

空分装置液氮泵运行故障诊断与处理对策研究

张 钰

阳煤丰喜肥业(集团)有限责任公司临猗分公司 山西 运城 044100

摘 要: 本文聚焦空分装置柱塞泵。先阐述其结构与运行特性,包括核心部件、工作原理及低温适应等特性。接着分析常见运行故障,如振动异常、流量与压力不稳、密封泄漏,并介绍相应诊断方法。随后提出故障处理对策,针对不同故障给出具体解决措施。最后提出故障预防措施,涵盖加强日常维护保养、优化运行工况、提升运维人员专业水平等方面,旨在保障柱塞泵稳定运行,为空分装置安全高效生产提供支持。

关键词: 空分装置;液氮泵;故障诊断;处理对策

引言: 在空分装置中,柱塞泵作为输送低温液氮的关键设备,其稳定运行至关重要。柱塞泵结构精密复杂,运行特性与输送介质及工况紧密相关,具备低温适应、抗汽化、高密封要求等特性。然而,在实际运行过程中,柱塞泵常出现振动异常、流量与压力不稳、密封泄漏等故障,严重影响设备性能与空分装置稳定性。准确诊断故障并采取有效处理对策,是保障柱塞泵可靠运行的关键。同时,通过加强日常维护保养、优化运行工况、提升运维人员专业水平等预防措施,可降低故障发生率,延长设备使用寿命,确保空分装置高效稳定运行。

1 柱塞泵的结构与运行特性

柱塞泵作为空分装置中输送低温液氮的关键设备,其结构精密且复杂,主要由泵体、柱塞、曲轴、连杆、密封装置、轴承、电机以及冷却系统等核心部件构成。各部件协同工作,共同保障柱塞泵稳定运行。柱塞泵的工作原理基于曲轴连杆机构的往复运动。电机启动后,通过皮带轮传动带动曲轴旋转,曲轴的旋转运动经连杆转换为柱塞的往复直线运动。当柱塞向后运动时,泵腔内形成负压,液氮被吸入泵腔;当柱塞向前运动时,泵腔内压力升高,液氮被压出泵腔,实现低温流体的输送^[1]。

柱塞泵的运行特性与输送介质及工况条件紧密相关,其核心特性主要体现在以下三个方面。①低温适应性。由于液氮的沸点极低,仅为 -196°C ,泵体、柱塞等直接接触液氮的部件必须采用耐低温材料,如奥氏体不锈钢等。这类材料在低温环境下仍能保持良好的韧性和强度,防止因低温脆化而损坏,确保泵的长期稳定运行。②抗汽化能力。液氮的饱和蒸气压会随温度的升高而显著增大。在运行过程中,若泵体温度过高或进出口压力控制不当,液氮极易汽化,产生气泡。气泡在高压下破裂时,会对柱塞等部件造成气蚀损伤,影响泵的性能和寿命。因此,必须严格控制泵体温度与进出口压力,避免液氮汽

化。③密封要求高。柱塞泵输送的介质为低温液氮,且运行压力较高。一旦密封装置失效,液氮泄漏不仅会造成资源浪费,还可能引发安全隐患。因此,密封装置需具备良好的低温密封性能,确保在各种工况下都能有效防止液氮泄漏。了解柱塞泵的结构与运行特性,是开展故障诊断与处理的基础,能为后续的故障原因分析提供坚实的理论依据。

2 空分装置柱塞泵常见运行故障及诊断方法

2.1 振动异常故障及诊断

空分装置柱塞泵运行中,振动异常是常见故障,表现为泵体振动幅值超标,伴有刺耳异响。若不及时处理,会使泵体与管路连接松动,加剧部件磨损,甚至导致曲轴、连杆等关键部件断裂,威胁柱塞泵正常运行及空分装置稳定性。振动异常原因复杂,主要有柱塞与泵缸配合间隙不合适、曲轴连杆机构安装偏差、轴承磨损、管路应力超设计范围以及气蚀等。诊断振动异常故障常用直观观察法和仪器检测法。直观观察法依赖操作人员经验,通过肉眼观察泵体运行状态、倾听异响,初步判断振动来源,如轴承部位异响,多意味着轴承磨损。仪器检测法更为精准,借助振动检测仪(如手持式振动分析仪),实时采集泵体各部位振动信号,经内置算法分析振动频率、幅值等参数,并与正常参数对比,精准定位故障位置、确定原因。例如,振动频率与柱塞往复运动频率一致且幅值随泵速升高而增大,可判定为柱塞与泵缸配合间隙问题。

2.2 流量与压力不稳故障及诊断

空分装置柱塞泵运行时,流量与压力不稳故障频发。其典型表现是出口流量大幅波动,压力忽高忽低,无法稳定在满足后续工艺的区间。若故障持续且未妥善处理,会引发泵体空打,甚至导致液氮汽化,严重威胁设备安全与工艺流程。此故障成因多样,吸入管路堵塞会阻碍

