

钢结构桥梁焊接工艺对结构性能的影响研究

梁利东

绍兴祥和建设有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i1.4596

[摘要] 钢结构桥梁以其优异的强度和耐久性能,广泛应用于现代交通基础设施建设中。然而,焊接作为钢结构桥梁制造中的核心工艺,其工艺参数和质量直接影响桥梁的整体结构性能。本文从焊接工艺的基本原理和技术规范入手,分析焊接工艺对桥梁结构力学性能、疲劳性能、耐久性能以及整体稳定性的多方面影响,深入探讨了焊接工艺的质量管理与优化策略,并展望了低热输入焊接、高性能材料开发、绿色环保技术及智能化焊接等未来发展方向。研究表明,优化焊接工艺是提升钢结构桥梁使用寿命和安全性的关键途径,对现代桥梁工程具有重要意义。

[关键词] 钢结构桥梁; 焊接工艺; 力学性能; 疲劳性能; 质量管理

中图分类号: TU391 文献标识码: A

Research on the Influence of Welding Process on Structural Performance of Steel Structure Bridges

Lidong Liang

Shaoxing Xianghe Construction Co., Ltd.

[Abstract] Steel structure bridges are widely used in modern transportation infrastructure construction due to their excellent strength and durability. However, welding, as the core process in the manufacturing of steel structure bridges, directly affects the overall structural performance of the bridge in terms of its process parameters and quality. Starting from the basic principles and technical specifications of welding processes, this article analyzes the various impacts of welding processes on the mechanical properties, fatigue performance, durability, and overall stability of bridge structures. It deeply explores the quality management and optimization strategies of welding processes, and looks forward to future development directions such as low heat input welding, high-performance material development, green environmental protection technology, and intelligent welding. Research has shown that optimizing welding processes is a key way to improve the service life and safety of steel structure bridges, and is of great significance for modern bridge engineering.

[Key words] steel structure bridge; Welding process; Mechanical properties; Fatigue performance; Quality Assurance

前言

钢结构桥梁因其高强度、优良的耐久性和较轻的自重,在桥梁工程中占据重要地位,是现代交通网络建设不可或缺的一部分。然而,钢结构桥梁的性能不仅取决于设计和材料选择,更与制造工艺密切相关。作为钢结构制造的主要连接方式,焊接工艺的优劣对桥梁结构的力学性能、耐久性和使用寿命具有直接的影响。焊接接头往往是整个结构中最为薄弱的环节,易受应力集中、残余应力、裂纹和腐蚀等因素影响,从而导致结构性能下降甚至安全隐患。此外,焊接过程中产生的热影响区会显著改变材料的组织结构和力学性能,进一步影响桥梁的整体性能表现。因此,如何科学地选择和优化焊接工艺,提升焊接质量,已成为钢

结构桥梁研究领域中的重要课题。

1 钢结构桥梁焊接工艺基础

1.1 焊接工艺的基本原理

焊接是通过热量或压力使金属结合的工艺方法,主要用于钢结构桥梁中的构件连接^[1]。常见的焊接技术包括电弧焊、气体保护焊等,它们通过局部加热使金属熔化后冷却形成连接。焊接过程中,热输入的大小直接影响金属接头的组织变化和性能。过高的热输入会导致热影响区晶粒粗化,从而降低材料韧性,而热输入不足可能导致熔合不良,影响接头强度。合理控制焊接参数是确保焊接质量的关键。

