

# 钢结构桥梁焊接施工技术研究

文 / 张 海 中铁十四局集团有限公司

**摘要：**钢结构桥梁焊接技术水平在一定程度上决定桥梁建设质量，对此，本文研究了钢结构桥梁焊接施工技术在使用过程中存在的应用难点，探讨了钢结构桥梁焊接技术中的拼装、材料预热、材料焊接、热处理以及检验等技术要点，总结通过优化钢结构构件质量、制定焊接质量检验标准、完善个性化工艺流程等，有利于提高钢结构桥梁焊接施工技术水平的关键策略，以期提升现阶段钢结构桥梁建设质量。

**关键词：**钢结构桥梁；构件焊接；焊接施工技术；优化策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.07.037

## 引言

济南市工业北路快速路东延工程位于济南市历城区、高新区，工程西起现状工业北路高架终点（郭店立交以西），东至大正路以东，全长约 12.667 公里。钢结构桥梁工程全长 2927 米，共计 31248.69 吨，包含钢混组合梁 13 联、钢箱梁 9 联、人行天桥 3 座、钢箱梁匝道 5 联。在项目的建设过程中我发现，传统的焊接工作模式中，施工人员仅采用单一的技术规范与工艺流程开展钢结构桥梁焊接施工，而对焊接施工技术要点的关注度不足，导致钢结构桥梁焊接施工的效率始终无法得到提高。在当前的钢结构桥梁焊接施工技术研究中，通过以技术问题为导向开展技术深层研究，不仅能够解决焊接施工技术的应用难点，还能够进一步完善现有的施工技术体系，为保障钢结构桥梁工程建设效益提出切实可行的优化策略。

## 一、钢结构桥梁焊接施工技术应用难点

### （一）缺乏多样化焊接施工技术体系

传统的钢结构桥梁施工模式缺乏完善的焊接施工技术体系，使用的焊接施工技术较为单一、关注的焊接技术要点明显不足。在这样一种背景下，钢结构桥梁焊接施工的实施对人工操作、主观经验的依赖程度较高，严重影响施工过程的规范性与施工效率。在工北项目中，我发现缺乏多样化焊接施工技术的背景下，施工单位仅采用传统焊接技术中的手工电弧焊、埋弧焊等进行钢结构焊接，这一类技术无法适用于不同的工程应用场景，且工艺成熟度无法达到钢结构桥梁的施工标准，导致钢结构焊接处的物理性能不足，在后续的使用过程中出现裂缝问题。

### （二）钢结构构件质量不足

钢结构构件质量对焊接技术的应用有一定影响，在实际的施工中，施工人员根据钢结构焊接施工的实际需求，为钢结构构件质量定义相应的质量参数标准。如果钢结构构件质量不足，则会导致钢结构构件在焊接之后出现尺寸偏差，影响后续施工环节的正常实施。

### （三）缺乏焊接质检指标

部分施工单位在钢结构桥梁焊接施工中更关注提高

焊接施工技术水平，但对于焊接后的钢结构构件，未能采取相应的质量检验措施来检验焊接质量，导致完成焊接的钢结构桥梁构件仍然无法通过验收，影响整体施工的工作效率。比如，施工人员仅根据个人主观经验来确定焊接的质检指标，质检过程仅能落实外观质量检查、尺寸形状检查以及少数的力学性能测试，未能对焊接处的屈服强度、硬度等高性能指标进行检查，且缺少无损检测、金相分析与疲劳性能监测等环节，严重影响后续施工的质量水平。

## （四）焊接施工工艺流程存在冲突

钢结构桥梁焊接施工工艺流程并不具有模板化特征，施工单位需要根据焊接施工的具体情况，结合多种技术因素对焊接流程进行实时调整，保障钢结构桥梁焊接施工技术应用的可操作性。但在缺乏技术规范与施工制度指导的情况下，焊接工艺与结构设计、施工速度与焊接质量、焊接参数与环境条件之间会产生一定的条件冲突，影响工程焊接施工技术的有效实施。比如，部分钢结构桥梁施工中选用 q640 作为主要的设计钢材，这一类钢材在焊接的过程中对于焊接温度与冷却速度的控制水平要求较高，如果材料在焊接之前未能落实“预热”这一施工步骤，则会导致材料在焊接过程中出现裂纹、热影响区过大等问题；后续如果缺乏热处理的施工工艺，则会导致材料在焊接之后出现变形问题，增加焊接返修环节的任务量。

