

螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制

靳云方

北京隆盛泰科石油管科技有限公司 北京 朝阳 100101

摘要: 本文围绕螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制展开研究,分析原材料、焊接工艺参数、焊接环境与人员三大核心控制要素,阐述焊前准备、焊接过程、焊后检测验收全流程管控要点,指出工艺参数适配性不足、缺陷检测局限、焊后返修不规范等问题,提出参数智能化控制、检测技术提升、返修与追溯规范的优化方向,为保障螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量提供系统参考。

关键词: 螺旋缝埋弧焊钢管; 焊接质量控制; 工艺参数; 缺陷检测; 质量追溯

引言: 螺旋缝埋弧焊钢管在油气输送、管道工程等领域应用广泛,其焊接质量直接关系管道结构安全与使用寿命。当前生产中,该类钢管焊接易受原材料、工艺、环境等因素影响,出现气孔、裂纹等缺陷,制约使用性能。深入研究其焊接质量控制,明确核心要素、全流程管控要点,解决现存问题并探索优化路径,对提升钢管质量、保障工业管道工程稳定运行具有重要现实意义。

1 螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制的核心要素

1.1 原材料质量控制

原材料质量是焊接质量的基础保障。钢管基材质量控制需重点把控化学成分与力学性能,通过专业检测确认抗拉强度、冲击韧性等指标达标,确保基材与焊接工艺适配,避免因杂质过多、强度不足导致焊接接头出现裂纹、未熔合等缺陷,影响结构稳定性^[1]。焊接材料质量控制需规范焊丝与焊剂的选型及检验。焊丝需保证成分均匀、表面无锈蚀油污,焊剂需检查粒度分布与湿度合格,防止焊剂结块、粒度不均破坏焊接保护效果,或焊丝成分波动引发焊缝气孔、夹渣,确保焊接材料稳定参与熔合反应。辅助材料质量不可忽视。保护气体需确保纯度达标,避免水分、杂质混入焊接区域破坏焊缝成形;清理用溶剂需具备良好脱脂、除锈效果,彻底清除基材表面油污与氧化皮,防止杂质残留影响焊缝熔合质量,保障焊接过程稳定与焊缝洁净。

1.2 焊接工艺参数控制

焊接工艺参数精准控制直接决定焊缝质量。热输入参数需合理匹配焊接电流、电压与焊接速度,平衡热输入与焊缝冷却速度,避免热输入过高导致焊缝及热影响区晶粒粗大、强度韧性下降,或热输入过低造成未焊透、未熔合,需通过调试找到最优参数平衡。成型与焊接协同参数需同步调控钢管成型角度、挤压压力与焊接位置。避免成型角度偏差、挤压压力不足导致焊缝坡口

对接错位,出现间隙不均、错边量超标,确保成型与焊接紧密配合,让坡口保持精准对接,为稳定焊接奠定基础。焊后热处理参数需规范退火温度、保温时间与冷却速率。合理热处理能消除焊接残余应力,改善焊缝及热影响区组织性能,提升接头抗裂性与韧性;避免参数不当导致应力残留或组织硬化,需根据基材与焊缝特性设定适配参数。

1.3 焊接环境与人员控制

焊接环境需维持稳定适宜状态。作业温度过低会加快焊缝冷却速度,易产生裂纹;湿度过高会使水汽进入焊接区域形成气孔;强风会破坏埋弧焊剂保护层,导致空气侵入引发缺陷,需采取防风、防雨、控温措施保障焊接环境。人员操作能力是工艺执行关键。焊接操作人员需掌握螺旋缝埋弧焊工艺特点,熟悉不同工况下参数调整方法,能通过观察弧光状态、焊渣堆积识别焊接异常,并及时调整,避免操作不当导致焊缝质量波动。质量检测人员素养影响缺陷识别准确性。检测人员需熟练掌握超声检测、射线检测等无损检测技能,精准分辨焊缝内部气孔、裂纹、夹渣等缺陷,准确判断缺陷性质与严重程度,为质量评估与缺陷修复提供可靠依据,避免不合格焊缝流入后续环节。

2 螺旋缝埋弧焊钢管焊接全流程质量控制关键环节

2.1 焊前准备阶段质量控制

焊前准备阶段是保障后续焊接质量的基础,需从基材、材料、设备三方面全面把控。基材预处理需重点关注坡口加工与清理效果,通过机械或化学方式去除钢管基材坡口表面的油污、锈蚀与氧化皮,避免杂质残留影响焊接熔合;应严格控制坡口角度、钝边尺寸,确保符合工艺设计要求,为后续坡口精准对接创造条件,减少因坡口尺寸偏差导致的焊接缺陷。焊接材料预处理需针对焊剂与焊丝特性采取适配措施,焊剂需通过烘干处理

