

石油化工管道焊接工艺与质量控制措施

高明远 赵健 (山东港源管道物流有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 文章首先讨论石油化工管道焊接工艺与质量控制意义, 而后探讨石油化工管道焊接工艺控制举措, 分别是科学选择焊接材料、确定焊接工艺参数、选定焊接技术方案、管理焊接工艺要点, 最后提出了石油化工管道焊接质量控制措施, 一是设计文件与材料质量的管控; 二是焊缝质量的外观检测与无损检测; 三是细化焊缝质量评定标准与管道试验评估。希望本文分析讨论的相关内容, 可以为石油化工企业的管道焊接工作开展提供价值参考。

关键词: 石油化工企业; 管道焊接工艺; 质量控制措施

中图分类号: TG457.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 005-0105-03

Welding Technology and Quality Control Measures for Petrochemical Pipelines

Gao mingyuan, Zhao jian (Shandong Gangyuan Pipeline Logistics Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Abstract: This paper first discusses the significance of welding technology and quality control for petrochemical pipelines, then explores the control measures for petrochemical pipeline welding technology, including scientifically selecting welding materials, determining welding process parameters, selecting welding technical schemes, and managing key points of welding process. Finally, it puts forward the quality control measures for petrochemical pipeline welding: first, the management and control of design documents and material quality; second, the appearance inspection and non-destructive inspection of weld quality; third, refining the weld quality evaluation standards and pipeline test evaluation. It is hoped that the relevant contents analyzed and discussed in this paper can provide valuable reference for the pipeline welding work of petrochemical enterprises.

Keywords: Petrochemical Enterprises; Pipeline Welding Technology; Quality Control Measures

在石油化工生产过程中管网起到了关键作用, 为保证管网中各个管道焊接质量, 需根据石油化工管道生产运行的特点, 采取针对性焊接工艺管理与质量控制措施, 规避常见的管道焊接质量缺陷与安全风险。本文对此展开分析讨论时, 提出了石油化工管道焊接工艺与质量控制的有关建议。

1 石油化工管道焊接工艺与质量控制意义

当石油化工企业生产运行过程中, 一旦管道的焊接位置出现质量问题, 将影响管网运行的安全性, 因为管道输送的介质较为特殊, 任何微小的质量缺陷, 都可能引发安全事故, 为此在石油化工管道建设运维管理时, 必须对管道焊接作业质量进行严格控制。焊接人员根据管道焊接的工艺标准与要求, 严控焊接工艺细节与操作方式, 确保石油化工管道焊接的质量, 消除质量缺陷风险, 筑牢石油化工管网整体运行的安全根基。

2 石油化工管道焊接工艺控制措施探讨

2.1 科学选择焊接材料

科学选择焊接材料对焊接质量非常关键, 焊接人员应根据管道材质, 选择合适的焊机材料, 如低温钢 A333Gr.6 管道焊接时, 根据焊接技术规程要求, 选择了 E7018 低合金钢焊条, 因此焊条不仅具有优异的抗裂性能, 同时低温韧性表现突出; 在不锈钢 316L 管

道进行焊接时, 选择 E316L-16 奥氏体不锈钢焊条, 并将焊条的碳含量控制在 0.03% 以内, 这样可避免在焊接过程中出现晶间腐蚀, 影响管道焊接质量; 在碳钢 A106B 管道进行焊接时, 为保证焊接质量与管道最终机械强度符合运行要求, 应选择 E7016 碳钢焊条。在焊条确定后, 选择焊丝时, 可选择 $\phi 2.4\text{mm}$ 与 $\phi 3.2\text{mm}$ 的规格, 并将药皮含氢量严格控制在 5ml/100g 以内。为避免焊条潮湿, 影响管道焊接质量, 焊接人员需要将其放置于 300℃—350℃, 连续烘干 2h, 并将其贮存于 60℃ 的保温桶内^[1]。

