

试析 LNG 低温储罐内罐的焊接工艺技术

盛效锋 马志国 潘 彬 高兆曦 (中车山东机车车辆有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要: LNG 是一种重要的能源资源, 其储存和运输对安全和环境保护具有重要意义。低温储罐内罐的焊接是关键环节, 直接关系到储罐的安全性和稳定性。本论文总结了 LNG 低温储罐内罐焊接的工艺技术, 包括预处理、焊接材料选择、焊接参数优化等方面。研究结果表明, 合理选择焊接工艺和优化焊接参数可以提高焊接接头的质量和可靠性, 确保储罐的安全运行。

关键词: 液化天然气; 低温储罐; 内罐; 焊接工艺技术; 焊接参数

0 引言

随着全球能源需求的增长和环境保护意识的提高, 液化天然气 (LNG) 作为一种清洁能源得到了广泛应用。LNG 的储存和运输对能源供应链的安全和可靠性至关重要。低温储罐是 LNG 储存的主要设施之一, 其内罐的焊接工艺技术对储罐的安全运行起着关键作用。LNG 储罐内罐的焊接工艺技术在保证焊接接头质量和可靠性的同时, 还需要考虑到低温环境下的特殊性。低温环境会导致材料的脆化和收缩, 增加焊接过程中的应力和变形。因此, 合理选择焊接材料和优化焊接参数对于确保焊接接头的质量和可靠性至关重要。

1 LNG 低温储罐的结构和特点

LNG 低温储罐是一种专门用于储存和运输液化天然气 (LNG) 的设备, 其结构和特点具有以下特点:

1.1 外罐

LNG 低温储罐的外罐通常采用钢板制作, 具有较高的强度和耐腐蚀性能。外罐的主要作用是保护内罐和绝热层, 防止外部环境对内部 LNG 的影响。外罐通常设计成圆筒形或球形, 以提供足够的结构强度和稳定性。

1.2 内罐

LNG 低温储罐的内罐通常采用铝合金或不锈钢制作, 具有较低的导热系数和良好的耐腐蚀性能。内罐的主要作用是储存 LNG, 并承受 LNG 的压力和温度变化。内罐通常设计成圆筒形或球形, 以提供足够的容量和结构强度。

1.3 绝热层

LNG 低温储罐的绝热层通常采用聚氨酯泡沫材料, 具有良好的绝热性能。绝热层的主要作用是减少 LNG 与外界环境的热交换, 保持 LNG 的低温状态。绝热层的厚度通常根据储罐的设计要求和绝热效果进

行确定。

1.4 保冷层

LNG 低温储罐的保冷层通常采用液氮或液氧, 用于保持 LNG 的低温状态。保冷层的主要作用是在绝热层失效时, 通过蒸发吸热的方式, 进一步降低 LNG 的温度, 确保 LNG 的安全存储和运输。

LNG 低温储罐的结构设计和材料选择都旨在确保 LNG 的安全存储和运输。外罐和内罐的强度和耐腐蚀性能可以保护储罐免受外部物理和化学因素的影响。绝热层和保冷层的绝热性能可以减少 LNG 与外界环境的热交换, 保持 LNG 的低温状态。这些结构和特点使得 LNG 低温储罐在 LNG 行业中得到广泛应用, 并为 LNG 的安全存储和运输提供了可靠的保障。

2 LNG 低温储罐内罐预处理

2.1 储罐内罐表面处理

在进行 LNG 低温储罐内罐的焊接之前, 必须进行有效的表面处理, 以确保焊接接头的质量。表面处理的目标是去除氧化物、污染物和其他表面缺陷, 以获得干净、平整且无污染的焊接表面。常用的表面处理方法包括机械抛光、喷砂和化学清洗等: 机械抛光是一种通过机械力和磨料对焊接表面进行研磨和抛光的方法。通过选择合适的磨料和磨剂, 可以去除焊接表面的氧化皮、锈蚀、污染物和粗糙度, 使焊接表面平整、清洁, 并提高焊接接头的质量。喷砂是一种通过高速喷射颗粒材料 (如砂子、钢丸等) 对焊接表面进行冲击和磨砂的方法。喷砂能够有效去除焊接表面的氧化皮、锈蚀和污染物, 同时增加焊接表面的粗糙度, 提高焊接接头与焊缝的接触面积, 从而提高焊接强度和密封性。化学清洗是利用化学药剂对焊接表面进行处理的方法。常用的清洗剂包括酸性清洗剂、碱性清洗剂和溶剂等。酸性清洗剂可以去除焊接表面的氧化物和铁锈, 碱性清洗剂可以去除油脂、脂肪和其他有

