

RIKT125-4 型离心压缩机振动异常故障诊断与处理

RIKT125-4 centrifugal compressor fault

diagnosis and treatment of abnormal vibration

姚战强 王春莉 赵欢 (陕西神木化学工业有限公司, 陕西 神木 719300)

Yao Zhanqiang Wang Chunli Zhao Huan (Shaanxi Shenmu Chemical Industry Co., Ltd, Shaanxi Shenmu 719300)

摘要: 对一台 RIKT125-4 型 MAC 离心式压缩机组在正常运行期间发生轴振动异常进行分析, 从振动特征上判明引发轴振动异常的主要原因——渐发性质量不平衡, 通过机组计划检修验证诊断结果并消除振动问题。

关键词: 离心压缩机; 不平衡; 叶轮; 结垢; 振动

Abstract: for a RIKT125-4 MAC centrifugal compressor shaft vibration during normal operation of the anomaly is analyzed, the vibration characteristics determine the main reason for the abnormal shaft vibration - the growing mass unbalance, diagnosis results are verified through the unit plan maintenance and eliminate the vibration problem.

Key words: centrifugal compressor; Imbalance; The impeller; Scale; vibration

1 概况

MAN 公司生产制造 RIKT125-4 型 Main Air Compressor (简称 MAC) 空气压缩机, 为单轴多级离心式压缩机, 额定运行转速 4944r/min。空气进气方式为轴向进气, 首级叶轮为外挂悬臂式, 叶轮名义直径为 $\phi 1250\text{mm}$, 各级叶轮顺排布置, 由一台双出轴凝汽式汽轮机驱动, 汽轮机另一端则拖动一台 RG50-4 型 BAC 多轴离心压缩机。该机组轴系示意如图 1 所示:

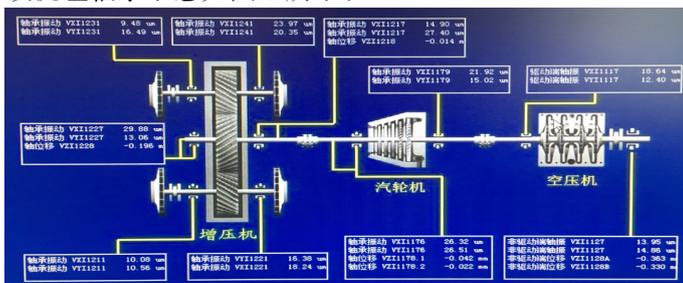


图 1 机组轴系图

MAC 转子两端由两个径向轴承支撑, 每付径向轴承内装有可倾瓦块, 轴承安装于缸体内, 非驱动端轴承为推力-径向联合式结构, MAC 与汽轮机采用挠性膜片式联轴器相连。

2 故障现象

该机组于 2019 年 8 月 22 日开机, 在运行至 2020 年 4 月 25 日时, MAC 驱动端轴振动 VXI1117 测点由 $28\mu\text{m}$ 缓慢涨至 $38\mu\text{m}$, 随后该测点振动趋于稳定。5 月 12 日 VXI1117 再次上涨, 由 $37\mu\text{m}$ 缓慢涨至 $58\mu\text{m}$, 之后稳定在 $45\mu\text{m}$ 左右, 同时间段 VYI1117 也出现同步上涨(由 $19\mu\text{m}$ 上涨至 $32\mu\text{m}$), 之后基本稳定。此振动异常期间工艺运行方面未进行任何操作, MAC 排气流量、出口压力、温度、润滑油温度、轴位移均无明显变化, 汽机

轴位移稳定, 排气侧轴振动小幅波动但未发现明显异常。

6 月 25 日 MAC 驱动端轴振动 VXI1117/VYI1117 再次出现波动, 并持续升高, 驱动端 VXI1117 由 $22\mu\text{m}$ 逐渐涨至 $89\mu\text{m}$ 。VYI1117 也同步出现上涨变化, 在 VXI1117 达到 $89\mu\text{m}$ 时 VYI1117 已由原 $32\mu\text{m}$ 上涨至 $47\mu\text{m}$ 。

26 日振动自发降低后 27 日再次出现上涨, 至 28 日 5 时 19 分 VXI1117 振动值最高达到 $130\mu\text{m}$, 控制室被迫紧急停机, 之后再次开机后振动基本稳定在 $95\mu\text{m}$, 波动较小, 驱动端轴振动波动期间非驱动端振动基本稳定。

