

长输管道工程造价控制策略研究与应用分析

丁浩 郎建强 方龙 (国家管网集团山东分公司, 山东 济南 250001)

摘要: 长输管道工程具有跨区域、长周期、高耦合度和不确定性, 传统降本方法难以有效控制投资偏差。本文基于 LCC、目标成本管理、TCM 和 EVM, 构建“策划—设计—采供—施工—结算—运维”的造价控制体系, 提出参数化估算、模块化改进、期现结合、数字化计量等策略, 并通过情景项目分析, 提供 KPI 和实施路径, 实现投资管控、进度预估和结算收敛。

关键词: 长输管道; 造价控制; 目标成本; 挣值管理; 模块化

中图分类号: TE-9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0088-03

Research and Application Analysis on Cost Control Strategies for Long-Distance Pipeline Projects

Ding Hao, Lang Jianqiang, Fang Long (Shandong Branch of National Pipeline Network Group, Jinan, Shandong 250001, China)

Abstract: Long-distance pipeline projects are characterized by cross-regional operations, long cycles, high coupling, and uncertainty, making traditional cost-reduction methods ineffective in controlling investment deviations. Based on Life Cycle Cost (LCC), target cost management, Total Cost Management (TCM), and Earned Value Management (EVM), this study establishes a cost control system encompassing “planning, design, procurement, construction, settlement, and operation.” It proposes strategies such as parametric estimation, modular improvement, spot-futures integration, and digital measurement. Through scenario project analysis, the study provides Key Performance Indicators (KPIs) and implementation pathways to achieve investment control, schedule estimation, and settlement convergence.

Keywords: Long-distance pipeline; Cost control; Target cost; Earned value management; Modularization

1 理论基础与研究方法

1.1 全生命周期成本与目标成本管理

LCC 对建设期一次性投入以及运维期能耗、检修、停输损失等长期费用进行一体化考量, 在达成功能、可靠性及安全约束的前提下探寻全寿命最优解, 根据该情况把目标成本分解到 WBS 与责任主体那里, 按照“目标—执行—偏差—纠偏”的闭环体系运行, 还把可建造性/可维护性的审查工作提前, 保障设计、采购跟施工的成本计算标准一样。

1.2 总成本管理与挣值管理

TCM 强调资金计划、合同结构、供应链跟现场执行做到端到端的贯通, 保证预算、计量与支付的口径相互统一, EVM 借助 CPI、SPI 以及 EAC 对进度—成本实施联动预警, 配合周/月滚动计划及 KPI (像到货 OTD、一次合格率) 触发资源的重新安排和方案优化, 实现偏差的快速识别与纠正。

1.3 风险量化与概率化估算

在估算阶段借助蒙特卡洛模拟, 把工程量、价格和关键节点工期的不稳定状况转化为 P50/P80/P95 区间, 弄清楚误差带宽和批准预算的基点, 预备费可分为基本预备费跟涨价预备费, 确立明显的触发条件及审批界限, 进而按月滚动以更新关键分布参数, 让预算既体现弹性又有规则纪律。

2 长输管道工程造价控制总体框架

2.1 组织与流程的一体化

形成以 WBS/CBS/OBS 三线对齐为核心的组织流程体系: 依靠 WBS 划定工作范围和交付物的颗粒度大小, 用 CBS 来映射到费用科目及成本中心, 利用 OBS 落实到相关责任岗位与班组, 实现“范围—成本—人员”彼此的一一对应, 以现有的基础配置 RACI 职责矩阵, 搞明白业主、设计、采供、施工、监理及造价管理各方的决策界限和审批级别, 形成一个涵盖立项策划、可研估算、初设概算、施工图预算、招采控制价到计量结算的闭环体系。让计量口径与数据字典实现统一, 规范工程量清单、计价规则与取费要素的版本管理及变更记录工作; 同步设置过程 KPI 指标, 如预算执行的比率、合同签约的偏差率、现场签证的周期时长、无效工在总体中的占比、材料的综合单耗数值等, 按照周/月的频率在项目成本例会上开展复盘, 保证“谁对哪块成本担责、用何种口径计量、以什么指标考核”可追溯、有管控、能闭环。

2.2 基线与阶段门禁

制定从 Class 5 (可研级) 到 Class 2 (施工图级) 的成熟度门槛, 明确各个门禁的必备输入及通过要求: 功能/能力的边界、工程量的完整性、关键假设的清单、风险评估和预备费的构成、方案比选跟价值工程的结

论、采购与工期约束的同步性等；不达标就不可以进入下一个阶段。

将成本基线（BAC）、进度基线（里程碑与关键线路）、风险基线（高概率/高影响清单）在门禁处一起冻结，且用审批单记录任何偏离的事由、金额及责任相关主体，对重大不确定性采用概率化表达（P50/P80/P95）同时配合蒙特卡洛情景评估，设定误差幅度与预警临界值；针对“设计冻结点、关键材料锁价点、穿越方案定稿点”设置强制停顿点，通过制度手段保证误差带宽随门禁推进逐步收敛，杜绝早期粗陋估算直接延伸至合同与结算方面。

