

往复式压缩机故障诊断技术

韩平 许鑫鑫

陕西长青能源化工有限公司 陕西 宝鸡 721405

摘要：往复式压缩机在工业领域占据核心地位，其稳定运行至关重要。故障将导致生产中断、经济损失及安全风险。常见故障包括机械故障、气路故障和润滑故障，需通过先进诊断技术解决。振动分析、油液监测、智能诊断及热成像与声学诊断技术，为压缩机故障诊断提供了高效手段。这些技术能够精准识别故障类型与位置，实现预测性维护，确保设备安全稳定运行，提升工业生产效率与经济效益。

关键词：往复式压缩机；故障诊断；振动分析；油液监测；智能诊断

引言

往复式压缩机作为工业动力转换的关键设备，在多个领域发挥着不可替代的作用。然而，其复杂的运行环境和苛刻的工作条件使得故障时有发生，给生产带来挑战。为了确保压缩机的稳定运行，减少故障带来的损失，深入研究故障诊断技术显得尤为重要。本文将探讨往复式压缩机常见故障类型及原因，并介绍当前先进的故障诊断技术，以为工业领域提供有力技术支持。

1 往复式压缩机故障诊断技术的重要性

在现代工业架构中，往复式压缩机作为动力转换的核心组件，其重要性在石油化工、煤化工、天然气传输及制冷等多个关键领域得到了充分体现。其稳定运行构成了维持生产连续性与效率的关键基石。压缩机如果出现故障，将直接影响产量甚至打断生产流程，不仅带来即时的生产损失，还可能触发负面连锁效应，诸如原材料的无谓损耗、产品质量下降以及设备自身的潜在损伤，进而累积成巨大经济损失。具体来说，在某煤化工公司，循环气压缩机故障可能迫使循环气压缩机停机，每小时损失1吨甲醇产量。此外，压缩机故障潜藏的安全风险亦不容忽视。在高压、易燃易爆等极端作业条件下，故障所引发的气体外泄、设备损坏等问题，能迅速升级为火灾、爆炸等重大安全事故，对人员生命安全及周边环境构成严重威胁。因此，精准且高效的故障诊断技术对于预防压缩机故障具有至关重要的意义。该技术能够在故障初期即敏锐捕捉到潜在问题，为及时采取维修行动提供可能，有效遏制故障的恶化与扩散。通过对压缩机运行状态的持续监控，结合对设备健康度的综合评估，能确保设备的安全稳定运行，还能依据诊断结果科学规划维护策略，在保证生产效率的同时，合理控制维护成本，延长设备使用寿命，最终提升整个工业生产体系的可靠性及经济效益。

2 往复式压缩机常见故障类型及原因分析

2.1 机械故障

机械故障是往复式压缩机运行过程中较为频发的故障类别。活塞组件作为压缩机实现气体压缩的关键部件，长期处于往复运动状态，活塞环在与气缸壁的频繁摩擦中，极易因气体中杂质侵蚀等原因而出现磨损、断裂。活塞环的损坏会破坏气缸的密封性，导致气体从活塞环与气缸壁的间隙泄漏，使压缩机的排气量和效率显著下降。填料函磨损、老化或安装不当，会导致密封性能下降，使气体从填料函处泄漏。连杆作为连接活塞与曲轴的部件，承受着交变的机械应力。连杆螺栓若在装配时预紧力不足，或者在长期运行中受到振动、冲击等作用，会出现松动甚至断裂。这将导致连杆运动失稳，引发严重的机械撞击事故，使压缩机的其他零部件受到损坏。曲轴是压缩机的核心传动部件，其工作条件恶劣，承受着复杂的扭矩和弯矩。若设备长期处于过载运行，或者润滑油供应不足导致润滑不良，曲轴表面会出现磨损、疲劳裂纹甚至变形。曲轴的这些损伤会改变压缩机的运动精度，影响整个设备的运行稳定性，产生异常振动和噪声。为了确保往复式压缩机的稳定运行，定期检查和维护是必不可少的。如对活塞环的检查应包括其磨损程度和密封性能，以预防气体泄漏。连杆螺栓的紧固状态也应定期检查，以避免因松动导致的机械故障，曲轴的润滑系统需要特别关注，确保其始终处于良好的润滑状态，以减少磨损和疲劳裂纹的发生^[1]。

2.2 气路故障

在往复式压缩机的故障类型中，气路故障占据了重要地位。气路系统作为压缩机实现气体压缩与输送的核心通道，其运行状态直接影响到压缩机的整体性能。（1）进气阀和排气阀作为气路系统的关键组件，其密封性能和动作可靠性对压缩机的运行至关重要。长期的

