

循环氢压缩机组轴瓦温度高原因分析及处理

刘光辉¹ 李培德¹ 姜晓萌¹ 华长妍² 何雪军³

1. 荣盛新材料(舟山)有限公司; 2. 中海油惠州石化有限公司; 3. 山东裕龙石化有限公司

摘要: 循环氢压缩机是石油化工加氢装置的核心设备, 其轴瓦温度异常升高易导致机组非计划停工, 严重影响装置安全平稳运行。本文针对某石化企业循环氢压缩机轴瓦温度异常升高的案例, 结合设备结构特点与运行参数, 系统分析了可能导致轴瓦温度升高的主要原因, 包括润滑系统油质劣化、轴瓦间隙异常、轴系对中偏差、负荷波动引发的振动加剧以及异物进入摩擦副等。通过油品检测、振动频谱分析、轴瓦间隙测量及轴系对中校准等手段, 确定故障主因, 彻底解决机组轴瓦温度高的问题。保证了机组安全平稳运行, 为同类机组轴瓦温度异常问题的分析与处理提供了可借鉴的工程经验。

关键词: 压缩机; 轴瓦温度; 振动分析; 漆膜

1 背景

某石化 320 万 t/a 蜡油加氢处理装置加工原料为直馏重蜡油和浆态床蜡油, 产品为加氢蜡油, 同时副产部分轻石脑油、塔顶酸性气和含硫低分气。该装置由反应部分(包括原料进装置部分、加氢反应部分、反应流出物换热部分、热高压分离器部分、冷高压分离器部分、循环氢部分和新氢压缩机部分)、分馏部分(包括汽提塔部分、柴油侧线汽提塔部分和分馏塔部分)和公用工程部分组成。

循环氢压缩机组是反应部分的核心动力设备, 压缩机(BCL456A)配置为单缸多级筒型离心式压缩机, 循环氢压缩机轴功率为 4458 kW, 由背压式蒸汽轮机(NG32/25)驱动, 入口蒸汽压力 4.2 MPa (G), 额定功率约 4904 kW, 压缩机与汽轮机之间采用膜片式联轴器连接。压缩机轴端密封采用带有中间迷宫密封的串联式干气密封。润滑系统采用强制压力润滑, 主油泵由汽轮机驱动, 辅油泵由电动机驱动。汽轮机支撑轴承

为三瓣式阻尼轴承, 推力轴承为金斯伯雷式^[1]。

2 问题描述

机组于 2021 年 7 月启机以来, 汽轮机振动一直无大幅波动, 但自 2021 年 12 月后, 随着汽轮机支撑瓦温波动上涨过程, 振动出现下降趋势, 近期再次出现小幅波动上涨情况, 如图 1 所示。从汽轮机支撑轴承瓦温上涨趋势上看: 整体呈现为长周期缓慢波动上涨, 个别周期出现瓦温瞬时骤降趋势(20 ~ 30℃)。从汽轮机振动趋势上看,

在汽轮机支撑瓦温出现突变时刻, 振动个别周期存在同步变化。振动波动主要以工频变化为主, 仪表 GAP 电压同步跳变, 波形形态基本不变, 轴心位置存在跳变。

3 原因分析

3.1 工况分析

自开工投产以来, 加氢装置基本处于 80% 工况, 机组负荷状态也在设计范围内, 各工艺参数也满足设计要求, 机组轴各温度、压力等工艺参数均正常。期间, 装置并无大幅度调整, 压缩机未



图 1 汽轮机振动随支撑瓦温变化趋势图

出现喘振工况。

3.2 设备安装和频谱分析

复查原安装数据，均满足规范和厂家要求，通过大机组在线频谱分析，机组振动趋势上看，振动随支撑轴承温度出现同步变化。振动波动主要以1倍频能量为主（即转子不平衡：质量分布不均导致周期性离心力），2倍频、高倍频及0.5倍频不明显。基本可以排除因设备安装对中、油膜振荡等方面原因。能频谱上能看到少量的分次谐波，说明轴承处可能存在一定的摩擦。

3.3 油品分析

从润滑油系统分析，主要有供油不足或中断、润滑油品质异常、润滑方式不当等可能原因。机组连续运行，润滑油供油正常，该原因应完全排除；对润滑油油品老化、黏度不符、闪点/杂质、氧化变质等指标做进一步分析验证。经多次分析化验，润滑油常规5项（水份、机械杂质、酸值、闪点和黏度）均满足规范要求，见表1。

