

管道全自动焊接在长输管道工程施工中的应用

郭建强 (中石化胜利油建工程有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 以管道全自动焊接在长输管道施工中的应用为研究对象, 分析其在质量控制、技术与环境适配、设备运维及质量检测追溯等方面存在的薄弱环节, 提出完善精准管控体系、提升适配能力、强化运维培训及构建全流程检测追溯机制等措施, 有效解决应用痛点, 提升施工质量与效率, 为长距离复杂管道工程施工提供实践参考。

关键词: 管道全自动焊接; 长输管道; 焊缝质量; 设备运维

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0124-03

Application of Fully Automatic Pipe Welding in Long-Distance Pipeline Construction

Guojianqiang (Sinopec Petroleum Engineering And Construction Shengli Corporation, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Taking the application of fully automated pipe welding in the construction of long-distance pipelines as the research subject, this study analyzes its weak links in quality control, technical and environmental adaptability, equipment operation and maintenance, and quality inspection and traceability. Measures such as improving the precision management system, enhancing adaptability, strengthening operation and maintenance training, and establishing a full-process inspection and traceability mechanism are proposed to effectively address application challenges, improve construction quality and efficiency, and provide practical references for the construction of long-distance complex pipeline projects.

Keywords: Fully automated pipeline welding; Long-distance pipelines; Weld seam quality; Equipment Operation and Maintenance

随着我国油气管道建设向长距离、复杂地形延伸, 加之绿色低碳施工政策推动, 管线工程对焊接效率与质量的要求持续提升。当前管道全自动焊接技术已逐步替代人工焊接成为主流, 但在复杂工况适配、质量管控等方面仍存短板, 应用中易出现缺陷防控不足、环境适应性差等问题。基于此, 围绕技术应用中的核心痛点展开分析与优化, 可推动焊接工艺标准化升级, 助力管线工程实现安全高效施工, 为行业技术应用提供实操支撑。

1 管道全自动焊接在长输管道施工中的应用意义

1.1 提升施工效率与工程进度

管道全自动焊接技术借助预设程序与机械化作业模式, 摆脱了人工焊接的生理局限与操作节奏制约, 能够实现焊接流程的连续高效推进。其通过多工位协同作业布局, 将坡口加工、组对、焊接等工序形成顺畅衔接的流水作业链, 减少了工序转换过程中的时间损耗。设备可根据管道管径、壁厚等参数自动适配焊接节奏, 无需人工反复调整, 大幅缩短了单道焊口的作业周期, 同时能够适应长输管道多段落、多工况的施工需求, 为工程整体进度的有序推进提供了坚实支撑。

1.2 保障焊缝质量稳定性

全自动焊接设备通过数字化控制系统精准调控焊接电流、电压、送丝速度及焊枪姿态等关键技术参数,

确保每一道焊道的成形过程都处于标准化控制之下, 有效规避了人工焊接中因操作经验、生理状态差异导致的质量波动。焊接过程中, 设备可实时响应焊接空间位置的变化, 自动调整工艺参数以保证熔合效果, 使焊缝外观成形均匀一致, 内部组织致密^[1]。而标准化的焊接模式能够有效控制未焊透、气孔、夹渣等常见缺陷的产生, 让焊缝质量始终保持在稳定可控的范围内, 为管线长期安全运行筑牢质量基础。

1.3 降低劳动强度与安全风险

管道全自动焊接技术以机械自动化操作替代了人工在高温、高辐射、高粉尘环境下的高强度作业, 焊工仅需承担设备监控、参数微调等辅助性工作, 显著减轻了体力消耗与职业健康压力。焊接作业通常在全封闭防风保温棚内进行, 配合完善的安全防护装置, 能够有效隔绝焊接飞溅、电弧辐射等危险因素, 减少火灾、烫伤等安全事故的发生概率。

1.4 降低工程综合成本

管道全自动焊接技术虽在初期设备采购与投入阶段需要一定的资金支持, 但从工程全生命周期视角分析, 其成本优势体现在多个维度。高效的作业模式缩短了施工工期, 减少了设备租赁、场地占用、人工驻场等间接费用的持续支出; 稳定的焊缝质量降低了因返工修补产生的材料损耗、工时浪费等额外成本, 避免了后期因质量问题引发的维护费用增加。再加上自

动化作业对高技能焊工的依赖程度相对较低，减少了人力成本投入，同时焊接材料的精准控制也减少了浪费现象，使得工程综合成本得到有效控制。

2 管道全自动焊接在长输管道施工中需改善的问题

2.1 焊接质量控制存在薄弱环节

管道全自动焊接的质量控制核心问题集中在特殊位置焊接缺陷防控与参数稳定性把控上。立焊、仰焊等复杂空间位置的焊缝易出现熔合不充分现象，层间未熔合与表面未熔合问题较为突出，直接影响焊缝整体强度。焊接过程中，气孔、咬边等常见缺陷的产生具有一定随机性，受参数细微波动与操作配合影响较大，难以形成持续有效的防控机制。部分焊缝余高超标或过渡不圆滑，与母材衔接处易形成应力集中点，为管线长期运行埋下安全隐患，这些问题反映出质量控制体系在细节把控上的不足。