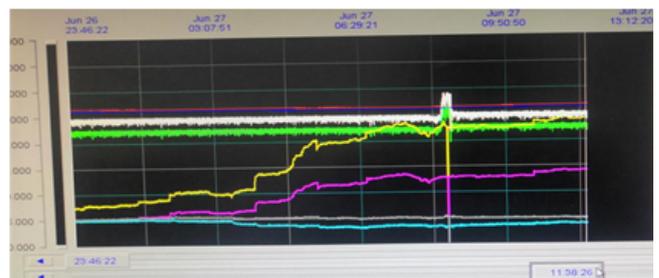


图 2 6 月 25-6 月 27 振动趋势图

故障期间采取的临时性处置措施及敏感参数实验:

①更换驱动端振动 VXI1117/VYI1117 前置器, 并切换测点通道, 振动值无变化, GAP 电压稳定, 结合驱动端两个测点振动幅值变化趋势, 分析认为驱动端轴振动幅值显示真实, 排除仪表故障可能性; ②旋转机械转子失稳状态下, 轴振动对润滑油温度较为敏感, 故采用调整润滑油温度及油压的方法进行实验。现场调整润滑油温度, 调整过程中发现 MAC 驱动端轴振动会随润滑油温度升高略有下降, 之后趋于稳定, 并随润滑油压力的增大略有下降; ③负荷及打气量调整实验, 调整 MAC 负荷及出口流量, 轴振动变化均不明显; MAC 为内置冷

却式结构,夏季环境温度升高后,冷却换热效果下降,MAC 出口气体温度达到 120℃,这种情况下通过降低循环水温度、提高进出水压差的方法,改善换热效果,此方法对 MAC 驱动端轴振动略有影响;④采用手动加速度传感器检测,现场测量驱动端轴承壳体水平及垂直方位振动,轴承壳体振动稳定无明显超标;⑤从机组停机后再次开机整个过程来看,转速对振动影响较为明显,机组临界响应区域未发生明显变化。

3 振动故障原因分析

3.1 振动特征

经过观察振动故障的趋势及各项表现,并收集相关数据进行分析,可得到以下特征:

①故障发源于 MAC 转子本身;②振动信号趋势具有渐发性,振动幅值呈阶梯式逐渐增大,且伴随波动,并维持在高能量水平;③频率成分中工频分量(1X)占主导,振动增大后,工频分量也随之增大,工频相位相对稳定;④轴心轨迹为比较稳定的椭圆形状,重复性较好,进动方向为同步正进动;⑤时域波形为近似的等幅正弦波,波峰、波谷无明显“削波”现象。

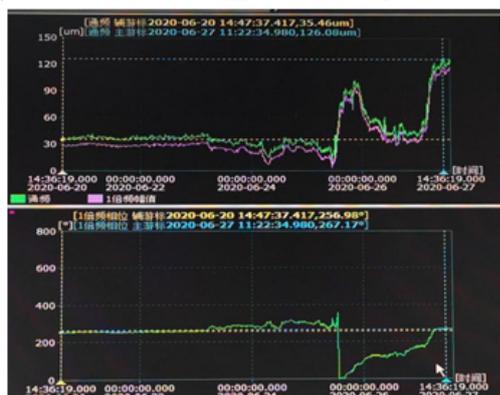


图 3 振动趋势及一倍频相位

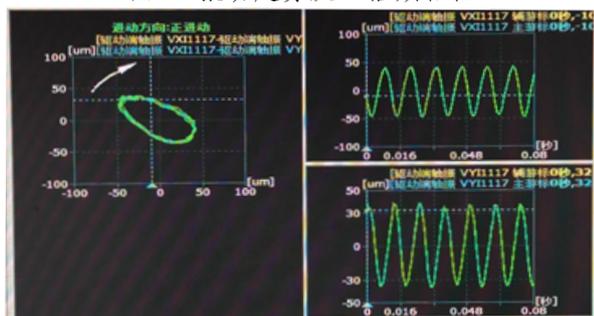


图 4 轴心轨迹图

3.2 振动分析

从以上振动特征可看出,这是一种典型的强迫振动,针对于离心压缩机来说可能引起振动的原因较多,结合此次故障特征分析,引发振动异常的主要原因有:转子质量不平衡、动静部件摩擦、转子零部件松动、转子部件损坏脱落及轴承损坏等。

