

输油气站场设备全生命周期管理体系的构建与实施

侯杰

国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司

摘要：输油气站场设备全生命周期管理体系是保障设备高效、安全运行的重要手段。本文以输油泵、阀门和储罐为研究对象，提出基于动态监测、精准维护和优化决策的全生命周期管理方法。通过引入物联网、大数据和人工智能技术，构建数据平台与管理模型，实现设备运行状态实时监测、故障预测及优化维护策略制定。研究表明，该体系能够显著提高设备运行效率，延长使用寿命，降低运行和维护成本，为输油气设备的科学管理提供了系统化解决方案。

关键词：输油气站场设备；全生命周期管理；动态监测；优化决策

输油气站场设备运行环境复杂，具有高温、高压和连续运行的特点，设备的可靠性直接关系到站场运行的经济效益和安全性。目前的设备管理仍以传统的定期维护和故障后维修为主，难以实现设备运行状态的实时掌控，导致设备利用率不高、故障率较高和维护成本上升。随着物联网、大数据和人工智能等技术的发展，为设备全生命周期管理的实施提供了新契机。本文围绕输油泵、阀门和储罐3类核心设备，探讨基于全生命周期管理的动态监测、故障诊断与优化维护策略，为提升输油气设备管理水平提供理论与实践依据。

1 输油气站场设备全生命周期管理理论基础

1.1 全生命周期管理的基本概念与理论

全生命周期管理是一种系统化方法，覆盖设备从规划、设计、制造、使用到报废的全过程，旨在实现资源高效利用和经济效益最大化。在输油气站场中，利用数据化和智能化技术，可实时监控设备运行状态，优化资源配置，预

测潜在风险，制定精准的维护策略^[1]。这一方法强调动态管理和预测性维护，取代传统的事后维修模式，降低综合成本，提高运行安全性和稳定性。

1.2 输油气站场设备的特点与分类

输油气站场设备包括输油泵、阀门和储罐，具有高负荷、连续性、高度自动化和安全敏感等特点。这些设备运行环境复杂，如高温、高压和腐蚀性介质，对材料、密封性能和稳定性要求较高。按功能分类，设备分为流体输送设备（如输油泵）、流量控制设备（如阀门）和储存设备（如储罐）。不同设备在功能、结构和维护需求上差异明显，为全生命周期管理的实施提供依据。

1.3 全生命周期管理在输油气设备中的适用性

全生命周期管理在输油气设备中主要体现为性能提升、成本优化和风险控制。通过动态监测和数据分析，可发现输油泵、阀门及储罐的潜在问题，实现故障的早期预测与诊断，提升设备效率。同时，优化维修策略、延长设备寿命能有效降低运行成本，特别在高负荷系统

中更为显著。该管理方法强化了对高风险储罐区和阀门系统的监测与维护，减少事故发生概率。结合数字化工具，设备管理逐步向精细化和智能化方向发展，充分发挥全生命周期管理的优势。

2 输油气站场设备全生命周期管理现状分析

2.1 输油泵运行与维护现状

输油泵运行状态直接影响输送效率和系统安全。传统定期维护模式难以实现设备状态实时监测，导致部分故障未及时发现。由于输送介质的高黏度和高压特性，输油泵易出现轴承损坏、密封失效和叶轮腐蚀等问题^[2]。维护计划不合理和资源分配不足增加了检修成本并影响设备寿命。引入动态监测和预测性维护技术是提高输油泵管理水平的关键。

2.2 阀门使用及管理现状

阀门管理主要依赖定期检查和故障后维修，缺乏运行状态实时监测与分析。由于输送介质的高压和腐蚀性特性，阀门易因材料老化或密封面磨损而

故障。启闭频率的不合理使用也会影响寿命。现阶段,备件质量参差不齐、操作流程不规范以及管理体系不完善问题较为突出,需引入标准化体系和智能监测技术。

2.3 储罐的安全运行与维护现状

储罐运行依赖人工巡检和定期检查,但在腐蚀监测和液位控制方面存在不足。外壁和底板易受环境湿气和介质影响发生腐蚀,顶部则因阳光暴晒易老化。液位监测系统不准确或滞后可能引发过满或泄漏风险,应急管理能力薄弱也增加了事故隐患。储罐管理亟须优化腐蚀防护、液位监控和应急响应体系。

