

油气管道施工质量控制与技术创新研究

王兵利

中石化中原油建工程有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i3.4711

[摘要] 在全球能源格局深刻变革与“双碳”目标推进的背景下,油气管道施工质量控制与技术创新已成为保障能源输送安全、提升工程价值的核心议题。本文从技术创新对施工效能革新、安全体系重构、成本范式升级的战略意义出发,系统构建覆盖全流程的质量控制体系,深入探讨焊接、防腐、铺设等关键环节的质量控制实践,同时剖析智能化、材料工艺、绿色施工等技术创新方向,为油气管道工程的高质量建设提供兼具理论深度与实践价值的系统性解决方案。

[关键词] 油气管道; 施工质量控制; 技术创新; 智能建造; 绿色施工

中图分类号: TV523 文献标识码: A

Research on Quality Control and Technological Innovation in Oil and Gas Pipeline Construction

Bingli Wang

Sinopec Zhongyuan Oilfield Construction Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of profound changes in the global energy landscape and the promotion of the "dual carbon" goal, quality control and technological innovation in oil and gas pipeline construction have become core issues to ensure energy transmission safety and enhance engineering value. Starting from the strategic significance of technological innovation in construction efficiency innovation, safety system reconstruction, and cost paradigm upgrading, this article systematically constructs a quality control system covering the entire process, deeply explores the quality control practices of key links such as welding, anti-corrosion, and laying, and analyzes technological innovation directions such as intelligence, material technology, and green construction, providing a systematic solution with both theoretical depth and practical value for the high-quality construction of oil and gas pipeline engineering.

[Key words] oil and gas pipelines; Construction quality control; technological innovation; Intelligent construction; green construction

引言

随着能源消费结构转型与长距离输油气需求的增长,油气管道工程正朝着大口径、高压、复杂化方向发展,从陆上穿越到海底铺设,从常规地质到特殊地貌,施工环境的多样性对质量控制与技术创新提出了更高要求。在能源安全战略与生态文明建设双重驱动下,传统施工模式在智能化水平、材料性能、环保要求等方面的局限性日益凸显,亟需通过质量控制体系的完善和技术创新的突破来应对挑战。深入研究油气管道施工质量控制与技术创新,对构建安全高效的能源输送网络、推动管道建设行业技术升级、实现绿色低碳发展具有重要的现实意义。

1 技术创新对油气管道施工的意义

1.1 提升施工效率与工程进度

技术创新通过工艺优化与装备升级,从根本上革新油气管

道施工的效率模式。创新的管道焊接技术通过自动化焊接系统的应用,实现焊接参数的精准控制与焊接过程的连续作业,使单口焊接时间缩短40%,整体焊接效率提升35%以上。新型管道铺设装备融合智能控制与地形适应技术,可在山地、沼泽等复杂地形实现自动化铺设,减少施工准备时间与环境改造工程量,使管道铺设速度提升25%。在跨国长输管道施工中,技术创新带来的施工效率综合提升,可使整体工程周期缩短20%-30%,确保能源输送通道的快速贯通^[1]。

1.2 强化施工安全与工程可靠性

技术创新为油气管道施工构建了多层次的安全保障体系与可靠性基础。创新的施工监测技术通过部署分布式光纤传感与智能监测终端,实现对焊接温度场、管道应力应变、环境参数等关键指标的实时采集与预警,使施工安全隐患的识别提前量提

升至2小时以上,安全事故发生率降低50%。新型管道材料与结构设计采用高强度耐腐蚀合金与复合增强技术,提升管道抗地质灾害与介质腐蚀能力,在地震带或高盐卤区域施工时,工程的长期可靠性可提升40%。技术创新带来的安全可靠提升,为油气管道的全生命周期安全运行奠定了技术基础。

1.3 优化施工成本与资源利用

技术创新推动油气管道施工成本控制从被动管理向主动优化转变,形成新的成本竞争优势。创新的施工工艺通过数字化预制与模块化安装,减少现场作业量与材料损耗,使管道预制环节的材料利用率提升至90%以上,综合成本降低20%。智能化施工管理系统通过大数据分析 with 资源调度算法,实现设备、人员、材料的动态优化配置,使资源利用效率提升30%,在大型管道项目中可降低整体施工成本15%-25%。技术创新不仅降低直接施工成本,还通过减少能源消耗与环境影响,实现经济效益与环境效益的协同优化。

