

天然气管道安全运行管理策略研究

王传刚（国家管网集团山东公司淄博作业区，山东 淄博 255000）

刘小爽（国家管网集团北方管道有限责任公司郑州输油气分公司，河南 郑州 450000）

摘要：天然气管道作为能源输送的关键基础设施，其安全运行直接关系到国家能源安全、人民生命财产及生态环境稳定。本文深入剖析当前天然气管道运行面临的管道老化、第三方施工破坏、自然灾害威胁及管理技术瓶颈等核心问题，结合行业实践与工程案例，从全生命周期健康管理、多方协同防护、自然灾害综合防御、数字化技术创新四个维度提出系统性解决方案，形成覆盖风险预防、过程控制、应急处置的全链条管理策略，为提升天然气管道本质安全水平、保障能源输送可持续性提供理论依据与实践指导。

关键词：天然气管道；安全运行；管理策略

中图分类号：TE88

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）024-0124-03

Study on the Safety Operation Management Strategy of Natural Gas Pipeline

Wang Chuangang (Zibo Operation Area, National Pipeline Group Shandong Company, Zibo Shandong 255000, China)

Liu Xiaoshuang (Zhengzhou Oil and Gas Branch, Northern Pipeline Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: As a key infrastructure for energy transportation, the safe operation of natural gas pipelines directly affects national energy security, people's lives and property, and ecological environment stability. This paper deeply analyzes the core issues facing the current operation of natural gas pipelines, such as pipeline aging, third-party construction damage, natural disaster threats, and management technology bottlenecks. Combining industry practices and engineering cases, it proposes systematic solutions from four dimensions: whole-life cycle health management, multi-party collaborative protection, natural disaster comprehensive defense, and digital technological innovation. It forms a full-chain management strategy covering risk prevention, process control, and emergency response, providing theoretical basis and practical guidance for improving the inherent safety level of natural gas pipelines and ensuring the sustainability of energy transportation.

Keywords: natural gas pipeline; safe operation; management strategy

在全球能源结构加速向低碳化转型的背景下，天然气凭借清洁高效的特性，成为世界各国能源消费的重要组成部分。我国“双碳”目标的提出，进一步推动天然气在能源体系中的占比持续提升。根据国家能源局数据，截至2023年底，我国天然气管道总里程已突破13万公里，覆盖全国31个省（自治区、直辖市），形成西气东输、北气南下、海气登陆的能源输送网络。然而，天然气管道输送介质具有高压、易燃易爆特性，且长期处于复杂地质环境与社会环境中，一旦发生泄漏、爆炸等事故，将引发严重的人员伤亡、财产损失与生态破坏。因此，亟需结合我国天然气管道运行实际，构建涵盖技术、管理、制度的综合性安全管理体系，这对于保障国家能源安全、推动能源行业高质量发展具有重要的现实意义。

1 天然气管道安全运行管理的重要性

1.1 关乎能源供应稳定性

天然气作为重要的清洁能源，在全球能源消费结构中占据关键地位。在我国，随着“煤改气”等能源结构调整政策的深入推进，天然气在能源消费中的占

比持续攀升。天然气管道承担着将天然气从气源地输送至各类用户的重任，是天然气供应的“生命线”。一旦管道运行出现故障，如因腐蚀、外力破坏等原因导致泄漏、停输，将直接中断天然气供应，影响工业生产、居民生活及公共服务等领域的正常运转。在北方冬季供暖季，天然气是重要的供暖能源，若天然气管道安全管理不善，可能导致供暖中断，给居民生活带来极大不便，甚至引发社会问题；对于依赖天然气作为原料的化工企业，管道供气不稳定会造成生产停滞，带来巨大经济损失。所以，保障天然气管道安全运行，是维持能源供应稳定性的基础，对保障社会经济平稳发展意义重大。

1.2 保障人民生命财产安全

天然气具有易燃易爆特性，其主要成分甲烷与空气混合达到一定浓度范围（爆炸极限一般为5%~15%），遇明火、静电或高温等点火源极易引发爆炸和火灾事故。天然气管道通常敷设于人口密集区附近，一旦发生泄漏爆炸事故，其强大的冲击波和高温火焰会对周边居民、建筑物、公共设施等造成毁灭性打击。

例如,某城市天然气管道因第三方施工破坏发生泄漏爆炸,导致周边多栋居民楼受损,数十人伤亡,大量居民流离失所,社会影响恶劣。此外,天然气泄漏还可能导致人员中毒,威胁群众生命安全。所以,加强天然气管道安全运行管理,从源头上预防事故发生,是保障人民生命财产安全的必要举措,是维护社会稳定和谐的重要保障。

