

磁力泵状态监测与故障诊断

张振广 武员员

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719000

摘 要：磁力泵作为无泄漏输送关键设备，在化工、制药等行业广泛应用。其工作过程中，磁力耦合失效、隔离套损坏、轴承磨损等故障频发，严重影响系统安全稳定运行。振动、温度、压力及流量等状态监测技术，与信号分析、故障树分析、专家系统、机器学习等故障诊断方法，可实现对磁力泵运行状态的精准监测与故障高效诊断。这些技术与方法的结合应用，能及时发现潜在故障隐患，有效降低设备故障率，提升设备可靠性与运行效率。

关键词：磁力泵；状态监测；故障诊断

引言

在现代工业生产中，磁力泵以其无泄漏特性成为流体输送的关键设备，在化工、石油等领域发挥着重要作用。然而，复杂的运行工况使磁力泵面临多种故障风险，传统维护方式难以满足精准化、智能化需求。本文系统研究磁力泵状态监测与故障诊断技术，深入分析工作原理与常见故障，探讨振动、温度等监测技术及多种诊断方法，旨在为磁力泵的安全高效运行提供技术支持，助力工业生产的智能化升级。

1 磁力泵工作原理与常见故障分析

1.1 工作原理

磁力泵是利用磁力耦合实现无接触力矩传递的泵类设备，核心基于磁力传动技术。它主要由泵体、磁力传动器和电动机组成，磁力传动器是关键部件，含外磁转子、内磁转子和隔离套。电动机启动后，驱动外磁转子旋转，经磁场带动内磁转子同步旋转，驱动叶轮输送液体。动密封被静密封替代，实现完全密封，避免介质泄漏。磁场传递通过隔离套完成，其采用非磁性材料，隔离内外磁转子且允许磁场穿透，使泵轴和内磁转子封闭在静止隔离套内，消除“跑冒滴漏”问题。输送特殊介质时，无泄漏特性可保障安全和环保。过流部件用不锈钢或工程塑料制造，轴承用硬质材料，靠介质润滑冷却，介质引入隔离套形成循环冷却系统，确保泵长期稳定运行。

1.2 常见故障分析

1.2.1 磁力耦合失效

磁力泵依靠内外磁转子间的磁场作用实现力矩传递，磁力耦合失效是较为严重的故障。当磁力泵长时间在高负荷工况下运行，外磁转子持续高速旋转，会使磁场强度逐渐衰减，内外磁转子间的磁吸力减弱，导致传动效率下降。介质温度过高会改变永磁材料的磁性能，

使磁性材料的磁畴结构发生变化，降低其磁导率和剩磁密度，削弱磁力耦合效果。若介质中含有铁磁性杂质，这些杂质会吸附在内外磁转子表面，破坏磁场分布的均匀性，造成局部磁场短路，进一步影响磁力传递。一旦磁力耦合失效，内磁转子无法与外磁转子同步旋转，泵的流量和扬程会显著下降，甚至出现空转现象，不仅影响正常的液体输送，还可能因摩擦生热导致内磁转子和隔离套等部件损坏。

1.2.2 隔离套损坏

隔离套作为隔离介质与外界环境的关键部件，在磁力泵运行过程中承受着复杂的应力和环境作用。隔离套在磁场作用下会产生磁涡流，磁涡流导致隔离套发热，长期运行下隔离套的材料性能会因热疲劳而下降，出现局部变形、裂纹。隔离套在运行中还会受到介质的压力和冲刷，若介质中含有固体颗粒，这些颗粒会对隔离套内壁产生磨损和撞击，加速隔离套的损坏进程。当隔离套出现裂纹或破损时，原本被隔离的介质会泄漏至外界，对于输送易燃、易爆、有毒或腐蚀性介质的磁力泵，这将引发严重的安全隐患，如火灾、中毒等事故。隔离套损坏后，外界空气可能进入泵内，破坏泵内的密封环境，影响泵的正常运行，甚至导致泵的性能急剧下降，无法满足生产需求。

1.2.3 轴承磨损

磁力泵滑动轴承和止推轴承多采用碳化硅等硬质材料，靠被输送介质润滑和冷却。介质含杂质或颗粒时，会进入轴承摩擦副间隙充当磨料，加剧磨损。泵在低流量或空转工况运行时，介质难以形成良好的润滑和冷却膜，轴承得不到充分润滑和冷却，易出现干摩擦，使轴承表面温度快速升高、材料硬度降低，加速磨损。介质的化学性质也会影响轴承，若介质有腐蚀性，会与轴承材料发生化学反应，破坏轴承表面组织结构，降低其耐

磨性和强度。轴承磨损后,泵轴径向和轴向跳动增大,泵振动、噪音加剧,影响运行稳定性和可靠性。严重时,过度磨损会使泵轴与其他部件碰撞,造成泵卡死或损坏,中断液体输送。

