

LNG 全容储罐焊接质量控制分析

孙紫麾 肖 操 舒欣欣 刘富鹏 王 伟
海洋石油工程股份有限公司 天津 300450

摘要: 大型低温 LNG 全容储罐涉及到的母材材料、焊接形式较多, 焊接质量要求高, 其中 LNG 内罐使用低温 X79Ni 钢, LNG 从运输船卸入罐内及输送至槽车区采用低温不锈钢管道 304/304L 管道完成。因为 LNG 介质储存及输送温度约为 -165°C , 所以母材及焊缝的低温冲击性能是质量高低的主要指标。本文通过对焊接工程中的管理和技术措施研究分析如果更好的提高 LNG 全容储罐项目中的焊接质量。

关键词: PDCA; X79Ni 钢; 低温; 焊接变形

Welding quality control analysis of LNG full storage tank

Zihui Sun Cao Xiao Xinxin Shu Fupeng Liu Wei Wang
Offshore Petroleum Engineering Co., LTD., Binhai New Area, Tianjin 300450

Abstract: The large cryogenic LNG full-capacity storage tank involves many base materials, welding forms and high welding quality requirements. The LNG inner tank uses cryogenic X79Ni steel, and the LNG is unloaded from the tanker and transported to the tank area by the cryogenic stainless steel pipeline 304/304L. Since the storage and transportation temperature of LNG medium is about -165°C , the low temperature impact performance of base metal and weld is the main indicator of quality. This paper analyzes how to improve the welding quality of LNG full capacity storage tank project by studying the management and technical measures in welding engineering.

Keywords: PDCA; X79Ni steel; Low temperature; The welding deformation

引言

我国 LNG 进口量逐年递增。LNG 低温储罐作为 LNG 储存和转运的重要设施, 随着 LNG 需求量的急速增加, LNG 储罐的建设亟待快速发展。LNG 全容储罐工程包含了低温储罐及中间介质汽化器 (IFV)、高压泵、计量撬、海水泵和管线等配套工艺设备设施。混凝土 LNG 全容低温储罐有混凝土外罐壁、碳钢 S275J 外罐和低温钢 X79Ni9 内罐组成, 内罐顶采用 B209M 5083 铝板和 304L 不锈钢拉杆组成。储罐内 LNG 从运输船卸入罐内及输送至槽车区均采用低温不锈钢管道 304/304L 管道完成。X79Ni 钢是一种低碳调质钢, 组织为马氏体加贝氏体。这种钢材在极低温度下具有良好的韧性和高强度, 而且与奥氏体不锈钢和铝合金相比具有热胀系数小, 经济性好, 使用温度最低可达 -196°C 。因为 LNG 介质储存及输送温度约为 -165°C , 所以母材及焊缝的低温冲击性能是质量高低的主要指标, 焊接质量的好坏直接影响到母材的低温冲击性能, 而 LNG 项目焊接作业量大、质量要求高是其主要施工特点, 在焊接过程中会出现不同程度的质量问题, 如何控制质量问题的频度提高焊接合格率, 要通过分析原因而采取有针对性的施工管理和技术措施, 本文通过对 LNG 储罐施工过程中常见焊接

质量问题的分析, 提出有针对性的解决对策, 从而对提高焊接施工质量起到促进作用。

一、LNG 内罐壁板的常见焊接形式

LNG 全容储罐内罐壁板的焊接国内外通常采用 SMAW 和横焊 SAW 的背部清根双面焊接方式, 焊材分别选用 ENiCrMo-6 和 ERNiCrMo-4 等镍合金焊材。内罐壁板施工过程采用正装法施工, 内罐壁板焊接施工难点主要在全部高空作业、焊缝壁厚、焊缝长 12.8m、焊接变形量大、打磨量大、易产生焊缝高温失塑性裂纹等方面, 同时内罐用来直接接触储存 LNG 介质。所以内罐壁板的焊接是项目技术、质量管理方面重要控制部位, 内罐焊接施工是接收站装置的核心!

