

城市入口片区更新改造项目中钢箱梁施工质量监测与评估

文 / 王亚林 中建新疆建工（集团）有限公司

范德瞻 中建新疆建工（集团）有限公司

郑清明 中建新疆建工（集团）有限公司

王琪琪 中建新疆建工（集团）有限公司

摘要：随着城市化进程的加速，城市入口片区更新改造项目日益增多，其中钢箱梁作为关键的结构部件，施工质量直接关系到整个项目的安全性和耐久性。本文针对城市入口片区更新改造项目中的钢箱梁施工质量监测与评估问题进行了深入探讨。通过对钢箱梁结构特点和施工流程的分析，构建了一套完整的施工质量监测体系，并采用了先进的监测方法与工具进行数据采集与分析。基于此，提出了一套科学的施工质量评估指标体系和评估标准，以确保施工过程中的质量控制达到预期目标。通过实际案例分析，验证了监测与评估方法的有效性，为城市更新项目中的钢箱梁施工提供了理论支持和技术指导。

关键词：城市更新；钢箱梁；桥梁工程；施工质量监测；评估体系

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.083

引言

随着城市基础设施建设的不断推进，城市入口片区作为城市的“门面”，更新改造已成为提升城市形象、改善居民生活品质的重要举措。钢箱梁作为一种高效、经济的桥梁结构形式，在城市入口片区更新改造项目中得到了广泛应用。然而，钢箱梁施工质量的好坏直接影响到桥梁的使用寿命、安全性及社会效益。因此，对钢箱梁施工质量进行有效的监测和评估显得尤为重要。

一、钢箱梁施工技术概述

（一）钢箱梁结构特点

钢箱梁作为一种高效的钢结构形式，独特的截面设计在城市入口片区更新改造项目中得到广泛应用。钢箱梁通常由顶板、底板和两侧的腹板组成，形成封闭的箱形截面，这种结构不仅具有优异的抗弯刚度和抗扭刚度，而且能够承受较大的荷载。箱形截面的设计使得钢箱梁具有较低的自重，提高了结构的整体稳定性，同时也便于运输和安装^[1]。钢箱梁的制造工艺较为成熟，可以通过焊接或栓接等方式实现现场快速组装，有效缩短了施工周期。在城市更新改造项目中，钢箱梁凭借高强度、轻质化和良好的抗震性能，成为跨越城市主干道、连接重要交通节点的理想选择。

（二）钢箱梁施工流程

钢箱梁的施工是一项复杂而精细的工作，具体流程如图1所示。根据设计图纸进行详细的施工图深化设计，明确钢箱梁的尺寸、形状和连接方式等关键参数。进入预制阶段，在工厂内通过精密的数控切割机和焊接机器人完成箱梁的制造，确保每个构件的尺寸精度和焊接质量。制造完成后，进行预拼装检查以检查各部件间的匹配度，并进行必要的修正。运输过程中，采用专门的平板拖车或特殊运输工具将钢箱梁运至施工现场，确保运输过程中的安全和构件完整性。到达现场后，利用大型吊装设备将钢箱梁精确吊装至预定位置，这一过程需要严格控制吊装角度和速度，确保平稳就位。通过临时支撑结构固定钢箱梁，以便进行后续的连接工作。连接工序主要包括焊接和栓接两种方式，其中焊接是主要的连接方式，要求焊缝质量达到设计规范的要求。在焊接过程中，采用先进的焊接技术和严格的焊接程序控制，以确保焊缝的质量和结构的整体稳定性^[2]。栓接则主要用于临时连接或特殊部位的连接，以提高施工效率和安全性。完成所有钢箱梁的安装和连接后，进行整体结构的检测和验收，包括外观检查、无损检测（如超声波探伤、磁粉探伤等）以及荷载试验等，确保结构符合设计

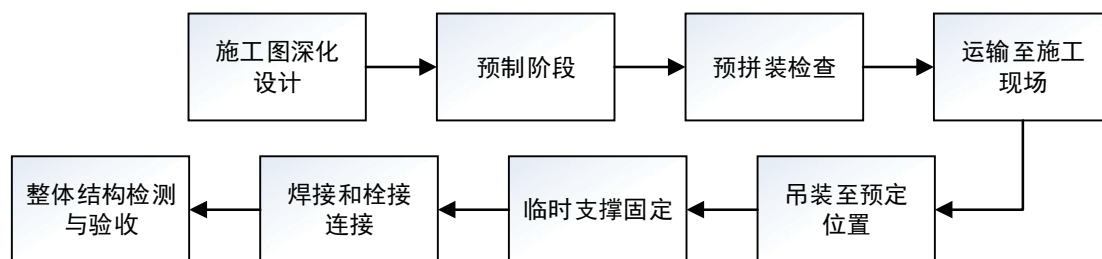


图1 钢箱梁施工流程

要求并具备足够的承载能力。

二、施工质量监测技术

(一) 监测体系建立

建立钢箱梁施工质量监测体系是确保桥梁结构安全性和耐久性的关键步骤，该体系包括现场监测网络的布局设计、监测仪器的选择与安装、监测数据的采集与传输以及数据分析与反馈机制等核心环节。根据桥梁设计特点和施工进度规划监测点的位置，确保能够全面覆盖关键部位。采用高精度传感器如应变片、位移传感器和振动传感器等，结合无线传输技术实现数据的实时采集与远程监控^[3]。通过建立云平台或专用服务器收集和存储监测数据，并利用大数据分析和人工智能算法进行数据挖掘和模式识别，以准确评估结构状态。

