

天然气长输管道工程项目施工管控研究

袁铮

辽河油田燃气集团公司, 辽宁 盘锦 124010

DOI:10.61369/ERA.2026090003

摘 要 : 天然气长输管道工程具有线路长、沿线地质条件复杂、穿越敏感区域多、施工环境开放等特点, 施工管控质量直接关系到管道运行安全与投资效益。本文以天然气长输管道工程项目为研究对象, 系统分析了施工管控中面临的常见问题, 包括前期勘察设计深度不足、焊接与防腐质量控制难度大、穿越工程施工风险高、HSE 管理压力突出等。在此基础上, 从施工组织与计划管理、质量管理、进度管理、成本管理、HSE 管理及数字化管控六个维度, 提出了针对性的施工管控优化策略。研究表明, 构建基于全生命周期理念的精细化、标准化、数字化施工管控体系, 是提升长输管道工程建设质量与安全水平的关键路径。

关 键 词 : 天然气长输管道; 施工管控; 质量控制; 数字化施工

Research on Construction Management of Long-Distance Natural Gas Pipeline Projects

Yuan Zheng

Liaohe Oilfield Gas Group Company, Panjin, Liaoning 124010

Abstract : Long-distance natural gas pipeline projects are characterized by extensive routes, complex geological conditions along the way, numerous crossings through sensitive areas, and open construction environments. The quality of construction management directly affects pipeline operational safety and investment returns. Taking long-distance natural gas pipeline projects as the research subject, this paper systematically analyzes common challenges in construction management, including insufficient depth in preliminary survey and design, difficulties in welding and anti-corrosion quality control, high risks in crossing construction, and significant pressure in HSE management. Based on these findings, targeted optimization strategies for construction management are proposed across six dimensions: construction organization and planning, quality management, schedule management, cost management, HSE management, and digitalized control. The study demonstrates that establishing a refined, standardized, and digitalized construction management system based on the lifecycle concept is a key pathway to improving the quality and safety levels of long-distance pipeline projects.

Keywords : natural gas long-distance pipeline; construction management; quality control; digital construction

引言

随着我国能源结构持续优化及天然气消费需求快速增长, 天然气长输管道作为跨区域能源输送的大动脉, 其建设规模不断扩大。以西气东输、中俄东线等国家骨干管网为代表的长输管道工程, 动辄跨越数千公里, 途经平原、山地、水网、冻土等复杂地貌, 施工难度大、技术含量高、管理链条长。

在工程项目管理中, 施工管控是连接设计、采购与运行维护的关键环节, 直接影响工程实体质量、建设工期、投资控制及安全环保绩效。然而, 由于长输管道施工具有线性工程、多点同步作业、外部环境依赖性强的特殊性, 传统粗放式管理模式难以适应新时期高质量建设要求。近年来, 部分项目出现焊接一次合格率波动、穿越段渗漏、工期延误、成本超概等管控失效案例, 暴露出施工组织、技术标准执行及过程监督等方面的不足。因此, 系统研究天然气长输管道工程项目的施工管控问题, 提出科学、可操作的管控策略, 对于提升工程建设水平、保障国家能源通道安全具有重要意义。

一、天然气长输管道工程施工管控面临的主要问题

（一）前期勘察设计深度不足，施工变更频繁

长输管道沿线地质条件复杂多变，部分项目因前期勘察投入不足、勘察点位稀疏，未能准确识别活动断裂带、采空区、高水位软土段等不良地质。地层分布、地下水径流情况缺乏详实数据支撑，地质风险预判流于表面。进入施工阶段后，现场开挖发现管沟边坡坍塌、地基承载力不足等问题，必须进行设计变更，导致工期延误和费用增加，变更审批流程繁琐也会拉长停工等待时间，额外产生机械租赁、人员窝工等额外开销。此外，部分设计单位对施工工艺的可实施性考虑不周，例如大角度弯管数量过密、定向钻穿越长度过长等，增加了现场施工管控难度，极易出现焊接形变、回拖阻力超标等施工隐患，进一步拖慢整体建设进度，甚至会埋下管道运行阶段渗漏、形变的长期安全隐患^[1]。