2.2 确定焊接工艺参数

石油化工管道进行焊接时, 焊接人员需要根据管道焊接技术要求, 确定焊接工艺参数, 为后续的焊接作业提供支持。在此工作开展时, 焊接人员需要基于焊接输入量展开计算, 如采取埋弧自动焊技术时, 为确保此项焊接技术应用的质量, 需明确以下焊接工艺参数: ①根焊时焊接速度应为 30—35cm/min, 电压为 26—28V, 电流需控制为 420—450A; ②填充焊前处理时, 焊接速度需控制为 35—40cm/min, 电压为 28—31V, 电流为 450—480A; ③盖面焊接时, 焊接速度需控制为 32—38cm/min, 电压控制为 27—30V, 电流控制为 430—460A; ④焊接层面的温度需要控制在 200℃ 以下。如下图 1 所示, 为埋弧自动焊接工艺

参数变化曲线示意。

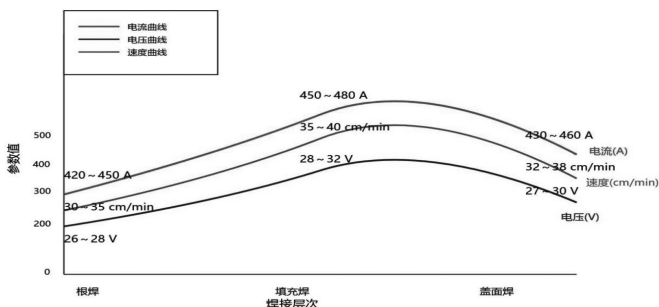


图1 埋弧自动焊接工艺参数变化曲线示意

2.3 选定焊接技术方案

若焊接人员对多种焊接方法进行比较后，最终决定选择埋弧自动焊工艺，为能够充分发挥此焊接技术的应用优势，需要细化焊接技术方案要点。比如，在进行主管道焊接处理时，采取单面焊双面成型方案，进行底层处理时，则进行氩弧焊打底处理，在外层进行埋弧自动焊，以达到填充与盖面的预期处理效果^[2]。

焊接人员在选择焊丝时，应选择 $\phi 3.2\text{mm}$ 与 $\phi 4.0\text{mm}$ 的规格，并选择中性焊剂，将焊条烘干的温度控制为 350°C — 400°C 。在进行管道组对时，焊接人员可借助自动对口器，并将同轴度的误差始终控制在 0.8mm 以内。在进行管道焊接接头坡口型处理时，为避免埋弧自动焊施工，应将其处理为双 V 型，且坡口角度处于 $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，且钝边尺寸 $2.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，间隙 3.0 — 3.5mm 。

2.4 焊接工艺要点管理

2.4.1 焊接准备工作

为实现石油化工管道埋弧自动焊处理的预期质量与性能，在正式焊接施工作业时，需采用专业的坡口机对管道进行坡口处理，并将坡口的壁面粗糙度控制在 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ 。焊接人员需要对管道端部的内外壁进行有效清洁处理，及时清除油污、铁锈、氧化层等，以免影响后续化工管道运行的安全性。待管道的坡口尺寸完成加工处理后，需要对其进行检验评估，并展开组队处理，一般采取四点固定法，且保证固定点的长度不超出 10mm 。为防止外界的风雪影响焊接质量，需要在厂房内进行焊接，并在焊接作业两侧设置醒目的警示标志，避免在焊接过程中出现意外事故，影响人员的人身安全^[3]。

2.4.2 焊接操作过程

石油化工管道进行埋弧自动焊时，焊接人员需要根据焊接技术方案对以下工艺细节进行严格管控。一是焊枪操作时偏移量必须控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，同时焊剂厚度保持在 25 — 30cm 。二是在摆动焊枪时，需要根据坡口的实际情况做出适当调整，一般在应用埋

弧自动焊技术时，需要将焊枪摆动的宽度调整为 14 — 18mm 。三是在焊接工作开展时，应将每层焊道搭接率控制在 35% — 45% 之间，并让相邻焊道错开终止点。四是实时监控焊接电流与电压等相关参数，避免电流和电压出现较大的异常波动，影响埋弧自动焊处理的质量。

