

油气管道与输油站一体化安全运维机制研究

闫乐 张靖 (陕西延长石油(集团)管道运输第三分公司, 陕西 延安 716000)

摘要: 随着油气运输系统日益复杂化与风险管理需求不断提高, 传统“管道-站场”分段式运维模式逐渐暴露出信息孤岛、响应滞后、责任交叉等问题。本文以延长石油为研究对象, 聚焦油气管道与输油站场一体化安全运维机制构建, 在实施过程中, 通过试点验证、系统搭建与全面推广三阶段有序推进, 提升了管道与输油站在运行安全、响应效率、风险防控等方面的协同水平。

关键词: 油气管道; 输油站; 一体化运维; 安全运维机制

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0160-03

Research on Integrated Safety Operation and Maintenance Mechanism of Oil Pipeline and Oil Transmission Station

Yan Le, Zhang Jing (Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Pipeline Transportation Third Branch, Shaanxi Yan'an 716000, China)

Abstract: As oil and gas transportation systems grow increasingly complex and risk management demands rise, the traditional 'pipeline-station' segmented operation and maintenance model has increasingly exposed issues such as information silos, delayed responses, and overlapping responsibilities. This paper takes Yanchang Petroleum as the research object, focusing on the construction of integrated safety operation and maintenance mechanism of oil and gas pipeline and oil transmission station. In the process of implementation, through three stages of pilot verification, system construction and comprehensive promotion, the coordination level of pipeline and oil transmission station in operation safety, response efficiency, risk prevention and control is improved.

Keywords: oil and gas pipeline; oil transfer station; integrated operation and maintenance; safety operation and maintenance mechanism

在“双碳”战略与能源安全并重的背景下, 油气运输作为能源供应链的关键环节, 其安全性与效率水平已成为企业管理优化的重要方向。传统运维体系多采用“管道-站场”分段式管理模式, 导致风险识别割裂、数据共享滞后、应急响应不畅, 难以满足当前复杂运行环境对协同高效的需求。为有效应对这一需求, 亟需构建一套系统完备、技术先进、机制闭环的一体化安全运维体系, 实现资源、数据与流程的深度融合, 形成以“风险共防、协同高效”为目标的新型运维范式。

1 油气管道与输油站一体化安全运维机制框架设计

1.1 核心理念

构建一体化安全运维机制, 需从理念上突破传统“单元管理、分段负责”的运维模式, 转向全局统筹、协同运行的体系架构^[1]。以“全要素整合、全流程协同、全周期管理”为核心思想, 聚焦管道、站场及环境三大安全维度, 实现从监测、评估、预警到处置的闭环控制链。具体而言, “全要素整合”强调对管道本体状态(如腐蚀、形变)、站场设备运行(如泵组工况、储罐液位)以及周边环境数据(如地质灾害、第三方施工)的统一感知和集成分析; “全流程协同”则要

求运维环节上下联动, 如风险预警联动响应、故障同步处置等不再割裂执行; “全周期管理”聚焦于从设备全生命周期视角出发, 贯通建设、运行、退役各阶段的安全要求。通过构建该理念体系, 为管道与站场一体化运维提供方法论支撑, 提升整体系统的安全韧性和运维效率, 最终形成“感知互通、指令协同、响应同步”的现代化运行机制。

1.2 组织架构

基于延长石油管道运输公司现有组织体系, 构建一体化安全运维的三级协同组织架构, 实现从战略制定到执行落地的高效运转。决策层方面, 由公司层面组建“管道-站场一体化运维领导小组”, 由主管副总经理牵头, 全面负责资源协调、制度制定、应急指挥等关键任务; 执行层设置为“管道运维中心”与“站场管理部”双线并行, 分别对管道本体与站场设施的运维任务负责, 并设立明确的协作边界和共享机制, 如定期共享运行参数、互通检修计划、协同调度应急响应等。

支撑层依托公司技术研究院、信息中心与安全环保部, 构建专业技术支撑体系, 承担数据平台维护、监测系统升级、风险分析建模等任务。该架构通过“横向联动+纵向分层”的方式, 打破原有站场与管道管

理职责交叉、响应分散的问题，实现组织层级清晰、职责边界明确、协同效率提升的目标，推动一体化安全运维体系的制度化运行。

1.3 流程设计

为实现管道与站场运维的深度融合，需构建覆盖日常管理、风险防控与应急响应的三类核心协同流程^[2]。日常运维协同方面，统一制定巡检计划，实现“时空互补、数据互通”，如将管道徒步巡检与站场设备周检合理错峰，减少资源冲突；建立一体化设备台账，整合管道壁厚变化、站场设备腐蚀速率等关键指标；开展联合评级评估，实现关键设施隐患识别的闭环联动。风险防控协同方面，构建联动响应机制，如在监测系统识别管道压力骤降时，站场自动触发泵机组降频运行，同时后台启动远程数据验证与风险评估；当站场关键阀门异常关闭，系统可同步评估管道段憋压风险，并远程调节泄压装置。应急处置协同方面，制定统一的应急预案并组织联合演练，如在管道发生泄漏事故时，系统自动识别事故点、影响区段，联动站场执行上游断供、下游隔离、备用系统启用等响应措施，同时调配物资资源实现快速处置。通过流程标准化、响应自动化和信息集成化，实现一体化运维流程的高效闭环管理。

