

钢箱梁现场分段焊接拼装施工工艺及变形控制

刘 勇

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆 石河子 832017

摘 要：大跨度钢箱梁现场分段拼装作业中，露天工况下的焊接形变始终是施工管控的核心难点，直接影响梁体成型精度与后续跨段衔接质量。结合现场拼装全流程的实操逻辑梳理各环节管控要点，本文从构件预处理、胎架布设、对位拼装到焊接作业、形变防控、后期整形形成完整的施工管控路径，贴合露天作业的复杂工况，为钢箱梁现场施工提供可落地的实操指引。

关键词：钢箱梁现场拼装；分段焊接；形变管控；胎架控形；火焰矫正

引言：钢箱梁凭借轻质高强、架设效率高的特性，广泛应用于城市高架、跨江桥梁等工程场景，现场分段焊接拼装是大尺寸钢箱梁落地施工的主流模式。露天作业环境下，构件对位偏差、焊接热量不均引发的各类形变问题，会直接干扰梁体成型精度。梳理全流程施工的实操管控要点，理顺拼装与焊接环节的控形逻辑，对保障钢箱梁现场施工质量有着实际的作业指导意义。

1 钢箱梁现场分段拼装施工工艺

1.1 钢箱梁构件现场预处理工艺

钢箱梁分段构件长途运输到场后，构件表面及对接端口会堆积灰尘、浮锈与杂物，运输、吊装过程还会产生轻微的板面形变与端口偏差。正式拼装施工前，必须完成全面的现场预处理工作。施工人员利用专业打磨设备清理构件对接区域、焊接区域的氧化层与污染物，保证对接端面干净平整^[1]。针对板面轻微翘曲、边缘错位等问题开展人工矫正作业，修复构件外观形态。仔细检查焊接坡口的规整度，对缺损、不规则的坡口进行修整打磨，满足后续焊接施工的基本要求，从源头把控拼装施工基础质量。

1.2 拼装胎架布设与整平工艺

胎架是钢箱梁分段拼装的主要临时支撑结构，承担施工阶段全部构件荷载，自身稳定性与平整度直接决定拼装精度。胎架布设前，对场地基础进行夯实硬化处理，消除地基松软带来的沉降隐患。依据施工图纸标定位置精准布设胎架，保证整体布局规整有序。胎架安装完毕后，逐一调节各个支撑点位的高度，完成整体整平作业，统一各支撑点位的标高参数。全面检查胎架各个连接节点的紧固程度，对松动、薄弱部位进行加固处理，提升整体支撑刚度，规避拼装过程中出现晃动、沉

降问题。

1.3 分段构件对位安装工艺

胎架检查达标后，即可开展分段构件的吊装对位施工。选用适配的吊装设备平稳起吊钢箱梁构件，匀速将构件移送至预设安装区域。施工人员现场配合调整构件摆放角度与空间姿态，合理控制构件对接缝隙，让相邻分段端口保持平行对齐。细致调整构件水平与竖向姿态，完成构件初步定位，采取临时固定方式锁定构件位置。吊装作业全程保持平稳低速，杜绝剧烈晃动与强行挤压对位的操作，防止构件端口出现不可逆的挤压变形。

1.4 箱梁分段拼装精调工艺

构件初步定位完成后，进入精细化调校工序。针对构件对接缝隙、板面平整度、整体轴线姿态开展全方位细致调整。逐一修正拼装过程中产生的板面高低差、端口错位等问题，让各段箱梁形成完整连贯的整体结构。多次校核空间线形与安装姿态，循序渐进优化拼装精度。所有参数调校到位后，对分段构件进行全面锁固固定，稳定构件空间位置，避免后续施工工序引发位移偏移，为后续焊接作业提供稳定可靠的施工基础。

2 钢箱梁现场分段焊接施工工艺

2.1 焊前坡口清理与预处理工艺

正式施焊前的预处理是保障焊缝质量的基础环节，能够有效规避焊接熔合不良、气孔、夹渣等常见问题。构件经过长途运输、现场堆放以及多道拼装工序后，坡口表面及周边区域会附着粉尘、氧化铁皮、细微锈层与潮湿污渍^[2]。施工人员采用砂轮、钢丝刷等专用工具对坡口正反面及周边区域进行全面打磨，彻底去除表层

杂质,露出纯净均匀的金属基体。对坡口边缘存在的毛刺、缺角、不规则形变进行细致修整,规整坡口角度与截面形态,让接头尺寸满足焊接施工要求。及时擦拭清理作业区域的积水与潮气,保持焊接界面干燥洁净,杜绝外界杂质干扰焊接熔合过程,从源头减少焊接缺陷的产生。

2.2 主体板件对接焊接工艺

主体板件对接焊缝承担钢箱梁主要荷载,施工精度与工艺标准要求更高。施工人员结合钢板厚度、接头结构形式选用适配的焊接方法,规划科学的施焊顺序。厚板构件焊接需要把控热量释放节奏,采用分层分道焊接方式,小幅增量完成熔敷作业,有效分散焊接热量堆积。单层焊缝熔敷厚度保持均匀,施焊速度保持平稳,稳定控制电弧状态,保障焊缝金属熔合充分。每完成一层焊接作业,对焊缝表层进行细致检查,清理表层焊渣、飞溅与凸起焊瘤,修整不平整的成型位置。有序推进各条主体焊缝施工,均衡构件受热分布,避免局部温度过高引发的结构形变,维持板件对接位置的平整状态。

