

天然气长输管道运行安全风险及预防措施

翁晓霞

(南京益美沃电子科技有限公司, 江苏 南京 211500)

摘要 天然气长输管道作为能源输送的关键设施, 其安全运营至关重要。本文详细探讨了管道在运行过程中会遇到的自然环境风险、技术与操作风险以及第三方破坏等安全风险因素, 并对现代风险评估方法进行了深入分析, 包括定量与定性风险评估技术的应用, 阐述了从技术和管理两个层面的具体预防措施, 旨在能为显著降低天然气长输管道的运行风险提供借鉴, 从而确保管道系统的高效、安全运行。

关键词 天然气长输管道; 运行安全风险; 风险评估; 风险管理

中图分类号: TE8

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0067-03

随着天然气在全球能源消费中所占比重的不断上升, 天然气长输管道的安全性问题日益受到关注。长输管道作为连接天然气生产地与消费市场的关键设施, 其安全运行直接关系到国家能源安全和经济稳定。管道在运行过程中遭遇多种风险, 包括自然灾害的直接破坏、技术故障引发的事故以及第三方故意破坏等。这些风险的存在不仅威胁到供气安全, 还会对环境造成不可逆的损害。

1 天然气长输管道的基本情况

1.1 天然气管道的类型与构造

天然气长输管道主要用于跨区域输送大量天然气, 按照用途和压力等级分为主输管道和分输管道, 构造上主要包括管体、阀门、压缩站和测量站等组成部分。管道材质多采用高强度、低温韧性好的钢材, 如 X80 钢级, 以适应高压气体输送的需求和极端环境的影响。在设计与施工过程中, 焊接技术和防腐技术是保障管道安全运行的关键技术; 现代管道建设通常使用自动化焊接技术提高焊接质量和效率, 采用三层 PE 或熔结环氧等材料进行外涂覆, 以及阴极保护等手段来防止腐蚀。此外, 为确保天然气输送过程的连续性和安全性, 管道系统会配备高精度的流量和压力监控设备, 利用 SCADA 系统实现实时数据采集和远程控制。压缩站则根据管道输送距离和地形高差设定间隔和配置, 有效维持管道内天然气的压力稳定, 确保能源的高效输送。

1.2 管道输送过程和工艺流程

天然气从提取井场开始, 经过预处理清除杂质和水分后, 通过加压站提升至输送压力, 进入长输管道系统。在输送过程中, 为保持管道内天然气的流动性和压力稳定性, 压缩站沿线定期布置, 利用涡轮增压

或往复式压缩机对天然气进行再压缩, 确保其在输送过程中压力不降低至下限。此外, 输气管道内配有多种自动检测系统, 如质量分析仪、温度、压力传感器及流量计等, 实时监控输气状态和管道完整性。在关键节点, 如转运站或分配站, 天然气通过调压装置调整压力, 适配区域网格的需要或向城市燃气网分输^[1]。

2 天然气长输管道运行的风险因素

2.1 自然环境风险

天然气长输管道在运行过程中面临着多种自然环境风险, 其中地质灾害如地震、山体滑坡及沉降对管道的安全性构成直接威胁。地震能够导致地面剧烈震动及位移, 进而引起管道断裂或接口泄漏。山体滑坡及沉降则会因土壤移动导致管道变形甚至破裂。此外, 极端气候条件如寒冷天气和暴雨也会增加管道运行风险; 低温使管道材料脆化, 减少其抵抗外力的能力, 而暴雨导致的地表水侵蚀及洪水可以暴露管道或影响其支撑结构, 增加泄漏或断裂的风险。在某些地区, 高温和干旱条件也会通过土壤干燥收缩影响管道的稳固性, 增加应力腐蚀的可能。加之, 冻土地区的季节性冻融循环会导致管道上下移动或弯曲变形, 这种循环过程中管道接缝和焊点是风险集中的部位。这些自然环境因素要求管道设计和运行时必须考虑到极端和复杂的外界条件, 以确保天然气输送的连续性和安全性^[2]。

2.2 技术与操作风险

技术与操作风险是天然气长输管道运行中的关键风险因素, 涵盖设备老化、技术故障及操作失误等多个方面。首先, 设备老化, 特别是对于使用多年的管道, 存在材料疲劳、腐蚀侵蚀等问题, 这些因素大大增加了管道发生泄漏或破裂的可能性。技术故障如阀门失

灵、监控系统错误等，也会导致无法正确调控管道内的压力和流量，进而引起安全事故。此外，操作失误是另一大风险源，包括但不限于数据解读错误、监控失误或应急措施执行不当，这些都是因为人为因素导致严重的安全问题。管道维护不当如清洁和检查频率不足，也常常导致问题被忽视，错过修复最佳时机。在现场操作中，复杂的管网布局及标识不明确也常常增加操作难度，提高事故发生概率。此外，随着天然气输送依赖度增高，任何小的技术或操作失误都会导致大规模的供气中断或安全事故，造成严重的经济损失和公众安全影响。

