

长输管道全自动焊接质量控制技术研究

章邦伟 (中石化江苏油建工程有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘要: 随着我国油气管道建设向高钢级、大口径、长距离方向发展, 对焊接施工的效率与质量提出了更高要求。传统手工焊接与半自动焊接模式受人因素影响较大, 存在焊接接头性能不稳定、缺陷发生率较高、施工效率受限等问题, 难以满足现代化长输管道工程的建设需求。基于此, 本文聚焦全自动焊接技术的质量控制体系构建, 提出全流程质量控制策略, 旨在提升长输管道全自动焊接的质量稳定性与可靠性, 为长输管道工程的安全高效建设提供技术支撑。

关键词: 长输管道; 全自动焊接; 质量控制; 工艺优化; 实时监测

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0097-03

Research on Fully Automated Welding Quality Control Technology for Long-Distance Pipelines

Zhang Bangwei (Sinopec Jiangsu Oil Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou Jiangsu 225000, China)

Abstract: With the development of China's oil and gas pipeline construction toward higher steel grades, larger diameters, and longer distances, higher requirements have been imposed on the efficiency and quality of welding construction. Traditional manual and semi-automatic welding methods are significantly influenced by human factors, resulting in issues such as unstable joint performance, high defect rates, and limited construction efficiency, making it difficult to meet the demands of modern long-distance pipeline projects. Based on this, this paper focuses on the construction of a quality control system for fully automatic welding technology, proposing a comprehensive quality control strategy. The aim is to enhance the stability and reliability of fully automatic welding in long-distance pipelines, providing technical support for the safe and efficient construction of long-distance pipeline projects.

Keywords: Long-distance pipelines; Fully automatic welding; Quality control; Process optimization; Real-time monitoring

长输管道是油气资源跨区域输送的核心基础设施, 其焊接质量直接关系到管道系统的运行安全与使用寿命。而全自动焊接技术凭借其焊接参数精准可控、焊接过程稳定连续、施工效率高的优势, 逐渐成为长输管道焊接施工的主流技术。然而, 长输管道施工往往面临野外复杂地形、恶劣气候条件以及多变的母材特性等挑战, 全自动焊接质量易受设备状态、工艺参数、环境因素等多重变量影响。因此, 开展长输管道全自动焊接质量控制技术研究, 构建全流程、高精度的质量控制体系, 是推动长输管道焊接施工技术升级、保障管道工程安全运行的关键举措。

1 长输管道全自动焊接质量的影响因素分析

1.1 设备因素

全自动焊接设备是焊接质量的基础保障, 其性能稳定性直接影响焊接过程的可控性。焊接电源的输出稳定性决定电弧电压与焊接电流的精准度, 若电源输出波动过大, 易导致焊缝熔深不均、气孔等缺陷; 焊接小车的行走精度与送丝机构的稳定性, 会影响焊缝的成型质量, 行走偏差或送丝不稳可能造成焊缝余高超标、咬边等问题; 此外, 焊枪的定位精度、保护气体输送系统的密封性也会对焊接质量产生关键影响。

1.2 工艺因素

焊接工艺参数是全自动焊接质量控制的核心变量, 主要包括焊接电流、电弧电压、焊接速度、送丝速度、保护气体流量等。不同钢级、不同口径的管道母材, 对焊接工艺参数的适配性要求差异显著。例如, 高钢级管道母材的焊接需精准控制热输入量, 热输入过高易导致焊缝晶粒粗大, 降低接头韧性; 热输入过低则易造成未焊透、未熔合等缺陷。同时, 焊接层数、层间温度控制也会影响焊接接头的力学性能, 层间温度过高会加剧热影响区的软化, 降低接头强度。

1.3 人员因素

尽管全自动焊接大幅降低了对焊工操作技能的依赖, 但操作人员的专业素养仍至关重要。操作人员对焊接设备的调试能力、对工艺参数的把控水平、对焊接过程中异常情况的处置能力, 均会影响焊接质量。例如, 设备调试阶段若未能精准校准焊枪位置与行走轨迹, 会导致焊缝偏差; 焊接过程中若未能及时发现并处理设备故障, 可能造成批量焊接缺陷。

2 长输管道全自动焊接质量控制的核心技术路径

2.1 焊接设备的精准选型与适配性调试

一是设备选型原则。针对长输管道高钢级、大口

径的特性，全自动焊接设备选型需遵循高性能、高稳定性、高适应性原则。焊接电源应选用具有数字化控制功能的逆变式电源，支持焊接参数的精准设定与实时调整，具备良好的抗干扰能力；焊接小车需配备高精度行走机构与导向装置，适应管道环缝焊接的圆周运动需求，同时具备爬坡、越障能力，满足野外复杂地形施工；送丝机构应采用双丝或多丝送丝系统，提升焊接效率与焊缝熔敷率；保护气体系统需配备稳压装置与流量控制系统，确保保护气体供应稳定。

