

天然气管道焊接施工中全自动埋弧焊技术

盛子豪 何亚昕 (国家管网集团浙江省天然气管网有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 本文针对天然气管道焊接施工中的全自动埋弧焊技术展开研究, 通过分析该技术的核心特性与适用范围, 结合实际工程案例阐述天然气管道工况特点, 从焊接参数调控、焊材选配与管理、焊接过程稳定性控制、焊缝质量检测等方面, 明确各技术环节的具体实施要点与操作规范, 以期通过全自动埋弧焊技术研究, 能够提升天然气管道焊接施工质量, 确保天然气管道系统稳定运行。

关键词: 天然气管道; 全自动埋弧焊; 焊接技术

中图分类号: TE973

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 033-0112-03

Fully Automated Submerged Arc Welding Technology in Natural Gas Pipeline Welding Construction

Sheng Zihao, He Yaxin (National Pipeline Network Group Zhejiang Natural Gas Pipeline Network Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310000, China)

Abstract: This article focuses on the research of fully automatic submerged arc welding technology in natural gas pipeline welding construction. By analyzing the core characteristics and scope of application of this technology, combined with practical engineering cases, the working conditions of natural gas pipelines are explained. From the aspects of welding parameter control, welding material selection and management, welding process stability control, and weld quality inspection, the specific implementation points and operating standards of each technical link are clarified. It is hoped that through the research of fully automatic submerged arc welding technology, the welding construction quality of natural gas pipelines can be improved, and the stable operation of natural gas pipeline systems can be ensured.

Keywords: natural gas pipeline; Fully automatic submerged arc welding; welding technology

全自动埋弧焊技术凭借其焊接效率高、焊缝质量稳定、作业环境适应性强等优势, 在天然气管道焊接施工中得到广泛应用。在天然气管道建设过程中, 面对长距离、大口径、复杂地质条件等施工需求, 全自动埋弧焊技术能够有效满足管道焊接的高精度与高效率要求, 为保障天然气管道的长期稳定运行奠定技术基础。

1 全自动埋弧焊技术分析

全自动埋弧焊技术采用机械装置进行焊接过程自动化控制, 能够顺利完成焊接作业, 其主要特点是焊机行走速度、焊丝送进速度、焊接电流、焊接电压等参数按照预设程序运行。同时, 全自动埋弧焊利用焊剂覆盖焊接区域, 能够有效隔绝空气和电弧熔池的接触, 以实现焊接作业高效、稳定的完成。该技术在焊接时电弧燃烧于焊剂层下, 能够减少弧光辐射以及烟尘污染, 还能利用焊剂的冶金作用改善焊缝金属化学成分以及组织性能, 进而保证焊缝的力学强度、抗腐蚀性能合格^[1]。

天然气管道焊接中使用全自动埋弧焊技术, 能够满足直径超过 200mm 的大口径管道焊接要求, 焊接效率比手工电弧焊提升 3.5 倍, 且焊缝成型美观、缺陷率低, 确保天然气管道运行过程中具备较高安全性。

2 天然气管道工况分析

某跨省天然气输送管道长度 820km、管径 1219mm, 设计压力 10MPa, 其需要穿越平原、丘陵、小型河流等多种地形条件。该管道运行中受到高压、温度 -20℃ ~40℃ 变化以及土壤腐蚀影响, 有些管道段存在地震烈度超过 6 度的现象, 这对管道焊接接头强度、韧性、抗疲劳性能有更高要求。

该天然气管道材质为 X80 级管线钢, 单根管道长 18m, 需要进行连续焊接作业。因为该施工区域地段为农田和林地, 这对设备的移动性、作业环境适应能力要求较高, 还需要降低对周边自然环境造成的影响。

2.1 技术参数与工程工况适配原则

由于该跨省天然气管道工程的管道材质特殊、环境要求高、长度长, 所以, 在全自动埋弧焊技术应用时, 需要考虑管道材质、壁厚、环境确定适宜技术参数。本工程中管道壁厚 22mm, 确定焊接电流 500~600A、电压 30~34V, 匹配 ER100S-G 焊丝与低氢型焊剂, 能够满足 -20℃ ~40℃ 波动条件下焊缝韧性。同时, 该天然气管道需要穿越丘陵、河流, 所以焊接过程中焊机行走速度 35~45cm/min, 配合使用弧形轨道和防风棚, 能够满足复杂环境下参数稳定性要求, 防止参数失配导致焊接缺陷^[2]。