近年来也有一部分 LNG 全容罐内罐壁板对接纵缝采用了自动 TIP TIG (简称 TT) 焊接技术, 采用全氩弧的 TT 焊接, 该项焊接技术相比于传统 SMAW 可实现单面焊双面成型、焊接热输入减小、焊缝缺欠种类及数量少、窄间隙小坡口焊接量小、焊接环境好、焊接质量高、焊工人工时投入少、缩短施工工期等特点。特别在焊接变形控制、焊接外观质量、低温冲击韧性提高、焊接一次合格率等方面优势更显著。

二、常见焊接问题及控制措施

1. 埋弧焊气孔数量超标

在采用埋弧焊焊接内罐壁板环向焊缝时，常发生气孔数量超标的情况。针对埋弧焊气孔的控制措施建议如下：

1) 如焊剂颗粒度较小，建议使用细筛对新开封的焊剂进行过筛子，把粉末状清除掉，只使用颗粒状焊剂。

2) 焊剂使用过程中要严格烘烤，特别注意领用时候使用保温桶，中午及晚上班后剩余焊剂全部清理回焊材烘烤室，回收的焊剂尽量用在背部保护的那一侧。

3) 阴天下雨，潮湿度比较大的天气，缩短焊剂单次领用量，增加领用次数。

4) 手工定位焊接焊缝，焊接前打磨。环境湿度大定位焊接位置处吸水气情况较多，焊前用烤枪除下定位焊位置的水气。

5) 控制焊接参数，电流太大行走太快的话，焊渣充分反应时间短，气孔不能及时排除，控制行走速度。

6) 注意背部清根情况，有些情况现场考虑清理渗透剂不好清理，清根后不使用渗透检查有没有缺陷，原始气孔留在焊缝里了。

7) 过程中注意统计气孔是否集中在少部分焊工身上。如果分布很均匀，可能就是天气和焊剂的问题了，如果集中在个别焊工身上，应该是焊接参数和操作手法的问题。分析气孔产生的原因针对这些因素，采取相应措施，能得到控制。

2. 纵焊缝焊接焊接变形量过大

在采用自动 TIP TIG 焊接罐壁纵向焊缝时，常出现焊接变形量接近设计规范允许上限值的情况。针对此类问题建议的控制措施如下：

1) 钢板弧度变形，强力组对，存放弧度胎具，出厂弧度验收，特别是板边缘弧度；

2) 焊接位置 T 形接头打磨损伤下层壁板；增加 T 形接头角磨机打磨，同时尽量确保一次焊接成形；

3) 背部保护气体，杜瓦罐，Ar 气体，汽包分气阀，厚度 22.5mm 的 3.5 米长 1 条焊缝需要 5-6 瓶 Ar 气。2 人 1 天（有效焊接时间 5-6 小时；辅组时间 2-4 小时）焊丝 6kg；

4) 安装壁板锤击引起局部震动，造成焊接夹钎；

5) 焊接过程变形，坡口角度，电话卡固定，采用分段退焊；

6) 焊接后外罐检查，局部低于母材，控制余高同时保证焊接饱满；

7) 焊接应力释放，从左向右依次焊接，中间不进行跳焊；

8) 因坡口非对称设置坡口，正常焊接顺序、控制措施导致焊接变形量较大（见图 1）。控制措施：当弧度小于标准值，在电话卡工具作业下，组对端向内侧偏

移，组对端在板内拘束应力作用有恢复自由状态的力，在焊接完成后，受焊缝影响，无法完成恢复自由态，则焊缝受板面弧度影响向外侧变形形成夹角外凸。当弧度大于标准值，变形向内测凹（见图 2）。目前坡口开为 $\frac{1}{3}$ U 型和 $\frac{2}{3}$ U 型的坡口，如果板弧度偏小，可与焊缝变形局部抵消；如果钢板弧度偏大，则外加焊缝变形作用，将叠加偏大；针对钢板组对时的弧度情况，如弧端建议采用第 1 种顺序，且在焊完 1、2、3、4、5 后将电话卡全部装上，在焊接 6、7、8，可以更好控制变形（见图 3）。

