

往复式压缩机故障诊断技术

郑国强

中海石油宁波大榭石化有限公司 浙江宁波 315800

摘要: 文章结合 4M125 型双三级四列往复式压缩机基本情况, 对其故障诊断技术进行分析。包括往复式压缩机基本工作原理及其常见故障类型, 往复式压缩机典型故障诊断技术, 以及往复式压缩机的常见故障维护方法。根据其常见故障, 探讨小波分析、专家系统以及声发射等典型故障诊断技术, 并提出相应的故障维护方法。希望通过此次分析, 可以为往复式压缩机的故障诊断及维护提供参考。

关键词: 往复式压缩机; 工作原理; 常见故障; 故障诊断技术; 故障维护方法

前言

往复式压缩机是现代机械领域中的常见气体压缩装置, 凭借制造技术成熟、热效率高、加工便捷、耗电量少和造价低廉等优势, 该装置在当今的石油、化工等众多领域中均已得到广泛应用。但是由于该装置中的运动部件数量较多, 整体结构复杂, 往复式压缩机在运行过程中较容易出现故障, 且运维难度较大。因此往复式压缩机的故障诊断及维护也成为各个应用领域和运维工作人员的重点关注内容。

1 往复式压缩机基本工作原理及其常见故障类型

1.1 基本工作原理

4M125 型双三级四列往复式压缩机属于一种容积式压缩机, 其核心工作原理是通过活塞在气缸里的往复运动, 使缸体容积呈现出周期性变化, 以此来加压氢气, 便于输送。该压缩机的主要组成结构属于 M 型对动平衡式, 机组布置为二层, 列数是四列, 压缩级数是三级, 气缸为少油润滑形式, 在高压氢气压缩中非常适用。具体工作时, 压缩机的传力路径是由电机为曲轴提供驱动, 使曲轴旋转, 并推动连杆, 使其带着活塞在气缸内部沿轴线实施往复运动。活塞下行过程中, 气缸内部容积将逐渐增加, 开启进气阀, 关闭排气阀, 在压差作用下将氢气吸入气缸内部; 活塞上行过程中, 气缸内部容积将逐渐减小, 压缩氢气, 待压力达到设定值时, 开启排气阀, 关闭进气阀, 输送高压氢气到下游^[1]。由于该机型的压缩机具有较多压缩级数和气缸列数, 因此在设计应用时需使每一列活塞保持同步, 各级压力良好匹配, 从而实现氢气的高效、安全压缩。

1.2 常见故障类型

根据 4M125 型双三级四列往复式压缩机的基本特征及其以往实践应用情况来看, 其常见故障有以下两种类型。第一是热力性能故障, 包括末级排气压力不稳定、压力不足、压力超标和排压传感器不能有效连接、压力损失等压力异常; 气阀泄漏、活塞密封磨损、冷却系统效率降低等排量异常; 排气管道或气缸温度超标等温度异常。第二是动力性能故障, 包括轴瓦磨损、缸壁和活塞间隙过大等导致的噪声和振动; 轴瓦温度过高、十字头滑道过度摩擦、大型运动部件超负荷等导致的温度异常升高。通常情况下, 这两类典型故障之间具有一定的关联性, 因此运维时应通过氢气介质和大型机械特征等的综合分析来进行故障诊断。

2 往复式压缩机的典型故障诊断技术

2.1 小波分析诊断技术

在 4M125 型双三级四列往复式压缩机典型故障诊断中, 小波分析技术是最常用且有效的一种诊断技术。该技术的基本原理是通过传感器设备对压缩机各级气缸缸体、气阀和曲轴箱等部位的振动信号进行采集, 采用多尺度分解的方式, 对采集到的振动信号实施降噪处理, 将氢气气流脉动产生的干扰信号有效滤除; 再对不同频率的信号实施单分支机构分离处理, 比如提取气阀部位因氢气泄漏而出现的高频信号, 或因活塞磨损而出现的中低频信号等; 最终生成能够匹配该压缩机基本结构的振动信号特征矩阵, 使其中的各个维度都与三级四列振动参数做到一一对应^[2]。考虑到 4M125 型双三级四列往复式压缩机实际运动中的振动信号有很多, 比如各列活塞往复运动时产生的低频振动信号, 气阀启闭或氢气

