

# 复杂异型系杆拱桥施工技术研究

李春毅, 吴迪, 杨超

[中铁山桥(南通)有限公司, 江苏南通 226532]

**摘要:** 南京承天大道跨外秦淮湾大桥主桥为单孔157 m下承式空间多索面异型系杆拱桥。以秦淮湾大桥钢结构工程为依托, 结合实际施工情况, 制定了一套复杂空间异型扭曲系杆拱桥的制造和架设技术方案, 系统阐述了正交异性板扁平钢箱梁节段划分, 异型拱肋节段划分、制造、拼装、线形控制和架设等技术, 并提出了制造和安装过程中的控制要点、具体施工措施。依据上述技术方案, 秦淮湾大桥得以顺利制造、拼装, 最终顺利合龙并通车。

**关键词:** 变截面; 空间异型扭曲; 分段; 拼装技术; 线形控制; 架设

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)03-0205-05

## Research on Construction Technology of Complex Special-shaped Bowstring Arch Bridge

LI Chunyi, WU Di, YANG Chao

[China Railway Shanqiao (Nantong) Co., Ltd., Nantong 226532, China]

**Abstract:** The main bridge of Nanjing Chengtian Avenue Qinhuai Bay Bridge is a single-span 157 m through spatial multi-plane special-shaped bowstring arch bridge. Relying on the steel structure engineering of the Qinhuai Bay Bridge, combined with the actual construction situation, a set of manufacturing and erecting technical schemes for complex spacial special-shaped twisted bowstring arch bridge is formulated. The technical aspects such as division of orthogonal anisotropic plate flat steel box beam segments, and division, manufacture, assembly, alignment control and erection of special-shaped arch rib segments are systematically elaborated. The control essentials and detailed construction measures in the manufacturing and installation process are put forward. Based on the above technical scheme, the Qinhuai Bay Bridge was smoothly constructed and assembled. Finally, the bridge was closed and opened to traffic.

**Keywords:** variable-section; spatial special-shaped twisted; segmentation; assembly technology; alignment control; erection

## 0 引言

南京承天大道跨外秦淮湾大桥主桥为下承式空间多索面拱桥, 主桥全长157 m, 横向宽42 m。大桥位处河道上口宽约168 m, 航道等级VI级, 通航限界30 m×4.5 m; 常水位7.5 m, 枯水期水位6.5 m, 洪水位11.6 m, 最高通航水位9.3 m。大桥是南京市南部新城南北轴线承天大道上的关键节点, 也是由秦淮区通往南部新城的南大门, 对改善主城区东南部路网交通具有重要意义。

承天大道跨外秦淮湾大桥效果图见图1。



图1 承天大道跨外秦淮湾大桥效果图

## 1 结构特点

承天大道跨外秦淮湾大桥作为南京市标志性建筑, 对大桥的景观效果要求极高。主桥为非对称拱桥, 主要由钢箱梁和拱肋组成。

秦淮湾大桥立面示意图见图2。

秦淮湾大桥钢箱梁采用正交异性板扁平钢箱梁, 全桥钢箱梁共分为5种类型, 合计11个节段。拱

收稿日期: 2024-11-10

作者简介: 李春毅(1992—), 男, 学士, 工程师, 从事钢结构桥梁制造技术工作。



### 3.4.2 空间扭曲钢箱拱结合段

S13节段为空间扭曲钢箱拱结合段,经计算,该节段已超重。为满足吊装能力,以拱肋轴线为基准,将整节段进一步划分成4部分。划分时,为满足设计受力和规范要求,对接缝避开拉锁吊耳部分,同时垂直于拱肋顶底板。具体划分示意图见图6。

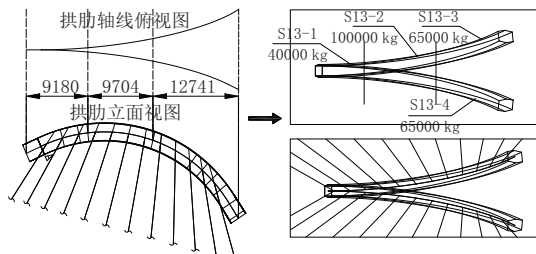


图6 S13节段拱肋划分示意图

## 4 拱肋制造技术研究

拱肋由顶板、底板、腹板、隔板、包封板(装饰板)等组成,内部为矩形钢箱,外侧通过焊接厚度为12 mm的包封板形成六边形结构。包封板的外形控制直接影响着桥梁整体外观。