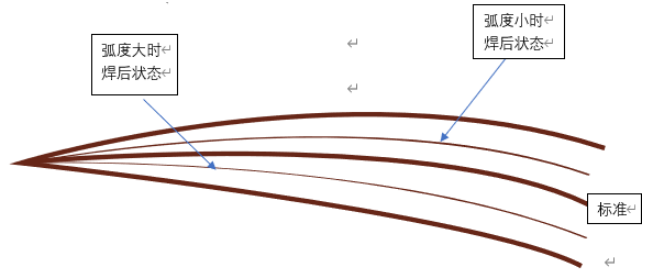


图 1 焊接变形图

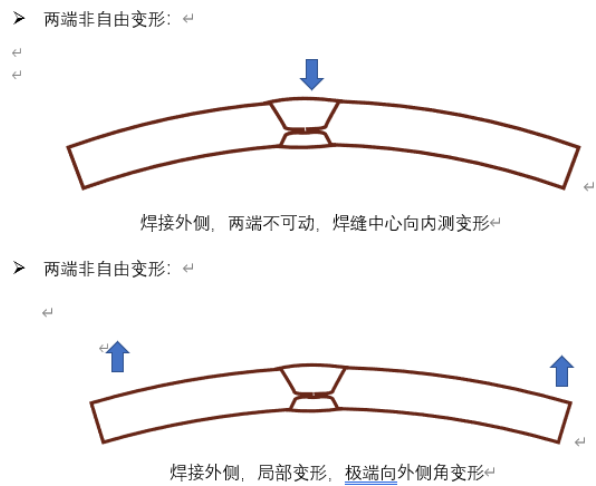


图 2 焊接变形图

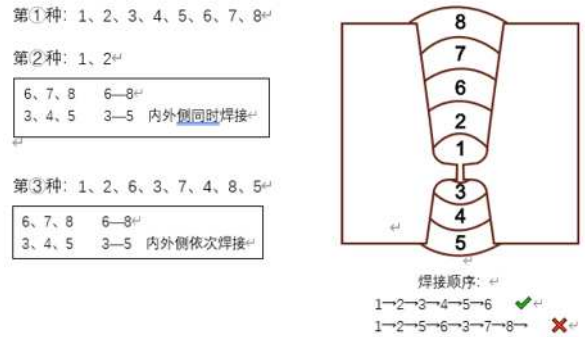


图 3 焊接变形控制顺序图

3. 焊评试验件拉伸试验、冲击试验不合格

在焊接工艺评定制作期间，出现个别焊评试验件拉伸试验、冲击试验不合格。针对此问题建议的控制措施如下：

针对不合格试件,受限按照规范要求,进行补充试验,同时分析焊评试件焊接过程的焊接参数等是否符合要求;补充试验不合格的焊评重新调整焊接参数进行重新焊接焊评试板,保证报审合格的PQR为合格可执行参数。

4. 焊工资质不满足

在焊工入场考试期间,出现部分焊工未达到双证要求,存在个别焊工超资质、范围焊接。针对此问题的控制措施如下:对于不符合双证要求的焊工进行停止焊接作业,组织参加安监证取证考试,合格后恢复焊接。对于现场发现的超资质焊接作业,对焊工进行清退,焊接部位进行切割重新焊接处理。

5. 焊条使用不规范

在内罐 X7Ni9 材料 SMAW 焊接时,常发生焊条使用不规范,未插电加热,有隔夜焊条使用情况。建议针对此类问题控制措施如下:焊接施工过程中实行日检制,对中午下班、晚上下班等时间,对现场所以作业点进行全覆盖检查,是否存在焊材未退回焊材烘烤室情况;早上值班人员去焊材库监督检查焊材发放情况。焊条使用期间全员检查焊条桶通电情况。

6. 工程资料质量不规范

项目施工过程中存在工程资料质量不同步,资料内容不准确不规范的情况,建议针对此类问题加强项目阶段工作资料的同步控制,特别是项目工程师存在更换、离场现象;新到场的工程师未对实体工程施工质量进行验收控制,无法充分掌握工程实体状态,对于资料的质量、准确度无法进行跟踪与负责。增加施工单位资料完成情况检查频率,对资料完成度较差的单位、阶段增加考核。资料作为一定比例的进度款要求,每月付进度款前,施工单位会完成本月施工内容的相应资料。

三、焊接过程中的管理控制措施

项目建设期间通过管理措施对施工质量的保障是极其关键的,各管理单位及部分按照设计及各单位相关程序管理文件、国家规范、标准等要求,对项目施工过程质量进行把控;项目对施工过程质量控制有效的结合 PDCA 循环进行控制,在施工前进行方案编制、ITP 报审、质量检验计划等,在施工前通过施工方案交底、焊接技术质量交底等方式把施工难点、重点、要点、注意事项等传达给焊接施工人员,确保质量计划要点每一名焊工都清楚。

1. 人员质量控制措施

焊工是焊接过程执行者,同时也是焊接质量高低决定者。在焊工管理上,为保证焊工入场考试程序化、规范化、高效化,在项目焊工入场前要完成“安装工程焊工考试程序”文件审批,核定考试计划、资质审核、理论考试、技术交底、实操考试、合格焊工报审、焊工上岗证发放、入场焊接等流程,业主、监理、总包、施工

等项目各方严格按照焊工考试流程进行控制及见证。

合格焊工入场施焊后,各个管理方定期及不定期进行焊工持证上岗检查、焊接行为检查,并结合无损检测单位半月、月度焊工焊接一次合格率,对合格率高、质量差的焊工,根据情节轻重分别进行再培训、降级施焊、清退出场等处理,以保证工程实体的每条焊缝均能由合格焊工进行焊接,以抓点保全面的思路控制整个工程质量。

