

油气管道企业长输油气管道突发事件应急管理能力的评估

刘秦龙 贾永强 范 刚 (国家管网集团西北公司西安输油气分公司, 陕西 西安 710018)

摘要: 长输油气管道作为国家能源输送命脉具有跨越距离长、埋地隐蔽、输送介质高危等特征使其面临自然灾害、第三方破坏、设备失效等多重风险威胁。突发泄漏火灾爆炸等事件可能造成重大生态灾难及公共安全事故。传统经验式应急管理存在响应滞后、资源调配低效、跨区域协同不足等系统性缺陷亟需构建科学量化的应急能力评价体系。本文旨在通过结构化指标与多维度验证方法识别企业应急管理薄弱环节促进预防性风险管理升级确保能源动脉本质安全。

关键词: 长输油气管道; 突发事件; 应急管理能力; 评价体系; 持续改进

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 030-0151-03

Evaluation of Emergency Management Capacity for Long-Distance Oil and Gas Pipeline Enterprises in Response to Emergencies

Liu Qinlong, Jia Yongqiang, Fan Gang (Xi'an Oil & Gas Pipeline Sub-Company, Northwest Pipeline Company, PipeChina, Xi'an Shaanxi 710018, China)

Abstract: Long-distance oil and gas pipelines, as the lifeline of national energy transportation, have characteristics such as long distances, underground concealment, and high-risk transported media, making them vulnerable to multiple risks including natural disasters, third-party damage, and equipment failure. Sudden incidents such as leakage, fire, and explosion can cause significant ecological disasters and public safety accidents. Traditional experience-based emergency management has systemic deficiencies such as delayed response, inefficient resource allocation, and insufficient cross-regional coordination. There is an urgent need to establish a scientific and quantifiable emergency management capacity evaluation system. This paper aims to identify the weak links in enterprise emergency management through structured indicators and multi-dimensional verification methods, promote the upgrade of preventive risk management, and ensure the intrinsic safety of energy arteries.

Keywords: Long-distance oil and gas pipelines; Emergencies; Emergency management capacity; Evaluation system; Continuous improvement

突发性管道事故对公众安全及生态环境构成严重威胁, 传统离散化经验管理模式难以应对现代管道系统多灾种耦合风险。行业亟需建立覆盖风险预警、资源调度、应急处置全链条的能力评估工具。本框架通过量化评价维度破除主观认知局限, 其核心价值在于揭示企业应急指挥体系协同效率与实战处置短板。评价结果将引导企业精准投入有限资源完善应急预案情景适配性, 提升复杂工况下的抢险响应鲁棒性。体系设计深度融入智能化监测预警技术发展趋势, 推动应急管理从被动处置向主动防控转型。

1 长输油气管道突发事件应急管理概述

1.1 长输油气管道特点

作为国家能源输送主干网络的钢质长输管道承载着原油成品油或天然气高压输送任务, 这些线性工程跨越数百甚至数千公里地理空间, 在物理结构层面表现为埋地敷设的连续性密闭管体系统。大口径高压运行状态使管壁承受巨大环向应力, 焊接接头部位存在潜在失效风险点^[1]。管道穿越区域覆盖平原山地区域与江河湖泊水体底部复杂环境, 管道运营者不得不应对山区融雪侵蚀河谷段管道的不稳定岩层问题, 沿

海盐雾环境加速金属电化学腐蚀进程以及冻土区域温度变化引发的管道应力重分布现象。管道周边第三方施工活动日益频繁客观上加剧了机械破坏概率, 埋深不足管段可能遭受农业机械意外击穿形成初始泄漏点, 高后果区内人口密集区段潜在灾害影响范围持续扩大要求更严格的完整性管控措施。

1.2 突发事件类型及危害

长距离输送管道的运行环境复杂性导致泄漏场景存在多样化特征, 包括但不限于管体腐蚀穿孔形成喷射状油气泄漏, 焊缝缺陷扩展产生的轴向裂纹导致大面积溢出, 第三方施工机械误操作造成的管壁贯穿性破坏。泄漏介质接触空气后形成可燃混合气体可能诱发蒸气云爆炸并产生冲击波对周边建筑造成结构性损伤, 原油泄漏遇明火会在水体表面形成持续燃烧的沸腾油雾破坏水域生态系统。高含硫天然气意外释放产生剧毒硫化氢扩散威胁下风向居民生命健康。输油管道破裂导致的重质原油渗入土壤深层需要二十年以上自然降解周期且永久改变地下水化学特征, 天然气泄漏形成的可燃气体云团在密闭空间积累至爆炸极限遇点火源将摧毁整座加压站场并中断区域能源供应长达数周。

