

沿海盐雾环境下 LNG 接收站高压厚壁外输管道合格率提升措施实践与应用

蒋昌利（广东惠州液化天然气有限公司，广东 惠州 516000）

摘要：惠州 LNG 接收站位于广东省惠州市惠东县平海电厂北侧，一期建设一座设计规模为 $610 \times 10^4 \text{t/a}$ 和 LNG 最大气化外输能力为 $1760 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 的 LNG 接收站，包括 3 座 LNG 储罐 $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 9%Ni 钢储罐及配套工艺设备设施。地处广东沿海，焊接环境含盐雾，工期紧张、为此，项目成立了专业焊接质量控制与提高专业小组，并制定各项控制措施，取得了良好的实践效果，解决了厚壁管道焊接的质量难题，填补了国内 LNG 接收站在高压厚壁管道焊接质量提高及控制方面的空白，为后续类似环境施工提供了有益的参照经验。

关键词：LNG 接收站；沿海；盐雾；厚壁 LNG 管道；自动焊；焊接合格率

中图分类号：TE972 文献标识码：B 文章编号：1674-5167 (2025) 030-0085-03

Practice and Application of Measures to Improve the Pass Rate of High-Pressure Thick-Wall Export Pipelines at LNG Terminals in Coastal Salt Spray Environments

Jiang Changli (Guangdong Huizhou LNG Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516000, China)

Abstract: The Huizhou LNG Receiving Terminal is located to the north of Pinghai Power Plant in Huidong County, Huizhou City, Guangdong Province. The first phase of the project involves the construction of an LNG receiving terminal with a designed capacity of $610 \times 10^4 \text{t/a}$ and a maximum atmospheric LNG transportation capacity of $1760 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$. It includes three LNG storage tanks, a $20 \times 10^4 \text{m}^3$ 9%Ni steel storage tank, and supporting process equipment and facilities. Located along the coast of Guangdong Province, the welding environment contains salt spray and the construction period is tight. Therefore, a professional welding quality control and improvement team was established for the project, and various control measures were formulated. Good practical results were achieved, solving the quality problem of thick-walled pipeline welding and filling the gap in the improvement and control of high-pressure thick-walled pipeline welding quality in domestic LNG receiving stations. It provides useful reference experience for subsequent construction in similar environments.

Key words: LNG receiving station; coastal area; salt spray; thick-walled LNG pipeline; automatic welding; welding qualification rate

1 工程概况

本工程为惠州 LNG 接收站一期工程项目。建设三座设计规模为 $610 \times 10^4 \text{t/a}$ 和 LNG 最大气化外输能力为 $1760 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 的 LNG 接收站，包括 3 座 LNG 储罐及配套工艺设备、辅助公用工程设施、管线材质主要包括低温不锈钢 (TP304/304L)、碳钢 (A106 Gr.B)、低温碳钢 (A333-6) 和铜镍合金 (B466-C70600)。

其中管道主要材质为低温碳钢和不锈钢，项目公司厚壁管道界定为 15mm 以上的管道，总量 25682 吨，其中厚壁不锈钢管道 18480 吨焊接量，厚壁低温钢管道焊接量 7202 吨，占项目总焊接量的 32.92%，自动焊焊接量为 10584 吨，厚壁管道时 D 量自动焊机焊接时 D 量深度达到 41.21%，焊接各种难点问题较多，我项目成立 QC 小组来解决厚壁管道焊接质量问题。

通过实施机械化切割坡口、推广埋弧自动焊（预热深度达 41.21%）、优化了焊接工艺参数、加强防风防潮措施及三检制（自检、互检、专检）等对策，

焊接一次合格率从 83% 提升至 99.2%，远超目标值 98%。同时，工期缩短 80 天，节省成本近 300 万元，形成《厚壁管道施工焊接作业指导书》等成果，为同类工程提供了沿海潮湿环境下厚壁管道焊接质量控制的可复制经验，填补国内技术空白。

2 焊接质量控制与提高措施

惠州 LNG 项目焊接质量控制与提高专业组成立于 2021 年 10 月，自成立以来积极组织开展工程建设质量管理活动，2022 年度我们紧密结合现场实际施工进度，积极开展攻坚克难工作，针对现场容易出现的各类问题，召开了数次专业研讨会，与会专家热烈展开讨论，进行分析总结研究。从焊接工艺评定控制、焊工、焊材、焊接位置及焊接操作、焊后热处理、焊前预热及层间温度控制等方面制定了有针对性的控制措施和施工方法。

