

天然气长输管道消防应急体系构建与实践

张 一 (国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司, 山东 济南 250000)

摘 要: 文章立足于天然气长输管道全生命周期的安全管理, 深入探讨了构建现代化消防应急体系的理论基础、核心要素与实践路径。文章从风险辨识与“韧性安全”理念出发, 系统阐述了以“组织指挥、监测预警、资源保障”为三大支柱的应急体系构成, 并结合“政企联动、区域协同”的实践模式, 展望了大数据与人工智能技术在提升应急响应能力中的应用前景。

关键词: 长输管道; 天然气; 消防应急; 应急体系

中图分类号: TE88

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 025-0130-03

Construction and Practice of Fire Emergency System for Natural Gas Long-Distance Pipeline

Zhang Yi (Shandong Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: This article focuses on the safety management of the entire life cycle of natural gas long-distance pipelines and deeply explores the theoretical basis, core elements, and practical pathways for constructing a modern fire emergency system. Starting from risk identification and the concept of "resilient safety", the article systematically elaborates on the three main pillars of the emergency system, namely "organizational command, monitoring and early warning, and resource support." It also combines the practical model of "government-enterprise linkage and regional coordination" and looks forward to the application prospects of big data and artificial intelligence technologies in enhancing emergency response capabilities.

Keywords: Long-distance pipeline; Natural gas; Fire emergency; Emergency system

天然气作为清洁高效的化石能源, 在全球能源消费结构中的比重持续攀升。在我国“双碳”目标背景下, 天然气长输管道作为连接资源产地与消费市场的关键基础设施, 其建设规模与管网密度正以前所未有的速度扩张。这些纵横交错的“能源动脉”穿越山川、河流、城镇与乡村, 承载着高压运行的天然气, 其安全稳定运行直接关系到国家能源战略的实施、工业生产的命脉以及千家万户的福祉。

1 天然气长输管道消防应急体系构建的理论基础与核心理念

1.1 风险辨识与评估: 应急体系的逻辑起点

构建应急体系的首要任务, 是清晰地回答“我们在防范什么?”这一根本问题。天然气长输管道的风险具有多样性与复杂性。从风险源来看, 可归结为三大类: 一是自然灾害风险, 如地震、洪水、滑坡、泥石流等, 这些不可抗力可能直接导致管道断裂或位移; 二是第三方破坏风险, 这是管道安全最主要的外在威胁, 包括违章占压、野蛮施工、打孔盗气等; 三是管道本体与运营管理风险, 涵盖了管道腐蚀、材料疲劳、阀门等关键设备失效以及人员误操作等内部因素。

风险辨识之后, 必须进行科学的量化评估。这不仅仅是识别出风险点, 更是要分析其发生的概率与可能造成的后果。通过运用危险与可操作性分析

(HAZOP)、定量风险评价(QRA)等方法, 结合管道沿线的地理信息系统(GIS), 可以对不同管段的风险等级进行精准画像^[1]。例如, 穿越人口密集区、重要交通枢纽或环境敏感区的管段, 其风险后果等级远高于荒野地带。这种基于风险的差异化评估, 是应急资源配置、预案制定和演练重点的直接依据, 确保了应急体系的建设能够“好钢用在刀刃上”, 实现了从“普遍设防”到“重点防御”的转变, 构成了整个应急体系的逻辑起点。

1.2 全生命周期管理: 超越“事后响应”的思维变革

在设计阶段, 通过优化路由选择, 尽可能规避地质灾害多发区和人口稠密区; 合理设置紧急截断阀室(SDV), 缩短事故响应时的紧急关断时间与泄漏量, 这是最源头的应急措施。在施工阶段, 严格控制焊接质量、防腐层质量, 确保管道的先天“体质”强健, 减少未来的潜在泄漏点^[2]。在运营阶段, 通过常态化的巡检、管道内检测(智能清管器)、阴极保护系统监测等完整性管理手段, 动态掌握管道的“健康状况”, 实现风险的早期预警与干预。将这些前端的管理活动与后端的应急响应无缝衔接, 形成一个“预防-准备-响应-恢复”的闭环, 才能从根本上降低事故发生的概率, 并确保一旦发生事故, 应急体系能够建立在坚实的前期工作基础之上, 而非仓促应对一个“先天

不足”的系统。

1.3 “韧性安全”理念：构建动态适应的防御体系

传统的安全观侧重于“万无一失”的刚性防御，力求阻止一切事故的发生。然而，对于长输管道这种开放且复杂的巨系统而言，绝对的安全几乎不可能实现。“韧性安全”（Resilience Safety）理念为此提供了新的视角。它强调系统在面对意外扰动（即事故）时，不仅要具备抵抗破坏的能力（Robustness），更要具备吸收冲击、快速适应并恢复核心功能的能力（Adaptability&Recoverability）。

