

# 海上石油平台离心泵机械故障检测技术探析

陈婷婷, 赵 刚

(天津前程海越技术有限公司, 山东 青岛 266520)

**摘 要** 海上石油平台离心泵的稳定运行对于石油生产至关重要。本文围绕离心泵机械故障检测技术展开探讨, 包括转子不平衡、轴承故障、密封故障以及泵体和叶轮的腐蚀与磨损故障, 并分析其产生原因, 分析振动检测、温度检测、噪声检测、油液分析、压力脉动检测、电气参数检测以及无损检测等多种故障检测技术的原理、特点及应用, 旨在为保障海上石油平台离心泵的可靠运行提供技术参考, 提升故障检测的准确性和及时性, 减少设备故障带来的经济损失和安全风险。

**关键词** 海上石油平台; 离心泵; 机械故障检测

中图分类号: TE95

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.017

## 0 引言

海上石油平台作为海上油气资源开发的核心设施, 其生产作业的连续性和稳定性至关重要。离心泵作为平台上广泛应用的关键设备, 承担着原油输送、注水、消防等重要任务, 其运行状况直接影响到整个平台的生产效益与安全。然而, 海上平台环境恶劣, 离心泵长期在高温、高压、高湿度以及腐蚀性介质等严苛条件下运行, 极易发生各类机械故障。一旦发生故障, 不仅会导致石油生产中断, 造成巨大的经济损失, 还可能引发严重的安全事故, 威胁人员生命安全和海洋生态环境。因此, 研究海上石油平台离心泵机械故障检测技术, 及时准确地发现并诊断故障, 对于保障平台的可靠运行、提高生产效率以及降低安全风险具有极其重要的现实意义。

## 1 离心泵常见故障类型及原因

### 1.1 转子不平衡故障

在制造过程中, 转子部件的材质不均匀、加工精度不够, 导致质量分布不均, 如叶轮铸造时存在气孔、砂眼等缺陷, 或者轴的加工同轴度偏差较大; 长期运行后, 叶轮受到介质冲刷、腐蚀, 叶片磨损、脱落, 或者转子上的零部件松动、移位, 如叶轮固定螺母松动, 平衡块脱落等, 都会破坏转子原有的平衡状态<sup>[1]</sup>。

### 1.2 轴承故障

选型不当, 所选轴承的承载能力、转速范围等参数不满足离心泵的实际运行工况, 导致轴承过早疲劳损坏; 润滑不良, 润滑油不足、变质或含有杂质, 使轴承在高速运转时摩擦增大, 产生过度磨损, 甚至烧伤; 安装不正确, 轴承与轴、轴承座之间的配合过紧或过松,

导致轴承内部应力分布不均, 在运行过程中容易损坏。

### 1.3 密封故障

机械密封的密封面磨损, 由于介质中的固体颗粒杂质进入密封面, 或者密封面在长期运行中因摩擦而损坏, 导致密封失效, 出现泄漏现象; 密封件老化、变形, 如橡胶密封件在高温、高压环境下长时间使用后, 失去弹性, 密封性能下降; 安装密封时操作不当, 密封面的平整度、垂直度不符合要求, 或者密封压缩量不合适, 也会造成密封泄漏<sup>[2]</sup>。

### 1.4 泵体和叶轮的腐蚀与磨损故障

海上石油平台的介质含有腐蚀性成分, 如海水、硫化氢等, 会对泵体和叶轮的金属表面产生化学腐蚀; 高速流动的介质对泵体和叶轮表面产生冲刷作用, 尤其是在介质流速较大、含固体颗粒较多的情况下, 冲刷磨损更为严重, 导致泵体和叶轮的壁厚减薄, 强度降低, 影响离心泵的性能和使用寿命。

## 2 离心泵机械故障检测技术

### 2.1 振动检测技术

离心泵在运行过程中, 当发生机械故障时, 其振动特性会发生变化。在泵体、轴承座等关键部位安装振动传感器, 采集振动信号, 利用信号处理技术对振动信号进行分析, 提取振动的幅值、频率、相位等特征参数, 从而判断泵的运行状态和是否存在故障。转子不平衡故障会引起特定频率的振动幅值增大, 通常表现为与转子旋转频率相同的基频振动加剧; 而轴承故障则可能导致高频振动成分增加, 且振动频率会与轴承的固有频率相关; 振动检测技术具有非接触式测量、响应速度快、能实时监测等优点, 可在线安装传

感器,对离心泵的运行状态进行连续监测,广泛应用于各种类型离心泵的故障诊断,长期监测振动数据的变化趋势,能及时发现潜在的故障隐患,并根据振动特征参数初步判断故障类型和严重程度,为后续的维修决策提供依据<sup>[3]</sup>。

