

新型技术在油气长输管道建设工程中的应用

杜咏成 (山东胜利建设监理股份有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 随着科技的不断进步, 油气长输管道建设领域对新型技术的采纳日渐增多, 显著提升施工效率、质量保障及成本效益管控水平, 智能化焊接、智能检测、数字化智能化技术、新材料应用技术集群, 构成了油气管道建设现代化的核心动力, 采用这些技术显著增强了施工的精确性与安全标准, 大幅降低劳动力开支, 缩短了施工阶段, 为油气行业持续发展奠定坚实技术基石。

关键词: 油气长输管道; 新型技术; 自动化焊接; 智能检测; 数字化与智能化; 新材料

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0103-03

Application of New Technologies in Oil and Gas Pipeline Construction Projects

Du Yongcheng (Shandong Shengli Construction Supervision Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the continuous advancement of technology, the adoption of new technologies in the construction of long-distance oil and gas pipelines is increasing, significantly improving construction efficiency, quality assurance, and cost-effectiveness control. Intelligent welding, intelligent detection, digital intelligent technology, and new material application technology clusters constitute the core driving force for the modernization of oil and gas pipeline construction. The use of these technologies significantly enhances the accuracy and safety standards of construction, greatly reduces labor costs, shortens the construction stage, and lays a solid technical foundation for the sustainable development of the oil and gas industry.

Keywords: oil and gas long-distance pipelines; New technologies; Automated welding; Intelligent detection; Digitization and intelligence; new material

1 新型技术在油气长输管道建设工程概述

领域——油气长输管道建设, 突破性技术引领行业迈向全新阶段, 以自动化焊接技术为示范样本, 集团积极推广该技术在油气长输管道工程中的全面实施, 在中俄东线天然气管道工程实施阶段涉及, 728公里长、直径 1422mm 的管道, 全采用自动焊接技术。管道局成就的“四全”管道焊接检测机器人技术装备, 实现了重大技术突破, 该系统具备对 33mm-1422mm 管径的全覆盖能力, 可应对坡度不超过 30 度的复杂地形条件, 实现多种焊缝形态的全自动焊接及超声波检测, 油气管道焊接技术中, 手工及半自动焊接占比高达 80%, 劳动强度大增、成本攀升、质量波动频繁, 应用该系统后, 单机组日生产效率实现两倍飞跃, 一次合格率提升 11%。在管道连头方面, 管道二公司研制的全自动焊接机械, 实施零间隙及 U 型窄坡口等创新设计理念, 成功消除了平原及缓坡地区连头作业与金口作业全自动焊接的技术障碍, 与传统的组合自动焊接相较, 日焊接效率增长一倍, 在非开挖穿越技术上, 西气东输三线中段工程创新运用 1219mm 大口径单边导向钻穿越黄土高原, 降低土石方量达八成, 降低作业风险等级, 维系地表原貌, 油气长输管道建设采用焊接机器人、无人机巡检、GIS 地理信息系统及 SCADA 自动化控制系统等智能化技术, 全面提高施工与运营管理质量。

2 新型技术在油气长输管道建设中的应用

2.1 自动化焊接技术

油气管道长输工程, 焊接自动化技术占据核心地位, 大幅提高焊接品质及效率, 以川渝鄂段川气东送二线天然气管道工程为实证, 一标段全自动焊接一机组作业区段, 三座焊棚内, 34 名作业者串联成工序作业序列, 仅用 40min, 便实现了直径约 1.2m 的环焊缝焊接。国家管网集团积极倡导采用自动焊接技术的第三代管道建设技术, 全面实施油气长输管道工程自动化焊接, 达成 100% 自动化率, 中俄东线天然气管道黑河至长岭段, 管径 1422mm、全长 728km 的输气管道, 全面采用自动化焊接手段, 确保了八万余道环焊缝的焊接无缺陷。管道局开发的“四全”管道焊接检测机器人装备体系, 在东非原油管道直径 610mm、壁厚 11.54mm 的施工中, 焊接合格率一跃至九成八以上, 单道焊材消耗大幅缩减, 能源消耗量降低, 碳排及烟尘排放减少逾六成, 该系统在国内外多个重点工程中实现应用拓展, 显著提升了施工效能的级别, 保障了焊接质量。自动化焊接技术迈向新阶段, 激光跟踪与智能传感技术融合创新, 引领焊接自动化新高峰, 西气东输四线工程采用的“双丝埋弧自动焊接”技术方案, 通过实时监测焊接温度场与熔池形态, 将环焊缝热影响区缩小 30%, 极大降低了管道应力腐蚀风险。焊接数据云平台实现了全程跟踪机制, 施工人员可实

时从移动端调取焊接参数及缺陷分析报告，问题整改效率增长 40%，油气管道建设借助技术创新，步入高质量与低损耗新阶段，跨国能源通道的安全稳定得以依托核心技术得以实现。

