

复杂厚板钢结构焊接裂纹分析及对策

缪海琴

南通振华重型装备制造有限公司 江苏 南通 226600

摘要：通过深入分析了复杂厚板钢结构焊接裂纹的形成原因，包括材料特性、焊接工艺、结构与应力分布以及外部焊接环境等多方面因素。针对这些成因，本文提出一系列有效的预防措施，如优化材料选择、改进焊接工艺、优化结构设计以及加强焊接环境控制和焊后处理等。通过实际应用验证，这些措施能够显著降低焊接裂纹的产生风险，提高复杂厚板钢结构的焊接质量和耐久性，为相关领域提供有力的技术支持和参考。

关键词：复杂厚板钢结构；焊接裂纹分析；对策

1 复杂厚板钢结构焊接裂纹概述

复杂厚板钢结构焊接裂纹是钢结构工程中一个不容忽视的重要问题。这类裂纹主要出现在大型、重型及结构复杂的钢制构件中，特别是在厚板焊接时更为显著。由于厚板钢结构在焊接过程中受热不均匀，焊缝区域与母材之间存在显著的温差，导致热应力集中，从而增加了焊接裂纹的产生风险。钢材的成分、焊接材料的选择、焊接工艺参数的设置以及焊接环境等因素，都会对复杂厚板钢结构的焊接裂纹产生影响。例如，钢材中的合金元素含量过高、焊接材料不匹配、焊接电流电压过大或焊接速度过快，都可能导致焊接裂纹的形成。焊接裂纹不仅会降低钢结构的承载能力，还会影响其整体稳定性和使用寿命^[1]。因此在复杂厚板钢结构的焊接过程中，必须采取严格的预防措施和控制手段，如预热处理、选择合适的焊接材料、优化焊接工艺参数、加强焊接过程监控等，以有效减少焊接裂纹的产生。

2 复杂厚板钢结构的特点

2.1 结构复杂度高

复杂厚板钢结构最显著的特点之一在于其结构复杂度高。这类结构通常由众多形状各异、尺寸不一的构件相互关联、组合而成，形成了一个错综复杂、立体交叉的空间受力体系。在设计阶段，工程师需要运用先进的计算方法和软件工具，对每一个构件的受力状态进行精确的计算和分析，以确保整体结构在承受各种荷载作用下的稳定性和安全性。而在施工阶段，这种复杂的结构往往对组装和焊接工艺提出了极高的要求，需要施工团队具备高度的专业技术水平和精细的操作能力，以确保每一个构件都能准确无误地安装到位，形成稳定可靠的整体结构。

2.2 板件厚度大

复杂厚板钢结构中的另一个显著特点是其板件厚度

大。这类结构中的板件通常具有较大的厚度，以适应和承受各种复杂荷载和应力。厚板的使用不仅提高结构的承载能力，使其能够抵御更大的外力和变形，还增强结构的抗震、抗风等性能，使其在各种极端气候和地质条件下都能保持稳定的运行状态，厚板焊接过程中容易产生较大的热应力和残余应力，这对焊接工艺和材料选择提出了更高的要求。为了确保焊接质量，需要采用先进的焊接技术和设备，严格控制焊接参数和工艺流程，以避免焊接裂纹等缺陷的产生。

2.3 焊接节点多

复杂厚板钢结构中焊接节点的数量众多，这也是其特点之一。这些焊接节点是连接各构件的关键部位，它们承受着来自各个方向的力和力矩，对整体结构的稳定性和承载能力起着至关重要的作用。在设计和施工过程中，需要充分考虑焊接节点的受力状态、焊接变形和残余应力等因素，以确保节点的可靠性和耐久性。同时，由于焊接节点数量众多，施工难度和成本也相应增加，需要采取高效的焊接工艺和严格的质量控制措施，以确保每一个焊接节点都能达到设计要求，为整体结构的稳定性和安全性提供有力保障。

3 复杂厚板钢结构焊接裂纹的成因分析

3.1 材料因素

复杂厚板钢结构焊接裂纹的产生，在很大程度上与材料的选择和性质有关。钢材本身的化学成分和微观结构对焊接裂纹的敏感性有显著影响。例如，钢材中硫（S）、磷（P）和碳（C）等有害元素的含量过高，会显著降低钢材的焊接性能，增加焊接裂纹的风险。这些元素在焊接过程中容易形成低熔点的共晶体和杂质，这些共晶体和杂质在焊缝凝固时强度极低，容易被焊接应力拉裂，从而形成裂纹。钢材的强度和硬度也是影响焊接裂纹的重要因素^[2]。高强度和高硬度的钢材在焊接时容易

产生较大的热应力和残余应力，这些应力在焊缝凝固和冷却过程中可能导致裂纹的产生，钢材的淬硬倾向也会影响焊接裂纹的形成。淬硬倾向较大的钢材在焊接后容易形成脆硬的马氏体组织，这种组织在应力作用下容易发生断裂，从而增加裂纹的风险。除了钢材本身的因素外，焊接材料的选择也对焊接裂纹的产生有重要影响。焊丝、焊剂和焊条等焊接材料的化学成分和性能应与母材相匹配，以确保焊缝的强度和韧性。如果焊接材料选择不当，可能会导致焊缝与母材之间的化学成分和微观结构差异过大，从而在焊接过程中产生裂纹。