去除内部水分,防止焊接过程中水分受热产生气体引发焊缝气孔;焊丝需进行除锈脱脂处理,保证表面洁净无杂质,避免焊丝表面污染物融入焊缝形成夹渣^[2]。处理后的焊接材料需按规格分类存放,做好防潮、防尘保护,防止二次污染影响使用效果。设备调试检查需覆盖焊接全流程涉及的关键设备,逐一调试焊接电源的输出稳定性、送丝机构的送丝精度、成型机组的运行同步性,同时检查设备参数显示仪表的精度与机械传动部件的稳定性,确保各设备处于正常工作状态,避免因设备故障或参数偏差导致焊接过程中断或质量波动。

2.2 焊接过程实时质量控制

焊接过程实时控制是拦截质量缺陷的关键环节,需聚焦参数、外观、协同三方面动态管控。动态参数监控需依托自动化系统实时采集焊接电流、电压、速度等关键参数,将采集数据与预设工艺标准值实时对比,一旦发现参数偏离标准范围,立即发出预警信号并提示操作人员调整,确保焊接热输入始终处于合理区间,避免因参数异常导致未焊透、晶粒粗大等问题。焊缝外观实时观察需持续关注焊缝成型状态,重点检查焊缝余高、宽度是否均匀,边缘与基材融合是否平滑,同时留意表面是否存在气孔、夹渣、咬边等缺陷迹象。若发现焊缝外观异常,需及时调整焊接姿态或微调工艺参数,如纠正焊丝偏移、补充焊剂覆盖量,从源头减少外观缺陷产生。成型与焊接协同监控需同步跟踪钢管成型过程,实时监测成型后的错边量、椭圆度等关键指标,确保成型后的钢管坡口能精准对接。若发现成型偏差超出允许范围,需立即暂停焊接与成型作业,调整成型机组参数直至坡口对接符合焊接要求,避免因成型偏差导致焊接间隙不均、熔合不良等质量问题。

2.3 焊后检测与验收阶段质量控制

焊后检测与验收是确认焊接质量达标的最终环节,需通过多维度检测验证质量。外观质量检测需依据标准逐段检查焊缝表面状态,确认焊缝表面平整度符合要求,余高控制在规定范围,无裂纹、凹陷、未焊满等表面缺陷;对不符合标准的焊缝,需标记缺陷位置并制定专项返修方案,返修后重新进行外观检测,直至达标。内部质量检测需采用无损检测技术排查潜在缺陷,优先通过超声检测对焊缝全长进行扫查,精准识别内部未焊透、未熔合、气孔、夹渣等缺陷;对管道对接环缝、变径段等关键部位,需辅以射线检测进一步验证内部质量,确保无遗漏关键缺陷,保障焊缝整体结构完整性。力学性能检测需通过抽样试验评估接头性能,从焊接成品中抽取代表性试样,分别进行拉伸试验、弯曲试验、冲击试验,验

证焊接接头的抗拉强度、塑性、低温冲击韧性是否满足使用场景要求。只有力学性能检测合格,才能确认焊接接头综合性能达标,允许钢管进入后续使用环节。

3 螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制现存问题

3.1 工艺参数动态适配性不足

工艺参数动态适配能力欠缺影响焊接质量稳定性。部分焊接设备缺乏参数实时调整功能,在焊接过程中若遇到基材材质细微波动,或环境温度、湿度发生变化,无法根据实际工况快速调整电流、电压、焊接速度等关键参数,易导致焊缝熔深不均、成形不良,进而引发未焊透、气孔等质量问题,造成焊缝质量波动^[3]。工艺参数设定的精细化程度不足也制约适配效果。当前参数设定多依赖操作人员过往经验值,未针对具体钢管规格进行差异化优化,例如相同参数可能同时用于不同壁厚、直径的钢管焊接。壁厚较厚的钢管可能因参数不足导致熔深不够,壁厚较薄的钢管则可能因参数过高造成烧穿,存在明显的参数适配性差问题,难以满足不同规格钢管的焊接质量需求。

3.2 缺陷检测覆盖与精度局限

缺陷检测精度不足易导致质量隐患遗漏。现有无损检测技术对某些特殊缺陷的识别灵敏度有限,例如对焊缝内部的微裂纹、层间未熔合等细小缺陷,常规超声检测或射线检测可能无法精准捕捉,易出现漏检情况。这些未被发现的缺陷会隐藏在焊缝内部,在钢管后续使用过程中可能逐渐扩展,影响整体结构安全性,降低钢管使用寿命。检测范围的局限性也影响质量评估全面性。当前检测工作多集中于焊缝核心区域,对焊缝周边的热影响区关注不足。热影响区因焊接热作用,组织性能易发生变化,可能出现硬化、脆化等问题,若未纳入检测范围,难以全面评估焊接接头的整体质量,无法及时发现热影响区潜在的开裂风险,影响对焊接质量的整体判断。