## 二、钢结构桥梁焊接施工技术要点

### （一）焊接拼装技术要点

在钢结构桥梁的焊接工程中，部分焊接后的钢结构构件仍然可能出现接头错位、接头间隙过大等工作问题，导致钢结构材料无法在后续的施工建设期间起到支撑作用。针对该问题，施工人员应当将焊接时的拼装管理作为一项技术要点，合理控制拼装顺序与拼装质量，优化焊接时的钢结构构件组合效果。以钢箱梁焊接时的拼装技术要点为例：首先，在底板上胎架的组装与焊接中，相关人员应当采用激光仪对底板单元处的上胎架进行定位，利用投影线定位底板单元控制点，在底板处画出隔板与横加劲板等构件的焊接位置。其次，在隔板单元的组装环节，施工人员应当在底板定位安装完成之后，根

据横隔板的安装位置来确定底板的空间定位，安装时将底部对齐底板位置划线，确保后续施工能够沿定位线持续焊接。此外，纵横腹板在焊接过程中应当采用全站仪进行焊接定位，由施工人员对顶板单元组装时的横隔板与顶板作为支撑稳定的隔板体系，确保定位拼装完成后进行焊接，以此来提高焊接工作的精度与准确率。

**(二) 焊接材料预热要点**

预热施工能够提前提高焊接材料的本体温度，防止在焊接时因温度偏差过大造成材料裂缝问题。在实际的焊接施工中，施工人员应当根据材料的化学成分、力学性能以及焊接性能等确定预热参数，再根据测温法检测材料温度，防止材料在焊接过程中的温度不偏离预热范围。比如，施工人员可以根据钢结构桥梁焊接材料的型号与材料部件板厚来控制最低预留温度，如果采用Q235、Q295钢材进行施工，材料板厚  $t$  大于 40mm 且小于 60mm，则材料的预热温度不得低于 40℃；Q460 钢材的适温性较强，无论材料规格多大，材料的最低预热温度不得小于 60℃，最低预热温度根据材料板后的增加持续增加，保障预热环节对材料控温的有效性。

**(三) 钢材焊接要点**

钢结构桥梁的构件焊接应当符合焊接规范的操作要求，对焊接条件、焊接工艺、施工辅助条件等进行严格控制，保障焊接流程的有效性。首先，在焊接构件的下料环节，施工人员必须提前采用数字化技术，建立钢结构构件的三维模型，或采用绘制草图的方式确定钢材料构件的分段位置与连接形式，在完成数据方向之后，切割对应的零件单元用于组装拼接，保障焊接工艺基础条件的充足性。其次，在进行多道焊接与多层焊接施工的过程中，相关人员应当注意多层焊层之间的清理工作，防止焊接部位存在溶渣、氧化物及油脂等。焊接过程应当保持一次焊完，如果因非必要产生中断焊接，施工人员需要对具有敏感性的焊接构件进行保温或缓冷处理，保障焊接过程的有效性。最后，为了有效控制焊接工作的精度，施工人员应当根据焊接工程的质量要求制定焊接控制参数，根据控制参数对各类构件的焊接偏差进行精准控制。如表 1 所示，表述为钢结构构件在焊接时制定的允许偏差指标，在具体的焊接施工中，施工人员根据表内指标，采用检测用工具对焊接偏差进行精准控制，以此来控制焊接构件的表面美观性与内部稳定性。

表 1 焊接控制参数

控制项目	允许偏差 (mm)	检测工具
零件下料尺寸	主体零件面腹板	1 钢尺
	构造零件	2 钢尺、水平仪
构件拼装长度	整体外形	2 钢尺
	分段长度	2 钢尺、水平仪
主要控制点的定位	牛腿定位	1.5 钢尺
	索孔定位	1 钢尺、水平仪

