

石化装置在役压力管道检修焊接合格率偏低原因及对策

谢 丹 (中海石油宁波大榭石化有限公司, 浙江 宁波 315812)

摘 要: 石化装置在役压力管道长期会经受高温、高压等严苛工况, 焊接质量对装置稳定运行十分重要, 但当下其检修焊接合格率却偏低。基于此, 本文从焊接材料质量、工艺技术、设备状态以及作业环境等方面, 剖析了石化装置在役压力管道检修焊接合格率偏低的原因, 并提出“严控焊接材料质量”“消解错边焊接难题”“筑牢管道硬件根基”“营造优质焊接条件”四项对策, 旨在为改善石化装置在役压力管道焊接质量提供指引。

关键词: 石化装置; 在役压力管道; 焊接合格率; 原因; 对策

中图分类号: TE88 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 018-0151-03

Causes and Countermeasures for Low Pass Rate of In-Service Pressure Pipeline Repair Welding in Petrochemical Plants

Xie Dan (CNOOC Ningbo Daxie Petrochemical Co., Ltd., Ningbo Zhejiang 315812, China)

Abstract: In-service pressure pipelines in petrochemical plants endure prolonged exposure to severe conditions including high temperature and pressure, making welding quality critical for stable operation. However, current repair welding pass rates remain suboptimal. This paper systematically analyzes the root causes from four perspectives: welding material quality, process technology, equipment condition, and operational environment. Corresponding countermeasures are proposed: (1) stringent quality control of welding materials, (2) resolution of misalignment welding challenges, (3) enhancement of pipeline hardware foundations, and (4) optimization of welding conditions. The study provides actionable guidance for improving welding quality in petrochemical pressure pipeline maintenance.

Keywords: petrochemical plant; in-service pressure pipeline; welding pass rate; causes; countermeasures

当前石化装置在役压力管道检修中, 焊接合格率偏低的问题普遍存在, 主要受制于材料性能波动、工艺适配不足或现场环境不可控等因素。且随着石化设备向高参数化发展, 传统焊接已难以满足复杂工况的需求, 施工人员需从全流程管控切入, 结合材料科学、智能监测等手段突破瓶颈。在此背景下, 分析石化装置在役压力管道检修焊接合格率的提升方法, 有助于推动石化产业的高质量、安全化发展。

1 石化装置在役压力管道检修焊接合格率偏低的原因分析

石化装置身为石油化工产业的基础设施, 经过一系列复杂且精密的工艺流程, 能够转化原油、天然气等原材料为各类高附加值化工产品。其广泛应用于炼油、化工、化纤等多个领域, 在保障国家能源供应、推动工业现代化进程当中有着不可替代的作用, 还会影响着国民经济的稳定发展。石化装置运行当中, 在役压力管道作为物料传输的“血管”, 长期会承受高温、高压、强腐蚀等恶劣工况, 这对管道的安全性提出十分高要求。然而, 实际检修焊接工作时, 焊接合格率偏低的问题频发, 焊接工艺的复杂性让部分施工环节难以准确把控。与此同时, 焊接材料的质量参差不齐, 部分材料在强度、耐腐蚀性等关键性能上没有办法完全满足设计标准, 加上施工现场环境恶劣, 温度、湿

度以及风力等因素的变化, 均会对焊接质量造成负面影响, 进而导致难以提升焊接合格率。因此, 施工人员需采取有效措施, 来提升在役压力管道检修焊接合格率。

2 提升石化装置在役压力管道检修焊接合格率的相应对策

2.1 精选物料, 严控焊接材料质量

焊接质量对于管道安全稳定运行起着决定性作用, 而焊接材料的优劣, 又是影响焊接质量的要素。倘若焊接材料质量不达标, 就可能在焊缝处引发气孔、夹渣、裂纹等诸多缺陷, 致使管道承压能力大幅下降, 严重影响石化装置的正常生产。甚至可能引发火灾、爆炸等重大安全事故, 给相关企业带来巨大的经济损失, 且对周边环境、人员生命安全也会构成威胁。因此, 严控焊接材料质量是提升在役压力管道检修焊接合格率, 同时保障石化装置安全稳定运行的必要举措。施工人员应当重视管控全流程, 从审核供应商资质入手, 优先选择具备特种设备焊材生产许可的厂商, 采购阶段依据 NB/T 47018 标准核对焊材化学成分及其力学性能指标, 入库前采用光谱分析验证合金元素含量, 存储环节确保恒温恒湿环境避免焊条受潮或药皮脱落, 使用前进行烘干处理并记录关键参数。