3.2 焊接工艺因素

焊接工艺是影响复杂厚板钢结构焊接裂纹产生的另一个关键因素。焊接过程中，焊接参数的选择、焊接速度的控制、焊缝的形状和尺寸以及焊接顺序等都会对焊接裂纹的产生有显著影响。焊接参数的选择对焊接裂纹的形成至关重要，焊接电流、电压和焊接速度等参数直接影响焊缝的温度分布和冷却速度，从而影响焊缝的微观结构和力学性能。如果焊接参数设置不当，可能会导致焊缝过热或过冷，从而产生裂纹。例如，焊接电流过大或焊接速度过快可能导致焊缝过热，使焊缝金属中的低熔点共晶体和杂质熔化并聚集在焊缝中心，形成裂纹源。相反，焊接电流过小或焊接速度过慢可能导致焊缝冷却速度过快，使焊缝金属产生较大的内应力和脆性，从而增加裂纹的风险。焊缝的形状和尺寸也会影响焊接裂纹的产生，焊缝的形状系数（即焊缝宽度与深度的比值）对焊接裂纹的敏感性有显著影响。较小的形状系数意味着焊缝较深而窄，容易产生较大的焊接应力和残余应力，从而增加裂纹的风险，焊接顺序和焊接方法的选择也对焊接裂纹的产生有重要影响。

3.3 结构与应力分布

复杂厚板钢结构的设计对焊接裂纹的产生也有重要影响。结构设计的合理性直接影响到焊接接头的应力分布和受力状态，从而影响裂纹的产生风险。结构设计的复杂性会增加焊接接头的数量和类型，从而增加裂纹的产生风险。复杂的结构设计往往包含多个相互关联的焊接接头，这些接头在焊接过程中容易产生较大的应力和变形，从而增加裂纹的风险。结构设计中应充分考虑焊接接头的受力状态和应力分布，焊接接头是结构中最薄弱的部分，其受力状态和应力分布直接影响到裂纹的产生风险。在结构设计时，应合理布置焊接接头，避免在应力集中区域设置焊接接头。应充分考虑焊接接头的强度和韧性，以确保其在承受各种荷载作用下的稳定性和安全性。结构设计中还应考虑焊接残余应力的影响。焊

接残余应力是焊接过程中产生的内应力，它会对结构的稳定性和安全性产生不利影响。在结构设计时，应合理控制焊接残余应力的大小和分布，以降低其对结构稳定性的影响。例如，可以采用预热处理、后热处理和锤击法等工艺措施来降低焊接残余应力的大小和分布^[1]。

3.4 外部因素

除了材料因素、焊接工艺因素和结构与应力分布外，外部因素也会对复杂厚板钢结构焊接裂纹的产生产生影响。这些外部因素包括焊接环境、焊接温度、湿度以及焊接过程中的污染物等。焊接环境对焊接裂纹的产生有显著影响，焊接环境中的温度、湿度和风速等因素会影响焊缝的冷却速度和微观结构的形成，从而影响裂纹的产生风险。例如，在潮湿的环境中焊接时，焊缝金属中的氢含量会增加，从而增加氢致裂纹的风险。焊接过程中的污染物也会对焊接裂纹的产生产生影响。焊接过程中产生的氧化物、氮化物等污染物会附着在焊缝表面和内部，形成缺陷和裂纹源。这些污染物在焊接过程中容易与焊缝金属发生反应，产生低熔点的共晶体和杂质，从而增加裂纹的风险，焊接过程中的振动和冲击等动态因素也会对焊接裂纹的产生产生影响。振动和冲击会导致焊缝金属产生额外的应力和变形，从而增加裂纹的风险。

4 复杂厚板钢结构焊接裂纹的预防措施

4.1 材料选择与优化

复杂厚板钢结构焊接裂纹的预防，首先需从源头抓起，即材料的选择与优化。选择低裂纹敏感性的钢材是预防焊接裂纹的基础。这类钢材通常具有较低的硫、磷和碳含量，以及良好的焊接性能和韧性。在选材时，应优先考虑经过严格质量控制和认证的优质钢材，以确保其化学成分和微观结构的稳定性。除了钢材本身的选择外，焊接材料的选择也至关重要，焊丝、焊剂和焊条等焊接材料应与母材具有良好的相容性，以确保焊缝的强度和韧性。在选择焊接材料时，应充分考虑母材的化学成分、力学性能和焊接要求，选择与之匹配的焊接材料，还可以采用预焊处理、焊后热处理等工艺措施，进一步优化焊缝的微观结构和力学性能，降低裂纹的产生风险。对于特殊用途或高要求的复杂厚板钢结构，还可以考虑采用高性能钢材或复合材料。这些材料通常具有更高的强度、韧性和耐腐蚀性，能够在恶劣环境下保持稳定的性能。通过材料的选择与优化，可以显著提高复杂厚板钢结构的焊接质量和耐久性。

