

离心式压缩机典型故障诊断与治理策略研究

张德壮

伊犁新天煤化工有限责任公司 新疆 伊犁 835100

【摘要】：在流程工业领域，离心式压缩机显然是颇为关键的一种设备，其性能与稳定性对生产过程的连续性和效率具有重要影响。然而，由于各种因素如安装误差、设备老化等，离心式压缩机在运行过程中不可避免地会出现故障。因此，有效的故障检测技术对确保生产过程的安全与稳定至关重要。本文阐述了离心式压缩机运行原理，对离心式压缩机典型故障诊断与治理策略进行了系统分析。该研究结果可以为设备维护管理人员提供实际操作指导，协助企业降低设备故障概率，延长设备使用寿命。

【关键词】：离心式压缩机；典型故障诊断；治理策略

DOI:10.12417/3083-5526.25.08.020

离心式压缩机以其大流量、无润滑油压缩等优点，在空气分离、合成氨、空分制氧等领域得到广泛使用。与往复式压缩机相比，离心式压缩机具有较好的运行性能，但是由于其加工精度、运行条件和维修水平等多种原因，其故障概率仍然较高。目前，随着工业的不断发展，大规模和智能化的发展，离心式压缩机的运行稳定性也越来越高。现有的故障治理方法主要依赖于事后维修和经验判断，存在诊断滞后、维护费用高等问题。因此，建立故障诊断和治理体系是保证设备长期平稳运行的关键。

1 离心式压缩机工作原理

离心式压缩机是透平式流体动力机械，为核心增压设备，通过离心力和能量转换，可以使气体增压输送。整个运行流程按照流体动力学和能量守恒原理，以涡轮、燃气轮机等为动力源，带动主轴和叶片做高速转动。待压缩气体经过入口过滤器净化，进气腔稳定后，被均匀注入高速转动的叶盘中，在叶盘的推力和离心力的共同驱动下，燃气迅速被抛到叶盘的外部边缘，并通过扩散器的流动形成新的通道。扩散器为渐开型，可以有效将燃气的动能转换成气压位能，完成初步增压。气体经过多级叶轮和扩压器的逐级压缩，每个阶段的增压后通过弯道和回流器导入下一级叶轮，最后通过蜗壳收集稳定后排放^[1]。

2 离心式压缩机典型故障诊断方法

2.1 常规参数诊断法

常规参数诊断法是对离心式压缩机进行初步诊断的方法，其利用 DCS 集散控制系统和 PLC 可编程控制器，对核心操作参数进行实时监测，着重对振动幅度、进出口压力、机组转速等重要检测数据进行分析。特别是，振幅超过规定并不断攀升，主要是指转子不平衡等故障；轴承、润滑油温度升高，多数是由于轴承磨损、冷却系统异常；进口和出口的压力和流动的流体在一定时间内发生了较大的周期变化，很可能是由于喘振或流道阻塞的；异常的速度变化与主机故障和联轴器打滑有关^[2]。

2.2 振动频谱诊断法

振动频谱诊断法是实现离心式压缩机机械故障精确定位

的关键方法，也是目前常用的诊断方法。在轴承座、联轴器等重要部件上安装压电式振动传感器，对整机运行状态下的振动信号进行在线监测，并利用振动分析仪，实现信号在时域和频域上变换和分析，对各类故障进行准确识别，并将其与典型特性相融合，从而有效克服传统的参数诊断中难以定位的问题。为了方便实际操作，把高频和主要的特征频率进行相应的分析（如表 1）。

表 1 不同故障类型的主导特征频率与典型表征

故障类型	主导特征频率	典型表征
转子不平衡	1 倍频（工频）	径向振动大，幅值随转速上升
轴系不对称	2 倍频，轴向振动偏高	联轴器部位温度高
轴承故障	半倍频、高频杂峰	轴承温度骤升
旋转失速	0.5~0.8 倍频	效率下降，无明显压力震荡
喘振	低频脉动（0.1~0.3 倍频）	压力流量剧烈波动

2.3 油液分析诊断法

油液分析诊断法是针对润滑系统和轴承磨损类型的特殊早期预警方法，借助润滑油，通过对润滑油的物理和磨损颗粒进行检测，从而达到对轴承磨损等隐患的预测，特别适合于轴承逐步故障的初期识别，从而达到防止突发停机故障的目的。该方法需要对机组润滑油样品进行周期性的采样，并对其进行关键测试，包括光谱分和颗粒计数。铁谱分析可以将润滑油中的金属磨粒的形状和组成进行有效的区分，从而可以区分正常和异常的磨损；通过颗粒计数法对润滑油中的杂质进行分析，从而评价润滑油的质量退化和过滤器运行状况^[3]。

