

# 全生命周期视角下油气管道工程成本优化策略

尚东辉 (国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司, 山东 济南 272100)

**摘要:** 油气管道工程是能源运输的重要基础设施, 具有投资大、建设周期长、运营风险高、全生命周期各个阶段相互关联等特点, 成本控制质量的好坏直接影响能源企业经济效益和行业竞争力。本文以油气管道工程全生命周期为研究对象, 以工程设计、施工、运营、报废处置等所有阶段为研究范畴, 先从技术优化、流程控制、风险预警和数字化赋能四个方面, 提出相应的成本控制策略, 为油气管道工程全生命周期成本最小化、效益最大化提供理论参考和实践路径, 促进能源行业高质量发展。

**关键词:** 全生命周期视角; 油气管道工程; 成本优化策略

中图分类号: F426.22 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2026) 008-0046-03

## Optimization Strategy of Oil and Gas Pipeline Engineering Cost from the Perspective of Life Cycle

Shang Donghui (Shandong Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd. Jinan Shandong 272100, China)

**Abstract:** Oil and gas pipeline engineering is an important infrastructure for energy transportation, featuring large investment, long construction period, high operational risk, and interrelationship among all stages of the entire life cycle. The quality of cost control directly affects the economic benefits and industry competitiveness of energy enterprises. This paper takes the entire life cycle of oil and gas pipeline engineering as the research object and all stages including engineering design, construction, operation, and scrapping disposal as the research scope. It first proposes corresponding cost control strategies from four aspects: technical optimization, process control, risk early warning, and digital empowerment. To provide theoretical references and practical paths for minimizing the full life cycle cost and maximizing the benefits of oil and gas pipeline projects, and to promote the high-quality development of the energy industry.

**Key words:** Full life Cycle perspective Oil and gas pipeline engineering; Cost optimization strategy

在“双碳”目标和能源结构转型的双重推动下, 油气行业降本增效的迫切性凸显出来, 油气管道工程作为油气产业链的重要环节, 其成本控制成为业界的焦点。传统成本控制模式大多关注建设施工阶段, 忽略了规划设计的前瞻性影响以及运营维护、报废处置的后续成本, 造成重建设轻运营、重短期轻长期的控制误区, 引发后期运营成本大幅增加、资源浪费等问题。全生命周期理论重视对工程从规划到报废的全过程实施系统管控, 给破解传统模式的弊端赋予了新视角。因此本文立足于全生命周期视角, 从油气管道工程成本优化策略入手, 试图突破各个阶段的成本管理障碍, 达到全流程成本最优的目的, 对提高能源企业的市场竞争力, 保证能源安全稳定供应有着重大的现实意义。

### 1 油气管道工程全生命周期成本概述

#### 1.1 全生命周期成本的核心内涵

油气管道工程全生命周期成本是指从工程规划设计之初, 经过建设施工、运营维护阶段, 直到最终报废处置的全过程所产生的全部费用支出之和, 不是单一阶段成本的简单叠加。其核心特点就是系统性、关联性, 在规划设计阶段技术选择会直接影响建设施工的材料损耗率, 建设施工工程质量又影响着运营维护

的故障维修频率, 而运营维护保养措施又会关联着报废处置的拆解成本和环境修复费用。全生命周期成本核算同传统成本核算相比, 更加重视各个阶段之间成本的相互影响, 将隐性成本, 比如运营故障损失成本, 环境治理成本等计入核算范围之内, 从而能够对工程的成本有更全面, 更动态的掌控。

#### 1.2 全生命周期各阶段成本构成

规划设计阶段成本虽然只占全生命周期总成本的不到 10%, 但是对后续成本的影响度超过 70%, 主要包括可行性研究费、勘察设计费、技术论证费和方案评审费等, 此阶段的方案合理性直接决定成本基准线。建设施工阶段成本占比最大, 占 50% 以上, 主要包含材料采购费、施工设备租赁费、人工成本、场地平整费、工程监理费等, 受到施工工艺、地质条件的影响大。运营维护阶段成本占比 20% 到 30%, 包含设备保养费、巡检维修费、能耗费、人员薪酬、安全监测费等, 有持续性及不确定性<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 全生命周期成本的影响因素

油气管道工程全生命周期成本受到很多因素的综合影响, 分为内部因素和外部因素。内部因素主要是技术因素、管理因素和决策因素, 技术因素体现为设

计方案的科学性、施工技术的先进性、运维技术的成熟度,例如采用新型防腐技术可以降低运营维护成本;管理因素指的是各个阶段流程控制的程度,施工阶段进度控制不到位会造成工期延误,从而增加人工、设备租赁等成本;决策因素贯穿于全过程,规划阶段线路的选择、运营阶段维修策略的制定等决策都会影响到成本的高低。外部因素包含政策法规、市场环境和自然环境,政策上环保政策趋严,会使报废处置成本上升,市场方面钢材价格起伏,会冲击施工材料成本,自然方面地质灾害频繁发生,管道防护与维修成本就会增多<sup>[2]</sup>。