1.2 钢结构桥梁焊接的技术规范

钢结构桥梁焊接工艺必须严格遵守行业技术规范和设计要求, 以确保结构的安全性和长期稳定性。焊接材料的选择不仅要考虑接头的强度, 还要兼顾耐久性和环境适应性, 常用的焊接材料包括高强度低合金钢焊条及焊丝, 这些材料能够提供足够的强度和抗腐蚀性能。焊接参数, 如焊接速度、焊接电流、电压和焊接顺序, 直接影响接头的质量, 甚至可能导致焊接缺陷。因此, 焊接工艺的精确控制尤为重要。国家标准对焊接材料、焊缝尺寸和接头形式有明确的技术要求, 旨在确保焊接的均匀性和可靠性, 避免因工艺不当而导致的质量问题。与此同时, 对于桥梁工程的特殊需求, 还需对焊缝的表面质量及其内部缺陷进行严格的无损检测, 以确保桥梁结构的安全性和使用寿命。这些措施综合作用, 保障了钢结构桥梁在复杂环境中的稳定性和耐久性。

1.3 焊接缺陷及成因分析

焊接缺陷是影响钢结构桥梁质量的重要因素。常见缺陷包括裂纹、气孔、夹渣等。裂纹通常由焊接应力、材料不均匀性或焊接工艺不当引起, 可能导致接头失效。气孔主要由于保护气体不足或材料中的杂质挥发形成, 削弱了焊缝的强度和密封性。夹渣则因焊接速度过快或清理不彻底而产生, 降低了接头的结合强度。这些缺陷的形成与焊接参数、环境条件及操作水平密切相关, 需要通过优化工艺设计和加强现场控制予以防范。

2 焊接工艺对钢结构桥梁力学性能的影响

2.1 焊接热输入对力学性能的影响

焊接热输入直接决定焊接接头的微观组织变化, 从而影响力学性能。在焊接过程中, 焊缝及其热影响区会经历复杂的热循环, 导致晶粒结构发生显著变化。过高的热输入会造成晶粒粗化, 显著降低接头的冲击韧性和抗裂性能; 热输入不足则可能导致焊缝熔深不足, 无法充分结合母材, 降低结构强度。因此, 在桥梁制造中, 需要根据构件材料特性和焊接环境条件, 精确调整热输入量, 平衡强度和韧性之间的关系, 确保整体结构性能稳定。

2.2 残余应力与变形的影响

焊接过程中因热胀冷缩效应不可避免地产生残余应力和焊接变形。残余应力通常集中于焊缝附近区域, 其分布复杂且与焊接路径和热输入密切相关。这种应力会削弱接头的承载能力, 并可能导致结构早期失效。焊接变形表现为构件的翘曲或错位, 不仅影响桥梁的外观质量, 还可能改变设计受力路径, 降低结构整体性能。通过优化焊接顺序、设置反变形工艺或采用后处理方法, 可以有效缓解这些问题, 提升钢结构桥梁的力学性能。

2.3 焊接缺陷对强度和安全性影响

焊接缺陷是桥梁力学性能劣化的主要诱因之一。裂纹缺陷容易引发应力集中, 导致接头局部破坏, 进而扩展至整体失效; 气孔和夹渣则降低了焊缝的承载能力, 削弱了焊接部位的稳定性。这些缺陷通常难以完全避免, 但可以通过严格的工艺控制和无损检测手段进行有效监测和补救。在桥梁关键部位, 应优先采用高可靠性焊接工艺, 并加强焊后质量检测, 以最大限度减少焊接缺陷对结构性能的负面影响。

2.4 焊接工艺与结构力学设计的协同作用

钢结构桥梁的力学设计应充分考虑焊接工艺的实际效果, 通过合理设计焊缝形式、尺寸和位置, 减少因焊接产生的局部薄弱环节^[2]。例如, 对抗疲劳性能要求较高的构件, 可采用坡口形式优化焊缝应力分布, 降低焊缝区域的应力集中效应。高强度焊接材料的应用则可有效提升关键部位的力学性能。设计与工艺的协同作用不仅提升了桥梁的整体强度和安全性, 还能够延长结构的使用寿命, 减少后期维修成本。