拱肋节段构造示意图见图7。

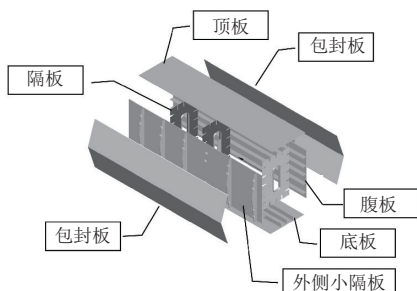


图7 拱肋节段构造示意图

针对拱肋以上特点,对拱肋制造技术按照三维建模放样、隔板单元制作和面板单元制作3部分进行研究。

### 4.1 三维建模放样

(1)根据设计图要求,将拱肋轴线控制点的关键位置轨迹进行加工并转化为适用于三维建模软件的空间坐标(见图8)。

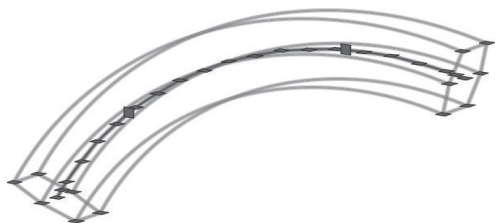


图8 拱肋轴线三维控制点

(2)通过建模软件并利用拱肋各控制截面生成拱肋三维立体模型(见图9),从而确定每个零件的几

何特性,确保各零件的放样精度<sup>[2]</sup>。

将每一个零件从立体图中导出并展开成平面图形,由此可精准得到每个零件的平面图,添加工艺加量后可编制程序进行自动切割。

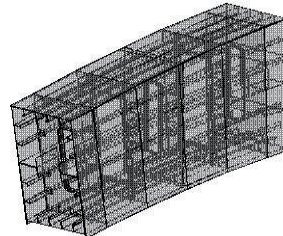


图9 拱肋三维立体图

### 4.2 隔板单元制作

横隔板单元是拱肋节段组装的内胎,其尺寸精度直接影响着节段组装精度。隔板、加劲肋、人孔圈单元制造时,首先对下料钢板进行预处理以消除其内部应力,再采用数控等离子机床完成下料工作。

### 4.3 面板单元制作

顶、底、腹板单元制造时,首先对钢板进行预处理,以消除其内部应力,控制平面度 $\Delta \leq 1 \text{ mm/m}$ <sup>[3]</sup>;其次采用数控等离子机床完成精切下料,为避免焊接收缩和切割下料误差带来的影响,下料时应调整切割顺序,并且在长度和宽度方向预留工艺加量<sup>[4]</sup>;最后在零件平铺状态下进行划线,以基准边为基准开方,刻划面板单元纵横基线,刻划时要确保纵横基线之间的垂直度,合格后再以纵横基线为基准来刻划板肋组装位置线、横隔板组装位置线等<sup>[5]</sup>。

## 5 拱肋拼装技术研究

拱肋拼装时首先在胎架上依次把底板、隔板、两腹板拼装成槽形,然后将腹板、底板与隔板间焊缝进行对称焊接。拼装成箱型后,焊接箱型4条主焊缝。4条主焊缝必须同向施焊,同一腹板侧2条熔透焊缝同时、对称施焊,最后焊接其他焊缝<sup>[1]</sup>。拱肋拼装具体工艺为:

(1)在拼装过程中,设置变截面支撑胎架,严格控制胎架支撑板标高精度,确保线形与理论线形一致;通过对拱肋节段布控三维控制网,配合激光跟踪仪、全站仪、水准仪,使拱肋节段拼装线形和各控制要点精度处于“实时把控,及时调整”状态<sup>[6]</sup>。