1.3 应急管理的概念与内涵

管道行业所指应急管理特指针对管线突发物理失效事件构建的闭环处置周期,该体系围绕预防性监测准备与灾后功能性恢复双重目标开展结构化部署。核心内涵在于通过建立分布式传感器网络捕获管道应力异常数据实现早期干预,提前预置移动式高压封堵设备缩短抢修响应时间窗口,应用情景构建技术推演多重次生灾害叠加条件下的应急处置流程。现代应急管理系统依托数字化预案平台实现应急指令的秒级传递,利用北斗卫星短报文维持极端环境下的指挥链路畅通。企业应保持对各类环境变化信息的实时感知能力,包括采空区沉降对管道悬空段的持续影响评估,洪泛季节河流穿越管段抗冲刷能力的动态监测,建构从灾害预警到现场处置再到后期环境修复的完整应对链条形成全流程控制机制^[2]。

2 九大评价维度与关键指标

2.1 风险监测与预警

油气管道全域风险感知能力取决于管道本体腐蚀缺陷在线监测探针的分布式部署密度和全天候数据采集频率,地理信息系统需整合第三方施工许可数据预测机械破坏高风险区段。环境风险防控要求实时接入气象部门发布的强对流天气预警与国土部门地质灾害监测信息,尤其关注滑坡体位移对悬空管段的剪切效应。智能分析平台应当具备异常压力波动的模式识别功能,利用声波传感技术捕捉管道微泄漏产生的应力波信号形成分级预警阈值,山区段管道需额外配置泥石流冲击力监测装置构建多层次防御体系。

2.2 应急组织与职责

企业应急管理委员会需设立专职应急协调官岗位负责跨部门资源统筹,重大事故场景下现场指挥部应在规定时间窗口内完成指挥层级架构搭建。人员职责矩阵必须清晰定义调度中心操作员与维抢修队长的信息传递路径,所有关键岗位配置AB角替补机制防止突发减员导致的指挥断层。区域公司应当与管道途经的县级政府签订具有法律约束力的应急救援互助协议,具体约定消防泡沫供给量及医疗直升机救援响应流程,定期举行多方言语指令校准测试消除协作歧义。

2.3 应急预案体系

分级预案架构需覆盖从站场局部泄漏到跨省干线断裂的六类典型事故场景,专项预案须区分高含硫天然气扩散与高凝原油河流污染的特殊处置规程。数字化预案管理系统应当支持移动终端调阅阀门操作顺序图与污染控制区域划分图,三维地理信息模型需标注事故点五公里范围内医院学校敏感目标分布。情景构建模块应模拟地震次生火灾与网络攻击并发的复合灾难推演,每季度桌面推演需验证夜间停电状态下通讯

中断替代方案的可执行性,预案修订记录应自动关联设计变更单与事故案例库。

2.4 应急资源保障

维抢修中心装备配置标准需满足同时处置两处以上管道断裂事故的作业需求,高压封堵装备库必须存放适用于不同壁厚管道的复合材料修补套筒并保持技术状况登记。战略储备库应按照七十二小时持续作战标准计算消耗性物资基数,特别储备适用于极寒环境的防冻型液压油及抗风型围油栏^[3]。卫星通讯车需每月进行北斗短报文与海事卫星双链路切换测试,呼吸器气瓶充装设备须具备现场快速充填能力避免远距离运输损耗,大型堵漏装备的定期吊装演练应保留起重机荷载测试报告。

2.5 培训与演练

岗位应急能力矩阵需量化不同职级人员应掌握的深基坑支护方案选择及带压封堵操作熟练度,模拟训练装置应当复现站场工艺区法兰密封失效喷射火焰的真实物理特性。年度综合演练需考察夜间强风条件下泄漏源红外定位与无人机三维建模的协同效率,专项演练应覆盖高后果区民众疏散路线动态调整与跨境河流污染拦截的实战决策。演练评估需建立从指挥指令延迟到个人防护装备穿戴缺陷的闭环纠正链条,第三方专家观察组须记录应急电源切换超时等系统性短板纳入年度改进计划。

2.6 监测预警与信息报送

调度中心需建立压力曲线异常波动的三色分级告警规则,远程关闭阀门的操作授权需匹配泄漏量智能估算模型输出的截断范围建议。报警信息确认流程必须规定五分钟内完成压力瞬变分析并启动视频监控复核,首报信息模板应包括介质泄漏速率预判及周边五公里居民点风向数据。国家管网应急平台对接端口应保持管道高程数据的实时同步更新,通讯中断极端场景下启动微波中继站传输关键截断阀状态代码确保调度指令穿透性。

2.7 应急响应与处置

事故黄金处置窗口要求现场警戒组在泄漏点下风向设置便携式可燃气体监测阵列防范燃爆风险,移动指挥所需具备四十五分钟内展开防爆照明系统及紧急供电单元的基础能力。抢修作业方案应优先选择无火花液压切割工具降低次生火灾概率,高寒地区应预备管道低温脆性断裂专用焊接工艺包控制焊口质量。污染物应急处置需同步实施地表水收集与土壤气监测双重保护,应急结束报告必须附注环境恢复基准线检测报告作为闭环管理要件。

