

天然气集输管道生产运行管理措施研究

张智超（中国石油化工股份有限公司华北油气分公司采气一厂，河南 郑州 450000）

摘 要：天然气集输管道作为能源输送的重要基础设施，其安全性至关重要，由于管道运行涉及高压气体输送，且穿越复杂地形和环境，影响其安全运行的风险因素相对较多，生产运行管理是提高管道运行可靠性的重要措施。本次研究将结合天然气集输管道生产运行管理中存在的问题以及问题出现的原因，对集输管道生产运行安全管控措施以及生产运行优化措施分别进行研究，为提高天然气集输管道的运行效率以及可靠性奠定基础。

关键词：天然气；集输管道；生产运行；安全管控；优化管理

中图分类号：TE832 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）015-0120-03

Research on Production and Operation Management Measures for Gas Gathering and Transportation Pipelines

Zhang Zhichao(China Petrochemical, North China Oil and Gas Branch, Gas Production Plant I, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: As an infrastructure for energy transportation, the safety of gas gathering and transportation pipelines is of vital importance. Due to the involvement of high-pressure gas transmission and the crossing of complexography and environment, there are relatively many risk factors affecting its safe operation. Production and operation management is an important measure to improve the operational reliability of pipelines. This research combine the problems existing in the production and operation management of gas gathering and transportation pipelines and the reasons for the problems, and study the safety control measures and production and operation measures respectively, laying a foundation for improving the operational efficiency and reliability of gas gathering and transportation pipelines.

Keywords: Natural gas; Gathering and transportation pipeline; and operation; Safety control; Optimization management

天然气作为一种清洁高效的能源，在全球能源结构转型中扮演着至关重要的角色，天然气集输管道作为天然气从气田到终端用户输送的重要基础设施，其安全稳定运行直接关系到能源供应的可靠性和经济性。随着我国天然气消费需求的持续增长，管道输送规模不断扩大，管网结构日趋复杂，目前天然气集输管道运行面临众多的问题，管道长距离和高压力输送天然气，易受腐蚀和机械损伤等多种因素的影响，安全风险较高^[1]。随着数字化和智能化技术的快速发展，管道生产运行管理模式正向自动化和信息化方向转型，传统管理方式难以满足现代化管道运营的需求。通过对天然气集输管道的安全管控措施以及生产运行优化措施分别进行研究，有助于推动我国管道管理工作领域的进一步发展。

1 天然气集输管道生产运行管理现状分析

1.1 管理中存在的主要问题

管理体系不够完善，责任划分不明确，各部门之间协调配合不足，导致管理真空区域的出现，在实际运行中，往往出现重建设轻管理的现象，管理标准化与精细化程度不高。技术支撑体系薄弱，大数据和物

联网等先进技术应用不足，多数集输管道企业仍然依靠传统的人工巡检和经验管理，数字化和智能化水平较低，无法实现实时监测和智能预警，影响了管理效率和应急处置能力，设备状态监测与故障诊断技术应用不足，难以实现预测性维护。专业人才匮乏，技术人员专业素质参差不齐，天然气集输管道技术涉及多学科知识，对管理人员的综合素质要求较高，而目前专业人才培养跟不上行业发展速度，员工培训体系不健全，导致管理队伍能力不足^[2]。安全风险管控机制尚不健全，部分企业对管道风险识别和防控体系建设重视不够，缺乏系统性的完整性管理方法，风险源数据不完整，导致隐患排查不彻底，同时，应急预案针对性不强，应急演练形式化，影响实际应急处置效果。

1.2 问题产生的原因分析

我国天然气管网建设在近年来呈现爆发式增长，而相应的管理体系与技术标准建设未能同步跟进，导致重建设和轻管理现象普遍存在，管理理念滞后，部分企业仍然延续传统的粗放式管理模式，未能及时转变为精细化和标准化管理。天然气集输管道的数字化和智能化转型需要大量资金投入，但在经济效益与安

全投入之间,企业往往侧重短期经济效益,对长期安全管理的投入不足,造成技术装备更新缓慢,管理信息化水平低下。天然气集输管道管理涉及多学科交叉知识,既需要掌握工艺技术,又需具备现代管理理念和信息技术应用能力,而目前行业人才培养体系不完善,校企合作不充分,在职培训缺乏系统性,难以培养出满足行业发展需求的复合型人才^[3]。随着我国天然气管网覆盖范围不断扩大,管道穿越地质复杂区域增多,面临的自然灾害和第三方破坏风险上升,而现有管理体系未能充分适应这些新情况和新问题。