## 2.2 温度检测技术

轴承、密封等部件在正常运行时具有相对稳定的工作温度范围。当这些部件出现故障时,如轴承磨损、润滑不良导致摩擦增大,或者密封泄漏引起介质温度变化传递到泵体,都会使相应部位的温度升高。在轴承座、密封腔等部位安装温度传感器,实时测量温度值,并与正常工作温度范围进行对比,即可判断是否存在故障;温度检测技术简单易行、成本较低,能够直观地反映设备的热状态。常用于监测轴承和密封的运行情况,在实际应用中,通常与其他故障检测技术相结合,作为辅助判断手段。当振动检测发现异常时,观察温度变化情况,更精准地确定故障原因和部位。如果温度升高超过正常范围且持续上升,预示着轴承或密封故障的进一步恶化,需要及时停机检修。

## 2.3 噪声检测技术

离心泵在正常运行和故障状态下产生的噪声特性不同。正常运行时,噪声具有相对稳定的频谱和幅值分布;而当出现故障时,如转子不平衡、摩擦、松动等,会产生额外的噪声成分,使噪声的频谱发生变化,且噪声幅值增大。利用噪声传感器采集泵运行时的噪声信号,经过频谱分析等信号处理方法,提取噪声的特征频率和幅值变化,从而判断泵的工作状态;噪声检测技术具有非侵入式、检测范围广等优点,不需要与设备直接接触,便于安装和使用,可用于对离心泵的整体运行状况进行初步评估,尤其在一些难以安装振动传感器或需要大面积监测的场合具有优势<sup>[4]</sup>。

## 2.4 油液分析技术

对于采用油润滑的离心泵,润滑油中会携带设备运行过程中的各种信息,对润滑油的理化性能指标如黏度、酸值、水分、闪点等进行检测,以及对油液中的磨损颗粒数量、尺寸、形状、成分等进行分析,可判断轴承、齿轮等部件的磨损情况和润滑状态。油液中磨损颗粒数量增多、尺寸增大且形状不规则,表示轴承或齿轮存在严重磨损;而润滑油黏度下降、酸值升高,是由于油质劣化,需要及时更换润滑油,以保证设备正常运行;油液分析技术能提供关于设备内部磨损状况的详细信息,具有较强的故障预测能力。一般定期从离心泵的油箱中抽取油样进行实验室分析,适用于长期运行的离心泵设备的状态监测和故障诊断。

建立油液分析数据库,对油液指标的变化趋势进行跟踪分析,可提前发现潜在的故障隐患,合理安排设备的维护保养计划,延长设备的使用寿命<sup>[5]</sup>。

## 2.5 压力脉动检测技术

离心泵在运行过程中,由于叶轮的旋转、流体的流动特性以及泵内的各种水力损失等因素,会产生压力脉动。当泵出现故障时,如叶轮堵塞、密封间隙变化、吸入管路不畅等,会引起压力脉动的幅值、频率等参数发生改变。通过在泵的进出口管道上安装压力传感器,采集压力脉动信号,利用信号处理算法对压力脉动特性进行分析,判断泵的水力性能和运行状态;压力脉动检测技术能够直接反映离心泵的水力性能变化,对于诊断与流体流动相关的故障具有重要意义,可用于监测泵的流量稳定性、汽蚀现象以及内部流道的堵塞情况等。在实际应用中,压力脉动检测数据与泵的设计性能曲线相结合,评估泵的实际运行效率和性能下降程度,为优化泵的运行参数和维护检修提供参考依据<sup>[6]</sup>。

## 2.6 电气参数检测技术

离心泵由电机驱动,电机的电气参数如电流、电压、功率因数、转矩等,与泵的运行状态密切相关。当泵出现机械故障时,如转子卡住、轴承损坏导致转动阻力增大等,会使电机的负载发生变化,从而引起电气参数的改变。通过监测电机的电气参数,利用电机的等效电路模型和运行特性曲线,分析电气参数与机械负载之间的关系,间接判断离心泵的运行状态和是否存在故障;电气参数检测技术无需在泵体上安装额外的传感器,只需利用电机原有的电气控制系统即可实现监测,具有便捷、成本低的优点<sup>[7]</sup>,适用于对离心泵电机的运行状态进行监测和故障诊断,尤其是在判断电机与泵的连接故障、电机自身故障以及泵的超载运行等方面具有重要作用。同时,结合其他故障检测技术,可更全面地了解离心泵的整体运行情况,提高故障诊断的准确性。

## 2.7 无损检测技术

无损检测技术包括超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等多种方法,其原理是利用不同物理特性的介质与被检测物体相互作用后产生的信号变化来检测物体内部或表面的缺陷<sup>[8]</sup>。例如,超声检测利用超声波在材料中的传播特性,当遇到缺陷时,超声波会发生反射、折射和散射,通过接收和分析反射波的信号特征,可以确定缺陷的位置、大小和形状;磁粉检测则是利用铁磁性材料在磁场作用下,表面或近表面缺陷处会产生漏磁场,吸附磁粉形成磁痕,从而显示缺