2 油气管道施工质量控制体系

2.1 施工前质量控制

施工前质量控制作为全流程质量管控的起点,通过系统性策划与准备奠定质量基础。严格开展施工设计审查,组织多专业协同评审,确保设计方案在压力等级、防腐要求、穿越方案等方面符合工程实际与规范标准。强化原材料与设备采购管理,建立供应商动态评价体系,从材质证明、性能检测、生产工艺等维度严格审核,确保采购的管材、焊接材料等关键物资质量达标。开展施工人员分级培训与技术交底,针对焊接、防腐、吊装等关键岗位进行实操考核,确保施工人员熟悉工艺要求与质量标准。编制详尽的施工组织设计与质量计划,明确关键工序控制点与质量验收标准,为施工质量控制提供指导性文件^[2]。

2.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制通过全要素、全环节的动态管控确保施工质量符合要求。在管道焊接环节,采用智能焊接系统实时监控焊接电流、电压、速度等参数,结合视觉检测技术对焊道成形进行在线评估,确保焊接质量的稳定性。管道铺设过程中,利用北斗定位与惯性导航技术组合,实现铺设轨迹的毫米级精度控制,同时通过实时高程测量确保管道坡度符合设计要求。加强施工工序管理,建立“三检制”(自检、互检、专检)与工序交接制度,对焊接、防腐、下沟等关键工序进行100%质量检验。构建施工质量追溯系统,通过区块链技术记录关键施工数据与人员信息,实现质量问题的快速定位与责任追溯。

2.3 施工后质量验收与评估

施工后质量验收与评估通过科学的检测手段与评价体系验证工程质量。制定分层次的质量验收标准,涵盖外观检查、无损检测、压力试验等内容,采用相控阵超声、射线检测等先进技术对焊接接头进行100%检测,确保焊接质量达标。对管道防腐层进行电火花检测与粘结力测试,采用多频电磁检测技术评估防腐层完整性,保障防腐质量。组织由设计、施工、监理等多方参与的质量评估会议,结合检测数据与运行模拟,对管道的强度、密

封性、耐腐蚀性等性能进行综合评价。建立完整的工程质量档案,收录设计文件、施工记录、检测报告等资料,为管道运行维护提供全面的质量信息支持。

3 油气管道施工质量控制的实践应用

3.1 焊接质量控制实践

在油气管道焊接质量控制中,采用全位置自动化焊接技术,通过机械臂精准控制焊枪姿态与焊接参数,减少人为因素影响,使焊接一次合格率提升至98%以上。构建焊接质量智能检测系统,集成超声相控阵与激光视觉检测技术,对焊接接头内部缺陷与表面成形进行全方位检测,检测精度达到0.1mm级。建立焊接工艺数据库,根据不同管材规格、焊接位置、环境条件等因素,优化焊接工艺参数组合,形成标准化的焊接工艺卡,确保焊接质量的一致性。实施焊接人员星级认证制度,通过理论考试与实操考核相结合的方式,对焊接人员进行技能分级,持证上岗并动态评估,保障焊接操作的规范性^[3]。

3.2 防腐保温质量控制实践

油气管道防腐保温质量控制中,根据敷设环境选择适配的防腐体系,如陆上管道采用三层PE防腐层,海底管道采用复合防腐结构,确保防腐材料性能与环境要求匹配。严格执行防腐层施工工艺,控制表面预处理质量、涂层厚度与固化时间,采用自动化喷涂设备提高防腐层均匀性。建立防腐层质量检测体系,通过电火花检漏仪检测防腐层完整性,利用剥离强度测试仪评估涂层粘结力,对检测发现的缺陷及时修补并复检。在特殊环境如冻土区施工时,采用保温-防腐一体化技术,优化保温层结构与防腐层匹配性,确保防腐保温效果的长期稳定。

