

往复式压缩机维修方法及技巧分析

胡治斌

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750000

摘要: 往复式压缩机维修需精准诊断故障根源, 结合传统听诊、温度检测与现代振动频谱分析、油液分析技术, 快速定位机械磨损、气阀泄漏、润滑不良等问题。维修中应严格遵循装配间隙标准, 如活塞环间隙、轴瓦间隙。同时, 强化预防性维护, 制定分级保养计划, 利用在线监测系统实现故障预警, 综合提升设备稳定性与运行效率。

关键词: 往复式压缩机; 维修方法; 技巧

引言: 往复式压缩机作为石油化工领域的关键设备, 广泛应用于气体压缩、输送等关键环节, 其运行稳定性直接影响生产效率与安全。然而, 长期高负荷运转易引发机械磨损、气阀泄漏、润滑失效等故障, 导致性能下降甚至停机。传统维修依赖经验判断, 存在故障定位不精准、修复周期长等问题。本文系统梳理了往复式压缩机的常见故障类型与成因, 结合现代诊断技术(如振动分析、油液监测)与修复工艺(如电镀、激光熔覆), 提出分步骤维修流程及预防性维护策略, 为提升设备可靠性提供技术参考。

1 往复式压缩机结构与工作原理

1.1 核心部件组成

往复式压缩机核心部件协同保障气体压缩功能: 气缸作为气体压缩的密闭腔室, 直接承受气体压力; 活塞在气缸内做往复运动, 通过容积变化实现气体压缩; 曲轴将电机的旋转运动转化为连杆的往复运动, 是动力传递的关键; 连杆连接曲轴与活塞, 实现运动形式转换; 阀门组(吸气阀、排气阀)控制气体单向流动, 防止倒流; 通过润滑系统, 减少磨损并带走热量, 保障设备长期稳定运行。

1.2 工作循环分析

其工作循环由四个连续冲程构成: 吸气冲程中, 气缸容积增大, 压力降低, 吸气阀开启, 气体被吸入; 压缩冲程里, 活塞上行压缩气体, 压力升高, 吸气阀关闭; 排气冲程时, 气体压力达到排气压力, 排气阀打开, 高压气体排出; 膨胀冲程为下次吸气做准备, 活塞继续上行, 残留气体膨胀, 待压力降至吸气压力, 进入下一轮循环, 四冲程动态交替实现持续供气。

1.3 关键性能参数

关键参数存在紧密关联: 排气量指单位时间排出气体体积, 受气缸容积、活塞行程等影响; 压力比是排气压力与吸气压力的比值, 直接决定压缩难度; 功率随压

力比升高而增加, 需匹配适配电机; 效率(等温效率、绝热效率)反映能量利用情况, 排气量与效率正相关, 压力比过高会导致效率下降, 实际应用中需平衡各参数, 满足工况需求。

2 往复式压缩机常见故障类型与成因

2.1 机械故障

(1) 活塞环磨损: 长期运行中, 活塞环与气缸壁持续摩擦, 若润滑不足或气体含杂质, 会加速磨损, 导致密封性能下降, 出现气体泄漏; 曲轴轴瓦烧蚀: 多因润滑油供应不足(如油泵故障、油路堵塞), 或轴瓦装配间隙过小, 摩擦生热无法及时散发, 造成轴瓦合金熔化; 连杆断裂: 常由材质疲劳(长期承受交变载荷)、装配偏差(连杆与曲轴/活塞连接不对中)或瞬间过载(如气体压力骤升)引发, 断裂后会致压缩机骤停^[1]。

(2) 振动异常: 基础松动是常见原因, 如地脚螺栓长期运行后松动, 导致设备与基础贴合度下降, 运行时产生共振; 对中不良多因安装时电机与压缩机主轴同轴度偏差过大, 或长期运行后联轴器磨损, 使动力传递失衡, 引发周期性振动。

2.2 热力故障

(1) 排气温度过高: 若冷却系统(如冷却器、风扇)故障导致冷却不足, 无法及时带走压缩热; 或因工艺需求提高排气压力, 使压缩比过大, 气体压缩过程中温度升高幅度超出正常范围, 均会造成排气温度过高, 加速部件老化。(2) 容积效率下降: 阀门泄漏(如阀门密封面磨损、阀片变形)会导致压缩气体倒流, 减少有效排气量; 余隙容积过大(如气缸盖垫片过厚、活塞顶部磨损)会使残留气体膨胀占据有效吸气空间, 降低单位循环的吸气量, 最终导致容积效率下降。

2.3 辅助系统故障

(1) 润滑油乳化: 多因冷却系统泄漏(如水进入油腔), 或环境湿度大导致水分混入润滑油, 破坏油膜稳

定性；油压过低：可能是油泵磨损导致供油能力下降、油路堵塞使油流阻力增大，或油压调节阀故障，导致润滑油无法有效输送至各润滑点。（2）冷却水路堵塞：水中的水垢、杂质长期沉积在冷却水管路内壁，缩小流通截面，降低冷却水流速；气缸冷却不足：除水路堵塞外，还可能因冷却水泵故障导致供水不足，或冷却水管路结霜（低温工况下），使气缸无法有效降温，影响压缩效率^[2]。

