

天然气管路设计要点研究

杨巧玉 刘苗苗 张东升 李鹏 郭亚兵

杭州中泰深冷技术股份有限公司 311402

DOI:10.32629/ems.v8i3.18752

[摘要] 在世界能源需求量持续增长背景下,天然气作为一种清洁能源,发挥至关重要的作用,其中管路设计与建设属于重点内容。本文以促进天然气高质量高效化输送、满足应用需求为研究目标,简单阐述天然气管路设计内容,并从地貌环境、腐蚀等入手分析影响因素,在此基础上细化管路设计要点,提出可行性较高的应对措施。研究表明,通过深入设计天然气管路,有助于确保运输的安全性,有效降低运行成本。

[关键词] 天然气; 管路设计; 输气管道

引言:

天然气属于一种高效、清洁且优质的能源,广泛运用于日常生活、工业生产,如用于燃料、制作液化石油气、化学药品等,关系到低碳经济、绿色经济建设脚步。就目前状况而言,天然气主要通过输气管道运输,管路设计质量是提高天然气运输安全性、稳定性的关键,属于一项复杂且系统的工程,需综合考虑多方面影响因素展开全面化设计。对此,文章围绕天然气管路设计要点展开深入研究,明确相关设计侧重点,旨在为天然气管路高质量运行提供技术指导,创造较高的经济效益。

1天然气管路设计内容

1.1 设计原则

天然气管路设计时,需严格遵循国家与行业技术标准,优先采用防腐性能优良的管材,且在保证安全性、稳定性的基础上,优化管路设计,最大程度上降低运输成本,满足用气需求,创造较高的社会效益、经济效益。其中,需根据天然气生产场所、用户需求,改变管路布局、走向,躲避河道等区域,预防腐蚀、泄露、爆炸、火灾等事故,并加装基础安全设施,增强密闭性,满足环保需求。

1.2 技术参数

天然气采取管道输送,具有耗能少、运量高、安全系数高、密闭性优良的优势,其中管路设计核心技术参数为:输气量、输气距离、输气压力、供气压力等。其中,输气量,若采用年输气量可按照365天计算;输气距离,参考管道长度,先确定气源、用户,再按照线路走向方案,进而有效计算天然气管道起点至用户交气点的管道长度;输气压力,管道最高输气压力,单位为MPa,正常情况下,若无压缩机,起点为最高压力,若存在压缩机,则出口点为最高压力;供

气压力,天然气管路供气合同中,明确要求的供气压力,并参考一次压力设计管路;输气温度,在土壤传热、压力降低产生的焦-汤效应,降低天然气的输气温度。

1.3 技术优化

天然气管路设计时,需在遵循设计原则、掌握核心元素的基础上,实行技术优化,保证管路设计方案的可行性。具体来说:一是管路计算优化,采集天然气物性参数、管道水力学参数,为管路规格与材质设计选择提供参考,提高输气设备运行的效率与安全性;二是输气站场设备优化,需满足天然气分离、计量、调压等技术需求,其中中间站应具有气体加压处理、接收分离等功能,且便于开展清管作业,稳定开展长距离输气,同时注重地面站选址,优先选择给排水、供电便利、地势平坦的区域,与周边建筑保持安全距离;三是自动控制与管理系统,以实时监测管理为核心目标,增设电子巡查模块,倘若存在泄漏事故,系统将立刻发出报警信号,第一时间启动应急处理系统,短时间内采取有效的控制措施,规避环境污染现象,最大程度上降低财产损失^[1]。

2天然气管路设计影响因素

天然气管路设计时,常见影响因素包含自然因素、腐蚀、内压等,需深度分析各类影响因素的具体表现,明确设计要点,采取针对性的应对措施。

自然因素方面,天然气管路运行环境复杂多变,其中温度、自然灾害属于主要因素,若温度持续升高,管路气体异常膨胀与收缩,引发内压变化,严重还会造成管路断裂。若遇到雷击、地震等自然灾害,当闪电击中处于裸露状态的管线,形成火花、电弧,极易产生重大火灾或爆炸事故,地震则会导致管线变形、位移以及断裂。此外,高层建筑也会影响管路设计,原因在于高层建筑呈现出自重、高度高的特

征, 导致管路垂向承载较高的重力, 还会在施工阶段产生沉降问题, 天然气管道形成拉伸压缩效应, 诱发接口松动、断裂等问题。

腐蚀方面, 天然气含有二氧化碳、硫化氢等成分, 与管壁产生化学反应, 诱发腐蚀现象, 降低管路的强度、韧性, 极易出现泄漏、穿孔等问题。

内压管控方面, 天然气运输期间, 压力过小难以满足正常输送需求, 过大则引发管道泄漏、爆裂, 这就需管控管路内部压力。但在实践过程中因受到温度、气体流量、压力脉动等因素的影响, 可能造成管道压力异常变化^[2]。

