

长输油气管道热煨弯管与直管全自动焊接技术及工程应用

李新宁 李宝辉

北京隆盛泰科石油管科技有限公司 北京 100020

摘 要: 长输油气管道热煨弯管与直管全自动焊接技术对保障管道安全意义重大。热煨弯管因成型过程有结构特性,焊接难度大,与直管存在差异。本文阐述了全自动焊接技术原理,从焊接参数、坡口形式等方面优化工艺,介绍了质量控制技术,还探讨了工程应用中的技术适配与协调,为该技术在长输油气管道焊接中的有效应用提供参考。

关键词: 长输油气管道;热煨弯管;直管;全自动焊接技术;工程应用

引言: 长输油气管道是能源输送的关键通道,热煨弯管与直管的焊接质量直接影响管道运行安全。热煨弯管因成型过程结构改变,焊接难度高于直管。全自动焊接技术凭借机械传动、传感器实时监测等优势,可实现焊接参数自动调节。然而,要充分发挥该技术优势,需对焊接工艺进行优化,并做好工程应用中的适配与协调工作,以确保焊接质量。

1 长输油气管道热煨弯管与直管焊接基础

1.1 热煨弯管的结构特性与焊接难点

热煨弯管因成型过程中经受高温与外力作用,管壁厚度呈现不均匀分布,弯曲部位内侧壁厚往往减薄,外侧则可能出现褶皱或拉伸痕迹^[1]。这种结构特性导致焊接时坡口加工难度增大,需精确控制角度与钝边尺寸以保证组对精度。弯曲段的金属组织经高温加热后发生变化,晶粒可能粗大化,使焊接区域的淬硬倾向提升,增加冷裂纹产生的可能性。焊接过程中,弯管内侧与外侧的受热状态存在差异,容易引发应力集中,需通过严格的温度控制缓解这一问题。弯管的几何形状使焊接电弧的稳定性受到影响,特别是在弯曲弧度较大的部位,焊枪角度需频繁调整以维持熔池形态的一致性。

1.2 直管的焊接区域特征及与弯管的差异

直管的管壁厚度均匀,金属组织未经过煨制过程中的高温变形,成分与性能保持相对稳定,焊接区域的力学性能更易保持一致。直管的坡口加工可采用机械化操作,尺寸精度较高,组对时的错边量易于控制在较小范围。焊接时,直管的受热区域分布较为对称,温度场均匀性优于弯管,应力分布相对平缓。与弯管相比,直管焊接无需频繁调整焊枪角度,电弧稳定性更易维持,熔池的保护效果更可靠。直管的焊接区域在冷却过程中,因结构对称,收缩变形的方向性更明确,便于通过工装夹具进行控制。

1.3 全自动焊接技术的基本原理与适用条件

全自动焊接技术依托机械传动系统带动焊枪移动,通过传感器实时监测焊接位置与熔池状态,将信号传递至控制系统,实现焊接参数的自动调节。焊接过程中,电流电压送丝速度与行走速度保持预设匹配关系,确保熔深与焊缝成形的稳定性。该技术的核心在于通过程序预设模拟理想焊接轨迹,减少人为操作带来的波动。适用条件包括管口组对精度需达到较高标准,错边量与坡口尺寸偏差需控制在特定范围内,否则会导致跟踪精度下降。管道材质的均匀性对全自动焊接效果影响显著,成分波动较大的材料可能使熔池状态不稳定。焊接环境的风力湿度与温度需处于适宜范围,过度的外界干扰会破坏电弧稳定性与气体保护效果。直管段的焊接更易发挥全自动焊接技术的优势,而弯管部位因结构复杂,需结合人工干预调整部分参数以保证焊接质量。

2 热煨弯管与直管全自动焊接工艺优化

2.1 焊接参数的设定原则

温度设定需结合管道材质与壁厚,弯管部位因组织差异需适当降低层间温度,避免过热导致性能劣化。直管焊接可采用稍高温度以促进熔池融合。速度调整需匹配坡口深度,厚壁区域减缓行走速度以保证熔透,薄壁处则适当加快防止烧穿。电流选择需参考坡口形式,V型坡口采用中等电流维持熔宽,U型坡口可提高电流增强熔深^[2]。电压随电流变化同步调节,确保电弧长度稳定。送丝速度需与电流形成联动,电流增大时相应提高送丝量,防止出现未熔合缺陷。拐角区域的参数需单独设定,电流略低于直管段,速度保持平稳过渡,避免因参数突变引发电弧跳动。焊接方向的选择需适配管道走向,沿弯管曲率半径切线方向推进,减少电弧对坡口侧壁的冲刷力度。

