

长输油气集输管道的设计分析

蔡玉洁（中国石油工程建设有限公司青海分公司，甘肃 敦煌 736202）

摘要：本文聚焦长输油气集输管道设计的核心要素，涵盖其核心价值、突出特色与关键技术。设计是保障管道运行安全的关键、控制全生命周期成本的手段，亦是履行环保责任的重要环节。其设计具有多学科交叉特性，受地理条件与恶劣工况限制，且需满足全寿命周期内高压高温的管理要求。具体操作包含基础数据采集处理、水力学与热力学计算、线路优化、强度校核及安全方案设计等环节。本文搭建相关分析框架，剖析科学设计与管道工程的关系，为提升国内长输管道技术创新水平及风险应对能力提供理论支撑。

关键词：长输；油气集输管道；设计

中图分类号：TE832

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）029-0082-03

Design analysis of long-distance oil and gas gathering pipelines

Cai Yujie (China Petroleum Engineering Construction Co., Ltd. Qinghai Branch, Dunhuang Gansu 736202, China)

Abstract: This article focuses on the core elements of the design of long-distance oil and gas gathering pipelines, covering their core values, prominent features, and key technologies. Design is the key to ensuring the safe operation of pipelines, a means of controlling the entire lifecycle cost, and an important link in fulfilling environmental responsibilities. Its design has interdisciplinary characteristics, is limited by geographical conditions and harsh working conditions, and needs to meet the management requirements of high pressure and high temperature throughout its entire life cycle. The specific operations include basic data collection and processing, hydraulic and thermodynamic calculations, route optimization, strength verification, and safety scheme design. This article establishes a relevant analytical framework to analyze the relationship between scientific design and pipeline engineering, providing theoretical support for improving the innovation level and risk response capability of domestic long-distance pipeline technology.

Keywords: Long term loss; Oil and gas gathering and transportation pipelines; design

聚焦于长输油气集输管道设计方面的核心要素，这里包含了主要的价值，突出的特色以及重要的核心技术部分，从重要性来讲，设计工作是维持运行安全的关键支柱，是掌控全部生命期间成本的有效手段，还承担着履行环境保护责任的重大使命，再从特性方面进行考虑，这种研究带有综合学科交叉结合的特性，而且还要受到地理状况和恶劣工况双重的限制，在全寿命期间进行管理的时候，高压高温环境的要求不可忽视，而具体操作中就包含着基础数据的采集处理，水力学以及热力学分析计算，线路优化设计规划，强度校核验证以及安全保障方案设计等重要环节，搭建起这样一个分析架构，在科学设计与管道工程之间的关系上进行深入剖析，并为推动国内长输管道领域在技术创新水准与风险应对能力上的提高提供理论依据。

1 长输油气集输管道设计分析的重要性

1.1 安全保障的基石

长输油气集输管道设计的核心目标是营造起一种系统而又靠得住的安全生产守护机制，这个目标的关键之处在于保障管道运行的安全性，作为保证系统稳定性的关键部分，设计分析工作从一开始到项目结束的全部时期都持续进行，对于守护管道长久的安全状

况来讲有着决定性意义，在此过程里，经过整体系统的风险评估以及技术上的考察研究，设计人员可以预先觉察出管道投入运作时可能出现的各种潜在危险因素，高压流体特征，外部环境改变以及地质构造调整等情况都被包含在内，这样的操作目的就是让管道即使处在最极端的工况条件下也仍旧具备较强的强度支撑能力和密封性表现，进而避免出现像泄漏或者破裂这样的严重事故状况^[1]。该设计方案需全面考量管道承受能力，要对沿线地质脆弱带，高密度人口集中区域以及其他明显影响风险的要素实施系统评判，设计分析属于保证管道本质安全的关键部分，它在守护人员生命安全，维持公共设施完好无损，守护生态环境等方面起着关键作用，是达成能源输送流程稳定运行的关键支撑。

1.2 经济效益的保障

长输油气集输管道设计分析是工程项目获取经济效益的最关键前提条件和重要保障工作，科学、合理安排规划设计程序流程对整体项目的总投资额多少，后期运营维护成本的高低直接相关联。通过精确运算，并且进行细微安排，可以在施工准备之初就合理地将各种资源分配妥当，选好合适的材质规格，定准最合

适的管壁厚度,安排最优路线等等,这样可以避免材料被糟蹋掉,而且不会造成土地资源过度占据,另外还能防止复杂工程建设给公司带来不必要的开支,从而明显缩减最初的花费,站在长远角度来看待这个问题时,则可以说良好的初期设计为后续工作的经济表现奠定了坚实的基础,在输送环节中,要使系统达到应有的功能需求目的,这在很大程度上依赖于对流体力学原理的应用基础,以这个为依托,来决定泵站或者压缩机站应当如何配置、摆放到什么地方以及其所需的马力数值等等。