针对以上影响因素, 需在天然气管路设计过程中, 根据技术规范、行业规定, 采取合理化应对措施, 维护管路运行的安全性、稳定性。

3天然气管路设计要点与措施

3.1 设计要点

3.1.1 保护设计

为确保天然气管路运行的安全性, 需根据天然气性能、地形地势实行防腐、灾害保护设计。防腐设计时, 需采取镀锌、镀锌、防腐材料优化管路设计。如, 针对输气管路表层与内层, 均匀涂抹防腐材料, 降低腐蚀概率, 延长运行寿命, 保障安全。灾害保护设计时, 需着重考虑山体滑坡、泥石流等灾害对输气管路完整性的影响, 可能诱发受损、破裂的现象, 威胁周边居民、生态环境, 对此需根据天然气管路布局, 实行综合勘察, 全面掌握管路外部运行环境的基本情况, 制定最佳的铺设方案。其中, 对于频繁出现雨水滑坡的铺设区域, 需依据滑坡特征、形成原因、综合危害, 采用跨越或沟填等施工建设方式, 优化设置排水设施, 并做好钢架加固作业; 对于重大雷雨天气, 输送管线应避免建筑顶层、屋檐等区域, 降低雷击概率。

3.1.2 工艺设计

天然气管路工艺设计时, 以压缩机组为主, 从管路工程建设要求与多元需求出发, 客观选择机组类型, 普遍采用离心式压缩机组, 采取一备一用的模式, 增设备用机组, 提高管路运行的安全性、稳定性; 门站设计, 安装于安全防火范围以内的区域, 处于常年下风向, 且靠近居民区, 预防安全隐患, 同时避开低洼地形、不良土质, 确保建设区域的开阔性、交通便利性; 调压站, 针对单独建筑物或箱子, 增设调压站, 压力 $\leq 0.4\text{MPa}$, 若严重受到地上外部条件的限制, 调压装置进口压力需 $< 0.4\text{MPa}$, 且安装于地下单独建筑物^[3]。

3.1.3 输送线路设计

天然气管路输送线路设计过程中, 首先应全面掌握沿线基本情况, 包含地理位置、环境特征、交通特点等, 重点分析有无水利设施、重点道路、矿区等, 针对交叉碰撞问题, 提前制定预防措施。其次规避文物保护单位、港口、军事基地等重点位置, 若无法躲避以上区域, 则需进行综合协调, 制定最佳的线路铺设方案。最后严格遵守安全性、有序性的基本原则, 推动管路设计、实地考察、施工建设、运输管理等环节协同开展。以平原区域天然气管路输送线路设计为例, 优先采用直线型管道, 缩短运输距离的同时, 降低管材的消耗量, 降低综合成本。

3.1.4 应用新技术

为提高天然气管路设计质量, 需积极引入新技术, 加强天然气运输阶段的动态监管, 实时掌握管路的运行状态。

一方面应用自动化和远程监控技术, 负责监控与采集气体流量、温度、压力等参数, 传输至控制中心, 了解管路状态, 做到动态化响应。如, 物联网与传感器技术, 安装智能传感器, 监控压力、温度、流速等数据, 深层次挖掘数据信息, 识别并预测维护需求, 针对性规划维护方案, 预防突发停运事件; 无人机技术, 与高清摄像头、传感器协同运行, 负责定期或突发事件状态下的管路巡检, 传输实时图像与数据。

另一方面应用智能数据分析技术, 以高级数据分析、大数据技术为载体, 主要负责处理传感器、监控系统数据, 采取数据深层次解读、智能算法分析的方式, 技术人员可及时发现异常故障点, 针对性维护与修复, 大幅提升管道运行效率。实践阶段, 对比分析历史数据与实时数据, 精准预测与识别天然气需求变化, 确定输气系统中运行效率较低的区域, 优化调整压力、气量, 优化资源分配, 节约能源。

3.2 天然气管路设计措施

3.2.1 自然气候应对措施

为降低温度、闪电、地形以及高层建筑的影响, 需全面调查地质与施工环境, 在掌握管路周边环境特征的基础上, 根据标准要求, 设计可行性较高的天然气管路输送方案。具体来说: 温度变化应对措施, 需从热胀冷缩效应入手, 针对高层管路设置分段阀, 加装波纹管补偿器, 重点补偿在温差影响下产生的管线伸长量, 或者采取管路轴向位移措施, 避免因应力突变而导致管道断裂, 以及自然补偿方法, 安装L形自然补偿装置; 雷击应对措施, 增加管路管壁厚度, 辅以防雷防静电接地措施, 在屋檐、屋角等区域布置管线, 且通

过焊接方式连接管道与阀门, 加装避雷带; 复杂地形应对措施, 委派技术人员实地勘查, 了解地形变化特征、植被覆盖面积, 采取磁测、雷达、声波等方式综合检测管路, 确定地理位置与埋深; 高层建筑应对措施, 天然气管路普遍采取垂直布设法, 增加负荷, 可能导致管路弯曲断裂, 故此需加装可移动支架, 以 100m 高层建筑为例, 间隔 6-8 层, 在主立管增设门型弯、固定支座, 起到减轻立管压力的作用, 分散管路

