

Construction Challenges and Response Strategies for Long-Distance Oil and Gas Pipelines

Jianbo Wang

China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co., Ltd., First Branch, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

The construction of long-distance oil and gas pipelines is characterized by a long front line, extensive cross-regional coverage, and complex environments, facing multiple challenges such as geological and natural environmental constraints, technological process bottlenecks, safety and environmental protection pressures, and external coordination obstacles. These challenges not only affect construction progress and engineering quality but may also lead to safety accidents and ecological damage, increasing project construction costs. Based on the actual characteristics of long-distance oil and gas pipeline construction, this paper systematically analyzes the core challenges in the construction process and proposes scientific and feasible response strategies from the dimensions of technological innovation, management optimization, and risk prevention and control. The aim is to provide theoretical references for improving the safety, efficiency, and compliance of long-distance oil and gas pipeline construction, promoting the high-quality development of China's long-distance oil and gas pipeline construction industry.

Keywords

long-distance oil and gas pipelines; construction challenges; technological innovation; safety management; response strategies

长输油气管道施工难点及应对策略

王剑波

中国石油管道局工程有限公司第一分公司, 中国·河北 廊坊 065000

摘 要

长输油气管道施工具有战线长、跨区域广、环境复杂等显著特征, 面临着地质与自然环境制约、技术工艺瓶颈、安全环保压力、外部协调阻碍等多重挑战。这些难点不仅影响施工进度与工程质量, 还可能引发安全事故与生态破坏, 增加项目建设成本。本文基于长输油气管道施工的实际特点, 系统分析了施工过程中的核心难点, 从技术创新、管理优化、风险防控等维度, 针对性提出了科学可行的应对策略, 旨在为提升长输油气管道施工的安全性、高效性与合规性提供理论参考, 推动我国长输油气管道建设事业高质量发展。

关键词

长输油气管道; 施工难点; 技术创新; 安全管控; 应对策略

1 引言

长输油气管道一旦动工, 便要在平原、山地、水域乃至文物保护单位之间连续穿梭, 地质单元切换频繁, 岩土性状差异悬殊, 自然环境多变。高钢级管材的焊接、陡坡段的稳管、水网区的围堰、文物密集带的非开挖, 每一项都对工艺极限提出拷问; 而山体滑坡、洪涝、第三方施工干扰又放大了安全风险。外部协调更呈碎片化: 国土、林业、文物、水利、交通等部门审批链条彼此嵌套, 任何节点卡壳都会把工期推向指数级延误。难点并非简单叠加, 它们相互耦合——地质突变迫使方案变更, 方案变更触发安全重评, 重评再倒灌回组织流程——把施工、技术、管理三条主线同时拉入高

熵状态。一旦失控, 轻则拖垮造价, 重则留下永久缺陷, 威胁管道全生命周期的完整性。拆解这一簇交织的约束, 提炼可复用的对策, 是压缩工期、收敛风险、锁定质量不可绕开的前置条件, 其现实价值随里程延长呈线性放大。

2 长输油气管道施工核心难点分析

2.1 地质与自然环境复杂多变

长输油气管道一旦开工, 作业带往往一口气甩出数百乃至上千公里, 像一条钢线把截然不同的地貌单元强行串起。每换一处断面, 地层就换一副面孔: 流沙层、软土、碎裂岩带轮番出现, 承载力低到几乎可以忽略, 管沟边壁稍受扰动便大片剥落, 管道随之沉降, 施工队只能把本应用于铺管的时间拿去对付塌方。天气也来补刀。热浪、寒潮、暴雨、暴雪不按季节出牌, 设备液压油黏度瞬间失控, 焊口预热曲线被大风撕得七零八落, 人员每操作十分钟就得退回保

【作者简介】王剑波 (1981-), 男, 中国重庆人, 本科, 工程师, 从事管道施工及油气田地面建设研究。

温舱,有效作业窗口被切割得支离破碎。江汉平原这类多雨区把难度再抬一档,年降水动辄把场地泡成沼泽,履带板一踩就陷到轴心,必须先布设盲沟、井点,再垫高砾石平台,才能把吊机稳在可接受的沉降限值内,工序一拉长,复杂度呈级数攀升。

2.2 技术工艺存在多重瓶颈

长输油气管道现场施工是一条由测量、焊接、穿跨越、防腐、通信、下沟、回填、水工保护、地貌恢复等节点串成的技术链,任何一环的偏差都会放大成全线风险。焊接作为链中的核心,长期依赖手工氩弧操作,弧长、摆幅、停留时间全由焊工手感决定,这种‘人一弧’直接耦合的模式使未熔合、内咬边等缺陷随机出现;同时,每道焊口需多层多道填充,熔敷速率低,工位周转慢,高强度手工操作在大规模机械化布管面前愈发显得捉襟见肘。^[1]当施工场景切换到连头口、热煨弯管或大坡度山地、水网地段时,空间被压缩到仅容单人侧身,传统设备无法展开,工艺窗口骤然收窄,效率与质量同步失控。

