

大跨度异形钢箱梁整体吊装施工技术研究

郑 嵘

(上海水务建设工程有限公司, 上海市 200082)

摘 要: 以上海市彩虹人行天桥项目为背景, 为攻克跨水域的大跨度异形钢箱梁大节段吊装施工难题, 采用一体化施工策略, 深入说明了现场组装节段的工艺过程、吊装设备的选择与力学核验、吊点的优化排布、临时支撑体系设计、吊装定位的精准控制以及施工全流程的安全监测等核心技术, 解决了大吨位、复杂截面以及跨航道吊装精度掌控与施工风险管控的问题。从工程实际情况来看, 一次吊装便能够实现需求, 桥梁的线形十分流畅, 在施工的整个过程中保证安全且可进行有效控制, 为相似的大跨度异形钢箱梁大节段整体吊装工作提供技术方面的指引以及工程经验借鉴。

关键词: 大跨度异形钢箱梁; 精度控制; 整体吊装

中图分类号: U445.46

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)09-0337-06

Research on Overall Hoisting Construction Technology of Long-span Special-shaped Steel Box Girder

ZHENG Rong

(Shanghai Water Engineering Construction Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: Taking the Shanghai Rainbow Pedestrian Overpass Project as the research background, an integrated construction strategy is adopted to address the construction challenges in hoisting large segments of long-span special-shaped steel box girders spanning water areas. The key technologies including on-site segment assembly procedures, selection and mechanical verification of hoisting equipment, optimized layout of hoisting points, design of temporary support systems, precise control of hoisting positioning, and full-process safety monitoring during construction are explained in detail, which solves the problems of precision control and construction risk management for large-tonnage, complex cross-section and cross-channel hoisting. Engineering practice demonstrates that one hoisting operation can meet the requirements, and the alignment of the bridge is very smooth. Throughout the entire construction process, the safety and effective control can be ensured, providing technical guidance and engineering experience references for the integral hoisting of large segments of similar long-span special-shaped steel box girders.

0 引 言

随着我国城市基础设施的快速发展, 大跨度、异形曲面钢箱梁构造在众多人行天桥、跨线桥以及景观桥里获得了普遍应用。这种构造具备设计美观、跨越能力强以及较高的工厂化制造水平等明显特性。但是这种建筑结构一般具备较大的跨度、较重的质量以及复杂的形状, 并且常常跨越航运河流、城市主干道等区域。施工空间狭小、交通影响突出, 吊装作业大多属于高风险且规模较大的分项工程^[1-6]。在桥梁建造领域, 怎样于受限条件下安全、高效且精确地开展大吨位异形钢箱梁节段的起吊作业, 已成

为亟需攻克的主要难题与技术瓶颈^[7-11]。

上海彩虹人行天桥的主桥运用跨度为 72 m+72 m 的连续钢箱梁设计方案, 跨越陈行公路和周浦塘 VI 级航道。此桥结构具备高度有变化、曲率种类多以及断面呈异形的特性。C、D、E、F 段属于主桥跨越河流的主要部分, 承担着结构力学性能与线性控制的核心作用, 具有质量大、安装要求高、施工难度大的明显特征。若采用散件吊装模式, 现场的焊接工作任务量较多, 存在较高的高空作业风险, 难以保证线形的精确程度; 而整桥吊装会受到场地和航道环境的制约, 同样难以实现。所以该项目确定采用分阶段制造、现场组装、整体吊装的方案^[12-16]。