2 磁力泵状态监测技术

2.1 振动监测技术

磁力泵运行时,泵体、轴承、叶轮等部件的运转会产生一定频率和幅值的振动,这些振动信号蕴含着丰富的设备运行状态信息。振动监测技术通过在磁力泵关键部位,如泵体外壳、轴承座等安装加速度传感器、速度传感器或位移传感器,实时采集振动数据。正常工况下,磁力泵的振动处于相对稳定的范围,各部件协同运转产生的振动频率和幅值具有规律性。当泵出现故障时,如轴承磨损导致泵轴跳动增大、叶轮不平衡引发周期性振动加剧、磁力耦合失效造成异常冲击振动等,振动信号的频率成分和幅值会发生显著变化。通过对采集到的振动数据进行时域分析、频域分析和时频分析,能够准确识别振动信号的特征频率,判断故障类型和严重程度。例如,轴承磨损时会在振动频谱中出现特定的高频谐波成分,叶轮不平衡则表现为旋转频率整数倍的振动幅值异常增大。及时有效的振动监测可在故障初期发现潜在问题,避免故障进一步恶化,保障磁力泵的稳定运行^[1]。

2.2 温度监测技术

温度是反映磁力泵运行状态的重要参数之一,其变化与泵内各部件的工作状况密切相关。磁力泵在运行过程中,轴承摩擦、磁力耦合产生的磁涡流热、介质流动摩擦等都会导致泵体和相关部件温度升高。温度监测技术通常采用热电偶、热电阻等温度传感器,将其布置在轴承部位、隔离套表面、泵体进出口等关键位置,实时监测各部位的温度变化。正常运行时,各监测点的温度处于合理区间且相对稳定。当出现故障时,如轴承润滑不良引发干摩擦,会使轴承温度急剧上升;隔离套因磁涡流发热加剧或受到介质异常冲刷,其表面温度会超出正常范围;介质输送过程中出现堵塞或流量异常,也会导致泵体进出口温度异常波动。通过对温度数据的连续监测和分析,设定合理的温度阈值,一旦温度超过阈值,立即发出预警信号,以便及时采取措施排查故障。准确的温度监测能够有效预防因过热导致的部件损坏,延长磁力泵的使用寿命,确保其安全可靠运行。

2.3 压力监测技术

压力监测在磁力泵运行状态监测中起着至关重要的作用,它能够直观反映泵的工作性能和系统运行状况。

磁力泵在工作时,通过叶轮的旋转对介质做功,使介质获得压力能,在泵的进出口形成特定的压力差。压力监测技术利用压力传感器,如压阻式、电容式压力传感器,安装在泵的进出口管道上,实时测量介质压力。正常工况下,泵进出口压力符合设计参数,且在一定范围内波动。当泵出现故障时,压力参数会发生明显变化。例如,当泵内出现气蚀现象时,泵的进口压力会下降,出口压力波动加剧;管道堵塞会导致泵的出口压力升高,进口压力降低;磁力耦合失效或叶轮损坏会使泵的输出压力不足,无法达到正常工作压力。通过对压力数据的实时监测和分析,结合流量、转速等其他参数,能够准确判断泵的运行状态和故障类型。及时掌握压力变化情况,可有效避免因压力异常导致的泵性能下降、管道损坏等问题,保障整个输送系统的稳定运行^[2]。

2.4 流量监测技术

流量是衡量磁力泵工作效率和输送能力的关键指标,流量监测技术能够实时掌握泵的实际工作性能,确保介质输送满足生产需求。磁力泵的流量与泵的转速、叶轮结构、介质特性等因素密切相关。流量监测通常采用电磁流量计、涡街流量计、涡轮流量计等,这些流量计根据不同的测量原理,安装在泵的出口管道上,对介质流量进行精确测量。在正常运行时,流量稳定在设定的工作范围内。当泵出现故障或系统运行状态改变时,流量会发生相应变化。如叶轮磨损会导致泵的流量下降,泵的入口堵塞会使流量不稳定甚至中断;当磁力泵的转速发生变化时,流量也会随之改变。通过对流量数据的连续监测和分析,结合压力、温度等参数,能够全面评估泵的运行状况。当流量出现异常波动或偏离设定值时,及时进行故障排查和调整,保证磁力泵在高效、稳定的状态下运行,避免因流量异常影响生产流程 and 产品质量。