3 焊接工艺对钢结构桥梁耐久性能的影响

3.1 热影响区的组织变化与耐久性

焊接过程中, 热影响区是指焊缝周围受到高温作用但并未熔化的区域。由于焊接时的热循环作用, 热影响区的金相组织会发生明显变化。高温对材料的作用可能导致晶粒粗化, 使得材料的强度和韧性下降。此外, 焊接过程中温度的急剧变化还会增加材料的晶间腐蚀敏感性, 尤其在潮湿或盐雾环境下, 这种敏感性更为明显。这些变化加剧了局部腐蚀的速度, 而且是在长时间暴露于恶劣环境中的桥梁结构, 腐蚀现象可能大大缩短其使用寿命。热影响区的耐久性降低, 直接威胁到桥梁的长期使用安全。为了有效解决这一问题, 应通过合理控制焊接热输入, 避免过高的温度引起过度的热影响, 选择具有更好耐腐蚀性能的焊接材料, 从而减少环境因素对材料的侵蚀。此外, 在焊接后适当进行热处理, 有助于优化热影响区的组织结构, 提高材料的综合性能, 进而增强桥梁的耐久性, 确保其在长期服役中的稳定性和安全性。

3.2 焊接残余应力对抗疲劳性能的影响

焊接残余应力的存在会导致桥梁在长期荷载作用下发生疲劳裂纹的萌生和扩展, 尤其在桥梁的关键部位, 疲劳裂纹的形成更加明显^[3]。疲劳裂纹通常从焊缝或热影响区开始, 由于这些区域的材料组织和力学性能与基材存在差异, 容易成为裂纹起源。随着重复荷载的作用, 这些裂纹在应力集中的地方迅速扩展, 严重时会导致桥梁结构失效。残余拉应力使金属在反复荷载作用下更加容易发生疲劳失效, 尤其在受力不均或存在缺陷的部位, 裂纹扩展速度加快。而适度的残余压应力可以在一定程度上抑制裂纹的扩展, 增加桥梁的抗疲劳能力。为了有效缓解焊接残余应力对桥梁疲劳性能的负面影响, 必须优化焊接工艺, 如合理安排焊接顺序, 采用局部应力释放处理, 或选择低应力焊接工艺, 力求减少焊接过程中的残余应力, 从而提高桥梁的耐用性和延长其使用寿命。

3.3 环境因素与焊缝腐蚀问题

桥梁在长期服役过程中常常暴露在复杂且多变的自然环境中, 尤其是潮湿、盐雾以及极端温差等因素。这些环境条件对焊缝区域的耐久性能提出了严峻的挑战。焊缝处由于冶金组织的差异以及焊接过程中产生的残余应力, 容易形成腐蚀的敏感区域。这些区域特别容易受到环境因素的侵蚀, 进而发生点蚀、缝隙腐蚀或在受力状态下出现应力腐蚀开裂等严重问题。为了应对这些腐蚀性挑战, 采用防腐涂层和焊缝表面处理技术可以有效阻挡外界环境对焊缝的腐蚀作用, 延长桥梁的使用寿命。此外,

阴极保护等技术的引入能够进一步提高焊缝区域的防护能力,从而增强桥梁结构的耐久性。同时,选用具有优良耐腐蚀性能的焊接材料,能够在源头上减少腐蚀问题的发生,显著提高桥梁在恶劣环境条件下的整体服役性能和安全性。

3.4 焊接工艺质量对耐久性能的长期影响

焊接工艺的质量控制直接决定桥梁耐久性能的优劣。焊接缺陷的累积效应会在桥梁长期服役过程中显现,降低结构的整体稳定性和安全性。高质量焊接工艺不仅需要技术水平的保障,还需严格遵循工艺流程和质量检验标准,包括无损检测技术的全面应用。通过建立完善的焊接质量管理体系和定期维护机制,可以有效提升桥梁的耐久性能,降低长期使用中的安全风险。

4 焊接工艺对钢结构桥梁稳定性能的影响

4.1 焊接连接形式与结构整体稳定性

焊接连接是钢结构桥梁的关键工艺,其设计和实施直接影响整体稳定性。合理的焊接连接形式可以有效分散应力集中,增强结构刚度。不当的焊缝布置可能造成局部薄弱区域,导致构件屈曲或失稳。对受力复杂的桥梁结构,应根据荷载分布选择适当的焊接工艺,优化焊缝的长度、厚度和位置,以确保结构的整体稳定性。在关键节点部位,采用全焊透焊缝可以提高构件的承载能力和稳定性。