本研究以彩虹人行天桥工程为基于, 着重研究 C、D、E、F 节段的整体起吊技术。研究领域包含施工方案谋划、设备核验、吊点与支撑设计、拼装精度度

收稿日期: 2026-05-11

作者简介: 郑嵘(1970—), 男, 学士, 高级工程师, 从事市政路桥施工管理工作。

管控、起吊流程优化以及监测和监控措施,最终建立出一套完整的作业技术。这些成果为类似跨航道、大吨位、复杂钢箱梁节段的起吊作业提供可供参考的实施办法和管理准则。

1 工程概况与吊装重难点分析

1.1 工程概况

处在上海市闵行区的彩虹人行天桥新建工程,横跨陈行公路与周浦塘通航水道。该主桥第二联运用变高度连续钢箱梁结构构造,跨度是72 m+72 m,桥面总宽度为5.5 m,顶板宽度同样为5.5 m,底板宽度为3.1 m。梁高自1.8 m根据二次抛物线设定过渡到3.6 m,整体展现出不规则曲面造型,兼具景观用途与结构特性。上部结构采用Q345qD桥梁专用钢材,在现场运用临时支架方式开展安装。钢箱梁于工厂里分段加工完成后,基于平板车运送至现场,经拼接组装之后实施整体吊装。



图1 效果图

1.2 结构特征

C、D、E、F四个跨河的主箱梁节段要作为整体开展现场组装工作,为强化结构稳定性并加快施工进度,设计要求把这四个节段统一拼接(不包含挑臂部分),组装成一个大型整体之后,采用一次性吊装的方式安装到指定地点。

这一组合的主要参数如下:

组拼后总长:约62.05 m;

总自重:122.9 t;

截面形式:单箱单室、直腹板、变高度异形截面;

节段间连接:全熔透对接焊缝,要求一等焊缝;

线形控制:设计竖曲线+预拱度,安装精度要求高;

施工条件:上部跨越航道,下方为通航水域,吊装需临时封航。

1.3 吊装重难点分析

结合工程环境以及结构特性,C、D、E、F段的吊装作业主要面临如下主要挑战与难点:

1.3.1 吊装吨位大,设备性能要求严苛

组合节段的重量是122.9 t,加上吊具后整体吊装的重量达到125.9 t,属于超大吨位的吊装作业。起重设备必须同时符合额定起重能力、工作半径以及吊装高度这3项要求。

1.3.2 跨越通航河道,施工组织复杂

周浦塘属于Ⅵ级航道,开展吊装作业时一定要实施封航管制。因为时间紧迫,涉及协调的部门繁杂,对吊装流程要求颇高,要设计紧凑的工序,保证一次性完成且实现优质成效。

1.3.3 异形变高截面,吊点与姿态控制难度大。

梁高沿纵向出现变化,其重心分布相对复杂。运用传统吊点易使梁体发生扭曲,并且局部区域的应力或许过于集中,难以有效把控吊装角度和姿态。

1.3.4 安装精度要求高,线形控制严格

作为横跨河流的主要结构,桥梁的核心环节对建成桥梁的质量影响重大。其轴线所处位置、高程数值以及平顺程度的精确性直接影响最终显示的效果。相关规范明确规定,轴线的误差必须控制在5 mm范围以内,高程的偏差不能超过2 mm,这对施工有着极高的要求。

1.3.5 河岸场地狭窄,地基承载力不足

起吊作业之处处于河流南侧,场地面积较为有限,地表主要是由填土构成,直接安置设备或许会造成不均匀下沉,所以要对地基开展加固施工。

1.3.6 高空、临水、交叉作业,安全风险突出

起吊高度偏高,底部是水域,包括高空作业、重物起吊、水上作业以及焊接施工等多种风险,安全管理难度较大。

2 吊装总体方案设计

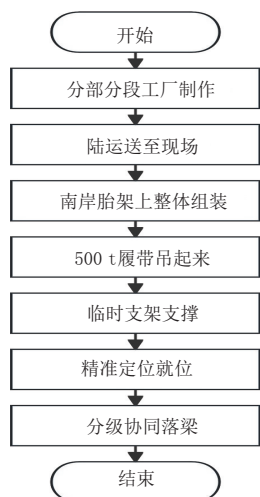
根据结构特性、场地条件、通航规范以及安全要素,C、D、E、F阶段采用一体化施工流程如图2所示。

该方案优势在于:(1)减少高处作业频次,加强施工流程里的安全保障手段;(2)在现场开展组装工作时,质量能够得到有效把控,焊接的缝隙可维持稳固状态;(3)基于一次起吊作业实现工作目标,减少航道封闭与道路占用时长;(4)弧形钢箱梁吊放位置精确,桥梁外观展现效果良好。