2.3 第三方破坏

第三方破坏是影响天然气长输管道安全的一个重要风险因素，通常包括非法挖掘、恶意破坏或其他未经授权活动。非法挖掘活动往往因为缺乏对管道位置的准确信息或忽视相关法律法规，导致在施工过程中意外损坏地下管道，这种情形不仅会引发天然气泄漏，甚至会导致爆炸事故，威胁公共安全。恶意破坏则源于社会不稳定因素或个人及团体的破坏行为，例如通过爆破、切割或其他方式故意损毁管道，其破坏性通常更大，后果也更为严重。此外，管道经过偏远或较少监管的区域时，监控不足亦会成为第三方破坏的助力因素。这些未经授权活动不仅对天然气供应链构成直接威胁，还会对环境造成长期的负面影响。由于管道系统的关键性和脆弱性，第三方破坏的风险管理成为天然气输送安全中不可忽视的一环，需要严格的监控和迅速的应对措施以防范此类风险事件发生。

3 风险评估方法

3.1 定量与定性风险评估方法

在天然气长输管道的风险评估中，定量与定性方法各有其独到之处，用于系统地识别、分析和评估潜在风险。定性风险评估主要依赖于专家的经验判断，通过风险矩阵（考虑风险发生的可能性与后果的严重性）来分类风险等级，常用于初步识别和优先级排序，为决策提供基础。此方法虽依赖主观判断，但能有效筛选关键风险点，快速执行。相对地，定量风险评估使用数学模型和统计数据，如故障树分析（FTA）和事件树分析（ETA），这些技术能计算特定风险事件发生的概率，及其导致的经济损失，为管理层提供量化数据支持决策。例如，在管道腐蚀评估中，可以利用概率密度函数来预测腐蚀速率和管道失效的时间，从而制定更有效的维护计划。此外，蒙特卡洛模拟和贝叶斯网络也被广泛应用于风险预测和决策支持，通过模拟成

千上万次可能的结果来预测风险事件的全范围影响^[3]。

3.2 现代风险评估技术

现代风险评估技术在天然气长输管道的安全管理中扮演着至关重要的角色，这些技术利用先进的软件和硬件工具，以数据驱动和算法支持，提升评估的准确性和效率。GIS（地理信息系统）技术通过集成地形、气象和管道数据，在空间上可视化风险分布，辅助决策者理解风险源和受影响区域，特别是在规划管道路线和应对自然灾害风险时的应用显得尤为重要。大数据技术通过分析历史数据和实时数据，能够识别出风险发展的趋势和模式，支持预测性维护和故障预防策略的制定。人工智能，尤其是机器学习和深度学习，在风险评估中的应用日益增多，通过训练模型预测管道特定部分的失效概率，优化检测和维护计划。例如，使用神经网络分析腐蚀数据，可以预测管道腐蚀速率和破裂时间点。同时，无人机和卫星技术用于远程监测和实时数据收集，能极大提升访问偏远或危险区域的能力，增强风险检测的全面性和时效性。

4 管道安全风险管理与预防措施

4.1 风险管理

管道安全风险是一个系统的过程，包括风险识别、风险评估、风险控制及风险监测四个主要环节。首先，风险识别通过集成地理信息系统（GIS）、实时监控数据和历史维护记录来确定对管道运行构成威胁的各类风险因素，包括自然灾害、技术故障及第三方破坏等。随后，在风险评估阶段，利用定量和定性评估方法如故障树分析（FTA）和事件树分析（ETA），以及现代技术如大数据分析和人工智能，来估算各风险因素发生的概率和造成的影响，确定风险等级。在风险控制环节，根据评估结果制定相应的预防和应对策略，包括技术优化、加强巡检、应急响应计划及员工培训等。例如，对于高风险区域的管道能增加阴极保护，对腐蚀控制采取更严格的措施。最后，风险监测通过实时监控系统如SCADA，以及定期使用内检器（智能猪）和无人机巡检，持续跟踪管道运行状态和风险变化，确保早期发现问题并迅速响应。此外，此过程中还需建立完善的数据反馈机制，不断地从实际操作中学习和优化风险管理策略，以适应环境和操作条件的变化，保证管道系统的高效与安全运行。