以大型炼化企业的常减压蒸馏装置检修项目为

表 1 提升在役压力管道检修焊接合格方式

控制环节	核心措施	具体实施内容	目标效果
施工前评估	全面诊断管道状况	1. 检测管道腐蚀、变形情况 2. 分析介质特性 3. 确定焊接标准与工艺评定要求	制定精准焊接方案，避免盲目施工
	焊接方案定制化	1. 匹配材料型号 2. 选择焊接方法（TIG/SMAW） 3. 设定预热 / 层间温度	确保工艺与工况适配
施工过程控制	参数标准化管理	1. 电流 / 电压实时记录 2. 焊速与热输入监控 3. 气体纯度检测	防止参数波动影响焊缝质量
	环境与材料管控	1. 湿度控制 2. 焊材烘干	减少气孔、夹渣等缺
焊后质量验证	多维检测技术应用	热处理等	保障结构完整性，杜绝泄漏风险

例，施工人员面临着焊接在役压力管道输送高温高压原油的任务。鉴于原油的易燃易爆特性，以及管道运行的高温高压工况，明确其对焊接质量的极高要求。施工人员先行要分析管道的设计图纸，确定其管道材质为 15CrMo，运行温度在 350℃ -420℃ 之间，压力为 2.5MPa。依据这些参数，就可以用专业的焊接材料选择软件，初步筛选出几种适用于该工况的焊接材料。随后，施工人员要对比这些焊接材料的技术参数，计算出其高温强度匹配度、抗热疲劳性能以及抗硫腐蚀能力等关键指标。推进至采购环节，施工人员要实地考察焊条的生产厂家，进入到其生产车间、质量控制部门等，仔细查阅厂家的质量检验报告，假如发现该厂的产品质量长期稳定，且在行业内拥有良好的口碑，即可选用该厂生产材料。待焊条到货后，施工人员可以用光谱分析仪检测其中的化学成分，确保焊条中的铬、钼等合金元素含量符合标准要求，并使用金相显微镜分析焊条的微观组织，观察其晶粒度和组织结构，判断焊条的质量是否稳定。在检测过程中，若是发现部分焊条的药皮存在轻微开裂现象，施工人员应当及时与厂家沟通，要求更换这批焊条。

2.2 夯实工艺，消解错边焊接难题

错边现象一般是源于组对偏差、坡口加工精度不足或焊接变形控制不当，在厚壁管道或高温高压工况下十分明显。若没有采取有效工艺控制措施，错边超标将会加剧焊接残余应力，诱发裂纹扩展，降低接头疲劳寿命。故而，施工人员要在设计阶段依据管道材质、壁厚等制定准确的组对公差，采用有限元分析模拟焊接热循环过程，预测变形趋势并优化焊接顺序。而过程中的管控要随时监测调整，借激光测量技术跟踪对口精度，或者使用专用夹具保持组对稳定性，且在层间焊接时严格控制热输入以避免累积变形。

例如，在石化企业的乙烯裂解装置检修项目中，施工人员需要焊接修复一批输送高温裂解气的在役压力管道，若该管道材质为耐热合金钢，管径 600mm，壁厚 12mm，由于管道运行过程中受到热应力等影响，部分焊缝出现了错边缺陷，急需修复。在施工前，要利用专业测量工具，全面且细致地检测管道错边情况，并记录下错边的位置、大小等数据。随之，依据管道的材质及其运行参数，运用有限元分析软件模拟焊接过程中的应力分布，优化焊接工艺参数，以此确定焊接电流是 200-220A，电压 24-26V，焊接速度 25-30cm/min。为保证管道对口精度，施工人员应当用专用的管道对口器，其机械卡具和调节螺栓可调整管道的轴向位置，操作时在管道两端安装对口器，调节螺栓让管道端口紧密贴合，同时利用激光测距仪实时监测管道端口的间隙及其错边量，把错边量控制在 0.5mm 以内。焊接过程中，施工人员也可以用焊接机器人操作，利用其配备的视觉传感系统，随时采集焊缝的图像信息，再用图像处理算法计算焊缝的偏差，并将偏差数据反馈给控制系统，让其自动调整焊接机器人的焊接参数，保证焊接轨迹与焊缝位置能够匹配上。之后每完成一层焊接，施工人员都要用超声波探伤仪检测焊缝，及时发现并纠正可能出现的焊接缺陷。待完成焊接后，为消除焊接残余应力，防止错边缺陷复发，施工人员可以对焊缝做整体热处理，将焊缝加热到 650-700℃，并保温 2-3 小时，随后缓慢冷却。

2.3 细检设备，筑牢管道硬件根基

焊接设备若存在老化或维护不当等状况，会对焊接电流、电压的稳定性产生干扰，进而致使焊缝成型不佳，容易出现气孔、裂纹等缺陷，降低焊接合格率，并为管道的安全运行埋下隐患。而且，一旦因焊接质量问题引发管道泄漏或破裂，极有可能造成物料泄漏，

甚至引发火灾、爆炸等重大安全事故。因此,施工人员在每次作业前应当全面检查焊接设备,借专业检测仪器测量设备的电气参数,核实焊接电流、电压的输出是否符合技术要求。同时,也要检查设备的机械部件,查看送丝机构的顺畅程度,其中的冷却系统能否正常运行,确保设备各部件运转正常。