液氮吸入,破坏流量与压力稳定;柱塞磨损会降低泵的输送效能;阀门开度异常会改变管路流通特性;气蚀现象会在泵内产生气泡,破坏液体连续流动;电机转速波动会直接影响泵的输出。诊断方法有参数监测法和排查法。参数监测法借助专业仪器,如压力变送器实时测量泵进出口压力并传输信号,涡轮流量计通过测量涡轮转速计算流量,转速传感器监测电机转速,实时掌握关键参数波动规律,判断故障原因。排查法则从吸入管路开始,依次检查管路是否堵塞、阀门开度是否合理,再查看柱塞磨损状况与电机转速稳定性,逐步缩小故障范围,精准定位问题^[2]。

2.3 密封泄漏故障及诊断

在空分装置柱塞泵的运行过程中,密封泄漏属于重大安全隐患。其主要表现为柱塞与泵缸密封处有液氮渗出,由于液氮沸点极低,泄漏出的液氮会迅速汽化,使得周围环境温度急剧下降。这不仅可能导致设备部件在低温下脆化,降低设备的使用寿命和可靠性,还极易造成人员冻伤,严重威胁现场工作人员的人身安全。同时,密封泄漏会使泵体内的液氮减少,影响泵体的运行效率,无法满足正常的生产需求。密封泄漏的产生原因较为复杂,密封件磨损会破坏其密封性能,导致液氮泄漏;密封结构损坏,如密封面出现裂纹、变形等,会使密封失效;密封介质失效,无法起到良好的密封作用;柱塞与泵缸的同轴度偏差过大,会使密封件受力不均,引发泄漏。诊断方法主要有直观观察法和密封性能检测法。直观观察法通过查看密封部位是否有白雾(液氮汽化产生)以及结霜现象,初步判断是否存在泄漏。

3 空分装置柱塞泵常见故障处理对策

3.1 振动异常故障处理对策

当柱塞泵出现振动异常故障时,必须依据精准的诊断结果,迅速且有针对性地采取处理措施,其核心目标在于彻底消除振动源,让设备恢复至正常的运行状态。若判定为柱塞与泵缸配合间隙不当故障,应立即停机,随后小心拆卸柱塞与泵缸。对柱塞和泵缸进行全面清洗,仔细校验其尺寸参数,清除表面的结霜和积污。倘若发现柱塞或泵缸存在磨损或变形情况,必须及时更换新的部件,以此确保柱塞与泵缸达到良好的配合状态。对于曲轴连杆机构安装偏差故障,要精准调整曲轴、连杆的安装位置,严格校正安装偏差,将连接螺栓紧固到位,防止在后续运行过程中出现偏移现象。若轴承磨损引发振动,需及时更换磨损的轴承,并加注符合设备要求的润滑介质,保证轴承能够得到良好的润滑。同时,认真检查轴承的安装精度,避免因安装偏差导致新的故障产生。当

振动由气蚀引起时,要降低泵体出口压力、提高吸入压力,彻底清理吸入管路中的杂物,保障液氮供应的稳定性,防止液氮汽化。处理完成后,启动柱塞泵进行空载试运行,密切监测振动参数,确认振动幅值符合运行要求后,方可投入正常运行^[3]。

3.2 流量与压力不稳故障处理对策

流量与压力不稳故障会严重影响柱塞泵的正常运行及后续工艺流程,处理该故障的核心在于恢复液氮输送的稳定性,全面消除影响流量和压力的各类异常因素。若为吸入管路堵塞故障,应立即停机,随后有序拆卸吸入管路。仔细清理管路内的杂物以及结霜,认真检查管路是否存在变形情况。若管路变形严重,必要时需更换新管路,以此确保吸入管路畅通无阻,保障液氮能够顺利进入泵体。对于柱塞磨损故障,要及时更换磨损的柱塞。同时,精准检查柱塞与泵缸之间的间隙,将其调整至合理范围,防止间隙过大导致液氮泄漏、流量减小,或间隙过小引发柱塞与泵缸摩擦、增加运行阻力。当阀门开度异常时,需根据实际需求合理调整阀门开度,确保阀门处于正常工作状态,避免出现阀门卡死、开度不足或过大等情况,影响液氮的流量和压力。若发生气蚀故障,要优化运行工况,采取有效措施降低泵体运行温度,提高吸入压力,增加液氮供应量,防止液氮在泵腔内汽化。对于电机转速波动故障,需仔细检查电机供电系统,排除供电不稳因素,同时检查电机转子、定子是否存在故障,及时维修或更换损坏部件。