将“韧性安全”理念融入消防应急体系，意味着我们的目标不仅是扑灭一场火灾，更是要确保整个管网系统在局部受损后，能够通过灵活调度、快速修复等手段，最大限度地减少供气中断的影响，尽快恢复能源输送的“心跳”。这要求应急体系必须是动态和柔性的^[3]。

例如，指挥系统应具备一定的去中心化特征，赋予现场指挥官在特定情况下的决策权，以应对瞬息万变的现场状况；应急预案不应是僵化的脚本，而应是包含多种情景分支的“决策树”，能够根据事态发展灵活调整；资源保障体系也应具备冗余和备份，确保在主要通道受阻时，仍有备用资源可以调动。这种动态适应的能力，是衡量一个现代化应急体系先进与否的关键标志。

2 应急体系的核心构成与功能要素

2.1 组织指挥体系：应急响应的“神经中枢”

高效的应急响应离不开一个权责明晰、运转协调的指挥中枢。天然气长输管道的组织指挥体系通常呈现为“三级响应”的金字塔结构：企业总部/区域公司级的应急指挥中心、沿线作业区/站场级的应急指挥部、以及事故现场的临时指挥所^[4]。这一结构确保了信息能够自下而上快速汇集，决策指令能够自上而下精准传达。

该体系的核心在于“人”与“机制”。首先是明确的角色分工，总指挥、副总指挥、以及下设的抢险维修组、警戒疏散组、医疗救护组、物资保障组、环境监测组、对外联络组等，每个岗位都有清晰的职责描述与行动手册。其次，也是至关重要的一点，是“政企联动”机制的制度化。管道企业作为责任主体，必须与管道沿线的各级政府应急管理部门、消防救援、公安、卫健、环保等单位建立常态化的沟通与协作机制。这包括签订联动协议、建立联席会议制度、共享应急信息平台、开展联合演练等。当事故发生时，企业内部指挥体系能够迅速与政府应急力量对接，形成统一指挥、协同作战的强大合力，破解管道跨行政区

域救援协调难的困境。

2.2 监测预警与信息系统：应急决策的“耳目”

基于SCADA（数据采集与监视控制系统）的管线运行状态监测。通过对管道压力、温度、流量等关键参数的24h不间断监控，系统能够通过数据异常（如压力骤降）自动判断出泄漏的可能，并发出警报，实现秒级响应。

新兴技术手段的应用。例如，分布式光纤传感技术（DTS/DAS）沿着管道并行敷设，能够像神经网络一样感知管道沿线的温度异常、声音异常和振动异常。它不仅能精准定位微小泄漏，还能对第三方施工等外部威胁进行提前预警，将风险处置的窗口期大幅提前^[5]。

最后，是集成的应急信息平台。该平台应深度融合GIS地理信息，将管道本体数据、沿线地形地貌、人口分布、水源、道路、应急资源部署点等信息“一张图”呈现。当事故发生时，指挥官可以在屏幕上直观地看到事故点位置、影响范围、最佳救援路线、可用资源等，结合实时气象数据和气体扩散模型，进行科学的决策推演。同时，融合通信技术（如卫星电话、集群对讲、视频会议）确保了指挥中心与现场之间信息流的畅通无阻，为精准决策提供了坚实保障。

2.3 应急资源与保障体系：应急行动的“坚实后盾”

在应急队伍建设方面，除了管道企业自身的专业抢险维修队伍外，还应在沿线关键节点（如大型站场、高风险管段附近）建立专职或兼职的应急响应队伍。这些队伍成员需接受系统化的培训，熟练掌握个人防护装备穿戴、气体检测、带压堵漏、消防器材使用等专业技能，并通过定期的、贴近实战的演练，保持召之即来、来之能战、战之必胜的应急状态^[6-7]。

在应急物资装备方面，必须遵循“专业化、充足性、合理布局”的原则。除了常规的消防泡沫、干粉、防火服、空气呼吸器外，还需配备针对高压天然气泄漏的专用设备，如大口径喷淋水幕系统（用于稀释扩散的天然气云）、移动式氮气注入设备（用于置换和惰化）、远程遥控消防炮、以及各类规格的管道抢修卡具等。这些物资装备不能集中存放，而应根据风险评估结果，在沿线设立多个应急物资库，实现战略预置。同时，大型移动装备如应急指挥车、电源车、照明车等也是必不可少的组成部分，它们为现场作战提供了移动的“大本营”。

3 应急体系的实践运行与持续优化

3.1 应急预案的动态化管理与演练

预案的“活化”管理，意味着它必须具备对变化的敏感性与适应性。这种变化源自多个维度。首先是技术层面的迭代，例如管道进行了增输改造、阀室增

设了新的自动化控制单元,或是采用了新的泄漏检测技术,这些都要求预案中的操作流程、响应时间、技术处置方案随之更新。管道沿线可能新建了大型居民区、重要工业设施或交通干线,这会彻底改变事故后果的评估等级、疏散方案的制定以及社会影响的应对策略。最后,也是最宝贵的,是经验层面的积累。每一次真实的微小事故、每一次应急演练的复盘,乃至从同行业其他事故中汲取的教训,都是预案修订最直接、最深刻的输入。