2.4 当前输油气设备管理存在的问题

目前设备管理存在以下问题:一是维护体系不完善,未能充分体现全生命周期管理理念;二是监测技术滞后,难以满足现代化需求;三是技术人员不足,导致问题处理效率低;四是数据整合与分析能力欠缺,影响管理决策^[3]。复杂的运行环境也增加了维护难度,需通过数字化和智能化技术提升管理精度与效率。

3 输油气站场设备全生命周期管理体系的构建

3.1 体系构建的总体思路

输油气站场设备全生命周期管理体系以“动态监测、精准维护、优化决策”为核心,通过数据采集、分析与反馈实现精细化管理。体系涵盖设备规划、设计、运行、维护及报废阶段,依托物联网、大数据和人工智能技术,构建数据平台、管理模型和决策系统,集成设备监测、故障预测以及维修决策与资源配置功能,全面提升设备的可靠性与运行效率。

3.2 输油泵全生命周期管理模型

输油泵全生命周期管理以动态监测与预测性维护为重点,覆盖设备选型、安装、运行、维护和淘汰全阶段。通过传感器技术实时采集振动、温度、压力

等参数,并结合大数据分析和故障诊断技术,评估设备健康状态。模型通过数据分析优化能效,预测故障并制定精准维修计划,避免过度或滞后维护,从而提升运行效率,延长设备寿命,降低管理成本。

3.2.1 动态监测与性能优化

动态监测是输油泵性能优化的核心手段,通过部署多种传感器,实现对关键运行参数(如振动、压力、电流、温度等)的实时采集与分析。在输油泵全生命周期管理中,动态监测技术可以帮助识别潜在问题,优化运行效率并延长设备使用寿命。如图1所示,展示了输油泵动态监测系统的试验装置,包括LMS数据采集器、电流传感器、加速度传感器、电动机、电涡流制动器及冷却水箱等关键部件。设备运行时,传感器实时采集数据并传输至数据采集器,通过物联网和数据分析平台进行处理,生成健康状态评估与性能优化建议^[4]。

3.2.2 故障诊断与维修决策

故障诊断技术在输油泵全生命周期管理中至关重要。通过采集设备运行数据(如振动频谱、温度波动)并结合故障模式库,识别设备潜在问题。基于诊断结果,制定维修优先级和策略,避免非必要的全面检修或因忽视问题导致的设备损坏。利用机器学习算法建立故

障预测模型,预测关键部件的剩余使用寿命,支持预防性维修决策。结合维修资源的调度优化,实现维修成本的最小化与效率的最大化。故障诊断与维修决策的系统化管理,有助于延长输油泵使用寿命并提高站场运营可靠性。

3.3 阀门全生命周期管理模型

阀门全生命周期管理模型主要围绕运行状态监测、防腐与密封优化展开,涵盖设备选型、安装、运行、维护及报废过程。模型通过传感器和物联网技术监测阀门的压力、流量及密封性能,并结合数据分析,评估运行状态和潜在风险。在防腐与密封优化方面,模型强调材料选择、防腐涂层应用及密封件性能改进,确保设备在恶劣环境中的稳定运行。通过建立数字化管理平台,实现阀门全生命周期内的故障记录、维护计划和性能分析,为阀门管理提供科学依据。

3.4 储罐全生命周期管理模型

储罐全生命周期管理模型以安全性与环境适应性为核心,覆盖储罐选型、建造、运行、维护和报废等环节。通过部署传感器和智能监测系统,实时采集储罐液位、压力、温度等参数,结合大数据分析识别运行状态和风险点^[5]。模型还重点关注腐蚀防护和泄漏监测,通过防腐材料应用、防护涂层优化及智能液位监控等措施,提升储罐运行的安全

