

长输油气管道应急救援预案的动态优化与演练效果评估

闫少立 (东明县发展和改革局油田服务中心, 山东 菏泽 274500)

摘要: 长输油气管道在跨区域能源输送以及安全运行面临复杂挑战。极端天气、地质灾害、人为破坏等突发事件都易引发管道泄漏、爆炸等事故, 造成环境破坏、经济损失与社会影响。而现行应急救援预案多基于静态风险假设编制, 在动态灾害演变、多主体协同响应、资源实时调配等方面存在局限性。为此, 本文聚焦长输油气管道应急救援预案的动态优化路径与演练评估体系, 希望为构建精准化、智能化的管道安全防护体系提供理论参考与实践指导。

关键词: 长输油气管道; 应急救援预案; 动态优化; 演练效果评估

中图分类号: TE88

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 018-0112-03

Dynamic Optimization of Emergency Rescue Plan for Long-distance Oil and Gas Pipelines and Evaluation of Drill Effect

Yan Shaoli (Oilfield Service Center, Dongming County Development and Reform Bureau, Heze Shandong 274500, China)

Abstract: Long-distance oil and gas pipelines face complex challenges in trans-regional energy transmission and safe operation. Extreme weather, geological disasters, man-made damage and other emergencies are easy to cause pipeline leakage, explosion and other accidents, resulting in environmental damage, economic losses and social impact. However, most of the existing emergency rescue plans are based on static risk assumptions, and there are limitations in dynamic disaster evolution, multi-agent collaborative response, and real-time resource allocation. Therefore, this paper focuses on the dynamic optimization path and drill evaluation system of the emergency rescue plan for long-distance oil and gas pipelines, hoping to provide theoretical reference and practical guidance for the construction of accurate and intelligent pipeline safety protection system.

Key words: Long distance oil and gas pipeline; Emergency rescue plan; Dynamic optimization; Exercise effect evaluation

长输油气管道具有距离长、环境复杂、事故后果严重等特点, 其安全运行面临自然灾害、第三方破坏、设备老化等多重风险威胁。在突发事故场景下, 科学高效的应急救援预案是降低损失、保障人员与环境安全的核心手段。然而, 传统预案常因环境动态性不足、协同机制僵化等问题, 导致实际应急响应中存在执行偏差与效率瓶颈。为此, 亟需以动态优化策略提升预案的灵活性与适应性, 并以系统化的演练效果评估方法验证其实效性。

1 长输油气管道应急救援预案概述

长输油气管道应急救援预案是针对管道运行中可能发生的泄漏、爆炸、自然灾害等突发事件, 预先制定的系统性应急响应方案。其核心目标是快速控制事故影响范围, 保障人员安全, 减少环境破坏及经济损失。预案内容通常涵盖应急组织架构、风险识别与预警机制、分级响应流程、资源调配方案及事后恢复措施等, 覆盖事故预防、处置与善后全链条。由于管道具有跨区域、多环境敏感点的特征, 预案需综合考虑地质条件、气象变化、第三方活动等动态风险因素, 并明确政府、企业、社区等多方协同职责^[1]。

2 长输油气管道应急救援预案的动态优化策略

2.1 基于实时监测的风险预警预案动态匹配

长输油气管道应急救援预案的动态优化需以实时风险监测为底层支撑构建“数据采集—风险解析—预案匹配”的全链条响应机制, 确保预案与动态风险场景精准适配。在具体实施中, 建立覆盖管道全线的立体化监测网络, 在穿跨越河流、人口密集区、地质灾害易发段等重点区域部署光纤振动传感器、智能气体检测仪、高清红外摄像头等物联设备, 实时采集管道压力、土壤位移、气体浓度、第三方施工振动等关键参数, 并以 5G 专网或卫星通信将数据同步传输至企业应急指挥中央与地方政府监管平台。

数据经智能分析系统处理后, 生成区域风险动态热力图, 例如在暴雨预警期间, 系统自动识别山体滑坡高风险管段, 触发地质灾害专项预案, 向属地应急小组推送预置抢险队伍、物资调配指令, 同时联动水利部门监控上游水库泄洪信息, 调整管道沿线水位警戒阈值^[2]。

针对不同风险等级, 预案库需细化分类管理, 例如将第三方施工侵入分为“机械挖掘”“违规占压”“定

向钻探”三级场景，每类场景匹配差异化的处置流程。当监测到施工机械振动信号异常时，系统自动调取“机械挖掘侵入应急预案”，指令巡线员 30 分钟内抵达现场核实，同步通知地方政府执法部门介入制止，并启动管道压力调节保护程序。为提升响应时效，需在高风险管段周边 50 公里范围内预置应急资源，例如在山区段储备山地运输车、便携式堵漏工具包、卫星通信终端，在城市近郊段与消防、医疗单位签订“30 分钟应急支援协议”，确保泄漏初期人员、设备、技术力量同步到位。