2.4 智能预警诊断法

智能预警诊断法以大数据和物联网等为手段，突破以往基于人工经验和强滞后性的故障检测方法，通过故障自动识别、趋势预测和分类预警方法，以满足大规模流程工业对高可靠性的要求。该方法通过集成多维数据的智能故障检测系统，并利用机器学习等技术，实现对大量数据的深度挖掘和特征抽取。该系统能对各工况的特性进行实时动态分析，对故障的类型和损伤程度进行准确判断，并对故障的轻重进行分类和报警，提出相应的处理意见。与人工诊断相比，该方法能24小时连续监控，及时发现故障隐患，减少人为失误和错误判断的概率。

3 离心式压缩机典型故障治理策略

3.1 喘振故障治理策略

3.1.1 应急处理方法

当出现喘振时，按照“快速响应”的原则，迅速进行应急处理，使操作点尽快离开喘振界限，避免故障进一步扩大。当机组出现喘振、异常声音时，当机组运行时，通过人工或启动自动联锁的完全开启式防喘阀，使一部分高压燃气向入口倒流，迅速增加入口流速，解除喘振。同时降低发电机的速度，减小发电机的负载，防止高负载时的喘振加重。同时，应组织人员对入口过滤器、下游设备进行检查，检查有无异物堵塞、管道阻力过大，导致的流速下降，并对堵塞物进行清理，调整阀门开度。在处理时严密监测振动和温度等参数，当各项参数稳定，喘振信号完全消除后，才逐渐进行小幅度的负载和速度的调节，使其逐渐回到正常的运行状态^[4]。

3.1.2 根治治理措施

要想根治治理措施喘振，必须从系统的优化和设备改造等角度出发，从根本上解决喘振的诱发因素，使整个系统的运行点处在安全的范围内。对防喘振的控制逻辑进行改进，抛弃以往的单一控制策略，改为“串联防喘振+流量补偿”的方式，提高抗喘振的反应速率和准确性。对流量、温度传感器进行全面校准，保证监控资料的准确性；对防喘阀的开启敏感和密封进行检查，消除了阀门的迟滞和卡涩现象。精确计算出机组喘振的临界流速，并与实际运行条件相结合，在1.1~1.15倍的临界流速范围内设定合适的防喘余压值，从而在确保防喘效果的同时，防止能量的消耗。彻底清除入口过滤器及流道中的杂质，减少管道和流道的阻力，提高流体的流畅度；根据介质成分和温度的变化，对操作工艺进行实时的调节，使操作条件不发生较大的变化，从而使操作超出预定范围。

3.2 转子与轴系故障治理策略

3.2.1 转子不平衡治理

叶轮表面积垢、叶片磨损缺陷和动平衡故障等是导致离心式压缩机振动超标的主要因素，要从根本上解决不平衡问题。将机器进行停车减压，然后进行拆卸，清除叶片上的污垢、杂质

等附着物，并对叶片有无磨损、缺损、变形等情况进行检测，对受损较小叶片和缺陷的叶片要进行修补和打磨，对有较大缺陷的叶片要进行替换，以防止出现局部的不平衡。在修理完毕后，请专门的单位使用高速动平衡测试仪对整机进行动平衡修正，根据设备的设计要求，对不平衡量进行严格的控制，保证剩余不平衡量满足工业要求，修正后对其进行重新测量，确定合格后才能进行回装。并从根源上防止失衡问题，对进料过滤体系进行改进，增加了高精密度滤芯，降低了物料中的杂物的混入；对流动通道和叶片进行定时清洗，以防止沉积污垢；控制介质的温度和湿度，以减少晶体和粘性物质的产生，减少转子不平衡的概率^[5]。

3.2.2 轴系不对称治理

由于设备地基沉降、热胀偏差等原因，容易引起机组振动超标、轴承偏磨等现象，因此，围绕精密标定和动态复核等关键环节展开研究。将接头拆卸，利用激光定心仪对轴线进行高精度的平行度校正，将平行偏差和角度偏差控制在仪器的设计极限内，避免手工标定带来的偏差。针对基础沉降及松动等问题，进行机械基础的强化与再注浆平整，修补地基的裂缝，保证机组基础的稳定，没有位移；检查地脚螺栓，垫片有无松动、破损，及时拧紧，并进行替换。在校正完毕后，再进行冷试，在达到热工况后，再对调中精度进行检查，以排除因膨胀引起的偏差，保证冷态和冷态对中都能满足要求。对联轴器螺栓、弹性元件等进行经常性的磨损和疲劳检查，并对老化破损的零件进行及时的替换；按月对地基沉降进行监控，如有异常应立即处理，以防止轴系偏斜。

