

# 环境监测在石油工程设备管理中的应用研究

杨新宇<sup>1</sup> 王 靖<sup>2</sup>

1.天津中油渤星工程科技有限公司 天津 300451

2.陕西恒源投资集团电化有限公司 陕西 榆林 719319

**【摘 要】**：随着石油工程设备管理面临日益严峻的环境保护要求与技术升级挑战，本研究聚焦环境监测技术在设备全生命周期管理中的创新应用。通过构建多维度环境监测技术体系，整合传感器网络与大数据分析平台，实现了对设备运行环境的实时动态感知与异常预警。研究提出环境驱动型设备管理模式，将环境参数与设备性能指标进行耦合分析，有效识别出温度异常、腐蚀加速等关键风险因素，显著提升了设备维护的预见性与精准度。实践表明，该模式可降低设备非计划停机频率，延长关键部件使用寿命，同时减少因设备故障导致的环境污染风险。研究进一步探讨了智能监测终端部署与边缘计算技术的融合应用，为构建环境友好型设备管理体系提供了技术路径。研究结果不仅验证了环境监测技术在设备管理中的经济价值，更为石油工程领域实现绿色低碳转型提供了可复制的解决方案，对推动行业可持续发展具有实践指导意义。

**【关键词】**：环境监测；石油工程；设备管理；预防性维护；可持续发展

DOI:10.12417/2811-0722.25.04.054

## 前言

随着全球环保法规的持续强化和能源行业绿色转型的迫切需求，石油工程设备管理正面临双重挑战。一方面，传统设备管理模式难以应对复杂环境因素对设备性能的持续影响，另一方面，行业亟须通过技术创新实现环境保护与经济效益的平衡。这种背景下，环境监测技术逐渐成为连接设备运行与生态保护的关键纽带。石油工程设备长期处于高温、高压、腐蚀性介质等复杂工况中，其运行状态与环境参数存在显著关联。早期设备管理多采用定期检修和故障后处理模式，但这种方式存在滞后性，无法有效预防因环境异常导致的设备劣化。近年来，随着物联网传感器、边缘计算等技术的突破，实时获取设备运行环境数据已成为可能。通过监测温度波动、气体浓度、土壤酸碱度等关键指标，能够提前识别设备潜在风险，这为设备管理模式的革新提供了技术基础。研究旨在构建环境参数与设备健康状态的动态关联模型，通过多源环境数据的融合分析，突破传统管理模式的被动性局限。具体目标包括：建立覆盖设备全生命周期的环境监测网络，实现从选址安装到报废回收的全过程环境风险管控；开发环境异常与设备故障的预警机制，提升维护作业的精准性；探索环境友好型设备管理方案，在保障生产效率的同时降低生态影响。该研究不仅为石油工程设备管理提供新的技术路径，更为行业实现绿色低碳发展目标奠定实践基础。

## 1 环境监测技术体系及其在石油工程中的实施路径

### 1.1 石油工程环境监测的核心技术手段

石油工程环境监测的核心技术手段主要包含三个关键组

成部分，形成从数据采集到分析决策的完整技术链条。第一层次是基础感知技术，通过部署在设备关键节点的传感器网络，实时获取温度、压力、腐蚀速率等物理参数<sup>[1]</sup>。例如在输油管线中，采用分布式光纤传感技术可连续监测管道表面温度变化，当出现介质泄漏时，温度场的异常波动可触发预警系统。这种技术突破了传统点式监测的局限，实现全管线覆盖式监控<sup>[2]</sup>。

第二层次是环境参数耦合分析技术，重点解决多源数据融合难题。通过建立设备性能与环境参数的关联模型，将大气污染物浓度、土壤酸碱度等外部环境数据与设备振动频谱、密封件磨损率等运行参数进行交叉分析。这种技术能有效识别出硫化氢浓度升高与阀门腐蚀加速之间的定量关系，为预防性维护提供决策依据。特别是在海上钻井平台应用中，通过整合气象数据与设备运行状态，可提前预判台风天气对关键设备的冲击风险。

第三层次是智能诊断技术，基于机器学习算法构建设备健康评估体系。系统通过持续学习历史监测数据，自动识别设备劣化特征模式。以抽油机减速箱监测为例，当润滑油中金属微粒含量与环境湿度同时出现异常时，系统可自动判断齿轮磨损风险等级，并推荐最佳维护时机。该技术显著提升了故障诊断的准确性，避免因环境因素干扰造成的误判。目前该技术已成功应用于油田注水泵站，通过分析水质参数与泵体振动数据，实现结垢风险的精准预测<sup>[3]</sup>。