3 吊装设备选型与力学验算

3.1 吊装设备选型

根据最大起吊能力、作业区域、旋转高度以及场



地状况,经多种方案比对后,最终选用 500 t 履带式起重机(型号 SCC5000A-1),并运用超起配置来满足大半径起吊作业的需求。

主要工作参数:

- (1) 工况类型: ZHDB 超起工况;
- (2) 主臂长度: 54 m;
- (3) 作业半径: 36 m;
- (4) 超起配重: 250 t;
- (5) 后配重: 160 t;
- (6) 中央配重: 50 t;
- (7) 额定起重量: 155 t。

3.2 吊装荷载计算

起吊载荷需按照最不利的工况来开展分析与确定。

C、D、E、F段自身重量:122.9 t。

吊装装置、钢缆、捆绑绳、货物撬杠:3.0 t。

核算起吊的总荷载: $G=125.9 \text{ t}$ 。

3.3 起重性能验算

当臂长达到 54 m, 并且操作半径为 36 m 时:

额定起重量:155 t;

实际起重量: 125.9 t;

吊装负荷率： $125.9 \div 155 \approx 80\%$ 。

根据《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》(JGJ 276—2012)规定,吊装作业的负荷率需控制在85%以内。在该方案里,负荷率设定为80%,确实满足安全规范,设备选型科学、可靠且具有较高的稳定性。

3.4 吊点与吊具系统设计

3.4.1 吊点布置优化

针对特殊的异形截面特性,采用空间对称的八

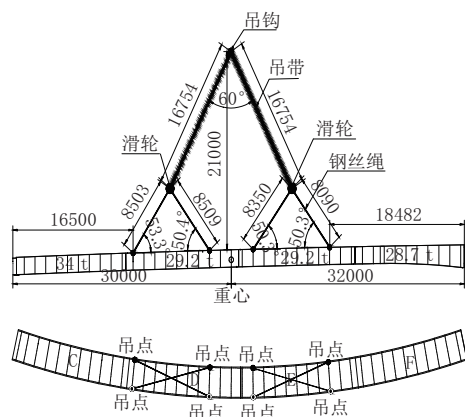
点吊装方法:

吊耳布置位置:横隔板与腹板相交处顶板位置。

布置原则:对称布置、重心居中、受力均匀、避免局部屈曲。

吊耳形式:30 t级全熔透焊接吊耳,板厚 20 mm,内侧增设加劲板。

吊点平面位置如图3所示。



3.4.2 吊具配置

主吊钢丝绳为 8 根 $\phi 50$ mm 钢丝绳, 6×37 类, 抗拉强度 1 870 MPa; 柔性环形吊带为 4 根 50 t 级高强圆吊带, 用于平衡调节; 连接卸扣为 30 t 级重型卸扣。钢丝绳安全系数 ≥ 6 , 柔性吊带安全系数 ≥ 7 , 满足规范要求。

3.4.3 局部加强措施

在吊耳所在区域,顶板内侧布置横向和纵向的加固板,避免在吊装过程中出现局部弯折、变形或者撕裂状况,进一步保障整体结构的安全性。

4 临时支架体系设计与施工

4.1 支架总体布置

为保障C、D、E、F段吊装后能得到稳固支撑,在跨河区域沿着桥轴线设置LZ01、LZ02、LZ03、LZ04四组临时支架。这些支架特别定位在节段底部横隔板处,防止直接对腹板易受损区域施加压力。

4.2 支架结构设计

临时支撑采用的是标准化框架结构,其受力明确、安装便捷且具备较高稳定性。立柱主管为 $\phi 426\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 焊接钢管;缀条为16a槽钢,采用螺栓连接;顶部分配梁为双拼HN400 $\times 200\times 8\times 13$ 型钢;标高调节段为300~400 mm螺旋调节段,用于精准调坡;连接形式为法兰盘+高强螺栓连接。