3.3 密封泄漏故障处理对策

密封泄漏故障若不及时处理,极有可能引发安全事故,造成严重后果。因此,处理此类故障必须严格遵循“安全优先、快速处置”的原则,防止泄漏范围进一步扩大。一旦发现密封泄漏,应立即停机,并迅速关闭柱塞泵的进出口阀门,彻底切断液氮供应。随后,耐心等待泵体温度逐步恢复至常温状态,避免在低温环境下进行检修作业,防止人员冻伤以及设备损坏。若故障是由密封件磨损引起,需选用符合规格的耐低温密封件进行更换。在安装过程中,要确保密封件安装到位,压紧力均匀分布,以保证良好的密封效果。对于密封结构损坏的情况,要小心拆卸密封装置,仔细检查密封座、密封环等关键部件的损坏程度。根据实际损坏情况,及时进行维修或更换,从而恢复密封结构的完整性。若是柱塞与泵缸同轴度偏差过大导致泄漏,需对柱塞与泵缸进行校正,精确调整同轴度,确保柱塞在运行过程中保持平稳。若密封介质失效,要更换符合低温环境要求的密封介质,保障其具备良好的低温适应性与密封性能。检修工作全

部完成后,必须进行严格的密封性能测试,确认无泄漏现象后,方可启动柱塞泵投入正常运行。

4 柱塞泵故障预防措施

4.1 加强设备日常维护保养

柱塞泵日常维护保养是预防故障的关键基础。需依据设备特性与运行工况,制定科学、细致且具有针对性的维护保养计划。定期对柱塞泵的核心部件展开全面检查,包括吸入管路、泵腔内部,及时清理其中杂物与结霜,防止因异物积聚导致管路堵塞,影响泵的正常运行。定期检查轴承润滑状态,选用适配的耐低温润滑介质,并按规定周期及时加注,避免轴承因润滑不足而磨损。同时,密切关注密封装置的密封性能,对老化、磨损的密封件及时更换,防止液氮泄漏。定期对柱塞、泵缸等关键部件的尺寸精度进行校验,确保其运行精度符合要求。此外,要详细记录设备运行状态、维护内容及时间,为后续故障诊断与维修提供准确、可靠的参考依据^[4]。

4.2 优化设备运行工况

柱塞泵运行工况的合理性对故障预防起着至关重要的作用,需精准把控各项运行参数,防止工况出现大幅波动。在温度控制方面,要严格监测泵体运行温度,由于液氮汽化温度极低,一旦温度过高,液氮会迅速汽化,进而引发气蚀现象,严重损害泵体内部结构,所以必须将温度维持在适宜范围。对于进出口压力,要确保其稳定在设计允许的区间内,压力过高可能使泵体承受过大应力,导致部件损坏;压力过低则会影响泵的正常吸入与排出功能。电机转速的稳定性也不容忽视,转速波动过大会造成流量与压力不稳定。此外,要保障液氮供应的连续性,防止吸入管路出现断液、负压等问题。同时,依据后续工艺的实际需求,科学合理地调整柱塞泵的运行负荷,杜绝长期超负荷运行情况的发生。

4.3 提升运维人员专业水平

运维人员的专业水平直接影响柱塞泵故障诊断与处理的效率和质量,需加强对运维人员的专业培训,使其熟悉柱塞泵的结构原理、运行特性、常见故障及诊断处理方法。培训内容包括设备操作规范、故障识别技巧、检修流程、安全注意事项等,同时通过实操训练,提升运维人员的动手能力,确保其能够快速、准确地诊断故障、处理故障。此外,建立健全运维管理制度,明确运维人员的职责,规范运维操作流程,避免因操作不当引发故障。

结束语

空分装置柱塞泵的稳定运行对于整个空分系统的安全与高效生产意义重大。本文深入剖析了柱塞泵的结构、运行特性,全面梳理了常见运行故障及其诊断方法,并针对性地提出了处理对策与预防措施。通过加强设备日常维护保养,可及时发现并解决潜在问题;优化运行工况能减少故障诱因;提升运维人员专业水平则确保故障得到准确诊断与有效处理。在实际应用中,应将这些措施有机结合,形成一套完善的柱塞泵运行管理体系。如此,方能降低柱塞泵故障发生率,延长设备使用寿命,保障空分装置持续稳定运行,为企业创造更大的经济效益与社会效益。

参考文献

- [1]陈晓松.空分装置液氧泵、液氮泵国产化可行性研究报告[J].安徽化工,2021,47(6):117-120.
- [2]张晶晶,张诚,白举邦.煤制天然气项目空分装置优化改造总结[J].中氮肥,2023(2):77-80.
- [3]李胜利,屈运动.空分装置压缩机振动故障分析与处理[J].设备管理与维修,2025(16):69-72.
- [4]王轩宇,张慧龙.液氮贮槽及事故氮泵密封气系统的优化改造[J].氮肥技术,2023,44(4):30-32.