3.3 轴承和密封故障治理策略

3.3.1 轴承失效治理

离心式压缩机因润滑不良、载荷过大等原因，是导致离心式压缩机温度骤升、异常异响的主要原因，其防治需要从部件更换和载荷控制等方面着手。停车更换磨损、剥落的轴瓦和轴承总成，选择合格的原装零件，根据组装技术对轴承的径向和轴向间隙进行控制，保证间隙在规定的范围内，防止因间隙太大或太小而导致故障。对润滑体系进行改进，替换标准的机油，对过滤器、油箱中的杂物进行清理，对油泵和卸压阀进行检修，确保供油压力和流量稳定达标；对冷却器进行清洗，清除水垢堵塞，提高制冷效果，使机油的温度保持在40-50℃之间。对轴系进行了减振处理，解决转子不平衡和轴系不对称的问题，降低轴承的额外负载；对轴承的温度油等参数进行监测，如有异常现象，应立即采取措施，以达到提高轴承寿命的目的^[6]。

3.3.2 密封泄漏治理

密封泄漏会引起介质外泄和内漏，造成能源消耗增加和安全隐患，其主要原因是密封磨损、振动过大等，采取更换修复、振动控制等措施。停车后拆卸密封装置，检查干气密封、浮环

密封圈的磨损、破损与老化的密封部件应及时更换；将密封间隙调节到设定的数值，使之与表面紧密贴合，无划痕。保证气体的供给压力和纯度等，保证气体的压力差值达到标准，避免液体倒流对密封件造成损伤；清除密封面和气体通道中的杂物和晶体，消除阻塞现象。强化对设备的振动管理，保证设备的振幅不超过规范要求，防止过度的振动对密封件的影响；在安装完毕后，应做气密性检查，确认没有渗漏后方可使用；每天对密封压力差和泄漏量进行常规的监控，以检测潜在的泄漏。

4 工业案例验证

某煤化工企业合成氨装置采用离心式 CO₂ 压缩机，该机组设计速度为 9800 r/min，其出口压力为 15 MPa，投入使用 3 年后，其运行状况不断恶化，出现振动超标、喘振等故障等，且无计划停车的情况逐年增加，已成为影响合成氨装置的正常生产。机组在运行过程中，其最大振动幅度达到 68 μm，大大超出 40 μm 的警戒线，且在长时间内保持在 90° C，并发生周期性的压力波动等喘振信号，日常维修只能暂时缓解，而故障却频繁发生。通过振动频谱分析和参数监测联合诊断，判断机组存在中转子不平衡+主轴耦合故障，并伴有防喘裕度不足、冷却器易堵塞等问题。然后，进行针对性的处理。停机清理叶

盘轮的污垢和杂质，并对转子进行高速动平衡修正；利用激光定心仪精确标定主轴轴线，以排除误差风险；对防喘的控制逻辑进行优化，对防喘余压值进行再计算和调节，对防喘阀进行校验；对润滑管路和冷却器的水垢进行彻底清洗，并将符合要求的机油和磨损的密封全部进行替换。经过长时间的实践检验，该系统的振荡幅度已经平稳到 18 μm，轴承的温升低于 75℃，所有技术指标达到标准，经过 18 个月的持续运转，无喘振和无故障停机，整个系统的能源消耗降低 8.2%，完全克服故障频繁发生的问题，保证氨厂的正常运转。

5 结论

总之，离心式压缩机典型故障包括振动、轴承问题，而喘振是其水动力故障的首要诱因。故障的精确诊断需要综合参数监测和油液分析等方法，实现“紧急处理+治本+预防控制”的一体化，是保证设备长期平稳运行的基础。研究成果基于工业生产实践，具有较强的针对性和实用性，能够降低设备故障率，减少非计划停机次数，延长设备使用寿命。在今后的运行中，伴随智能化水平的不断提高，离心压气机的故障诊断将朝着智能化方向发展。

参考文献：

- [1] 李蕾.离心式压缩机振动特性与故障诊断研究[J].化学工程与装备,2025,(11):93-95.
- [2] 范振瑞.离心式空气压缩机故障诊断系统设计分析[J].设备管理与维修,2025,(20):164-166.
- [3] 解博江,朱晶晶,王福忠.大型离心式压缩机叶轮早期失衡故障诊断方法[J].机械设计与制造,1-7.
- [4] 延东东,刘鑫,张开.基于故障诊断技术的离心式压缩机维修管理优化[J].石化技术,2025,32(09):368-370.
- [5] 杨倩,张西,黄成,等.一种离心压缩机组的综合故障诊断方法[J].设备管理与维修,2025,(12):65-67.
- [6] 周新新,包瑞新,孙祥广,等.基于本体的离心式压缩机故障诊断[J].辽宁石油化工大学学报,2025,45(03):72-81.