3 选择目标

LNG 接收站管廊是装置的重中之重，厚壁管道

表 1

要因	对策方法	评估				综合得分	选定方案
		可行性	经济性	可靠性	时间性		
作业人员经验不足	更换作业人员	4	3	4	3	14	
	加强技术交底，按照每个施工步骤多次交底，同时针对不同的施工步骤进行专业的技术质量管理工作	5	5	4	4	18	✓
人工打磨厚壁管道坡口面质量较差	更换作业人员	4	3	4	3	14	
	更换打磨机具	4	3	4	3	14	
	小组研究论证后使用机械化切割和机械自动化坡口切削机器	5	5	5	5	20	✓
厚壁管道焊缝出现缺陷	更换作业人员、优化作业环境	4	3	4	3	13	
	使用埋弧自动焊焊机，严格按照焊接工艺规程参数执行，做好防风和防潮措施	5	5	5	4	19	✓
厚壁管道焊接难度大	更换作业人员	4	3	4	3	13	
	小组精心统筹策划加大自动焊焊接预制深度，减少人工焊接安装口的数量	5	5	5	4	19	✓
人工焊接厚壁管道焊缝外观成型较差	更换作业人员	4	3	4	3	13	
	加大使用埋弧自动焊焊接预制深度，减少人工焊接安装口的数量	5	5	4	4	18	✓

更是在接收站工程中起到对入罐和对外计量输送的作用，对装置施工节点和焊接质量要求很紧，故施工过程中必须严格把控质量关。

质量现状：在焊接厚壁管道时人工焊接存在质量合格率低，经过第三方检测公司检测后结果数据如下（焊道外观质量检查合格率 90%，射线检查合格率 95%，平均合格率 93.3%）。难点：厚壁管道壁厚较厚，人工打磨加工难度较大，且人工焊接多层多道一次合格率达不到预计目标，返修难度大，无法保证业主要求的施工节点和质量。

4 原因分析

依据一：其他装置（如乙烯，加氢炼化等装置）焊接厚壁管道一次合格率需为 98.0% 以上。依据二：小组对厚壁管道焊接一次合格率进行调查、分析，从技术和管理上采取措施，如果将厚壁管道人工焊接缺陷问题，那么验收合格率可以提高到 98.0% 以上。依据三：根据广东省国资委年底要求输送 LNG 天然气的供暖要求，业主开专题会讨论加快现场施工进度，尽量减少返工。

为了查出影响厚壁管道焊接过程中存在质量问题的原因，小组成员采用头脑风暴法，集思广益，从人、机、料、法、环、测六大环节分析讨论影响合格率的因素，从作业人员经验不足、打磨坡口质量差、焊缝缺陷、飞溅、焊接环境差等方面进行控制，并制定专门负责人员进行控制。

4.1 确认主要问题

小组成员通过会议分析、现场检查、第三方检测反馈、试验等方式，对找出的 7 条末端因素，逐一进行确认，并制定相关对策。

4.2 确认原因

①人工打磨厚壁管道坡口面质量较差。②人工打

磨厚壁管道坡口，由于工人水平不足，通过测量对比可以看出：厚壁管道手工焊焊接缺陷值为 12，占比 3%，调整厚壁管道自动焊焊接缺陷 1 点，占比 0.25%，对厚壁管道焊接质量影响较大。③在现场整体检查焊接过程时候，发现人工厚壁焊接电弧焊火花较大，焊接时间长，更容易发生火花飞溅，对焊道和管道造成质量影响。④现场厚壁管道最大规格管（Ø1066*66mm）单根重约 17t，长 12m，仅能用两台大型轮式吊车用主吊和辅吊的方法吊装到管廊内，需考虑吊车站位和人员安全措施等问题，需使用大型吊车、倒链、顶部电动葫芦相互配合进行作业，吊装点焊打底此类型厚壁管道需要 6h 左右的时间，焊接完成需要 2 名焊工同时干 7-9 天，且在管廊上进行施工作业，施工难度大，导致质量控制较难。⑤厚壁管道焊缝易返锈（碳钢类），手工焊焊工水平参差不齐低，且焊条熔池在熔化时与保护气体接触不足，造成外观成型差，现场质量检查不到位，针对此问题我小组安排专人现场跟随施工进度及时检查。

4.3 制定对策

针对以上 5 个要因，提出多项方案，并经过可行性、经济性、可靠性、时间性等四方面进行分析评分，对策分析评价表如下：见表 1。

4.4 对策实施

4.4.1 加强技术指导，细化施工步骤

①针对每道工序细化交底。②加强质量管理，做好科学调配工作。③对施工难点提前进行技术突破，科学调整：根据设计图纸和现场到货材料，我项目部施工的厚壁管道主要材质为双相奥氏体不锈钢（A358-304/304L；A358-304/304L）和低温碳钢（A333-6），壁厚规格为 15-66mm，人工焊接费时费力，且由于海边风大和湿度影响，焊接质量不高，因此项