3 长输油气管道施工难点的应对策略

3.1 优化地质勘察与适应性施工方案

在面对复杂地质状况连同自然环境态势时,施工前期的地质勘察工作,其强化确属必要之举。高精度勘察技术的运用,目的在于全面把握施工区域内地质构造、土壤特性以及地下水位等相关信息,进而建立起完备且详尽的地质数据库。差异化施工方案的拟定,以勘察所得结果为依据。流沙层、软土层等特殊地质条件下,诸如铺设路基板、实施注浆加固之类方式,被用以提升地基的承载能力,避免管沟发生坍塌。极端天气所产生的影响,需纳入考量范围,施工工期的合理规划,应做到规避暴雨、严寒等恶劣天气时段。与此同时,防雨、防冻等应急设备的配备以及临时防护设施的搭建,旨在延长有效施工窗口期。于生态敏感区域,“零扰动”施工技术的采用,意在减少对周边环境造成的破坏。

3.2 推动施工技术创新与装备升级

在应对工艺瓶颈问题时,凭借技术方面的创新性突破,对全自动焊技术展开大规模推广。针对各异工况,研发专门适配的焊接装备,致力于达成连头、山地等特殊场景下全自动焊接作业的目标。在焊接工艺参数层面,予以优化,选用0间隙以及U型窄坡口的设计方式,对双焊炬协同作业的模式进行升级,从而实现焊接效率提升、质量提高,同时降低人为因素所带来的影响。鉴于大口径、高钢级管道施工所呈现的需求,对专用焊接材料与设备展开研发工作,对施工工艺体系加以完善,以此提升技术适配程度。^[2]引入数智化施工技术途径,借助无人机勘察、BIM建模等具体手段,对施工方案进行优化,以达成施工过程精准管控的效果。开展技术培训活动,促使电焊工向具备更高专业性的焊接操作工进行转型,助力施工人员技术水平以及设备操作能力的

提升。

3.3 构建全流程安全环保管控体系

安全风险分级管控以及隐患排查治理这样的双重预防机制,需得以建立与完善。施工各环节的安全风险,应做到全面性识别,并制定具备针对性的防控措施。高危作业的管理,要予以强化。动火作业许可、压力作业规范等诸般制度,需严格施行,现场安全监管亦要加以巩固。地下隐蔽设施排查工作,借由先进探测技术来展开,协同预警机制要构建起来,以避免意外损坏情况的出现。环保领域,专项环保施工方案要制定。在施工之前,生态保护范围要予以划定,施工过程中,植被移植、土壤分层回填等措施需加以采用,从而降低生态破坏程度。于文物保护单位施工之际,与文物部门联合制定专项保护方案,达成施工与文物保护的协同推进。施工废弃物的处理,要进一步优化,达成废渣、废水的达标排放,减少对环境所产生的影响。

3.4 强化外部协调与资源统筹保障

在高效外部协调机制的搭建层面,预先同沿线地方政府、村民以及关联部门展开沟通对接活动,对管道工程所具备的战略意义与社会效益予以充分宣传。关于征地矛盾这一事项,运用“分户定制”的补偿方案,对补偿标准进行精准核算,将补偿款及时且足额发放,以保障村民的合法权益,进而争取群众的支持。审批流程的优化工作,需与各主管部门展开协同配合,提前办理相关审批手续,达成审批周期缩短的目的。就资源保障而言,对物资运输路线进行合理规划,于偏远地区构建临时物资储备库,保障设备与材料能够及时供应。借由分布式发电、应急供水等手段,解决偏远区域电力与水源短缺的难题,确保施工得以持续开展。

3.5 完善施工管理体系与协同机制

构建精细化施工管理体系。各部门、各岗位的职责分工需明确,质量、安全、进度一体化管控机制应建立健全。“两站两棚”等高效施工组织模式被采用,施工流程得到优化,焊接、排水、生态修复等工序实现同步进行,进而提高施工效率。施工全过程的动态监测工作要展开,借助信息化管理平台对施工进度、质量与安全状况实时跟踪,以便及时发现并解决问题。多方协同机制的建立,促使施工单位、设计单位、监理单位及地方部门间沟通协作加强,形成工作合力。应急预案的制定,针对征地纠纷、安全事故、极端天气等突发情况,提前做好应急准备,确保能够快速响应与妥善处置。

4 长输油气管道施工质量与效率提升路径

4.1 建立全周期质量管控机制

长输油管道的服役安全,其根基在于质量,而质量的兑现又依赖一套贯穿施工全周期的闭环管控框架。图纸落地之前,方案与交底文件须经受严苛的合规性筛审:每一条技术路线都要被拉回规范条文与现场工况之间反复比对,确认其既经得起理论推演,也扛得住现场变异。进入施工段,