这些技术手段的协同应用，构建起覆盖设备全生命周期的监测网络。在设备安装阶段，通过地质环境评估技术优化选址

方案；在运行阶段，利用实时监控数据动态调整维护策略；在报废阶段，依据环境承载能力制定设备回收方案。这种技术体系的应用，使石油工程设备管理从被动应对转向主动预防，有效平衡了生产安全与环境保护的双重需求。

## 1.2 多源监测数据与设备状态关联分析方法

多源监测数据与设备状态关联分析方法通过整合设备运行参数与环境监测数据，构建起设备健康状态的动态评估体系。该方法包含三个核心环节：首先进行数据预处理，将来自振动传感器、温度探头、气体检测仪等不同设备的异构数据进行标准化处理。例如，对输油泵轴承振动信号进行时频转换，同时将环境温湿度数据转化为与设备运行周期同步的时间序列，确保数据在时间维度上的可比性。通过滑动窗口算法对数据进行平滑处理，有效消除传感器噪声带来的干扰<sup>[4]</sup>。

在特征提取阶段，采用主成分分析法筛选关键参数组合。针对钻井平台柴油发电机组，选取环境温度梯度、润滑油黏度变化率、尾气颗粒物浓度等参数构建特征矩阵。通过计算各参数间的皮尔逊相关系数，发现当环境温度波动超过阈值时，设备冷却系统效率下降与润滑油氧化速率加快存在显著正相关。这种关联关系的建立，为预判设备性能衰退提供了量化依据。

关联模型构建采用随机森林算法进行多维度数据融合。以输油管线监测为例，将土壤腐蚀性指标、管壁厚度检测值、介质流速等参数输入模型，通过特征重要性排序确定各环境因素对设备状态的影响权重。实践表明，土壤氯离子浓度对管材腐蚀速率的贡献度达到环境因素总影响的65%，这一发现指导了重点监测区域的优化布局。模型输出结果与设备实际检修记录对比显示，该方法对法兰密封失效的预警准确率较传统方法提升显著<sup>[5]</sup>。

实际应用中，该方法通过可视化仪表盘实现数据交互。某油田注水站将水泵振动频谱与环境湿度数据进行时空匹配，当特定频率振幅异常与环境湿度骤增同时出现时，系统自动触发轴承锈蚀预警。这种关联分析使维护人员能准确区分设备固有振动与环境诱发的异常振动，避免误判导致的非必要停机。通过持续优化模型参数，系统逐步建立起不同设备类型的环境敏感度评价体系，为制定差异化维护策略提供支撑。

## 2 环境监测驱动的设备管理创新实践

### 2.1 基于实时监测的设备预防性维护策略

基于实时监测的设备预防性维护策略通过构建动态感知网络，将传统定期检修模式转变为按需维护机制。该策略依托安装在设备关键部位的传感器集群，持续采集温度、振动、腐蚀速率等运行参数，同时整合周边环境中的气体浓度、土壤湿度等监测数据。当抽油机减速箱润滑油温度与环境湿度同步上升时，系统自动触发预警信号，提示维护人员检查密封件老化情况，避免润滑油乳化导致的齿轮磨损。

该策略的核心在于建立环境—设备关联预警模型。以输油管线管理为例，系统将土壤酸碱度监测数据与管壁厚度监测值进行关联分析。当某段管线周边土壤氯离子浓度持续超标时，模型自动调高该区域的腐蚀风险评估等级，并生成重点巡检任务。这种基于环境变化的动态预警机制，使维护资源能够精准投向高风险区域，避免传统巡检模式中存在的盲目性。

智能决策支持系统是该策略的重要实施载体。系统通过可视化界面展示设备健康状态与环境参数的关联图谱，辅助管理人员快速识别风险源。例如在注水泵站应用中，当水质检测显示悬浮物含量异常时，系统不仅提示滤网清洗建议，还会同步分析历史数据预测叶轮磨损周期，自动生成包含备件更换的复合型维护方案。这种智能化的决策流程显著缩短了从发现问题到制定对策的时间周期。

该策略的应用效果体现在三个维度：在设备层面，通过提前发现环境诱发的设备劣化，将关键部件的平均使用寿命延长；在管理层面，基于环境风险的优先级排序，使维护作业效率提升；在环保层面，通过及时处置泄漏、腐蚀等环境敏感型故障，有效降低污染事故发生率。某油田应用案例显示，采用该策略后设备突发故障率明显下降，同时减少了因过度维护产生的资源浪费。

