

# 天然气压缩机状态监测技术的应用

罗 巍 孙 阳

国家管网集团北京管道有限公司 河北 衡水 053000

**摘要：**本文围绕天然气压缩机状态监测技术的应用展开研究，首先剖析机械、气动、电气三类常见故障的具体表现及对设备运行的影响；接着分类阐述振动、温度、压力、声学、油液分析五大监测技术的原理、传感器选型与信号分析方法；最后结合安装调试、正常运行、维修后三个阶段，说明状态监测技术的实际应用方式与作用。为天然气压缩机故障预警、性能评估及维修决策提供系统支撑，助力提升设备运行稳定性与运维效率。

**关键词：**天然气压缩机；状态监测技术；故障类型；监测应用；设备稳定运行

引言：天然气压缩机是天然气开采、输送与存储环节的核心设备，其运行稳定性直接关系产业链安全高效运转。当前天然气压缩机易因机械磨损、气动紊乱、电气故障等问题出现停机，不仅造成经济损失，还可能引发安全风险。随着运维需求升级，传统事后维修模式已难以满足设备长效运行要求。因此，深入研究天然气压缩机状态监测技术，明确故障类型、优化监测方法、规范应用场景，对提前识别故障、减少停机损失、保障设备安全具有重要现实意义。

## 1 天然气压缩机常见故障类型及影响

### 1.1 机械故障

转子故障中，转子不平衡会导致压缩机运行时产生周期性振动，振动幅度随转速升高而增大，同时伴随异常噪声，长期运行会加剧轴承磨损，降低设备整体性能；转子弯曲会改变转子与定子的间隙，引发局部摩擦，进一步导致振动异常与温度升高；转子裂纹若未及时发现，会随运行应力扩展，严重时可能造成转子断裂，引发设备停机<sup>[1]</sup>。轴承故障里，滚动轴承磨损会使轴承间隙增大，运转时产生不规则振动，疲劳剥落则会导致振动频率异常，伴随金属撞击声；滑动轴承润滑不良会加剧轴瓦与轴颈的摩擦，使轴承温度快速升高，严重时引发轴瓦烧损，直接导致压缩机停机维修。齿轮故障方面，齿轮齿面磨损会降低传动精度，导致压缩机转速波动，影响气体压缩效率；齿面点蚀会使齿轮啮合时产生冲击载荷，引发振动与噪声，断齿则会造成传动中断，导致压缩机运行突然失衡，损坏关联部件。密封故障时，轴端密封泄漏会导致天然气外溢，存在安全隐患，同时增加气体损耗；级间密封泄漏会降低各级压缩压力，使压缩机排气量下降，功耗增加，影响整体运行效率。

### 1.2 气动故障

气阀故障中，气阀密封不严多因阀片变形、密封面磨损或杂质卡滞导致，会使压缩机吸气时高压气体回流，排气时低压气体残留，造成排气量下降，同时增加压缩机功耗，运行时气阀部位会产生异常气流噪声；阀片损坏会导致气阀无法正常开关，压缩机吸气、排气过程紊乱，排气量大幅降低，严重时气阀碎片可能进入气缸，造成气缸划伤。气流脉动产生于气体吸入、排出过程的周期性变化，脉动气流在管道内传播时会引发管道振动，振动频率与压缩机转速、气阀开关频率相关，剧烈管道振动会导致管道连接部位松动，甚至管道破裂；同时气流脉动会使压缩机吸气、排气压力波动，影响压缩机运行稳定性，降低压缩效率。这种压力波动还会反作用于气阀，加剧阀片冲击与磨损，形成故障恶性循环，且脉动引发的管道疲劳损伤难以直观察觉，可能在运行中突然引发安全事故。高压气体泄漏还会产生尖锐噪声，长期接触对周边人员造成影响。

### 1.3 电气故障

电机故障中，电机绕组短路多因绝缘层损坏导致，短路会使电机电流急剧增大，电机温度快速升高，可能引发电机烧毁，导致压缩机无法启动；绕组断路会使电机缺相运行，启动时电机振动剧烈，伴有异常噪声，无法正常输出动力；绝缘老化会使电机绝缘性能下降，可能出现漏电现象，存在安全隐患，同时影响电机使用寿命。电机故障还可能引发电源开关跳闸、接触器频繁吸合烧毁等连锁问题，进一步扩大故障影响范围。控制系统故障里，传感器故障会导致监测数据失真，如温度传感器故障会使控制器无法准确获取设备温度，压力传感器故障会导致压力控制失效，影响压缩机运行参数调节；控制器程序错误会使压缩机运行指令异常，如转速控制紊乱、加载卸载逻辑错误，导致压缩机运行失控，可能出现过载、超压等问题，影响设备安全运行。潮湿