4.3 支架基础设计

采用C30混凝土预制块基础;每组支架4块,均匀布置;要求地基承载力 ≥ 120 kPa。

4.4 地基处理措施

南岸吊装区域原本的地表层是杂填土,因为地基承载能力不符合标准,需采用以下改良办法:清表30 cm,去除杂草、淤泥、松散土;分层回填碎石土,分层厚度20 cm,压实度 $\geq 93\%$;表层铺设2 cm厚钢板路基箱,扩大受力面积;吊机站位区域额外加密铺设,防止不均匀沉降。

5 现场组拼施工技术

5.1 组拼场地与胎架设计

拼装区域设于河流的南侧,采用刚性钢制胎方案造:

胎架采用HN300 $\times$ 150型钢;胎架布置按节段底板支点位置设置支撑点;线形控制按设计预拱度与竖曲线设置胎架高程。精度上,胎架轴线偏差 ≤ 1 mm,高程偏差 ≤ 1 mm。

5.2 节段组拼顺序

为降低累积误差,组拼要严格根据从中间往两侧对称装配的准则:

率先开展C段的起吊作业,且保证其精准就位。

把D段起吊安装并与C段开展连接,调整缝隙与边缘错动。

按顺序开展E段和F段的吊装工作,并实施组装连接。

对形状、规格以及连接形式的具体规范开展细致核查。

5.3 组拼精度控制标准

节段纵向轴线偏差: ≤ 1 mm;

节段长度偏差: ± 2 mm;

对接错边量: ≤ 2 mm;

面板四角高差: ≤ 4 mm;

对接间隙: $+3 \sim -1$ mm;

横坡、纵坡:符合设计图纸要求。

5.4 组拼焊接与检测

焊接方法:CO₂气体保护焊,焊丝ER50-6;

焊接顺序:腹板 $\rightarrow$ 底板 $\rightarrow$ 顶板,对称、同步、同向施焊。

焊接环境:搭设防风、防雨棚,风速 ≤ 2 m/s。

无损检测:对接焊缝100%UT超声波探伤,I级合格。

6 整体吊装施工控制

6.1 吊装前准备工作

6.1.1 吊机站位与检查

把500 t履带起重机转移到指定位置,全方位检查支撑腿状况、履带情形、路基箱铺设、力矩控制设备、吊装高度限位器以及变幅体系,且保证所有运作正常。

6.1.2 吊具系统检查

查看钢丝绳、吊带以及卸扣的规格、状况是否符合要求,核对其配件的质量以及是否具备出厂合格证明,同时保证连接稳固、无破损且未发生变形。

6.1.3 航道封航与交通组织

预先办理有关手续来限制通航,在吊装作业时段实施临时通航禁令,派遣警戒船只在上下游巡查,禁止船舶驶入作业范围。

6.1.4 现场警戒与防护

对吊装作业区域实施全面封闭管理,设置警戒线和警示牌,安装警示信号灯,并安排专职安全人员开展全程监督。

6.1.5 技术交底与吊装令签发

召集全体施工人员开展安全技术讲解,完成吊装令的办理程序,经项目经理、技术负责人和总监理工程师共同认可签字之后,方可开展吊装。

6.2 试吊控制

试吊工作是保障起重作业安全的主要环节。

起吊高度为节段底部离开胎架10~20 cm;静置时间:10 min。

检查内容:

(1)起重机机身的稳定性以及支腿沉降状况;

(2)起吊工具以及钢丝绳、吊带的承载状况;