2.2 焊接质量与工程标准一致原则

本工程天然气管道设计压力为 10MPa, 这对焊缝质量有更高要求, 需要保证前全自动埋弧焊质量达到技术标准。焊接作业阶段保证天然气管道对口错边量不超过 20mm, 焊缝余高 0~3mm, 进而能够满足 GB/T3323 标准中要求。而在管道焊接时每段 18m 长度, 焊接完成后采用 100% 射线检测以及超声波复检方式测定质量, 确保管道焊接位置不存在未熔合、气孔等缺陷。同时, 试板力学性能符合 -40°C 冲击功 $\geq 47\text{J}$ 要求, 从而提高天然气管道焊接接头强度、韧性标准。

2.3 作业流程与工程规范合规原则

本天然气管道需要穿越农田、林地等生态敏感区域, 采用全自动埋弧焊作业时需要遵循合规性要求。在该工程焊接中焊材存储库房条件为 $15\text{~}30^{\circ}\text{C}$ 、湿度 60% 以下, X80 级管线钢焊接前焊剂经过 250°C 烘干 2h。焊接施工中建设焊材管理台账, 每批次 ER100S-G 焊丝使用位置精准记录, 确保质量具备可追溯性。同时, 焊机符合野外操作要求, 轨道安装使用磁力盘固定间距在 50cm 以下, 防止对周边生态环境和人员安全造成不利影响。

3 全自动埋弧焊关键技术

3.1 焊接参数精准调控技术

3.1.1 焊接电流与电压的匹配调控

通过对管材材质、壁厚分析, 确定焊接电流以及电压范围。以 X80 级管线钢、壁厚 22mm 管道为例, 焊接电流 500~600A、电压 30~34V, 而在焊接阶段使用埋弧焊机自带的参数反馈系统监测电流与电压波动。如果波动超过 $\pm 5\%$, 则系统立即调整焊接参数以确保电弧稳定燃烧, 防止参数设置不当造成焊缝存在未熔合、气孔等缺陷。同时, 全自动埋弧焊需要结合水平固定焊、垂直固定焊的焊接位置差异, 确定适宜参数组合。例如, 水平固定焊需要适当的提高电流以保证熔深, 垂直固定焊则减小电流并增大电压以使焊缝成型均匀^[3]。

3.1.2 焊接速度与焊丝送进速度的协同控制

全自动埋弧焊焊接速度需要考虑到管道直径、壁厚等参数, 通常设定为 30~50cm/min 之间。焊丝送进速度和焊接速度保持 1 : 1.2 的关系, 能够保证焊丝熔化质量和焊接速度匹配, 以防焊丝堆积或熔敷质量不足。焊接环节采用光电传感器监测焊机行走轨道平整度, 如果轨道存在轻微位移则立即调整行走电机转速, 能够保证焊接速度达到稳定性要求^[4]。

3.1.3 焊剂堆敷厚度与粒度的适配调整

全自动埋弧焊接环节, 需要结合焊接电流确定焊剂堆敷高度, 电流 500~600A 时焊剂堆敷厚度

25~30mm, 能够保证电弧完全被焊剂覆盖, 以隔绝空气影响。焊剂选用 80~120 目、粒度均匀度偏差 10% 的材料, 防止粒度均匀差异造成焊剂融化不均匀影响焊缝成型效果。焊接前采用振动筛进行焊剂筛选, 去除杂质与结块颗粒, 并结合环境温度进行烘干。如果环境相对湿度超过 80%, 则焊剂需要进行 250°C 、2h 的烘干处理, 以降低含水量, 保证焊缝位置不存在气孔缺陷^[5]。