2.4 电气与控制系统故障

（1）电机过载：多因压缩机实际负载超出电机额定功率（如压力比过高、机械卡阻），或电机绕组绝缘老化、电源电压不稳，导致电机电流超过额定值；（2）传感器失灵：如温度传感器、压力传感器因长期使用导致元件老化，或受振动、高温影响出现信号漂移，无法准确反馈设备运行参数。

3 往复式压缩机维修方法与流程

3.1 故障诊断技术

（1）传统方法：听诊法是维修人员通过螺丝刀、听诊器等工具，贴近气缸、曲轴箱等部件监听运行声响，若出现“咔嚓”异响可能为活塞环磨损，“嗡嗡”异响应排查轴承问题，实现异常声响的精准定位；温度检测需用红外测温仪或热电偶，监测气缸壁、排气管道、轴承座等关键部位温度，超出正常范围（如排气温度超160℃）时，可初步判断冷却不足或压缩比异常；油液分析通过提取润滑油样本，检测油中金属颗粒含量（判断部件磨损程度）、水分比例（排查乳化问题）及粘度变化，为机械故障诊断提供数据支撑^[3]。（2）现代技术：振动频谱分析借助振动传感器采集曲轴、电机等部位的振动信号，通过频谱仪分析频率、振幅等参数，若特定频率峰值异常，可识别曲轴不对中、轴瓦磨损等隐性故障；红外热成像利用热像仪捕捉设备表面温度场分布，快速发现冷却水路堵塞导致的局部高温、电气接线端子过热等问题，避免故障扩大；在线监测系统通过在设备关键部位安装压力、温度、振动等传感器，实时将数据传输至监控平台，支持远程预警，实现故障的提前发现与干预，减少停机时间。

3.2 分步骤维修流程

（1）准备阶段：首要进行安全隔离，关闭压缩机进出口阀门，泄压后切断电源、气源，并悬挂“维修中”警示标识，防止误操作；工具准备需配备套筒扳手、千分尺、塞尺、吊装设备等，同时准备好备用零件（如活塞环、阀门弹簧）；技术资料查阅要核对设备说明书、维修手册，明确零部件装配间隙、扭矩要求等关键参

数，确保维修符合规范。（2）拆卸阶段：拆卸前需对零部件进行标记，如在连杆、曲轴上标注安装方位，避免回装错位；规范存放要求将螺栓、垫片等小件分类放入收纳盒，精密部件（如轴瓦）单独用软布包裹，防止磕碰损坏；同时记录磨损数据，用测量工具记录活塞环开口间隙、曲轴轴颈直径等，为故障原因分析和检修提供依据。（3）检修阶段：1）活塞组件：若活塞环磨损超限时，需更换新环并确保开口错开120°；用百分表检测活塞杆弯曲度，若偏差超0.1mm/m，需通过压力机校正或更换活塞杆；2）阀门组：先清理阀座、阀片表面杂质，若阀座密封面有划痕，用研磨砂手工研磨至光滑；检查弹簧片弹性，若出现变形或疲劳断裂，及时更换同规格弹簧片，保证阀门启闭灵活；3）曲轴与轴承：用塞尺测量曲轴轴瓦间隙，超出标准值时需更换轴瓦；若轴颈表面有轻微划痕，可通过细砂纸抛光修复，严重磨损时需进行镀铬或喷涂修复^[4]。（4）组装与调试阶段：1）严格按标记回装零部件，确保螺栓按规定扭矩拧紧（如气缸盖螺栓扭矩需符合说明书要求）；通过百分表调整电机与压缩机主轴的对中精度，径向偏差不超0.05mm，端面偏差不超0.02mm。2）进行空载试运行，启动设备运行30分钟，检查有无异响、泄漏；随后进行负载验证，逐步升高排气压力至额定值，观察各部件温度、振动是否正常。

3.3 维修后性能测试

（1）参数达标验证：通过流量计测量排气量，需达到额定值的95%以上；用压力表监测吸气、排气压力，偏差超额定值的±5%；用温度计检测排气温度，确保不超过设备规定上限（如无油压缩机排气温度不超180℃），若参数不达标，需重新检查阀门密封、活塞组件装配情况。（2）振动与噪声监测：用振动分析仪检测曲轴、电机轴承部位的振动速度，需符合GB/T4980标准（如转速1500r/min时，振动速度不超4.5mm/s）；用声级计在设备1m处测量噪声，应不超过85dB（A），若振动、噪声超标，需排查对中精度、基础紧固情况，直至满足要求。