(3)段落的水平状态和倾斜情形。

(4)查看吊耳以及整体结构是否产生变形或者伴有异常响动。

开展试吊工作时,要核查全部相关参数是否符合要求,确定没有问题之后才可开展正式的吊装作业。

6.3 正式吊装过程控制

6.3.1 匀速起升

指挥信号统一,平稳提升挂钩,保持构件水平,起吊速率不高于0.5 m/min。

6.3.2 平稳回转

转动过程中维持匀速状态,动作需平稳,防止骤

然停止或急速转向,与此同时留意避开上方的管道、树木以及建筑物。

6.3.3 精准就位

到达安装位置顶端后,慢慢放下吊钩,让节段和临时支架支撑点精准对接,且在放下过程中安排专门人员负责查看轴线和高度的适配状况。

6.3.4 初步支撑

段落安装至支架后,吊机应保持钩挂情形,且维持10%的载荷数值,与此同时开展初步测量与校核作业。

6.4 三维精准调整技术

为实现设计的精准性要求,选用三维调节体系:装设20 t液压千斤顶,沿着横向桥梁方向开展推压校正,进行侧向调整;依靠沿桥体走向的液压装置实施推动,精准把控段落所处位置,进行垂直校正;基于支架顶部的调节装置和千斤顶共同开展精确调节以调控高度。根据设计设定的弧度以及垂直方向的曲线,对整体的流畅性予以优化,调试形态。

最终安装精度控制:

- (1)轴线偏位: $\leq 5\text{ mm}$;
- (2)高程偏差: $\leq 2\text{ mm}$;
- (3)对接间隙: $+3\sim-1\text{ mm}$;
- (4)板面错边: $\leq 2\text{ mm}$ 。

6.5 临时固定措施

完成校准操作后,马上开展暂时性固定工作:运用编码板把相邻段和端部基于点焊稳固连接。给各个部分安装临时的连接部件。当保证结构成型且实现稳定状况之后,指挥起重装置开展解钩以及卸钩作业。

7 现场对接焊接与分级同步落梁卸载

7.1 对接焊接施工

针对C、D、E、F段以及其周边临近区域开展完全熔透的焊接结合工作:

(1)焊接流程:先开展腹板的焊接工作,接着处理底板,最后实施顶板的焊接作业。

(2)焊接方法:运用对称、同步且方向相同的操作,尽可能减小焊接时的形变。

(3)防风策略:运用全封闭的防护设备,保障焊接工艺的可靠性。

层间的温度要控制于 $80\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间内,从而防止出现冷裂纹状况。

7.2 焊缝质量检测

所有承受主要载荷的焊缝均要开展全面的超声波探伤(UT)检测,保证其质量达到I级标准。针对未通过检测的焊缝,一定要进行修复作业,并且同一部位焊缝的修复次数不能超过2次。

7.3 分级同步落梁卸载

拆除操作是保障桥梁线形以及结构受力状况的主要环节,需严格遵循均衡、分层、同步、渐进、稳定的原则,总共分5个阶段开展卸载:

100%荷载(初始状态)

阶段1:卸载至90%,静置5 min,监测数据;

阶段2:卸载至80%,静置5 min;

阶段3:卸载至60%,静置10 min;

阶段4:卸载至30%,静置10 min;

阶段5:完全卸载至0。

卸载过程中实时监测:

钢箱梁高程与线形变化、支架沉降与位移、结构应力与变形。

若碰到异常情形,需马上停止卸载,经问题排查并拟定恰当的应对办法后,重新进行相关操作。

8 施工全过程监测监控

8.1 监测系统布设

为确保施工流程的安全与质量,要设立全方位的监控点位。

8.1.1 钢箱梁监测

中线、形态、标高观测点:设置于段落两边及中间截面;焊接变形监测点布置于焊缝两侧。

8.1.2 临时支架监测

沉降观测点布置于立柱顶部;水平位移点布置于支架上部。

8.1.3 吊机及地基监测

布设支腿沉降观测点和地面沉降观测点。

8.2 监测控制标准

(1)支架累计沉降量: $\leq 20\text{ mm}$;

(2)钢箱梁偏位: $\leq 10\text{ mm}$;

(3)卸载线形变化: $\leq 5\text{ mm}$;

(4)焊缝收缩变形: $\leq 2\text{ mm}^{[2]}$ 。

8.3 监测频率

(1)吊装过程:连续实时监测;

(2)卸载阶段:每级卸载后监测1次;

(3)焊接完成后:连续监测24 h;