3 磁力泵故障诊断方法

3.1 基于信号分析的故障诊断方法

(1) 基于信号分析的故障诊断方法以磁力泵运行过程中产生的振动、温度、压力及流量等信号为基础,通过对信号的特征提取与分析实现故障识别。利用时域分析方法,能够捕捉信号随时间变化的规律,如振动信号时域波形的峰值突变、温度曲线的异常上升趋势,可直观反映故障的突发或渐进过程。(2) 频域分析则借助傅里叶变换等数学工具,将时域信号转换至频率域,通过分析信号在不同频率成分上的能量分布,识别特定故障对应的特征频率。例如轴承磨损引发的高频振动特征、叶轮不平衡产生的转频整数倍振动分量等,从而精准定

位故障部件。(3)时频分析结合了时域和频域分析的优势,通过小波变换等算法,揭示信号在时间和频率两个维度上的变化特性,能够有效处理非平稳信号,对早期微弱故障的识别具有显著优势,为故障诊断提供更全面的信息支撑。

3.2 基于故障树分析(FTA)的诊断方法

(1)故障树分析以磁力泵系统的故障现象为顶事件,通过逻辑推理逐层分解导致顶事件发生的直接和间接原因,构建由逻辑门连接的故障树模型。从泵的流量异常、振动超标等典型故障出发,向下分析磁力耦合失效、轴承磨损、隔离套损坏等中间事件,直至找出如介质杂质、运行工况异常等基本事件。(2)故障树建立后,通过定性分析确定导致故障发生的最小割集,明确引发故障的最基本事件组合,帮助维修人员快速定位故障根源;利用定量分析计算顶事件发生的概率及各基本事件的重要度,评估不同故障原因对系统失效的贡献程度。(3)这种方法能够系统地梳理故障因果关系,直观呈现复杂系统中各部件故障的相互影响,不仅适用于故障诊断,还可用于预测潜在故障风险,指导设备维护策略的制定,提高磁力泵运行的可靠性^[3]。

3.3 基于专家系统的故障诊断方法

(1)基于专家系统的故障诊断方法将磁力泵领域专家的专业知识、故障诊断经验以及运行维护规则等构建成知识库,结合推理机制实现对故障的诊断。知识库中存储着如磁力耦合失效时流量扬程下降、隔离套损坏伴随介质泄漏等故障现象与原因的对应关系,以及不同故障的处理措施。(2)当系统接收到磁力泵的运行参数或故障信号后,推理机依据知识库中的规则,通过正向推理、反向推理或双向推理等方式,对故障进行分析和判断。例如,若检测到振动幅值增大且伴有高频成分,推理机在知识库中匹配相应规则,得出可能是轴承磨损导致的结论。(3)专家系统还具备解释功能,能够向用户说明故障诊断的依据和推理过程,便于操作人员理解故障原因,同时通过不断更新和完善知识库,可适应新的故障类型和工况变化,提升诊断的准确性和实用性。

3.4 基于机器学习的故障诊断方法

(1)基于机器学习的故障诊断方法利用大量的磁力泵运行数据和故障样本,通过训练机器学习模型实现对故障的自动识别与分类。采用监督学习算法,如支持向量机、随机森林等,以标记好故障类型的历史数据作为训练集,使模型学习故障特征与故障类别之间的映射关系;非监督学习算法则可用于挖掘数据中的潜在模式,发现未知故障类型。(2)在实际应用中,将实时采集的磁力泵振动、温度、压力等数据输入训练好的模型,模型依据学习到的知识对当前运行状态进行判断,输出故障诊断结果。例如,通过深度学习中的卷积神经网络对振动信号的时频图像进行特征提取和分类,能够准确识别轴承磨损、叶轮不平衡等故障。(3)该方法无需依赖精确的数学模型和专家经验,具有强大的自学习和自适应能力,随着数据量的不断增加,模型的诊断精度和泛化能力持续提升,可有效应对复杂多变的运行工况,为磁力泵的智能故障诊断提供高效解决方案^[4]。

结语

综上所述,深入研究磁力泵工作原理与常见故障,综合运用振动、温度等监测技术和多种故障诊断方法,能够有效提升磁力泵故障诊断的准确性和及时性。这不仅有助于保障设备稳定运行,降低维护成本,还对提高工业生产效率、推动绿色安全发展具有重要意义。未来,随着智能化技术的发展,磁力泵状态监测与故障诊断技术将朝着更高效、智能的方向不断演进,为工业领域带来新的变革。

参考文献

- [1]林小军,刘君,尹新权,等.基于机器视觉的远程磁力泵故障检测及监测系统设计[J].兰州工业学院学报,2024,31(6):70-73,80.
- [2]黄虎,孙红军.化工装置用磁力泵安全使用措施的建议[J].氯碱工业,2024,60(6):15-17.
- [3]孔祥序,周以松.车载紧凑型磁力泵的研制[J].流体机械,2024,52(5):79-83,90.
- [4]王东升,张艳全,俞礼正,等.磁力泵故障分析及处理措施[J].设备管理与维修,2025(2):83-85.