2 天然气集输管道生产运行安全管控措施

2.1 完整性管理体系构建

管道完整性管理体系是保障天然气集输管道安全可靠运行的核心,其构建需遵循系统化和持续改进的理念。应建立组织保障机制,明确领导层和执行层的责任,成立专门的完整性管理团队,确保各项工作有序开展,建立覆盖设计和维护全过程的管理框架,形成闭环管理机制。通过收集整理管道地理信息和维修历史等信息,建立统一的数据平台,采用GIS技术,实现管道数据可视化管理,提升数据共享效率,制定严格的数据采集和更新机制,确保数据准确性和时效性,为风险评估提供可靠依据。基于管道材质和历史缺陷等因素,采用定量与定性相结合的方法,识别腐蚀和第三方破坏等潜在风险,建立风险矩阵模型,对管道各段进行风险等级划分,实现差异化管理^[4]。根据风险评估结果,合理选择检测和压力测试等手段,确定检测周期和范围,建立检测数据分析模型,实时监测管道状态变化,评估缺陷发展趋势,科学判断管道安全裕度。

2.2 风险评估与分级管理

风险评估与分级管理是集输管道安全管控的核心环节,通过科学的评估方法识别潜在风险并实施差异化管理。建立系统化的风险评估框架,将管道系统分为若干评估单元,考虑输送介质特性和环境条件等因素,采用定量与定性相结合的评估方法。风险识别阶段应充分利用历史数据分析与影响分析以及危害与可操作性研究等方法,全面识别各类潜在风险因素,对于数据不足的区域,可采用德尔菲法等专家评估方法进行补充,确保风险识别的全面性。在风险计算方面,采用发生概率和后果严重性相结合的基本模型,建立量化计算标准,发生概率评估应考虑管道年限和历史故障频率等因素,后果严重性评估应考虑人口密度和经济影响等维度,通过二维风险矩阵或更复杂的多维模型,对各评估单元进行风险等级划分。基于风险等级实施分级管理,对高风险区段采取更频繁的检测和更及时的维修措施,制定差异化的巡检频次和检测周

期,优化资源配置,高风险区段可采用实时监测技术,中风险区段定期检测,低风险区段适当延长检测周期。

2.3 泄漏监测与应急响应

天然气集输管道泄漏监测与应急响应是安全管控体系中的关键环节,直接关系到事故的早期发现和有效处置。建立多层次和全方位的泄漏监测体系是前提,应综合应用多种技术手段,形成互为补充的监测网络,基于压力和流量监测的实时数据分析系统是基础,通过统计模型和压力波动分析,实现异常工况的快速识别,配合负压波检测和声波检测等技术,可提高小泄漏检出率和定位精度^[5]。分布式光纤传感技术的应用为泄漏监测提供了新手段,通过温度场和应变场变化实时监测管道状态,具有高灵敏度和全线覆盖优势,对于重点区段,可布设甲烷浓度监测仪和激光遥测等设备,构建多参数立体监测网络,同时,定期开展无人机巡检等外部监测活动,弥补固定设备监测的盲区。构建智能化泄漏报警平台,整合各类检测数据,通过深度学习算法优化判别规则,减少误报率,提高报警可靠性,系统应具备自诊断功能,确保监测设备本身的可靠运行。

2.4 安全预警与防腐保护

天然气集输管道安全预警与防腐保护是确保管道长期安全运行的重要保障措施,建立气象灾害预警机制,通过接入气象部门数据,监测管道沿线的暴雨和地质灾害等威胁,提前预判可能引发的管道风险,制定针对性防范措施。开发第三方施工活动监控系统,通过高分辨率卫星遥感和光纤振动监测等技术,及时发现管道周边的挖掘和建设等活动,防止外力破坏。建立管道运行参数预警机制,对压力和流量等关键指标设定安全阈值,一旦超限立即触发报警,防止超压和超温等异常情况发生。防腐保护是延长管道使用寿命的核心技术,应采用科学的涂层体系,如三层PE和环氧粉末等高性能防腐材料,提供物理隔离保护。阴极保护系统是防止管道外腐蚀的有效手段,通过牺牲阳极或外加电流方式,使管道保持阴极状态,抑制腐蚀电池的形成,建立阴极保护效果评估体系,定期监测管道和土壤电位,确保保护电位满足标准要求。

3 天然气集输管道生产运行优化管理措施

3.1 数字化管理系统设计

天然气集输管道数字化运营管理系统是实现智能化和精细化管理的核心支撑平台,其设计应遵循统一规划和分步实施的原则,系统架构应采用感知层、传输层、平台层、应用层的分层设计思路,构建全面的数字化管理生态体系。感知层主要由各类传感器和智能仪表组成,实现对管道运行参数和环境状态的全面感知,引入物联网技术,推动传统设备智能化改造,