1.3 维护生态环境安全

天然气相较于煤炭、石油等传统化石能源,燃烧后产生的污染物大幅减少,如几乎不产生二氧化硫、粉尘,二氧化碳排放量也较低,是实现节能减排、应对气候变化的理想能源。若天然气管道发生泄漏,不仅造成能源浪费,逸散到大气中的甲烷是一种强效温室气体,其温室效应潜值约为二氧化碳的28-36倍,会加剧全球气候变暖;同时,泄漏的天然气若流入土壤、水体,还可能对土壤结构、地下水水质造成污染,破坏生态平衡。在生态环境保护备受关注的当下,确保天然气管道安全运行,防止天然气泄漏对生态环境的破坏,是践行绿色发展理念、推动生态文明建设的必然要求,有助于实现经济发展与环境保护的良性互动。

1.4 促进企业经济效益与竞争力提升

对于天然气管道运营企业而言,安全运行是实现经济效益的前提。安全管理到位,能有效降低管道事故发生率,减少因事故导致的抢修费用、赔偿损失以及生产中断造成的经济损失。同时,安全稳定的管道运行可保障天然气稳定供应,提高客户满意度,促进市场份额的扩大,为企业赢得良好的市场声誉和经济效益。相反,若安全管理不善,频繁发生事故,企业不仅要承担高昂的事故处理成本,还会因供气不稳定失去客户信任,导致市场份额下降,影响企业的长期发展。在市场竞争日益激烈的环境下,良好的安全管理水平已成为企业提升竞争力的关键因素之一,有助于企业在能源市场中树立可靠、负责任的品牌形象,吸引更多投资与合作机会。

2 天然气管道安全运行管理面临的挑战

2.1 管道老化与腐蚀问题严重

在能源输送体系中,天然气管道的服役周期往往长达数十年,随着运行时间的持续增长,管道老化与腐蚀问题正日益严峻。我国许多主干天然气管道始建于上世纪末至本世纪初,受制于当时的技术条件与工程标准,部分管道在设计寿命、材质选择及施工工艺上存在先天不足。例如,早期铺设的部分管道采用普通碳钢材质,这种材料在长期接触天然气中的硫化氢、二氧化碳等腐蚀性成分时,极易发生化学反应。当天然气中含有水分时,这些酸性气体与水结合形成电解

质溶液,加速金属表面的电化学反应,导致管道内壁出现坑蚀、穿孔等现象。根据行业调研数据,运行超过20年的天然气管道中,约60%存在不同程度的内腐蚀情况,部分管段的壁厚减薄率甚至超过设计标准的30%。管道外壁面临的腐蚀环境同样复杂。长期埋设在地下的管道,与土壤中的微生物、电解质溶液持续接触,形成天然的电化学腐蚀环境。在一些盐碱化严重的土壤区域,由于土壤导电性增强,金属表面的电极电位差异加剧,导致管道外壁腐蚀速率比正常环境高出3-5倍。

2.2 第三方施工破坏风险高

随着城市化进程的加速推进与基础设施建设的全面铺开,各类第三方施工活动与天然气管道安全运行之间的矛盾日益突出。在城市更新、道路拓宽、地下综合管廊建设等工程施工过程中,由于缺乏统一的地下管线信息管理平台,施工单位往往难以准确掌握天然气管道的具体走向、埋深及保护要求。据不完全统计,在近年发生的天然气管道安全事故中,因第三方施工破坏导致的事故占比高达40%-50%。部分施工单位安全意识淡薄,在施工前未严格按照规定向管道运营企业申请施工许可,或未采取必要的管道保护措施就擅自开工。一些小型施工队伍受限于技术条件,缺乏专业的地下管线探测设备,仅凭经验判断管道位置,极易造成管道损伤。

2.3 管理与技术水平有待提升

在管理层面,部分天然气管道运营企业的安全管理制度仍存在明显短板。一些企业虽然制定了安全巡检制度,但在实际执行过程中,存在巡检路线固定、频次不足、记录不规范等问题。巡检人员往往侧重于检查管道附属设施的外观状态,而对管道本体的潜在隐患缺乏深入排查。应急管理体系的不完善也是制约安全管理水平的关键因素。部分企业的应急预案停留在书面文件层面,缺乏针对性和可操作性,未根据不同地区、不同类型管道的特点制定差异化的应急处置方案。应急演练活动大多以理论讲解和桌面推演为主,缺乏实战模拟,导致应急队伍在面对真实事故时,存在响应迟缓、处置不当等问题。

从技术角度来看,尽管近年来智能监测技术在天然气管道领域得到一定应用,但整体覆盖率和应用深度仍显不足。部分老旧管道仍依赖人工巡检,效率低下且存在大量监测盲区。已安装的智能监测设备也面临数据传输不稳定、分析处理能力不足等问题。

3 天然气管道安全运行管理策略

3.1 强化管道全生命周期健康管理

面对天然气管道老化与腐蚀的严峻现状,构建覆

盖设计、建设、运行、维护全流程的健康管理体系迫在眉睫。在规划设计阶段,工程团队需借助专业的风险评估软件,对管道路由规划、管材选型等进行细致的仿真分析。通过实地勘察沿线地质条件、气候环境以及天然气输送介质特性,优先选用抗腐蚀性能优异的高钢级管道材料,如X80钢及以上等级管线钢。同时,针对输送介质中硫化氢、二氧化碳等腐蚀性成分,优化内壁防腐涂层设计,确保涂层具有良好的附着力和耐腐蚀性。