自重, 降低热应力。对于地面沉降问题, 需提前调查地质、施工环境, 记录地基沉降速率、沉降量, 加装补偿器^[4]。其中《城镇燃气设计规范》详细记录附加压头、建筑沉降、管路自重与热伸缩方面的要求, 如表 1 所示。以沉降量为例, 若 $\geq 80\text{mm}$, 管路穿墙前安装波纹补偿器, 吸收管道轴向位移应力, 还需着重考虑给排水管线、热力管线、电力电缆管线等安全间距, 提出增设补偿装置、管线固定支撑等防护措施。

表 1 高层建筑天然气管道设计要点

影响因素	应对策略	技术数据
附加压头	增大管道阻力损失	安装节流阀, 压力控制在 2000Pa 左右
建筑沉降	增设补偿器	沉降量 $\geq 80\text{mm}$ 时, 引入管位置安装金属波纹补偿器, 补偿量为 100mm
管路自重与热伸缩	增加管道阻力损失	间隔 6 层, 立管安装固定支架 水平管间隔 30m, 增设支撑设施

3.2.2 管道腐蚀措施

管路长期埋置或暴露于空气, 导致内壁与外壁腐蚀, 缩短运行寿命, 形成安全隐患, 这就需采取内外防腐措施。管路外壁防腐时, 设置防腐涂料, 隔离管路 with 土壤、水, 如防腐胶带、环氧煤沥青防腐材料、聚乙烯防腐涂层等, 拥有优良的附着性、耐腐蚀性, 或者引入阴极保护技术, 采取电化学保护法, 面向金属管施加负电位, 转换为阴极, 此时阳极先进行腐蚀反应, 达到阻止或延缓电化学腐蚀的效果。管道内壁防腐时, 以涂层方法为主, 隔绝天然气与管壁, 或者应用铜管材、铝塑复合管、埋地聚乙烯管材等新型管材, 耐腐蚀性能更加优良, 解决管壁腐蚀问题。

3.2.3 管路内压控制

控制管路内压过程中, 需根据天然气管路综合布局, 安装压力传感器、数据采集系统等设备, 构建压力控制系统, 具体为: 光纤光栅传感器, 监测压力, 安装间距 500-1000m, 精度为 $\pm 0.1\%FS$; 分布式光纤测温, 监测温度, 采取持续性监测法, 精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$; 超声波流量计, 监测流量, 采取站场级部署法, 精度为 $\pm 1\%$; 振弦式应变计, 监测压力, 重点安装于关键位置, 精度为 $\pm 0.2\%FS$ 。

实践过程中, 需针对站场位置安装智能终端, 引入小波变换去噪算法, 实行数据预处理, 再深度分析, 搭建压力突变识别模型, 保证压力响应时间 $< 500\text{ms}$ 。之后进入智能调压环节, 一方面优化配置调压阀组, 增设三级保护机制, 一级为主调压阀, 响应时间 $< 2\text{s}$, 二级为监控调压阀, 形成冗余, 当压力偏差超过 0.3MPa, 立刻启动应急方案, 三级为安全切断阀, 若压力达到 1.1 倍设计压力值, 可在 0.5s 内切断气源;

另一方面以动态调压算法为基础设计调压系统, 核心作业流程为: 根据管路运行数据信息, 建立水力热力耦合模型 \rightarrow 滚动优化处理, 预测 10min 内压力变化曲线 \rightarrow 修正处理。

总结: 总而言之, 纵观近年来社会的持续发展与变革, 对天然气需求量显著提升, 其中如何保证管路高质量高效化运行属于技术难题。鉴于此, 天然气管路设计过程中, 需根据技术标准、核心参数, 综合考虑自然环境、腐蚀、内压等因素的综合影响, 从保护设计、输送线路以及保护措施入手制定管路设计方案。未来发展过程中, 还应树立主动预防理念, 协同运用人工智能、物联网、大数据等技术, 搭建感知-分析-决策-执行等闭环管理体系, 精准调整管路压力, 促进天然气行业高质量发展。

[参考文献]

- [1] 贾冠伟, 冀守虎, 闫双杰, 等. 掺氢天然气管路结构对超声波流量计适应性计算流体力学仿真研究[J]. 科学技术与工程, 2024, 24 (4): 1505-1514.
- [2] 马明慧. 天然气管道设计中的材料选择及其性能分析[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2025 (4): 079-082.
- [3] 陈翠翠, 贾海东, 张杰, 等. 输氢与输天然气管道设计规范对比及天然气管道改输氢适应性分析[J]. 管道保护, 2025, 2 (5): 33-39.
- [4] 张振永, 白芳. 基于可靠性的天然气管道设计和评价技术[J]. 油气与新能源, 2021, 33 (6): 68-74.

作者简介: 杨巧玉 (1986.7--), 女, 汉族, 安徽省, 工艺工程师, 学历: 硕士研究生, 研究方向: 天然气化工。