

石油天然气管道运输安全防护技术

王一丽（湖南省天然气有限公司，湖南 长沙 410000）

摘要：石油天然气作为国家战略性能源资源，其稳定高效输送关系到国民经济运行与能源安全保障。在现阶段能源输送体系中，管道运输以其高效、连续、经济等特征，已成为石油天然气长距离输送的核心方式。基于此，简单分析石油天然气的根本价值，并结合石油天然气管道的主要运输安全问题，深入探讨石油天然气管道运输安全有效防护技术，涉及开展高质量防护工作防范外界破坏、严格把控管道材料质量确保过关、加大管道巡查管理监察保护力度等内容，以供参考。

关键词：石油天然气管道；运输；安全防护

中图分类号：TE88

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）023-0150-03

Oil and gas pipeline transportation safety protection technology

Wang Yili (Hunan Natural Gas Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: As a national strategic energy resource, the stable and efficient transmission of oil and gas is related to the operation of the national economy and energy security. In the current energy transmission system, pipeline transportation has become the core mode of long-distance transportation of oil and gas due to its high efficiency, continuity and economy. Based on this, this paper briefly analyzes the fundamental value of oil and natural gas, and combines the main transportation safety issues of oil and gas pipelines, and deeply discusses the effective protection technology of oil and gas pipeline transportation, which involves carrying out high-quality protection work to prevent external damage, strictly controlling the quality of pipeline materials to ensure clearance, and increasing pipeline inspection, management, supervision and protection, etc., for reference.

Keywords: oil and gas pipelines; Transport; Security protection

石油天然气在国家能源结构中处于基础性地位，承担着支撑工业生产、城市运行、交通运输等关键职能。随着能源消费总量增长与区域供应格局调整，石油天然气管道运输体系的安全运行已成为保障能源高效流通的重要前提。

1 石油天然气的根本价值

石油天然气作为现代能源体系中的核心载体，在国民经济各部门中具备不可替代的功能价值。一方面，能够为工业制造、交通运输、农业机械与城市运营等领域提供稳定动力来源。另一方面，其衍生品也广泛应用于化工、建材、医药等多个产业门类。尤其在“双碳”背景下，天然气作为较清洁的化石能源，在推动能源结构优化、减少碳排放方面具有过渡性作用。因其价值链条长、上下游关联度高，石油天然气在开采后需要通过高效安全的运输方式以实现价值转化，确保石油天然气在运输过程中的安全性，属于国家能源安全体系中的基础性任务之一^[1]。

2 石油天然气管道的主要运输安全问题

2.1 人为破坏

石油天然气管道在长距离穿越城市、乡村等多样化地理环境过程中，极易受到外部人为因素的干扰。其中，非法施工、违规取土、盗采资源、占压管道保护区等行为，是当前影响管道运输安全的典型表现形

式。此类行为通常缺乏对管道分布位置与结构特性的基本了解，易引发管道结构的外力损伤，甚至导致高压介质泄漏。与其他风险源相比，人为破坏呈现出突发性强、预警难度大、影响范围广的显著特征，且具有隐蔽性与非计划性，传统的静态防护体系难以实现有效干预。此外，相关施工单位安全意识薄弱、管道识别信息缺失，也很容易进一步加剧事故发生的可能性^[2]。

2.2 管道材料质量

管道本体材料的力学性能、耐腐蚀性、结构完整性是确保石油天然气输送系统稳定运行的基础保障，如选材过程中未严格依据管道输送介质特性、压力等级、服役环境条件开展技术适配，极易造成材料性能与应用场景不匹配的情况。

例如，部分管道采用的金属材料在酸性、湿热或富含腐蚀性离子的土壤环境中易发生电化学反应，导致表层结构逐步退化。而焊缝区域的残余应力集中或焊接工艺控制不当，也可能引发应力腐蚀裂纹扩展，加速管道失效，这类问题应成为油气管道生命周期管理的重要关注对象^[3]。

2.3 管道监管

石油天然气管道系统因其隐蔽性强、路径复杂、跨度大等特征，导致传统监管手段在全周期全空间覆

盖上存在一定局限性。

监管过程中常见问题包括数据获取不及时、信息更新滞后、巡检频次不足、智能化水平不高等,这使得部分管段存在长期监管空白区域,异常状况在很多时候未能被及时识别与上报,埋下重大安全隐患。此外,监管信息系统未实现统一平台集成、跨部门共享,也会引发数据孤岛效应,进而影响事故预警与响应效率。

