

# 天然气长输管道的设计与运行优化研究

黄金耀 (寰宇时代 (西安) 工程设计有限责任公司东营分公司, 山东 东营 257000)

**摘要:** 本文以天然气长输管道的设计与运行优化为研究核心, 首先梳理设计阶段需遵循的规范标准、线路规划设计及材料设备选型要点, 明确设计环节对管道安全运行的基础性支撑作用。接着分析影响管道运行的三类关键因素, 即自然条件、人为操作及管道自身状态, 揭示阻碍管道稳定运行的核心问题。最后从管道布局科学规划、设备维护策略升级、安全风险强化管控、智能监控技术引入四个维度提出运行优化方案。本研究期望为提升天然气长输管道设计的合理性与运行的可靠性提供参考依据, 助力保障天然气输送的效率与安全性。

**关键词:** 天然气长输管道; 设计; 运行优化

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 033-0115-03

## Research on Design and Operational Optimization of Long-Distance Natural Gas Pipelines

Huang Jinyao (Dongying Branch, Cosmos Era (Xi'an) Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

**Abstract:** This study focuses on the design and operational optimization of long-distance natural gas pipelines. It systematically reviews design specifications, route planning, and equipment selection criteria, establishing the foundational role of design in ensuring pipeline safety. The research analyzes three categories of influencing factors—natural conditions, human operations, and pipeline integrity—to identify core challenges to stable operation. Optimization strategies are proposed from four dimensions: scientific pipeline layout planning, upgraded maintenance protocols, enhanced risk management, and intelligent monitoring technologies. This study provides references for improving the rationality of pipeline design and operational reliability, thereby supporting efficient and secure natural gas transmission.

**Keywords:** long-distance natural gas pipeline; design; operational optimization

天然气作为一类清洁型能源, 其长距离输送需依托长输管道系统, 管道设计的科学程度与运行的稳定状态, 直接关系到能源供应的效率与安全水平。当前我国天然气长输管道的建设规模持续扩大, 但在设计阶段常受规范执行不彻底、线路规划不科学等问题干扰, 运行过程中还需应对自然风险冲击、人为破坏行为及管道老化损耗等多重挑战。基于上述背景, 本文对天然气长输管道的设计要点、运行影响因素及优化策略展开系统探究, 这对推动天然气输送行业实现高质量发展具有重要的现实价值。

### 1 天然气长输管道设计要点

#### 1.1 设计规范与标准

天然气长输管道设计必须严格依照国家及行业出台的规范标准执行, 这是保障管道实现安全输送的核心前提。当前国内设计工作需以《输气管道工程设计规范》(GB50251)、《石油天然气工程设计防火标准》(GB50183)等核心文件为依据, 同时结合 API5L(管线钢规范)这类国际通用标准进行技术完善。设计过程中, 要重点落实压力等级划分、管道强度校核、安全距离界定等规范要求, 比如在人口密集区域需严格遵守管道与建筑物的最小安全距离标准, 穿越河流、铁路等特殊地段则要契合专项设计规范。另外, 规范

对管道防腐、抗震、环保等环节也有明确规定, 设计时需将这些规定融入方案细节, 保证每项设计参数都有规范支撑, 防止因标准执行不彻底引发后期运行安全隐患。

#### 1.2 线路设计

线路设计作为天然气长输管道设计的关键环节, 需综合考量地形地貌、环境影响、经济成本等多重因素。设计初期要开展细致的现场勘察, 主动避开滑坡、泥石流等地质灾害高发区以及自然保护区、水源地等生态敏感区, 优先选取地势平坦、地质稳定的路线以降低施工难度与风险。

在线路走向规划时, 需优化管道弯管角度和长度, 减少不必要的线路绕行, 同时合理布设截断阀室, 确保管道发生泄漏时可快速切断气源。针对穿越公路、铁路、河渠, 且必须通过专项论证保流等复杂路段, 要结合实际情况选用定向钻穿越、顶管穿越或架设管桥等技术方案可行, 线路设计需预留后期维护通道, 为管道运维作业提供便利, 兼顾当前建设需求与长期运行效益。

#### 1.3 材料与设备选型

材料与设备选型要结合管道输送压力、介质特性及运行环境, 确保其性能与管道设计要求高度契合。

合。管线钢的选用需根据设计压力和输送距离确定，X70、X80 级管线钢应用较为广泛，这类钢材具有高强度、高韧性等特点，能满足长距离高压输送需求，同时要对钢材的化学成分、力学性能进行抽样检测，确保符合 API5L 等标准要求。管道防腐材料需依据土壤腐蚀性等级挑选，例如在强腐蚀性土壤区域可采用 3PE 防腐层（三层聚乙烯涂层）搭配阴极保护系统，提升管道抗腐蚀能力。