(4)成桥后:监测7 d至稳定。

9 工程实施效果与结论

9.1 实施效果

彩虹人行天桥C、D、E、F区域的整体吊装工作顺利结束,收获明显成效。

9.1.1 吊装一次成功

从起吊开始直至完成安装,仅用2.5 h,航线封闭时长被控制在一天之内,对水路通行造成的干扰基本可忽略不计。

9.1.2 安装精度优异

中心线出现3 mm偏移,标高存在1.5 mm误差,整体线条较为流畅,符合设计标准以及相关规范。

9.1.3 施工安全可控

过程中未出现安全和质量领域的任何状况,主要项目实现高效的管理与调控。

9.1.4 质量优良

焊缝首次检测的通过率为百分之百,桥梁整体线形优美,符合景观设计标准。

9.1.5 综合效益显著

缩短高空作业时长,优化工程施工周期,节省费用开支,可产生明显的经济与社会价值。

9.2 结论

(1)基于采用工厂分段生产+现场组装拼接+单机500 t履带吊整体吊装工艺,能够高效、安全且精确地实现大跨度异形钢箱梁C、D、E、F节段的建造,有力攻克跨越航道、重载起吊以及异形截面安装所遭遇的技术难题。

(2)500 t履带式起重机于36 m作业半径、臂长54 m、超起模式情形下,起吊125.9 t节段时负荷率达80%。此状态符合相关规范,设备选型合理且具备良好的安全性能。

(3)8点对称式吊点搭配空间三维调整技术,能够有效把控异形变高度梁段的吊装角度并实现精确定位,保证桥梁整体线形的流畅与稳定。

(4)标准化模块化的临时支撑构架与预制混凝

土基础以及地基加强体系相结合,能够为大型结构单元提供可靠的支撑,并且沉降和形变都处于可控范围。

(5)运用五级同步卸载方法可实现结构受力的平稳过渡,进一步减少冲击和局部应力集中的隐患,保障结构的安全性与线形的精准度。

(6)该项目所研发的整套技术体系,可用于跨越航道和道路的大吨位异型钢箱梁节段整体吊装作业,能为国内同类桥梁的施工提供重要的参考和指导意义^[16]。

参考文献:

- [1] JTG/T3651—2022 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范[S].
- [2] JTG/T 3650—2020 公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] JGJ 276—2012 建筑施工起重吊装工程安全技术规范[S].
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.危险性较大的分部分项工程安全管理规定(住建部令第37号)[Z].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2018.
- [5] 柳黎.跨城市快速路钢箱梁整联顶推技术应用分析[J].工程质量,2025,43(增刊1):61-66.
- [6] 范帅斌.简支钢箱梁分块拼装施工技术要点探析[J].交通界,2024(35):112-114.
- [7] 薄韬.简支钢箱梁截面设计主要影响因素分析[J].林业科技情报,2024,56(4):189-191.
- [8] 王泉宇,李新生.简支钢箱梁整体抗倾覆稳定分析[J].苏州科技大学学报(工程技术版),2022,35(2):26-31.
- [9] 周力.跨河弧形多腔室钢箱梁桥施工技术分析[J].交通世界,2025(增刊2):249-251.
- [10] 孔君.曲线钢箱梁桥抗倾覆稳定性影响因素分析[J].交通世界,2026(7):127-129.
- [11] 田存晋.钢箱梁桥施工技术应用[J].交通世界,2025(22):155-157;160.
- [12] 许艳松.跨河桥梁钢箱梁段现场安装施工要点[J].交通世界,2025(20):163-165.
- [13] 吴映墙.市政道路桥梁工程中钢箱梁安装施工技术[J].四川水泥,2025(7):196-198.
- [14] 姜炎宁,文全.公路桥梁中钢箱梁节段安装施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(11):65-67.
- [15] 苗文波,刘梅玲.市政桥梁钢箱梁梁段安装存在的问题与对策[J].中华建设,2025(5):35-37.
- [16] 魏金晶.公路桥梁工程中钢箱梁安装技术研究[J].运输经理世界,2024(29):88-90.