关键工序被设定为质量闸门，焊接端口执行百分之百射线或相控阵扫描，坡口钝边误差、层间温度曲线、热输入量值悉数录入数据库并与标准阈值实时比对，任何偏离即时触发纠偏指令。与此同时，管材、阀门、焊材的进场被设为另一道单向阀门：质保文件、炉批号、冲击韧性复验数据逐一核验，缺项或超标即予退场，杜绝带病物料流入焊接工位。工程实体收尾阶段，竣工验收不再局限于纸质签章，而是以气压—水压交替试验、氦质谱微量泄漏扫描、全段智能测径等多手段叠加，对密封性、承压能力、几何完整性进行系统性验证，只有当全部指标与规范条文实现零间隙吻合，管道方可获准转入投运环节。^[1]

4.2 优化施工组织与资源配置

施工流程须先以网络计划技术锁定关键路径，再嵌入流水段与平行作业面，使工序衔接压缩至最短日历工期；资源侧同步建立人力-机械-材料三维数据库，按日进度滚动校核，一旦出现偏差立即重排班次或调剂设备，杜绝窝工与缺料双风险。焊接、运输等主力设备实行‘一机一档’，每运行250小时强制拆检，更换易损件并校准控制系统，把完好率稳控在96%以上，直接抬升单机台班产出。现场推行统一工艺卡：坡口尺寸、焊层温度、吊装口令全部量化上墙，把人为变异压到 $\pm 3\%$ 区间，质量波动与返工时间同步收窄。成本端则反向测算：以工序单价为上限，逐条剔除非关键线路的冗余投入，用‘工期-资源’双曲线寻优，最终把质量红线、效率峰值与成本底线锁在同一均衡点。

4.3 强化人员队伍建设与能力提升

施工人员的专业素质直接决定工程实体质量与建造效率，任何操作层面的偏差都会通过误差累积被放大为系统性缺陷，因此必须把‘人’的治理置于项目的核心。队伍建设不能停留在口号，而要围绕能力生成—认证—维持的闭环，设计覆盖全职业周期的制度链。培训体系首先被重构：不再以年度安全教育大会式的‘大水漫灌’为主，而是针对盾构机、数控张拉台座、焊接机器人等新装备，以及BIM放样、数字孪生监控等新技术，开发模块化、可累积学分的微课程；每一门课程配套实景模拟与故障注入考核，保证操

作人员对关键参数、报警阈值、应急顺序形成肌肉记忆。安全环保维度被提到与技术操作同等权重，培训合格标准中增设‘碳排放因子计算’‘噪声扬尘瞬时值预判’两项否决项，促使作业人员在拿扳手之前先完成环境代价的心算。特种作业入口进一步收紧：焊工、起重信号工、履带吊司机一律执行‘双证互锁’，只有同时通过人社部门职业资格鉴定与行业协会技能等级认定才允许进入门禁；证书链写入区块链，现场扫码即可追溯历次复审记录，杜绝纸质假证。技术支撑下沉到作业面：项目部为每30名劳务人员配备1名常驻工艺工程师，其KPI与当月一次验收合格率、返工签证数量直接挂钩，工程师需在24小时内用书面‘技术快讯’回应班组提出的工艺疑点，重大难题则启动‘夜间会诊’，由企业技术中心视频连线拍板。激励机制摒弃平均主义，设立‘零缺陷单元’即时奖励——对完成首件即验收合格的施工单元，当场发放阶梯式奖金并张榜公示；个人积分与后续晋升通道绑定，使‘一次把事情做对’成为比加班更能增加收入的可行路径。如此，人员能力、现场决策与利益分配被重新焊接，施工队从‘被动接受指令’转向‘主动消灭缺陷’，工程目标随之收敛为可预期的优质与高效。

5 结语

长输油气管道施工面临着地质环境复杂、技术工艺瓶颈、安全环保压力大、外部协调困难等多重挑战，这些难点相互关联、相互影响，直接关系到工程建设的质量、效率与安全。应对这些挑战，需要从技术、管理、协调等多个维度综合施策，通过优化地质勘察与施工方案、推动技术创新与装备升级、构建安全环保管控体系、强化外部协调与资源保障、完善施工管理与协同机制等措施，有效破解施工难点。

参考文献

- [1] 徐景山,左晓燕,韩锋. 油气长输管道建设施工安全风险识别及应对措施[J]. 现代职业安全, 2025, (10): 32-34.
- [2] 李子月. 油气长输管道地面建设施工技术及管理[J]. 石油和化工设备, 2025, 28 (09): 152-154.
- [3] 冯庆善,罗鹏,徐春燕. 长输油气管道防震减灾技术[J]. 管道保护, 2025, 2 (04): 5-12.