3.2 焊材选配与管理技术

3.2.1 焊丝材质与管道钢种的匹配选择

通过对天然气管道钢材化学成分、力学性能分析后确定适宜焊丝, 如 X80 级管线钢选择 ER100S-G 型焊丝, 其锰含量 1.4%~1.8%、硅含量 0.8%~1.2%, 保证焊丝和母材化学成分相近。而焊接完成后需要保证焊缝金属抗拉强度不低于母材, 且冲击韧性满足 -40°C 冲击功 $\geq 47\text{J}$ 的要求。同时, 焊丝直径结合天然气管道壁厚确定, 如果天然气管道壁厚 18~25mm, 则使用直径 1.2mm 焊丝、壁厚 25~30mm 选择直径 1.4mm 焊丝, 能够保证焊丝熔化效率和熔深达到匹配度要求。

3.2.2 焊剂类型与焊接工艺的适配选择

根据天然气管道焊接时抗腐蚀性要求, 选择低氢型烧结焊剂, 其碱度值 B1 为 1.8~2.2, 能够保证焊缝氢含量合格, 以防发生氢裂纹。焊剂中加入钛、锆等合金元素, 以保证焊缝金属的韧性、抗裂性能合格。而且焊剂和焊丝的冶金匹配性达到要求, 防止因为成分不匹配造成焊缝存在夹渣、裂纹等缺陷。全自动埋弧焊环节考虑到焊接电流类型选择适宜焊机型号, 如 HJ431 焊机符合直流反接焊接要求, 能够保证焊剂熔化效果、电弧稳定性合格。

3.2.3 焊材存储与使用管理规范

全自动埋弧焊焊丝存储在通风干燥的库房内, 保证库房温度 15°C ~ 30°C 、相对湿度 60% 以下。同时, 焊丝选择密封包装方式, 并且开封后未使用完成的焊丝重新密封, 以防受潮、生锈。焊剂存储时放置在防潮托盘上, 确保托盘和地面高度在 30cm 以上、与墙面距离 50cm 以上。焊材使用前进行外观检查, 保证焊材表面不存在锈迹、油污等, 且焊剂未有结块现象, 禁止使用不合格焊材进行焊接。此外, 焊材建设管理台账, 记录入库时间、型号、数量、使用部位等保证焊材质量具备可追溯性^[6]。

3.3 焊接过程稳定性控制技术

3.3.1 管道对口与组对精度控制

全自动埋弧焊焊接开始前保证天然气管道接口错边量为壁厚的 10% 以内, 且最大错变量控制在 2mm 以下。通过专用对口器进行管道组对, 保证对口器夹

持力均匀分布，以防管道受力不均匀引发变形。天然气管道组对后使用直尺检查管道接口位置直线度，每米长度直线度偏差不超过1mm，保证焊接时焊机行走轨道和管道轴线保持平行，以免因为管道对口偏差造成焊缝偏移。

同时，天然气管道接口位置预留2~3mm间隙，间隙均匀性偏差在0.5mm以下，确保焊丝熔化和熔池形成有合适空间。此外，组对完成后需采用临时支撑固定管道，支撑间距根据管道直径设定，直径大于1000mm时间距不超过3m，防止焊接过程中管道移位。若施工环境存在微风以上风力，需在焊接区域搭建防风棚，棚内风速控制在2m/s以下，避免气流干扰熔池稳定性。

3.3.2 焊机行走轨道安装与校准

全自动埋弧焊焊机行走轨道选择和管道外径匹配的弧形轨道，轨道材质使用强度铝合金以提高轨道的耐磨性与刚度性能。轨道安装时使用直径50mm以内的磁力吸盘固定在管道结构表面，确保管道和轨度贴合时间隙在0.5mm以下。轨道安装完成后通过激光准直仪校准轨道直线度，每10m长度直线度偏差在1mm以下。此外，轨道接头位置高低差在0.3mm以下，保证轨道平整度达到要求，以防焊机行走时出现颠簸影响焊接稳定性。

