运行情况一切正常。



图3 损坏的平衡盘套

5 结语

由于原因分析指向性明确，并且及时抢修，本次高压缸异常振动未发生严重的转子损坏事故。更换新形式的平衡盘套后机组运行情况一切正常，运行一个检修周期也未发生同样的故障，说明问题得到了根本解决。

该机组只有振动趋势数据，如果有其他振动分析数据（如轴向轨迹图、频谱图等）将更加有利于分析故障的类型，会更加明确是转子平衡故障或是碰擦故障。工艺参数变化的及时发现也给故障原因分析提供了强有力的支持。

参考文献

- [1] 陈克兴.设备状态监测与故障诊断技术[M].北京:科学技术文献出版社,1991.
- [2] 张红兵.化工厂机械手册[M].北京:化学工业出版社,1990.
- [3] 高慎琴.化工机器[M].北京:化学工业出版社,2005.