2.2 智能检测技术

智能检测技术加固油气长输管道安全防线，通过构建分布式感知网络，实施光纤声波传感（DAS）与激光甲烷检测（TDLAS）综合监测方案，每公里管道沿线均匀配置 40 个智能监测点，实现泄漏检测的高精度目标，在渤海海底输气管道工程实施阶段进行，利用烟台科勘海洋的智能化海洋监测设备与管道泄漏检测系统数据整合，微小泄漏的检测灵敏度达到 0.1L/min，远超行业平均界限。平台所建三维模型，综合了压力、流量、温度等多个物理场参数，采用机器学习算法对实时数据与数字图像进行对比分析，当检测到压力波动异常 0.2MPa 时，系统高效完成泄漏概率的判定，准确率达 97%，西气东输枢纽站启用之际，误报比率降低 82%，年度运维开支降低至 1200 万元。融合智能阀门及无人机巡检的应急响应集成装置，区域隔离于泄漏确认后 30s 内迅速启动，配备红外热成像技术的巡检无人机能精确锁定泄漏点，定位误差小于 0.5 m，中俄天然气输送管道之东线，沿管道每 10m 距离配置一个光纤传感监测单元，吸纳海洋环境监测数据集，海底管段检测精度大幅提升，有效降低了泄漏风险。

从这一阶段，智能检测技术升级，迈向全生命周期监控新阶段，于管道的关键部位嵌入微型机电传感器阵列，可实时捕捉管道振动、腐蚀等微观变化，借助 5G 网络，数据上传云端中台，实现数据融合分析，该页岩气外输管道采纳此技术，成功在六个月前对三处应力腐蚀隐患进行预警，结合卫星遥感地表沉降探测数据，形成了“天—地结合”的立体防控格局，系统依托自学习功能，持续升级算法模型，目前第三方施工干扰识别的准确度已达到 99.2%，强化了油气管道的安全壁垒。

2.3 数字化与智能化技术

油气长输管道建设运营模式正经历数字化、智能化技术的范式革命，“丝路国脉”数字化系统，中油国际管道独立研发，确立了跨国管网体系的数字中心，在面对中亚天然气管道突发状况时，值班人员借助智能调度系统下达指令，系统在 8min 内迅速制定压力调节及设备操作指导，大幅提升决策效率。该平台对工程建造及生产操作等八大模块进行了有效融合，达成协同作业，办公效率提升 20%，数据共享率提高 20%，国家管网集团展示的巨大型天然气长输管道实时

仿真技术，打破了我国大型油气管网技术桎梏，该系统已部署于 3 万公里天然气管道，保障了能源数据安全与自主可控。1422mm 口径天然气管道内部检测设备，保障了超大口径管道完整性监控的技术可靠性，第八届中国国际管道会议集中展示的多套智能管道技术解决方案集，集成了焊接、感知、监控、巡检、数据分析等全流程的技术，加速迈向管道建设与运营的智能化阶段。

智能化巡检范畴，无人机集群与管道机器人联合作业模式已全面推广，集成高清摄像头与多光谱传感器的无人机，可快速对百公里管道周边进行巡查，识别第三方作业及地质灾害等隐患；管道内检测机器人则能深入管道内部，精准捕捉腐蚀、裂纹等细微缺陷，传输延迟降至秒量级。智能算法在管网优化中占据核心地位，依托历史运行数据形成预测模型，72h 前对压力波动与流量异常等风险进行预先警示，管道非计划停机时长降低 30% 以上，技术创新不断优化油气输送的安妥性、经济效益及智能化发展，奠定能源供应的技术保障根基。

2.4 新材料应用技术

新材料技术为油气管道腐蚀问题提供有效应对，西南油气田着手实施特高硫含量气田开发计划，首次大规模采用耐蚀合金双金属复合材料，铁山坡气田含水天然气输送作业阶段进行时，6.3km 集气支线全程采用此材料，管道内腐蚀问题已成功克服。镍基复合新材料有效抵御硫化氢及氯离子侵害，材质内部构筑管道安全壁垒，力求成本降低，采用碳钢管与 3mm 镍基复合层结合技术，以 10 年运维周期为基准，成本大幅缩减，国家石油天然气管网集团联合研发团队，成功研制出 X65/X70 油气管道专用气保实心焊丝，标志着我国在国产化领域的又一重大突破，该技术已成功应用于西气东输三线闽粤支干线潮州至 27# 阀室段工程，以及天津液化天然气外输管道复线项目，完成焊接作业，累计焊口 284 个，管道总长度为 3.7km，合格率突破九成八以上。

国内焊丝研发突破，摆脱了对外部资源的依赖链条，巩固了国家能源安全格局，显著提升了管道的固有安全系数，审视新材料应用领域的进展，创新成果加速见诸实效，能源企业针对高酸性气田管道实施修复作业，采用创新陶瓷基复合材料修补工艺，采用热喷涂技术构建紧密防护层，该新型复合材料在耐硫化氢腐蚀性能上，比传统环氧涂层高出三倍之多，大幅增加管道维护时长，深海油气管道开发技术研究，定制化超高分子量聚乙烯内衬，呈现卓越的抗压与耐磨效果，已成功实施于多起深水油气田项目，显著降低