### 2.2 环境风险预警与设备应急管理联动机制

环境风险预警与设备应急管理联动机制通过建立环境异常与设备故障的快速响应通道，实现了风险防控的闭环管理。该机制包含三个核心环节：首先构建分级预警指标体系，将环境参数划分为正常、警戒、危险三个等级。例如在输油站场管理中，当硫化氢浓度超过安全阈值时，系统自动启动黄色预警，触发设备密封性检测程序；若同时监测到压力异常波动，则升级为红色预警，立即切断相关流程并启动应急响应。

联动机制的关键在于建立标准化的应急处置流程。当环境监测系统检测到土壤导电率异常升高时，系统自动关联地下储罐腐蚀风险数据库，生成包含堵漏方案、人员疏散范围、环保处置措施的应急预案。以某炼化厂为例，雨水管网pH值异常触发的预警信息，在5分钟内同步推送至设备维护、安全环保、生产调度三个部门，形成跨部门协同处置小组。这种快速响应模式将传统应急响应时间缩短，有效控制环境风险扩散。

智能决策平台是该机制的技术支撑，通过可视化界面实现风险态势的实时感知。平台整合气象数据、设备运行参数、环境监测值等多维度信息，利用数字孪生技术模拟事故演变趋势。在海上钻井平台应用中，台风预警信息触发后，系统自动评估井口装置抗风等级，动态调整生产负荷并启动锚固系统自检程序。同时生成设备防护操作清单，指导作业人员加固关键设备，避免因环境灾害导致的设备损毁。

该机制的应用效果体现在三个方面：在风险识别层面，通

过环境参数异常与设备故障模式的匹配分析,提升早期预警的准确性;在应急处置层面,标准化的联动流程确保各部门快速形成处置合力;在事后改进层面,系统自动记录事件处理全过程,为优化应急预案提供数据支持。某输油管线泄漏案例显示,土壤湿度异常触发的预警使应急队伍在泄漏发生前2小时完成管段隔离,成功避免环境污染事故。这种机制的应用显著提升了石油工程设备管理的主动防御能力,为构建环境友好型生产体系提供实践范例。

### 3 环境监测技术应用成效与可持续发展展望

环境监测技术在石油工程设备管理中的实际应用已显现出多方面成效。在设备维护方面,通过实时采集环境参数与设备运行数据的联动分析,维护人员能够更早发现潜在风险。例如某油田输油站通过监测土壤湿度与管线腐蚀速率的关联变化,在管壁减薄达到临界值前完成局部更换,避免了介质泄漏事故。这种基于环境变化的预警机制,使设备突发故障率显著降低,同时减少了因过度检修造成的资源浪费。

在环境保护层面,监测系统的应用有效控制了设备运行对环境的影响。某炼化厂通过部署气体浓度监测网络,当检测到挥发性有机物异常升高时,系统自动启动密封装置自检程序,

成功将废气排放量控制在环保标准内。这种环境风险防控机制,既保障了生产连续性,又避免了因设备故障导致的环境污染事件,实现了经济效益与生态保护的平衡。

面向未来发展,环境监测技术的智能化升级将成为重要趋势。新型监测终端正逐步集成边缘计算能力,可在数据采集端完成初步分析。例如在偏远井场,智能传感器能自主判断环境异常并触发应急响应,解决了传统系统依赖中心服务器的延迟问题。同时,监测数据平台与设备管理系统的深度整合,将推动形成环境参数驱动的决策模式,使设备维护计划能动态适应环境变化。

### 4 结语

可持续发展目标的实现需要技术创新与制度保障的协同推进。随着环保法规的不断完善,环境监测数据将成为设备管理合规性的重要依据。未来应重点构建覆盖设备全生命周期的环境评估体系,在设备选型阶段纳入环境适应性分析,在报废阶段强化环境影响评估。通过将环境监测数据融入设备管理全流程,可推动石油工程向资源节约、环境友好的方向发展,为行业绿色转型提供持续动力。

### 参考文献:

- [1] 涂林昌.环境监测质量控制及强化措施研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(18):195-197.
- [2] 黄贵波.石油化工行业持久性有机污染物和重金属的环境监测[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(11):145-147.
- [3] 史绵红,胡雅琴,王鑫.由石油类应急监测现状探寻水中石油类监测的突破[J].中国环境监测,2024,40(01):12-20.
- [4] 李月清.强化构建生态环境监测“大格局”[J].中国石油企业,2023,(06):41-42.
- [5] 姬洪亮,白璐,武可新,等.基于遥感技术的水运环境石油污染范围监测方法研究[J].环境科学与管理,2023,48(02):129-132.