气体冲刷与杂质磨损可能导致阀门密封面受损，而弹簧的疲劳失效则会使阀门无法正常关闭，进而引发气体泄漏。这一问题会降低压缩机的排气压力和流量，还会增加功耗，严重影响压缩机的经济性能。（2）管道作为气体输送的主要通道，其内部状态同样对压缩机的运行产生重要影响。当气体中含有水分、杂质等成分时，这些物质在长期运行过程中会在管道内壁沉积，形成污垢或锈蚀。这会导致管道内径逐渐减小，还会增大气体流动的阻力。当阻力增大到一定程度时，压缩机的排气量会明显下降，严重时甚至可能引发类似喘振现象。这种类似的喘振会导致压缩机产生剧烈的振动和噪声，对设备造成严重损害，同时影响整个生产系统的稳定性。为了预防和解决这些气路故障，定期对进气阀和排气阀进行检查和维护是必要的。更换磨损的密封件和弹簧，或者更换气阀，确保气阀的密封性能和动作可靠性；对管道进行定期清洗，去除沉积的污垢和锈蚀，保持管道内径畅通。安装适当的过滤和干燥设备，减少水分和杂质对气路系统的影响^[2]。

2.3 润滑故障

润滑系统对于往复式压缩机的正常运行起着不可或缺的作用。润滑油在压缩机中承担着减少十字头与滑道之间以及曲轴与轴承之间和连杆小头与活塞销之间摩擦、降低磨损、散热等重要功能。当润滑油量不足时，零部件之间的摩擦面无法形成有效的油膜，导致干摩擦或半干摩擦，使磨损加剧。润滑油在长期使用过程中，会受到高温、氧化、杂质污染等因素的影响而逐渐变质。变质后的润滑油其粘度、酸值等理化性能会发生变化，失去原有的润滑性能，无法有效地保护设备零部件。润滑系统中的过滤器若长期未清洗或更换，会被杂质堵塞，导致润滑油无法顺畅地输送到各个润滑点。这将使相关零部件得不到及时有效的润滑，引发一系列故障，如轴承烧损等。因此，定期检查和补充润滑油是维护往复式压缩机的关键措施。通过定期更换润滑油和过滤器，确保润滑系统始终处于最佳状态，延长设备的使用寿命，采用高质量的润滑油和定期进行油品分析，及时发现润滑油的劣化情况，预防潜在的设备故障。正确的维护能减少停机时间，还能提高生产效率，确保压缩机运行的稳定性和可靠性。

3 往复式压缩机故障诊断技术

3.1 振动分析技术

振动信号是往复式压缩机运行状态的直观反映，包含了丰富的设备运行信息。通过在压缩机的机座、气缸、曲轴箱等关键部位安装高精度的振动传感器，实时

采集设备运行过程中的振动信号。时域分析是振动信号处理的基础方法，通过对振动信号的幅值、峰值、均值、方差等时域参数进行计算和分析，可以判断设备是否存在异常。如当振动幅值突然增大时，表示设备出现了故障。频域分析则是将时域信号通过傅里叶变换等数学方法转换到频域，分析信号的频率成分。不同的故障类型会在特定的频率段产生特征频率。如活塞与气缸的磨损会在某个特定的频率处出现明显的振动峰值；连杆松动则会在相应的频率范围内产生独特的振动响应。通过建立正常运行状态下的振动频谱模板，并与实时采集的振动信号频谱进行对比，可以准确地识别出故障类型和故障部位，为故障诊断提供有力依据。进一步地，时频分析方法结合了时域和频域的优点，能同时提供信号在时间和频率上的变化信息。利用小波变换等技术，可以对振动信号进行时频分析，更精确地定位故障发生的时间和频率范围，机器学习算法的应用，如支持向量机（SVM）和神经网络，能够从大量历史数据中学习设备的正常和异常行为模式。通过这些智能分析方法，可以实现对压缩机运行状态的预测性维护，提前发现潜在问题，避免突发故障，确保设备稳定运行^[3]。

3.2 油液监测技术

在往复式压缩机的故障诊断技术中，油液监测技术以其独特的优势占据了重要地位。该技术基于润滑油的状态分析，通过对润滑油的物理化学性质和磨损颗粒的检测，实现对压缩机运行状态的精准诊断。（1）物理化学性质检测是油液监测技术的基础环节。这环节主要关注润滑油的粘度、酸值、水分含量以及闪点等指标。粘度是衡量润滑油流动性的关键参数，其变化能反映润滑油的稀释程度或变质情况。酸值的升高则意味着润滑油发生了氧化反应，生成的酸性物质可能对设备造成腐蚀。同时，水分含量的高低直接关系到润滑油的润滑性能，过高的水分含量会加速零部件的磨损。（2）磨损颗粒分析是油液监测技术的核心所在。通过显微镜观察、光谱分析等手段，对油液中的磨损颗粒进行全面而深入的分析。这些磨损颗粒的成分、形状以及尺寸等信息，能直接反映设备内部零部件的磨损情况。如铁基磨损颗粒可能源于曲轴、连杆等关键部件的磨损；而铜基磨损颗粒则可能与轴承等部件的磨损密切相关。通过对磨损颗粒的细致分析，可以准确判断设备中哪些零部件出现了磨损，还能评估磨损的程度，从而提前发现潜在的故障隐患，为设备的预防性维护提供有力支持。（3）油液监测技术的另一个重要方面是颗粒计数和尺寸分布分析。使用颗粒计数器，可以定量地测量油液中的颗粒数

