

离心式压缩机运行故障与检修分析

张 臻

国家能源集团宁夏煤业公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750411

摘 要：离心式压缩机作为工业生产中的关键设备，其稳定运行直接影响生产效率。本文围绕离心式压缩机的运行故障与检修展开分析，首先阐述其工作原理与结构特点，为故障分析奠定基础；随后重点剖析振动、密封、喘振、轴承温度过高及叶轮等常见故障的表现与成因；最后针对各类故障提出对应的检修方法，旨在为设备维护提供理论支持与实践指导，以提升压缩机的运行可靠性和使用寿命，保障工业生产的连续稳定进行。

关键词：离心式；压缩机；运行故障；检修分析

引言：在石油、化工、冶金等工业领域，离心式压缩机凭借其排气量大、效率高、结构紧凑等优势，被广泛用于气体压缩与输送。然而，受复杂工况、长期运行及维护不当等因素影响，压缩机易出现各类故障，导致生产中断甚至设备损坏。因此，深入研究离心式压缩机的故障类型、成因及检修技术具有重要现实意义。并从其工作原理与结构特点出发，系统分析振动、密封、喘振等典型故障，结合实际检修经验提出针对性解决方案，为相关从业人员提供参考，助力提升设备管理水平与生产安全性。

1 离心式压缩机的工作原理与结构特点

1.1 工作原理

离心式压缩机通过高速旋转的叶轮对气体做功，实现气体压缩。当叶轮由电机或汽轮机驱动高速旋转时，气体被吸入叶轮中心，在离心力作用下被甩向叶轮外缘，压力与速度同步提升。气体离开叶轮后进入扩压器，流速降低，动能转化为静压能，压力进一步升高。多级压缩机通过弯道与回流器将气体引入下一级叶轮，逐级增压至所需压力。

1.2 结构特点

离心式压缩机由转子与定子两大部分构成。转子包含主轴、叶轮、平衡盘及推力盘，叶轮为闭式或半开式结构，通过红套工艺固定于主轴，确保高速旋转下的稳定性；平衡盘利用级间压力差平衡轴向力，减少止推轴承负荷。定子由气缸、隔板、扩压器及密封系统组成，气缸采用水平剖分型（低压）或筒型（高压）结构，前者便于检修，后者强度更高；隔板集成扩压器与弯道，引导气体流向下一级；密封系统采用迷宫密封、浮环密封或干气密封，有效减少级间与轴端泄漏^[1]。

2 离心式压缩机运行故障分析

2.1 振动故障

2.1.1 转子不平衡：转子不平衡是离心式压缩机振动故障的常见因素。在制造、安装或运行过程中，转子各部分质量分布不均，如叶轮磨损、结垢不均，会使转子重心偏离旋转轴线。旋转时产生离心力，引发周期性振动，振动频率与转速相关，不平衡量越大，振动越剧烈。

2.1.2 轴承损坏：轴承作为支撑转子的关键部件，损坏会直接导致振动。轴承长期运行后，滚道磨损、保持架损坏或润滑不良，会使轴承间隙增大、滚动体运动受阻。转子在旋转时失去稳定支撑，产生异常振动，且振动频率和幅度会随轴承损坏程度加剧而变化。

2.1.3 气动力引起的振动：气流在压缩机内部流动不稳定，会产生气动力引起振动。当气流出现分离、涡流或压力脉动时，作用在叶轮等部件上的气动力不均匀，使转子受到周期性冲击。例如，喘振前期气流紊乱，就会引发强烈的气动力振动，影响压缩机正常运行。

2.1.4 基础问题：压缩机基础设计或施工不合理，会引发振动。若基础刚度不足，在压缩机运行时会产生弹性变形，无法有效承受设备重量和运转产生的动载荷，导致设备整体振动。此外，基础沉降不均匀也会使压缩机各部件相对位置改变，破坏平衡状态，引发异常振动。

2.2 密封故障

2.2.1 密封件磨损：离心式压缩机运转时，密封件持续承受摩擦、高温及介质侵蚀。气体中的微小颗粒会像砂纸一样磨损密封面，长期运行使密封件表面粗糙度增加、尺寸改变。如迷宫密封的梳齿变钝，浮环密封的浮环磨损，导致密封间隙超出设计范围，气体泄漏量显著上升，影响压缩机效率和性能。

2.2.2 密封安装不当：密封安装环节若操作失误，极易引发故障。安装时未清理密封部位杂质，会使密封件与配合面贴合不紧密，存在微小间隙。密封件安装倾斜、偏心，或未按规定扭矩紧固螺栓，会导致密封受力

不均。这些都会破坏密封结构完整性,使气体在运转中从安装缺陷处泄漏。

2.2.3 密封系统故障:密封系统由多个部件协同工作,任一环节出问题都会影响密封效果。如密封气源压力不足或波动大,无法在密封端面形成有效气膜;密封液供应中断或杂质过多,会磨损密封件;仪表监测失准,不能及时发现密封泄漏隐患。