设计阶段充分考虑管道结构的可靠性,能有效延长设施的服役寿命,并且可以减少维修、更新以及应急处理等间接费用,把系统性评估融入到设计的整个流程当中,这是达成项目开始阶段的投资和后续运维成本相协调的主要途径,也是保证管道工程经济效益的重要保障机制。

2 长输油气集输管道设计分析的主要特点

2.1 系统性与复杂性

长输油气集输管道设计具有高度综合性和复杂性特征,其设计流程很难通过单一技术手段达成,这个过程要融合流体力学、材料科学、结构力学、土木工程以及环境科学等诸多学科领域理论成果,长输油气集输管道属于跨地域分布、牵涉众多节点的大型基础设施项目,管道内部介质的流动状况、压力分布模式以及温度场改变趋势,必须全面考虑管道结构承载能力、外加土壤约束效果、沿线不同气候条件、地形地貌特点、地质环境要素,并做到系统化协同优化目的^[2]。设计分析的重点在于达成各要素的系统整合与整体改良,管材选定,壁厚判定,管线布局以及站场规划等局部设计决定,都会对管道系统的总体性能,运作安全以及经济成本造成重大影响,深入认识并妥善应对这些彼此关联而且繁杂的因素,这就是设计分析的主要任务,其本质就是促使不同学科知识的深度融合以及多种目标的协调平衡。

2.2 长距离与地理环境多样性

长输油气集输管道的设计规划受限于它所覆盖的范围广泛并且沿线自然环境复杂多样的因素,这种类型的管道往往要延伸数百乃至数千公里之长,沿途会经过不同的地貌类型,起伏的山地,宽广的河流,疏松的沼泽,厚实的冻土层,辽阔的沙漠以及深邃的海域等地貌特征都会出现,因为这种跨区域分布的特点,管道不可避免地处在各种地质构造,土壤性质,水文状况和气候特征的不同影响之下,还可能会遭遇地震带,滑坡区,沉降区以及活动断层这些高风险地质灾害频发地区的潜在威胁。

气候变化导致极端温湿情况及强风、积雪、洪水之类的灾害出现,这些都会给管道系统带来十分深远又持久的影响,复杂多变的地形地貌状况和不确定性使管道的力学表现形式、被侵蚀状况、铺设过程中的难题以及服务时间等诸多方面都发生了改变,在这种情况下,设计及评价这两个步骤必须深入了解并且全面分析种种环境因素的具体影响机制,跨区传输型的长距离管线设计时所采用的各种参数设定、防锈手段以及施工方法等应当根据各自所处的自然条件差异而有所区别地加以考虑,很难凭借一套统一的标准体系适应各种不同的环境条件。

2.3 高压、高温与大输量

长输油气集输管道设计要兼顾高压,高温,高流量等诸多要素,这类管道往往在超高压环境下工作,这就给管材力学性能,比如强度,韧性,还有焊接接头的可靠性带来苛刻的要求,因为输送介质及其工况也许会伴随明显升温,尤其当处理稠油或者热采流体时,高温不但会影响介质的流动特性,而且会引发材料性能退化和热应力累积,进而对它的服役寿命形成隐患。

要应对大规模能量传输需求,管道的设计要点之一就是着重考虑高流量状态下流体动力学行为的特点,通过准确运算长距离输油管线内部压力丧失分布情形,加之管径和泵站/压缩机群合理搭配布置计划的制定,系统总体运行效率便能得到提升^[3]。高压、高温以及大流量这三个要素相互牵连地发生作用,会对管道结构强度设计细节处理部分、材料挑选范围划分标准方面等内容以及热水型系统构建安排步骤中涉及的若干环节产生深刻影响,设计之初就要将这些内容归入系统的总体筹划之中来加以考虑并妥善安排。

3 长输油气集输管道设计分析的关键路径

3.1 前期基础研究与数据收集

长输油气集输管道设计的系统化流程把前期调研与数据采集当作关键根基,它的主要目的就是给后面的技术方案拟定给予可靠的数值支持,在这个环节里,首先要全面地获取并仔细分析输送介质的物理化学属性,涉及组分构成,密度,黏度,凝固点,含水量和硫化物含量等核心指标,这些数据直接影响到管材的选择,防腐措施的规划以及工艺流程的设计,而且还要做细致的现场勘查和线路评价工作,深入了解项目所在地区的自然环境特点,包含地形地貌,地质构造,土壤类型,水文分布,气候变化,生态敏感区域以及周围基础设施的布局和社会经济要素等诸多方面的信息,这样才能保证设计方案的可行性和适应性。环境和社会因素的准确数据是评估工程复杂度、规划线路