量和大小分布。颗粒的大小和数量可以揭示设备磨损的严重程度和磨损颗粒的来源。大量细小颗粒可能表明设备处于初期磨损阶段，而大颗粒的出现则可能预示着更严重的磨损或即将发生的故障。（4）综合分析油液监测数据，构建设备的健康状况模型。利用先进的数据分析方法，如人工智能算法，对油液监测结果进行深入挖掘，识别出设备运行中的异常模式和潜在故障^[4]。

3.3 智能诊断技术

随着人工智能技术的飞速发展，智能诊断技术在往复式压缩机故障诊断领域展现出巨大的优势。神经网络是智能诊断技术中的重要组成部分，它通过构建多层神经元结构，对大量的故障样本数据进行学习和训练，自动提取故障特征，建立故障诊断模型。当输入实时监测的设备运行数据时，神经网络模型能够快速判断出设备是否存在故障以及故障的类型和位置，即使面对复杂的故障模式也能准确识别。支持向量机基于统计学习理论，将故障诊断问题转化为在高维空间中的分类问题。它通过寻找一个最优的分类超平面，将不同故障类型的数据进行有效区分，实现对故障的准确诊断。与传统的诊断方法相比，支持向量机在处理小样本、非线性问题时具有更高的准确性和泛化能力。专家系统则是利用领域专家的经验 and 知识，构建知识库和推理机制。知识库中存储了大量的故障案例、诊断规则和处理方法。当系统接收到设备的运行数据和故障信息时，通过推理机制在知识库中进行搜索和匹配，给出相应的故障诊断结论和解决方案。智能诊断技术的应用，提高了往复式压缩机故障诊断的效率和准确性，为设备的可靠运行提供了强有力的技术支持。

3.4 热成像与声学诊断技术

在往复式压缩机故障诊断的广阔领域中，热成像与声学诊断技术以其独特的视角和精准的分析能力，成为了不可或缺的重要工具。（1）热成像技术利用红外传感器捕捉压缩机表面温度分布的热图像。压缩机在运行过程中，各部件因摩擦、压缩等过程会产生不同程度的热量。通过热成像技术，直观地观察到压缩机表面的温度

异常点，这些异常点往往与故障部位紧密相关。如轴承过热可能预示着润滑不良或磨损加剧；气缸壁局部高温则由气体泄漏或冷却系统故障引起。热成像技术能够迅速定位这些潜在问题，为进一步的故障诊断提供直观线索。（2）声学诊断技术通过分析压缩机运行时的声音信号，揭示其内部机械状态。压缩机在正常运转时，各部件的振动和摩擦会产生特定的声音模式。当出现故障时，声音信号会发生变化，如异响、杂音等。通过声学传感器采集这些声音信号，并运用信号处理技术进行频谱分析，识别出故障特征频率，判断故障类型和位置。声学诊断技术适用于压缩机内部机械故障的诊断，有效监测气体泄漏等气路问题。（3）结合热成像与声学诊断技术，实现对压缩机运行状态的全面监测和精准诊断。这两种技术互为补充，共同构成了往复式压缩机故障诊断技术的又一重要支柱。它们的应用提高了故障诊断的效率和准确性，还为设备的预防性维护和可靠性提升提供了有力支持。

结束语

综上所述，往复式压缩机故障诊断技术的发展对于保障工业生产的连续性和稳定性具有重要意义。通过振动分析、油液监测、智能诊断及热成像与声学诊断等技术的综合应用，我们能够更准确地识别压缩机故障，实现预测性维护。未来，随着技术的不断进步和创新，往复式压缩机故障诊断将更加智能化和高效化，为工业领域的发展注入新的活力。

参考文献

- [1]杨天山,杨静.往复式压缩机故障诊断技术分析[J].中国设备工程,2023(1):180-182.
- [2]刘文皓.往复式压缩机故障诊断技术分析[J].技术与市场,2022,29(1):52-53+57.
- [3]张建宇.往复式压缩机故障诊断技术探析[J].中国设备工程,2021(3):183-184.
- [4]赵雪峰.往复式压缩机故障诊断技术探析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(2):149-150.