

油气长输管道运行风险分析与安全管控措施

李善峰

(中海油渤中(滨州)能源有限公司)

DOI: 10.65285/GCJSYGL.V2I3.001

摘要: 油气长输管道是我国能源输送的核心基础设施, 承担石油、天然气跨区域调配职能, 是保障国民经济发展和民生用能的关键“能源大动脉”。长输管道输送距离远、覆盖范围广、运行工况复杂, 且输送介质具有易燃易爆特性, 长期埋地运行易受自然环境、设备老化、人为活动及管理疏漏等因素影响, 极易引发泄漏、火灾、爆炸等安全事故, 造成人员伤亡、财产损失和生态污染。本文系统梳理油气长输管道运行阶段的主要风险类型, 深入剖析各类风险成因, 结合现场运行管理实际, 从技术防控、智能监测、制度管理、应急处置等维度构建系统化安全管控体系, 提出针对性防控措施, 以期提升管道运行安全稳定性, 为油气管道安全生产运营提供参考。

关键词: 油气长输管道; 运行风险; 风险分析; 安全管控; 智能防控

Risk Analysis and Safety Control Measures for the Operation of Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Shanfeng Li

CNOOC Bozhong (Binzhou) Energy Co., Ltd.

Abstract: Long-distance oil and gas pipelines constitute the core infrastructure for energy transportation in China. They undertake the cross-regional allocation of petroleum and natural gas and serve as vital "energy arteries" supporting national economic development and residential energy supply. Characterized by long transmission routes, extensive coverage and complex operating conditions, such pipelines carry flammable and explosive media. Operating underground for a long time, they are vulnerable to natural environments, equipment aging, human activities, management deficiencies and other hazards, which may easily trigger safety incidents including leakage, fire and explosion, leading to casualties, property losses and ecological pollution. This paper systematically sorts out the major risks during the operation phase of long-distance oil and gas pipelines and analyzes the corresponding causes. Combined with field operation practices, a systematic safety management and control system is established covering technical prevention, intelligent monitoring, institutional administration and emergency response. Targeted countermeasures are proposed to enhance the operational safety and stability of pipelines and offer references for the safe operation of oil and gas pipelines.

Keywords: long-distance oil and gas pipelines; operational risk; risk analysis; safety control; intelligent prevention and control

前言

随着我国能源体系持续完善, 全国油气长输管道已基本形成覆盖广泛、网络化的输送格局, 有力支撑了能源跨区域调配与清洁能源推广。然而, 管道多埋地敷设, 穿越山地、河道、城镇等复杂地貌, 服役期长达数十年, 长期面临高压、腐蚀及外力扰动等工况, 安全风险累积不容忽视。近年来, 城镇化施工、极端天气及管道老化等因素进一步加大运行压力, 事故时有发生。据统计, 油气管道事故主要由第三方破坏、腐蚀、地质灾害、设备故障及违规操作引发, 其中第三方施工破坏和腐蚀占比超 60%, 是主要风险来源。一旦发生泄漏, 可能引发燃烧、爆炸、中毒等次生灾害, 造成重大经济损失和生态环境破坏, 威胁群众生命财产安全和区域公共安全。因此, 精准辨识风险、科学分析机理、构建常态化管控体系, 对保障管道安全运行、筑牢能源安全防线具有重要意义。

一、油气长输管道运行主要风险及成因分析

(一) 自然环境与地质灾害风险

我国油气长输管道敷设区域跨度大, 大量管道穿越地质结构薄弱区域, 极易受地质灾害与极端天气影响, 是典型的高频自然风险源。西南、西北等管道密集区域地质条件复杂, 地震、山体滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害多发, 可直接挤压、扭曲、撕裂管道本体, 造成管道破损泄漏。同时, 极端天气会进一步加剧管道安全隐患, 强降雨冲刷导致管道覆土流失、管道裸露悬空; 低温冰冻易造成介质冻堵、管材脆化, 提升管道破裂概率; 高温环境则会加速防腐层老化失效, 加剧管道腐蚀^[1]。

沿海区域管道受海水侵蚀、台风风暴潮及盐碱土壤影响, 管道损耗速度显著加快。自然风险具备不可抗性、突发性强、预判难度大的特点, 灾害发生后管道修复难度大、成本高、周期长。近十年国内长输管道因地质灾害引发的

泄漏事故超 200 起，是管道安全运行不可忽视的重要威胁。

（二）管道本体腐蚀老化风险

腐蚀是油气长输管道最核心的内生风险，也是管道失效的主要诱因，占管道事故总量的 22.8% 左右，主要分为外腐蚀与内腐蚀两类。外腐蚀主要来自土壤、地下水及杂散电流干扰，埋地管道长期接触潮湿酸碱土壤，土壤微生物、离子会持续侵蚀管道外壁，破坏防腐涂层，长期作用下造成管壁减薄、点蚀、穿孔。服役年限超 20 年的老旧管道，防腐层普遍老化脱落，防护性能大幅衰减，腐蚀问题尤为突出。

