

长输油气管道完整性管理与事故预防的关系分析

刘 刚 刘洪瑞 施国锋 (国家管网山东公司齐河作业区, 山东 德州 251100)

摘要: 长输油气管道是我国能源运输的核心载体, 其安全运营关乎能源保障与公共安全。为厘清完整性管理与事故预防的内在关联, 解决两者协同不足的问题, 结合行业安全现状, 界定两者核心内涵, 系统分析单向支撑、反向引领及协同联动关系, 提出数据协同、流程融合等优化策略。研究表明, 两者是相互依存的有机整体, 相关策略可为管道企业降低事故风险提供有效支撑, 助力行业可持续发展。

关键词: 长输油气管道; 完整性管理; 事故预防; 协同关系; 安全运营

中图分类号: TE973.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0112-03

Analysis of the Relationship Between Long-Distance Oil and Gas Pipeline Integrity Management and Accident Prevention

Liu Gang, Liu Hongrui, Shi Guofeng (Qihé Operation Zone, Shandong National Pipeline Network Company, Dezhou Shandong 251100, China)

Abstract: Long-distance oil and gas pipelines serve as the core transportation infrastructure for China's energy sector, with their safe operation being critical to energy security and public safety. To clarify the intrinsic relationship between integrity management and accident prevention, address the issue of insufficient coordination between the two, and based on the current safety landscape of the industry, this study defines their core connotations, systematically analyzes unidirectional support, reverse guidance, and synergistic relationships, and proposes optimization strategies such as data collaboration and process integration. The research demonstrates that the two form an interdependent organic whole, with the proposed strategies effectively supporting pipeline companies in reducing accident risks and promoting sustainable industry development.

Keywords: Long-distance oil and gas pipelines; Integrity management; Accident prevention; Collaborative relationships; security operations

长输油气管道作为连接能源产地和消费市场的关键枢纽, 在国民经济发展中占据了重要的地位。当前, 我国管道里程持续增长, 其运营环境复杂, 途经高原、荒漠、人口密集区等多种场景, 面临着腐蚀老化、第三方破坏、地质灾害等多种风险, 各种安全事故频发发生, 不仅造成巨额的经济损失, 还严重威胁生态环境和人员安全, 对区域能源供应的稳定性, 造成连锁冲击。完整性管理和事故预防是管道安全管理的核心, 但是在实践中存在两者协同不畅、作用机制模糊等问题, 制约了安全防控效能的充分发挥^[1]。深入剖析两者的内在联系, 强化它们的有机衔接, 已经成为提升管道安全运营水平、保障能源稳定供应的迫切需求。

1 长输油气管道行业安全现状与核心诉求

长输油气管道安全运营受多种因素影响, 安全现状具有鲜明的行业特性, 事故预防的核心诉求, 需要贴合实际的风险落地。管道空间跨度达数百至数千公里, 穿越多种地理类型, 地质与气候差异显著, 风险分布分散, 且差异化明显, 加大了统一防控的难度。多数在运管道运营周期超过10年, 部分接近设计寿命, 本体损耗、设备老化等问题凸显^[2], 安全风险随时间的累积动态变化。

管道风险的关联性极强, 单一隐患未及时处置, 容易引发连锁反应, 如腐蚀破损可能升级为泄漏、火灾等严重事故, 第三方施工扰动引发的管道变形, 也可能演变为断裂泄漏事故; 事故后油气扩散快, 污染范围容易扩大, 损害生态环境、威胁居民的安全, 增加应急处置的难度和成本。于是事故预防以本质安全为核心导向, 推动管理向“主动预防隐患”的转型, 依托科学处置阻断风险升级, 减少各种损失, 同时契合法规标准、行业专项安全规范, 保障管道的连续稳定运行, 为国民经济发展提供支撑。

2 完整性管理与事故预防的核心内涵界定

2.1 长输油气管道完整性管理的核心体系

基于全生命周期理念, 长输油气管道的完整性管理是对管道从设计、施工、运营到废弃, 全流程动态管控的系统工作^[3], 核心是通过持续的数据采集、风险研判和精准处置, 确保管道服役周期内, 始终维持安全的运行状态。核心包含三大维度: 数据支撑层整合管道基础参数、运营实时数据、阴极保护系统运行参数以及沿线环境监测信息, 为管理决策提供精准支撑; 技术实施层融合智能检测技术、量化风险评估模型以及靶向维修工艺, 构成风险防控技术核心; 管理

保障层则以标准化制度流程、清晰责任分工及闭环绩效评价为支撑，保障技术与数据落地效能。管理流程呈动态闭环特征，各个环节输出结果作为下一环输入的依据，形成循环的迭代模式。