结合汽轮机历史运行情况及图谱特征分析应该是汽轮机后端支撑轴承存在异物卡滞，造成轴承支撑状态改变影响机组温度。而整个机组在试车前已彻底清理油箱和跑油，润滑油管线也进行过酸洗钝化，异物由外部进入的可能性较低，初步分析是润滑油变质形成了漆膜。进一步导致轴瓦散热不良、轴温上升，进而又加速油品氧化，加剧润滑油漆膜的形成^[2]。同时漆膜会附着固体颗粒，造成轴瓦磨损，进而造成轴瓦振动升高。

4 什么是润滑油漆膜

汽轮机油（透平油）是用于润滑、

冷却和液压控制的关键流体，其组成主要包括基础油和添加剂。基础油主要为矿物油（传统选择，成本低，但抗氧化性较弱）、合成油（如PAO、酯类油，高温稳定性好，抗氧化能力强，适用于苛刻工况）。添加剂主要成份为：抗氧化剂（如酚类、胺类化合物）作用是延缓油品氧化，减少沉淀物生成；防锈防腐剂（如磺酸盐）作用是防止金属表面锈蚀；抗泡沫剂（如硅酮类）作用是抑制泡沫形成，确保润滑效果；破乳剂作用是促进油水分离，维持油品清洁度；极压抗磨剂（较少使用）作用是在极端压力下保护金属表面^[3]。

润滑油漆膜是润滑油氧化或热降解后形成的致密、不溶性沉积物。主要成份为：氧化产物（羧酸、酮类化合物）；缩聚物（沥青质、碳化物）；金属皂化物（如钙、锌盐），颜色呈浅棕色、棕色或棕褐色，由于其颜色类似防腐漆的漆膜而得名，在高速旋转的机械比较常见，如离心式压缩机轴瓦、齿轮表面等。由于漆膜是一种软的污染物，由润滑油老化过程中的那些尺寸小于1 μm的副产品组成，因此用传统的颗粒物检测方法无法检测到，用机械过滤方法又很难去除。漆膜的形成机理如下。

4.1 油品的氧化

氧化初期生成过氧化物和自由基，进一步形成醛、酮等中间产物，最终聚合为漆膜前驱体。主要为滑油中烃类在60℃以上发生自由基链式反应，生成过氧化物（ROOH）。

4.2 聚合沉积

抗氧化剂消耗殆尽后，氧化速率加快，漆膜沉积显著增加。过氧化物分解产生活性基团，与金属表面发生吸附

聚合，形成微米级膜层（SEM观测显示厚度可达5~15 μm）。

4.3 热硬化

持续高温使软质胶状物碳化，形成致密绝缘层（导热系数<0.5 W/m·K，仅为巴氏合金的1/50）。漆膜阻碍轴瓦-润滑油间热量传导，局部温差可达20~40℃，造成热阻效应。再加上随着漆膜的生成，轴瓦表面粗糙度增加（Ra值由0.4 μm升至1.2 μm），边界润滑失效；同时随着漆膜的生成，导致油隙缩小，实测流量下降30%时温升速率提高2倍，油流受阻。

5 处理措施

5.1 漆膜去除

2022年11月20日，漆膜滤油机到货后首先对该机组进行除漆膜操作，投用后不久轴瓦温度就不再跳变，稳定在104℃。由于漆膜已附着在轴瓦上，同时固体颗粒对轴瓦已造成磨损，投用一段时间后，虽然漆膜倾向指数MPC结果表明该油品处于低油泥漆膜趋势，但轴瓦温度还是偏高，达到95℃，只能维持稳定运行，不能从根本上解决轴瓦温升过高问题。

5.2 更换轴瓦

结合该装置上下游生产实际情况，2022年5月10日根据前期制定抢修方案对该机组进行抢修，更换汽轮机轴瓦（驱动端、非驱动端）和机组油站润滑油，检修工期共计24h。拆检发现，汽轮机前后支撑瓦均存在少量漆膜结焦现象，另外下瓦块都存在一定程度的磨损痕迹，驱动端磨损相对比较明显，验证了前期的原因分析，如图2所示。检修后汽轮机支撑瓦温度正常，均在80℃以下，驱动端轴承振动明显下降，且运行比较稳定，如图3所示。

6 结语

在日常生产运行中，润滑油漆膜对机组轴瓦温度的影响持续存在，首先

表1 46# 汽轮机油常规5项

46# 汽轮机油	运动黏度 (40℃)	mm ² /s	41.4 ~ 50.6	44.05
	酸值	mgKOH/g	≤ 0.2	0.15
	闪点 (开口)	℃	≥ 165	265
	水含量	mg/kg	≤ 200	25
	机械杂质	%(质量分数)	无	无



