

大型液化天然气储罐焊接质量监督要点

刘 洋

石油天然气管道工程质量监督站，河北 廊坊

收稿日期：2023年5月26日；录用日期：2023年9月13日；发布日期：2023年9月25日

摘要

LNG储罐焊接是该类工程最重要的质量控制点，是保障工程安全、平稳、高效运行的必要条件。本文将明确LNG储罐焊接过程中质量控制点，明确监督检查主要依据，明确监督检查时机，以及分析典型质量问题案例，为开展该类工程质量监督提供依据和建议。

关键词

大型液化天然气储罐，全容罐内罐焊接，监督检查

Key Points of Welding Quality Supervision for Large LNG Storage Tanks

Yang Liu

Quality Supervision Station of Petroleum and Natural Gas Pipe Work, Langfang Hebei

Received: May 26th, 2023; accepted: Sep. 13th, 2023; published: Sep. 25th, 2023

Abstract

The welding of LNG storage tanks is the most important quality control point for this type of project, and is a necessary condition to ensure the safe, stable, and efficient operation of the project. This article will clarify the quality control points during the welding process of LNG storage tanks, clarify the main basis for supervision and inspection, clarify the timing of supervision and inspection, and analyze typical quality problem cases to provide basis and suggestions for conducting quality supervision of such projects.

Keywords

Large LNG Storage Tanks, Full Tank in Tank Welding, Supervision and Inspection

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国液化天然气工业起步比较晚，但近 10 年来 LNG 用量翻一番，在 LNG 链上的每一环节都有所发展，尤其是近几年在大型 LNG 储罐建设过程中，出现很多新材料、新技术、新工艺。其中在大型 LNG 工程建设中全容罐建设占据主导地位，全容罐内罐设计使用温度约为 -170℃，所使用材料为低温焊接板材，目前较常用为 9% Ni 钢板，该种材料施工技术方案逐步完善，但是在质量监督检查环节仍缺少指导性文件，对 LNG 储罐焊接的监督方法仍属于空白，目前国内质量监督工作主要参照常温常压原油储罐质量监督方案，但是常温储罐与低温储罐在结构、材质方面均有很大区别，为保障低温储罐钢板焊接质量，本文明确焊接工作质量监督检查要点及工作开展方法。

2. 焊接工作质量控制要点

通过对多项 LNG 工程监督工作总结归纳，得出 LNG 全容罐焊接工作质量监督要点见表 1。

Table 1. Key points for quality control of welding work in the installation project of LNG full capacity storage tanks
表 1. LNG 全容式储罐安装工程焊接工作质量控制要点

序号	质监点名称	巡监点	必监点	主要抽查内容	最低抽查频次
1	衬板安装		√	衬板预制、组对、安装	2 次
2	底板组对		√	排板图及拼板尺寸、搭接宽度或验收记录	1 次
3	施工第一节壁板 安装检验		√	上口水平度、垂直度、半径或安装记录	1 次
4	热角保护	√		热角保护结构预制、组对、安装	1 次
5	焊接工艺		√	焊接工艺评定、焊接工艺卡(规程)、焊工执业及准入资格、焊接工艺执行情况	3 次

2.1. 衬板安装

2.1.1. 设置本必监点的必要性和重要性

衬板的主要作用是防止渗透产品蒸发气体和水蒸汽，应检查其密封性能。

2.1.2. 监督到位时机

衬板预制及安装过程。

2.1.3. 主要检查内容及依据标准

检查衬板组对间隙、错边量、焊后变形情况。

主要依据标准条款为 SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》中第 8.3.1 条和 8.3.2 条。