2.2 坡口形式与组对精度的控制要点

坡口形式根据壁厚选择,厚壁管道采用不对称坡口,弯管侧坡口角度略大于直管侧,平衡两侧熔合效

果。薄壁管道可采用对称坡口减少加工难度。组对时需控制错边量,弯管与直管连接部位以弯管内侧为基准对齐,避免内侧出现台阶。坡口边缘需经打磨去除氧化皮与毛刺,露出金属光泽。组对间隙保持均匀,弯管弯曲段的间隙可略小于直管段,补偿焊接过程中的收缩差异。支撑工装需与管道弧度贴合,防止组对后因自重产生变形。坡口根部的钝边厚度需一致,弯管侧的钝边可稍厚于直管侧,应对其壁厚减薄特性。组对完成后需进行固定,固定点分布在直管段与弯管非弯曲段,避免拘束力集中于焊接区域。

2.3 焊接过程中的热输入控制方法

采用分段加热方式,在焊接前对弯管弯曲部位进行预热,预热范围覆盖坡口两侧一定宽度,温度从边缘向中心逐渐递增。焊接时通过红外测温装置监控熔池周围温度,超过阈值时自动降低电流。多层焊接时,每层焊接完成后需等待温度降至预定区间再进行下一层,通过延时程序实现热输入间隔控制。在弯管外侧设置散热块,加速热量导出避免局部聚集。直管段可采用自然冷却,借助环境温度调节热输入节奏。焊接电弧的摆动幅度需随热输入变化调整,温度偏高时缩小摆动范围,减少热积累。保护气体的流量需随热输入大小调整,热输入增大时适当提高流量,增强对熔池的保护强度。

2.4 多层多道焊接的顺序与叠加方式

焊接顺序从弯管内侧开始,先完成根部焊道,再依次向外侧推进。根部焊道采用单道焊接,确保背面成形良好。填充层焊接按照先两侧后中间的方式进行,每层焊道覆盖前一层的三分之一宽度,形成阶梯状叠加。弯管外侧因应力集中需增加焊道数量,通过多道次焊接分散应力。直管段的填充层可采用对称分布的叠加方式,从坡口两侧交替施焊。盖面焊道需沿管道周长连续完成,与填充层边缘保持平滑过渡,避免形成沟槽或凸起。每层焊道的起弧与收弧位置需错开,防止在同一截面形成应力叠加,弯管部位的起弧点应避开弯曲顶点区域。填充层与盖面层之间需进行表面清理,去除焊渣与飞溅物,减少层间夹杂风险。

3 全自动焊接质量控制技术

3.1 焊接过程中的实时监测指标与方法

监测指标包括电弧稳定性,通过传感器捕捉电弧电压与电流的波动状态,判断焊接过程是否平稳。熔池形态需持续观察,借助高清摄像设备记录熔池的大小与流动性,确保其符合成形要求。坡口两侧的熔化程度需同步监测,通过光学系统识别熔化边界的位置变化。焊接区域的温度场分布需实时追踪,利用红外成像技术呈

现温度梯度变化^[3]。焊枪位置精度需不断核查,通过机械定位装置反馈其与坡口中心线的偏差。行走速度的均匀性需纳入监测范围,通过编码器记录移动轨迹的速率变化。保护气体的流量状态需实时监控,通过流量计反馈气体输送的稳定性,防止因流量波动影响熔池保护效果。送丝的连续性需保持监测,通过张力传感器感知焊丝的输送状态,避免送丝中断或卡顿。监测数据需实时传输至终端,便于及时发现异常并调整。

3.2 焊缝成形质量的评估标准

焊缝表面需平滑,无明显凸起或凹陷,过渡至母材的坡度需平缓。焊缝宽度需保持一致,沿长度方向的变化需控制在合理范围内。余高需适度,既不能过高导致应力集中,也不能过低影响强度。焊趾处需圆润,与母材的连接应自然过渡。背面成形需完整,无未焊透或塌陷现象。多层焊接时,层间融合需良好,无明显分层痕迹。焊缝的纵向与横向收缩量需在可接受区间,避免因收缩不均引发变形。焊缝截面的熔合线需清晰连续,无曲折或中断现象。各焊道之间的重叠部分需均匀,无局部过厚或过薄情况。焊缝边缘与母材的过渡需平滑,无明显咬边或未熔合迹象。

3.3 常见焊接缺陷的预防与修正措施

未熔合缺陷可通过提高坡口清理质量预防,确保边缘无杂质。出现未熔合时,需在缺陷区域重新加热并补焊。气孔缺陷的预防需加强保护气体的密封性,避免外界气体侵入。发现气孔后,需清除气孔区域的焊缝金属再重新焊接。裂纹缺陷的预防需控制冷却速度,避免温度急剧下降。存在裂纹时,需沿裂纹方向彻底刨除缺陷,再进行补焊处理。咬边缺陷可通过调整电流与速度的匹配关系预防,出现后需通过局部补焊填充凹陷部位。未焊透缺陷的预防需确保根部间隙合理,焊接时保证足够的熔深。出现未焊透时,需扩大坡口根部尺寸后重新焊接。修正操作需遵循原焊接工艺的基本要求,确保补焊质量。