（二）焊接与防腐质量控制压力大

管道环焊缝是质量控制的薄弱环节。在低温、大风、潮湿等恶劣天气下，若未严格执行预热、层间温度控制及焊后缓冷措施，易产生氢致裂纹、未熔合等缺陷，这类隐蔽缺陷初期难以排查，后期极易在管道承压运行时发生开裂破损。长距离管道多采用自动焊工艺，但设备稳定性、坡口加工精度及焊材管理问题仍时有发生，施工人员操作不规范、巡检不到位也会加剧焊接质量偏差。同时，三层PE防腐层在运输、布管及回填过程中可能被划伤，补口若存在密封不严，将埋下电化学腐蚀隐患，长期会造成管壁锈蚀变薄，大幅缩短管道使用寿命。现场抽检表明，部分标段焊缝一次合格率低于95%，防腐补口剥离强度达不到规范要求，整体施工质量管控存在明显漏洞^[3]。

（三）特殊穿越工程施工风险集中

河流、公路、铁路及地质灾害段的穿越工程是施工管控的重难点。这类区段外部制约因素多、施工风险极高，且对工艺精度和现场管控水平要求严苛，容错空间极小。定向钻穿越施工中，扩孔级配不合理、泥浆配比不当易导致塌孔或卡钻；顶管穿越时，顶进轴线偏差过大或地表隆起超限，可能引发既有构筑物损坏，带来安全隐患与赔付风险。尤其是大型河流穿越，水文与河床条件动态多变，若回拖过程中断或防腐层破损，将造成重大返工损失。部分项目因穿越方案论证不充分、前期勘察不足、应急措施不到位，多次发生钻进失败、泥浆冒溢等事故，严重影响施工安全与工程整体进度^[2]。

（四）HSE管理压力突出

长输管道施工呈现线长面广、人员设备高度流动的特点，作业点分散、跨度大，分段多点同步施工，HSE管理难度显著高于点状工程。山区段管沟开挖可能引发滑坡崩塌，陡坡开挖支护不到位极易诱发山体失稳；在役管道近距离施工易造成第三方损伤，一旦戳破管线会出现介质泄漏险情；动火作业点位多、分散远，防火隔离与监护稍有松懈就存在火灾爆炸风险。此外，施工扬尘、噪音及弃渣处置不当易引发沿线群众投诉，农田、河道乱堆弃渣还会破坏水土保持。部分项目部安全管理人员配备不足，一人兼顾多个作业面精力有限，班前安全交底流于形式，作业许

可制度执行不严，特种作业监护缺位，导致轻微伤害事件频发，环保督查整改项增多，既加大整改投入，也损害项目整体施工形象。

（五）进度与成本管控系统性不足

线性工程受征地拆迁、物资供应、天气及地方政策影响大，传统横道图或简单网络计划难以动态反映局部标段的变化。实际施工中，钢管、弯管及防腐材料供应不及时是普遍现象，导致机组停工待料。同时，部分项目成本管控滞后，只注重事后结算，缺乏对分包价格、材料损耗及设备台班的过程监控，造成“进度赶工—成本超支—质量下降”的恶性循环。

二、天然气长输管道工程施工管控优化策略

（一）强化施工组织与计划管控

在项目中标后，施工单位应深度介入设计交底与现场复勘，组织经验丰富的线路工程师、焊接工程师对施工图进行可施工性分析，提前识别高风险段与施工难点。采用分级计划管理体系：一级计划为总体里程碑计划，二级计划为标段月度滚动计划，三级计划为机组周作业计划。引入关键链管理方法，在定向钻穿越、河流大中型穿越等关键节点设置时间缓冲。同时建立物资需求预警机制，根据每日焊接道数及管材消耗量，倒推钢管、热收缩带等物资的到货时间要求，确保施工连续性^[4]。