2.3 数据与平台贯通

凭借 BIM+GIS 承载线路/站场的几何、地质与工程量相关信息，计划管理系统进行 WBS 与进度关联的承载，成本/合同系统承担 CBS - 合同 - 计量 - 支付的承载工作，财务系统承担起发票、税务与资金流的承载任务，四类平台借助统一的编码体系和主数据治理实现打通，形成“概一估一控一结一运”的唯一事实来源。

一切计量与签证达成电子化流转，且与时间戳、坐标、责任人三要素相绑定，自动补入清单与合同条款里，减少口径方面的偏差与信息滞后现象，构建性能仪表盘，即时显示 CPI/SPI 曲线、EAC 预测情况、变更累计金额及预备费动用状况；运用 API 接入外部价格指数、气象及施工窗口相关数据，做到计划滚动校准跟成本再预估，给管理层提供相同口径、同一时刻的决策佐证。

3 长输管道工程前端策划与估算控制策略

3.1 需求边界与场景化功能校核

按照输量区间、调峰与冗余能力、未来接入和检修需求来构建“上限—基准—下限”三角场景，且把关键假设以参数化的方式进行固化，针对通道贯通、临时设施、临时用电用水、生态红线和敏感区限制开展约束化建模，把“可施工窗口”作为刚性约束纳入估算范畴；将不同地貌、穿越密度以及埋深策略转化成工程量与措施费的场景不同，提前亮出高风险工作包。借助跨专业评审对“功能—范围—工程量”的一致性加以校核，坚决去除超出功能范畴的冗余配置，保障预算构建于经验证的场景与具备施工条件的前提之上。

3.2 参数化估算与基准库

设立覆盖管径、材质、壁厚、管线等级、地貌类型、穿越方式及其密度情况、站场规模等要素的成本方程，借助参考类比 + 调差系数 + 区域指数这种组合方式达成异地换算；就关键分部（管材与管件、阀门设备、穿越与特殊工程、施工安装、临设与征迁）分别沉淀

出单价和工程量的参数，设立“参数—工程量—单价—总价”的可复用参考数据库。

一直借助竣工结算与过程计量数据回溯调整参数，记录误差的来源方面（工程量、价格、组织效率、外部要素）及修正系数，逐步增进估算的匹配度与可说明性；在招采项目的阶段，对参数化估算进行拆解，分到标段和关键物资清单，给控制价与投标评审搭建统一根基。

3.3 预备费与涨价预备费的纪律化管理

把预备费区分为“基本预备费（针对已识别但量化还不充分的风险）”跟“涨价预备费（针对材料与设备价格波动）”，搞清楚触发条件、单次额度的上限标准、累计阈值以及审批的通道；只要启用就必须绑定具体的风险条目及证据材料，且要在成本数据库中留下痕迹，达成事前批准、事中核查与事后总结。要求预备费不得用于范围拓展与标准提高，严禁以预备费顶替设计缺陷及管理性返工所需费用；当累计动用临近阈值的时候，触发专项审查，重新评估 EAC 以及资金规划，并提出缩减项或可替代方案，依靠“纪律化—透明化—可追溯”的机制，使弹性资金有效对冲不确定性，而并非成为毫无区分超支的缓冲垫。

4 长输管道工程设计优化与技术路径降本

4.1 标准化、模块化与可建造性

以系列化、模块化与 DfMA 作为工作抓手，把管材规格梯度和阀室标准单元统一起来，站场设备采用预制撬装化以及接口标准化，减少非标准部件与现场复杂的拼装，开展针对可建造性的审查，要求设计一同提交运输与吊装路径、作业面需求、临时结构方案和分段焊接策略；借助 BIM 开展 3D 碰撞检测与 4D 施工模拟，预先识别设备维护空间、管廊净空、焊缝可达性等相关问题，防止现场返工现象及临时措施费激增，在满足安全与功能需求的基础上，优化最小弯曲半径、管节长度以及焊口布置，提高装配工作效率与首次交检合格率。

4.2 穿越与站场工艺优化

按照地质与水文状况，对定向钻、顶管/微隧、明挖回填等穿越工艺进行比选，设置“地勘深化—试验段—专家复核”的三道检验流程，厘清回灌、防塌、纠偏与回拖力预测的控制指标，尽量把穿越失败与返工的风险降低，站场层面经流程优化，实现缩短工艺管线长度与阀门数量，恰当布置切断与放空装置，降低焊口跟法兰连接的点数，减小泄漏风险及检修开支；对仪控、供配电和消防等系统进行综合管线的布置及桥架复核工作，杜绝支吊架重复布置和材料的无谓消耗，做到“材料—工时—质量”三个维度同步改良。