4.2 焊接应力对构件屈曲性能的影响

焊接应力的产生改变了构件的原始应力分布,使局部区域更易屈曲。残余应力引起的压应力叠加效应尤其明显,会降低结构的临界屈曲荷载,影响桥梁在极限状态下的承载能力。通过调整焊接顺序,采用对称焊接技术或局部应力释放处理,可以减少焊接应力对屈曲性能的负面影响。定期进行构件应力监测,及时发现潜在问题,也是保证结构稳定性的重要手段。

4.3 焊接热效应对材料稳定性能的影响

焊接热效应会使材料的力学性能和微观组织发生变化,导致构件局部性能劣化,从而影响整体稳定性。例如,高温区的晶粒粗化或组织不均匀可能引发焊接裂纹或降低构件的抗拉强度。在桥梁焊接中,应根据材料特性合理控制热输入,避免过热或快速冷却引发的性能劣化。焊后热处理可以有效改善焊接区域的微观组织,恢复材料的稳定性能。

4.4 焊接工艺对抗风稳定性的保障作用

钢结构桥梁通常处于复杂的自然环境中,面临强风、温差和其他极端气候因素的影响,因此其抗风性能显得尤为重要。焊接

工艺在桥梁的抗风稳定性中发挥着关键作用,焊缝的均匀性和完好性直接影响桥梁的振动特性。如果焊缝存在不均匀或缺陷,局部的应力集中可能导致振动模式发生变化,从而削弱桥梁在强风作用下的稳定性。为了保证桥梁能够有效应对风荷载,精确的焊接工艺设计必须确保关键部位焊接接头的强度和韧性,避免焊接缺陷导致结构失稳或振动异常。通过结合风洞实验与数值模拟技术,可以对焊接设计进行优化,合理布置焊缝位置和形式,使其与桥梁的抗风性能高度契合,从而提高桥梁整体的稳定性和安全性,确保桥梁能够在长期使用中稳定、可靠地抵抗风力等外部荷载。

5 总结

钢结构桥梁的焊接工艺直接关系到桥梁的安全性、耐久性和稳定性,构成了桥梁建设质量的重要保障。合理的焊接工艺不仅可以有效提升材料之间的连接强度,还能优化整体结构的性能,使其具备更高的承载力和更好的抗震、抗风能力。然而,在实际焊接过程中,由于焊接残余应力的产生、热影响区组织的变化以及可能出现的焊接缺陷,这些因素都可能影响桥梁的长期使用效果,成为潜在的安全隐患。针对这些问题,结合科学的焊接工艺规划和先进的焊接技术,配合严格的质量控制措施,可以有效缓解焊接过程中带来的负面影响,从而最大化地提升钢结构桥梁的整体性能。随着焊接技术的不断进步,尤其是智能化焊接技术和新型材料的应用,将使焊接工艺更加精确高效,进而为桥梁的长期安全和稳定提供更有力的保障。未来,焊接技术的创新和工程实践经验的积累,必将在促进现代桥梁建设高质量发展的过程中发挥关键作用,为行业技术水平的提升和应用范围的拓展提供新的动力。

[参考文献]

[1]李凯.钢结构桥梁检测与加固技术分析[J].运输经理世界,2024,(17):60-62.

[2]许畅,来井满,傅彦青,等.耐候桥梁钢研发制备与焊接技术研究进展[J].工业建筑,2024,54(12):58-70.

[3]钱芳荣.智能化无损检测技术在钢结构桥梁中的应用[J].中国金属通报,2024,(08):86-88.

作者简介:

梁利东(1982--),男,汉族,浙江新昌人,本科,工程师,研究方向工程管理的。