#### 1.4 全生命周期成本管控的现状短板

目前油气管道工程成本控制还存在着很多不足,阻碍了全生命周期成本优化目标的实现。大部分企业成本管理理念比较落后,在项目管理中,施工阶段是主要的控制对象,而对规划设计阶段的成本前移控制不足,对运营维护和报废处置阶段的成本预估不充分,从而造成全过程管控不平衡。数据协同不够,各阶段数据分散地保存在不同的部门里,设计数据、施工数据以及运维数据没有做到互联互通,无法形成全生命周期成本分析的完整数据链,进而影响到决策的科学性。风险控制薄弱,对全生命周期中的各种风险(地质风险、市场风险、技术风险等)不能全面识别,缺少动态风险预警机制,当风险事件发生时容易造成成本超支。

### 2 全生命周期视角下油气管道工程成本优化的意义

#### 2.1 提升企业核心经济效益

油气管道工程投资金额巨大,单条长距离管道工程投资常常达到几十亿元,全生命周期成本优化就是通过对各个阶段的成本精确控制,从而达到降低总成本的目的。规划设计阶段通过改善线路和技术方案,可以削减不需要的工程投入,建设施工阶段依靠精细化管理削减材料浪费和工期延误成本,运营维护阶段依靠预防性保养削减故障维修支出,报废处置阶段依靠资源回收和环保优化削减处置成本。对于某长输管道工程来说,采用全生命周期成本优化,总成本比传统方式节省8%至12%左右,企业盈利能力大大提高,企业的竞争价格、抗风险能力也相应得到提升<sup>[3]</sup>。

#### 2.2 保障工程全流程质量安全

全生命周期成本优化不是单纯的成本下降,是以质量安全为前提的全生命周期成本控制。规划设计阶段对于管道材质、防腐工艺的优化选择,一方面可以降低后期的维护成本,另一方面也可以提高管道的抗腐蚀、抗老化能力;建设施工阶段对于施工工序、质量的严格把关,一方面可以减少由于质量问题造成的返工成本,另一方面可以保障管道运行的基础安全;

运营维护阶段将成本控制与定期巡检、故障预警结合起来,在控制运维成本的同时,及时发现并排除安全隐患;报废处置阶段的成本优化以环保合规为前提,防止出现环境污染造成的处罚成本。成本优化同质量安全形成了互相支撑的良性循环。

#### 2.3 适配能源行业转型需求

目前我国能源行业正处于由化石能源向清洁能源转型的关键时期,油气企业面临新能源替代和碳减排的双重压力,降本增效是企业转型的重要支撑。全生命周期成本优化可以对油气管道工程的全流程进行精细化管理,从而提高能源运输效率,降低单位能源运输成本,给油气行业与新能源的协同发展提供空间。全生命周期成本控制加上环保理念与数字化技术,如管道泄漏智能监测、报废材料循环利用等,既减小了环境成本,又使油气管道工程朝着绿色化、智能化方向发展,契合“双碳”目标下能源行业的发展走向<sup>[4]</sup>。

#### 2.4 完善工程管控体系建设

全生命周期成本优化要求打破传统分阶段割裂的管控模式,创建起规划、施工、运维、报废全过程协同的管控体系。其中企业要创建一致的成本核算准则,充实的数据共享平台并且达成跨部门之间的协同,进而推动管控流程朝着标准化,规范化方向发展。建立全生命周期成本数据库,完成各个阶段成本数据的实时更新共享;设置跨部门管控小组来协调设计、施工、运维等各部门的开支控制。体系化建设不仅能提高成本管控效率,还能带动工程管理、技术创新、风险防控等各方面能力的提高,为企业全方位核心竞争力的形成打下基础。

### 3 全生命周期视角下油气管道工程成本优化策略

#### 3.1 规划设计阶段,前置管控,奠定成本基准

规划设计阶段为全生命周期成本管控的关键源头,需要从线路规划、技术选型、方案评审等方面做好成本前置控制。线路规划上,使用GIS地理信息系统和遥感技术来对比管道线路方案,避开地质复杂、生态敏感、人口密集区,减少后期施工中地质处理成本和环保投入;同时合理规划管道走向和站场布局,缩短管道长度,降低材料及施工成本。技术选型上推行“技术经济性平衡”的原则,在保证质量安全的前提下,优先选用成熟、性价比高的技术和材料,例如采用高强度钢材减小管道壁厚,降低材料成本,同时减小运输和安装难度,对防腐技术进行性价比分析,选择适合区域环境的防腐方案,降低长期运维成本。方案评审上实行多方参与的评审机制,邀请设计、施工、运维、成本核算等各方面的专家进行评审,重点考查方案的成本合理性以及可操作性,防止因设计缺

