

油气储运管道完整性管理优化策略研究

苏殿凯 (北京华海安科技发展有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 油气储运管道是能源安全保障核心基础设施, 其安全运行关乎国家能源供应、生态环境与社会经济发展。当前管道完整性管理存在模式协同不足、风险评估精准度低、检测监测技术滞后、数据协同不畅、应急与维修机制不完善等问题。本文基于相关理论与实践, 从风险评估体系优化、检测监测技术升级、数据驱动管理、维修维护策略优化、应急响应机制完善五维度构建优化策略体系, 为企业实现管道全生命周期安全可控提供参考, 助力油气行业高质量发展。

关键词: 油气储运管道; 完整性管理; 优化策略

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0115-03

Research on Optimization Strategies for Integrity Management of Oil and Gas Storage and Transportation Pipelines

Su Diankai (Beijing Huahai Anke Technology Development Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Oil and gas storage and transportation pipelines are the core infrastructure for ensuring energy security, and their safe operation is related to national energy supply, ecological environment, and socio-economic development. The current pipeline integrity management has problems such as insufficient mode collaboration, low accuracy of risk assessment, lagging detection and monitoring technology, poor data collaboration, and incomplete emergency and maintenance mechanisms. This article is based on relevant theories and practices, and constructs an optimization strategy system from five dimensions: risk assessment system optimization, detection and monitoring technology upgrade, data-driven management, maintenance strategy optimization, and emergency response mechanism improvement. It provides reference for enterprises to achieve safe and controllable pipeline life cycle, and helps the high-quality development of the oil and gas industry.

Keywords: oil and gas storage and transportation pipelines; Integrity management; optimization strategy

油气储运管道作为能源安全保障核心基础设施, 承担着战略能源长距离输送任务, 其安全稳定运行直接关系国家能源供应、生态环境与社会经济发展。随着行业发展, 管道网络规模扩大、敷设环境趋复杂, 既面临地质灾害、腐蚀老化等自然物理风险, 也承受第三方破坏、操作不当等人为威胁, 管道失效易引发泄漏、爆炸等事故, 造成重大经济损失、环境污染与人员伤亡。为此, 深入剖析管理现状与核心问题、构建科学优化策略体系意义重大, 本文基于相关理论与行业实践, 从风险评估、检测监测、数据管理、维修维护与应急响应五维度提出针对性策略, 为企业完善管理体系、实现管道全生命周期安全可控提供参考。

1 油气储运管道完整性管理相关理论

1.1 完整性管理定义与核心要素

油气储运管道完整性管理是通过有计划的系统性统筹, 保障管道从设计、建设、运营、维护至废弃全生命周期安全运行, 预防失效事故、满足既定安全要求的模式。其核心以风险管控为导向, 打破阶段壁垒、整合全流程资源, 通过科学评估、精准监测、靶向维护与高效应急处置的闭环机制, 实现风险动态防控与持续优化。核心要素包含五个协同环节: 风险评估为管理基础, 识别风险源并分析概率与影响; 检

测监测捕捉管道及环境数据, 及时发现隐患; 数据管理整合分析全生命周期数据, 提供决策支撑; 维修维护针对性消除隐患、恢复安全性能; 应急响应通过完善预案快速处置突发事件, 降低损失, 五者构成有机整体。

1.2 全生命周期管理流程与标准

油气储运管道完整性管理遵循全生命周期原则, 覆盖设计、建设、运营、维护、废弃全流程, 形成闭环管控。设计阶段考量多关键因素, 选用合规材料工艺并开展风险预评估, 规避先天性隐患; 建设阶段强化施工质量管控, 严格执行规范标准, 确保与设计要求契合; 运营阶段持续开展风险评估、动态监测与日常维护, 实现隐患早处置; 维护阶段针对腐蚀、老化等问题制定个性化维修方案, 延长管道寿命; 废弃阶段按标准开展环境评估与安全处置, 避免潜在威胁。国内外已构建完善标准体系, 国际上美国石油学会 (API) 制定多项参考标准, 国内国家能源局等部门出台行业规范, 为管理规范化提供保障。

2 油气储运管道完整性管理现状与问题剖析

2.1 现有管理模式运行现状

当前我国油气储运企业虽普遍引入管道完整性管理理念并初步建体系, 但仍以传统分段式、被动式管

理为主，缺乏全生命周期的系统性与协同性。部分企业未设专门管理部门，职责分散导致流程衔接不畅、责任模糊，各阶段管理活动相对独立，难以形成闭环。部分企业仍秉持“事后补救”理念，风险预判与防控能力不足，难以适配复杂工况。信息化水平参差不齐，中小企业依赖人工记录分析，效率与数据质量难保障；大型企业信息化系统也存在功能单一、数据孤岛等问题，制约管理智能化发展。