3.3.3 焊接过程中的电弧稳定性控制

全自动埋弧焊焊机的电弧跟踪系统监测电弧位置，如果电弧位置存在偏移则及时调整焊丝送进方向，保证电弧偏差 $\pm 0.5\text{mm}$ 内。同时，焊接电源中加入抗干扰模块，能够防止电网电压波动对于焊接电流、电压造成影响，能够保证焊接时电压、电流波动范围控制在 $\pm 3\%$ 以内。如果全自动埋弧焊在野外作业，需要降低风力造成影响。焊接周边风速超过5m/s则搭设防风棚，并且保证防风棚覆盖焊接电弧、熔池等区域，能够保证焊接周边区域风速控制在2m/s以下，确保电弧燃烧达到稳定性要求。

3.4 焊缝质量检测技术

3.4.1 外观质量检测方法与标准

天然气管道焊接结束后需要先检测焊缝表面，确保焊缝表面没有裂纹、气孔、夹渣、未焊透等缺陷，焊缝余高0~3mm，且均匀性偏差在1mm以下。焊缝宽度比坡口宽度每侧增加1~2mm，且宽度保持一致。同时，通过焊缝量规测量焊缝咬边深度，保证咬边深度0.5mm以下，咬边长度为焊缝长度10%以内且连续表面长度100mm以下。

3.4.2 无损检测技术的应用

天然气管道焊缝外观检测合格后，使用射线检测

内部质量。此时需要结合天然气管道等级确定检测比例，通常一类管道检测比例100%、二类管道检测比例50%以上。射线检测遵循GB/T 3323标准进行，焊缝内部缺陷等级应达到Ⅱ级及以上，禁止存在焊缝位置裂纹、未熔合、未焊透等缺陷，气孔、夹渣等缺陷尺寸以及数量符合国家标准。

3.4.3 力学性能检测技术

天然气管道焊接试板进行力学性能测试，确保试板材质、厚度、焊接参数和管道完全一致。在试板试验时，重点从拉伸试验、弯曲试验、冲击试验等进行。拉伸试验中焊缝金属抗拉强度应超过母材抗拉强度90%，且断裂位置不处于焊缝区域；弯曲试验使用180°弯曲，弯曲半径为管道壁厚的3倍，弯曲试样表面不能出现长度超过3mm的裂纹；冲击试验需要在-40℃环境下进行，每个试样冲击功在47J以上，且3个试样平均冲击功不能低于54J。

4 结语

天然气管道焊接施工中，全自动埋弧焊技的运用能在相应的范围内对焊接参数、焊材、过程稳定性及焊缝质量进行控制，大幅度增强了天然气管道的焊接强度。本研究以某跨省天然气管道工程为例，全自动埋弧焊技术的应用使得焊接一次合格率达到98.5%，大幅缩短了施工工期，降低了工程成本。实践表明，全自动埋弧焊技术能够为天然气管道焊接施工提供可靠的技术参考。在天然气管道工程焊接过程中，还需根据管道的处于环境与焊接工况要求做好技术的确定，以确保天然气管道系统的稳定运行。

参考文献：

- [1] 毕宗岳, 谭贊, 茹翔, 等. 螺旋埋弧焊管全管体扩径工艺与性能研究 [J]. 焊管, 2023, 46(01):1-6.
- [2] 刘向薇, 付现桥, 卢雪枫, 等. X52M螺旋缝埋弧焊钢管输氢关键技术研究 [J]. 化工机械, 2024, 51(03):332-339+439.
- [3] 刘小户, 荣华, 蔡岩松. 细丝埋弧焊工艺在核电容器类设备上的焊接应用 [J]. 中国机械, 2024, (04):32-35.
- [4] 韩秀林, 陈小伟. 我国油气埋弧焊管技术与产品发展及展望 [J]. 轧钢, 2024, 41(05):144-150.
- [5] 耿建成. 埋弧焊工艺在海洋石油平台主吊点焊接中的应用 [J]. 石油和化工设备, 2024, 27(08):106-109.
- [6] 蒋浩泽, 李为卫, 谢萍, 等. 天然气管道用埋弧焊钢管焊缝无损检测对标分析 [J]. 焊管, 2018, 41(10):55-59.

作者简介：

盛子豪(1999-),男,汉族,安徽芜湖人,本科,初级工程师,研究方向:天然气管道工程建设。