环境中,电气元件受潮会显著增加漏电与短路风险。

## 2 天然气压缩机状态监测技术分类

### 2.1 振动监测技术

振动传感器原理与安装方面,加速度传感器通过感知振动加速度变化输出电信号,适用于高频振动监测,常安装在压缩机轴承座、缸体等振动传递直接的部位;速度传感器基于电磁感应原理将振动速度转化为电信号,适合中频振动测量,多安装在转子两端轴承盖处;位移传感器通过非接触方式测量振动位移量,多用于低速、重载转子的径向振动监测,安装时需保证与转子表面的间隙稳定。传感器安装需避开设备结构薄弱区域,确保固定牢固,减少外界干扰对测量数据的影响<sup>[2]</sup>。振动信号分析方法中,时域分析通过计算峰值、有效值、峭度等指标判断振动强度,峰值可反映瞬时冲击振动,有效值能体现振动平均强度,峭度对早期故障引发的冲击信号敏感,可用于轴承磨损、转子裂纹等故障的早期识别;频域分析通过傅里叶变换将时域信号转化为频域图谱,结合功率谱分析识别特征频率,如轴承故障会在特定频率出现峰值,转子不平衡对应一倍频振动异常;时频分析通过短时傅里叶变换、小波分析处理非平稳振动信号,短时傅里叶变换可观察信号频率随时间的变化,小波分析能精准捕捉突变信号,适用于压缩机启动、加载等过渡阶段的故障诊断。

### 2.2 温度监测技术

温度传感器类型与选型方面,热电偶利用热电效应将温度变化转化为热电势,测量范围广、响应速度快,适合气缸、排气管道等高温部位监测;热电阻基于电阻值随温度变化的特性工作,测量精度高、稳定性好,多用于轴承、电机绕组等中低温区域温度测量。选型时需根据监测部位的温度范围确定传感器类型,同时结合测量精度要求选择合适的分度号,确保传感器输出信号与数据采集系统适配。温度监测点布置需遵循全面覆盖关键发热部位的原则,轴承部位需在轴承内圈、外圈分别布置监测点,实时掌握轴承内外温差;气缸需在缸壁、缸盖处设置监测点,跟踪压缩过程中的温度变化;电机绕组需在定子三相绕组上分别布置监测点,防止局部过热;润滑油路需在进油口、出油口设置温度监测点,判断润滑油冷却效果。监测点布置需避开热源干扰区域,确保测量数据能真实反映设备热状态。

### 2.3 压力监测技术

压力传感器原理与应用方面,压阻式压力传感器通过半导体压阻效应将压力变化转化为电阻变化,测量精度高、线性度好,常用于压缩机进气压力、排气压力的

实时监测;压电式压力传感器基于压电效应工作,响应速度快,适合测量动态压力变化,多用于级间压力、气缸内压力脉动的监测。压力传感器安装时需保证测量接口与流体管道密封良好,避免泄漏影响测量精度,同时需根据介质特性选择耐腐蚀、耐高压的传感器型号。压力信号分析可通过多种方式判断压缩机运行状态,压力波动分析通过监测进气、排气压力的波动幅度与频率,识别气阀密封不严、气流脉动等问题,正常工况下压力波动较小,故障时波动幅度会显著增大;压力比分析通过计算各级压力比,判断级间密封是否泄漏,若某级压力比异常降低,可能存在级间密封泄漏问题;通过对比实际压力与设计压力,可评估压缩机压缩效率变化,为设备性能优化提供依据。

### 2.4 声学监测技术

声发射监测原理是设备内部发生裂纹扩展、密封泄漏等故障时,会释放弹性波产生声发射信号,声发射传感器通过接收这些信号并转化为电信号,实现对故障的监测。在压缩机结构裂纹监测中,声发射信号的幅值、计数率会随裂纹扩展而增大;在密封泄漏监测中,气体通过泄漏缝隙会产生湍流噪声,形成特定频率的声发射信号,通过分析信号特征可定位泄漏位置并判断泄漏程度。噪声监测与分析需使用噪声传感器采集压缩机运行时的噪声信号,噪声监测设备通过频谱分析将噪声信号分解为不同频率成分。正常运行时压缩机噪声有稳定的频谱特征,当出现齿轮磨损、轴承故障时,会在特定频率段出现噪声峰值,如齿轮磨损会导致啮合频率处噪声增大,轴承故障会产生对应特征频率的噪声;通过对比正常与异常工况下的噪声频谱,可准确识别故障类型,为设备维修提供指导。