4.3 价值工程与材料替代

依据功能/成本比最大化这一原则,围绕压力等级、壁厚梯度、防腐与保温体系、阀门与管件材质进行方案对比及全寿命评估;在符合设计的基准要求与法规边界条件时,优先挑选综合成本最低的材料体系及做法,利用疲劳、腐蚀与应力的校核工作,验证减薄或材质替代的安全性,采用可检修性及备件通用率指标,做到降低成本而不降低规格、不降低安全要求;针对新材料与新工艺采用“先做样板+质量关键节点+风险缓释规则”的稳健导入办法,兼顾创新所获收益和实施面临的风险。

5 长输管道工程造价采供与合同策略

5.1 期现结合与指数化条款

针对钢材及关键材料推行“长协锁量+指数化调整+择机现货补位”的期现组合策略:长协合同跟权威指数挂钩,还设置了价格的封顶与封底,减轻单向敞口暴露;依照项目现金流与施工窗口分批锁定价格,防止在价格高时集中采购,避免滞料过多占压资金,针对交期长、影响大的设备,开展提前期管理与排产跟踪工作,搭建进度-质量-交付的联合考核与奖惩体系,同时预先规划替代型号及应急供应渠道,增强供应的稳定性与价格的可控性。

5.2 目标价与分享/惩罚机制

若风险分担清晰,优先采用目标价合同和开放账本,布置按偏差区间分段的“分享/惩罚”曲线,让承包商的边际收益与项目节余相互挂钩,抑制“低价中标然后高价结算”的逆向激励,对可测量工程量、可管控变更的分部工程,采用可调总价或单价合同方式,对于技术路径不明确、创新程度高的模块,采用目标价加上费用补偿的方式;合同里面同步设定变更分级、价格调整条款以及争端快速处理办法,保障合同治理与成本控制同步前行。

5.3 供应商分层与绩效管理

设立分层准入与动态考核体系,对核心供应商落实联合质量计划及过程审核工作,将按期到货率(OTD)、一次交检合格率、缺陷率、生命周期成本和问题闭环周期作为硬性KPI;使排产节拍同现场施工窗口形成联动,实行看板化交付与必要的VMI/寄售形式,减少库存及周转所需成本,经过绩效分级与准入门槛动态调整,带动良莠淘汰与不断改进;针对重要品类设立“价格-质量-交期”三维度参照库,为后续项目采购策略提供客观方面的依据支撑。

6 长输管道工程施工期过程控制与变更治理

6.1 进度-成本一体化与红黄线

把周连续滚动计划当成载体,把EVM加入过程

控制体系,设置CPI/SPI红黄线的临界值(像0.95/0.90与1.05/1.10),且与EAC进行联动;当即触发资源重新配置、工序拆分及并行处理、关键穿越窗口重新编排、料机同步优化等专项纠偏事项,且需在下一个结算周期中验证纠偏效果是否达标,对关键线路实施缓冲管控与节点物资保障,严格把控“无计划施工”“计划外加班”“低效等待”等产生的无效工时,凭借过程纪律保障成本曲线与进度曲线同时收敛。

6.2 数字化计量与分级变更

全程采用电子计量与地理化证据收集,焊口、下沟、回填、试压等节点在移动终端进行拍照、定位且固化时间戳,自动填充计量账本并同步核对清单款项,减小人工填写口径的偏差,推行“门槛值-累计阈值-红线”的分级变更审批方式:当单次金额低于门槛,现场可迅速决策,累计金额达到阈值时要进行跨部门审议,一旦触碰红线,必须经项目管理层和法务/造价复核无误后再实施;全部变更与签证自动跟合同条款、取费以及税务要素实现对齐,降低结算矛盾与审计潜在风险。

6.3 质量稳定性与返工抑制

围绕焊接返修率、穿越一次成功率、关键节点一次合格率这三项核心指标,打造“预控-过程-复盘”链条:事前以管控WPS/WPQR和人员资格、优化焊接坡口与对口工装、匹配无损检测方案的方式完成预控;事中采用首件确认、过程抽检,搭配缺陷快速处置清单,切实防止问题扩散;事后对不合格项进行根本成因分析,接着进行闭环改善,将返工、延误成本纳入质量成本范畴,算入班组及分包的考核范畴,采用稳定的过程能力与快捷的问题闭环办法,切实降低返工、停工与索赔连带的连锁成本,保障质量跟成本同步达到要求。

参考文献:

- [1] 潘国华,吕军.天然气长输管道水域段工程造价控制分析[J].天津化工,2023,37(04):139-142.
- [2] 胡亚冲.长输管道工程造价有效控制的途径探讨[J].全面腐蚀控制,2023,37(01):48-50.
- [3] 胡亚冲.天然气长输管道工程造价全过程控制策略分析[J].全面腐蚀控制,2022,36(12):58-59.
- [4] 王培.天然气长输管道工程造价全过程控制方法运用分析[J].石化技术,2022,29(08):157-159.
- [5] 卢鹏超.长输管道工程造价控制评价指数研究[J].建筑经济,2012,(10):54-57.

作者简介:

丁浩(1982.8-)男,回族,山东济南,硕士研究生,中级经济师,研究方向:石油天然气长输管道工程造价。