（二）实施全流程质量管控

焊接质量管控：严格执行焊接工艺规程，自动焊施工前进行工艺评定和模拟试验，对每道焊口建立电子标签，记录焊接参数、操作人员及检测结果。在低温或大风段搭设防风棚与加热装置，落实层间温度监测。委托第三方无损检测单位独立开展100%射线及超声波检测，对山区段、连头口增加相控阵超声检测。防腐质量管控：管材进场时逐根检查防腐层外观，采用电火花检漏仪进行针孔检测；补口施工采用喷砂除锈至Sa2.5级，红外加热收缩带，剥离强度现场抽检不少于每百道口一处。回填前应对管底垫层、管顶覆土细土厚度进行验收，严禁石块直接接触管身。工序验收制度：推行“三检制”（自检、互检、交接检）及关键工序现场签证制。对管沟开挖、组对焊接、下沟回填、清管试压等主要工序设置质量控制点，上一工序未经监理签认不得进入下一工序^[5]。

（三）动态进度与成本协同管控

在进度管理上，采用赢得值法（Earned Value Management）对计划工作量、实际完成量及实际成本进行关联分析。每周统计各标段的计划进度（PV）、实际进度（EV）和实际成本（AC），计算进度偏差（SV）和成本偏差（CV）。若SV为负且CV也为负，说明进度滞后且成本超支，应立即分析是工效下降、物资短缺还是变更管理失控所致，针对性采取增开作业面、调整施工班组或优化运输路线等纠偏措施。在成本管控方面，建立“标准成本+动态核算”机制。按设计工程量及企业定额，测算各标段标准成本（含人工、材料、机械、管理费用）^[6]。每月对实际成本进行归集，重点监控管材损耗率（控制在1.5%以内）、焊材消耗系

数及设备利用率（要求大挖机月利用率不低于70%）。对现场签证和设计变更实行“先算后干、分级审批”，凡超出合同约定比例的变更，需经造价工程师现场复核。

（四）提升 HSE 精细化管理水平

针对长输管道施工作业分散的特点，推行“网格化+清单式”HSE 管理。将全线划分为若干施工网格，每个网格设置专职安全员，并配备移动监控设备。风险管控实行“每日作业风险动态辨识清单”，班前由班组长与安全员共同确认当日主要风险（如动土、起重、临时用电）及对应控制措施。对于陡坡段管沟开挖，必须落实分层开挖、及时支护及坡顶截水措施；在靠近在役管道或高压线作业时，严格划定安全距离并执行监护制度。环境保护方面，定向钻穿越产生的废弃泥浆应集中收集固化处理，严禁排入水体。管沟回填后及时恢复地表植被或复垦，临时便道按设计要求进行生态修复。此外，项目部应每半年组织一次针对大型河流穿越泄漏、山体滑坡等场景的应急演练，并储备足够数量的应急物资（快干水泥、围油栏、吸油毡等）。

（五）推进数字化与智能化施工管控

构建基于 GIS+BIM 的管道工程施工管理平台，将设计图纸、地质剖面、环境敏感区、施工进度等信息集成于同一数字底座。每根钢管在出厂前赋予唯一二维码或 RFID 标签，扫码可查看材质书、防腐参数及焊接记录。现场采用智能焊机实时采集电流、电压及送丝速度，异常数据自动报警。无人机每周沿线路飞行一次，生成正射影像及数字表面模型，自动识别作业带扰动范围、管沟开挖进度及堆土合规性，实现远程巡查与进度比对。通过数字化平台，业主、监理及施工方共享关键管控数据（焊缝合格率、补口剥离强度、成本偏差等），系统自动生成可视化报表，辅助管理决策。同时，利用区块链技术将重要质量验收记录上链存证，防止人为篡改，为运行期完整性管理提供可信数据基础^[7]。