2.2 技术适配性与环境适应性不足

不同管径、壁厚及材质的管道对焊接技术的适配要求存在显著差异，但当前全自动焊接技术的参数匹配体系尚未完全覆盖各类复杂工况，对变壁厚管道、热煨弯管等特殊构件的焊接适配性有待提升。坡口加工精度与焊接工艺参数的协同性不足，易因坡口角度、钝边厚度等尺寸偏差导致焊接质量波动^[2]。户外施工中，风、温度变化等环境因素对气体保护效果的干扰较为明显，尤其是在低温、高湿或多风环境下，保护气体层流状态易被破坏，导致焊缝氧化、气孔等缺陷增多，技术应用的环境容错率偏低。

2.3 设备运维与操作规范性欠缺

全自动焊接设备的核心部件损耗与日常维护不同步，导电嘴磨损、送丝机构卡滞、焊炬定位偏差等设备问题频发，直接引发焊接中断或焊缝质量缺陷。设备维护保养缺乏标准化流程，对关键部件的检查周期、更换标准不明确，易因小故障积累影响设备整体运行稳定性。操作人员的技能水平参差不齐，部分人员对设备原理、参数调试逻辑理解不深入，在面对工况变化时难以快速做出精准调整，操作过程中的不规范行为不仅影响技术优势发挥，还可能加剧设备损耗，形成恶性循环。

2.4 质量检测与追溯体系不完善

现有无损检测技术与全自动焊接工艺的适配性不足，对焊缝内部隐蔽性缺陷的识别效率较低，难以全面覆盖焊接全过程的质量隐患。焊接过程中的关键参数记录不完整，部分施工环节缺乏实时数据采集与存储机制，导致焊缝质量无法实现全流程追溯，当出现质量问题时难以快速定位根源。检测结果与施工环节的联动性不强，检测反馈不及时，无法形成“检测 -

整改 - 优化”的闭环管理，且部分检测标准与全自动焊接的技术特点不匹配，难以准确评价焊缝实际质量水平。

3 管道全自动焊接在长输管道施工中的优化方法和措施

3.1 完善焊接质量精准控制体系

构建全流程坡口质量管控机制，以焊接工艺规程为核心编制专项作业指导书，采用液压坡口机加工，通过坡口机涨靴矫正管口确保坡口轴心与管轴心重合。加工前核查管端 150mm 范围内内外制管焊缝修磨平整度，加工后用经校验的万能角度尺、游标卡尺逐口检测坡口角度、钝边厚度等关键尺寸，对表面有尖点凹坑或深度超标的管段直接切除重加工，每完成 20 根管材即更换坡口机刀片，保障尺寸均匀稳定^[3]。

建立动态焊接参数适配与过程调控机制，依据管道管径、壁厚、材质及地形工况预设焊接电流、电压、送丝速度及焊枪摆幅等参数，立焊、仰焊等特殊位置针对性调整焊枪角度与停留时间。焊前采用中频加热器预热，环境温度 5℃ 以上时预热宽度不小于 50mm，低于 5℃ 时扩大至 75mm，质量检查人员在距坡口 25mm 处圆周均匀测量 4 点温度确保预热均匀。焊接过程中焊工实时观察电弧熔合状态，通过防风保温棚隔绝环境干扰，用风速仪、温湿度仪、测温仪实时监控，多道填充时对仰焊区域超厚部位及时打磨，盖面焊保证后续焊道至少覆盖前一焊道 1/3 宽度，相邻焊道沟槽深度不超 1.0mm。

3.2 提升技术适配与环境适应能力

构建多工况焊接参数智能匹配体系，针对不同管径、壁厚及材质管道，结合地形坡度、构件类型等工况，细化编制标准化参数方案，涵盖电流、电压、送丝速度及焊枪摆幅等关键指标，形成可快速调用的参数数据库。对变壁厚管道、热煨弯管等特殊构件，优化坡口加工形式与焊接参数的协同逻辑，明确孔锥型坡口等特殊形式的加工标准与对应焊接参数调整幅度，确保坡口尺寸与焊接工艺精准匹配。施工时设置防风保温棚，在棚体与管道连接处加装厚胶皮，底层四周增设帆布棉围裙，阻断风力干扰。根据环境温度调整预热策略，低于 5℃ 时扩大预热宽度至坡口两侧不小于 75mm，低于 -5℃ 时启用电加热带伴随加热，管端采取临时封堵减少热量流失^[4]。配备混合气体检测表与流量检测表，每批新进场混合气均校验配比，每道焊口焊接前核查气路密封性，确保保护气体纯度与流量稳定，抵御温湿度变化对焊接质量的影响。

3.3 强化设备运维与人员技能培训

建立全周期设备运维标准化体系，制定关键部件

专项维护台账,明确导电嘴、送丝机构、焊炬等核心部件的检查周期与更换标准,每完成固定焊口数量后强制进行部件状态检测。配备专用维护工具与备用配件,对设备气路密封性、电路连接稳定性进行常态化排查,及时清理焊枪喷嘴与导电嘴的焊渣堆积,避免小故障积累影响整体运行。定期校验焊接设备的参数输出精度。