续表 1

控制项目	允许偏差 (mm)	检测工具
加紧肋及腹板偏差	加劲肋中心	3 钢尺、水平仪
	外露腹板	1 钢尺、水平仪
	横隔板	2 钢尺
横截面尺寸	截面高度	3 钢尺、水平仪
	截面宽度	4 钢尺
	对角线偏差	≤ 3 钢尺、水平仪
对接端口	面腹板偏差	1.5 钢尺、水平仪
	劲板偏差	3 钢尺
	外露平整度	H50 钢尺
外观变形	扭曲度	0.001 钢尺、水平仪
	整体外观	良好 钢尺、水平仪

**(四) 热处理要点**

在完成钢结构构件的焊接工作之后，施工人员必须对钢结构构件进行热处理，通过降低材料焊接后的冷却速率，防止温度变化过快导致焊接后材料出现裂纹。首先，施工人员必须明确需要采用热处理的钢结构构件目标，主要针对裂纹敏感性较大、拘束度较大的焊件进行热处理，热处理时的后热温度应当控制在 200 ~ 350℃ 之间，持续 30 分钟及以上的保温时间之后进行缓冷。其次，焊接后的热处理工作需要采用局部加热法完成热处理，施工人员应当采用具有适配性的电加热器对焊件进行局部加热，保证焊接处每面的加热带宽度为构件厚度的 3 倍及以上，以此来提高热处理保温面的覆盖性。

**(五) 焊接后检验与返修要点**

焊接后的检验与返修工作能够针对因焊接技术水平不足造成的焊接误差、焊接质量问题，通过返修与矫正来提升焊接质量。在对焊件进行质量检验的过程中，施工人员必须确保焊件已经焊接成型，在焊接完成 24 小时之后开始焊接质量检测，但已经经过热处理消除焊缝的构件可直接进行焊接后检验<sup>[1]</sup>。在焊接返修环节，施工人员需要对焊接返修的焊件缺陷进行原因分析，并在返修前清理缺陷位置，确保焊件通过无损检测之后进行返修矫正。此外，返修矫正过程的焊件同样需要经过预热处理，但预热温度需要相较焊接时的预热温度提高 30 ~ 50℃，以此来保障返修焊缝的性能与质量。

**三、钢结构桥梁焊接施工技术优化策略**

**(一) 钢结构构件质量优化**

材料质量问题在一定程度上影响材料焊接的最终效果，在进行钢结构构件焊接之前，相关人员必须对钢结构构件的质量进行优化处理，在制作或拼装之前，检查钢结构构件外观尺寸与实际质量。首先，在钢结构构件的外观尺寸控制方面，相关人员应当根据施工设计图纸及方案精准放样数据，对钢结构构件的外观尺寸进行对比分析，必要时采用空间三维坐标模型对钢结构构件的外形进行控制，提高外形精度<sup>[2]</sup>。其次，在加工制作精度的控制方面，为了确保后续的焊接工作中，钢结构构件接口能够顺利对接，相关人员应当对钢结构构件设定

固定的焊接端口，并根据母材的物理性能、化学属性来确定焊接材料的规格、型号及焊接温度，施工人员再根据母材特性与质量选择配套的焊接施工技术进行焊接施工，提高焊接施工的精度与质量。

**(二) 制定焊接质量检验标准**

为了防止焊接后的钢结构构件质量无法达到钢结构桥梁工程的施工需求，施工单位应当制定焊接质量的检验工作体系，并根据相应的应用场景制定检验指标，由施工人员根据质量检验指标对焊接后的钢结构性能进行对比检测，将质量不合规、不达标的构件进行标记处理，并采取焊接后矫正返修的方式重新焊接材料构件。首先，施工人员可以根据焊接材料与焊接工艺的质量标准，制