三、长输管道项目施工管控实践

以我国北方某天然气长输管道工程为例，线路全长约 320km，管径 1016mm，设计压力 10MPa，途经平原、丘陵及

两处大型河流穿越。该项目在施工初期曾面临焊接一次合格率仅 91%、多处补口剥离强度不达标、定向钻穿越塌孔等管控问题。项目管理团队随后采取针对性优化措施：一是重新组织焊接工艺评定，在低温段采用中频加热带预热至 100℃以上，并将自动焊焊丝含水量纳入批次检验；二是引入专职防腐工程师，对补口喷砂除锈及热收缩带安装实施旁站监理；三是针对河流穿越，增补地勘钻孔并优化扩孔级数，采用新型复合泥浆体系。同时，应用数字化施工平台实现了每日焊口数据远程监控。经过三个月整改，焊接一次合格率提升至 96.2%，补口剥离强度平均值由 42N/cm 增至 68N/cm，两条河流定向钻穿越均一次回拖成功，工期较计划提前 12 天，成本控制在概算范围内^[8]。该案例表明，系统化、精细化的施工管控措施能够显著改善长输管道工程的关键绩效指标。

四、结语

天然气长输管道工程施工管控是一项涉及多专业、多环节的系统工程。本文从勘察设计、焊接防腐、穿越工程、HSE 管理及进度成本等方面分析了当前施工管控中存在的主要问题，并从组织计划、质量、进度成本、HSE 及数字化五个维度提出了优化策略。研究得出以下结论：一是强化前期复勘与设计可施工性分析，是减少施工变更、从源头控制风险的前提。二是焊接与防腐作为管道本质安全的核心，必须实施全过程参数记录与严格检测，杜绝质量隐忧。三是线性工程的进度与成本管控应引入赢得值法等定量工具，实现动态协同调整。四是 HSE 管理需基于“网格化+风险清单”做到精准防控，尤其关注穿越及山区段风险。第五，数字化技术的深度应用（智能焊接、无人机巡检、GIS 平台）大幅提升了管控效率和透明度，是未来施工管控发展的主流方向。未来，随着智能化管道建设的推进，施工管控将进一步向“全生命周期数据贯通”“AI 辅助决策”和“无人化自动施工”方向发展。建议行业内加快制定智能施工数据接口标准，推广基于数字孪生的施工管控平台，推动天然气长输管道建设从传统劳动密集型向技术密集型、数据驱动型转变，为我国天然气产供储销体系建设提供更可靠的工程保障。

参考文献

[1] 张李龙. 基于 SIS 系统的天然气长输管道站场故障排查技术 [J]. 中国化贸易, 2026, 18(15): 165-168.
[2] 王博洋, 刘少博, 赵宇田. 天然气长输管道施工的风险因素与安全控制 [J]. 中国化贸易, 2026, 18(14): 97-99.
[3] 刘立刚. 智能技术在岩土工程施工管控中的应用 [J]. 智慧中国, 2026, (05): 110-1111.
[4] 李志刚, 周晓峰. 天然气管道工程项目施工中管线防腐施工质量管控要点及对后期生产运行的影响 [J]. 中国石油和化工标准与质量. 2026, 44(04): 40-42.
[5] 卓红永. 石油化工工艺管道设备安装及质量控制探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2026, 46(09): 15-17.
[6] 刘计伟. 天然气长输管道建设中管道焊接质量管理与控制 [J]. 石化技术, 2026, 33(01): 340-342.
[7] 李军. 数字化技术在长输供水管道施工中的应用研究 [J]. 工程与建设, 2025, 39(03): 626-629.
[8] 称书. 数字化建造赋能燃气管道装配式施工技术的研究与应用 [J]. 安装, 2026, (03): 45-48.