目部小组大力引进自动焊设备进行焊接，埋弧焊自动焊机、重载自动焊机、平角埋弧自动焊和全位置自动焊等设备，并通过项目部各相关部门集思广益研究出新的施工方法。④使用埋弧自动焊焊机，严格按照焊接工艺规程参数执行，做好防风和防潮措施。

4.4.2 有效自检、互检、专检

①设置详细停检点，下发到质量管理和现场作业人员手中，让员工明确施工的各项要求和报检点。②加强过程控制，严格执行三检制，每道工序必须报验合格方可进行下道工序。

5 效果检查

通过对策实施，小组在2022年5月15日至5月30日期间对厚壁管道整体焊接质量进行了检查，共检查500点，不合格4点。可以看出，先前的问题症结“厚壁管道焊接缺陷”，由9%下降到1%，得到了得到较好的解决。通过开展“提高厚壁管道焊接合格率”的QC活动，厚壁管道焊接探伤一次合格率达到了99.2%，且超过了设定的98%的目标，本次活动达到预期的效果。厚壁管道焊接安装180天完成所有工作，按照同类型厚壁管道焊接施工，其他项目需260天方能完成，提高了功效，降低了成本，得到了参建各方专家的高度评价。

6 制定巩固措施

为了小组活动成果得到巩固和推广，我们又制定了巩固措施：①制定《LNG接收站厚壁管道施工作业指导书》，准备在今后类似工程中继续跟踪验证和完善。坚持提升小组在施工中的活动，使施工全过程达到标准化，规范化，科学化，加强全面质量管理。②新入场的技术管理人员对厚壁管道焊接施工有了深入的理解，未参加过厚壁管道焊接施工的作业人员通过此次活动，激发了发现问题的能力和解决问题的信心，增进了团队合作意识，扩展了思维，为今后的施工积累了宝贵经验。我们累积运用了30次统计工具开展活动，以下是此次小组活动统计工具汇总表：见表2。

7 总结及下一步计划

接收站高压外输总管管道压力高，焊接量大，焊接难度大，施工时间长，条件复杂，通过此次制定并

实践成功的专项控制提升方案：①专业技术方面，我们找到了厚壁管道焊接质量控制要点，更明确了厚壁管道焊接的过程控制重点和难点，掌握了厚壁管道吊装到管廊的吊装计算，安装过程中的垂直运输控制、水平运输控制，及垂直状态转变为水平状态的过程转化，锻炼了技术队伍和作业队伍，加强了施工现场与技术员CAD放样相结合。②管理方面，我们科学的运用了头脑风暴法，从多角度寻找厚壁管道焊接过程中存在偏差的影响因素，最终找到了要因，应用5W1H来制定对策，按照措施一步一步达成对策目标。③经营方面，项目公司针对LNG接收站管道口径大、壁厚管道多的特点，以重大方案的经济比选作为项目降本增效的关键点，测算手工焊与平角埋弧焊的施工成本，充分发挥自动化和半自动化设备的效率优势，即使采用平角埋弧焊需购置部分滚动胎及焊机设备，但仍比手工焊节省人工成本约100万元。④综合素质方面，通过本次QC活动，我们不仅提高厚壁管道焊接质量，还使小组成员得到了锻炼，使小组成员对遇到问题，怎样解决问题，借助项目整体的力量，共同处理问题，同时对质量意识进一步加强。如此今后将在现场善于发现问题，解决问题，形成良性循环。

参考文献：

- [1] 王海君 .TT自动焊工艺在某LNG接收站低温管道焊接施工中的应用探讨 [J].中国新技术新产品 ,2022(08):105-108.
- [2] 刘宏伟 ,李强 ,赵志军 .沿海高温高盐环境下奥氏体不锈钢焊接工艺及腐蚀行为研究 [J].焊接学报 ,2020,41(5):55-60.
- [3] 陈建国 ,王建华 ,周志强 .LNG低温管道焊接质量控制技术研究与应用 [J].天然气工业 ,2019,39(7):118-123.
- [4] 郑小龙 ,胡晓红 ,马小伟 .海洋环境下厚壁管线钢焊接接头组织与性能研究 [J].材料工程 ,2021,49(3):132-139.
- [5] 赵静 ,孙立权 ,杨帆 .高湿度环境下焊材管理与焊接工艺优化 [J].电焊机 ,2022,52(2):88-93.

作者简介：

蒋昌利（1982-），男，汉族，广东惠州人，大学本科，中级工程师，研究方向：国内LNG建设工程管理。

表2

统计工具	统计表	饼分图	排列图	柱状图	因果图	雷达图	折线图	散布图	合计
QC小组简介	1								1
现状调查	1			1					2
原因分析					1				1
确定主要原因	8			6					14
制定对策	2								2
对策实施	3								3
效果检查	2			2					4
制定巩固措施	2					1			3
合计	19			9	1	1			30