设备选型上，输气站场的压缩机应选用高效节能的离心式或往复式机型，保障满足输量需求，而阀门需选用耐高压、密封性能优良的球阀或闸阀，且要具备远程控制功能以适配后期智能运维，计量设备则采用超声波流量计或涡轮流量计等高精度设备，确保天然气输送量计量准确。

## 2 天然气长输管道运行影响因素

### 2.1 自然因素

自然因素作为影响天然气长输管道稳定运行的重要外部条件，其作用呈现出持续性与突发性的双重特点，对管道结构完整性产生显著威胁。地质灾害在自然风险中居于首要位置，地震活动会让管道承受剧烈震动，进而造成焊缝开裂或管道变形，我国西南地震带过往就多次发生管道因地震引发的泄漏事件，滑坡与泥石流则依靠土体推移直接破坏管道敷设基础，导致管道出现悬空或断裂问题。

极端气象条件的影响同样不能忽视，高温环境会加快管道防腐层的老化剥离速度，削弱钢材的力学性能；低温天气可能使管道材质发生脆化，北方地区冬季经常因为冻胀作用造成管道接口密封失效。

水文因素对穿河、穿湖管道的影响尤为突出，洪水冲刷会掏空管道基础，水流携带的砂石还会对管道外壁形成磨蚀；海水潮汐与腐蚀作用则会加重沿海管道的损伤程度。而雷击则可能损坏管道沿线的通信与监控设备，而白蚁啃噬、植物根系生长等生物活动会破坏管道防腐层与敷设结构，这些自然因素的共同作用，要求管道运行过程中必须建立常态化的监测与应急响应机制<sup>[1]</sup>。

### 2.2 人为因素

人为因素是引发天然气长输管道运行事故的主要原因，其影响具有主动性与可控性的特征，涉及施工、运维、第三方活动等多个环节。第三方施工破坏是其中最突出的风险类型，2024年上半年我国燃气管网事故里，由第三方施工破坏导致的事故占比达到 89% 之高，如广州荔湾区曾因排水管网施工产生的震动挤压，引发燃气泄漏，泄漏气体喷涌高度达到十几层楼。这类破坏情况大多源于施工方未提前核查管道具体位

置、采用野蛮施工方式或未制定相应保护方案，重庆市也曾有施工单位因违规操作导致管道裸露悬空，被相关部门责令整改的案例。

运维操作不当同样会引发安全隐患，比如操作人员未依照规程进行压力调节、遗漏设备巡检工作或在应急处置中出现失误，都可能造成管道超压运行或使泄漏情况进一步扩大。在管道周边违规搭构筑物、堆放重物会对管道形成挤压，以及城镇化进程中工程建设项目建设不断增加，都进一步加大了人为因素干扰管道运行的风险。

### 2.3 管道自身因素

管道自身因素是决定其运行稳定性的内在基础，直接关联到管道的承载能力与使用寿命，主要体现在材料性能衰减、结构存在缺陷以及设备老化等方面。腐蚀是管道最常见的自身损耗形式，土壤中的电化学腐蚀会逐步侵蚀管道外壁，特别是在土壤腐蚀性较强的区域，若防腐层出现破损且未及时修复，就会形成局部腐蚀穿孔，管道内壁则会因为天然气中含有的硫化氢、水分等介质发生腐蚀反应，导致管壁厚度逐渐减薄。材料疲劳损伤同样不容忽视，管道在长期承受输送压力波动的过程中，焊缝、弯头等应力集中的部位会慢慢产生疲劳裂纹，随着运行时间的增加，裂纹会不断扩展，最终可能引发泄漏事故。

设备老化失效是另一项关键问题，输气站场中压缩机的密封件出现磨损会导致气体泄漏，阀门因长期进行开关操作会出现密封性能下降的情况，而计量与监控设备的精度衰减会影响对运行参数的准确判断。此外，管道在施工阶段遗留的焊接缺陷、接口处理不规范等问题，在长期运行过程中会逐渐显现出来，成为安全隐患，需要通过定期检测与预防性维护措施，提升管道自身的运行可靠性<sup>[2]</sup>。

## 3 天然气长输管道运行优化策略

### 3.1 科学规划管道布局

管道布局的科学规划是天然气长输管道实现高效运行的基础前提，其直接影响管道输送效率的高低、建设成本的多少以及后期运维工作的难易程度。在布局规划工作开展阶段，需搭建“多维度调研+动态适配”的完整体系，先进行全面的资源禀赋与市场需求调查分析，精准明确气源产地位置、储量规模及开采进度，同时掌握沿线城市燃气、工业用气等终端需求在时间与空间上的分布特点，防止“输配错配”问题的出现。还要结合地形地貌与地质条件开展精细化路径勘察工作，借助 GIS 地理信息系统对山川、河流、地质灾害高发区等敏感区域进行建模与分析，优先选取地形平缓、地质状况稳定的路径，以此降低施工过程中的难