3.3 焊后返修工艺规范性欠缺

焊后返修工艺缺乏规范易引发二次质量问题。部分企业在面对不合格焊缝时,未根据缺陷类型、位置制定专项返修方案,返修过程中仅凭借经验调整焊接参数,参数调整随意性大。这种不规范的返修方式可能导致返修部位出现新的质量缺陷,例如返修区因热输入控制不当出现晶粒粗大,或因应力释放不均产生应力集中,反而降低焊缝整体质量。返修后检测环节的不全面进一步加剧质量风险。多数情况下,返修后的检测仅停留在外观检查层面,未对返修区域进行内部质量复查,无法确认返修部位是否仍存在未焊透、夹渣等内部缺陷。若内部缺陷未彻底消除,返修后的焊缝仍不符合质量要求,

可能在后续使用中引发安全事故，无法真正实现返修的质量修复目的。

4 螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制优化方向

4.1 推动工艺参数智能化控制

工艺参数智能化控制可大幅提升参数适配精度与稳定性，引入自适应焊接系统是核心举措。该系统通过多类型传感器实时采集基材信息，包括基材厚度、坡口角度、表面状态等，同时捕捉环境数据如温度、湿度变化，将这些数据传输至中央控制系统。系统结合预设算法自动分析数据，动态调整焊接电流、电压、焊接速度等参数，例如当检测到基材厚度增加时，自动提高电流与电压以保证熔深，避免因人工调整不及时导致参数偏差，显著提升参数动态适配性。建立焊接参数数据库能进一步减少经验依赖，数据库需涵盖不同规格钢管的工艺参数，按钢管壁厚、直径、材质分类存储经过实践验证的最优参数组合。当生产不同规格钢管时，系统可根据输入的钢管参数自动调取匹配的参数方案，无需操作人员反复调试，既缩短参数设定时间，又避免因经验差异导致的参数波动，确保不同批次钢管焊接质量的一致性。

4.2 提升缺陷检测技术水平

提升缺陷检测技术需从设备升级与数据管理两方面发力，引入高精度检测设备可突破传统检测局限^[4]。相控阵超声检测设备通过多阵元探头发射声波，能灵活调整声波角度与聚焦深度，对焊缝内部微裂纹、层间未熔合等细小缺陷的识别精度更高，且检测速度快、覆盖范围广，可实现焊缝全长的高效扫查；数字射线检测技术通过数字化成像替代传统胶片，能更清晰呈现焊缝内部结构，便于快速识别微小气孔、夹渣，减少人工判读误差。构建检测数据数字化管理平台可深化数据价值，平台整合每次检测的结果数据，同时关联对应的焊接参数、设备运行状态数据，形成完整的检测数据链条。当发现缺陷时，可通过平台追溯该焊缝对应的焊接参数与设备状态，分析缺陷产生的根源，例如若某批次焊缝频繁出现气孔，可排查是否因当时焊接电压过高或焊剂湿度超标，为后续工艺优化提供精准数据支撑，避免同类

缺陷重复出现。

4.3 规范焊后返修与质量追溯

规范焊后返修与质量追溯是保障焊接质量闭环管控的关键，制定焊后返修专项工艺标准需细化各环节要求。返修前的坡口加工需明确加工方式与尺寸标准，确保缺陷彻底清除且坡口形态符合焊接要求；返修过程中的焊接参数需针对返修部位特性调整，例如补焊区域需适当降低焊接速度以保证熔合充分；返修后的热处理需重新设定温度与保温时间，避免返修部位产生新的残余应力，通过标准化流程确保返修质量不低于原焊缝水平。建立全流程质量追溯体系需覆盖生产全环节，从原材料入库开始记录基材的供应商、材质证明、检验报告等信息；焊接过程中实时记录每道焊缝的焊接参数、操作人员、设备编号；检测环节记录检测结果、检测人员、设备状态；返修环节记录返修原因、返修工艺、返修后的检测结果。这些信息通过唯一标识与每根钢管关联，形成从基材到成品的全程可追溯链条，当出现质量问题时，可快速定位问题环节与责任主体，同时为质量问题分析提供完整数据，助力持续改进焊接质量控制体系。

结束语

螺旋缝埋弧焊钢管焊接质量控制需贯穿全流程，从核心要素把控到各环节管控，多维度减少缺陷产生。针对现存的参数适配、检测精度、返修规范等问题，通过智能化、高精度化、标准化优化可有效改善。未来持续完善质量控制体系，能进一步提升焊接质量，为工业领域提供更可靠的管道产品，支撑相关工程长期稳定运行。

参考文献

- [1]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(3):332-339,439.
- [2]李洪涛,杨战利,费大奎,等.螺旋钢管埋弧焊预焊焊缝跟踪系统研制[J].机械制造文摘(焊接分册),2025(3):1-4.
- [3]唐子金,杨雄鹰,童威.螺旋缝焊管钢带对接单道次单面埋弧焊双面成型控制方法[J].钢管,2024,53(6):18-22.
- [4]张云龙,王树祥,李悦,等.小直径螺旋缝埋弧焊管焊缝修补装置设计和应用[J].钢管,2023,52(2):65-67.