4 往复式压缩机维修技巧与优化策略

4.1 高效维修技巧

（1）快速定位故障：遵循“先易后难”原则可大幅缩短故障排查时间。优先检查电气系统，如查看电源电压、电机电流是否正常，排除传感器失灵、PLC程序错误等简单问题；再排查机械部分，例如先观察是否有明显泄漏、部件松动，再用听诊法、温度检测等手段深入查找故障。例如，当压缩机停机时，先检查电机过载保护是否触发，再排查曲轴、连杆等机械部件是否卡阻，避

免盲目拆解复杂机械结构,提升故障定位效率。(2)零部件修复替代:针对磨损部件,采用修复技术可降低成本、减少备件等待时间。对于曲轴轴颈磨损,通过电镀技术在轴颈表面镀一层耐磨金属(如硬铬),恢复轴颈尺寸与精度,相较于更换曲轴可节省60%以上成本;对于气缸内壁、活塞杆等易磨损部件,采用激光熔覆技术,熔覆高硬度合金材料,增强表面耐磨性,使部件使用寿命延长2-3倍,尤其适用于大型、稀缺零部件的修复^[5]。

(3) 润滑优化:合理优化润滑系统可减少机械磨损、提升设备稳定性。选用合成润滑油替代矿物润滑油,合成润滑油具有更高的粘度指数、抗氧化性,在高温(如排气温度160℃以上)、低温环境下仍能保持良好润滑性能,延长换油周期至8000-10000小时;根据设备运行工况调整油路压力,例如针对高负载工况,适当提高主油路压力(如从0.3MPa调整至0.4MPa),确保曲轴轴瓦、活塞等关键部位润滑充足,减少磨损故障。

4.2 预防性维护策略

(1) 制定分级保养计划:通过分级保养可提前发现潜在问题,避免突发故障。日常点检由操作人员负责,每日检查润滑油油位、排气温度、有无泄漏,记录设备运行参数;周检重点检查地脚螺栓紧固情况、阀门启闭灵活性、电机轴承温度,用手触摸判断有无异常振动;月检由维修人员执行,使用千分尺测量活塞环间隙、曲轴轴瓦间隙,清理冷却水路杂质,确保设备关键参数在合格范围内,将故障消灭在萌芽阶段。(2) 关键部件寿命预测:基于振动趋势分析实现部件寿命精准预测,提升维护针对性。通过在线监测系统持续采集曲轴、电机轴承等关键部件的振动数据,利用软件分析振动幅值、频率变化趋势。例如,当曲轴轴承振动幅值从正常的2.5mm/s逐渐上升至4.0mm/s,且特征频率出现异常峰值时,结合历史数据可预测轴承剩余寿命约为1500小时,提前安排停机更换,避免轴承突然失效导致的设备损坏与生产中断。

4.3 维修工具与设备创新

(1) 专用工具设计:专用工具可降低维修难度、保

护零部件。活塞环拆装钳采用弧形钳口设计,能均匀施加力,避免拆装时活塞环断裂,使拆装时间从30分钟缩短至10分钟;气缸盖快速定位装置通过定位销与基准面配合,精准对齐气缸盖螺栓孔,无需反复调整,将气缸盖安装时间减少50%,同时避免因安装偏差导致的密封不良问题。(2) 数字化工具应用:数字化工具为维修提供精准指导与数据支持。AR辅助维修指导通过佩戴AR眼镜,将零部件拆装步骤、关键参数(如螺栓扭矩值)以三维动画形式叠加在设备上,维修人员可按动画指引操作,降低对经验的依赖,新手维修效率提升40%;移动端故障数据库整合数千条压缩机故障案例,维修人员通过输入故障现象(如“排气温度过高”),可快速查询可能原因、排查步骤与解决方案,缩短故障处理时间。

结束语

往复式压缩机的维修不仅是对故障的修复,更是对设备性能与可靠性的深度优化。通过系统化的故障诊断技术、精细化的分步骤维修流程,以及预防性维护策略的实施,可显著降低非计划停机风险,延长设备使用寿命。未来,随着智能监测技术与新型修复工艺的融合应用,维修效率与精度将进一步提升。企业应强化维修人员技能培训,完善维修管理体系,以科学维护保障压缩机在复杂工况下的稳定运行,为工业生产提供坚实支撑。

参考文献

- [1]刘春,刘宗勤.往复式压缩机常见故障分析及消除方法[J].设备管理与维修,2021(7):84-85.
- [2]曹强强,高志涛,高岗,等.往复式压缩机的振动原因分析及解决措施[J].中国设备工程,2021(17):168-169.
- [3]周友全,李斌,周远宏.往复式压缩机连杆的疲劳及裂纹扩展研究[J].应用力学学报,2021,38(04):98-100.
- [4]蔡伟.往复式压缩机的维修方法和技巧[J].科技资讯,2021,15(12):88-89.
- [5]潘剑英.刍议往复式压缩机的维修方法及技巧[J].价值工程,2022,37(17):153-154.