陷的存在；无损检测技术能在不破坏离心泵结构完整性的前提下，检测泵体、叶轮、轴等部件的内部缺陷，如裂纹、气孔、夹渣等，对于评估设备的安全性和可靠性具有重要意义。

### 3 离心泵机械故障检测技术的综合应用策略

#### 3.1 多参数融合监测

综合运用多种故障检测技术，同时对离心泵的振动、温度、压力、噪声、电流等多个参数进行实时监测。例如，在泵体、轴承座等部位安装振动传感器和温度传感器，在进出口管道安装压力传感器，在电机控制柜采集电流参数，在泵运行区域布置噪声传感器等。通过构建多参数监测系统，全面获取离心泵在不同工况下的运行状态信息。利用数据采集与传输设备，将各传感器采集到的数据传输至中央处理单元，进行集中存储和分析。这样能够避免单一参数监测的局限性，从多个维度反映设备的健康状况，为故障诊断提供更丰富、全面的数据支持，提高故障检测的准确性和可靠性。

#### 3.2 基于故障特征库的智能诊断

建立离心泵故障特征库，将各种常见故障类型如转子不平衡、轴承损坏、密封泄漏等所对应的典型故障特征进行整理和归纳，包括特定的振动频率范围、温度变化趋势、压力脉动规律、噪声频谱特征以及电气参数异常等。当监测系统获取到离心泵的实时运行数据后，利用智能诊断算法将这些数据与故障特征库中的信息进行匹配和对比分析。一旦发现实时数据中的特征与故障特征库中的某一故障模式高度吻合，即可快速准确地判断出故障类型，并结合故障严重程度评估模型，确定故障的严重程度，为后续的维修决策提供科学依据，实现故障的智能化诊断，提高诊断效率和精度。

#### 3.3 动态阈值设定与趋势分析

离心泵在不同的运行工况（如不同流量、扬程、转速等）下，其正常运行参数会有所变化。因此，针对各监测参数设定动态阈值，根据离心泵的实时工况参数，通过工况识别模型自动调整阈值范围，使其更符合当前实际运行状态。同时，对各监测参数进行长期的趋势分析，绘制参数随时间变化的曲线，观察其变化趋势。当某个参数出现异常变化，如持续上升、波动加剧或偏离正常趋势等，且超出动态阈值范围时，及时发出故障预警信号。这种动态阈值设定与趋势分析相结合的方法，能够有效避免因固定阈值设置不合理导致的误报和漏报问题，增强故障检测系统对离心泵运行状态变化的适应性和敏感性，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。

### 4 离心泵机械故障检测技术发展趋势

随着传感器技术、信号处理技术、人工智能技术以及物联网技术的不断发展，离心泵机械故障检测技术也朝着智能化、网络化、高精度和多功能化的方向发展。未来，新型的传感器将不断涌现，具有更高的灵敏度、分辨率和可靠性，能够更准确地采集离心泵运行过程中的各种参数信息。同时，大数据分析和人工智能算法将在故障诊断中发挥更大的作用，通过对大量历史监测数据的学习和分析，建立更加精准的故障预测模型，实现对离心泵故障的早期预警和智能诊断。此外，物联网技术的应用将使离心泵的故障检测系统实现远程监控和数据传输，便于海上石油平台的管理人员实时掌握设备的运行状态，及时采取相应的维护措施，提高设备的管理效率和运行安全性。

### 5 结束语

海上石油平台离心泵的机械故障检测，是保障石油生产安全稳定运行的关键环节。了解离心泵常见的故障类型及其原因，掌握振动检测、温度检测、噪声检测、油液分析、压力脉动检测、电气参数检测以及无损检测等多种故障检测技术的原理、特点和应用范围，并采用综合应用策略，将多种检测技术有机结合，可有效提高离心泵故障检测的准确性和及时性，为设备的维护保养和故障修复提供有力支持，为海上石油平台的高效、安全运行提供更加可靠的技术保障，降低设备故障率，减少经济损失和安全风险。

### 参考文献：

- [1] 赵佳. 海上石油平台的多级离心泵机械故障检测探讨[J]. 石化技术, 2024, 31(09): 135-137.
- [2] 王永夏. 海上石油平台多级离心泵机械故障检测方法[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(04): 51-53.
- [3] 王焕坤. 探讨离心泵常见故障检测与维修[J]. 中国化工贸易, 2021(19): 139-140.
- [4] 范传翰, 宋礼威, 刘厚林, 等. 基于 PSO-SVM-RF 的离心泵转子故障诊断研究[J]. 中国农村水利水电, 2023(02): 171-176.
- [5] 郑庆元, 路笃辉, 刘勇明. 单级离心泵机械密封维修周期及可靠性研究[J]. 机电工程, 2023, 40(06): 960-966.
- [6] 郑源, 赵雪莹, 周文杰, 等. 空化诱导的离心泵叶轮区流动特性与压力脉动分析[J]. 农业机械学报, 2024, 55(10): 244-251.
- [7] 程江成, 朱碧海. 双斜盘轴配流轴向柱塞式液压电机泵的实验研究[J]. 液压与气动, 2023, 47(03): 90-99.
- [8] 曲虎, 王永虎, 陆诗建, 等. 非金属管道在油气田中的应用及完整性管理技术研究进展[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(09): 54-72.