### 2.5 油液分析技术

油液采样方法与要求需严格规范,采样部位应选择润滑油循环系统的回油管路或油箱中部,避开死油区与污染物沉积区域;采样频率需根据压缩机运行时间与工况确定,常规运行状态下每月采样一次,恶劣工况下需缩短采样间隔;采样容器需使用洁净、干燥的专用容器,采样前需对采样接口进行清洁,避免外界污染影响样品代表性,采样后需及时标注采样时间、部位、设备运行时长等信息<sup>[3]</sup>。油液分析项目与意义体现在多方面,油液理化性能分析中,粘度变化可反映润滑油老化程度,粘度升高或降低均会影响润滑效果;酸值升高表明润滑油氧化变质,可能腐蚀设备部件;水分含量超标会破坏油膜,导致润滑失效。磨损颗粒分析中,铁谱分析通过显微镜观察磨损颗粒的形态、大小,判断磨损类型

与严重程度,如球形颗粒可能来自轴承磨损,片状颗粒可能源于齿轮磨损;光谱分析可检测油液中金属元素含量,通过元素浓度变化预测设备磨损趋势,提前发现潜在故障,避免设备因润滑失效或磨损加剧引发严重故障。

### 3 状态监测技术在天然气压缩机不同阶段的应用

#### 3.1 安装调试阶段

基础状态监测需贯穿压缩机安装全过程,使用水平仪、位移传感器监测设备基础沉降与水平度,安装初期需每日记录基础沉降数据,观察沉降是否趋于稳定,避免因基础不均匀沉降导致压缩机机身倾斜;水平度监测需覆盖压缩机底座各支撑点,确保水平偏差控制在允许范围,防止因机身倾斜引发转子对中不良、轴承受力不均等问题,为后续设备稳定运行奠定基础。空载与负载试运行监测需整合多类监测技术,空载试运行时通过振动传感器监测轴承、转子等部位的振动参数,判断转子对中情况与轴承安装精度,若振动幅值超标需及时调整对中状态;利用温度传感器监测轴承、电机绕组温度,确保空载运行时各部位温度无异常升高。负载试运行阶段需同步监测压力参数,通过压力传感器记录进气、排气及级间压力,验证压缩机压力输出是否符合设计要求;结合振动、温度数据综合评估设备在不同负载下的运行稳定性,发现气阀密封不良、管路振动等问题时及时停机调整,确保安装调试阶段问题得到彻底解决。

#### 3.2 正常运行阶段

定期监测与趋势分析需制定科学的监测计划,根据压缩机运行强度与工况特点确定监测周期,常规工况下每周开展一次振动、温度数据采集,每月进行一次油液分析与压力参数汇总。将长期监测数据整理形成趋势曲线,通过对比不同周期的振动特征频率、温度变化幅度、压力波动范围,判断设备健康状态变化趋势,如振动峰值缓慢升高可能预示轴承磨损加剧,油温持续上升需排查冷却系统或润滑系统问题,提前识别潜在故障风险。实时状态评估需依托在线监测系统,系统通过分布在关键部位的传感器实时采集数据,传输至后台分析平台后,结合预设的故障诊断模型对数据进行自动分析。当振动、温度、压力等参数超出正常阈值时,系统及时

发出预警信号,同时生成设备健康状态报告,明确可能存在的故障类型与风险等级。操作人员可依据报告调整生产调度计划,维修人员结合预警信息制定针对性维修方案,避免盲目停机或延误维修。

#### 3.3 维修后阶段

维修质量监测需聚焦维修部位,轴承更换后通过振动传感器监测轴承部位的振动幅值与频率,确认振动参数恢复至正常范围,无异常冲击信号;密封件维修后需监测压力变化,通过压力传感器观察级间压力是否稳定,判断密封是否达到预期效果;电机绕组维修后需持续监测绕组温度,确保无局部过热现象,验证维修部位运行状态符合要求<sup>[4]</sup>。性能恢复评估需对比维修前后的关键参数,收集维修前的振动、温度、压力、排气量等性能数据,与维修后相同工况下的数据进行对比。若维修后振动幅值降低、温度波动减小、排气量提升,说明维修有效改善了设备性能;若部分参数无明显变化或恶化,需分析原因并补充维修措施。将评估结果纳入设备维修档案,为后续同类故障维修策略调整提供参考,逐步优化维修方案,提升维修效率与质量。

#### 结束语

建筑工程施工现场安全管理是一项系统且长期的工作。通过对安全管理理论基础的研究、影响因素的剖析、核心内容的明确以及实施路径的规划,可有效提升施工现场的安全管理水平。在实际工程中,需不断优化管理措施,强化人员安全意识,完善设备材料管理,改善作业环境,积极应用安全技术创新成果,构建完善的安全应急体系,保障建筑工程施工安全。

#### 参考文献

- [1]郝志龙,管萌.天然气处理厂压缩机振动状态研究[J].石油石化物资采购,2025(12):37-39.
- [2]唐顺东.浅析页岩气往复式天然气压缩机故障诊断测评[J].中国设备工程,2024(23):22-25.
- [3]王静.论天然气压缩机常见故障与处理[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(10):26-27.
- [4]马斌,李星,王志永.天然气压缩机状态监测的应用[J].现代工业经济和信息化,2020,10(5):101-102.