实现现场数据采集自动化。传输层采用有线与无线相结合的方式,构建覆盖全线的通信网络,保障数据实时和可靠传输,关键区段应配置冗余通道,确保通信安全。平台层是系统的核心,数据中心需建设统一的数据仓库,打破数据孤岛,实现各类系统数据的集中存储与管理,集成平台负责对 SCADA 和 GIS 等各子系统进行整合,提供统一的数据交换和共享服务,同时,建立完善的网络安全防护体系,确保系统安全稳定运行。应用层是面向业务的功能模块集合,通过大数据分析和人工智能技术,实现管道运行状态实时监控,工况优化分析,能耗管理,故障预测与诊断等高级应用,构建可视化决策支持平台,为管理人员提供直观的数据展示和辅助决策功能。

3.2 智能巡检与故障诊断

天然气集输管道智能巡检与故障诊断是提升管道运行安全性和可靠性的关键技术手段,传统的人工巡检方式存在效率低和主观性强等缺陷,而智能巡检技术的应用可显著提升巡检质量和效率。建立多元化的智能巡检体系,将无人机巡检与固定式监测设备相结合,形成空中和地面多维监测网络。无人机巡检适用于管道走廊环境监测,配备高清摄像和激光雷达等多传感器系统,能快速发现第三方施工和地质变化等异常情况,管道内检测机器人通过管道内部爬行,配备多种检测装置,能精确检测管壁厚度和变形等缺陷,为评估管道健康状态提供直接依据。智能巡检系统应结合物联网和边缘计算技术,实现数据实时传输与初步分析,建立标准化的巡检数据采集规范,确保数据的一致性和可比性,开发智能巡检管理平台,实现巡检计划自动生成和巡检结果智能分析等功能。故障诊断方面,建立基于大数据和人工智能的故障预测与诊断系统,通过收集管道历史运行数据和故障案例,构建故障特征库,利用机器学习算法建立故障模式识别模型。

3.3 设备维护与检修管理

天然气集输管道的设备维护与检修管理是保障系统安全稳定运行的重要环节,应从传统的被动维修模式向预测性维护转变。建立科学合理的维护检修体系,明确维护策略分类,根据设备重要性和故障影响程度,将设备分为关键设备和一般设备,实施差异化维护策略。构建基于风险的检修决策模型,通过评估设备状态及其影响程度,计算设备风险值,作为检修优先级排序的依据,将有限的维护资源优先配置到高风险设备上,提高资源利用效率,开发设备健康评估模型,通过实时监测数据分析设备状态劣化趋势,科学预测剩余使用寿命,为维修决策提供依据。建立标准化的维护作业管理体系,制定详细的维护标准和规程,明

确维护项目和质量标准,应用移动终端技术,实现维护工单电子化分发和结果实时反馈,提高维护作业标准化水平和执行质量。

3.4 能效优化与节能减排

天然气集输管道作为能源输送的重要载体,其自身能耗优化和节能减排工作对实现碳达峰和碳中和目标具有重要意义。建立管网能效评价体系,通过设定单位输气量能耗和管网输送效率等关键指标,对管网能效水平进行科学评价,构建能耗在线监测系统,实时采集各场站和设备的能源消耗数据,为能效分析提供数据支撑。对于压缩机站作为管道系统的主要能耗设备,应重点优化其运行工况,通过建立压缩机性能曲线模型,结合管网流量和压力需求,寻找最佳运行工况点,避免低负荷和低效率运行。针对多台压缩机并联运行的站场,开发智能调度优化算法,根据输气量变化自动调整压缩机组合方式,实现总体能耗最小化。管网水力工况优化是另一重要方面,建立管网模拟仿真平台,通过压力和流量分布优化,降低系统阻力损失,合理设置管道运行压力,避免超压输送造成的能源浪费,对于存在高压降区段,可考虑增设中间增压站或更换大口径管道,降低能耗。

4 结论

综上所述,在天然气集输管道运行过程中受到多种因素的影响,导致集输管道生产运行管理工作的开展难度大幅提升,通过引进全面的安全管控措施,并对生产运行管理工作进行合理的优化,可以全面优化管道输送调度,提高输送效率,减少能耗。同时,当前,数字化和智能化技术在油气行业应用日益广泛,天然气管道的智能监测和自动化调控等技术不断发展,通过引进数字化和智能化技术,有助于推动智能化管道管理体系建设。

参考文献:

- [1] 郝郁,汪相逢,尹航,等.油气集输管道完整性管理关键技术探讨[J].全面腐蚀控制,2022,36(09):124-127.
- [2] 李千.油气田地面管道和场站技术[J].化学工程与装备,2022,(08):81-83.
- [3] 陈晶.关于天然气长输管道的调度运行管理的若干思考[J].中国科技投资,2021,(25):40-42.
- [4] 黄海.天然气长输管道的调度运行管理探讨[J].清洗世界,2021,37(04):86-87.
- [5] 徐迁.天然气长输管道的调度运行管理分析[J].当代化工研究,2020,(19):22-23.

作者简介:

张智超(1988-),男,汉族,本科,助理工程师,从事生产运行管理工作。