二是设备适配性调试。首先，根据管道母材的材质、规格，调试焊接电源的输出特性，确保焊接电流与电弧电压的匹配度；其次，校准焊接小车的行走速度与送丝速度，通过试焊验证焊缝成型质量；再次，调试保护气体流量，结合施工现场环境风速，确定最佳气体保护方案；最后，对设备的控制系统、传感器等进行功能性测试，确保设备运行稳定可靠。

2.2 焊接工艺参数的优化设计

一是基于母材特性的工艺参数匹配。针对不同钢级管道母材的焊接特性，开展工艺参数优化试验，构建工艺参数数据库。对于低碳钢、低合金钢等常规母材，重点优化焊接电流、电弧电压与焊接速度的匹配关系，确保焊缝熔深与熔宽均匀；对于高强钢、耐热钢等特殊母材，需严格控制热输入量，采用小电流、快焊速的焊接工艺，同时优化层间温度，避免热影响区性能劣化。此外，根据管道焊接的坡口形式，调整焊枪的角度与摆动参数，确保坡口两侧熔合良好。

二是焊接工艺的标准化制定。结合母材特性与施工环境，制定标准化的焊接工艺规程（WPS），明确焊接各环节的工艺参数范围、操作要求与质量标准。工艺规程需涵盖坡口加工、组对、预热、焊接、层间清理、焊后保温等全流程，例如，规定坡口加工的精度要求，组对时的错边量、间隙范围，预热温度与预热范围，以及焊后保温的时间与温度等。同时，工艺规程需具备一定的灵活性，可根据施工现场环境的变化进行适度调整。

2.3 焊接过程的智能化实时监测与控制

一是多参数实时监测系统构建。构建基于传感器技术的全自动焊接过程实时监测系统，实现对焊接核心参数的动态采集与监控。通过在焊接设备上部署电流传感器、电压传感器、温度传感器、速度传感器等，实时采集焊接电流、电弧电压、焊接速度、熔池温度、层间温度等参数；利用视觉传感器采集熔池图像，通过图像处理技术分析熔池的形态特征，如熔池的大小、形状、流动性等，判断焊接过程的稳定性。

二是异常工况的智能预警与自适应调控。基于实

时监测数据，构建焊接质量异常预警模型，利用大数据分析 with 人工智能算法，识别焊接过程中的异常工况。当监测到焊接电流、电弧电压超出预设范围，或熔池形态出现异常时，系统自动发出预警信号，并触发自适应调控机制。例如，当检测到熔池温度过高时，系统自动降低焊接电流或加快焊接速度，调整热输入量；当检测到保护气体流量不足时，系统自动增大气体流量，确保焊接熔池的有效保护。通过实时监测与自适应调控，实现焊接过程的闭环控制，提升焊接质量的稳定性。

2.4 焊后质量的精细化检测与评估

一是无损检测技术的综合应用。焊后质量检测是焊接质量控制的最后一道防线，需采用多种无损检测技术进行综合评估。针对长输管道焊接接头，优先采用超声波检测（UT）与射线检测（RT），检测焊缝内部的未焊透、未熔合、气孔、夹渣等缺陷；采用磁粉检测（MT）或渗透检测（PT），检测焊缝表面的裂纹、咬边等缺陷。同时，利用数字化无损检测技术，如相控阵超声波检测、工业CT检测等，提升缺陷检测的精准度与效率，实现缺陷的定量分析。

二是焊接接头力学性能测试。选取代表性焊接接头试样，开展力学性能测试，包括拉伸试验、冲击试验、硬度试验等，评估焊接接头的强度、韧性、硬度等关键性能指标。拉伸试验用于检验焊接接头的抗拉强度与屈服强度，确保接头性能不低于母材标准；冲击试验用于检验焊接接头的低温韧性，尤其适用于高钢级管道母材的焊接质量评估；硬度试验用于检测焊接接头的硬度分布，判断热影响区的软化程度。力学性能测试结果需与无损检测结果相结合，全面评估焊接接头的质量。

3 长输管道全自动焊接质量控制的保障措施

3.1 技术保障

建立专业的全自动焊接技术研发与应用团队，团队成员需涵盖焊接工艺、设备维护、质量检测、材料科学等多个领域的专业人才，形成全链条技术支撑体系。加强与高校、科研院所及焊接设备制造商的产学研合作，针对长输管道高钢级、大口径、复杂工况焊接的技术痛点，联合开展全自动焊接工艺优化、智能化监测系统研发、新型焊接材料适配性研究等攻关项目，推动新技术、新工艺、新设备的成果转化。建立焊接技术与质量数据的动态管理数据库，整合不同母材钢级、不同施工环境下的焊接工艺参数、设备运行数据、质量检测结果等信息，形成标准化的技术指导手册，为后续同类工程提供可复制、可推广的技术参考。