2.4.3 焊后处理措施

石油化工管道焊接处理后，焊接人员需要立即对焊缝表面进行清理，清除焊缝表面的氧化皮与飞溅物，此外在对特殊的不锈钢管进行焊接处理后，焊接人员需使用专业的不锈钢抛光轮对其表面展开处理，避免不锈钢表面出现异色。此外，焊接人员在对管道的焊缝冷却处理时，应等待其温度降低为室温后，展开着色探伤检测，及时发现焊缝存在的质量缺陷，并进行快速返修，避免其焊接质量问题影响后续化工管道运行的安全性与可靠性。另外，在低温钢管焊接后，焊接人员需要对其进行局部应力消除处理，为达到此目标，需要将其加热至 580°C — 600°C ，并进行 2h 的保温处理，以此消除局部应力。待管道所有的焊缝质量检测符合标准后，才可进行防腐处理，一般对管道焊接位置进行防腐时，焊接人员使用聚氨酯面漆与环氧富锌底漆进行双层防腐，最大程度保证石油化工管网运行的安全性与可靠性^[4]。

3 石油化工管道焊接质量控制措施分析

3.1 设计文件与材料质量的管控

3.1.1 设计文件质量管控

设计文件是石油化工管道焊接作业的依据，一旦设计文件质量出错，将给后续的管道焊接作业造成直接影响，由此可见在加强石油化工管道焊接质量控制时，应重视设计文件的质量管理。在对设计文件的质量进行审查评估时，企业应组织跨部门专家小组，从多个视角切入对设计文件的可行性展开分析研讨，识别出设计文件中存在的技术缺陷、质量风险、安全隐患，确保在正式施工前对设计文件方案做出优化调整，消除管道焊接质量风险，体现出设计文件质量管理控制工作开展的现实价值与意义。

3.1.2 材料质量管控

新时期石油化工管道焊接工作开展时，为保证焊接质量得到有效控制，焊接人员需要加强对焊接作业材料质量的严格控制，首先是加强采购环节的管理，杜绝以次充好的劣质材料进入施工区域，给管道焊接造成质量影响。其次是做好材料入库验收与入场复核工作，即保证采购入库的材料，均得到有效检测，筛除劣质材料，而在出库入场时，需对材料复核，防止材料存放不当出现性能问题，影响石油化工管道建设

质量。最后是根据相关材料的使用特点,展开科学规范的处理,以确保各类材料的优势得到充分发挥,保证管道焊接的质量与效率^[5]。

3.2 焊缝质量的外观检测与无损检测

3.2.1 焊缝外观检测

焊缝外观检测是石油化工管道焊接质量控制的关键一环,在对焊缝外观进行专项检查时,可使用全自动焊缝检测系统,并配置5倍放大镜,对管道焊缝的表面成形情况、咬边深度、宽度、表面气孔、裂纹等展开检查评估,及时发现焊缝存在的外观损伤,并做好记录,为后续的修复处理提供依据。一般情况下,石油化工管道进行焊接处理后,焊缝表面需确保无焊渣、飞溅物与氧化皮,同时焊缝的表面清洁度需要达到Sa2.5级。

此外,焊缝余高应控制在2.5mm以内,且两侧高度差不大于0.5mm,咬边的深度不得超出0.3mm,且所有的焊缝宽度应保持均匀一致,确保其与母材平滑过渡。焊接人员对管道焊缝质量进行外观检查时,应保证焊缝的表面气孔直径小于0.1mm,且相邻气孔的间距需要控制在8mm以内,为确保管道焊接质量达到设计技术规程的要求。

另外,焊接人员还需要对管道焊接的几何尺寸进行检查分析,评估管道焊接的长度、圆度、直线度、封头成型最小厚度、直边纵向褶皱深度、形状偏差、棱角度等各项指标是否符合设计要求,及时发现石油化工管道焊接质量缺陷,从而进行针对性干预处理,消除质量安全隐患。