2.1.4. 常见质量问题

- 1、罐底衬板凹凸不平，呈波浪起伏；
- 2、罐底衬板排板不符合标准要求；
- 3、组对间隙、错边量不符合要求；
- 4、焊后变形量超标。

2.2. 储罐底板组装

2.2.1. 设置本必监点的必要性和重要性

储罐底板是 LNG 全容式混凝土储罐低温承压部件。

2.2.2. 监督到位时机

底板组对结束，底板焊接之前，并经监理工程师检查合格。

2.2.3. 主要检查内容及依据标准

1、原材料合格证及质量证明书；底板组对施工方案；基础验收记录。底板除锈隐蔽工程记录、底板垫板隐蔽施工记录，罐底边缘板预制、组对、焊接记录，罐底边缘板几何尺寸检查记录、罐底边缘板外 300PT、RT 无损检测委托单。罐底中幅板预制、组对、焊接、罐底中幅板几何尺寸检查记录、T 型大角缝焊接施工记录。无损检测委托单、查罐底焊缝真空试漏记录。查监理平检、旁站记录。

依据标准条款：

- 1) SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》[1]。
- 2) SH/T 3560-2017《石油化工立式圆筒形低温储罐施工质量验收规范》[2]。

2、抽查罐底板预制

依据标准条款：

SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》第 5.1 条、第 6.5 条、第 8.2 条、第 8.3 条和第 8.5 条。

2.2.4. 常见质量问题

- 1、罐底板凹凸不平，呈波浪起伏；
- 2、罐底板排板不符合标准要求；
- 3、搭接接头三层钢板重叠部分，底板切角不符合标准要求；且上层底板覆盖部分的角焊缝不焊接；
- 4、罐底板搭接时，搭接方向错误，中幅板应搭在弓形边缘板的上面；
- 5、组对间隙不符合要求；
- 6、预制件材料缺陷。

2.3. 施工第一节壁板安装检验

2.3.1. 设置本必监点的必要性和重要性

LNG 全容式混凝土储罐，工作温度-162℃，内壁板是直接与低温液化气接触的部位，是储罐重要物料承载结构，所以设置本监检点。

2.3.2. 监督到位时机

第一节壁板安装、组对结束。

2.3.3. 主要检查内容及依据标准

1、壁板施工方案编制审批报验；原材料合格证书及质量证明书；经批准的排板图；经批准的壁板焊接方案；施工交底记录；无损检测委托单、无损检测报告单；监理平检旁站记录。

依据标准条款

SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》

2、第一节壁板预制几何尺寸抽查；坡口形式、尺寸；钢板及坡口有无缺陷；组对间隙复测；壁板的铅垂度、罐壁半径偏差、相邻两壁板的上口水平偏差；

依据标准条款

SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》第6.5条、第7.1条、第7.2条和第8.4条。

2.3.4. 常见质量问题

1、底圈罐壁组对上口水平度、壁板垂直度、罐壁半径等允许偏差检测超差。

2、壁板材料缺陷。

2.4. 热角保护

2.4.1. 设置本必监点的必要性和重要性

储罐热角保护系统由热角保护盖板、壁板、底板(二次底板)以及壁板与底板之间的转角板组成。其作用是为了克服由于正常操作和泄露工况引起的二次底板和热角保护壁板产生的收缩和膨胀。

2.4.2. 监督到位时机

热角保护结构安装。

2.4.3. 主要检查内容及依据标准

1、热角保护结构安装方案；热角保护结构无损检测报告；监理平检旁站记录。

依据标准条款

SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》

2、方位线和标高线测量，符合设计；坡口、组对间隙；材料缺陷检查；焊缝检查；壁板其局部凹凸变形。

依据标准条款

SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》第8.4条和第6.5条。

2.4.4. 常见质量问题

1、焊缝漏点；

2、焊缝缺陷。

2.5. 焊接工艺

2.5.1. 设置本必监点的必要性和重要性

LNG全容式混凝土储罐，工作温度-162℃，材质是9%Ni钢，焊接控制难度大、要求高，所以设置本监检点，并且检查频次设为3次。

2.5.2. 监督到位时机

焊接前、焊接过程中、焊接结束后。

2.5.3. 主要检查内容及依据标准

1、焊接工艺评定；经批准的焊接方案及执行情况；焊接设备、检验及工具合格证书、检定证书；抽真空记录；监理平检记录；

依据标准条款

1) SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》第10.1条、第10.2条、第10.3条、第10.4条、第10.5条和第10.6条。