内腐蚀主要由输送介质导致，油气中含有的硫化氢、二氧化碳、水分及固体杂质，会持续冲刷、腐蚀管道内壁，造成内壁锈蚀、结垢破损。同时，管道长期高压输送、介质高速流动产生的冲刷磨损，会加剧管壁疲劳损伤。管道腐蚀具备渐进性、隐蔽性特征，初期无明显运行异常，常规巡检难以发现，隐患长期累积极易诱发泄漏事故，严重影响管道服役安全与使用寿命。

（三）第三方人为破坏风险

第三方人为破坏是当前油气长输管道事故的首要诱因，高发于城镇、乡村、道路沿线等人类活动密集区域。随着城乡基建、道路改造、农田水利施工日益频繁，部分施工单位安全意识薄弱，未提前核查管道位置、未办理施工审批手续，盲目开展挖掘、碾压、爆破作业，极易造成管道划伤、挤压甚至断裂，引发油气泄漏事故。

同时，管道保护范围内违规搭建、重物堆放、私占土地等问题屡禁不止，长期堆载挤压会改变管道受力结构，增大管道变形破损风险。此外，少数不法分子非法打孔盗油、盗气，恶意破坏管道结构，不仅直接造成油气泄漏，还会留下永久性安全隐患。东部沿海经济活跃区域第三方破坏事故年均超 150 起，是管道安全管控的重点和难点。

（四）附属设备运行故障风险

油气长输系统包含管道本体及阀门、调压、安全阀、计量、监控等附属设备，设备可靠运行是管道安全输送的基础。长期运行下附属设备易老化失效：阀门密封易冲刷泄漏卡滞；调压及安全阀故障易造成管道超压，引发破损爆炸；监测仪表失准则会导致数据失真，隐患难以及时处置。部分企业运维管理不到位，检修校准更换制度落实不严，设备超期带病运行，风险不断累积。关键设备失效可直接引发泄漏、停运、爆炸事故。数据显示，设备故障引发的管道事故占比 35.3%，是仅次于第三方破坏的主要风险因素。

（五）人为操作与管理体系风险

人为操作不当与管理制度漏洞是管道安全事故的深层次系统性诱因。部分运维人员专业能力不足、安全意识淡薄，对操作规程掌握不熟练，日常巡检流于形式，无法识别微小隐患，作业中存在违规启停设备、参数调节不当、漏检误检等问题，人为诱发运行故障。同时，企业安全培训形式单一、实操性不足，应急演练常态化程度低，导致人员风险识别与应急处置能力薄弱。部分管道运营企业重生产、

轻安全，安全管理制度不完善，风险分级管控、隐患排查治理双重预防机制落实不到位，巡检维保、隐患整改流程不规范。岗位职责划分模糊、监督考核机制缺失，加之政企联动防控机制不完善、沿线安全宣传不足、第三方施工监管存在盲区，形成常态化管理漏洞，极易诱发安全事故。

二、油气长输管道安全管控核心措施

（一）强化地质与自然风险防控

针对地质灾害与极端天气风险，建立常态化排查与前置防护机制。全面开展管道全线地质风险分级排查，对滑坡、塌陷、河道穿越等高风险区段建立专项台账，通过修建护坡、挡土墙、排水沟、护墩等防护工程，提升管道抗灾能力，及时对裸露、悬空管道进行覆土回填与加固支护，消除结构隐患^[3]。搭建气象、地质预警联动机制，提前接收极端天气、地质灾害预警信息，及时采取管道降压运行、设备防护、专人值守等防控措施。灾害过后第一时间开展全线隐患复查，重点整改冲刷、破损、裸露等问题。新建管道优先规避地质薄弱与灾害高发区域，从源头降低自然风险。

（二）落实精细化防腐技术

构建外防腐、内防腐、阴极保护三位一体的综合防腐体系。定期检测管道外壁防腐涂层状态，对老化、脱落、破损涂层及时修补翻新，采用高耐腐新型防腐材料强化外壁防护，同步检测杂散电流干扰，安装排流、绝缘装置，降低电化学腐蚀速率。常态化运维阴极保护系统，定期校验保护电位与电流参数，保障全线阴极保护全覆盖有效运行。优化介质净化工艺，降低油气中水分、硫化物、杂质含量，从源头减少内壁腐蚀；定期开展清管作业与内壁检测，清除结垢与腐蚀产物，建立腐蚀动态监测台账，根据管壁损耗情况提前制定老旧管道维护与更换方案，杜绝腐蚀穿孔事故。