2.3 喘振故障

2.3.1 工作点进入喘振区:当离心式压缩机的实际运行工况发生变化,如出口压力骤升、进口流量锐减,或管网特性改变,会使压缩机工作点向小流量、高压方向移动。一旦进入喘振区,气流在叶轮内出现强烈周期性振荡,产生与转子旋转方向相反的脉冲力,导致压缩机剧烈振动,同时伴有异常噪声和性能急剧恶化。

2.3.2 防喘振控制失灵:防喘振控制系统通过监测压缩机进出口参数,自动调节防喘振阀开度来避免喘振。若控制系统中的传感器故障,提供错误信号;调节阀卡涩,无法及时响应控制指令;或控制逻辑出现错误,都会使防喘振控制失灵。此时压缩机无法有效避开喘振区,极易引发喘振故障,危及设备安全。

2.4 轴承温度过高故障

2.4.1 润滑油问题:润滑油质量不佳或供应异常会引起轴承温度过高。若润滑油粘度不合适,难以形成有效油膜,无法充分润滑和散热;油中杂质过多,会磨损轴承表面,增加摩擦生热。此外,润滑油量不足,不能及时带走热量,或油路堵塞,导致润滑油无法正常循环到轴承部位,都会使轴承温度急剧上升。

2.4.2 冷却系统故障:冷却系统对轴承散热至关重要。若冷却器内水垢堆积,会降低冷却效率,使冷却水无法有效带走润滑油热量;冷却水流量不足,如水泵故障、管路泄漏等,会导致冷却效果变差;冷却器通风不畅,空气不能及时带走热量,也会影响散热,进而造成轴承温度过高。

2.4.3 轴承装配不当:轴承装配过程中的失误会导致温度异常。若轴承间隙调整不当,过小会使摩擦增大,生热过多;过大则会使轴承运转不稳定,产生冲击载荷。轴承安装倾斜,会造成轴颈与轴承表面受力不均,局部摩擦加剧。另外,轴承与轴、轴承座的配合过紧或过松,也会影响轴承的正常运转和散热,引发温度升高。

2.5 叶轮故障

2.5.1 叶轮磨损:离心式压缩机运行中,叶轮长期受气体中固体颗粒冲刷。在叶轮进口处,气流速度高且方向改变大,颗粒撞击频繁,导致该部位磨损严重。随着

运行时间增长,叶轮叶片变薄、型线改变,影响气流做功能力,使压缩机效率下降、性能变差。

2.5.2 叶轮腐蚀:若气体中含有腐蚀性介质,如酸性气体、水分等,叶轮会遭受化学或电化学腐蚀。腐蚀会破坏叶轮表面金属结构,使其逐渐变薄、出现坑洼。特别是叶轮边缘和流道表面,腐蚀会改变叶轮几何形状,降低其强度和气动性能,威胁压缩机安全运行。

2.5.3 叶轮变形:叶轮在高温、高速及复杂应力作用下易发生变形。高温会使叶轮材料热膨胀不均,产生热应力;高速旋转产生的离心力也会使叶轮承受巨大拉应力。长期运行后,叶轮可能出现弯曲、扭曲等变形,导致叶轮与机壳间隙改变,引发动荡、摩擦等故障,影响压缩机正常工作^[2]。

3 离心式压缩机的检修方法

3.1 振动故障的检修

3.1.1 转子平衡校正:先对转子做全面清洁,去除表面污垢与杂质。采用动平衡机精确测量转子不平衡量大小与相位,依据测量结果,在指定位置通过去重(如钻孔)或加重(如焊接配重块)方式调整转子质量分布。校正后再次测量,确保不平衡量在允许范围内,保障转子旋转平稳,降低振动。

3.1.2 轴承更换与调整:仔细检查轴承外观,若有磨损、裂纹等缺陷则需更换。安装新轴承前,清洁轴承座与轴颈,确保无杂质。按照规定扭矩和顺序安装轴承,使用专用工具避免损坏。调整轴承间隙,通过塞尺测量,保证间隙符合设计要求,使轴承能正常润滑与散热,减少因轴承问题引发的振动。

3.1.3 气路优化与控制:对压缩机气路进行全面检查,清理气流通道内的杂物与积垢,保证气路畅通。优化进气与排气管道布局,减少弯头与阻力件,降低气流阻力与压力损失。同时,精确控制压缩机运行参数,如流量、压力等,避免气流出现分离、涡流等不稳定现象,从而降低气动力引起的振动。

3.1.4 基础加固与调整:检查压缩机基础,若存在松动、裂缝等问题,先进行基础加固处理,如采用灌浆等方法增强基础强度与稳定性。使用水平仪等工具检测基础水平度,若不水平则通过调整垫铁等方式进行找平。确保基础刚度与水平度符合要求,为压缩机提供稳定支撑,减少因基础问题导致的振动。