2) GB/T 26978-2021《现场组装立式圆筒平底钢质液化天然气储罐的设计与建造》第7.2条[3]。

3) GB/T 50938-2013《石油化工钢制低温储罐技术规范》第8.5条[4]。

4) SH/T 3525-2015《石油化工低温钢焊接规范》第4.5条、第7.1条、第7.2条、第7.3条、第8.1条、第8.2条、第8.3条、第10.1条、第10.2条、第10.3条、第10.4条、第10.5条、第10.6条、第10.7条[5]。

5) API STD 620-2013《大型焊接低压储罐的设计与建造》

2、焊材质量证明文件、报验；焊材库管理及焊材发放、保存、回收、使用环节合规性。

依据标准规范

1) SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》第5.4条。

2) GB/T 50938-2013《石油化工钢制低温储罐技术规范(附条文说明)》第4.1条、第4.2条和第8.2条。

3) SH/T 3525-2015《石油化工低温钢焊接规范》第4.1条、第4.4条和第4.5条。

2.5.4. 常见质量问题

1、焊接工艺评定范围不能覆盖现场施工需要。

A、现场焊接方法与焊接工艺评定中焊接方法不符；

B、现场母材类别与焊接工艺评定中母材类别不符。

2、焊接工艺评定报告中的个别试验项目未按相应要求进行试验或项目不全。

3、焊工资质与规范要求不符(焊工不持证上岗或超范围焊接)。

4、焊接材料的现场保管、烘干、发放及使用不规范。

5、焊缝表面药皮、飞溅不清理。

6、不锈钢管焊件坡口两侧不采取防飞溅措施。

7、承插焊法兰不双面施焊。

8、焊缝无损检测委托单不附单线图或所附单线图与实际不符。

9、焊缝无损检测部位，比例不够，尤其对焊工、固定口检测比例不够。

10、同一焊工所焊焊缝的抽检比例不够，返修比例不够。

11、现场针对不利焊接环境不采取措施或所采取的措施与方案不符。

12、无损检测方法的改变，未经有关部门审批。

13、焊缝热处理工艺执行不严，热处理后不进行硬度检验或检验硬度值超标。

1) 焊缝热处理曲线与焊接工艺不符；

2) 焊缝热处理时机与焊接工艺不符；

3) 进行焊缝热处理未按规范要求采用自动记录仪记录曲线；

4) 热处理后不进行硬度检验；

5) 热处理后，硬度值超标，未重新进行热处理。

14、坡口不打磨，组对间隙过大或过小。

15、违反焊接工艺要求，焊接材料使用错误。

3. 案例

3.1. 概况

2021年3月，某16万立LNG调峰储气库项目，正在进行罐壁预制焊接，检查时发现焊接工艺执行情况不符合标准规范要求，主要问题：

- 1、在壁板环焊缝预制过程中，焊工张某所用的保温筒功能失效，无法起到正常的保温作用，详见图1。
- 2、施焊过程中，板号为22202267310203的板材，根焊电流为140.8 A，详见图2。不符合焊接工艺规程要求，详见表2。
- 3、板号为22202267310202的板材组对间隙为7.5 mm，不符合焊接工艺规程要求。



Figure 1. Failure of insulation barrel

图1. 保温桶失效



Figure 2. Low welding current

图2. 焊接电流低

Table 2. Welding procedure specification

表2. 焊接工艺规程

焊道/ 焊层 Weld Layer(s)	焊接方法 Process	填充材料 Filler Metal		焊接电流 Current		电弧电压 Volt Range (V)	焊接速度 Travel Speed (mm/min)	线能量 Energy Inprut (kj/mm)
		型号 Type	直径 Dia (mm)	极性 Polarity	电流 Amps(A)			
打底	111 (SMAW)	ENiCrMo-6	4.0	N/A	160~200	24~29	160~210	1.44~1.65
填充	111 (SMAW)	ENiCrMo-6	44.0	N/A	160~210	24~29	160~220	1.44~1.66
圈面	HI (SMAW)	ENiCrMo-6	4.0	N/A	160~205	24~29	220~290	1.05~1.23