2 油气管道与输油站一体化安全运维机制关键技术

2.1 多源数据融合与智能感知技术

为实现管道与站场的一体化感知和统一监测，必须构建适应多类型设施和运行场景的智能感知系统。延长石油作为以长输原油管道与厂际管线为主的能源企业，其站场涵盖原油与成品油储输场站，设施差异大、运行参数复杂，需部署“兼容型”感知终端和统一的数据采集架构^[3]。管道侧，需对 SCADA 系统进行升级改造，部署分布式光纤测温、分布式声波监听、应变监测模块等新型传感器，重点覆盖高后果区段如河流穿越、地质滑坡带、高压管网交叉点等，形成高密度监测网；站场侧则需在现有 DCS 系统基础上，嵌入泵组振动传感器、电机温度传感器、储罐液位雷达、气体检测仪等设备，实现关键设备运行参数的实时监控，并自动采集运行异常趋势。

为实现多系统数据共享与多源数据融合，应开发具备 OPC UA、Modbus TCP 等工业标准协议兼容能力的网关，统一接入 SCADA、DCS、气象监控、地灾预警等系统，将感知数据汇集至“管道-站场-环境”一体化数据池。该平台具备多维度查询（按位置、设备、指标）、历史数据追溯、异常趋势识别等功能，支持后续风险评估与联动处置系统的运行，为构建安全运

维的数字底座提供技术支撑。

2.2 数字孪生与风险耦合建模技术

数字孪生作为支撑一体化安全运维的核心技术手段，具备“物理映射+实时仿真+协同联动”的能力。延长石油通过整合 GIS 地理信息系统与 BIM 工程模型，构建了涵盖管道本体、站场设施与周边环境的“虚实同步”三维数字孪生平台。在物理映射层，系统按 1:1 还原管道路径、焊缝位置、壁厚、坡度等几何信息，同时集成站场内储罐布置、阀门编号、泵机组参数等设备结构与属性，形成精准的空间模型。在动态更新方面，系统与 SCADA、DCS、边缘感知设备实时对接，采集压力、流量、腐蚀速率、振动频率等动态数据，实时刷新孪生体状态，形成可视化运行态势图。平台内嵌的风险耦合模型，通过模拟“管道泄漏-站场超压”“地质沉降-泵组振动异常”等复合事件的传导链条，分析多因素叠加下的事故演化过程。借助多维模型参数，可自动识别耦合点位、评估响应时间，输出风险等级（高、中、低）与影响范围。

2.3 AI 驱动的协同决策技术

为实现管道与站场的智能协同与快速处置，需依托 AI 算法构建覆盖预测、判断、派单等全过程的协同决策模型。延长石油在大数据治理基础上，建立了历史运维数据仓库，包含近十年管道腐蚀检测、站场故障维修、泄漏事故、风险点整改等数据，为模型训练提供充足样本^[4]。基于该数据，系统构建 LSTM 循环神经网络与 XGBoost 组合模型，预测关键设施状态变化趋势。

例如，模型可对某段管道未来 7 日内的腐蚀速率进行预测，当趋势接近安全阈值，系统将自动发出预警提示，并同步推送至相关站场值班人员。同时，结合知识图谱技术构建“运维知识网络”，融合企业规章、国家标准、专家经验，建立“异常信号-风险源-处置策略”的智能推理路径。

如系统识别“管道段压力剧降+泵组震动升高”组合特征时，自动匹配《输油管道泄漏处置规程》中的操作路径，并输出“站场 10min 内阀门关闭、15min 完成泄压”等行动指令。为提高执行效率，平台还集成智能派单功能，通过 GIS 定位与资源调度算法，匹配就近应急人员与设备（如抽油泵、堵漏器材），并提供最优运输路径。

3 油气管道与输油站一体化安全运维机制的实施阶段规划

3.1 试点验证阶段

在实施初期，延长石油需选取具备代表性的典型管网区域开展试点工程，以陕北区域为核心，选定 1

条干线管道及其沿线 3-5 座功能完整的输油站场作为测试单元, 包含首站(负责原油接入)、中间站(具备调压、加热功能)与末站(面向下游交付), 实现“一线多点”试验结构^[5]。在数据对接方面, 重点打通管道侧 SCADA 系统与站场侧 DCS 系统的实时通信链路, 采用标准化工业协议(如 OPC UA、Modbus)开发接口, 实现压力、流量、温度、设备运行状态等 10 类核心运行参数的同步采集与实时共享, 确保系统基础数据流畅贯通。在设备改造方面, 选择典型高风险管段(如地质活跃区、第三方施工密集区域)部署不少于 5km 的分布式光纤测温系统, 并联通 SCADA 主控端; 站场侧则在关键泵机组、电动阀门、储罐区布设 8 台智能振动传感器与气体检测设备, 实时反馈设备健康状况及异常趋势。在流程验证方面, 组织不少于 3 轮的实战演练, 覆盖“管道突发泄漏—站场压力异常反馈—系统协同响应”以及“站场电气故障—主干管道限流调节”等典型联动场景, 通过计时统计响应时效、路径分析响应逻辑、实地模拟指令执行情况, 验证新机器的响应效率与可靠性, 力求实现整体响应时间不超过 15min, 为全面推广打下基础。