陷造成后期成本返工。另外加入价值工程的理念,对设计方案做功能及成本的分析,去掉不需要的功能设计,达到功能最优、成本最低的目的<sup>[5]</sup>。

### 3.2 建设施工阶段,精细管控,严控成本超支

建设施工阶段是成本集中发生期,要依靠过程管控、资源优化、技术创新等手段严控成本。过程控制上采用“目标成本+动态控制”的模式,把规划设计阶段确定的成本目标分解到各个施工环节和标段,建立成本台账,实时跟踪施工进度和成本支出情况,出现成本偏差时及时分析原因并进行调整;加强施工现场管理,规范施工工序,减少由于施工不当造成的返工成本和材料浪费。资源优化即实行材料集中采购及供应链管理,以大批量采购降低材料采购价格,同时与供应商建立长期合作关系,保证材料的质量和供应稳定;优化施工设备配置,采用租赁和自有设备相结合的方式,根据施工进度动态调整设备数量,提高设备利用率,降低设备租赁成本;合理调配施工人员,通过岗前培训提高人员专业技能,减少人工失误造成的成本损失。技术创新上推广模块化施工、BIM建筑信息模型等技术,采用工厂预制管道组件、现场组装的模块化施工方式缩短施工工期、降低现场施工成本,用BIM技术进行施工模拟,提前发现施工中管线冲突等问题,减少后期整改成本。

### 3.3 运营维护阶段,预防性管控,降低持续成本

运营维护阶段要以预防性维护与智能管控为核心,降低故障维修成本和运营能耗成本。预防性维护,建立管道全生命周期健康档案,记载管道材质,施工品质,运行参数等信息,依照档案数据制订个性化维护计划,定时对管道执行防腐检测,压力测试等,及时察觉并解决微小隐患,防止隐患延伸引发大面积维修费用;针对关键设备(泵,阀门)实施定时保养并开展状态监测,延长设备使用寿命,削减设备替换费用。智能管控,创建数字化运维平台,融合物联网,大数据,人工智能等技术,达成管道运行状况的即时监测,依靠光纤传感技术对管道泄漏展开监测,借助AI算法来预测设备故障,从而加强故障识别的速度,缩减故障处理的时间和损失,利用智能调控系统改良管道输送参数,削减泵机能耗,做到有效控制运营能耗成本。另外加强运维人员培训,提高运维人员的智能设备操作能力以及故障处理能力,减少由于人为操作失误所造成的成本支出;建立运维成本考核机制,将成本控制指标和员工绩效相联系,调动员工成本控制的积极性。

### 3.4 报废处置阶段,资源化管控,降低终端成本

报废处置阶段既要考虑环保合规,也要考虑资源

回收,实现成本优化和环保效益的双赢。资源回收,对报废管道、设备进行分类评估,对可回收利用的钢材、阀门等部件进行拆解、检测、翻新,重新用于其他工程或出售,提高资源利用率,降低处置成本并创造收益;对不可回收的废弃物,采用无害化处理技术,防止环境污染造成的罚款。环保管控,提前编制报废处置环保方案并经环保部门审批,明确土壤修复、废弃物处置等环保措施,如对管道敷设区域土壤检测并按检测结果选用土壤修复技术,减少土壤污染治理费用;选择有资质的处置企业,处置过程符合环保标准,避免处置违规导致的法律风险和处置成本。另外,在全生命周期成本预算中考虑报废处置成本,在工程规划阶段就预留处置资金,防止后期由于资金不足造成处置延误、成本增加;建立报废处置档案,保存处置过程中产生的成本、环保等信息,给以后工程的报废处置提供经验借鉴。

## 4 结束语

综上所述,油气管道工程全生命周期成本优化是项涉及工程全过程的系统性工程,要冲破传统单一阶段成本管控思维,把“全流程协同、各阶段联动”当作核心逻辑,达成成本与质量、安全、环保的统筹兼顾。本文通过剖析全生命周期各阶段成本构成及管控短板,给出规划设计阶段前置管控、建设施工阶段精细管控、运营维护阶段智能管控、报废处置阶段资源化管控的优化策略,各项策略互相连接、构成闭环,为成本控制提出可操作性较强的实施途径。

### 参考文献:

- [1] 于鲁宁. 关于油气储运管道工程现场安全管理监督工作探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(17):64-66.
- [2] 陶青, 邹雨春, 鲁亚飞. 输油气管道工程概算问题及对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(16):57-59.
- [3] 孙钟阳. 油气储运工程施工现场数字化监控与智能决策系统的设计与实现[J]. 自动化应用, 2024, 65(16):156-158.
- [4] 陈朋超, 关中原. 工程哲学视角下的油气管道工程发展与展望[J]. 油气储运, 2024, 43(09):961-972.
- [5] 佚名. 国家自然科学基金面上项目“信息安全威胁下油气智慧管道系统失效新型致灾机理与早期预警”(52074323)项目介绍[J]. 安全, 2023, 44(7):14-14.

### 作者简介:

尚东辉(1987-),男,汉族,工程师,黑龙江省佳木斯市,本科,研究方向:石油管道油气储运相关工作,工程管理。