3.3 管道铺设质量控制实践

管道铺设质量控制根据不同地质条件采用差异化的铺设策略,在平原地区采用机械化连续铺设,在山区采用分段牵引铺设,在水域采用定向钻穿越或沉管铺设,确保铺设方法与环境相适应。运用三维激光扫描与实时动态测量技术,对管沟开挖尺寸、管道铺设位置进行精确控制,使铺设误差控制在±50mm以内。做好管道下沟后的回填与防护工作,根据土壤性质选择合适的回填材料,对易受冲刷或腐蚀的地段设置防护套管或阴极保护措施。铺设完成后进行系统的压力测试与泄漏检测,采用智能清管器与在线检测技术,对管道强度与密封性进行全面评估,确保铺设质量符合运行要求。

3.3.1 智能化施工技术创新

智能化施工技术创新以数字化、网络化、智能化为主线,重构油气管道施工模式。开发管道施工智能装备群,包括自主焊接机器人、智能检测无人机、管道铺设自适应机械等,实现施工过程的少人化、无人化作业。构建基于工业互联网的施工管理平台,集成施工设备物联网、人员定位、物料管理等系统,实现施工数据的实时采集、传输与分析,提升施工管理效率30%以上。应用数字孪生技术构建管道施工虚拟模型,通过多物理场仿真优化施工方案,预测施工风险,减少物理样机试验次数40%,实现施工过程的可视化、预控化管理。

3.3.2 新型材料与工艺创新

新型材料与工艺创新为油气管道施工提供了性能更优、适应性更强的技术手段。研发高性能管道材料,如新型高强耐蚀管线钢、复合增强塑料管道等,使管道强度提升20%、耐腐蚀性提升30%,满足高压、强腐蚀等苛刻条件下的输送要求。创新管道焊接工艺,发展激光-电弧复合焊接、摩擦搅拌焊接等新型焊接技术,提高焊接速度与质量,实现厚壁管道的高效优质焊接。开发复杂地质条件下的管道铺设工艺,如深海管道铺设的动态张力控制技术、冻土区管道铺设的温度场调控技术等,拓展油气管道的建设应用场景^[4]。

3.3.3 绿色施工技术创新

绿色施工技术创新是贯彻生态文明理念的重要实践,它在油气管道施工领域发挥着推动绿色低碳发展的关键作用。通过推广节能型施工装备与工艺,如使用电动工程机械和光伏临时供电系统,有效减少了施工过程中的能源消耗和碳排放,实现了施工能耗的显著降低,目标降至原能耗的25%。此外,开发环保型施工材料,如水性防腐涂料和可降解焊接保护气体,有助于降低施工对环境的化学污染。同时,建立完善的绿色施工管理体系,实施施工场地生态恢复技术和废弃物分类回收利用技术,进一步减少了对生态环境的负面影响。这些措施共同促进了油气管道施工的绿色化、可持续化发展,为构建和谐生态社会贡献力量。

4 结束语

油气管道施工质量控制与技术创新是保障能源安全、推动行业进步的核心动力。通过构建全流程质量控制体系与推进技术创新,可显著提升油气管道施工的质量水平、效率效益与安全可靠。未来需进一步深化智能化施工技术的应用,加强新型材料与工艺的研发,完善绿色施工技术体系,突破深海、极地等特殊环境下的施工技术瓶颈,构建更加安全、高效、绿色的油气管道建设体系,为能源行业的高质量发展与“双碳”目标的实现提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

- [1]王伟.油气管道施工工艺优选及安装工程控制研究[J].石油和化工设备,2025,28(02):76-78+82.
- [2]杨磊.油气长输管道施工中的焊接技术探讨[J].全面腐蚀控制,2023,37(06):31-33.
- [3]王兆智.油气管道山地管沟施工技术分析[J].全面腐蚀控制,2023,37(04):64-66+82.
- [4]何为,王大庆.油气长输管道地面建设施工技术与管理[J].石化技术,2022,29(07):247-249.

作者简介:

王兵利(1974--),男,河南省安阳市人,本科,中级工程师,研究方向:石油化工。