

石油天然气管道维检修作业安全监督机制与效能提升研究

王小岩 (国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司济南维抢修中心, 山东 济南 251400)

郭旭东 (国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司烟台作业区, 山东 威海 264200)

摘要: 针对石油天然气管道维检修作业中监督主体协同不足、过程管控断档、技术支撑薄弱等问题, 通过构建风险分级管控监督模型、全过程协同监督机制和智能化技术集成方案, 形成系统化的监督体系创新框架。建立了基于监督投入-过程执行-产出效果的三层次效能评价指标体系, 采用模糊层次综合评价模型实现监督质量量化测度。该体系为高风险作业安全监督提供了理论依据和技术支撑, 对降低管道维检修事故率具有实际应用价值。

关键词: 石油天然气管道; 检修作业; 安全监督

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0145-03

Research on Safety Supervision Mechanisms and Performance Enhancement in Oil and Gas Pipeline Maintenance and Repair Operations

Wang Xiaoyan (Jinan Maintenance and Repair Center of Shandong Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Jinan Shandong 251400, China)

Guo Xudong (Yantai Operation Area of Shandong Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Weihai Shandong 264200, China)

Abstract: To address issues such as insufficient coordination among supervisory entities, fragmented process control, and weak technical support in the maintenance and repair operations of oil and gas pipelines, a systematic innovative framework for supervision was developed. This framework includes a risk-based hierarchical control supervision model, a comprehensive collaborative supervision mechanism, and an intelligent technology integration solution. A three-tiered performance evaluation index system was established, based on supervision input-process execution-output outcomes, and a fuzzy hierarchical comprehensive evaluation model was employed to quantify supervision quality. The system provides a theoretical foundation and technical support for safety supervision in high-risk operations, offering practical value in reducing pipeline maintenance and repair accident rates.

Keywords: Oil and gas pipelines; maintenance operations; safety supervision

石油天然气管道维检修作业涉及动火、受限空间、高处作业等多类型高危操作, 风险具有动态演化和突发性特征。统计显示, 检修密集期和夜间作业时段事故发生率显著升高, 临时抢修作业因准备不足成为安全管理薄弱环节。现行监督机制存在明显缺陷: 监督主体职责交叉导致重复检查与监管盲区并存, 过程管控偏重前置审批而忽视动态跟踪, 技术手段落后制约实时风险识别能力。因此, 亟需构建适应复杂风险特征的监督机制创新方案, 建立可量化的效能评价体系, 为提升管道维检修作业安全管理水平提供系统性解决路径。

1 维检修作业安全监督问题诊断

1.1 作业风险特征与事故规律分析

管道维检修作业集中了动火、受限空间、高处、吊装等多种危险作业类型, 风险具有显著的动态性与突发性特征。作业过程中介质置换、设备开启、管线切割等环节均可能释放易燃易爆或有毒有害物质, 形成瞬时高危险源。受限空间内氧含量变化、有毒气体

积聚往往在数分钟内达到致命浓度, 留给应急处置的时间窗口极为有限。多作业交叉时, 风险源之间产生耦合效应, 单一防护措施失效即可能引发连锁事故。从事故演化路径观察, 大多数严重事故在发生前经历了设备异常、程序偏离、防护失效等多个前兆阶段, 但由于监督介入不及时而未能阻断。事故高发时段集中在检修密集期与夜间疲劳作业时段, 暴露出监督覆盖的时间盲区。特别是临时性、抢修性作业因准备时间紧迫, 风险评估深度不足, 成为事故的重灾区。这种高度复杂的风险图景对监督机制的响应速度、识别精度、干预强度提出了严苛要求。

1.2 现行监督机制缺陷识别

现行监督体系在主体协同、过程管控、技术支撑三个维度存在系统性短板。监督主体分散在企业安全部门、施工单位、第三方监理、政府监管等多个层级, 但职责界面模糊导致重复监督与监督真空并存。企业内部监督人员配置不足, 难以实现作业现场的全时段覆盖, 监督行为呈现出应付式、突击式特征。过程

管控方面, 监督重心过度前置于作业票证审批环节, 对作业实施过程中的动态风险变化缺乏持续跟踪, 关键控制点的监督出现断档。检查标准化程度低, 监督人员依赖经验判断而非系统化评估工具, 导致隐患识别的准确性与一致性不足。技术手段落后是制约监督效能的瓶颈, 纸质记录模式信息传递滞后, 关键参数如气体浓度、作业环境温度压力等无法实时采集, 监督人员只能通过目视和便携式检测设备获取碎片化数据。更严重的问题在于监督闭环管理缺失, 发现的隐患整改验证机制不健全, 监督结果难以转化为实质性的安全改进。