2.2 多场景实战化模拟与预案迭代升级

长输油气管道应急救援预案的动态优化必须依托常态化、实战化的多场景模拟演练，以暴露处置盲点、验证流程可行性，推动预案从“文本完备”向“实战有效”转化。

具体实施中，需按季度开展“无脚本、全要素”实战演练，模拟管道泄漏、爆炸、山体滑坡、第三方破坏等典型事故场景，重点检验应急队伍在复杂环境下的协同处置能力。例如，在模拟“高后果区天然气管道泄漏”场景时，设置夜间能见度低、通信中断、群众恐慌等干扰因素，要求企业应急组、消防、医疗、环保部门在 1 小时内完成泄漏点定位、区域封锁、群众疏散、环境监测等动作，并以卫星指挥车实现现场视频与后方决策平台的实时交互。

演练结束后 24 小时内召开多部门复盘会议，逐帧回放处置过程，梳理问题清单，如指挥层级冗余导致指令延迟、应急物资运输路线规划不合理等，并明确整改责任人与时限。

为强化预案的迭代升级，需建立“案例—经验—标准”转化机制。一方面，整合历史事故案例库，将成功处置经验提炼为标准操作程序，例如针对不同管材的破裂堵漏工艺选择、泄漏扩散模型下的疏散半径动态划定等，形成图文并茂的《应急动作标准化手册》，嵌入预案执行环节；另一方面，运用“双盲演练”暴露预案的薄弱环节，例如在某次演练中发现企业应急组与地方政府通讯频段不兼容，随即修订预案中的通信协议，强制要求配备多模对讲机与卫星电话双备份设备^[3]。

2.3 政企社多方协同的责任网格化管理

长输油气管道应急救援的高效执行依赖于政府、企业、社区等多方主体的深度协同，需利用责任网格化管理明确权责边界、固化协作机制，破解传统应急中“各自为战、信息孤岛”的难题。具体实施中，首先需绘制“管道应急责任网格图”，以管道沿线行政村、街道为基本单元，将整条管道划分为若干责任区

段，每个区段明确“第一责任人”“直接响应人”“辅助支援单位”三类角色。例如，在穿跨越河流的区段，由管道企业属地分公司负责人担任“第一责任人”，河道管理部门负责人作为“直接响应人”，周边村庄的村支书或社区网格员作为“辅助支援单位”，三方共同签署《区段应急联防协议》，明确事故初报、先期处置、资源调度的分工流程。

针对企业、政府、社区的信息互通需求，建立“应急信息共享平台”，整合企业 SCADA 系统监测数据、政府灾害预警信息、社区人口动态数据，例如在管道泄漏时，企业实时推送泄漏点坐标与扩散模型预测结果至平台，政府应急部门据此划定疏散范围，社区网格员在平台接收任务，逐户通知居民撤离并反馈完成情况，形成“数据—指令—执行—反馈”的闭环链条。

为强化协同实效，定期开展“政企社联合应急拉练”。例如，每半年组织一次跨部门实战演练，模拟“第三方施工破坏导致原油泄漏”场景，企业巡线员发现险情后通过应急 App 一键上报至平台，政府应急指挥中心同步启动应急响应，调度环保、消防、医疗等部门赶赴现场，社区网格员负责引导周边群众疏散至临时安置点。演练中重点检验多方通信协议的统一性、资源调配的衔接性，以及决策层与执行层的指令流转效率。

3 长输油气管道应急救援预案演练效果评估方法

3.1 演练过程全要素数据化监测与记录

长输油气管道应急救援演练的效果评估需以全面、精准的数据采集为基础，以技术手段实现全流程、全要素的可视化记录与回溯。在实际操作中，需构建“人—机—环”三位一体的数据采集体系，覆盖人员行动、设备状态、环境参数的全维度监测。针对应急人员行为追踪，部署高精度穿戴式智能装备，例如采用军工级定位芯片的智能头盔，集成生命体征传感器、语音指令接收模块及 720° 全景摄像头，确保人员在复杂地形作业时，指挥中心可实时获取其生理状态、移动轨迹及现场视角画面。针对大型设备与物资调配环节，采用射频识别（RFID）标签与无人机协同巡检技术，例如在应急物资仓库中，所有堵漏设备、吸附材料、通信器材均嵌入 RFID 芯片，演练时以无人机搭载的射频扫描模块，实时监控物资出库、运输路径及现场使用状态，生成“物资流动热力图”，精准识别调配延误或资源浪费环节^[4]。

对于复杂环境下的操作规范性评估，可引入动作捕捉系统与 AI 行为识别算法，例如在管道堵漏作业中，以多角度摄像头捕捉抢险人员的工具使用姿势、安全

防护动作,对比预设的标准化操作模型,自动标记违规动作,并生成《操作合规性分析报告》。

3.2 多维度效能评分体系的构建与应用

演练效果评估需突破单一结果导向的局限,构建涵盖“时效性、规范性、协同性、资源效能”的多维度量评分体系。在时效性评估中,定义“黄金处置时间窗口”指标,例如泄漏事故发生后,要求应急队伍在20分钟内完成泄漏点定位、40分钟内启动初步封堵,每超出1分钟扣0.5分,并结合历史事故数据设定动态基准值。