流动产生的高频振动信号等,同时也可能存在密封失效、轴瓦磨损等产生的异常振动信号叠加其中。由于其振动信号非常复杂,传统的傅里叶分析法通常难以对不同信号做出准确区分。此时,借助小波分析技术,即可对不同信号做出准确诊断。具体应用时,该技术可对气阀中因氢气微量泄漏所导致的高频信号变化、活塞密封轻度破损所导致的中低频振动信号周期性上升等做到精准捕捉,从而对相应的故障做出及时、准确诊断,使各类早期故障得到及时发现和预警,以免氢气大量泄漏所导致的压缩机运行效率降低或安全风险。相较于传统的傅里叶分析法而言,该技术的核心优势是可对时域和频域范围内的不稳定振动信号做出精准解析,对复杂振动源频率成分做到精准分离,从而为往复式压缩机故障定位提供有力的技术支持。

2.2 专家系统诊断技术

由于4M125型双三级四列往复式压缩机的整体结构比较复杂,运行中的故障原因有很多,活塞磨损、气阀密封失效等各种情况均可引发氢气泄漏故障,因此在具体的故障诊断中,专家系统也属于一种关键的诊断技术。该技术主要利用人工智能技术对人类专家的分析和推理进行模拟,在达到传统专家分析诊断效果的前提下,成功摆脱对人工诊断的依赖性,提高诊断效率。通常情况下,此类往复式压缩机的专家诊断系统可按四个关键模块划分。第一是知识获取模块,该模块主要负责收集往复式压缩机的氢气历史工况数据,包括气阀泄漏或传感器失准等历史故障案例等,对压缩机的设计规范及其运行手册进行全面整合,并结合采集到的历史工况数据,建立一个专属的故障知识库,将各类历史运行故障都囊括其中。第二是知识表达模块,该模块主要在规则和事实结构下,根据数据库中的历史故障案例,将压缩机故障现象及其成因转化成相应的逻辑关系,比如氢气排量降低且气阀端振动频率超标代表存在气阀泄漏故障^[3]。第三是数据维护模块,该模块主要负责对故障案例数据进行实时更新,从而为人工智能诊断模型训练提供数据支持,以提升其故障诊断准确度。第四是推理模块,该模块主要负责通过正向推理的形式,对检测到的压缩机故障现象与其成因进行匹配;或通过反向推理的形式,调取故障数据,将其和历史安装数据对比,对相应的故障做出精准锁定。在该技术支持下,往复式压缩机的故障诊断准确率可得到有效保障,且诊断效率将显著提升,同时也可对氢气介质基本特性做出全面整合,防

止诊断失误情况出现。

2.3 声发射诊断技术

声发射诊断技术是4M125型双三级四列往复式压缩机故障诊断中的典型无损监测技术,该技术可和压缩机实际应用中的连续运行需求相适应。其基本原理是利用监测设备对压缩机气体泄漏、金属磨损等情况下发出的声波信号做到准确测量,通过信号特征对比的方式,对相应故障做出精准诊断。具体应用时,技术人员可将传感器设置在压缩机每一列气缸的阀端、活塞腔体内部、各级冷却水管路接口和曲轴轴瓦座等部位,以实现压缩机各部位声波频率信号的实时监测。借助监测系统内的声波信号处理模块,可对实时采集到的声波数据进行处理,将其中的正常氢气流动背景噪声滤除,并准确提取出其中的异常声波信号,比如气阀松动所导致的声波随曲轴转动周期性变化、氢气泄漏导致的声压超标等。最后借助该系统中的故障定位模块,对多个传感器采集到的声波信号时差进行分析,以实现故障定位误差的有效控制。借助该技术,可对往复式压缩机冷却水管路的微小泄漏故障、气阀密封面早期损伤故障等做出及时、准确诊断,在设备正常运行情况下即可精准发现其中存在的故障或异常,以免非计划停机情况发生。

3 往复式压缩机的常见故障维护方法

3.1 排压传感器故障维护

针对4M125型双三级四列往复式压缩机运行中的排压传感器故障,具体处理时,运维技术人员需要先关闭设备,缓慢释放出其中的氢气,将进出口部位的阀门关闭,用氮气置换出其中的氢气,使氢气浓度达到总体积的0.5%以下,同时将传感器电路切断,以免出现电火花。完成设备拆解后,若发现电路损坏,需通过无水乙醇对故障电路端子实施清洁处理,紧固好后涂上防腐蚀油脂;若发现传感器损坏,则需要用同种型号的传感器实施替换处理,替换后通入标准压力气体,对其实施校准处理,使其误差不超过0.5%。

为避免此类故障发生,运维技术人员需要在每个季度对所有传感器实施一次精度校准,每半年对所有传感器线路实施一次密封性和绝缘性排查。通过应根据实际情况,为各个传感器设备建立使用寿命台账,在临近最长使用寿命之前做好设备更换,以免排压传感器故障影响整体压缩机运行效果。