比如说,施工人员可使用高精度的电流、电压表,逐一测量每台焊接设备的输出参数,并将测量结果与设备的技术参数做比对,而对于输出参数偏差较大的设备,立即停止使用,并安排专业维修人员进行调试。调试期间,施工人员要仔细检查设备的电路系统,排查出因长期使用导致的部分电线老化、接触不良问题,并及时进行更换,来确保焊接电流和电压能够稳定输出。在检查机械部件环节,施工人员要拆解清洗送丝机构,仔细检查送丝轮、导丝管等部件的磨损情况,随之及时更换磨损严重的送丝轮。在此基础之上,施工人员安装新送丝轮时,应严格按照设备说明书的要求,调整送丝轮的压力和间隙,保证能够顺畅送出焊丝,避免因送丝不畅导致的焊接缺陷。与此同时,也要全面检查冷却系统,清理冷却水管路中的水垢和杂质,并更换老化的密封圈,让冷却系统能够正常工作,防止因设备过热影响焊接质量。

完成日常检查、维护后,施工人员要针对那些使用年限较长、性能严重下降的焊接设备,制定详细的更新计划,即根据管道检修的实际需求,调研并引入一批具有先进数字化控制技术的焊接设备。要保证新设备能够有效控制焊接参数,提升焊接过程的稳定性,且具备智能化的故障诊断功能,能够随时监测设备的运行状态,提前预警潜在的故障风险。

2.4 监测环境,营造优质焊接条件

石化装置所处场地大多数都很复杂,温度、湿度、风速等各类环境因素,均会干扰焊接质量:当环境温度过低时,焊缝冷却速度过快,会导致焊缝组织不均匀,引发淬硬倾向,增加裂纹产生的几率;而湿度较大时,水汽又会进入焊缝,产生氢气,导致氢气孔等缺陷,削弱焊缝的致密性;风速过高,会让保护气体吹散,无法有效保护焊接熔池,进一步引入杂质,降低焊接质量。鉴于此,施工人员可以借助温湿度记录仪,监控焊接区域的温度与湿度,确保其处于焊接工艺要求的范围内。并用风速仪测量风速,若风速超过规定值,立即搭建防风棚,阻挡气流对焊接熔池的影响。另外,施工人员还要检测焊接现场的空气质量,避免粉尘、有害气体等杂质污染焊接区域,若污染物进入,应及时采取净化措施。

例如,在检修石化装置在役压力管道工作开启前,

施工人员于焊接现场选定最有代表性的位置,安装精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 2\%\text{RH}$ 的温湿度记录仪,用其中的数据传输功能,收集焊接区域的温度与湿度数据,并在配套终端设备上直观展示。一旦温度低于 10°C 或高于 30°C ,且湿度低于 $40\%\text{RH}$ 或高于 $60\%\text{RH}$,仪器便会自动触发预警,施工人员便可采取相应措施:温度偏低时,启用加热设备提升环境温度;湿度偏高时,启动除湿量达 30L/D 的除湿设备,将温湿度调控至适宜区间。

在此基础之上,施工人员可以用测量精度 $\pm 0.1\text{m/s}$ 的风速仪,不间断监测焊接现场的风速。焊接期间,一旦风速仪显示风速即将超过 2m/s 的焊接工艺规定上限,施工人员立即暂停焊接作业,依照防风棚搭建标准,选用双层防风布,快速搭建防风棚,保障防风棚的密封性,防止外界气流吹散保护气体,干扰焊接熔池。

而针对露天焊接作业,施工人员应当提前依据专业气象预报服务,获取未来一段时间内的天气信息,并根据预报结果,合理规划焊接任务,避开大风、暴雨、沙尘等恶劣天气。若天气预报显示即将有降雨过程,施工人员在必要时可以提前搭建防雨棚对妥善防护焊接材料及其设备。降雨过后,使用功率达 10kW 的烘干设备处理焊接区域,经温湿度记录仪确认环境符合要求后,再继续开展焊接作业。

3 结束语

综上所述,在石化工业生产中,在役压力管道的焊接质量跟装置的安全运行及经济效益相挂钩,当前检修过程中存在焊接合格率偏低问题,主要是有材料、工艺、设备及环境等多方面因素,经过分析其焊接缺陷成因,施工人员可建立从材料验收到工艺优化的全流程质量控制策略,结合标准化作业规范,大大提升焊缝质量可靠性。未来,施工人员应当进一步融合先进监测手段、工艺方法等,构建起更加完善的焊接质量保障机制,为石化装置安全稳定运行提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 李文振,苏志坚,李朝,等.工业管道定期检验方案智能化制定系统及运用[J].中国特种设备安全,2023,39(09):29-33.
- [2] 鲁玉坤.标准化手段促压力管道检验检测技术发展研究[J].中国标准化,2022,(16):164-168.
- [3] 李辉.“煤化工变换装置设备及管道防腐方案和选材研究”通过中国石化集团有限公司技术鉴定[J].石油化工腐蚀与防护,2021,38(04):33.

作者简介:

谢丹(1990-),男,江苏扬州人,本科,助理工程师,研究方向为石油化工设备。