图2 汽轮机前后支撑瓦下瓦块

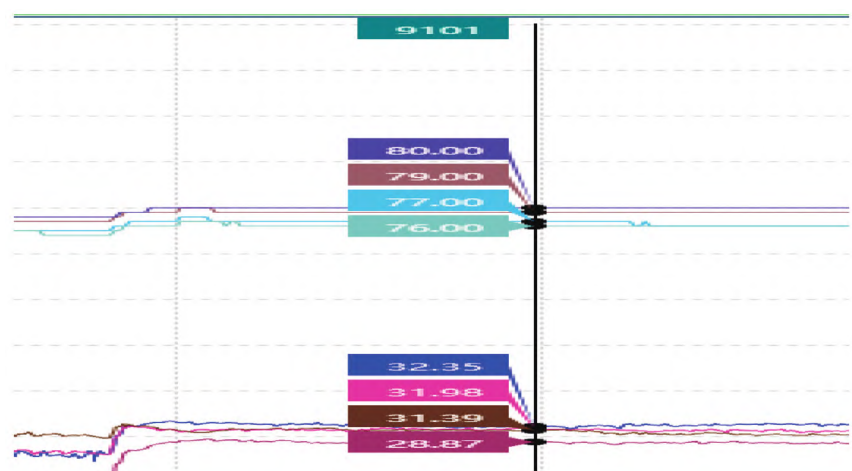


图3 汽轮机检修后振动、温度参数

可以从源头上做好选择,如润滑油优化选型,结合漆膜生成机理,与各供货商做深度交流,了解润滑油组成和性能特点,选择优质的润滑油。其次,坚持做好机组润滑油站的润滑管理和定期对润滑油进行外循环过滤,能有效减缓润滑油漆膜对机组轴瓦温度的影响,为机组长周期运行提供保障。此次对轴瓦温度升高原因分析及处理,有效地解决了该类轴瓦温升问题,为更多类似工况的机组轴瓦温升处理提供了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 韩明. 汽轮机轴瓦温度高的分析与故障排除[J]. 中国设备工程, 2018(09): 18-36.
- [2] 李恒. 裂解气压缩机轴瓦温度高的原因分析及处理[J]. 石油化工设备技术, 2021, 42(05): 11-19.
- [3] 刘建中, 王卫宇. 离心式压缩机轴瓦温度高原因分析与处理[J]. 设备管理与维修, 2023(04): 24-30.

(上接第68页)

积缩小至20%,最大质量分数下降50%以上,腐蚀区域由二次风侧转向一次风侧。中温段转向也能明显减小腐蚀强度。高温段转向有一定影响,但由于距腐蚀敏感区较远,改善效果不明显。

2) 双温段转向改变的影响。组合转向,例如低—高、中—中等转向,进一步降低了腐蚀的程度。低—高温段转向可大幅度降低腐蚀区域和质量分数峰值以及竖直方向腐蚀长度。中—高温段组合效果次之,对中心腐蚀聚集现象有不同程度的减弱作用。低—中温段组合对整体腐蚀的影响较小,应结合温度场的实际使用。

4 结语

通过对回转式空气预热器不同转

向组合与转速变化条件下的数值模拟与试验分析,本文系统揭示了温度场分布特性与酸腐蚀区域的演变规律。研究发现,低温段与中温段的逆向转动能够显著改善烟气出口温度分布的均匀性,并有效降低低温区域的酸液体生成量;而高温段的逆向效果相对有限。转速方面,在设计转速基础上适当提升有助于减小腐蚀面积和酸露点高度,同时提升换热效率。整体而言,转向调整与转速优化需协调实施,以实现热效率提升与结构防护的双重目标,为空气预热器的运行优化提供了技术依据。

参考文献:

- [1] 李君一. 防止空气预热器露点腐蚀措施设计[J]. 大众标准化, 2025(4): 58-60.

- [2] 杨晓, 高文杰, 龙斌, 等. 燃煤机组空气预热器堵塞原因分析及运行调整研究[J]. 锅炉技术, 2025, 56(1): 72-76.
- [3] 阎顺强, 刘广知. 火电机组回转式空气预热器节能提效策略探讨[J]. 大众标准化, 2025(2): 40-42.
- [4] 王瑞, 陈超. 蒸汽空气预热器使用过程中出现问题的研究[J]. 锅炉制造, 2025(1): 28-29+36.
- [5] 马志强. 火电厂空气预热器常见故障的原因分析及措施[J]. 电力设备管理, 2024(24): 87-89.