同时,建立“评估—分析—改进—验证”的闭环机制,将演练中发现的问题转化为预案升级的具体行动,确保应急流程始终贴合实战需求。在具体操作中,需制定“三维度演练评估体系”,从响应时效性、操作规范性、协同流畅性三个维度设计量化评分指标。例如,在“山体滑坡”演练中,要求应急队伍在45分钟内完成滑坡体清理、管道应力检测及临时支撑架设,每超时5分钟扣2分;堵漏作业未执行“双人互检”安全程序的扣3分;企业与地质勘察单位数据共享延迟超过10分钟的扣1分。

规范性评估聚焦操作流程与安全标准,例如编制《应急处置动作库》,将堵漏、疏散、环境监测等环节拆解为50项标准化动作,以AI分析技术自动识别动作缺失或顺序错误,按错误严重程度分级扣分。协同性评估重点量化跨部门协作效率,例如在政企联合演练中,统计指令从企业应急中心传递至政府指挥平台的延迟时间、双方数据共享的一致率,若协作指标不达标则触发“协同效能预警”。资源效能评估采用成本—效益分析法,例如计算单次演练中设备闲置率、单位时间人员投入产出比,对低效环节提出优化建议。评分结果以“红黄绿灯”仪表盘直观展示,并与企业安全绩效奖金、政府部门考核挂钩,例如总分低于80分的单位需强制参加专项培训,连续两次不及格则暂停相关业务资质。

3.3 评估结果驱动针对性整改与验证

演练评估的最终目标是将数据与评分转化为切实的改进措施,形成“问题诊断—措施落地—效果复核”的闭环管理。针对评估中暴露的短板,需建立分级分类整改机制如:

- ① drive 技术类问题,如堵漏设备适配性不足,需成立技术攻关组,联合设备厂商开展定制化改造,在3个月内完成新型夹具的现场测试与批量采购;
- ② Hell 流程类问题,如应急指令传递层级过多,需简化指挥链条,推行“现场指挥官—企业总指挥”直通模式,并通过模拟推演验证流程压缩后的响应效

率提升幅度;

③ 协同类问题,如企业与医疗机构信息对接不畅,需签订《医疗救援绿色通道协议》,明确伤情分级报送标准,每季度开展联合桌面推演。

整改措施实施后,需运用“双盲回头练”验证有效性^[5]。例如,某次演练因夜间照明不足导致设备安装超时,整改措施包括为抢险队伍配备头戴式红外照明装置、在高风险管段预置太阳能应急灯,并在整改完成后3个月内随机选择雨夜场景开展无预告演练,对比照明升级前后的作业时间、错误率等关键指标。同时,建立“问题—措施—效果”数据库,利用机器学习技术分析整改案例的共性规律,例如识别“资源调配延误”多发生于山区路段,自动推送“增设前置物资点”“签订本地化运输服务”等建议,推动应急能力从“被动整改”向“主动预防”跃升。

4 结语

长输油气管道应急救援预案的动态优化与演练效果评估是提升管道事故应急处置能力的核心路径。构建实时监测驱动的预案动态匹配机制、多场景实战演练的迭代升级模式、政企社协同的责任网格化管理体系,以及数据化评估与闭环整改机制,有效破解了传统预案的静态化、碎片化缺陷动态优化策略能够显著提升预案对复杂风险场景的适应性,而多维效能评估体系则为预案的持续改进提供了科学依据。

未来,相关研究工作者需进一步融合人工智能、数字孪生等技术,实现风险预测与应急决策的智能化跃迁,同时强化跨区域、跨行业的应急资源整合能力,推动长输油气管网安全防护体系向更高水平的韧性化、精准化发展。

参考文献:

- [1] 遵义市长输油气管道事故应急预案解读 [J]. 遵义市人民政府公报,2024(07):39-40.
- [2] 市人民政府办公室关于印发《遵义市长输油气管道事故应急预案》的通知 [J]. 遵义市人民政府公报,2024(07):7-23.
- [3] 张希祥,贾韶辉,杨玉锋,等.油气长输管道应急救援国家基地应急管理体系浅析 [J]. 中国石油和化工标准与质量,2021,41(06):1-3.
- [4] 市政府办公室关于印发徐州市石油天然气长输管道突发事件应急预案的通知 [J]. 徐州市人民政府公报,2020(05):16-42.
- [5] 黄亮亮,安玉肖,刘蓉,等.油气管道应急救援能力评估方法研究 [J]. 石油工业技术监督,2016,32(05):53-55+61.