2.3 辅助加劲构件焊接工艺

加劲构件是提升钢箱梁整体刚度、优化截面受力状态的重要结构,焊缝数量多、分布零散,施工把控难度更大。此类构件厚度较小、结构尺寸偏小,连续施焊容易积累大量热量,引发板面扭曲、侧弯等问题。施工过程中摒弃连续施焊模式,采用分段跳焊、间隔施焊的作业方式,分散焊接热量,延缓温度聚集速度。严格控制焊脚尺寸,保证焊缝宽窄均匀、成型规整,杜绝局部虚焊、漏焊、焊脚不足等问题。规范起弧、收弧操作流程,降低弧坑、裂纹等缺陷出现概率,让加劲构件与主体钢板紧密结合,稳定提升箱梁整体结构刚度。

2.4 焊后表面处理与清根工艺

所有焊接作业结束后,需要及时开展系统化的焊后处理工作,完善焊缝成型状态,消除内部隐蔽缺陷。施工人员利用专业工具清理焊缝表面残留的焊渣、飞溅颗粒与氧化层,打磨焊缝凸起部位,让焊缝与母材板面过渡平滑自然。对接头根部实施专业清根作业,彻底凿除根部未熔合金属、夹渣与残留杂质,保证焊缝截面密实完整。对打磨后的焊缝外观进行全面修整,消除局部凹凸缺陷,维持整体成型一致性。完整的焊后处理工序可以优化结构外观质量,清除潜藏的施工隐患,保障焊接接头的耐久性能。

3 钢箱梁拼装阶段变形防控技术

3.1 胎架结构精度控形技术

胎架作为钢箱梁分段拼装的核心支撑结构,自身精度与整体刚度直接影响梁体成型状态。胎架布设阶段的精度偏差,会直接转化为箱梁拼装形变,造成板面倾斜、标高偏移等问题。施工前期需要对胎架基础进行压实处理,规避基础不均匀沉降带来的结构变形。精准定位胎架安装点位,调节各支撑点位的高度与水平度,统一整体支撑平面。对胎架杆件连接位置进行紧固处理,补强薄弱支撑部位,提升整体结构刚度^[3]。严控胎架顶面平整度,消除局部高低差问题,让分段构件可以在均匀、稳定的支撑环境中完成拼装作业,从基础层面遏制拼装变形。

3.2 分段拼装预变形设置技术

钢箱梁分段构件自重较大,拼装就位后会在支撑位置产生自然下沉与轻微挠曲,长期受力状态下会出现缓慢形变。预变形设置是抵消拼装形变的有效手段,依靠人为预设结构形态,抵消后期自然形变产生的偏差。结合钢箱梁结构跨度、分段自重与支撑位置,计算合理的预变形数值。在胎架布设与构件就位阶段,针对性调整梁体预设姿态,人为设置反向挠度。适配结构自身的形变规律,抵消构件自重引发的下沉变形,让构件成型后可以恢复至设计线形,规避拼装完成后出现的下挠变形问题。

3.3 拼装临时约束加固技术

分段构件初步就位后,结构整体处于不稳定的临时受力状态,抗扰动能力较弱。外界环境扰动、设备轻微触碰以及后续作业震动,都会造成构件位移与角度偏移。临时约束加固可以固定构件空间位置,提升拼装阶段的结构稳定性。根据构件尺寸与拼装位置,布设间距不超过1m的适配限位结构与加固杆件,锁定构件水平位移与竖向跳动自由度。对接端口、侧边翼板等易偏移部位,每间隔500mm布设一组加固码板,重点加固,限制构件转动与错位。减少拼装过程中出现的无规则形变,维持分段构件的对接精度,为后续焊接施工提供稳定的结构条件。

3.4 拼装过程线形管控技术

钢箱梁拼装线形决定桥梁整体成型精度,微小的拼装偏差会持续留存,对后续合龙施工与整体受力状态造成影响。拼装作业全程跟进线形管控工作,每间隔2m布设一个观测点位,实时把控梁体轴线、标高与板面平整度。构件就位过程中持续校核空间姿态,发现偏移量超过1mm时及时开展微调作业。逐段记录拼装成型状态,

相邻分段的轴线偏差控制在 2mm 以内,保持各分段线形衔接连贯。依据现场成型情况动态调整拼装姿态,杜绝偏差累积问题。精细化的线形管控可以保障拼装成型质量,最大限度降低拼装阶段的结构形变,实现钢箱梁拼装施工的高精度成型。