布局、确定安全防护距离以及预测项目环境和社会影响的重要依据^[4]。

3.2 水力与热力分析

水力和热力分析是长输油气集输管道的设计过程中不可或缺的一项技术环节,在此期间要把握住流体在管道内部流动的情况,还要去探究因之产生的温度场变化情况。其中,主要工作集中在针对长距离输送的压力降低分布情况的分析上,找到确保达到特定流量时所必需的最低压力条件,进而合理规划数量,布置形式以及所需动力设备的技术数据,从而实现对整个输送任务的安全有效开展,必须对管道整个系统在各种瞬时变化条件,例如启动,关闭阀门以及设备出现故障等情况下进行充分考虑,尤其针对那些会导致管道受损并且产生严重破坏力的压力冲击现象——也就是所谓的水锤现象做深入探讨;与此同时热力分析则集中围绕介质温度改变进行探究活动,重点放在了如何通过定性分析方式得到沿程管线降温效果上的工作。

针对那些容易凝固或者黏度很高的油品,在比较低的温度环境下,它的流动阻力会变得很大,有可能造成管道被堵住的情况出现,要想保证输送过程的稳定性,就要准确地去算出温降参数,然后判断是不是要采用保温手段或者增设中间加热装置,就天然气管道而言,温度上下浮动主要会影响到管材的性能和应力分布状况,不过还是要做系统的研究来应对这些可能产生的问题,从实际工程的角度来讲,水力和热力之间存在着密切的关系并且相互影响着,流体状态发生改变的时候,就会直接对传热效率产生影响,温度波动还会通过改变流体物性参数,比如黏度,从而进一步影响到流动阻力以及压力分布的特点,科学严谨的水力与热力耦合分析是管道系统工艺设计,设备选型,运行策略制定以及实现安全高效稳定输送的重要技术支撑和关键计算基础。

3.3 管道路由优化与线路设计

长输油气集输管道设计的时候,路由优化和线路规划属于重要的空间布局环节,根本目的就是要找到一条既符合技术可能性、安全因素考虑、经济合理性、又符合生态环境容纳限度的最佳路线走向,这其中包含很多方面,而且是需要综合考量与具体操作的一系列约束条件因素组合起来,其中最为主要的一环就是考虑沿途所经过的地方有着非常复杂多变地表特征条件,比如不同种类山体、水系、沼泽与冰封土区等等所包含的独特属性特点,还有地质结构稳定与否、地震频发地带、容易发生泥石流现象的地方、坡度特别陡峭路段等等这些方面都需要进行详细的勘察分析工作来确定,在此基础之上还得仔细考量地质灾害方面

的危害分布状况,尽量避开那些存在较大风险会明显加大施工难度或者导致运行时出现问题的地区^[5]。而对于建筑物,公共基础设施设施群落,居民聚集住宅小区等重要地点周边距离方面,则要按照相关规定严格把控不能违反法律条款限制,保持一定间隔范围之内,确保整个项目建设能够依法依规顺利开展,从而达到长远发展需求目标。

根据以上分析,要合理优化线路规划,缩减总长,削减大型障碍物穿越次数,还要充分利用平坦地形条件,从而有效地控制工程造价和后期运维成本,对于那些难以绕开的重要地理障碍,比如大型河流,深谷或者重要的交通干线,要用专门的技术手段来保证安全通过,可以采用定向钻进,顶管施工,架空敷设或者修建隧道等办法,在具体的某一段路线上,要确定管道的敷设形式,是普通的埋地敷设,还是局部架空敷设或者其他特殊形式,这种决定会直接影响到施工工艺的选择,材料的选取以及长效防护措施的设计。

4 结语

长输油气集输管道的设计分析属跨学科工程领域范畴,它兼具技术层面安全可靠性的考量,又包含了经济效率的系统性评判,相关研究显示,其重要作用是给管道从全寿命周期内保持安全稳定的运行赋予理论依据,精准识别潜在危险并加大结构稳固度,从根本上防止泄漏和事故的发生,而作为一种重要的经济效率提高要素,在合理调配资源、规划工艺参数的过程中可以减少建造和保养的开销,因设计步骤高度系统化和繁复性特点突出,需考虑诸如流体力学,材料特性和周边环境等诸多方面,面对长距离运输及复杂的地理条件所形成的挑战时候,应该根据地形地貌特征,地质属性以及天气气候因素来灵活调整策略安排;高压,高温以及高流量工作情况下对物料表现,温升抑制程度以及水流状态控制标准更为严格的要求提出来。

参考文献:

- [1] 杨亚少,胡博瑞,张玉萍,等.油气集输管道完整性检测与评价研究[J].中国管理信息化,2023,26(06):124-126.
- [2] 朱晏莹.油气长输管道的风险评价研究[J].广州化工,2022,50(24):270-272.
- [3] 李远朋,范潮海,张茹,等.油田集输管道体系区域风险评价方法[J].东北石油大学学报,2019,43(06):118-124+12.
- [4] 许勇,沈子木,孙艳萍.含硫长输油气管道腐蚀预测[J].辽宁化工,2018,47(08):843-845.
- [5] 赵建峰.探究油气集输及长输管道工程用管件标准[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(15):5-6.