3.2 密封故障的检修

3.2.1 密封件更换:当密封件磨损严重,出现明显裂纹、缺口或密封间隙超出允许范围时,需及时更换。先拆除旧密封件,清理安装部位杂质与残留物。根据压缩

机型号和密封要求,选择合适规格与材质的新密封件。安装时注意密封件方向与位置,确保安装到位,避免扭曲或偏斜,保证密封件能正常发挥密封作用,防止气体泄漏。

3.2.2 密封安装检查与修复:对密封安装情况进行细致检查,查看密封件与配合面贴合是否紧密,有无间隙。若存在安装不当问题,如密封件倾斜、偏心,需重新调整安装位置,保证其与轴同心。对于安装部位的微小缺陷,如毛刺、划痕等,进行打磨修复,确保表面光滑,提高密封效果。同时,检查紧固螺栓是否拧紧,防止密封件松动。

3.2.3 密封系统维护与检修:定期检查密封系统的气源、密封液供应情况,确保压力稳定、流量充足。检查仪表显示是否准确,若出现偏差及时校准。清理密封系统中的过滤器,防止杂质堵塞管路。对调节阀、电磁阀等部件进行检修,保证其动作灵活、可靠。通过全面维护与检修,确保密封系统正常运行,为密封件提供良好的工作条件,减少密封故障发生。

3.3 喘振故障的检修

3.3.1 调整工作点:首先分析压缩机喘振时的工作参数,明确导致工作点进入喘振区的原因。若是出口压力过高,可适当降低压缩机出口阀门开度,或对管网系统进行降压处理;若为进口流量过小,检查进口过滤器是否堵塞并清理,同时调节进口导叶开度以增大流量。通过精准调整运行参数,使压缩机工作点稳定处于安全区域,避免喘振现象再次发生。

3.3.2 防喘振控制系统检修:对防喘振控制系统的传感器进行校验,确保其测量数据准确无误,能实时反映压缩机进出口压力、流量等参数。检查调节阀,查看是否存在卡涩、泄漏等问题,必要时进行维修或更换。同时,检查控制逻辑是否正确,对控制程序进行调试和优化,保证防喘振控制系统能根据工况变化及时、准确地调节防喘振阀开度,有效预防喘振故障。

3.4 轴承温度过高故障的检修

3.4.1 润滑油处理:先检测润滑油粘度、酸值等指标,若不符合要求则更换新油。检查油过滤器,若堵塞严重,及时清洗或更换滤芯,保证润滑油清洁度。查看油路是否存在泄漏,若有泄漏点,修复后补充润滑油至合适油位。同时,检查润滑油泵工作状态,确保其能稳定供油,使轴承得到充分润滑和有效散热,降低轴承温度。

3.4.2 冷却系统检修:对冷却器进行外观检查,查看是否有水垢、油污附着。若存在,采用化学清洗或机械清

洗方法去除污垢,恢复冷却器换热效率。检查冷却水流量,若水泵故障或管路堵塞导致流量不足,维修水泵或清理管路。查看冷却器通风情况,清理通风口杂物,保证空气流通顺畅,增强冷却效果,降低轴承运行温度。

3.4.3 轴承装配检查与调整:拆卸轴承,检查轴承内外圈、滚动体等部件是否有磨损、裂纹等缺陷,若有则更换新轴承。测量轴承游隙,若游隙不符合设计要求,通过调整轴承内外圈位置或更换合适轴承进行修正。检查轴承与轴、轴承座的配合间隙,若过紧或过松,进行相应加工或修复,保证轴承装配精度,使轴承运转平稳,减少摩擦生热。

3.5 叶轮故障的检修

3.5.1 叶轮修复:若叶轮出现局部磨损、裂纹或气蚀等较轻故障,可采用修复工艺处理。对于磨损部位,用专用补焊材料进行堆焊,再通过车削、磨削等加工方式恢复叶轮尺寸精度与表面光洁度。若有裂纹,先开坡口,再用合适焊条焊接,焊接后进行探伤检查确保无缺陷。气蚀部位可通过喷涂耐磨涂层增强抗气蚀能力,修复后需做动平衡试验。

3.5.2 叶轮更换:当叶轮磨损严重、存在贯穿性裂纹或修复成本过高时,需更换新叶轮。先拆除损坏叶轮,清理轴上残留物并检查轴的尺寸精度与表面质量。选用与原叶轮型号、规格一致的新叶轮,安装时注意叶轮与轴的配合方式,采用热装或冷装工艺确保安装到位。安装后进行动平衡校验,保证叶轮旋转平稳,避免因叶轮问题引发压缩机振动等故障^[3]。

结束语

离心式压缩机作为工业生产中的关键设备,其运行故障的精准分析与有效检修至关重要。本文深入探讨了振动、密封、喘振、轴承温度过高以及叶轮等常见故障的成因,并针对性地提出了检修方法。通过科学合理的检修策略,可及时消除故障隐患,保障压缩机的稳定运行,降低设备停机风险与维修成本,提高生产效率与产品质量。

参考文献

- [1]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,2021,(06):3-4.
- [2]侯国安,周凯.离心式压缩机故障原因分析及处理措施[J].化学工程与装备,2021,(08):4-5.
- [3]李志强.离心式压缩机转子的振动分析与检修[J].包钢科技.2021(08):74-75.