

# 海洋工程钢结构焊接横向裂纹产生原因及控制措施探讨

祁 军

南通远洋船舶配套有限公司 江苏 南通 226000

**摘 要：**海洋工程钢结构焊接面临复杂环境，横向裂纹是其常见缺陷。主要原因包括焊接环境与工艺控制不当、结构设计与约束不合理、焊材问题及操作失误。控制措施聚焦于严格环境工艺管理、优化结构设计以减少应力集中、强化焊材质量控制与保管、提升操作人员专业技能。通过综合施策，可有效降低横向裂纹风险，保障海洋工程钢结构安全。

**关键词：**海洋工程；钢结构焊接；横向裂纹；原因及控制

## 引言

海洋工程钢结构作为支撑海洋资源开发、海洋平台构建的重要基础设施，其焊接质量直接关系到工程的安全性与耐久性。焊接过程中产生的横向裂纹问题，影响结构强度，还引发灾难性后果。深入探讨海洋工程钢结构焊接横向裂纹的产生原因及控制措施，对于提升焊接质量、保障工程安全具有重要意义。本文将从焊接环境、结构设计、焊材质量及操作技能等多个维度出发，全面剖析裂纹成因，并提出针对性的控制措施。

## 1 海洋工程钢结构焊接概述

海洋工程钢结构作为海洋资源开发的关键基础设施，焊接质量非常重要。海洋工程所处环境复杂恶劣，钢结构要承受巨大的静态和动态载荷，需抵御海水腐蚀、海浪冲击等多种不利因素。海洋工程中，钢结构焊接通常采用多种方法。气体保护焊具有高效、高质量的特点，通过保护气体防止焊接区域氧化，确保焊缝的力学性能。埋弧焊则以其高熔敷率和稳定的焊接过程，适用于大型钢结构的焊接。手工电弧焊虽然在些特定场合仍有应用，因效率相对较低，逐渐被自动化焊接方法所取代。焊接工艺的选择直接影响钢结构的质量，合理的焊接工艺参数，焊接电流、电压和焊接速度，能够保证焊接过程的稳定性和焊缝质量。焊接电流过大可能导致焊缝过热，产生热裂纹；电流过小会使焊接强度不足。焊接电压需与电流相匹配，以获得良好的焊缝成形。焊接速度过快会使焊缝冷却速度加快，增加裂纹产生的风险；速度过慢降低生产效率。焊接接头的设计也对钢结构的可靠性起着重要作用，合理的接头形式能够减小应力集中，提高焊接质量。焊接过程中的预热和后热处理改善焊接接头的组织性能，降低裂纹产生的可能性。海洋工程钢结构焊接是个复杂的过程，需综合考虑各种因素，以确保焊接质量满足海洋工程的严格要求。

## 2 海洋工程钢结构焊接横向裂纹产生的原因

### 2.1 焊接环境与工艺控制不当

(1) 焊接环境对焊接质量有着直接影响。海洋工程通常处于较为复杂的自然环境中，焊接环境温度、湿度和风速等因素不可忽视。环境温度过低时，焊缝金属的冷却速度会加快，使得焊缝组织变得更加粗大，降低焊缝的韧性，增加裂纹产生的可能性。在高湿度环境下进行焊接，前文所述，易导致焊缝金属中氢含量增加。氢在焊缝凝固过程中来不及逸出，会聚集在焊缝中形成高压，引发氢致裂纹。风速过大时，会影响焊接电弧的稳定性，使保护气体的保护效果减弱，导致焊缝中混入杂质，降低焊缝质量，能促使裂纹产生。(2) 焊接工艺参数的选择至关重要。焊接电流、电压和焊接速度等参数直接决定了焊接热输入的大小。如果焊接电流过大，会使焊缝过热，导致焊缝金属晶粒粗大，力学性能下降；焊接电压过高则会使电弧过长，稳定性降低，容易产生焊接缺陷。焊接速度过快会使焊缝金属冷却速度过快，产生较大的焊接残余应力。这些残余应力在后续的使用过程中可能会逐渐释放，导致裂纹的产生。焊接速度过慢会降低生产效率，并使焊缝过热，同样不利于焊缝质量。(3) 焊接过程中的操作规范也会影响裂纹的产生。焊接前的预热处理和焊后的缓冷处理有效降低焊接残余应力，减少裂纹的产生。如果预热温度不够或缓冷措施不当，都会增加裂纹产生的风险<sup>[1]</sup>。

### 2.2 结构与约束程度

第一，海洋工程钢结构的设计复杂性直接关联到焊接过程中的应力分布。复杂的结构中，如海洋平台导管架，其K、T、Y等节点设计需要在多个方向上进行高强度的连接，这些节点在焊接时受到来自多个方向的约束，导致焊接完成后焊缝及其周围区域产生显著的残余应力。特别是Z向（厚度方向）的拉伸应力，焊接冷却过