构建分层级人员技能提升机制,针对设备操作、参数调试、故障排查等核心能力进行培训,邀请专家开展设备原理与工艺适配逻辑讲解。组织实操演练与案例研讨,模拟不同工况下的设备调整场景,让操作人员熟练掌握应急处理技巧。

3.4 构建全流程质量检测与追溯机制

打造多维度缺陷精准检测体系,整合超声波、射线检测技术形成互补,重点针对焊缝内部未焊透、气孔等隐蔽缺陷开展全覆盖检测。焊接前核查坡口加工质量与组对参数,焊接中用测温仪、风速仪实时监控环境与层间温度,焊后通过专用仪器检测焊缝余高、宽度及咬边尺寸,确保外观与内部质量双重达标。检测结果实时录入系统,同步标记缺陷位置、类型及严重程度,形成可视化检测报告,为后续整改提供精准依据^[5]。

建立数字化全流程追溯体系,为每道焊口生成专属二维码,涵盖焊口编号、材质、管径、坡口加工信息及焊工、监理单位等基础数据。焊接过程中自动采集电流、电压、送丝速度等关键参数,结合检测数据、整改记录形成完整档案,实现从坡口加工到焊缝验收的全环节可追溯。监理人员依据相关规定审核采集数据,确保信息真实有效,当出现质量问题时,通过扫码快速调取全流程数据,精准定位问题根源并追溯责任主体。

4 案例分析

4.1 案例项目概况

选取苏皖豫干线项目(滨海—鲁山)干线施工总承包第二标段,途经3省6地市11县(市、区),主要地貌为平原、浅丘地形地貌。本标段长344.23km,项目管径D1219mm,设计压力10MPa,材质L555M(X80M)级钢管。项目配置了7个传统内焊机全自动焊接机组、7个钨极氩弧自动外根焊全自动焊接机组及7个组合自动焊机组。

4.2 全自动焊接施工实施过程

地形坡度 $\leq 15^\circ$ 的一般线路段,采用内焊机根焊+外焊机实心焊丝自动焊填充盖面的工艺;地形坡度在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的路段及直管-热煨弯管环焊缝,选用钨极氩弧自动外根焊+外焊机实心焊丝自动填充盖面

工艺;连头口则采用钨极氩弧焊根焊+外焊机气保护药芯焊丝自动填充盖面的组合自动焊工艺。

一般地段的管口组对采用带对口功能的内焊机实现,自动氩弧焊采用内对口器,组合自动焊地段采用内、外对口器。坡口采用现场机械加工的方式,尺寸符合焊接工艺规程要求,每完成20根管材即更换坡口机刀片以保证加工精度。

焊前采用中频加热器进行预热,管口预热完成后在距坡口25mm处圆周均匀测量4点温度,确保预热均匀达标;焊接过程中搭建全封闭防风保温棚,配备风速仪、温湿度仪、测温仪实时监控环境与参数,焊工根据电弧熔合状态微调焊炬姿态与参数。而对于内焊机根焊后出现的漏焊或成型不良等缺陷,由持证焊工使用内焊机自带补焊枪从钢管内部即时补焊,确保缺陷及时整改。

4.3 施工应用效果

项目全自动焊接作业实现标准化、机械化推进,大幅减少人为操作差异对质量的影响,焊缝外观成形均匀一致,未焊透、气孔、夹渣等缺陷发生率显著降低,焊缝质量极大提升,完全满足设计文件与规范要求。该案例充分证明,管道全自动焊接技术在长距离、复杂工况的管线工程中具有显著应用优势,其标准化的工艺体系与灵活的工况适配能力,可为同类工程提供切实可行的实践参考。

5 结语

管道全自动焊接技术为长输管道高效优质施工提供了重要支撑,通过针对性优化质量管控、技术适配、设备运维及检测追溯等环节,有效弥补了原有应用短板,提升了技术的适用性与可靠性。实践证明,完善的优化措施能显著降低焊缝缺陷率、控制综合成本。

参考文献:

- [1] 杜保健.天然气长输管道全自动焊接质量的影响因素及管控措施[J].油气田地面工程,2025,44(05):41-46.
- [2] 刘华秋.天然气长输管道施工技术研究[J].现代盐化工,2025,52(01):82-84.
- [3] 童静,段翱,张成,等.江苏滨海LNG配套输气管线工程焊接质量管理实践[J].焊接技术,2024,53(09):129-132.
- [4] 郭依宝,赵恒宇.全自动焊接技术在长输管道抢修中的应用[J].化工管理,2024(20):127-130.
- [5] 段红彦.管道全自动焊在管线工程施工中的应用[J].化工管理,2023(35):145-148.

作者简介:

郭建强(1983.05—),男,汉族,山东东营人,本科,中级工程师,主要从事的工作:管道施工管理。