4 钢箱梁焊接变形控制与整形技术

4.1 焊接工序优化控形技术

焊接施工的工序排布,直接决定结构应力释放的顺序与分布范围,不合理的施焊节奏会造成局部应力堆积,大幅加重构件形变程度^[4]。钢箱梁结构焊缝类型繁杂,主体对接焊缝、加劲板焊缝、翼板焊缝交错分布,不同位置焊缝的形变趋势存在明显差异。无序集中施焊会让局部区域持续受热,单一位置应力反复叠加,造成板面翘曲、构件偏移等问题。施工前需要结合箱梁分段结构形式与焊缝分布特点,制定科学的施焊流程,将单段箱梁的作业面划分为 4 个对称施焊区域。优先完成主体受力关键焊缝的施工作业,再推进附属加劲构件的焊缝施工。采用对称施焊、间隔跳焊的作业模式,相邻焊缝的施焊间隔不小于 300mm,分散焊缝施工区域,错开相邻焊缝的施工时段。合理的工序规划可以均匀分散焊接应力,有序释放结构内部应力,避免局部应力集中产生的不规则形变,从施工源头降低焊接变形的发生概率。

4.2 焊接热输入量管控技术

焊接热输入是诱发钢箱梁形变的核心因素,焊接过程中的电弧热量会让母材局部快速升温,冷却阶段金属收缩量存在差异,最终形成永久性结构变形。热量输入幅度越大,母材高温影响范围越广,形变积累的程度就越明显。现场施工需要根据母材厚度、焊缝规格以及接头形式,匹配适配的焊接参数,稳定施焊过程中的热量输出。严格把控焊接电流、电弧电压与行走速度,保持匀速平稳的施焊节奏,杜绝快速熔敷造成的瞬时热量堆积。厚度较大的钢板统一采用多层多道焊接方式,减小单层焊缝熔敷厚度,缩短母材单次高温受热时长。严格管控层间温度,等待上一层焊缝温度自然回落至合理区间后,再开展下一层焊接作业。稳定且可控的热输入模式,能够缩小母材各区域的温差变化,弱化不均匀收缩带来的结构形变,有效减少残余变形的产生。

4.3 焊接残余形变矫正工艺

即便做好前期工艺管控,焊接施工完成后结构内部仍会留存部分残余应力,逐步引发细微形变,出现板面凹凸、侧向弯曲、端口错边等各类成型缺陷。这类残余形变无法完全通过工艺规避,只能依靠专业矫正工艺完

成形态修复。现阶段钢箱梁施工常用矫正手段分为机械矫正与火焰矫正两种,依据变形位置、变形幅度、构件厚度选择适配的处理方式。轻微的板面平整度偏差、小幅错边问题,可通过专用机械工装匀速施压,缓慢调整构件形态,恢复板面平整状态与对接精度。针对构件侧向挠曲、整体弧度偏差等复杂形变,可采用定点火焰矫正方式,对变形核心区域精准加热,利用金属热胀冷缩特性释放内部残余应力,逐步修正构件形态。矫正作业坚持小幅多次的施工原则,避免一次性大幅度矫正,杜绝构件出现二次损伤与新的应力缺陷。

4.4 钢箱梁整体线形微调工艺

单段钢箱梁所有焊接与矫正工序完成后,各类细微的局部形变会相互叠加,形成整体线形偏差,破坏梁体轴线平直度与顶面标高统一性,影响多段箱梁衔接施工的平顺效果。整体线形微调是钢箱梁成型阶段的关键收尾工艺,用于统一修正各类残留形变误差。每间隔 1m 布设一个检测点位,全面检测梁体轴线偏差、顶面标高、板面平整度以及端口对接姿态,精准排查线形偏差的分布位置与偏差幅度。结合整体成型标准制定精细化微调方案,针对不同类型的线形缺陷采用对应的修整手段。通过局部精细打磨、微量应力释放、点位姿态修正等方式,逐步优化梁体空间形态。逐段校核、逐点修整线形偏差,将全段梁体的线形偏差控制在 3mm 以内,保证单段箱梁线形流畅稳定,多段箱梁衔接位置过渡自然平顺,让整体结构成型精度完全满足施工设计要求。

结束语

整套覆盖拼装、焊接、控形、调校的全链条工艺方法,贴合钢箱梁现场作业的实际推进节奏,把精度管控要求嵌入每一道工序的细节当中。现场作业过程中落实这些管控要点,能够逐步理顺现场施工秩序,减少各类不必要的形变偏差,让钢箱梁拼装焊接全过程始终处于可控状态,最终实现梁体结构性能与外观形态的双重达标,为桥梁后续施工作业筑牢扎实的基础。

参考文献

- [1] 罗永杰. 钢箱梁桥体分段吊装施工技术研究 [J]. 交通世界(下旬刊),2022(7):23-25.
- [2] 庄新胜. 大跨度桥梁钢箱梁吊装施工技术 [J]. 市政技术,2023,41(3):158-163,170.
- [3] 邓朝友. 浅谈大跨度变截面钢箱梁的分段与预拱度控制 [J]. 中国新技术新产品,2022(17):112-115.
- [4] 王松,喻致蓉,张红杰. 郑州农业路曲线钢箱梁制造关键技术研究 [J]. 青海交通科技,2021,33(5):135-141.