这些触发因素应建立起一套制度化的审查与更新机制,确保预案始终是应对当前风险的“最优解”,而非昨日黄花的“纪念品”。在内容上,预案必须彻底摒弃模棱两可、大而化之的官僚式语言,追求极致的可操作性。它不应仅仅是原则的宣告,而应是一份在极端压力下,任何一名合格的应急人员都能按图索骥的行动手册。具体的步骤、精确的数据、主备联系人的多重联络方式、物资清单的具体存放位置与规格,这些细节共同构成了预案的“硬核”,使其成为真正的战斗指南。

演练是检验和提升应急能力的唯一途径。演练应从易到难,形式多样。从检验单一功能的“桌面推演”,到检验部门协同的“功能性演练”,再到最高级别的、调动所有内外力量的“全面实战演练”,层层递进。演练的价值不在于“演”得多么成功,而在于暴露了多少问题。每一次演练后,必须组织严格的评估复盘,形成详尽的评估报告,将发现的问题转化为具体的改进任务,形成“演练-评估-改进-再演练”的螺旋式上升闭环。

3.2 “政企联动、区域协同”的深度实践

在我国的应急管理格局中,“政企联动”是应对重特重大事故的制胜法宝。对于跨越多个行政区域的长输管道而言,这种联动尤为关键。实践中,企业需要主动作为,积极融入地方政府的应急管理大盘。例如,主动将企业的应急预案与地方政府的总体预案和专项预案进行有效衔接;主动邀请地方消防、应急等部门的专家参与企业预案的评审和演练评估;在企业应急指挥中心为政府联络员设置席位,确保信息互通。

更深层次的协同,体现在区域合作上。同一区域内的不同管道企业,或同一企业的不同管段,可以探索建立区域性的应急资源共享机制和互助协议。当某一方发生超出自身处置能力的事故时,可以快速启动互助程序,实现临近资源的快速调动。这种“一方有难、八方支援”的区域协同网络,能够极大地增强整个区域抵御管道灾害的整体能力,形成一张更为坚固的安全网。

3.3 基于大数据与人工智能的未来展望

展望未来,大数据与人工智能技术将为天然气长输管道的消防应急体系带来革命性的提升。通过对管道运行历史数据、设备检测数据、外部环境数据等多源信息的深度学习,可以构建起管道的“数字孪生体”,实现从“事后报警”到“事前预测”的跨越,精准预测出未来可能发生故障的高危管段。

在应急决策方面,人工智能可以成为指挥官的“超级智囊”。在事故发生时,AI系统可以在瞬间整合海量信息(实时气象、地形、人口、资源状态),快速模拟推演出多种处置方案的利弊,并推荐最优决策,大大提升决策的科学性与时效性。此外,虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术也将在应急培训和演练中大放异彩,通过创造高度逼真的虚拟事故场景,让应急人员在绝对安全的环境下,接受最贴近实战的训练。这些前沿技术的应用,将推动消防应急体系向着更智慧、更精准、更高效的方向不断进化。

4 结论

天然气长输管道的消防应急体系构建是一项复杂的系统工程,它超越了传统消防的范畴,是一套集风险预防、监测预警、指挥协同、资源保障与持续改进于一体的综合性安全治理体系。其成功构建,依赖于从“事后处置”到“全生命周期管理”和“韧性安全”的理念升维,立足于“组织、信息、资源”三大核心支柱的坚实打造,并在“政企联动、区域协同”的实践中不断磨合与深化。

参考文献:

- [1] 商国超.长输天然气管道消防安全管理制度构建与完善研究[J].消防界(电子版),2024,10(19):4-6.
- [2] 王圆圆.长输天然气管道消防安全管理制度构建与完善研究[J].消防界(电子版),2024,10(12):1-3.
- [3] 亓文广,蔡文玉,黄韶丹,等.长输天然气管道压气站消防安全常见问题与对策研究[J].消防界(电子版),2023,9(23):16-18.
- [4] 孟祥坤.天然气长输管道火灾爆炸危险性分析与应对措施[J].石化技术,2021,28(09):176-177.
- [5] 郭俊,周晖.天然气集输管道工程的消防研究方向[J].天然气与石油,2008,26(06):65-69.
- [6] 吴硕.N公司天然气长输管道安全管理问题研究[D].太远:太原理工大学,2022.
- [7] 郭望,李斯诺,霍轩.天然气长输管道运行安全风险和预防措施研究[J].石化技术,2025,32(03):327-329.

作者简介:

张一(1993-)女,汉族,河北石家庄人,本科,中级工程师,研究方向:安全管理。