2.2 长输油气管道事故预防的核心逻辑

凭借前瞻性风险识别、针对性隐患治理和兜底性应急准备，长输油气管道事故预防，是实现事故源头规避或危害降级的综合工作，核心逻辑是打破“事后处置”的传统模式，构建“风险预判-主动防控-应急兜底”的全链条防控体系。核心维度聚焦三大环节：风险识别需要精准界定腐蚀老化、第三方破坏等隐患类型、等级和空间分布，为防控措施提供靶向方向；隐患治理强调对风险点制定差异化的整改方案，及时消除潜在威胁；应急准备注重应急预案优化、救援物资前置部署与常态化的演练，通过跨区域联合演练提升协同处置能力^[4]，强化突发事件响应与危害控制的能力。核心目标是推动管道安全管理从“被动应对事故”向“主动预防隐患”的转型，实现人员伤亡、财产损失及生态破坏最小化。

3 完整性管理与事故预防的内在逻辑关系

3.1 单向支撑关系：完整性管理是事故预防的基础保障体系

完整性管理为事故预防，提供了全方位的底层支撑，全生命周期的数据采集体系，整合管道本体的腐蚀数据、管道涂层破损数据、阴极保护系统运行数据、设备运行压力的参数、沿线地质环境动态监测信息等数据资源，这些数据会实时更新，并动态适配管道运营工况变化，确保事故预防始终是基于最新的风险态势，为事故预防明确精准的风险靶点，解决“预防什么”的核心问题。借助定量和定性相结合的风险评估模型，对管道全流程进行系统研判，提前识别高风险管段、高风险时段和关键风险因子，为事故预防划定重点的防控范围，让防控措施更具有针对性。同时，涵盖的智能清管检测、无人机巡检等先进检测技术与靶向维修工艺，结合大数据分析技术，对隐患发展趋势进行预判^[5]，为隐患治理提供高效可行的技术手段，实现风险“早发现、早处置”，从源头上降低事故发生的概率。

3.2 反向引领关系：事故预防是完整性管理的核心价值导向

事故预防的核心目标为完整性管理指明了发展方向，围绕“零事故”的诉求，完整性管理的模块设计和流程优化，都贴合具体的事故防控需求，比如针对泄漏事故，会强化管道的腐蚀检测、接口密封性能监测等关键模块；针对地质灾害引发的管道变形事故，

会增设地质沉降实时监测模块与应急加固预案联动机制。实践中事故预防暴露的防控短板，会倒逼完整性管理体系的持续完善，常见于第三方破坏防控不足的情况，会推动着管理体系，新增第三方施工实时监测模块、完善责任追溯机制。事故发生率、隐患整改完成率、险情响应速度等事故的预防核心指标，会细化为日常管理的量化标准，这些量化标准会分解到季度、月度考核中，形成常态化的监督机制，成为检验完整性管理成效的标尺，管理体系的优化调整都以这些指标的改善为依据。

3.3 协同联动关系：两者构成闭环优化系统

完整性管理与事故预防，形成相互促进的正向循环，完整性管理水平的提升让风险识别更精准，促使事故预防措施更高效的落地，管道安全状态的持续改善，又会反向验证管理体系的有效性，例如高风险管段的隐患整改率提升到30%以上，直接印证完整性管理中检测频率优化的合理性，为后续优化提供了实践依据。事故预防需求的不断升级，会推动完整性管理在技术、流程、制度等方面补全短板，让管理体系更贴合实际的防控需求，进一步的支撑事故预防提质增效。两者在风险评估和隐患治理环节深度融合，这种融合常见于联合专项行动，联合专项行动中，会组建跨部门工作组，同步推进风险评估、方案制定与落地执行，确保协同没有壁垒，实现数据的共享、措施联动、效果反馈的无边界协同，比如完整性管理的检测数据，可以直接为隐患治理方案的制定提供支撑，隐患治理效果则会反馈到管理体系，优化后续检测频率与评估模型参数。

4 基于两者协同的事故预防优化策略

4.1 数据协同优化：搭建一体化数据平台

依托完整性管理的全生命周期数据资源和事故预防的隐患、案例数据，构建覆盖管道的基础参数、实时运营数据、检测维修记录、隐患台账以及事故处置档案的一体化数据平台，实现两种数据的实时共享和交叉验证。在平台设计过程中，重点强化数据的标准化处理，统一数据格式与统计口径，解决传统数据分散存储、口径不一导致的协同障碍，同时建立数据实时同步机制，通过传感器、智能终端等设备，实现管道运行数据的毫秒级采集与上传，确保数据的时效性。同时按风险等级，对数据进行优先级的标注，高风险相关数据触发专项预警通道，便于快速做出响应处置，借助AI算法，对整合后的多维度数据进行深度的挖掘，构建事故风险的动态预测模型，通过分析管道的腐蚀速率、设备运行参数与隐患整改周期的关联规律，提前预判高风险事件发生的概率，为事故预防，提供决