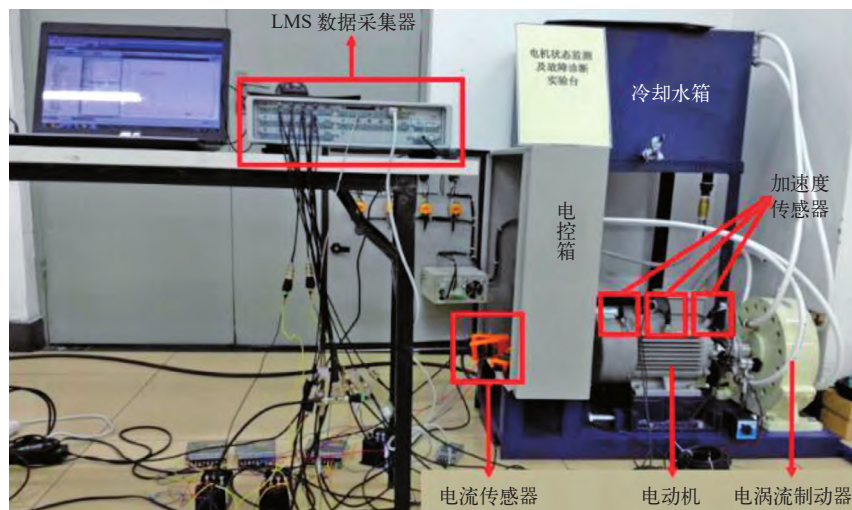


图1 输油泵动态监测系统试验装置示意

性。该模型结合环境管理，强化储罐区的环境监控和应急响应能力，确保储罐运行全生命周期内的经济性与安全性。

3.4.1 基于传感技术的安全监测

储罐的安全监测依赖于传感技术的广泛应用，通过部署液位、压力、温度和腐蚀传感器，实时采集关键参数数据。这些数据通过物联网平台传输至监控系统，结合大数据分析，实时识别异常情况（如液位过高、压力过大或温度波动）。智能传感技术可提供预测性分析，提前预警潜在的风险点，如腐蚀加剧或泄漏可能性。结合自动报警系统与远程监控平台，基于传感技术的安全监测可显著提升储罐运行的可靠性与安全性。

3.4.2 储罐区的环境与安全管理

储罐的腐蚀防护是全生命周期管理中确保设备安全运行的重要内容。结合当前技术，常见的防护措施包括防腐涂层技术、阴极保护技术、耐腐蚀材料应用以及综合防护（多措施结合）。各类防护措施在腐蚀率降低和储罐寿命延长方面的效果有所不同。如图 2 所示展示了不同腐蚀防护措施的效果评估。综合防护技术因结合多种措施，能够实现 75% 的腐蚀率降低效果，同时显著延长储罐使用寿命。单一的防腐涂层和阴极保护技术虽效果有限，但在具体应用场景中仍具有一定的经济性和便捷性^[6]。

3.5 管理体系信息化与智能化设计

信息化与智能化是输油气设备全生命周期管理的关键方向。通过构建综合数据平台，实现设备运行状态、故障记录、维护计划等信息的集中管理和可视化展示。结合人工智能技术，对设备历史数据进行深度学习和分析，提供运行趋势预测与优化建议。智能化设计还包括集成物联网技术，实现设备的远程监控和实时报警。通过开发设备管理系统，整合设备采购、运行、维护、报废等各环节数据，为全生命周期管理提供精准决策支持，提升管理效率和安全性。

4 输油气站场设备全生命周期管理体系的实施与应用

4.1 管理体系实施的关键环节

输油气站场设备全生命周期管理体系的实施需关注以下关键环节：一是数据采集与整合，通过部署传感器和物联网技术，实现设备运行数据的实时采集和集中管理；二是系统平台建设，搭建统一的设备管理平台，实现数据的可视化和智能化分析；三是维护策略优化，基于故障预测和健康状态评估，制定精准的预防性维护计划。

4.2 输油泵案例：设备健康状态监测

以某输油泵站为例，通过部署振动、温度和压力传感器，实时采集关键运行参数，并将数据传输至物联网平台进行监测和分析。通过大数据技术，建立健康评估模型，动态评估输油泵的运行状态。在一次运行中，监测数据显示

振动参数异常，结合历史数据分析，预判轴承可能存在磨损问题。随后，管理系统自动生成检修计划，提前更换轴承，避免了泵体的重大损坏。案例表明，设备健康状态监测能够有效提高设备运行的可靠性，减少意外停机时间，降低维护成本，为站场设备管理提供了技术支持。

4.3 阀门案例分析：密封性能提升与故障管理

在某输油气站场，阀门密封性能优化项目通过改进密封材料、优化密封件设计和改良安装工艺，显著提升了设备运行的安全性与经济性。优化前后数据对比显示，优化后的密封寿命提升了 50%，内漏率降低了 60%，故障率减少了 37.5%。密封件更换频率从每年 4 次降至 2 次，大幅减少了维护工作量和成本。如图 3 所示，展示了阀门密封性能优化前后的对比效果，清晰呈现了优化