（三）构建多方联动防护体系

以源头管控、全程监管、多方联动为核心，防控第三方破坏风险。完善管道沿线警示标识，在村镇、路口、施工密集区增设警示桩、防护设施，明确管道保护范围与作业禁令。严格执行施工报备审批制度，临近管道施工必须提前报备、现场勘查、制定专项防护方案，安排专人全程监护，杜绝无审批、违规施工。常态化开展管道占压专项整治，闭环清理违规建筑、堆载物与违章种植。通过线下宣讲、新媒体推送等多元形式开展管道普法宣传，提升沿线群众与施工单位安全意识。联合公安、应急、住建等部门开展执法行动，严厉打击非法盗油气、恶意破坏管道等违法行为，形成监管震慑。

（四）规范设备全生命周期运维

建立附属设备全生命周期精细化管理制度，完善设备台账，实现一物一档、动态管控，详细记录设备型号、安装时间、检修周期与运行状态。严格落实定期检修、润滑、校准、保养制度，及时更换老化、失效、超期设备，杜绝设备带病运行。规范管道输送压力、温度、流量等核心参数管控，避免参数大幅波动、超压超负荷运行，减少设备

与管道疲劳损伤。完善设备故障专项处置预案,设备出现失灵、工况异常时,快速停机抢修、更换设备,及时恢复正常输送,防范小故障演变为重大安全事故。

(五) 搭建智能监测平台

依托物联网、大数据、人工智能技术,推动管道安全管控向主动预警、精准防控转型。搭建管道智能监控平台,在关键区段、重点设备布设高精度传感器,24小时实时采集运行数据,实现工况、设备、环境全方位动态监测。引入智能识别预警算法,精准研判压力异常、微小泄漏、外力扰动、腐蚀加速等隐患,实现分级预警、终端推送,保障隐患早发现、早处置。结合无人机巡检、管道内检测、视频监控等技术,弥补人工巡检盲区,提升隐患排查精度与效率。建立动态风险评估模型,结合多源数据更新风险等级,实现分级精准管控。

(六) 完善管理制度体系

健全标准化、规范化安全管理体系,压实全员安全生产责任制,将安全责任细化至各岗位、各环节。深化双重预防机制落地,常态化开展风险辨识、评估分级,针对不同风险等级制定差异化管控措施;建立隐患排查、整改、复核、销号闭环管理制度,彻底整治各类安全隐患^[3]。统一巡检、维保、作业操作标准,杜绝粗放作业与违规操作。完善员工培训考核体系,通过线上线下结合的方式开展技能、安全、应急专项培训,考核合格方可上岗。建立安全监督绩效考核机制,倒逼各项安全管理制度落地落实,杜绝管理空档与责任缺位^[4]。

(七) 优化应急处置体系

结合管道风险特征,修订完善泄漏、火灾、爆炸、地质灾害等专项应急预案,明确组织机构、响应流程、处置规范,建立三级应急响应机制,实现分级精准处置。常态化开展实战化应急演练,联动地方消防、应急、环保部门

开展政企联合演练,磨合联动机制,提升抢险队伍实战能力。完善沿线应急物资布局,定点储备封堵设备、防护器材、抢险工具等物资,定期检修更新。建立事故复盘分析机制,总结隐患处置与事故应对短板,持续优化预案与管控策略,全面提升应急处置能力,最大限度降低事故损失、防范次生灾害^[5]。

结语:

油气长输管道运行风险具备复杂性、隐蔽性与突发性,自然地质灾害、管道腐蚀老化、第三方破坏、设备故障及管理漏洞是五大核心风险,各类风险相互耦合叠加,严重影响管道输送安全与公共安全。保障油气管道安全稳定运行,需摒弃传统被动防控模式,构建“源头预防、过程管控、智能监测、闭环治理、应急兜底”的全方位防控体系。通过强化自然风险防护、落实精细化防腐技术、严控第三方破坏隐患、规范设备全生命周期运维、搭建智能预警平台、完善管理制度与应急体系,可全方位化解管道运行安全风险。

参考文献:

- [1] 胡永光.长距离油气储运技术面临的问题及解决策略[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(17):143-145.
- [2] 谢孝宏.浅谈人工智能在油气长输管道的应用[J].石油化工自动化,2025,61(5):1-6.
- [3] 汪海波,柴捷,闫定弘,等.长输油气管道环境敏感区管理信息化[J].油气田环境保护,2023,33(1):59-62.
- [4] 卜铭寒.碳中和目标下长输油气管道碳排放核算与环评方法[J].石化技术,2026,33(6):211-213.
- [5] 雷阳.油气储运长输管道防腐技术应用[J].石油和化工设备,2026,29(6):303-305.

作者简介: 李善峰(1983年-)、男、汉族、山东东营人、本科、学士、工程师、研究方向:石油天然气。