3.2.1 动静部件摩擦

摩擦故障特征,振动信号趋势呈持续向上爬升或大幅波动,随后大幅降低,并保持稳定。振动信号的时域波形特征,波形图的波峰或波谷处,存在毛刺或“削波”

现象,摩擦越严重“削波”越明显。振动信号频谱特征,局部摩擦时,频谱图中仍然以工频成分为主,可能伴随幅值不高的 2X、3X。轴心轨迹呈现“8”字形、花瓣形、凹凸状或直线型过度,且出现正反进动交替现象。以上与振动特征 3.1 中第④项不符合,可以排除。

3.2.2 转子零部件松动

转子零部件脱落故障特征,振动信号通频值趋势突然发生变化,可能增大也可能减小,突变后振值多趋于稳定,频率成分仍然以工频成分为主,工频相位可能发生变化,轴心轨迹为比较稳定的椭圆或 8 字型,重复性较好。从振动特征上与 3.1 中第③、④项不符合,可以排除。

3.2.3 转子质量不平衡

转子质量不平衡故障机理是因为转子质量中心与几何回转中心不重合,转子转动的时候会产生离心力和离心力矩,这种方向和大小都会周期性变化的交变力会引起振动,由于转子旋转一周离心力的方向就会变化一个周期,所以不平衡的频率和工频(转频)也就一致。

按照不平衡发生的过程,转子质量不平衡分为原始不平衡、渐发性不平衡和突发性不平衡。原始不平衡一般由于设计、制造或装配中存在误差等,造成转子不平衡,普遍发生在原始开车或机组大修后。突发性不平衡,可能是转子上的零部件发生了损坏脱落,或者异物进入卡涩,振动特征是振值突然增大,然后稳定在一定水平。渐发性不平衡是振值随着运行时间的延长而逐渐增大,原因可能是转子上产生了不均匀结垢,介质粉尘不均匀沉积或介质对叶片产生了不均匀的磨损腐蚀等。

不平衡的故障特征,振动信号的时域波形为近似的等幅正弦波,频谱图中工频能量占主导,其他的谐波能量都很小,振动随转速升高而升高,临界转速下振动最大,当转速一定的时候,振动的相位也相对稳定,轴心轨迹为比较稳定的圆或椭圆形状,重复性较好,转子涡动方向为同步正进动。

综上所述,对比转子质量不平衡故障特征与本次振动异常各项特征较为吻合,加之敏感参数实验以及振动信号趋势变化的特征,将本次异常振动故障归结为由转子质量不平衡而引起,且由于振动随时间变化具有逐渐增大特性,故确定为渐发性质量不平衡故障。

3.3 发生渐发性转子质量不平衡的原因

MAC 工艺介质为空气,首先排除工艺介质造成磨损和腐蚀的可能。其次空气中虽含有少量的灰尘和水分,但这种情况引发的轴振动异常会随机组运行周期增长持续上涨,本次故障驱动端轴振动发展趋势较快,之后也对 MAC 入口过滤器进行了排查,未发现异常,基本排除灰尘的影响。

为尽快查明故障原因,当即对 MAC 进行了系统性的排查。随着排查的深入推进,发现 MAC 一段内置冷却器气侧冷凝水疏水口排水量较以往明显增多。正常运行中 MAC 内置冷却器会析出少量冷凝水,这是由于空

气本身含湿的缘故,随着空气被逐级压缩冷却,多余的水分会在冷却器底部析出,并通过疏水阀排放。我们地处西北干旱地区,空气中湿度较小,翻看历史记录,正常运行中一段内置冷却器基本无冷凝水排出,但本次振动异常发生后,从现场情况来看,一段内置冷却器西侧排水量大,东侧无水排出,较为异常,所以判断一段西侧冷却器很可能存在泄漏。当即安排对冷凝水进行分析,发现西侧冷凝水水样中含 Ca^{2+} 达 779mg/L 左右,且含有 Cl^- 和 Zn^{2+} 离子,与循环水化验结果非常接近,基本确定 MAC 一段内置冷却器西侧发生了泄漏缺陷。