2.8 舆情与公众沟通

舆情监测系统需配置地方方言识别模块准确捕捉

社交媒体求救信号,核心信息发布组应持有预先批准的专家解读口径消除公众恐慌情绪。受影响居民告知需采用电力公司户号数据核验覆盖率达到法定要求,媒体通稿需经技术部门确认土壤修复周期等专业表述准确性。新闻发布会模拟训练应包含关键设备特写镜头拍摄技巧指导,网络谣言应对小组须掌握污染物扩散模型可视化技术转化科普素材。

2.9 事后恢复与持续改进

管道功能恢复评估需采用高清漏磁检测器验证修复段金属损失率是否达到安全阈值,生产恢复方案应包含输油泵功率梯度提升曲线防止水击事故。重大事故调查报告应具备二十四小时初步归因分析及三十日系统根因追溯的双重产出时效,案例教学视频需编辑典型操作失误片段供员工警示教育。管理体系评审必须对比本次应急资源调度效率与上年演练数据的量化差异,将极端天气应对薄弱点转化为下年度管线覆土加深工程的具体预算条目。

3 评价方法

3.1 资料审查

评价组系统审阅企业归档的应急管理制度文本,核验预案层级架构与国家管道安全规范的匹配程度,分析风险识别报告是否涵盖采空区沉降及冻土带管体位移等特殊工况。追溯带压开孔作业记录本中的压力曲线存档状态,确认关键操作过程数据的完整性;调取近三年管道内检测报告,梳理环焊缝缺陷修复的时效轨迹;查阅调度中心报警处置台账,验证压力波动事件的分析闭环性;提取气象预警平台与阀室紧急关停操作的时差数据,形成系统响应效能证据链。进一步核查管道完整性评价报告与腐蚀监测数据库的关联逻辑,重点审查高后果区风险控制措施在工艺流程图中的标注准确性^[4]。这类文本分析构建了企业应急管理决策的基础逻辑框架。

3.2 现场核查

技术人员在加压站场工艺区实测泡沫消防系统在低温环境的启动性能,核查维抢修中心液压切管机刀片损耗参数与维护记录的吻合度。勘测重型设备运输通道的转弯半径能否满足大口径管道切割设备通行需求,应急仓库应用射频识别技术管理物资储备,查验正压式呼吸器气瓶压力检测标签的有效期。测试防爆平板在信号屏蔽状态下加载三维管网模型的响应速度,阀室重点验证卫星通讯终端定位精度与震感监测数据回传稳定性,要求保管员现场演示高粘原油吸附装置的快速铺设流程。额外检测站场紧急放空系统泄压阀的密封性能,模拟暴雨条件下应急排污池的容量承载临界值。这类实地检验呈现了设备在实战环境中的真实状态。

3.3 推演与实战测试

模拟无预警的山体滑坡阻断管道事故场景切断预设通讯网络,观察现场指挥启用卫星通讯车建立指挥链的时效性,双盲演练中故意瘫痪固定消防系统测试抢修队改用移动式泡沫发生装置的应变能力。桌面推演导入油罐车侧翻堵塞救援路线的突发变量检验指挥组启动无人机勘察替代路线的决策合理性,使用液态氮制造低温烟雾模拟液态天然气泄漏扩散范围验证人员紧急集合点设置的避灾有效性,全过程采集应急电源切换至第二备用回路的操作耗时生成流程瓶颈热力图。

3.4 量化打分

评价模型采用层次分析法组织二十名行业专家对监测预警维度十四项指标开展两两重要性排序游戏产出初始权重矩阵,运用熵权法解析应急资源维度的物资调配历史数据波动特征修正主观偏差。响应时效指标依据视频监控截取的指挥所搭建时长和气体监测仪激活速度分级赋分,预案数字化的评分综合移动端指令签批率与三维战场态势图更新频次,组合赋权模型输出九大维度能力值生成的热力分布图直观呈现企业薄弱项改进优先级,该项操作保留专家权重计算底稿供溯源复核避免评分结果出现争议纠纷^[5]。

4 结语

本文建立的评价体系为企业长输管道应急能力诊断提供全景扫描路径,其维度设计直指事故处置黄金窗口期的关键控制节点。实施过程需重视预案动态修订机制与双盲演练暴露问题整改闭环率等持续性指标验证。未来应深化气象卫星数据与人工智能预测技术在风险监测维度的融合应用强度,推动应急资源布局从静态储备转向动态优化配置模式。企业应当将评价结论转化为智慧应急平台迭代升级的实施路线图,构建跨区域协同处置的标准化操作程序库。持续完善指标体系对新型网络攻击及极端气候场景的覆盖深度,最终实现风险防控能力与管道本质安全提升的良性互动。

参考文献:

- [1] 国静.油气管道企业长输油气管道突发事件应急管理能力评价[D].西南石油大学,2015.
- [2] 郑明珠.中石油油气长输管道企业应急能力评价[D].清华大学,2012.
- [3] 王耀辉,王文和,朱正祥,等.基于多级可拓方法的长输油气管道突发事件应急管理能力评估[J].安全与环境工程,2021,28(02):22-29.
- [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] 李亚微.长输油气管道重大灾害影响分析与应急避难模拟研究[D].河北工业大学,2022.