策支撑。平台同步设置数据安全防护模块,采用加密传输、权限分级管理等技术,防范数据的泄露与篡改,保障协同数据的安全性和可靠性。

4.2 流程融合优化:构建“管理-预防”闭环流程

把事故预防的核心目标,嵌入完整性管理全生命周期的各个环节,设计阶段结合沿线环境风险开展预判,明确防控要点,并且纳入设计规范;施工阶段则强化质量的管控,同步落实隐患排查与整改责任,形成“施工-检测-整改”的即时闭环;运营阶段靠完整性检测的结果,精准的推进隐患治理,确保风险早发现、早处置。

建立“完整性管理成效-事故预防效果”的双向评估机制,定期对照事故的发生率、隐患整改率、风险降级率等指标,复盘管理流程和预防措施的匹配度,针对流程断点,优化调整管理参数与防控方案。设立跨部门的协同小组,统筹设计、施工、运营、安全等环节的流程衔接,小组下设技术对接、进度跟踪、问题督办三个专项的工作组,明确各个工作组的职责边界,建立流程优化快速响应机制,对实际运营中暴露的流程脱节问题,72h内形成调整的方案,形成“目标嵌入-过程执行-效果评估-流程优化”的高效闭环运转模式。

4.3 技术赋能优化:强化协同技术支撑

推广光纤传感监测、数字孪生管道、智能清管器等先进的技术,针对高腐蚀、高地质风险等不同的工况管段,结合管段历史风险数据与运营负荷,定制技术适配的方案,各种技术形成互补联动,光纤传感侧重实时监测,数字孪生侧重模拟预判,智能清管器侧重本体的检测,提升完整性管理对管道本体缺陷、周边环境变化的识别精度和响应速度,为事故预防,提供精准的技术支撑。

依托一体化数据平台的实时数据,优化应急处置方案,通过数字孪生技术,模拟不同场景下事故发生后的扩散路径、影响范围,联动消防、环保等救援力量前置部署,提前规划救援路线与处置流程,提升应急响应的针对性与高效性。针对第三方破坏、地质灾害等高频风险,引入无人机巡检、卫星遥感监测等技术,构建空地一体化监测网络,实现风险的全方位、无死角防控。技术应用过程中,先在重点管段开展试点验证,总结适配经验后,逐步全面推广,同时建立技术运维保障体系,建立设备故障快速响应机制与定期校准台账,定期对监测设备进行校准、检修,确保技术应用的稳定性和持续性。

4.4 管理保障优化:完善协同机制

明确技术部门与安全部门的协同职责边界,明确

跨环节衔接节点与责任追溯机制,技术部门主导完整性管理的数据采集、检测实施与维修方案的制定,安全部门负责事故预防目标拆解、隐患整改监督与应急统筹,形成分工明确、衔接顺畅的责任体系。建立常态化,跨部门沟通机制,每月召开协同工作推进会,建立会议纪要跟踪闭环,确保问题件件有落实,共享数据成果、通报隐患整改进度、协调解决协同障碍。企业通常开展专项培训,内容涵盖完整性管理与事故预防的协同逻辑、数据平台操作、风险预判方法等,培训每个季度开展一次,结合实际的案例设置实操考核环节,确保培训效果落地,通过案例教学、实操演练的形式,提升员工对协同机制的认知度与实操能力,同时组建行业专家人才库,为协同过程中出现的复杂技术难题,提供专业支持。建立协同绩效评价体系,把数据共享及时性、隐患整改闭环率、风险预判准确率都纳入考核指标,评价结果和员工薪酬、岗位晋升直接挂钩,利用正向激励与反向约束,推动协同策略的落地执行,确保两者协同效能充分的释放。

5 结语

实践表明,长输油气管道完整性管理与事故预防构成“基础支撑-价值引领-协同闭环”有机整体,深度融合是提升管道安全运营的核心。本文四大优化策略能破解协同难题,为企业精准防控风险、降低事故率提供可行路径。数字化、智能化技术深度渗透下,未来管道安全管理将向“智能预判、精准防控、高效协同”演进,实现从“主动预防”到“智能防控”的转型。本研究为管道安全管理体系优化提供理论与实践支撑,助力行业保障能源稳定、筑牢国民经济高质量发展的能源安全屏障。

参考文献:

- [1] 董绍华,袁士义,张来斌,等.长输油气管道安全与完整性管理技术发展战略研究
- [2] 石油科学通报,2022,7(03):435-446.
- [2] 周小超,张智辉,赵俊芳.长输油气管道运维中存在的问题及预防措施[J].化工管理,2023(20):124-126+143.
- [3] 杨强.长输油气管道完整性管理构建分析及实践[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(21):62-63.
- [4] 国静.油气管道企业长输油气管道突发事件应急管理评价[D].成都:西南石油大学,2015.
- [5] 冉伟.长输油气管道完整性管理研究与实践[J].石化技术,2020,27(04):214+216.

作者简介:

刘刚(1985-01—),男,汉族,山东德州人,本科,中级工程师,研究方向:管道保护及完整性管理。