2.4 设备老化

石油天然气管道系统的附属设备包括阀门、压缩机、控制单元、密封件及防护装置等,其运行状态与结构完整性对输送安全的影响极为深远。在长期服役过程中,设备元件普遍面临高温、高压、腐蚀、机械振动的多重影响,易引发磨损、老化、疲劳损伤等现象。老化设备在响应速度、密封性能、负载能力方面会出现不同程度退化,极易造成输送介质泄漏、控制失灵、系统联动失效等问题。

同时,若设备维护周期不合理、更换计划滞后,也将进一步加速设备性能衰减过程。此外,在一些投运时间较早的管道系统中,设备技术标准已无法满足当前运行工况要求,设备老化问题日益突出,这类问题也需要引起重视^[4]。

3 石油天然气管道运输安全有效防护技术

3.1 开展高质量防护工作防范外界破坏

石油天然气管道多处于野外或城乡结合区域,其空间分布广泛、路径隐蔽,极易受到非计划性外部干扰,其中人为破坏事件占据较高比例。为此,高质量防护工作的开展,需以精准化、系统化的技术路径为导向,构建全方位、全过程、多层级的防范体系,以最大程度降低外界破坏事件的发生概率及潜在影响。

具体来说,应明确物理防护边界的清晰可识别性,依照相关标准和法律法规,在管道保护区范围内设置明显警示标识与隔离带,并通过多语种、图形符号等方式提高其可读性,确保过往人员在视觉范围内即可识别管道存在。隔离带需根据地形与风险等级进行差异化设计,可采用硬质围栏、植被带、防穿越障碍物等形式,阻断非授权人员的随意靠近,形成最基础的物理隔离层。

在此基础上,还应构建高密度、全天候的实时监控体系,对重点管段及高风险区域实现图像监控全覆盖,如在地形开阔或事故高发区域布设高清视频监控探头,在设备终端搭载智能识别模块,通过红外热成像、目标识别、行为分析与人脸识别算法,对靠近管道的非授权人员、异常行为及可疑车辆进行实时预警。当系统识别出具有异常轨迹的目标时,可自动生成报

警信号并同步推送至调度指挥中心,实现“即识即警即控”的响应机制。

此外,还应通过多源传感融合技术实现全方位动态感知,如在地下管道区域埋设振动传感器、地磁感应装置、压力波检测装置,实时监测外部土壤扰动、地表重力异常,以及不明机械施工行为所引发的信号波动,辅以设定阈值模型与比对算法,即可对不同扰动强度进行分类评估,区分施工机械运行、地面车辆通过与自然扰动等多种情况,提升预警的准确性与时效性^[5]。

3.2 严格把控管道材料质量确保过关

石油天然气管道作为高风险承压设备,其材料质量直接决定输送系统的结构稳定性、运行安全性。材料选择不当、质量控制不严、加工工艺存在偏差,均可能导致结构性能下降、抗腐蚀能力减弱、服役寿命缩短等严重问题,进而引发泄漏、爆炸或次生灾害等重大事故。

因此,必须从材料源头严格把控质量,应基于输送介质特性、运行压力等级、地质环境及气候条件等多维参数开展材料适配性评估聚焦机械强度、耐腐蚀性能、热稳定性与抗疲劳性能等指标,并通过理论计算、实验验证与标准比对方式,筛选出适用于目标工程需求的钢种与非金属复合材料。在特殊腐蚀环境下,如盐碱地带、酸性土壤、湿热气候区域,可选用内衬聚乙烯、涂覆陶瓷材料的复合管道,以增强其化学稳定性与抗侵蚀能力。

同时,应强化原材料进场检验与合规性审查,在管道建设前期阶段,相关单位需依据国家及行业标准开展材料批次抽样检测,聚焦化学成分分析、金相组织检测、力学性能试验、无损检测,并由具备资质的第三方检测机构出具检验报告,而供货企业应具备ISO质量管理体系认证,材料生产全流程应具备可追溯性记录,确保所有进场材料符合技术规范要求,并满足工程项目的长期服役安全性。

进一步,还应系统开展材料加工与焊接过程的质量控制,加工制造环节应严格控制成形精度与残余应力分布,防止在后续使用中因应力集中导致裂纹扩展。焊接工艺应采用规范化焊接参数并辅以热处理工序,确保焊缝金属组织均匀,避免夹渣、未熔合、气孔等焊接缺陷的出现,焊缝区域作为受力薄弱点,其无损检测比例应高于普通管段,必要时应进行100%覆盖性检测。