4.2 焊接工艺改进

焊接工艺的改进是预防复杂厚板钢结构焊接裂纹的

关键。首先,应合理选择焊接方法和参数,以确保焊缝的质量和性能^[4]。在选择焊接方法时,应根据母材的厚度、形状和焊接要求,选择最适合的焊接方法。还应严格控制焊接参数,如焊接电流、电压、焊接速度和焊接温度等,以确保焊缝的微观结构和力学性能满足设计要求。其次,应优化焊接顺序和焊接方向,合理的焊接顺序和焊接方向可以有效降低焊接应力和残余应力,从而减少裂纹的产生。在焊接过程中,应尽量避免在应力集中区域进行焊接,以减少焊接应力的产生。还应采用多层多道焊接方法,以分散焊接应力和残余应力,降低裂纹的风险。另外,还可以采用预热处理、层间温度控制和焊后热处理等工艺措施来降低焊接裂纹的产生风险。预热处理可以减小焊缝与母材之间的温差,降低焊接应力和残余应力的产生。层间温度控制可以确保焊缝在焊接过程中保持适当的温度,避免过热或过冷导致的裂纹产生。焊后热处理可以消除焊缝中的残余应力,提高焊缝的韧性和抗裂性。

4.3 结构设计与优化

结构设计与优化是预防复杂厚板钢结构焊接裂纹的重要手段。在结构设计时,应充分考虑焊接接头的受力状态和应力分布,避免在应力集中区域设置焊接接头。还应合理布置焊缝,避免焊缝交叉、重叠和密集分布,以降低焊接应力和残余应力的产生。还可以采用合理的接头形式和尺寸来降低裂纹的产生风险。例如,采用对称的接头形式可以减少焊接应力的产生;采用较大的接头尺寸可以分散焊接应力和残余应力,降低裂纹的风险。还应考虑接头的强度和韧性,以确保其在承受各种荷载作用下的稳定性和安全性。在结构设计过程中,还可以采用有限元分析等数值模拟方法,对焊接接头的受力状态和应力分布进行精确计算和分析。通过数值模拟,可以预测焊接接头的应力分布和变形情况,从而优化结构设计,降低裂纹的产生风险。

4.4 焊接环境控制与焊后处理

焊接环境控制和焊后处理是预防复杂厚板钢结构焊接裂纹的重要措施,应严格控制焊接环境的温度和湿度,以避免焊接过程中产生过大的热应力和残余应力。在焊接过程中,应保持焊接区域的干燥和清洁,避免水分、油污等污染物对焊缝质量的影响^[5]。加强对焊接过程

中产生的污染物和有害气体的控制,焊接过程中产生的氧化物、氮化物等污染物会附着在焊缝表面和内部,形成缺陷和裂纹源。因此在焊接过程中应采取有效的措施来减少污染物的产生和附着。焊后处理也是预防焊接裂纹的重要措施之一,焊后处理包括焊缝的清理、打磨、检测和修复等步骤。在焊缝清理过程中,应去除焊缝表面的氧化物、油污等污染物,以确保焊缝的质量。在打磨过程中,应注意避免对焊缝产生过大的机械应力,以免导致裂纹的产生。在检测过程中,应采用先进的无损检测技术对焊缝进行检测,以发现潜在的缺陷和裂纹。在修复过程中,应根据缺陷的性质和严重程度,选择合适的修复方法和材料,以确保焊缝的质量和性能。还可以采用焊后热处理等工艺措施来消除焊缝中的残余应力,提高焊缝的韧性和抗裂性。焊后热处理可以包括退火、回火、淬火等不同的热处理工艺,具体选择应根据母材和焊缝的化学成分、力学性能和焊接要求来确定。通过焊后热处理,可以进一步降低焊接裂纹的产生风险,提高复杂厚板钢结构的焊接质量和耐久性。

结束语

复杂厚板钢结构因其高强度、高刚度和良好的抗震性能,在大型桥梁、高层建筑、重型机械等领域得到广泛应用,在焊接过程中,复杂厚板钢结构容易产生裂纹,严重影响结构的稳定性和安全性。因此对复杂厚板钢结构焊接裂纹进行深入分析,并提出有效的预防措施,对于保障工程质量和提高结构耐久性具有重要意义。

参考文献

- [1]王舰,姚顺,黄贤坤,等.大跨度钢结构厚板焊接质量影响因素及一次验收合格率提升方案探讨[J].工程技术研究,2022,7(13):1-3.
- [2]刘岩,庚思远.钢结构厚板焊接质量问题及解决措施[J].中国金属通报,2022(05):195-197.
- [3]尚滨,孙春英.建筑钢结构厚板高强钢焊接工艺研究与应用[J].工程技术研究,2019,4(18):111-112.
- [4]高良,俞海涛,张伟.建筑钢结构焊接机器人应用技术研究[J].焊接技术,2021,50(06):74-77.
- [5]林泉.浅论建筑钢结构焊接关键技术[J].科技经济导刊,2020,28(19):83-84.