2.2 风险评估精准度不足问题

风险评估作为完整性管理核心环节，当前存在诸多问题导致评估结果与实际风险偏差较大。评估指标体系多聚焦管道自身物理因素，对地质环境变化、第三方活动等外部因素考量不全，部分指标缺乏明确量化标准，依赖主观判断，客观性与一致性不足。评估方法多为传统定性或简单定量模型，难以处理风险因素耦合关系与动态变化，复杂场景下无法精准量化风险等级。且风险评估多为定期静态模式，缺乏实时动态机制，评估结果滞后于实际风险状况，无法满足动态防控需求。

2.3 检测监测技术应用短板

检测监测技术在完整性管理中存在明显应用短板。技术覆盖范围较窄，多集中于管道本体缺陷检测，对周边地质环境、第三方活动、阴极保护系统运行状态等监测不足，复杂地形管道的第三方破坏、特殊地段地质灾害风险缺乏精准监测手段。技术应用水平偏低，部分企业依赖传统人工与离线检测，效率低、覆盖不全；即便引入智能化技术，也因选型不当、人员专业能力不足未能充分发挥优势。不同技术缺乏有效融合，数据采集标准不统一，导致数据碎片化，影响应用价值。

2.4 数据协同与全流程管控缺陷

管道完整性管理涉及多类数据源，但数据协同与全流程管控存在明显缺陷。各类数据分散存储于独立系统，格式与编码不统一，形成“数据孤岛”，难以有效共享整合；数据质量管理缺乏统一标准，存在缺失、错误、重复等问题，影响可靠性与可用性。数据应用仅停留在存储与简单统计层面，缺乏深度分析挖掘，未能充分支撑管理决策；数据传递流程不畅，全生命周期数据链断裂，影响全流程管控有效性。此外，数据安全机制不完善，敏感数据存在泄露风险，威胁管道安全与企业利益。

2.5 应急响应与维修维护机制漏洞

应急响应以及维修维护存在漏洞，严重影响事故损失控制与管道安全性能恢复，应急响应方面，应急预案针对性、可操作性不高，应急资源调配不合理、

分布不均，应急演练形式化严重，响应流程不清晰，部门之间协同不畅，处置效率低，维修维护方面，依然以被动维修为主，缺乏预防性、预测性理念，维护计划的制定无科学依据，造成资源浪费、重要区段维护不足，维修技术、工艺相对落后，复杂缺陷无法彻底修复，维护后缺少效果评估与跟踪，隐患再次出现。

3 油气储运管道完整性管理优化策略

3.1 风险评估体系优化

建立科学完整的风险评估体系，是提升完整性管理准确性的基础。建立多维度、综合型的风险评估指标体系，除了包含管道自身的材质、腐蚀情况、焊接质量等物理指标外，同时将地质环境的稳定性、气象因素、第三方破坏活动强度、周边人口密度、应急救援能力等外界指标纳入风险评估体系中，形成全方位覆盖管道全生命周期的风险因素指标体系；针对每一指标制定相对明确的量化标准以及相应的分级标准，尽可能减少主观影响因素，提升评估结果的准确性。

第二步提高风险评估方法，采用新型的定量评估模型和技术手段，针对复杂的、重要的风险因素进行准确的量化和耦合分析；结合管道运行数据及历史事故数据，建立动态的风险评估模型，实现风险评估的及时更新与动态调整，实时跟踪风险因素的变化情况，提高风险预判能力，将风险评估结果与维修维护计划制定、应急资源配置、管道运行参数调整等管理活动结合起来，使风险评估真正起作用。

3.2 检测监测技术升级

促使检测监测技术开展全方位更新并融合应用，达成对管道安全风险实施全面感知和实时监测的局面，在技术选取层面，按照管道敷设环境，运行工况与风险特点，科学选择智能化、高精度的检测监测技术，诸如无人机巡检技术，管道内检测机器人技术，光纤传感监测技术，卫星遥感监测技术等，从而拓宽检测监测覆盖范围，改良对管道本体缺陷，周边环境变动，第三方活动等各类风险因素的检测监测效能，譬如依靠无人机巡检技术做到对长距离，复杂地形管道的迅猛全方位巡检；采用光纤传感监测技术达成对管道应变，温度等参数的即时监测，从而及时发出地质灾害，泄漏之类的警示。

技术方面加强不同检测监测技术的融合应用。加强不同检测监测技术的融合，构建“空天地”一体化检测监测网络，综合利用无人机、卫星、地面传感装置、管道内检测装置等多种数据来源，全方位、多角度监测管道安全状态，建立统一的检测监测数据采集标准和数据传输协议，以保证不同检测监测数据之间的兼容性和实时性，加大对检测监测人员的培训力