3.2 系统搭建阶段

在试点验证基础上, 系统进入集中开发与标准化建设阶段, 目标是形成具备推广能力的一体化平台体系与操作规范。平台开发方面, 将以试点期集成接口、传感网络、分析模型为基础, 建设统一的“延长石油管道—站场一体化运维平台”, 平台应涵盖可视化总览界面、风险预警模块、协同处置引擎、设备生命周期管理工具, 并将数字孪生引擎嵌入核心架构, 支持运行仿真与故障演练。为确保平台在不同区域、不同工况下具备适配能力, 需要同步开展标准制度建设, 制定《延长石油管道—站场数据互通规范》, 统一数据项定义、格式规则、时序同步机制, 并发布《协同运维操作手册》, 明确操作流程、角色分工、异常处理规则、应急响应步骤, 实现“制度可查、操作可控”。培训体系是系统推广的核心保障。在本阶段组织三类关键岗位开展专题培训: 管道运维人员需掌握异常识别、指令响应机制; 站场管理人员需熟悉 DCS 改造后设备联控策略; 平台技术人员需熟练配置接口协议、AI 算法参数调整、风险模型调试等内容。培训总课时不少于 40h, 通过集中授课+现场演练结合形式, 构建一支熟悉协同流程的骨干队伍, 确保平台上线后即具备运行能力。

3.3 全面推广阶段

进入推广期后, 将以试点与平台成果为基础, 全面覆盖延长石油现有油气输送网络, 实现“机制统一、

平台全接、数据全通”的目标。全量接入方面, 分批完成在役管道与 50 座以上站场的系统集成与平台对接, 涵盖原油、成品油、厂际联络等多种管道类型, 以及首站、中间站、末站等多种功能站场, 构建完整的数据生态网络^[6]。在运行评估方面, 将以平台连续运行 12 个月为周期, 结合系统日志与业务反馈, 开展三类效能评估: 安全效益方面, 评估故障早预警率、事故发生率等指标, 目标是事故发生频率同比下降 30%; 经济效益方面, 统计维保成本、能源损耗、人力投入等要素, 力争运维成本下降 20%; 管理效益方面, 分析平均响应时间、资源调度效率等关键指标, 目标是应急响应时间较机制建立前缩短 50% 以上。为保障系统持续先进性与贴合业务发展节奏, 还将开展“迭代优化”机制。根据实际运行反馈, 优化数据采集精度、更新数字孪生三维模型精度、调整 AI 决策规则, 使平台具备“自适应+自进化”能力, 持续提升一体化安全运维系统的实用性、前瞻性与智能化水平, 最终形成可复制、可推广的行业标杆样板。

4 结语

综上所述, 油气管道与输油站一体化安全运维机制不仅提升了油气运输系统的风险识别、预警响应与应急处置能力, 也显著优化了资源配置与运行效率, 为延长石油油气管网本质安全建设提供了有力支撑。随着人工智能、大数据、边缘计算等技术的不断演进, 向天然气管道、LNG 接收站等多类型能源设施延伸, 推动构建“管道—站场—环境—用户”多维协同的智能运维网络。同时, 也需加强与企业其他板块在安全、运营、合规等维度的联动融合, 助力延长石油实现向“智慧能源服务商”的转型升级。

参考文献:

- [1] 陈亮宇, 刘玉幸. 油气储运事故隐患的辨识分析及管控方法研究 [J]. 流程工业, 2025, (07): 23-25.
- [2] 郭娟, 秦鹏, 杨念峰, 等. 油气长输管道 SCADA 系统安全防护实践 [J]. 自动化博览, 2024, 41(10): 47-51.
- [3] 张晨雨, 张伟, 向东, 等. 油气长输管道运维作业行为安全管理探究与应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(13): 65-67.
- [4] 张来斌, 王金江. 油气生产智能安全运维: 内涵及关键技术 [J]. 天然气工业, 2023, 43(02): 15-23.
- [5] 赵志涛, 赵永强, 李睿, 等. 某输油站埋地管线腐蚀检测分析及对策 [J]. 清洗世界, 2021, 37(05): 10-11.
- [6] 蒋仲安, 郑登锋, 曾发镔, 等. 基于危险源理论的油气管道安全管理模型的研究 [J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2021, 48(04): 56-65.