(二) 监测方法与工具

在钢箱梁施工质量监测中，监测方法包括非接触式监测和接触式监测两大类。非接触式监测主要利用光学测量技术如激光扫描仪和全站仪等，对结构变形、位移等进行实时观测；接触式监测则侧重于安装各类传感器，如应变片、位移传感器、振动传感器和温度传感器等，直接获取构件内部应力分布、位移变化和温度条件等信息^[4]。还引入了无线传感器网络技术，通过集成微型处理器和无线通信模块的智能传感器节点，实现数据的自动采集与远程传输。这些传感器能够长时间稳定工作，确保监测数据的连续性和有效性。

(三) 数据采集与分析

数据采集与分析是确保钢箱梁施工质量监测有效性的核心环节，通过布设在关键部位的各种传感器，如应变片、位移传感器、振动传感器等，实现对结构变形、应力分布、温度变化等关键参数的实时监测。这些传感器通过无线传输技术将数据发送至中央监测系统，确保数据传输的高效与安全。数据采集系统能够自动记录每一项监测数据，并通过云计算平台进行存储与初步处理。在数据分析阶段，采用先进的数据处理技术和机器

学习算法，如时间序列分析、模式识别和异常检测等，对大量监测数据进行深度挖掘，以识别结构状态的变化趋势和潜在风险^[5]。通过建立数据可视化平台，监测人员可以直观地了解监测结果，并根据分析结果采取相应措施，确保施工质量符合设计要求。

三、施工质量评估方法

(一) 评估指标体系

施工质量评估指标体系是确保钢箱梁施工质量的重要工具，体系主要包括多个维度的评估指标，涵盖了结构性能、施工工艺、材料性能等方面，结构性能指标包括钢箱梁的几何尺寸偏差、焊接质量、防腐涂层厚度等；施工工艺指标则关注安装精度、预应力施加效果、临时支护稳定性等；材料性能指标涉及钢材的力学性能、焊材的质量等级、混凝土强度等。还包括环境影响因素如温度变化、湿度变化对结构性能的影响。通过设定明确的评估标准和阈值，结合现场监测数据，可以对施工过程中的各个环节进行全面评估，及时发现并解决潜在的质量问题，确保钢箱梁施工质量达到设计要求和规范标准^[6]。

(二) 评估标准与阈值

钢箱梁施工质量评估的关键指标及其标准值与预警阈值，主要如表1所示。几何尺寸偏差的标准值为±3mm，当偏差超过±5mm时发出预警，确保结构尺寸符合设计要求。焊接质量需达到Ⅰ级标准，若降至Ⅱ级则触发预警。防腐涂层厚度不得低于150 μm，当厚度降至120-149 μm时提示可能存在防腐不足的问题。安装精度方面，轴线偏差不得超过2mm，超过2-3mm时需采取纠正措施。预应力施加效果的偏差需控制在±5%以内，超过±10%时需重新校验。临时支护稳定性必须保持稳定状态，否则需要立即采取加固措施。还需关注施工环境的温度和湿度变化，确保这些条件不会影响钢材性能和焊接质量^[7]。通过设定明确的评估标准与阈值，可以及时发现并解决施工过程中的质量问题，保障钢箱梁施工质量达到设计要求。

表1 施工质量评估标准与阈值

评估指标	单位	标准值 / 允许偏差	预警阈值	备注
几何尺寸偏差	mm	±3	±5	根据设计图纸确定
焊接质量	—	Ⅰ级	Ⅱ级	按照 GB/T 51246-2017 《钢结构焊接规范》
防腐涂层厚度	μm	≥ 150	120-149	涂层应均匀，无漏涂
安装精度（轴线偏差）	mm	≤ 2	2-3	以设计图纸为准
预应力施加效果（张拉力偏差）	%	±5	±10	依据设计要求
临时支护稳定性	—	稳定	不稳定	通过现场检查确定
温度变化	℃	±10	±15	影响钢材性能和焊接质量
湿度变化	%RH	±15	±20	高湿度可能导致腐蚀
钢材屈服强度	MPa	按设计要求	-	检查出厂合格证明及现场拉伸试验
焊材质量等级	—	按设计要求	-	确保焊材符合设计要求
混凝土强度	MPa	按设计要求	-	通过试块试验确定，需符合 GB/T 50204-2015 《混凝土结构工程施工质量验收规范》