海水腐蚀对管道的腐蚀性破坏,构筑了油气输送安全的多元技术壁垒。

3 新型技术在油气长输管道建设工程中的应用效果评估

3.1 施工效率提升

油气长输管道建设行业范畴,新型技术采纳大幅增强施工效能,实现了工程进度的精准把控与高效推进,智能化设备的普及化趋势成为核心驱动力,依预设程序运作,无人焊接机器人实现连续作业,效率增长超 30%,大幅领先传统人工焊接,显著降低因疲劳引起的工序停顿率;定向钻法与三维地质探测系统相结合,能精准规避复杂地形和地下障碍物,将穿越施工周期缩短 40%,河流、铁路等敏感区域穿越作业中,此技术表现尤为出色。

施工全流程管理依托 BIM 技术,实现可视化管控,设计阶段至施工阶段,再到进度监控阶段,各环节数据实时共享,降低图纸误差引发的返工率,工序协同效能提升 25% 以上,工厂生产管道组件,经模块化技术后,迅速运至现场组装,施工时长减半,大幅削减野外作业受环境影响的威胁。物联网设备的部署则实现了施工设备、人员状态的实时监控与调度,资源利用率提升 20%,有效杜绝了闲置情形,促进油气长输管道建设迈向高效集约新阶段,综合多源数据的数字化施工管控平台,采用智能算法对施工方案进行精炼,实时调整资源部署,关键节点完成率提升 15% 以上水平,前沿检测技术,无人机与 AI 识别系统协同,可实时排查施工隐患,将返工率压缩至 8% 以下水平,进一步稳固高效建设根基。

3.2 质量保障

油气长输管道建设阶段,新型技术深度结合,形成了全链条、高精度的质量监管结构,显著降低了工程质量风险,无损检测技术升级构成质量监控的核心突破点,相控阵超声检测、射线数字成像等技术实现了管道焊缝内部缺陷的精准识别,检测精度较传统技术提升超五成以上,且可实时生成数字化检测报告,实现缺陷无遗漏检测。材料性能监测方面,管道本体与防腐层监控普遍实施光纤传感技术,可实时捕捉温度、应变、腐蚀等参数变化,提前预警潜在质量隐患,降低材料失效风险至原水平的七成,智能化施工管理显著稳固了质量根基,采用程序化手段对焊接参数进行精确调控,焊缝合格率维持于 99% 以上水平线;智能压实监测系统实时反馈管道回填土的压实度,阻绝后期沉降造成的管道损伤隐患,BIM 与 GIS 的协同,实现了管道全生命周期的质量跟踪,设计至施工,运维数据一键式检索,质量分析与整改得以借助数据支

撑,巩固了油气长输管道的工程品质与运行安全基础。

3.3 成本控制

新型技术的应用为油气长输管道建设工程带来了显著的成本优化效果,通过提高资源利用效率、减少浪费和降低风险实现了全周期成本可控。施工效率的提升直接带来了工期成本的节约,智能化装备和模块化施工使单位工程工期缩短 20% ~ 30%,减少了人工、设备租赁等时间性成本支出,据统计可降低工期相关成本 15% 以上。技术升级有效降低了返工与维修成本,高精度检测技术和智能监测系统减少了因质量问题导致的返工率,将返工成本控制在总造价的 1% 以内;定向钻、水平穿越等非开挖技术的应用,避免了传统开挖对农田、植被的大规模破坏,降低了青苗补偿、生态修复等费用,在复杂地形区域可节约环境成本 30% ~ 50%。资源优化配置进一步压缩了成本空间,BIM 技术的工程量精确计算减少了材料采购的浪费,使材料损耗率从 5% 降至 2% 以下;物联网的设备调度系统提高了机械利用率,减少了设备闲置成本。同时,全生命周期的风险预警技术降低了后期运维阶段的故障维修成本,综合来看,新型技术的应用可使油气长输管道建设总造价降低 8% ~ 12%,实现了工程经济效益与技术效益的双赢。

4 结束语

总之,新型技术在油气长输管道建设工程中的应用,不仅提升了施工效率和质量,还有效控制了成本,为油气行业的可持续发展提供了强有力的技术支撑。未来,随着技术的不断进步和创新,这些新型技术将在油气管道建设中发挥更加重要的作用。我们应继续关注和研究这些技术的发展,以确保油气管道建设能够适应未来能源需求的变化,为国家能源安全和经济发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 仲谦,张建伟.长输油气管道工程智慧工地标准化建设探讨[J].标准科学,2023,(S2):138-141.
- [2] 丁天良.油气长输管道工程施工风险管理探讨[J].全面腐蚀控制,2022,36(12):54-55.
- [3] 赵云杰.油气储运长输管线工程施工风险管理研究[J].中国储运,2022,(01):137-139.
- [4] 穆海辉.管道施工中的质量问题、管控措施及典型案例[J].化学工程与装备,2020,(06):123-125.
- [5] 王春华.油气长输管道工程中强化施工风险管理的措施[J].化工管理,2020,(16):186-187.

作者简介:

杜咏成(1989.10-)男,汉,籍贯:湖北黄冈,本科,工程师,研究方向:工程建设新技术。