3.2. 问题分析

1、保温桶失效，不符合 SH/T 3561-2017《液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范》中第 10.5.3 条“9% Ni 钢焊条应按照制造厂要求进行烘烤，烘烤完毕的焊条应放置在 100~150℃的恒温箱内，领用时应使用合格的焊条筒，一次领用的焊条使用时间不应超过 4 h，否则应重新进行烘烤，重复烘烤的次数不得超过 2 次。”的要求。失效的保温筒不可以保持焊条的干燥，潮湿的焊条会影响焊接质量，容易产生气孔、裂纹等缺陷。存在严重质量隐患。

2、根焊电流不符合焊接工艺规程(编号：YJLNG-08-04)中焊接电流范围为 160~200 A 的要求，板材组对间隙不符合焊接工艺指导书(编号：YJLNG-08-04)中组对间隙为 4 ± 1 mm 的要求。以上问题将影响储罐焊接变形量，从而降低安装精度，影响壁板上口水平度和罐壁垂直度。

3、施工单位对焊接工艺交底不到位，施工管理人员和监理人员对施工现场管理不严，导致出现违反焊接工艺规程问题。

4、焊工用失效保温筒保存焊条时，无法保证焊条的性能达到标准规范要求。本案例中出现的质量问题，反应出施工单位质量管理存在薄弱环节，施工“三检制”形同虚设，技术质量交底不彻底。

3.3. 问题处置

项目监督机构针对该问题下发《质量问题处理通知书》，施工单位将焊缝打磨去除，更换不合格保温筒，重新按照正确的组对间隙和焊接工艺参数进行施工。整改后由监理单位或建设单位进行确认，将整改结果书面上报项目监督机构。

3.4. 经验教训

施工单位焊接人员应严格执行焊接工艺规程要求，保证焊接质量。施工现场施工负责人和监理工程师加强对焊接工艺执行情况的监管，发现问题及时纠正，同时，监督人员应严格按照设计要求和相关标准进行监督抽查，督促施工单位严格执行规范标准，保证焊接质量。

4. 结束语

目前国内质量监督检查环节仍缺少指导性文件，对 LNG 储罐焊接的监督方法仍属于空白。质量监督工作主要参照常温常压原油储罐质量监督方案，但是大型 LNG 储罐容积多在 16 万 m³以上，而目前常温储罐最大容积在 15 万 m³，且低温储罐需要保温结构，需要衬板和热角保护焊接，所以低温储罐与常温储罐在结构上有明显区别，低温储罐钢板材质为 9% Ni，常温储罐钢板材质为 12MnNiVR，所以材料焊接特性有明显区别，常温储罐监督检查内容与低温 LNG 储罐监督检查内容存在较大不同，应编制有针对性的监督方案。

本文主要叙述 LNG 储罐钢制内罐焊接及安装质量监督工作中质量控制重点及难点，每个质量控制点应检查的内容、检查依据及检查时机，同时归纳总结以往工程检查过程中发现的常见质量问题，对工程质量监督的一些方法和措施，通过强化过程质量的监管，争取工程质量监督工作的主动，突出重点，侧重点实行差别化监督，把有限的精力投入到重点、难点项目上，最大限度地发挥工程质量监督对工程质量的监管作用，达到事半功倍的效果。

参考文献

- [1] 潘吉龙,瞿帆,翁大龙,等. SH/T 3561-2017. 液化天然气(LNG)储罐全容式钢制内罐组焊技术规范[S]. 北京: 中国石化出版社, 2017.
- [2] 冷辉,王爱民,霍瑞民,等. SH/T 3560-2017. 石油化工立式圆筒形低温储罐施工质量验收规范[S]. 北京: 中国

石化出版社, 2017.

- [3] 张超, 扬帆, 张博超, 等. GB/T 26978-2021. 现场组立式圆筒平底钢质低温液化天然气储罐的设计与建造[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [4] 徐茂坤, 陈崇刚, 李宏斌, 等. GB/T 50938-2013. 石油化工钢制低温储罐技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [5] 张立平, 张桂红, 唐元生, 等. SH/T 3525-2015. 石油化工低温钢焊接规范[S]. 北京: 中国石化出版社, 2015.