3.2.2 焊缝质量无损检测

常见的石油化工管道焊缝质量无损检测方式,主要包含超声波探伤检测法与射线探伤检测法等。焊接人员选用超声波探伤检测技术时,可使用Karl Deutsch公司ECHOGRAPH 1090型,实现对管道焊缝质量缺陷的精准探测。在采用射线探伤无损检测技术时,可使用专用X射线机,将电流设置为5mA,电压设置为160kV,快速探伤出焊缝质量缺陷。另外,在对低温钢管道焊缝质量进行检测评估时,需要对其展开零下45℃的低温冲击试验,测试其焊接位置的硬度,根据测试所得数据信息做出客观公正的评估。焊缝无损检测工作的重要性毋庸置疑,焊接人员应根据石油化工管道焊接质量管理要求,选择适宜的无损检测技术方案,识别出隐藏的质量缺陷。

3.3 细化焊缝质量评定标准与管道试验评估

3.3.1 焊缝质量评定标准

焊接人员在石油化工管道焊接质量进行管控时,为保证焊缝质量验收评定的客观性与可信度,在

其工作开展时,应严格执行NB/T 47013—2023《承压设备无损检测》标准。如通过对焊缝进行射线无损检测后,检测质量等级需要达到Ⅱ级,且管道焊缝内部气孔最大尺寸不能超过2.0mm,堆焊缺陷深度需小于1.0mm,条形缺陷长度不得超出管道壁厚。当焊接人员采用超声波探伤技术,对管道焊缝质量进行测定评价时,需要确保超声波探伤幅值不超过标准试块的反射波幅,同时焊缝的缺陷指示长度必须小于12mm。与此同时,在对焊缝质量进行评定时,焊接人员需要确保管道焊缝的抗拉强度不低于母材强度的85%,且硬度值不大于HV350。在现场管道焊缝质量检测评定时,焊接人员需要做好数据入档,严格遵守管道焊接质量验收管理规定,以保证焊缝质量缺陷得到精准识别,消除石油化工管道系统后续运行的不确定因素。

3.3.2 管道试验评估

在石油化工管道焊接处理后,应当在正式交付前展开专项的耐压与泄漏试验,即在焊缝检测质量达标后,对管道设备的强度与密闭性展开测试,根据石油化工管网运行的要求,为管道内注入相应的介质,并使其达到预定压力,检测记录管道焊缝位置的相关数据,根据数据分析做出量化客观的判断。若在管道耐压与泄漏试验工作开展时,待检测管道的母材是奥氏体不锈钢,必须将试验介质中的氯离子含量进行精准管控,不可超出25mg/L,避免影响到最终的试验数据,导致误判问题的发生。

4 结语

文中以石油化工管道焊接工艺与质量控制为例,重点阐述了焊接工艺的控制要点与质量控制措施,旨在说明相关工作开展的重要性与必要性。在今后的石油化工企业生产运行过程中,应不断总结管道焊接工艺应用经验与质量控制经验,并打造相应的经验数据库,为更多的类似项目提供价值参考,不断提升石油化工管道的焊接质量,避免石油化工管道运行时出现重大安全风险,影响到企业正常运行与社会基础服务。

参考文献:

- [1] 韩兴忠. 石油化工管道焊接工艺及其焊接质量浅析[J]. 当代化工研究, 2023(06):157-159.
- [2] 李金泰. 石油化工管道焊接质量的控制措施[J]. 化工管理, 2023(03):133-136.
- [3] 崔鸿, 王博怀. 石油化工管道焊接质量的控制措施[J]. 化工管理, 2022(29):147-151.
- [4] 朱增玉. 石油化工管道焊接工艺与质量控制研究[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(02):15-16.
- [5] 周尚青. 论石油化工管道焊接工艺及质量控制措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(05):30-31.