

# 基于状态监测的海上平台设备预防性维修技术

胡 猛

中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司 天津 300452

**摘要:** 本文聚焦基于状态监测的海上平台设备预防性维修技术。阐述海上平台设备状态监测技术,包括分类原理、多源数据融合与特征提取、监测系统架构。介绍了预防性维修策略,如健康状态评估模型、维修决策优化及计划动态调整机制。还探讨维修决策优化方法,如维修优先级、周期、资源调度优化。最后通过工程应用案例分析,验证该技术可降低故障率、减少停机时间、节约运维成本,保障海上平台设备稳定运行。

**关键词:** 海上平台; 状态监测; 预防性维修; 故障预测

引言: 海上平台作为海洋资源开发的关键设施,其设备稳定运行至关重要。然而,海上环境恶劣,盐雾、振动等因素易致设备故障,传统人工巡检效率低、故障识别滞后。状态监测技术能实时获取设备运行数据,为预防性维修提供依据。基于状态监测的预防性维修技术,可提前发现设备隐患,合理安排维修,避免过度维修与维修不足,降低运维成本,提高设备可靠性与安全性,对海上平台高效运营意义重大。

## 1 海上平台设备状态监测技术基础

### 1.1 状态监测技术分类与原理

海上平台设备工况复杂、所处环境恶劣,盐雾、振动、高温高压等因素易导致设备故障,状态监测技术是保障设备稳定运行的核心。按监测原理可分为振动监测、油液分析、温度监测、声学监测等类别。振动监测通过传感器采集设备振动信号,分析频率、幅值等特征,识别轴承磨损、转子不平衡等故障;油液分析借助光谱、铁谱技术,检测油液中金属颗粒含量与成分,判断零部件磨损程度;温度监测采用红外测温、热电偶等设备,实时追踪设备关键部位温度变化,预警过热故障;声学监测通过采集设备运行噪音,识别异常声波信号,定位密封失效、部件松动等问题<sup>[1]</sup>。各类技术依据设备结构与故障类型针对性应用,为设备健康状态评估提供基础数据支撑,弥补了传统人工巡检效率低、故障识别滞后的短板。

### 1.2 多源数据融合与特征提取方法

海上平台设备监测涉及多维度、多类型数据,单一数据源易受干扰,多源数据融合技术可提升数据可靠性与故障识别精度。该技术通过数据预处理、特征层融合、决策层融合三个核心环节,整合振动、油液、温度等多源数据,消除数据冗余与噪声。预处理阶段采用滤波、归一化、异常值剔除等方法,优化数据质量;特征

层融合通过小波变换、傅里叶变换、主成分分析等算法,提取各数据源核心特征并融合,强化故障特征辨识度;决策层融合结合贝叶斯估计、D-S证据理论等方法,对融合特征进行综合判断,输出设备健康状态结论。特征提取作为关键环节,需兼顾特征敏感性与鲁棒性,针对不同设备故障特性,筛选出能精准反映故障演变的特征参数,避免无效特征增加计算量。合理运用多源数据融合与特征提取方法,可实现从海量监测数据中挖掘故障规律,为后续维修决策提供科学依据。

### 1.3 监测系统架构设计

海上平台设备监测系统需适应海洋恶劣环境,满足实时性、可靠性、可扩展性要求,整体采用分层架构设计,涵盖感知层、传输层、数据层、应用层。感知层部署各类传感器、数据采集终端,实现对设备振动、温度、油液等参数的实时采集,具备防水、抗腐蚀、抗干扰能力,适配海上复杂工况;传输层结合有线传输与无线通信技术,有线传输采用光纤保障大数据量稳定传输,无线传输通过5G、LoRa等技术覆盖偏远区域设备,实现监测数据实时上传,同时具备数据加密功能,保障数据安全;数据层构建云数据库与边缘计算节点,边缘节点对采集数据进行实时预处理,减少数据传输压力,云数据库实现海量监测数据的存储、备份与管理;应用层搭载状态评估、故障预警、数据可视化等模块,通过可视化界面展示设备运行状态,异常时及时发出预警,支持工作人员远程监控与操作。

## 2 基于状态监测的海上平台设备预防性维修策略

### 2.1 设备健康状态评估模型

设备健康状态评估模型是预防性维修策略制定的核心,基于状态监测数据,实现设备健康等级的量化评估与故障趋势预判。该模型通常采用层次分析法、模糊综合评价法、神经网络等方法构建,结合设备运行参数、