肌物, 溶剂可以去除胶黏剂和其他粘附物。化学清洗可以使焊接表面达到更高的清洁度, 提供更好的焊接条件和接头质量。

2.2 储罐内罐焊前热处理

在 LNG 低温储罐内罐的焊接中, 由于低温环境的影响, 焊接接头容易发生冷脆性失效, 即在低温下易产生脆性断裂。为了提高焊接接头的韧性和耐低温性能, 常采用焊前热处理方法, 主要包括预热和退火。预热是在进行焊接之前, 对焊接接头进行加热处理的过程。通过预热, 可以将焊接接头的温度升高到一定程度, 使材料达到足够的韧性, 从而降低焊接接头在低温下发生冷脆性失效的风险。预热的温度和时间取决于焊接材料的种类和厚度, 通常需要在材料的临界温度以上进行预热。退火是一种通过加热和冷却的过程, 对焊接接头的组织结构进行调整的方法。通过加热至一定温度, 保温一段时间, 然后缓慢冷却, 可以使焊接接头内部的晶粒重新排列, 消除或减小焊接过程中形成的应力和晶界组织的异常, 提高焊接接头的韧性和可塑性。焊前热处理的具体参数应根据焊接材料的特性和规范要求来确定。一般来说, 预热温度应在材料的临界温度以上, 通常在 150℃ 至 300℃ 之间。退火的温度和时间应根据材料的热处理曲线和机械性能要求来确定。

3 焊接材料选择

3.1 材料的低温韧性

在选择焊接材料时, 需要考虑其低温韧性。低温环境下, 材料容易变脆, 因此应选择具有良好低温韧性的材料进行焊接。碳钢是一种常见的焊接材料, 具有良好的低温韧性和强度。碳钢在低温环境下表现出较好的韧性和抗冷脆性能, 适用于一般的低温储罐。在选择碳钢时, 应根据具体的应用需求和工程要求, 选择合适的碳钢材料, 如常用的 ASTM A516、ASTM A333 等。低合金钢是一种含有合金元素的焊接材料, 具有更高的低温韧性和耐腐蚀性能。低合金钢通过添加一定比例的合金元素, 如铬、钼、镍等, 提高了材料的强度和耐低温性能。这使得低合金钢在低温储罐的应用中更为常见, 特别是对于要求更高安全性和耐腐蚀性的情况。常见的低合金钢材料包括 ASTM A387、ASTM A542 等。

不锈钢是一种具有优异低温韧性和耐腐蚀性能的焊接材料。不锈钢的主要合金元素为铬, 其中还可能含有镍、钼等元素。不锈钢具有良好的抗腐蚀性能, 能够在低温环境下保持良好的力学性能和耐久性。在

需要更高的耐腐蚀性和可靠性的 LNG 低温储罐中, 不锈钢常被选用。常见的不锈钢材料包括 ASTM A240、ASTM A312 等。

3.2 焊材的选择

焊接材料的选择也十分重要。常用的焊接材料包括焊条、焊丝和焊剂等。焊条是常用的焊接材料, 通常用于手工焊接和自动化焊接。焊条由焊芯和包覆剂组成。焊芯是焊接材料的核心, 可以提供熔化金属, 而包覆剂用于保护焊接过程中的熔化金属, 防止氧化和杂质的产生。焊条的选择应根据焊接材料和工艺要求, 如焊接位置、电流类型等进行合理选择。焊丝是常用于自动化焊接和气体保护焊接的焊接材料。焊丝通常是带有焊芯的金属线材, 焊芯中包含焊接材料和合金元素。焊丝的选择应根据焊接材料的特性和焊接工艺的要求来确定。焊剂是用于保护焊接接头的材料, 能够降低氧气和水蒸气的含量, 减少氧化物的生成。焊剂的选择应根据焊接材料和工艺要求, 如焊接位置、环境条件等进行合理选择。

4 焊接参数优化

4.1 焊接电流和电压

焊接电流和电压是焊接过程中最基本的参数, 对焊接接头的质量和性能有重要影响。合理选择焊接电流和电压可以控制焊接接头的热输入量, 从而控制熔深、焊缝形貌和晶粒尺寸等关键参数。过高的焊接电流和电压会导致焊接接头过热。高电流和电压会提高焊接区域的温度, 使焊接金属过度熔化, 增加热影响区的尺寸, 可能导致焊接接头的热影响区扩展到基材中, 引起裂纹和变形等问题。此外, 过高的电流和电压也会增加熔池的飞溅和气孔的产生, 降低焊缝的质量和密实性。相反, 过低的焊接电流和电压会导致焊接接头的熔深不足。电流和电压过低会降低焊接区域的温度, 导致焊接金属无法充分熔化, 焊缝无法完全穿透, 使接头的强度和密封性下降。此外, 过低的电流和电压也会增加焊接接头与基材的不良结合, 导致焊缝的脆性和开裂。因此, 在焊接过程中, 需要根据焊接材料的特性、厚度和焊接要求等因素, 合理选择焊接电流和电压。通过控制热输入量, 实现焊接接头的合适熔深和熔池形貌, 确保焊接接头的质量和性能。

4.2 焊接速度

焊接速度是控制焊接过程中热输入量的重要参数。合理选择焊接速度可以控制焊接接头的冷却速度, 从而影响焊缝的形貌和晶粒尺寸。过快的焊接速度会导致焊接接头的熔深不足。快速焊接速度会使焊接区