3.4 焊接后的热处理工艺要点

热处理需从缓慢升温开始,加热速率需根据管道材质确定,避免因升温过快产生热应力。保温阶段需保持温度均匀,通过加热装置的分布控制确保各区域温度一致。保温时间需根据壁厚调整,厚壁部位适当延长保温时长。冷却过程需循序渐进,采用阶梯式降温方式,逐步降低环境温度。降温过程中需避免急冷,可通过保温材料覆盖减缓散热速度。热处理后的温度需缓慢降至环境水平,防止因温差过大引发新的应力。弯管与直管连接部位的热处理范围需覆盖焊缝及两侧一定区域,确保

应力释放充分。热处理过程中需避免管道发生变形,可通过工装夹具固定其位置。加热区域的周边需设置隔热层,减少热量向非处理区域扩散。热处理后的管道需放置平稳场地,避免因支撑不当产生附加应力。热处理前后需对管道外观进行检查,确认无明显变形或损伤。

4 工程应用中的技术适配与协调

4.1 现场环境对全自动焊接的影响及应对

风力过大会干扰保护气体形成的气幕,导致熔池暴露在空气中。可在焊接区域搭建防风棚,棚体骨架与管道表面贴合,减少气流进入^[4]。防风棚侧面加装透明观察窗,便于监控焊接过程。湿度较高时,空气中的水分易进入熔池形成气孔。需对管道坡口进行预热烘干,去除表面水汽。预热后用保温棉覆盖坡口,防止再次吸潮。低温环境会加快熔池冷却速度,增加裂纹风险。应在焊接区域设置加热装置,维持周围环境温度在适宜区间。加热装置配备温度调控器,根据环境变化自动启停。粉尘较多的场地会污染坡口和焊丝,需在焊接前用压缩空气清理坡口,焊丝盘加装防尘罩。防尘罩与送丝通道连接处加装滤网,进一步阻挡粉尘进入。地形起伏会影响焊接设备的稳定性,可调整设备支撑腿高度,使焊枪保持水平状态。支撑腿底部加装防滑垫,增强设备在斜坡上的抓地力。

4.2 焊接工序与管道铺设流程的衔接方式

管道铺设前需完成坡口加工与组对,组对合格后立即进行焊接,减少坡口暴露时间。组对用的临时支撑需待焊接完成并冷却后拆除,避免影响焊缝成形。焊接完成的管段需及时进行临时固定,防止在后续铺设中因自重发生位移。固定点间距根据管道直径确定,确保受力均匀。铺设过程中预留焊接作业空间,确保焊接设备能顺利到达接口位置。空间边缘设置警示标识,防止其他设备误入。前一段管道铺设稳定后,再进行下一段的焊接作业,避免未焊接口承受过大应力。管道稳定与否通过水平仪检查,确保处于预设状态。焊接工序需与管道定位调整同步协调,管道位置校准后立即启动焊接程序。校准数据实时传输至焊接设备控制系统,作为参数

调整依据。铺设备与焊接设备的移动路径需提前规划,避免相互干扰。路径交汇处设置避让区域,明确先后通行顺序。

4.3 全自动焊接与后续检测环节的配合要点

焊接完成后需保留焊接过程的参数记录,供检测环节参考。记录内容包括各焊道的电流电压变化及行走速度曲线。焊缝冷却至环境温度后再移交检测,避免温度影响检测结果。冷却过程中用保温材料覆盖焊缝,减缓降温速度。检测区域需保持清洁,清除焊缝表面的飞溅物和焊渣。清理工具采用软质毛刷,避免划伤焊缝表面。焊接设备撤离后,检测设备需快速到位,缩短焊缝暴露在复杂环境中的时间。设备移动路线与焊接作业路线保持一致,减少场地占用冲突。检测发现的缺陷位置需准确标记,反馈给焊接人员以便定位修正。标记采用专用记号笔,清晰标注缺陷范围和深度。修正后的焊缝需重新进行检测,直至符合要求。重新检测时优先采用与初次检测相同的方法,保证结果可比性。焊接与检测环节需建立信息传递机制,确保问题能及时处理。机制包含书面记录和电子台账,实现信息双向追溯。

结束语

长输油气管道热煨弯管与直管全自动焊接技术,通过优化焊接参数、控制坡口精度、强化热输入管理以及完善质量控制体系,有效提升了焊接质量与效率。在工程应用中,需充分考虑现场环境、工序衔接及与检测环节的配合,以实现技术的稳定应用。未来,随着技术不断进步,该技术将为长输油气管道建设提供更有力的支持。

参考文献

- [1]申雷,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(z2):107-109.
- [2]鞠超,张斌,郭新.长输供热管道自动焊技术应用[J].安装,2025(4):43-45.
- [3]许枫.长输管道全位置自动焊接技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(17):190-192.
- [4]王军强,秦红斌,叶威.长输油气管道全自动焊技术及施工应用[J].当代化工研究,2021,(13):48-49.