故障历史数据、设计标准等多方面因素，建立健康评估指标体系，涵盖设备性能参数、磨损程度、运行稳定性等维度。层次分析法用于确定各评估指标权重，突出关键指标对健康状态的影响；模糊综合评价法解决评估指标模糊性问题，对设备健康状态进行多维度综合评判；神经网络模型通过训练历史数据，学习故障与监测参数的映射关系，实现健康状态的精准预测与故障定位。评估模型输出健康等级（优、良、中、差）及故障发展趋势，为维修时机判断提供依据，避免过度维修导致的资源浪费，同时防止维修不足引发设备故障，平衡设备运行安全性与运维经济性<sup>[2]</sup>。

## 2.2 维修决策优化方法

基于状态监测的维修决策优化，以设备健康状态评估结果为依据，结合运维成本、生产需求、安全风险等因素，制定最优维修方案。常用优化方法包括成本效益分析、多目标优化算法、风险矩阵法等。成本效益分析通过核算维修成本、故障损失、设备残值等，评估不同维修方案的经济效益，选择性价比最高的方案；多目标优化算法兼顾设备可靠性、运维成本、生产中中断时间等多目标，构建优化模型求解最优维修策略；风险矩阵法结合故障发生概率与影响程度，划分风险等级，对高风险设备优先安排维修，低风险设备采取定期监测策略。维修决策优化需动态结合设备运行状态、维修资源 availability、生产计划调整等因素，打破传统固定周期维修模式的局限性，实现维修决策的科学性与灵活性。

## 2.3 维修计划动态调整机制

海上平台生产工况多变、设备故障具有随机性，维修计划需建立动态调整机制，适配实际运行需求。该机制以实时状态监测数据、设备健康评估结果为核心驱动，结合生产任务优先级、维修资源配置、外部环境变化等因素，实现维修计划的动态优化。建立数据反馈闭环，实时更新设备健康状态、维修进度、资源使用情况等信息，当设备出现突发异常、健康状态快速恶化时，立即触发计划调整流程，优先安排紧急维修；当生产任务紧张时，在保障设备安全运行的前提下，调整维修时序，避免影响生产进度；当维修资源（人员、备件、设备）出现短缺时，优化资源调度，合理调整不同设备的维修计划，确保关键设备维修不受影响。建立计划调整评估机制，对调整后的维修计划进行可行性、经济性验证，保障调整方案科学合理，实现设备运维与生产运营的协同优化。

# 3 海上平台设备预防性维修决策优化方法

## 3.1 维修优先级动态评估

维修优先级动态评估旨在解决海上平台多设备并行运行时的维修排序问题，基于设备重要性、故障风险、生产影响等因素，实时调整维修优先级。构建多维度评估指标体系，核心指标包括设备关键度（对生产流程、安全运营的影响程度）、故障紧急度（故障发展速度、对设备及系统的危害程度）、生产关联度（设备停机对上下游生产环节的影响范围）、维修难度（维修所需时间、技术、资源投入）。采用加权综合评分法、层次分析法等，对各指标量化评分，计算综合优先得分，按得分高低排序安排维修工作<sup>[3]</sup>。针对关键设备（如主机、输油泵），适当提高权重，优先保障其正常运行；当设备出现高风险故障时，立即提升优先级，启动紧急维修流程；当多设备同时出现异常时，综合权衡生产损失与维修成本，优先维修对生产影响最大、故障风险最高的设备，确保维修资源集中投入到关键环节，提升运维效率。

## 3.2 维修周期自适应调整

维修周期自适应调整打破传统固定周期维修的局限，基于设备实时状态监测数据、故障历史规律、运行工况变化等，动态优化维修间隔周期。通过统计分析设备健康状态演变趋势、故障发生周期与监测参数的关联关系，建立维修周期预测模型，初始周期基于设备设计标准与行业经验设定，随后结合实际运行数据持续校准。当设备健康状态良好、监测参数稳定，且无故障隐患时，适当延长维修周期，降低运维成本；当设备健康状态下滑、出现轻微故障隐患，或运行工况恶劣（如高负荷、强腐蚀）时，缩短维修周期，加强监测与维护频率；当设备发生故障后，分析故障原因与维修效果，调整后续维修周期，避免同类故障重复发生。维修周期自适应调整需兼顾设备可靠性与经济性，通过动态优化实现“按需维修”，既避免过度维修造成的资源浪费，又防止维修不足引发设备故障。

## 3.3 维修资源调度优化

海上平台维修资源（人员、备件、设备、工具）有限且运输不便，资源调度优化直接影响维修效率与成本。该优化方法以维修计划、设备优先级为导向，结合资源库存、运输周期、人员技能等因素，构建资源调度模型，实现资源的合理配置与高效利用。人员调度方面，根据维修任务需求与人员技能特长，分配适配的维修团队，明确分工与时间节点，同时考虑海上作业安全要求，合理安排作业班次；备件调度方面，建立备件库存动态监测系统，精准预测备件需求，优化备件储备量，避免库存积压或短缺，对于稀缺备件，提前规划运输路径与应急补给方案；设备与工具调度方面，统筹安