度及后期面临地质灾害的风险。

另外，需统筹考量与现有管道网络的衔接情况，构建“主干贯通、支线辐射”的网格化布局形态，提高管网整体的输配灵活度。并且为未来扩容预留出足够空间，结合区域能源发展规划方案，在管道管径选择、加压站地址选定等方面提前做好规划，避免后期改造产生高额成本。通过科学的规划工作，能够实现管道输送距离的最优化与能耗的最小化，为后续管道运行优化工作打下坚实基础。

### 3.2 升级设备维护策略

设备维护策略的升级是保障天然气长输管道持续稳定运行的关键支撑，需改变传统的“事后维修”模式，搭建“预防为主、精准运维”的全生命周期维护体系。其中包括建立设备数字化档案，对管道、加压站、阀门、计量仪表等核心设备的出厂参数、安装记录、运行数据、维修历史等信息进行实时更新与动态管理，达成设备状态的可追溯与全流程监控目标<sup>[3]</sup>。

推行预防性维护与预测性维护相融合的模式，针对加压机组、截断阀等关键设备，依据运行数据设定预警临界值，借助振动监测、油液分析、红外测温等技术手段实时掌握设备运行状态，提前辨别潜在的故障隐患，将维护工作的实施时机从“故障后”调整到“故障前”。

### 3.3 强化安全风险管控

强化安全风险管控是天然气长输管道运行的生命线，在风险识别阶段，运用“现场排查+大数据分析”的手段，全面梳理管道沿线存在的自然风险、人为风险、设备风险及运营风险，制定覆盖全流程的风险清单。在风险评估环节，引入定量风险评估模型，结合管道运行年限、介质参数、周边环境敏感程度等要素，对各类风险的发生概率与影响范围开展量化分析，划分风险等级并明确管控工作的重点方向。

在风险防控工作中，针对高风险区域制定“一域一策”的管控办法，例如在第三方施工密集区域安装视频监控设备与预警装置，与施工单位签订安全协议并安排专人开展现场监护；在管道腐蚀风险区域加强防腐层检测与阴极保护系统运维，定期开展管道内检测工作。同时要完善应急管理体系，编制具有针对性的应急预案，配备应急抢修所需的设备与物资，定期组织跨部门、跨区域的应急演练，提升风险处置能力，保障风险隐患能够被及时发现并得到妥善处理<sup>[4]</sup>。

### 3.4 引入智能监控技术

智能监控技术的引入是提高天然气长输管道运行效率与管控水平的核心手段，通过对“感知层—传输层—应用层”进行全链路智能化改造，实现对管道运

行状态的实时感知、精准分析与智能决策。在感知层，搭建“全域覆盖、多参监测”的感知网络，在管道沿线、加压站、阀室等关键节点布置压力传感器、温度传感器、泄漏检测传感器、视频监控设备等终端设备，同时运用无人机巡检、管道内检测器等技术，实现对管道本体状态、介质参数、周边环境的全方位监测。在传输层，依靠5G、工业互联网等高速通信技术，搭建低延迟、高可靠性的数据传输通道，将感知层采集到的海量数据实时传输至管控中心，保障数据传输的及时性与准确性。

在应用层，构建智能管控平台，整合数据存储、分析、预警、决策等功能，借助大数据与人工智能算法对运行数据进行深度挖掘，实现对管道输送效率的实时优化、故障隐患的智能预警、泄漏位置的精准确定。以实际应用为例，平台可根据终端用气需求的变化，自动调整加压站运行参数，实现能耗优化；当检测到压力异常或泄漏信号时，会立即启动预警功能并推送处置方案，同时自动联动截断阀实现紧急切断，最大程度降低事故造成的损失<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

综上可知，天然气长输管道设计工作需严格依照规范标准执行，对线路进行合理规划并精准选择材料与设备，为管道安全运行筑牢基础；在管道运行过程中，自然因素、人为因素及管道自身因素均有可能引发各类问题，需采取针对性措施加以应对。通过科学规划管道布局、升级设备维护方案、强化安全风险管控力度及引入智能监控技术，能够有效提升管道运行的稳定性与安全性。未来仍需不断优化技术手段与管理模式，进一步保障天然气长输管道系统高效、安全运行，以满足社会对天然气能源的输送需求。

## 参考文献：

- [1] 徐浩然.天然气长输管道第三方破坏风险分析与防控[J].石化技术,2025,32(10):237-239.
- [2] 邵岩.天然气长输管道风险分析与管控策略[J].石化技术,2025,32(07):440-441.
- [3] 赵洁.物联网技术在天然气长输管道实时安全监测中的应用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(08):160-162.
- [4] 王明涛.高压天然气长输管道的安全运行管理[C]//《煤气与热力》杂志社有限公司.中国燃气运营与安全研讨会(第十三届)论文集(下册).山东港华燃气集团有限公司,2024:417-423.
- [5] 叶勇.石油天然气长输管道内充填技术研究[J].石油和化工设备,2024,27(08):69-71+63.