程中难以有效释放,在这些区域形成裂纹的萌生点。第二,结构设计中的几何不连续性和截面变化也是导致裂纹产生的重要因素。海洋工程钢结构中,为了满足功能需求和结构强度,需要进行截面的变化或开设孔洞等设计。这些设计虽然提高了结构的整体性能,同时也带来了应力集中的问题。焊接过程中,这些应力集中点容易受到焊接热应力和残余应力的共同作用,加剧了裂纹产生的风险。第三,结构设计时未充分考虑焊接工艺对结构应力的影响也是导致裂纹产生的原因。焊接过程中,焊缝区域的材料会经历快速加热和冷却的过程,这会导致材料内部产生复杂的应力状态;如设计时没有充分考虑到焊接工艺对结构应力的影响,就在焊接后留下较高的残余应力,增加裂纹产生的可能性。

### 2.3 焊材问题与操作

(1) 焊材质量问题不容忽视。埋弧焊和药芯焊中,药粉(剂)的纯度对焊缝性能非常重要。若药粉(剂)纯度不足或含有杂质,会极大地影响焊缝质量,部分焊材厂家存在偷工减料行为,使用不合格材料,增加了焊接出现问题的风险。埋弧焊在回收未熔化药粉时,会将钢板氧化物、其他杂质、焊渣和沙尘粉末等一并回收,造成污染,影响焊接质量,为横向裂纹的产生埋下隐患。(2) 焊材的保存及使用不当也是重要原因。不同包装的焊材都有明确的储存条件要求,运输和流转过程中,若未妥善保存,很容易使焊材受潮。使用时,不严格遵守保管和烘干要求,对未使用完的焊材处置不当,同样会导致焊材受潮。焊材受潮是焊道产生裂纹的主要原因,焊接过程中,受潮的焊材会使焊缝的性能下降,增加横向裂纹出现的可能性。(3) 焊接过程操作不当是导致横向裂纹产生的最主要原因。海洋工程钢结构焊接需要一套完整成熟的施工工艺程序和技术规定,涵盖多个方面。如坡口角度间隙过小,会使焊接过程中熔合不良,增加裂纹产生的几率。阴雨天气或湿度较大的环境中作业,防雨、防潮措施不到位,会使焊缝受潮,影响焊接质量。焊道表面的油污、水迹未清除干净,会在焊接时混入焊缝中,降低焊缝强度。返修作业后未将碳化物清除干净,会影响焊缝的组织性能。 $\text{CO}_2$ 气体和气刨的压缩空气含水量超标,会使焊缝中氢含量增加,引发氢致裂纹<sup>[2]</sup>。

## 3 海洋工程钢结构焊接横向裂纹的控制措施

### 3.1 严格控制焊接环境与工艺

第一,焊接环境是确保焊接质量、预防横向裂纹产生的首要条件。海洋工程钢结构焊接作业中,须严格监控并控制焊接区域的温度、湿度及风速等环境因素。过

高或过低的温度会影响焊接材料的熔化和凝固过程,导致焊缝组织不均匀,增加裂纹敏感性。湿度过大则引发焊缝金属中的氢致裂纹,风速过快会加速焊缝冷却,增大焊接残余应力。建设封闭或半封闭的焊接车间、使用温湿度调节设备以及设置挡风设施等措施,可以控制焊接环境,为高质量焊接创造有利条件。第二,焊接工艺的选择与优化是控制焊接横向裂纹的重点。针对海洋工程钢结构的特点,选用合适的焊接方法和材料,采用低氢型焊条或焊剂以减少氢致裂纹的风险。根据焊接材料的厚度、强度等级及接头形式,合理设定焊接参数,如焊接电流、电压、焊接速度等,确保焊缝金属获得良好的熔合性和力学性能。采用多层多道焊工艺可以分散焊接热量输入,减少焊接热影响区的宽度和残余应力水平,降低裂纹产生的风险。第三,焊后热处理是消除焊接残余应力、改善焊缝组织性能的重要手段。合理的热处理工艺,如退火、回火等,消除焊接过程中产生的残余应力,使焊缝金属的组织更加均匀稳定,提高抗裂性能。热处理还促进焊缝金属中氢的扩散逸出,减少氢致裂纹的发生。海洋工程钢结构焊接完成后,根据实际情况选择合适的热处理工艺进行处理,确保焊接接头的质量和安全性能。