四、实际案例分析

(一) 项目概况

某城市入口改建工程项目行车桥，采用钢箱梁设计，设计荷载采用城-B级，桥梁结构主要材料采用Q355D，设计跨度30米，桥梁建筑高度1.4m，桥面宽度4.5米，是本项目关键节点，单个节段最大重量达60吨。钢箱梁制造采用先进的数控切割、焊接机器人技术，确保构件精度与焊接质量，同时，通过预拼装检验，有效控制制造误差在安装过程中，应用缆索吊装系统，配合GPS定位技术实现毫米级精准定位与对接，确保桥梁线形平顺。采用高性能防腐涂料与阴极保护系统，增强钢箱梁耐久性延长使用寿命。

(二) 施工过程中的质量监测与评估

在施工过程中，建立了完善的质量监测体系，包括现场监测网络的布局设计、监测仪器的选择与安装、监测数据的采集与传输以及数据分析与反馈机制。采用了非接触式和接触式监测方法，利用激光扫描仪、全站

仪、应变片、位移传感器和振动传感器等工具，实现了对结构变形、应力分布、位移变化等关键参数的实时监测。通过无线传感器网络技术，监测数据被实时传输至中央监测系统，并通过云计算平台进行存储与初步处理^[8]。利用大数据分析和人工智能算法对监测数据进行深度挖掘，及时识别结构状态的变化趋势和潜在风险，确保施工质量符合设计要求。

(三) 质量评估结果

经过质量评估，该项目所有关键指标均符合设计要求和规范标准，具体如表1所示。几何尺寸偏差实测值为 $\pm 2\text{mm}$ ，焊接质量达到I级标准，防腐涂层厚度为 $160\mu\text{m}$ ，安装精度（轴线偏差）为 1.5mm ，预应力施加效果（张拉力偏差）控制在 $\pm 3\%$ 以内，临时支护稳定性保持稳定状态，温度变化控制在 $\pm 8^\circ\text{C}$ 范围内，湿度变化为 $\pm 12\%\text{RH}$ ，钢材屈服强度和焊材质量等级均符合设计要求，混凝土强度也达到设计值。这些结果显示，施工过程中的质量控制措施得当，确保了钢箱梁施工质量

表2 质量评估结果

评估指标	单位	实测值	是否符合标准	备注
几何尺寸偏差	mm	± 2	符合	根据设计图纸确定
焊接质量	—	I级	符合	按照 GB/T 51246-2017《钢结构焊接规范》
防腐涂层厚度	μm	160	符合	涂层应均匀，无漏涂
安装精度（轴线偏差）	mm	1.5	符合	以设计图纸为准
预应力施加效果（张拉力偏差）	%	± 3	符合	依据设计要求
临时支护稳定性	—	稳定	符合	通过现场检查确定
温度变化	$^\circ\text{C}$	± 8	符合	影响钢材性能和焊接质量
湿度变化	%RH	± 12	符合	高湿度可能导致腐蚀
钢材屈服强度	MPa	设计值	符合	检查出厂合格证明及现场拉伸试验
焊材质量等级	—	按设计	符合	确保焊材符合设计要求
混凝土强度	MPa	设计值	符合	通过试块试验确定，需符合 GB/T 50204-2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》

达到了预期目标。

结语

城市入口片区更新改造项目中的钢箱梁施工质量监测与评估工作取得了显著成效。通过实施全面的监测方案，结合科学的评估体系，确保了施工质量达到了高标准。评估结果显示，项目在结构安全、材料性能等方面表现优异，但在部分施工工艺上仍有改进空间。未来，将持续优化施工流程，强化质量控制，以期在更多城市基础设施更新改造项目中推广这一成功经验，为城市可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张磊. 公路桥梁现浇箱梁施工技术与质量控制分析[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(07): 136-138.
- [2] 张晋. 预制箱梁施工工艺及质量控制要点[J]. 四川建材, 2024, 50(03): 140-142.
- [3] 赵言飞, 万磊. 大跨度钢箱梁安装施工技术探究

[J]. 建筑机械, 2024, (02): 150-154.

[4] 胡红梅, 姜铮, 邓如意. 预制小箱梁施工工艺及质量控制研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (13): 241-243.

[5] 张维友. 大跨度钢箱梁上跨交通道路施工技术研究[J]. 价值工程, 2024, 43(19): 83-85.

[6] 夏育龙. 预应力混凝土现浇箱梁在高速公路工程中的应用[J]. 建筑科技, 2024, 8(05): 96-98.

[7] 赵凯. 后张法预制小箱梁施工技术与质量管理研究[J]. 交通世界, 2024, (Z1): 192-194.

[8] 方美平, 凌壮志, 吴辉, 等. 基于BIM更换钢箱梁施工方案演示及风险分析[J]. 山西建筑, 2023, 49(22): 145-151+192.

作者简介: 王亚林(1984年—), 男, 汉, 新疆乌鲁木齐, 本科, 中级职称, 主要研究市政工程施工管理及道路桥梁质量控制。