度,使其掌握先进的检测监测技术,提高数据解读能力和技术操作能力,充分发挥各类先进技术的长处。推动检测监测技术的智能化发展,发展智能化检测监测技术,加强对检测监测技术智能化的技术创新,把人工智能技术、机器学习等先进技术引入对检测监测数据的分析判断,实现检测监测隐患的智能警报,提高隐患检测预警智能化水平。

3.3 数据驱动管理

以数据驱动为核心,构建全生命周期数据融合与管理平台,打通数据壁垒,提升完整性管理的智能化水平。首先,建立统一的数据标准体系,规范各类数据的格式、编码、采集方式与存储规则,实现设计、建设、运营、维护等各阶段数据的标准化采集与管理;加强数据质量管理,建立数据清洗、校验、修复机制,及时处理缺失、错误、重复等问题数据,确保数据的可靠性与可用性。

其次,构建全生命周期数据融合平台,整合分散在各部门的多源数据,形成统一的数据库,实现数据的集中存储与共享访问;利用大数据、人工智能等技术,对数据进行深度分析与挖掘,挖掘数据背后隐藏的风险规律、设备运行趋势等有价值信息,为风险评估、维护决策、应急处置等管理活动提供科学依据;建立数据驱动的决策机制,将数据分析结果贯穿于管道全生命周期管理的各个环节,实现从“经验驱动”向“数据驱动”的转变。此外,加强数据安全管控,建立完善的数据安全防护体系,采用加密存储、访问控制、安全审计等技术手段,保障数据的安全性与保密性。

3.4 维修维护策略优化

推动维修维护模式由被动维修向预防性、预测性维护转型,提高维修维护效率和效果,第一根据风险评估结果和检测监测数据,制定个性化、精准的维修维护计划,优先对高风险区域和关键部位进行重点维修维护,合理分配维修维护资源,防止过度维修和维修不足,建立维修维护需求的动态识别机制,实时监测管道运行状态,及时发现潜在维修需求,提前制定维修方案,超前防控风险。

采用先进的维修维护技术和工艺,不停输带压封堵技术,智能修复技术等提高修复合位能力,减少维修工期,降低对管道正常运行的影响,建立维修维护效果评估机制,强化修复合位过程的质量控制,严格按修复合位的标准和规范操作,确保修复合位质量,建设维修维护知识库,收集、整理各类维修案例、维修技术等,分享知识,实现知识沉淀和共享。为后续维修维护提供帮助。

3.5 应急响应机制完善

构建快速、高效、协同的应急响应机制提升事故处置能力,限度减少事故损失。建立健全完善管道具体实际情况的个人化、可操作性的应急预案,确定各种、各种情况下不同的,对应于紧急情况的应对流程、应对职责、技术措施和资源要求定期对应急预案进行修订完善,保持应急预案与实际情况的一致性加强应急预案的宣传教育 and 培训,使相关人员熟悉应急预案。

然后优化应急资源配置,按照风险评估结果科学储备应急设备、物资储备种类、数量、布局,在高风险区域增设应急储备点,确保发生事故时应急物资能快速调配,建立应急资源共享机制,强化企业内部各部门、企业与政府部门、周边企业之间的应急资源共享与协同配合,提升应急资源共享效率,强化应急演练实战性和协同性,定期开展针对性、多样化的应急演练,模拟真实事故场景,检验应急预案和应急处置能力,及时解决问题,强化应急演练评估与改进,根据演练情况改进应急预案和应急响应流程。

4 结语

油气储运管道完整性管理对于能源安全,生态环境,社会稳定有着重要的基础性保障作用,也是油气行业高质量发展的必然要求,本文依托一定理论,分析我国当前管理模式,风险评估,检测监测,数据管理,应急响应与维修维护等方面存在的突出问题,然后从风险评估体系,检测监测技术,数据管理,维修维护策略,应急响应五个角度,提出全方位优化策略体系,未来应当做到数字化智能化技术融合深入,标准规范与管理机制完备,行业合作与人才培养加强,管理提升水平持续提升,从而在我国能源行业安全稳定持续发展方面,提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 许京波. 石油化工油气储运设备的有效管理与维护策略研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(18): 67-69.
- [2] 黄嘉杰. 油气储运设备的管理策略与维护关键探析 [J]. 模具制造, 2025, 25(06): 231-233.
- [3] 张院乐, 曹向阳. 油气储运安全管理的常见问题及解决策略 [J]. 石化技术, 2024, 31(12): 290-292.
- [4] 张川, 李文忠, 李宝军. 智能化技术在管道完整性管理中的研究与应用 [J]. 化工安全与环境, 2022, 35(28): 5-9.
- [5] 李勇, 王小斌, 夏荣蓓, 等. 油气管道完整性管理技术的发展趋势 [J]. 化工管理, 2021, (34): 142-143.
- [6] 辛向彬. 绿色环保下的油气管道施工技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(14): 218-219.