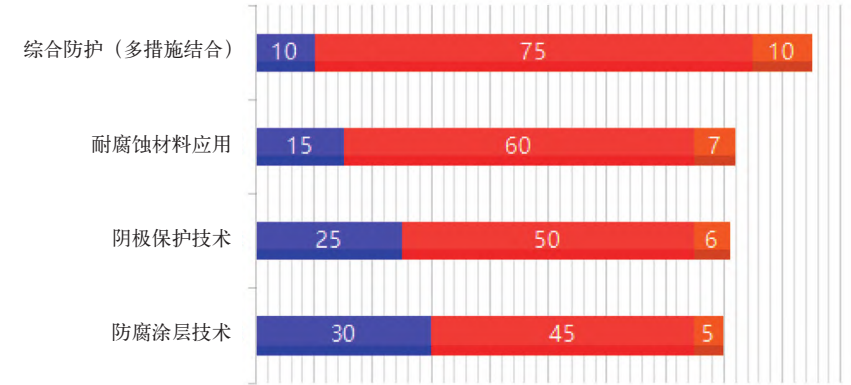


图 2 储罐腐蚀防护措施效果评估



图 3 阀门密封性能优化前后对比

措施的实际成效^[7]。

5 结语

本文针对输油气站场设备管理现状，构建了以动态监测、精准维护和优化决策为核心的全生命周期管理体系。通过对输油泵、阀门和储罐等设备的运行状态监测与故障预测研究，证明该体系可有效提升设备运行效率，降低故障率和维护成本，并延长设备使用寿命。未来研究可进一步结合实际工程案例，优化管理模型与技术方法，推动全生命周期管理体系在输油气行业的广泛应

用，为设备管理数字化、智能化发展提供更多支持。

参考文献：

[1] 边钢月,张福琴.碳中和背景下石油石化行业发展动向及建议[J].流程工业,2021(01):12-15.
[2] 周立国,杨文,朱渝,等.输油气站场完整性管理体系建设[J].安全、健康和环境,2020,20(09):44-47.
[3] 董红军,马云宾.输油气站场智能巡检系统设计与实现[J].油气储运,2020,39(05):570-575.

[4] 李毅,王磊,周代军,等.输油气站场区域化创新管理模式探讨[J].油气田地面工程,2019,38(11):85-89.
[5] 李丹丹.输油气站场区域性阴极保护的应用[J].化工管理,2018(21):160.
[6] 陈强.对于输油气站场安全生产的探讨[J].石化技术,2018,25(05):277.
[7] 艾月乔,贾立东,王禹钦,等.输油气站场区域化管理创新与实践[J].石油科技论坛,2018,37(02):23-27.

(上接37页)

一路氮气经过滤减压阀减压和小流量转子流量计稳流后，通过 $\phi 6\text{ mm}$ 不锈钢氮气管线接入 $\phi 12\text{ mm}$ 取压管线，在一次闸阀后与尾气分液罐（V-3406）内介质混合，共同进入下游系统。改造后的历史趋势图6（红色趋势线）显示，相关参数稳定，完全满足工艺监控需求。

4 改造成果

本次技术改造通过在工艺一次闸阀

前增设小流量氮气连续吹扫单元，借助过滤减压阀与小流量转子流量计精准控制氮气压力和流量，实现了小流量氮气的稳定压力输出与连续吹扫。该改造使一次闸阀腔内形成微正压环境，从根本上解决了一次闸阀及取压管线的结晶堵塞问题，彻底摒弃了传统蒸汽吹扫方式。改造后无需进行定期维护，显著降低了现场维护工作量，有效消除了因结晶堵塞及蒸汽吹扫带来的安全隐患，为疏回收装置实现“安、稳、长、满、优”运行

提供了更为精准可靠的压力监测保障。

参考文献：

[1] 陶礼然.LDPE装置反应器压力变送器易堵原因及解决措施[J].工程技术,2021(05):24-29.
[2] 康志伟.LDPE装置反应器压力变送器易堵原因分析及对策[J].化学与黏合,2018,05(16):40-46.
[3] 吕晓娇.LDPE装置反应器压力变送器易堵原因及解决措施[J].大科技,2019(11):17-19.
[4] 王志强.压力变送器的设计与制造[J].机械工程,2019(12):56-62.
[5] 王军.智能压力变送器校准与检定系统设计[J].自动化学报,2022,09(5):38-43.
[6] 张新.压力变送器选型与故障排除分析[J].现代商贸工业,2012(05):16-19.
[7] 崔秀梅.浅谈压力变送器的常见故障及解决措施[J].中国仪器仪表,2020,49(12):60-62.