1.3 监督效能不足的根源剖析

监督效能低下的深层原因在于制度设计、资源配置、能力建设的结构性失衡。制度层面, 安全监督责任传导机制不畅, 基层监督人员承担着繁重的监督任务却缺乏相应的权限与资源支持, 责权利脱节削弱了监督的权威性。监督绩效考核指标重结果轻过程, 以事故率作为主要评价标准无法反映日常监督工作的质量与强度, 导致监督行为异化为形式化应对。资源配置方面, 监督人员编制严重不足且专业能力参差不齐, 薪酬待遇与技术岗位差距造成人才流失与队伍不稳定。监督信息化建设投入有限, 各业务系统间数据壁垒阻碍了风险信息的整合分析, 无法为监督决策提供全局性支持。能力建设方面, 监督人员培训体系不完善, 知识更新速度滞后于技术发展, 面对新工艺、新材料、新风险时识别能力不足。

2 安全监督机制创新设计

2.1 风险分级管控监督模型构建

针对管道维检修作业风险动态演化特征, 建立基于作业类型、环境条件、人员能力三维度的风险分级矩阵。将作业风险划分为四级管控等级: 一级风险对应受限空间伴随动火等高危复合作业, 要求配备专职监督员实施全程不间断监护, 关键操作节点实行双人复核确认; 二级风险涵盖单一高危作业类型, 监督频次设定为每小时巡查一次并记录关键参数变化; 三级风险针对常规检修作业, 采用定时抽查与远程监控相结合; 四级风险适用低危作业, 通过自检与事后审核完成监督闭环。每个风险等级对应明确的监督配置标准, 包括监督人员资质要求、到场时间节点、必检项目清单、应急处置预案启动条件。模型运行中引入动态调整机制, 当作业条件发生变化如天气突变、设备故障、人员调整时, 监督等级自动升级并触发预警。通过将风险评估结果与监督资源配置直接挂钩, 解决了监督力量分散与重点不突出的矛盾, 实现监督资源的精准投放。

2.2 全过程协同监督机制框架

构建覆盖作业准备、实施、收尾全生命周期的协同监督链条。准备阶段建立作业方案联合会审制度, 安全管理部门、技术部门、施工单位、监理单位同步介入, 对风险识别完整性、防护措施充分性、应急预案可操作性进行交叉审核, 形成多方签字确认的作业许可文件。实施阶段划分监督主体职责边界: 企业安全监督员负责作业全过程合规性检查, 重点核查票证有效性、人员资质符合性、防护用品穿戴规范性; 技术监督员关注工艺参数控制、设备运行状态、质量标准执行; 第三方监理对监督行为本身实施独立评价, 检验监督到位率与问题识别准确率。建立监督信息即时共享平台, 各监督主体发现的隐患实时上传, 相关责任方同步接收整改指令。收尾阶段实行验收多级把关, 施工单位自检合格后提交企业验收, 关键项目增加第三方专业机构检测环节, 形成完整的验收记录链。协同机制的核心在于打破部门壁垒, 通过明确的接口定义与信息流转规则, 将分散的监督行为整合为系统化的监管网络。

2.3 智能化监督技术集成方案

集成物联感知、数据分析、移动应用三类技术构建智能监督支撑体系。在作业现场部署气体浓度传感器、温度压力监测仪、视频采集装置等感知设备, 通过无线网络实时回传作业环境参数与人员行为画面。传感器布设遵循风险点位优先原则, 受限空间出入口、动火点周边、高处作业平台等关键区域实现全覆盖, 数据采集频率设定为每 30s 一次, 异常数据触发声光报警并自动推送至监督终端。建立风险预警分析模型, 将实时采集数据与安全阈值进行对比判断, 当可燃气体浓度接近爆炸下限、氧含量低于安全值、作业人员进入禁区时, 系统自动生成分级预警信息。开发移动监督终端应用, 监督人员通过手持设备查看作业方案、调阅历史记录、填写检查表单、拍照上传隐患, 检查数据自动归档形成监督轨迹可追溯。后台数据分析模块对监督行为进行统计评价, 生成监督覆盖率、隐患整改率、监督质量得分等指标, 为监督绩效考核提供量化依据。技术方案的实施路径分三步: 选取典型作业场景开展试点验证, 优化设备配置与算法参数; 在单个作业区域推广应用, 建立运维保障机制; 逐步扩展至全部维检修作业, 实现智能监督常态化运行。