由于循环水中含有大量药剂及钙镁离子,高温情况下易析出,故认为 MAC 转子可能产生了不均匀结垢或冲刷,可能还伴随不定期脱落,从而导致转子平衡破坏,轴振动反复波动。

4 检查及处置

临时性措施: 由于此机组为进口设备,备件材料制造周期长不满足当即停机检修条件,为保障机组安全稳定运行至大修期,针对轴振动大问题我们采取了几项措施加以控制。

根据 API617 标准中的相关规定,对 MAC 驱动端轴振动停机值进行了调整,将驱动端轴振动原停机值 $85\mu\text{m}$,调整为 $128\mu\text{m}$,制定了特护方案进行特护,优化操作,加强各内置冷却器气侧疏水,确保 MAC 驱动端轴振动的稳定。

经特护 MAC 驱动端轴振动 VXI1117 基本稳定在 $90\mu\text{m}$ 左右,此状态维持至 2021 年 4 月。同年 4 月 20 日对 MAC 进行了解体大修,解体后发现 MAC 一段西侧内置冷却器确实存在泄漏,且泄漏量大,泄漏造成冷却器翅片多处损坏,表面严重结垢,二级叶轮流道亦有大量积垢,这也是造成此次 MAC 轴振动故障的主要原因,验证了之前的分析结果。



图 5 MAC 二级叶轮结构照片



图 6 内置冷却器损坏及结垢照片

从现象来看,泄漏部位处于内置冷却器下部,泄漏量较大。冷却器出现泄漏后,由于钙镁离子及药剂等物质的析出,在冷却器翅片处缓慢形成积垢,逐渐影响冷却器换热效果,随着换热效果下降,积垢加速集聚,堵塞部分换热通道。积垢开始析出时质地较软,部分积垢随压缩空气进入下一级叶轮,并附着于叶轮流道上。初期结垢较少,对机组振动影响不大,后期随结垢越来越多及结垢附着位置的不均匀,并可能伴有不定期脱落,从而导致机组出现振动异常现象。

大修处置: 本次针对内置冷却器泄漏及结垢,检修中对所有内置冷却器进行了清理、水压试验及试漏工作,一段西侧内置冷却器共堵漏列管 13 根。MAC 转子返厂清理,对于压缩机转子采用喷丸的处理方法,清理结束进行高速动平衡实验。转子经检修回装,开机后 MAC 轴振动恢复正常,驱动端轴振 VXI1117 稳定在 $15\mu\text{m}$ 左右,至此,此次轴振动故障得以彻底解决。

5 结束语

通过上述分析可知:

振动故障是由 MAC 转子不均匀结垢引发的,表现为典型的渐发性质量不平衡特征。转子质量不平衡分为原始不平衡、渐发性不平衡及突发性不平衡,在进行故障分析的时候要结合多项特征进行综合分析,最终确定故障原因,采取有效控制处理措施。正常操作下,空压机转子的严重结垢较为少见,因工艺介质干净普遍会被忽略,所以设备出现故障后,要结合现场情况多方面去考虑,才能更快更准确的找到问题。

参考文献:

- [1] 吴道红. 离心压缩机振动故障的分析和处理 [J]. 科学与财富, 2020(03):222.
- [2] 徐洪淼. 离心压缩机振动故障分析与处理 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2009.
- [3] 吴添新, 肖宏福. 离心压缩机振动故障分析与处理 [J]. 中国化工贸易, 2016(05):125-125.
- [4] 罗生清. 离心压缩机振动故障分析与处理 [J]. 商品与质量, 2016(47):200-201.
- [5] 刘闯. 浅谈离心压缩机振动故障的分析和处理 [J]. 纳税, 2017(22):187-187.
- [6] 李岩. 离心压缩机振动故障的分析和处理 [J]. 化工设计通讯, 2020,46(05):98-99.
- [7] 李永翔. 关于离心压缩机振动故障的分析和维修处理 [J]. 中国化工贸易, 2019,11(24):200.
- [8] 杨程. 石化行业离心压缩机常见振动故障分析及处理方法 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014,34(08):252-252.
- [9] 施俊侠, 王大成, 黄斌. 离心式压缩机的振动故障分析 [J]. 风机技术, 2003(02).

作者简介:

姚战强 (1975-), 男, 汉族, 陕西渭南人, 本科, 中级职称, 研究方向: 设备管理与维修。