定详细的质量检验指标<sup>[3]</sup>。比如，钢结构桥梁工程的钢结构构件材料以碳钢、不锈钢及铝合金等为主，不同的焊接材料配对相应的焊接工艺，如果焊接工艺中需要采用热输入、焊接电流处理，则对应的焊接质量检验指标应当制定相应的控温参数、控电参数，保障质量检验指标的适配性与有效性。其次，焊接施工中还可以根据结构要求与使用条件来制定焊接质量检验标准，如表2所示，表中内容为不同的焊接材料对应的焊接接头力学性能控制标准，施工人员在焊接施工中根据对应的力学性能标准，对比焊接后材料的实测力学性能，以此来评估出，焊接施工的最终成果是否符合工程建设的质量要求，在此基础上制定针对性的解决策略。

表2 焊接质量检验标准

钢材名称	强度	塑性		硬度(HV10)
		断后伸长率	对接接头侧弯	
14MnNbq	不低于母材标准，屈服强度对接焊缝不超过母材实际值 100MPa；角焊缝不超过母材实际值 120 MPa	不低于母材标准	当板厚 $\delta \leq 16\text{mm}$ 时， $D=2a$ ，当板厚 $\delta > 16\text{mm}$ 时， $D=3a$ ， $180^\circ$ 不裂	$\leq 350$
Q390E	不低于母材标准	不低于母材标准	同上	$\leq 350$
Q370qE	不低于母材标准	不低于母材标准	同上	$\leq 350$
Q370qD	不低于母材标准	不低于母材标准	同上	$\leq 350$

**(三) 制定个性化工艺流程**

施工单位应当根据钢结构桥梁工程的应用场景与施工要求，制定个性化的工艺流程，以此来提升焊接施工技术的使用效率。比如，在定位焊环节，施工人员可增加焊接构件的检查工艺，根据设计图纸准确组装焊接构件，再计算各个构件的对接精度，避免后续出现焊接偏

差<sup>[4]</sup>。此外，在焊接后的检验环节，如果钢结构桥梁工程对焊接质量要求较高，施工中可增加无损检测工艺，结合如图1所示的钢结构截面构造方法，完善基本焊接结构之后进行无损检测分析，直观地评估整个焊接结构中是否存在质量问题的焊接节点，施工人员再根据检测数据分析焊接处的质量是否符合设计要求。

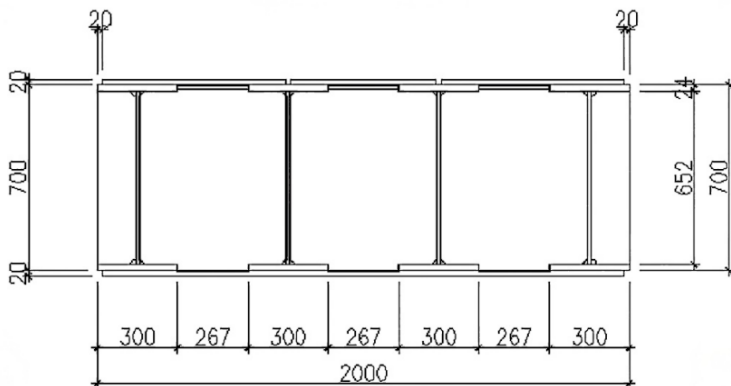


图1 钢结构截面构造

**结语**

本研究总结的钢结构桥梁焊接施工技术要点及技术优化策略根据具体的施工技术问题提出应对策略，在工业北路项目中一次验收合格率、工作效率、返工率等多个方面已取得一定的成效，这表明本研究在现有的桥梁工程当中具有一定的技术参考价值。在未来，建设单位应当加大对焊接施工技术研究力度，根据工程建设的个性化需求，打造具有针对性、科学性的钢结构桥梁焊接施工技术体系，完善相关的施工技术工艺使用规程，为提高钢结构桥梁工程的建设质量奠定坚实基础。

**参考文献**

[1] 张鹏. 钢结构桥梁的焊接材料选择 [J]. 中华建设, 2024, (06): 154-156.  
 [2] 王宏宾. 高墩大跨径钢结构桥梁施工技术及其质量控制要点探析 [J]. 工程建设与设计, 2024, (02): 176-178.  
 [3] 张荣新. 钢结构桥梁施工管理中安全及质量控制 [J]. 四川建材, 2022, 48(12): 221-222.  
 [4] 杨庆, 张杨洋. 钢结构桥梁施工管理及安装质量控制措施 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(11): 242-244.