加强施工单位管理人员管理,对专业性强的岗位人员上岗前进行专业知识、技能、责任心等审查;对玩忽职守、不负责任、频繁出错的管理人员进行处理。促使施工单位提高自身管理意识。

2. 工机具质量控制措施

直接影响焊接质量的施工机具有焊机、焊材烘烤箱,对于间接影响焊接质量评定的机具有计量器具、探伤机、评片机等。对所有机具,按照国家标准规范要求进行检查、报验,保证相关机具能提供合格的使用性能。在施焊前,相关管理方应针对所有使用的焊接工机具进行检查,确定标定在有效期内才可使用。在现场施工中,工程师要使用已校定的钳形电流表对焊机输出电流进行测量控制,确保施焊电流在 WPS 设定范围内。

3. 材料质量控制措施

对于板材、焊材、保护气体等用于工程实体的材料,经项目组验收合格后,允许投入使用,材料存放区域设置待报验区、合格区、不合格区等分区域存放。

对于项目用焊材储存、烘烤、发放、使用,按照项目报审合格的“焊材库管理规定”文件执行,各参与方工程师对焊材发放、现场使用、材质匹配等情况进行频繁检查,项目采取焊条桶存放焊条过程通电、焊条手持数量少于 3 根、下班后焊条桶退回烘烤室存放等措施,保证焊接过程焊条符合质量要求。

重视并加强材料验收、保存、发放、回收工作,材料入库、出库应按照项目管理流程采用领料单限额领用;材料工程师时刻根据到货总量、发货量、库存量等更新台账。

4. 焊接方法质量控制措施

项目施工前,项目组完成焊接相关施工方案报审、焊接工艺评定报审、WPS 文件报审、方案及焊接技术交底,施工过程中依据报审的文件进行控制、检查,严格按照工序验收程序进行分部、分项质量控制,达到高质量的工程实体要求。项目用内罐 X7Ni9 材质、不锈钢管道材质焊接工艺评定制作,业主单位、第三方检验、总包工程师、施工单位工程师全过程监督见证,确保工艺的真实性、准确性、可执行性。

焊接过程中,通过业主、监理、BV 检验、总包项目组、施工单位等各参与单位管理人员检查,提出施工不符合项,针对不符合项进行现场解决,结合问题处理四不放

过原则,通过整改单、处罚单、质量交底、再培训等方式,进行 do 至 check 的质量管理。结合问题整改措施,在后续 action 中进行问题处理结果的跟踪,保证问题发现、整改、关闭循环闭合,不留质量安全隐患。

5. 焊接环境质量控制措施

焊接作业地点周边的环境也是影响焊接质量的主要因素之一,对于 LNG 储罐的焊接作业要结合项目当地环境情况,在每个储罐内部均设置温湿度仪进行焊接环境控制,当施焊环境较差时,立即采取相应改善措施,保证施焊质量,比如预制区管道焊接防风措施完善,罐口防雨措施及丙烷火焰烘烤除湿等等。户外作业的情况下,如果采取措施也无法达到合理的焊接环境要求,则应该停止施焊。

四、结束语

本文对于 LNG 项目建设过程中如何通过管理和技术措施有效提升焊接质量、提升项目施工质量提出了一些改进建议,希望通过本文的论述能够对 LNG 全容储罐的施工参建者有所帮助。如何通过管理和技术措施改善提高项目的焊接工程质量是一个需要长期投入大量精力

分析和提炼的课题,随着 LNG 需求量的急速攀升,国内的 LNG 工程也越来越多,针对 LNG 储罐项目的各种新技术、新方法、新材料也不断被应用到工程当中去。本文仅仅针对了其中常见的一些工艺方法进行了分析,相信各项新技术的应用也会大幅度的提高 LNG 焊接质量水平,通过这些新技术以及各项管理手段如何有效提升施工质量,改善施工环境,提高工作效率,减少施工人员强度、降低安全风险,提升 LNG 储罐的施工工艺,改良焊接工艺将具有更加实际的意义。

参考文献:

- [1] 肖操 .LNG 低温罐 X7Ni9 环缝埋弧焊技术要点及质量控制 [J]. 焊接技术, 2021, S1.
- [2] 欧阳凰生, 刘福英, 付强 . 浅谈大容积 LNG 储罐焊接施工质量控制及改进措施 [J]. 化工管理, 2015, 30.
- [3] 李冬 . 大容积 LNG 储罐焊接施工质量控制及改进措施研究 [J]. 中国化工贸易, 2018, 01.
- [4] 孙紫麾 .LNG 行业发展趋势及国内 LNG 业务发展浅析 [J]. 商品与质量, 2021, 17.