排维修设备（如起重机、检测仪器）的使用时序，避免资源冲突，提高设备利用率。通过维修资源调度优化，减少维修等待时间，降低资源运输与库存成本，保障维修任务高效推进。

#### 4 工程应用案例分析

##### 4.1 案例1：海上生产平台旋转设备维修优化

海上生产平台旋转设备（货油系统、空压机、电脱泵）长期处于高负荷运行状态，传统固定周期维修模式存在过度维修、故障预警滞后等问题，导致运维成本高、非计划停机频发。为此，引入状态监测与预防性维修优化方案，在设备关键部位部署振动传感器、温度传感器，实时采集振动频率、轴承温度等参数，通过多源数据融合技术整合数据，采用小波变换提取故障特征，构建神经网络健康评估模型。通过模型监测发现，电脱泵轴承振动信号异常，预判为轴承磨损故障，结合维修优先级评估，将其列为高优先级维修任务，同时自适应调整维修周期，从原有的3个月缩短至1.5个月。通过维修资源调度优化，提前调配备件与维修团队，在生产间隙完成维修，避免非计划停机。应用后，旋转设备故障发生率降低40%，非计划停机时间减少50%，年运维成本节约约100万元，显著提升了设备运行稳定性与运维经济性。

##### 4.2 案例2：海上生产平台电气设备绝缘监测

海上生产平台电气设备（变压器、配电柜、电缆）受盐雾、潮湿环境影响，易出现绝缘老化、破损等问题，引发短路、漏电等安全事故。平台针对电气设备绝缘状态开展监测与维修优化，采用介电损耗角正切监测、绝缘电阻测试、局部放电监测等技术，构建多维度绝缘监测系统，实时采集绝缘性能参数。通过多源数据融合与特征提取，识别绝缘老化程度与潜在故障，构建模糊综合评价模型评估设备绝缘健康状态<sup>[4]</sup>。基于评估结果，制定差异化维修策略，对绝缘性能轻度下降的设备，采取清洁、防潮处理，延长维修周期；对绝缘老化严重的设备，优先安排更换维修，同时优化维修资源调度，协调专业维修人员与绝缘备件到位。应用后，成功预警3起电缆绝缘破损故障、2起变压器绝缘老化问题，均在故障扩大前完成维修，电气设备安全事故发生率降

至零，设备绝缘寿命延长2年，保障了平台供电系统稳定运行。

##### 4.3 案例3：海底管道泄漏监测与维修决策

海底管道作为海上油气输送的核心设施，易受海水腐蚀、海底地质运动、船舶锚击等因素影响，发生泄漏故障，引发环境污染与经济损失。海上油气田针对海底管道部署泄漏监测与维修决策优化系统，采用压力波监测、光纤传感监测、声学监测技术，实时监测管道内压力变化、管道变形及泄漏声波信号。通过多源数据融合技术整合监测数据，排除海浪干扰、管道正常压力波动等因素影响，精准定位泄漏位置与泄漏量，构建泄漏风险评估模型，划分风险等级。基于风险等级与维修优先级评估，制定动态维修计划，对轻微泄漏且位置易作业的管道，安排潜水员现场维修；对严重泄漏且位置复杂的管道，协调铺管船、维修平台开展应急维修，同时优化维修资源调度，缩短维修准备时间。应用后，管道泄漏监测准确率达95%以上，泄漏故障处理时间缩短60%，有效减少了油气泄漏损失与环境污染风险，保障了油气输送安全。

#### 结束语

综上所述，基于状态监测的海上平台设备预防性维修技术，凭借其精准的设备健康状态评估、科学的维修决策优化及灵活的维修计划调整机制，在工程应用中成效显著。通过多个案例验证，该技术有效降低设备故障发生率，减少非计划停机时间，节约运维成本，保障海上平台的安全稳定运行。未来，随着技术不断发展，其应用前景将更加广阔，为海洋资源开发提供更有力的支持。

#### 参考文献

- [1]陈明华.海上采油平台动设备检维修一体化发展思考[J].设备管理与维修,2024(20):7-10.
- [2]柯尔钦乎.海上平台原油外输泵振动故障探究[J].当代化工研究,2021(7):40-41.
- [3]李小西,蔡洪刚,张焱,刘宇.设备预防性维修管理与设备的可靠性管理[J].化工管理,2021,(14):134-135.
- [4]李明,朱泽锦,于成龙,等.海上平台设备故障智能预警系统开发技术路线研究[J].化工管理,2024(9):72-74,127.