### 3.2 优化结构与约束程度

(1) 海洋工程钢结构设计阶段,须高度重视焊接过程中的约束程度和应力集中问题。设计人员应充分了解不同结构部位在焊接时可能面临的应力情况,那些容易产生裂纹的关键位置,如Z向拉伸力较大的节点。对于这些部位,不能满足于结构的基本功能需求,要积极采用加强结构的设计方案。增加加强筋、加厚板材等方式来提高结构的强度和刚度,降低在焊接过程中由于外力作用而产生的约束程度。改变结构型式也是有效的方法。对结构进行重新设计,调整其形状和布局,使应力分布更加均匀,避免局部应力集中,减少横向裂纹产生的可能性。(2) 焊接过程中,采取合理的施工方法来减小焊接区域的约束程度非常重要。分段焊接是常用的技术手段。将大型结构分成若干个小段的焊接段,依次进行焊接,可以降低整体的约束程度。每个焊接段之间设置适当的间歇时间,让焊缝有足够的时间进行冷却和应力释放,避免应力过度积累。预留间隙也是有效的方法。焊接部位预留的间隙,为焊缝在冷却过程中的收缩提供空间,减少约束应力的产生。还采用合理的焊接顺序,先焊接约束较小的部位,再焊接约束较大的部位,逐步释放应力,降低裂纹风险。(3) 焊接完成后,进行严格的质量检测和评估。采用无损检测技术,如超声波检测、射线

检测等,对焊缝进行全面检查,及时发现潜在的裂纹和缺陷。对于检测出的问题,要及时进行修复和处理<sup>[3]</sup>。

### 3.3 焊材控制

第一,焊材的甄选应秉持高标准、严要求的原则。我们应优先选择那些品牌知名度高、市场口碑好、产品质量稳定的焊材生产商,确保所购焊材具有良好的物理化学性能和焊接工艺性。这样的焊材能提升焊接效率,还能降低焊接裂纹的风险。第二,建立完善的焊材管理体系是保障焊材质量的关键。应实施一级库与二级库相结合的存储制度,对焊材的入库、存储、发放、使用及回收等各个环节进行严格监控。设立专门的焊材管理人员,确保焊材在存储过程中免受潮湿、污染等不利因素的影响,同时避免使用过期或变质的焊材。还加强对焊材药剂(如焊剂粉)纯净度的检测与控制,特别是在回收再利用环节,实施更为严格的筛选与净化措施,确保焊材性能的稳定性与一致性。第三,持续优化焊材管理制度,引入先进的信息化技术手段,如焊材追溯系统、智能仓储系统等,以实现焊材全生命周期的精准管理与控制。这有助于提升焊材管理效率,还能为焊接质量的持续改进提供有力支撑。

### 3.4 提高操作人员技能水平

(1)焊接操作人员作为海洋工程钢结构焊接的直接执行者,其技能水平的高低至关重要。定期组织专业的焊接技能培训,邀请行业内的专家和技术能手进行授课和现场指导。培训内容要涵盖各种焊接方法的理论知识,如手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等的原理和特点,还包括实际操作技能的训练,如焊接参数的调整、焊接速度的控制、焊缝的成形等。通过系统的培训,使操作人员能够熟练掌握不同焊接工艺的要求,提高焊接质量和效率。要注重培养操作人员的责任心,让他们充分认识到焊接质量对于海洋工程钢结构安全的重要性,工作中始终保持高度的敬业精神和严谨的工作态度。

(2)建立完善的焊接质量管理体系是确保焊接质量的关键。明确焊接质量标准和检验流程,从焊接材料的选

择、焊接工艺的制定到焊接过程的控制和焊接后的检测,每个环节都要有严格的质量要求和操作规范。加强对焊接操作人员的管理,建立人员档案,记录其培训情况、工作业绩和质量考核结果。对表现优秀的操作人员给予奖励,对质量不达标的操作人员进行再培训或调整岗位。通过管理机制,激励操作人员不断提高自身技能水平和工作质量。(3)检测机制的建立对于保障焊接质量不可或缺。配备先进的检测设备和专业的检测人员,对焊接过程进行全程监控和检测。焊接前,对焊接材料、母材进行严格的检验,确保质量符合要求。焊接过程中,实时监测焊接参数的变化和焊缝的成形情况,及时发现问题并进行调整。焊接后,采用无损检测技术,如超声波检测、射线检测等,对焊缝进行全面检测,确保焊缝内部无缺陷。对检测出的问题要及时进行分析和处理,找出原因并采取相应的改进措施,以防止类似问题的再次发生<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,海洋工程钢结构焊接横向裂纹的产生是个复杂的多因素作用过程,涉及焊接环境、结构设计、焊材质量及操作技能等多个方面。严格控制焊接环境与工艺、优化结构与约束程度、加强焊材控制以及提高操作人员技能水平,可以降低裂纹产生的风险,确保海洋工程钢结构焊接接头的质量与安全。随着材料科学、焊接技术的不断进步,我们有理由相信,海洋工程钢结构焊接裂纹问题将得到更加有效的解决。

### 参考文献

- [1]刘俊阳.海洋工程钢结构焊接横向裂纹产生原因及控制措施探讨[J].科学与信息化,2021(9):104,106.
- [2]王元清,廖小伟,贾单锋,等.钢结构的低温疲劳性能研究进展综述[J].建筑钢结构进展,2020,20(01):1-11.
- [3]刘存,陈虹宇.海洋工程铸造牺牲阳极设计与检测[J].中国海洋平台,2020,32(03):30-35+42.
- [4]李明.海洋钢结构关键节点的焊接变形控制[J].城市建设理论研究(电子版),2019(16):22-25.