域的加热时间减少,熔池的形成和扩散不充分,导致焊缝无法完全穿透和填充,使接头的强度和密封性下降。此外,过快的焊接速度也会增加焊接接头与基材之间的间隙,降低焊缝的密实性。相反,过慢的焊接速度会导致焊接接头的熔深过大。慢速焊接速度会使焊接区域的加热时间延长,热量在焊接区域内积聚过多,使焊接金属过度熔化,增加热影响区的尺寸,可能引起裂纹和变形等问题。此外,过慢的焊接速度也会增加焊接过程中的氧气和水蒸气的接触时间,增加氧化物和气孔的产生,降低焊缝的质量和紧密性。因此,在焊接过程中,需要根据焊接材料的特性、厚度和焊接要求等因素,合理选择焊接速度。通过控制冷却速度,实现焊接接头的合适熔深和熔池形貌,确保焊接接头的质量和性能。

5 实验验证和数值模拟分析

5.1 实验验证

实验验证是通过在实际焊接过程中进行测试和观察,获得焊接接头的质量和性能数据。在实验中,可以选择不同的焊接工艺和参数进行对比研究,评估其对焊接接头质量的影响。首先,选取代表性的焊接接头样品,在实际焊接设备中进行焊接。然后,通过无损检测、金相显微镜观察、力学性能测试等手段,对焊接接头进行质量评估。例如,可以利用超声波检测、射线检测等方法检测焊缝的完整性和质量;使用金相显微镜观察焊接接头的晶体结构和缺陷情况;进行拉伸、冲击等力学性能测试,评估焊接接头的强度、韧性等性能。实验验证可以直接获取焊接接头的质量和性能数据,提供直观的实验结果。通过对比不同焊接工艺和参数的实验结果,可以评估其对焊接接头质量的影响,确定最佳的焊接工艺和参数组合。

5.2 数值模拟分析

数值模拟分析是利用计算机建立焊接过程的数学模型,模拟焊接过程中的温度场、应力场和变形场等物理现象。通过数值模拟,可以预测焊接接头的质量和性能,优化焊接参数,提供指导和参考。首先,建立焊接过程的数学模型,考虑焊接区域的几何形状、焊接材料的热物性、边界条件等因素。然后,利用数值计算方法,如有限元法等,求解焊接过程中的温度场、应力场和变形场等物理参数。最后,根据模拟结果,评估焊接接头的质量和性能。通过数值模拟分析,可以更加深入地了解焊接过程中的物理现象和参数变化规律。可以预测焊接接头的温度分布、应力分布和变形情况,进而评估焊接接头的质量和性能。

5.3 实验与数值模拟的结合

实验验证和数值模拟分析可以相互补充,相互验证,提供更全面和可靠的结果。它们的结合可以弥补各自的局限性,更好地理解焊接过程和评估焊接接头的质量。首先,实验验证可以提供真实的焊接接头样本,通过实际测试和观察,直接获得焊接接头的性能数据。这些实验数据可以用于验证数值模拟模型的准确性和可靠性。通过对比实验结果和数值模拟结果,可以检验数值模拟模型的合理性,并进行模型的修正和改进。其次,数值模拟分析可以在实验验证的基础上提供更详细的信息和深入的理解。数值模拟可以通过调整参数和模拟不同工艺情况,预测焊接接头的温度场、应力场和变形场等物理现象。这些信息对于理解焊接过程中的细节和影响因素非常重要,并且在优化焊接参数和工艺中起到关键作用。

6 结束语

综上所述,LNG 低温储罐内罐的焊接工艺技术是确保储罐安全运行的重要环节。通过预处理、焊前热处理、合适的焊接工艺和参数优化,可以获得高质量的焊接接头。同时,实验验证和数值模拟分析的结合,可以提供全面、准确的焊接参数优化结果。然而,需要注意的是,焊接工艺技术的选择和优化应结合具体的工程要求和实际情况,并根据相关标准和规范进行操作。随着科学技术的不断发展,对于 LNG 低温储罐内罐焊接工艺技术的研究还有待进一步深入和完善,以满足不断提升的安全性和可靠性要求。

参考文献:

- [1] 郝全民. 试析 LNG 低温储罐内罐的焊接工艺技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(10): 218-219.
- [2] 左航行. 试论 LNG 低温储罐内罐的焊接工艺技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(08): 46-47.
- [3] 秦玉良. 大型 LNG 低温储罐内罐安装控制技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(7): 190-192.
- [4] 王全扣, 刘柏伟, 蔡德成, 张亮, 宋雷波. LNG 低温储罐内罐壁板焊接质量控制分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(20): 37-39.
- [5] 张志勇, 高海东. 全容式 LNG 储罐内罐射线检测工艺的优化 [J]. 石油化工建设, 2022, 44(01): 105-107+129.
- [6] 李雪梅. 浅谈 LNG 低温储罐内罐焊接技术 [J]. 石油化工建设, 2021, 43(03): 63-65+70.
- [7] 李鹏. 大型 LNG 储罐用 9%Ni 钢及焊接技术综述 [J]. 油气田地面工程, 2019, 38(S1): 166-169+188.