3 监督效能评价体系构建

3.1 效能评价指标体系设计

效能评价指标体系围绕监督投入、过程执行、产出效果三个层面展开。监督投入层考察人员配置充足度、专业能力匹配度、技术装备完备度三项要素, 人

员配置以监督员与作业点数量比例衡量,专业能力通过资质等级与培训时长量化,技术装备涵盖检测仪器精度、信息化工具覆盖率、应急装备齐全性。过程执行层聚焦监督行为规范性与及时性,设置监督到场率、检查标准执行率、隐患识别准确率、记录完整性四个观测点,到场率通过定位系统与签到记录交叉验证,检查标准执行率对比实际检查项与规定项的符合程度,隐患识别准确率采用专家复核方式确定误判与漏判情况。产出效果层关注监督成果转化,包括隐患整改闭环率、整改时效达标率、重复性隐患下降率、作业安全事故率四项指标,隐患整改闭环率追踪从发现到验收的完整流程,时效达标率以整改完成时间与要求时间对比计算,重复性隐患通过建立隐患数据库识别同类问题的反复出现频次。指标权重采用专家调查法确定,邀请安全管理、技术监督、现场作业等领域专家对各指标重要性进行评分,运用层次分析法计算权重系数,确保评价体系兼顾科学性与实用性。

3.2 模糊层次综合评价模型

针对监督效能评价中存在的模糊性与不确定性,建立多层次模糊综合评价模型。将评价指标按照准则层和指标层构建递阶层次结构,准则层对应监督投入、过程执行、产出效果,指标层为各准则下的具体评价要素。评价等级划分为优秀、良好、合格、不合格四档,制定各等级的量化判定标准,如监督到场率优秀等级要求达到95%以上,良好等级为85%–95%,合格等级为75%–85%,低于75%判定为不合格。建立隶属度函数描述各指标对不同评价等级的归属程度,采用梯形分布函数处理边界模糊问题,当某指标实测值处于两个等级临界区间时,通过隶属度计算确定其对各等级的归属权重。单因素评价矩阵由各指标对评价集的隶属度向量构成,综合评价通过权重向量与评价矩阵的模糊运算得出,运算采用加权平均算子保证评价结果的合理性。多层次评价从指标层向准则层逐级合成,底层评价结果作为上层评价的输入,最终得到监督效能的总体评价等级及量化分值。模型应用时需对定性指标进行量化处理,通过评分表、专家评议等方式将主观判断转化为可计算的数值,确保评价过程的客观性与可重复性。

3.3 效能提升量化测度方法

效能提升测度采用纵向对比与横向对比相结合的方法。纵向对比以实施新监督机制前后的效能评价分值变化为基础,设定基准期与对比期各为半年,采集两个时段内相同作业类型、相似作业规模条件下的监督数据,消除外部因素干扰。关键测度指标包括监督覆盖率提升幅度、隐患发现数量增长率、事故前兆拦

截成功率、监督成本投入产出比。监督覆盖率通过实际监督作业次数与应监督作业次数比值计算,隐患发现数量需区分新增类型隐患与重复性隐患,前者反映监督深度增强,后者体现整改机制改善。事故前兆拦截成功率统计因监督干预而终止的危险作业次数,通过回溯分析判定若未干预可能导致的事故等级。横向对比选取同类企业或同一企业不同作业区域作为参照组,在相同评价周期内采集监督效能数据,运用统计检验方法判断差异显著性。建立效能提升归因分析框架,将效能改善分解为机制优化、技术赋能、能力提升三个贡献因子,通过敏感性分析确定各因子的贡献度,为持续改进指明方向。效能测度结果形成定期报告,包括总体评价等级、关键指标达成情况、存在问题识别、改进建议提出,为监督机制的迭代优化提供数据支撑。

4 结论

本研究针对管道维检修作业安全监督的系统性缺陷,构建了风险分级管控、全过程协同和智能化技术融合的创新监督机制。通过建立三维风险分级矩阵实现监督资源精准配置,多主体协同框架打破部门壁垒形成监管网络,物联感知与数据分析技术提升风险识别响应能力。效能评价体系涵盖投入–过程–产出全链条,模糊层次综合评价模型解决了监督质量量化难题。实践验证表明,该机制可显著提升监督覆盖率和隐患识别准确率,降低重复性隐患和事故发生率。研究成果为高危作业安全监督提供了理论框架和技术工具,但智能化设备在复杂环境下的适应性、多主体协同的长效运行机制仍需深化研究。未来应结合人工智能技术发展监督决策支持系统,探索监督效能与企业安全绩效的量化关联模型,推动安全监督从经验驱动向数据驱动转型。

参考文献:

- [1] 税旭东. 石油天然气管道安全风险及保护措施探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(17):58-60.
- [2] 廖生, 闫井超, 肖维阳. 石油天然气管道安全风险及保护措施分析[J]. 中国科技投资, 2025(24):38-40.
- [3] 徐霞. 石油天然气管道安全管理存在的问题及解决方法[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025,45(13):55-57.
- [4] 尹行. 石油天然气管道安全风险及保护措施探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,44(04):28-30.
- [5] 刘华. 石油天然气管道储运的安全管理探讨[J]. 石化技术, 2023,30(08):135-137.

作者简介:

王小岩(1980-),女,满族,吉林四平人,本科,工程师,研究方向:油气管道安全管理。