3.3 加大管道巡查管理监察保护力度

石油天然气管道因运行环境广泛、路径复杂、埋深多样,具备明显的隐蔽性与时效性管理难题。加大

巡查与监察保护力度,属于实现多维防护体系闭环管理的关键步骤。

具体来说,应强化对地质环境动态变化、第三方施工活动、周边土地用途调整、自然灾害影响等要素的全周期监控与分析,结合遥感影像、无人机巡检、地理信息系统(GIS)对管道沿线区域进行高频动态监测。

考虑到第三方建设项目常因信息不对称而误触管道区域,应强化建设项目报备制度,辅以巡线员现场核查机制,以降低非法施工破坏风险。巡线作业应实行“人防+技防”协同机制,采用定期步巡、车巡、空巡相结合模式,增强全域覆盖能力。

在技术层面,管道内部与外部的同步检测机制推行也极为关键,前者可基于磁通泄漏检测(MFL)、超声检测(UT)与智能清管等手段,对管道壁厚、腐蚀坑、裂纹、凹陷等缺陷进行高精度识别。后者则需要围绕地面电位测试、土壤电阻率分析、电磁干扰识别,结合阴极保护系统的运行参数,动态评估其防腐效果。检测数据应统一接入信息管理平台,建立标准化记录与可追溯台账,用以历史趋势分析与智能预测模型的构建。

此外,还应依照生命周期理论,对输送管道开展风险分级、服役评估、维修策略制定,具体需要对重点管段、老旧设施与高后果区段建立分级管控策略,如设计寿命临近或管材技术标准已落后的设施,应提前纳入技术改造或退役评估计划。而频繁出现微腐蚀信号或压力波动异常的区域,则应纳入高频检测计划并进行现场核实。同时与企业安全管理体系与应急响应体系联动,即可形成信息共享、标准统一、处置协同的管理闭环。

此外,还应推广应用基于无线传感网络(WSN)、物联网平台与大数据分析技术的油气管道智能监控系统,通过云端数据中枢进行数据融合与模型比对,实时识别异常信号并结合历史数据建立预测性维护模型,数据融合与模型比对,可实时识别异常信号并结合历史数据建立预测性维护模型,提前识别潜在风险点,进一步提升巡查与维护工作实效性。

3.4 优化管道铺设规划方案满足需要

石油天然气管道的铺设规划属于前期建设阶段的核心环节,对后续工程质量、安全运行、运维成本、环境保护具有深远影响。由于油气管道多存在长距离、穿越性强、地质差异显著等特点,管道铺设方案应立足地理、环境、技术与社会等多重维度开展系统分析。在初步规划阶段,应以区域地质构造、水文条件、生态环境与土地利用现状为依据,通过卫星遥感、地理

信息系统(GIS)分析与实地踏勘相结合的方式开展多轮次比选。

选线方案应避开地震带、滑坡体、泥石流易发区等高风险区域,优先避让自然保护区、历史文化保护区域、高密度人口聚居区,减少对环境与人类活动的干扰。在地形复杂区域,应灵活采用埋地敷设、架空跨越、隧道穿越等多种敷设方式组合使用,根据局部地形条件因地制宜配置管道结构形式。同时,规划阶段应系统组织区域地质调查与管线路径专项勘探,重点获取土壤性质、地下水位、岩石坚硬度、沉降敏感性等关键参数。

对于特殊区域,如软土地基、湿陷性黄土、冻土带、膨胀土地区段,应进行多学科交叉论证,并提出相应的地基处理与结构补强技术建议。

此外,具体实践还应注重与地方发展规划的协同衔接,规划方案的动态调整也需要得到重视,在线路初步方案制定后,应同步开展与地方规划、国土、住建、交通、水利、电力等相关职能部门的技术会商,明确管道走向、保护带宽度、安全间距与特殊区域穿越形式,确保铺设规划不影响地方功能布局,并为后续支线接入、控制阀门设置、智能化监测系统布点等预留技术接口,确保一体化油气输送系统长期可持续运行。

4 结论

随着智能传感、物联网、大数据与人工智能等新兴技术在油气运输领域的广泛应用,管道安全防护体系将更加趋于自动化、智能化。为此,应不断完善政策法规体系,强化跨区域协同治理机制,推动技术研发与标准制定并行发展,形成全方位、多层次的油气管道安全保障格局。

参考文献:

- [1] 刘翔. 浅谈石油天然气管道安全管理问题及对策[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(15): 64-66.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 孙文. 石油天然气管道安全管理问题及对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(20): 73-75.
- [5] 王西, 张园园, 李红强. 石油天然气管道运输安全防护管理及其应对方式分析[J]. 清洗世界, 2022, 38(10): 178-180.

作者简介:

王一丽(1987-), 女, 汉族, 湖南醴陵人, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 地面工程与油气储运。