3.2 气阀泄漏和松动故障维护

针对4M125型双三级四列往复式压缩机运行中的气阀

泄漏和松动故障,发现时,运维技术人员应立即将设备关闭,缓缓释放出其中的氢气,将出口阀门关闭,用氮气置换出其中的氢气,使氢气浓度达到总体积的0.5%以下。然后对多片式气阀组件实施拆解处理,对各个阀片上的密封面实施泄漏检查,如发现松动情况,可严格按维修手册将螺栓紧固好,并及时更换失效的防松垫圈,之后用塞尺对缸体和其他间隙进行测量,并根据测量结果实施校准处理,使其间隙不超过0.05mm。

为实现此类故障的有效预防,运维技术人员还需要定期对气阀和气阀弹簧进行检修和维护处理,并做好气阀开启与关闭等校准工作^[4]。如果发现氢气介质内含有的杂质较多,运维人员可结合实际情况,将气阀运维时间适当缩短,为其质量提供良好保障,以确保压缩机运行效果。

3.3 冷却水路故障维护

对于4M125型双三级四列往复式压缩机运行过程中的冷却水路故障,具体维修时,运维技术人员需根据实际故障部位,采取针对性的方法进行维修。如果是水泵发生故障,维修时需结合实际情况,对水泵叶轮或轴瓦实施更换处理,并做好电机绝缘处理,使其绝缘性达到IP54及以上。如果是散热器或管道发生堵塞,维修时可通过5%的柠檬酸先浸泡2~4h,再实施冲洗处理;如果堵塞情况非常严重,则需要对散热芯及时进行更换处理。如果是水泵泄漏故障,维修时则需要做好橡胶垫片更换处理,或将泵体上的裂纹补焊好,通过压力测试确认合格后方可继续使用。

为实现此类故障的有效预防,运维技术人员可每月对水质实施一次监测,如发现水质超标,则需要及时置换水箱内的软化水;每季度对散热器实施一次扫灰处理;每半年对水路实施一次压力测试,确保其在一定的压力和时间条件下不发生泄压情况后,才可继续使用。

3.4 油液异常故障维护

在4M125型双三级四列往复式压缩机的运维检修过程中,如果发现油液异常故障,运维技术人员应立即将设备关闭,缓缓释放出其中的氢气,将出口阀门关闭。然后根据实际情况,采取合理的措施进行维修处理。如果发现较多磨损微粒,可将轴瓦拆卸下来,对油箱油路实施清洁处理,并替换密度更高的滤芯。如果发现油品退化,应将其中的旧油液

排出,将油箱清洗干净,然后将新的压缩机油加入。如果发现油液中的水分含量超标,则需要加强密封检查,实施密封处理后,用0.5%硅胶干燥剂对油液实施干燥处理,以吸出其中的多余水分,确保油液质量^[5]。

为防止此类故障发生,运维技术人员应每两周对油液情况进行一次分析,建立相应的油液变化趋势图,以便及时掌握其变化情况;每月对油位实施一次检查,使其处于规定范围之内;每季度对油液过滤器实施一次更换处理。如果压缩机处于连续满负荷运行状态,其油液维护周期还需要根据实际情况进一步缩短,以实现异常情况的及时发现,防止不必要的故障问题产生。

4 结束语

综上所述,4M125型双三级四列往复式压缩机是目前比较典型且常用的压缩机设备。由于该压缩机设备的组成结构比较复杂,运行工况比较恶劣,因此在长时间连续运行条件下,其热力性能和动力性能都很容易出现一些故障。基于此,具体应用时,运维技术人员需明确此类压缩机的典型故障及其成因等,结合实际情况,采取合理的技术措施进行故障诊断,以实现各类故障的及时、精准确定,为后续运维检修工作提供支持。在发现相应的故障后,运维技术人员应及时将往复式压缩机设备停机,通过拆解维修或更换等方式,及时消除其运行故障。同时应结合压缩机不同部位实际情况及其运维需求等,在日常应用中加强预防性维护。如此方可使此类设备的故障得到及时发现、处理和预防,为其高效、安全、稳定运行创造有利条件。

参考文献:

- [1] 韩平,许鑫鑫.往复式压缩机故障诊断技术[J].工程管理与技术探讨,2025(16):63-65.
- [2] 张祥熙.天然气往复式压缩机气阀常见故障及提高其耐用性的措施探讨[J].机械工程师,2025(8):153-156.
- [3] 陈焯龙.往复式压缩机在线状态监测系统研究[J].现代制造技术与装备,2025(6):1-4.
- [4] 蒋军.往复式压缩机故障案例分析与防范措施[J].设备管理与维修,2025(8):93-95.
- [5] 吴淑祥.往复压缩机状态监测与故障诊断方法研究[J].中国设备工程,2025(2):165-167.