4.2 预防措施具体策略

4.2.1 技术层面的措施

在天然气长输管道的安全预防措施中，技术层面的策略发挥着基础和关键的作用。首先，管道材料和

设计的优化是核心,选择高强度、耐低温和抗腐蚀性强的材料(如 X80 钢)至关重要,这些材料能够承受高压力和恶劣环境的挑战,有效延长管道的服务寿命。在管道的焊接过程中采用自动化、高精度的焊接技术,如自动埋弧焊,确保焊缝的均匀性和密封性,减少因焊接缺陷引起的泄漏风险。同时,应用高效的非破坏检测技术(如超声波检测、射线检测)进行焊缝和管体的质量控制,确保管道在制造和安装阶段的质量符合最高标准^[4]。

此外,防腐技术的应用也是确保管道安全的重要环节。通过对管道外表面施加三层聚乙烯(3LPE)或熔结环氧涂层,可以有效防止环境因素,尤其是土壤中的湿气和盐分对管道的腐蚀。内部涂层如环氧树脂也被用于防止天然气中硫化物等腐蚀性气体对管道内壁的侵蚀。同时,采用阴极保护系统,通过施加电流到管道上抵消土壤中的电化学反应,进一步提升管道的抗腐蚀能力。定期的管道完整性管理,包括使用内部检测器(智能猪)进行内部检查,不仅可以检测出腐蚀、裂纹、凹陷等缺陷,还可以评估管道的整体健康状况,及时进行必要的维护和修复。

4.2.2 管理层面的措施

在天然气长输管道的安全管理中,管理层面的措施同样关键,它涉及制定和实施一系列的策略和程序来预防风险。首先,建立一个全面的风险管理框架是基础,这需要管道运营商定期进行风险评估,包括识别潜在的风险点,分析这些风险会导致的后果,以及评估各种预防措施的有效性。这一过程依赖于精确的数据收集和分析,包括从实地检测、历史记录和智能监控系统中汇总数据。在此基础上,制定应对策略,如安全操作程序(SOPs),并确保这些程序的实施既严格又系统,涵盖从日常操作到紧急响应的所有方面。例如,对操作人员进行定期的安全培训,强化他们对安全操作规程的理解和执行能力,是减少操作失误的有效方法。

此外,建立一个高效的监控和通信系统也是管理层面措施的重要组成部分。利用先进的 SCADA 系统实时监控管道的压力、流量和其他关键参数,可以及时发现异常情况并启动预警程序。在此基础上,配合 GIS 技术,运营商能够迅速定位到问题发生的具体位置,有效地调配维修团队进行快速响应。同时,紧急响应计划的制定和演练也不可或缺,包括与地方政府、救援机构以及其他关键利益相关者的协调,确保在发生泄漏或其他紧急事件时,可以迅速有效地控制情况,最大限度地减轻事故后果^[5]。

4.2.3 法律和政策支持

在天然气长输管道的运行和管理中,法律和政策的支持起到了框架和指导的作用,确保管道安全与环境保护标准的执行到位。具体来说,各国政府通常会制定严格的行业规范和安全标准,如美国的“天然气管道安全法案”和欧盟的相关能源安全法规,这些都要求管道运营商不仅要在建设阶段符合工程和环境标准,还必须在运营过程中执行持续的安全评估和风险管理程序。此外,政府机构通常设有专门的监管部门,负责监督天然气管道的安全运营,通过定期的检查和评估确保运营商遵守法律法规,及时整改潜在的安全隐患。

同时,政策支持也表现在推动技术创新和最佳实践的普及应用上。许多国家提供研发资金支持,鼓励开发新技术如高性能材料和智能检测技术,以提高管道安全性和效率。政府还常常与行业协会合作,制定统一的操作标准和应急响应协议,促进知识分享和技术交流,帮助行业提升整体的安全管理水平。此外,对于超过特定老化阶段的管道,政策也会要求运营商进行升级改造,使用先进技术和材料来替换旧的部分,确保管道系统的整体安全性符合现代标准,有效预防事故的发生。

5 结束语

确保天然气长输管道的运行安全是一个涉及多方面技术和管理细节的挑战。从采用先进的材料和技术以优化管道设计和构造,到实施综合的风险评估,以及发展精密的监控和应急响应系统,每一步都不容忽视。技术层面的措施如自动化焊接、高效的防腐处理以及定期的内部检查使用智能猪等,都是保障管道物理安全的关键。同时,管理措施如全面的风险管理框架、持续的员工安全培训以及应急响应策略的制定和更新,能确保这些技术能被正确执行,及时应对各种潜在风险。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 苏成果.石油天然气管道安全管理存在的问题及解决方法[J].化工管理,2022(28):105-107.
- [4] 金贺新,希玉辉.天然气长输管道的安全隐患及对策[J].中国化工贸易,2019(12):269.
- [5] 王伟国.关于输油管道安全生产运行控制措施的思考[J].大科技,2020(12):182.