同时,构建技术迭代更新机制,密切跟踪国际前沿焊接技术发展动态,定期引进先进的焊接设备与监测技术,组织技术团队开展专项学习与实操训练,确保技术水平始终与行业发展同步。此外,设立专项技术攻关基金,鼓励技术人员围绕现场焊接质量难题开展创新研究,对取得显著成效的技术创新成果给予表彰与奖励,激发团队的技术创新活力。

3.2 制度保障

制定完善的全自动焊接质量管理体系,明确建设单位、施工单位、监理单位、检测单位的职责分工,形成各司其职、协同联动、层层把关的质量管理格局。建立焊接工艺审批制度,所有焊接工艺规程(WPS)需经专家评审、现场试焊验证合格后方可正式实施,严禁无工艺指导或擅自变更工艺参数的焊接作业。构建全流程质量监督检查机制,设立专职质量监督员,对焊接设备调试、坡口加工组对、预热焊接、层间清理、焊后保温等关键环节进行全过程旁站监督,对不符合质量要求的工序责令立即整改,并建立整改台账,实行闭环管理。建立焊接质量考核与追溯机制,将焊接一次合格率、缺陷返修率、焊缝无损检测合格率等指标纳入施工单位与操作人员的绩效考核体系,考核结果与薪酬、评优评先直接挂钩;同时,为每条焊缝建立唯一的质量追溯编码,记录焊接人员、设备型号、工艺参数、检测结果等信息,实现焊接质量的全生命周期追溯。完善质量验收制度,严格按照国家与行业标准开展焊后质量验收工作,未达到验收标准的焊缝坚决予以返修或割除,确保每一道焊缝都符合工程质量要求。

3.3 人员保障

构建分层分类的人员培训与管理体系,打造一支技术过硬、作风严谨、责任到位的全自动焊接专业队伍。针对操作人员,建立系统化的岗前培训与持证上岗制度,培训内容涵盖焊接设备原理与操作、焊接工艺规程、质量控制要点、安全操作规程等,培训结束后需通过理论考试与实操考核,取得相应的焊接资质证书后方可上岗作业。定期组织操作人员开展技能提升培训,邀请行业专家与技术骨干进行现场授课与实操指导,分享焊接质量控制的经验技巧,针对典型焊接缺陷案例进行深度剖析,提升操作人员的问题识别与处置能力。

针对质量检测人员,加强无损检测技术培训,确保其熟练掌握超声波检测、射线检测等检测方法的操作规范与缺陷判定标准,严格执行持证上岗制度,杜绝无证人员从事检测工作。针对管理人员,开展质量管理体系、项目管理、风险防控等方面的培训,提升

其统筹协调与质量管控能力。建立人员绩效考评与激励机制,对焊接质量优异、技术创新突出的人员给予物质奖励与职业晋升机会;对违规操作、造成质量隐患的人员进行严肃处理,情节严重的调离岗位,形成奖优罚劣的鲜明导向。

3.4 应急保障

建立健全全自动焊接质量安全应急处置机制,有效应对焊接过程中突发的设备故障、工艺异常、质量缺陷等问题,最大限度降低质量风险与经济损失。成立由技术、质量、安全等部门组成的应急处置小组,明确各成员的职责分工与应急响应流程,定期组织开展应急演练,提升团队的应急处置能力。针对常见的应急场景,如焊接设备突然故障、焊缝出现严重缺陷、保护气体供应中断等,制定详细的应急预案,明确应急处置措施与操作步骤。建立应急物资储备制度,在施工现场储备充足的备用焊接设备、易损配件、保护气体、保温材料等应急物资,确保应急状态下能够及时调配使用。

4 结束语

长输管道全自动焊接质量控制技术是一项集设备、工艺、监测、检测于一体的系统性工程。通过精准的设备选型与调试、优化的工艺参数设计、智能化的过程监测与控制、精细化的焊后检测,能够有效提升全自动焊接的质量稳定性与可靠性。未来,随着人工智能、数字孪生等新技术的不断发展,长输管道全自动焊接质量控制技术将向智能化、数字化、可视化方向演进,推动焊接质量控制向事前预防、事中控制转变,为我国长输管道工程的高质量建设提供更加强有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 中雷,高杨.浅析长输管道全自动焊接设备管理与维护[J].中国设备工程,2024(S2):107-109.
- [3] 李文.长输管道自动焊连续施工技术工艺分析[J].化工管理,2023(35):54-57.
- [4] 郝祥远,龚海洋,吴晓超,等.基于参数匹配分析法的全自动焊接技术管理研究[J].油气田地面工程,2023,42(05):98-103.
- [5] 李创业,李创新,李娜.长输管道全自动焊接缺欠的统计分析[J].市场监管与质量技术研究,2023(02):57-60.

作者简介:

章邦伟(1985-),男,汉族,江苏徐州人,本科,工程师,研究方向:油气管道建设。