在管道运行阶段,建立完善的管道完整性管理(PIM)体系至关重要。综合运用内检测(ILI)和外检测技术,对管道的健康状况进行动态评估。内检测采用智能清管器,借助漏磁检测、超声波检测等先进技术,能够精准识别管壁腐蚀、裂纹等微小缺陷。外检测则通过土壤腐蚀性测试、阴极保护电位测量等手段,全面掌握管道外壁防腐状态。根据检测结果,制定分级修复方案:对于轻度腐蚀区域,采用非开挖修复技术,尽量减少对周边环境和正常供气的影响;对于严重损伤的管段,则及时更换,从根本上消除安全隐患。

3.2 构建多方协同的第三方施工防护机制

为有效遏制第三方施工对天然气管道造成的破坏,必须建立“政府-企业-施工单位”三位一体的协同防护体系。政府部门应发挥主导作用,牵头建设地下管线综合信息平台。该平台需整合规划、住建、燃气等多个部门的数据资源,将天然气管道的走向、埋深、管径等详细信息纳入平台共享,为施工单位提供权威、准确的查询渠道。在施工项目启动前,组织专业人员开展安全交底工作,协助施工单位制定科学合理的管道保护方案。在施工过程中,安排经验丰富的专人对施工现场进行全程监护,及时纠正违规操作行为。积极推广应用智能防护技术,在管道上方安装电子标识器,施工单位可通过手持探测设备实现管道位置的精准定位;在施工区域周边部署振动监测装置,实时感知挖掘作业产生的振动信号,一旦超出安全阈值,系统立即发出警报,提醒施工人员停止危险作业。

3.3 提升自然灾害综合防御能力

为有效应对自然灾害对天然气管道的威胁,需从风险预控、工程防护、应急保障三个方面构建全方位的综合防御体系。在风险预控环节,密切结合地质灾害评估、气象灾害预警等专业数据,组织专家团队绘制详细的管道自然灾害风险地图,准确识别高风险区域,并对这些区域实施重点管控。在工程防护方面,针对穿越河道、山区等特殊地段的管道,实施专项加固工程。

对于穿越河道的管道,采用混凝土配重块、石笼网等方式,防止管道受到水流冲刷而悬空;在冻土区域,根据冻土特性优化管道埋深设计,并加装隔热层,减少冻胀融沉对管道的影响。建立常态化的检查维护机制,定期对各类防护设施进行全面检查,及时修复损坏部分,确保防护设施始终处于有效状态。同时,进一步完善应急保障机制。结合不同自然灾害特点,制定针对性强的专项应急预案。建立应急物资储备库,储备充足的抢险物资和设备,并定期对应急物资进行检查、维护和更新。

3.4 推进安全管理数字化与技术创新

推动天然气管道安全管理向数字化、智能化转型,是提升管理效能的关键举措。一方面,全力构建智慧管网监测平台,集成光纤传感、物联网、大数据分析等前沿技术,实现对管道运行参数(压力、温度、流量)、环境参数(振动、土壤湿度)的实时、精准监测与智能分析。另一方面,持续加大技术研发投入,集中力量突破管道检测与修复领域的关键技术瓶颈。积极推广非开挖修复技术,如紫外光固化内衬修复、螺旋缠绕修复等技术具有施工周期短、对环境影响小等优势,能够有效提高管道修复效率与质量。

4 结束语

综上所述,本研究通过深度剖析管道老化、第三方施工破坏、自然灾害威胁及管理技术瓶颈等核心挑战,针对性提出全生命周期健康管理、多方协同防护、自然灾害综合防御及数字化技术创新的系统性解决方案。保障天然气管道安全运行是一项长期而艰巨的任务,需要政府、企业、科研机构与社会公众的共同参与。

参考文献:

- [1] 吴凯,王康,陈黎,等.天然气管道工程建设和生产运行数字化转型实践[J].石化技术,2024,31(10):142-144.
- [2] 耿峰峰.天然气管道运输安全运行管理中的潜在风险及解决方案探究[J].石化技术,2024,31(09):288-290.
- [3] 张华,李强.基于大数据的天然气管道完整性管理技术研究[J].油气储运,2023,42(5):1-8.
- [4] 陈浩明.城镇管道天然气安全运行管理探究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(17):55-57.
- [5] 郭乃连,郭永超.天然气管道运输安全运行管理中的隐患及应对策略[J].化工管理,2015(04):126.

作者简介:

王传刚(1975-),男,汉族,山东济南人,大学本科,工程师,研究方向:管道保护、工程管理。

刘小爽(1985-),女,汉族,大学本科,助理工程师,研究方向:管道保护、工程管理。