(2)组装板单元。顶、底、腹板单元分别在特定线形的组装胎上按照纵横基线拼装I肋组成板单元,板单元上纵横向定位线允许偏差控制在 $\pm 1 \text{ mm}$ 以内,闭口肋中心距控制在 $0.5 \text{ mm}$ 以内<sup>[3]</sup>。

(3)调整胎架线形,在底板单元上拼装隔板单元。隔板单元按纵横基线定位进行拼装,重点控制隔板之间端部的横向错动偏差 $\Delta < 2\text{ mm}^{[3]}$ ;隔板与底板的垂直度偏差、隔板之间的间距偏差 $\Delta < \pm 2\text{ mm}^{[3]}$ 。

(4)组成槽型。底板单元和隔板单元定位完成后,两侧贴装腹板,必须使腹板贴紧隔板,依靠隔板与底板的内胎作用得到腹板的线形。非直线段腹板加劲肋采取一定措施进行微调,使得板肋紧贴腹板。

(5)组成箱型。为了精确控制箱型组装精度,在箱型组装前,按图纸要求进行划线组装,并在组装前对划线尺寸进行全检,然后将顶板贴紧隔板和腹板进行焊接。

(6)组装箱体外侧加劲隔板和加强板装饰板,形成对称六边形截面。以隔板定位,通过火修、定位焊、锤击等方法控制装饰板线形。

为保证拱肋单元拼装精度,单个拱肋节段拼装完成后,在专用胎架上进行全桥试拼装,同时在对接口组装临时匹配件以保证桥址定位连接准确。

拱肋拼装工艺流程见图10。

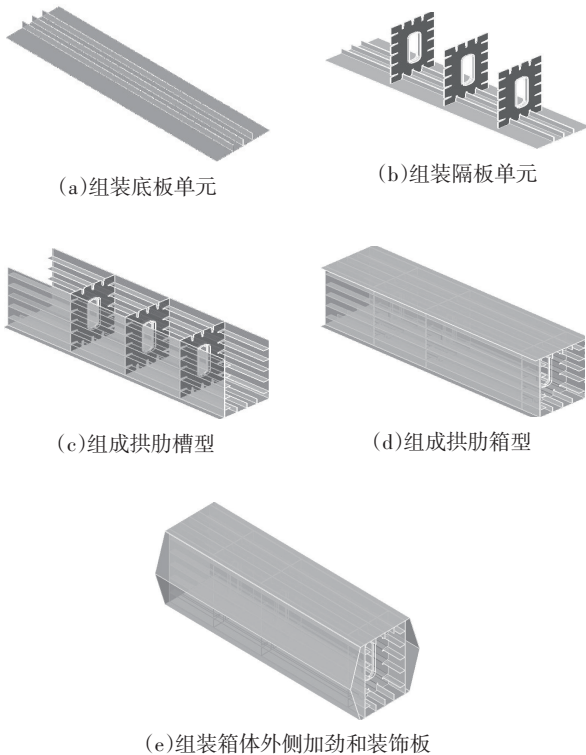


图10 拱肋拼装工艺流程

## 6 拱肋线形和外观控制措施

### 6.1 拱肋拼装专用工装设计

针对空间扭曲拱肋设计专用特殊工装,以保证拱肋线形精度。扭曲段拱肋胎架通过三维放样,在支点处设置预拱度,建立空间坐标测量体系,并以拱

肋箱口角点、拉索吊点位置为关键控制点,利用全站仪全程监测,以确保拱肋线形和拉索位置的准确性<sup>[7]</sup>。

拱肋拼装专用工装示意图见图11。

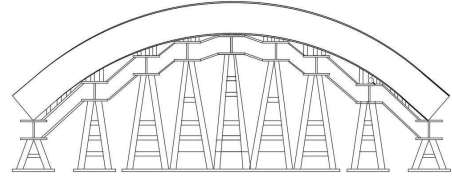


图11 拱肋拼装专用工装示意图

### 6.2 下料精度的保证

在技术准备过程中,应用建模软件进行三维立体建模,提取拱肋零件后,再编制数控程序进行切割下料,保证零件下料的精度。

### 6.3 装饰板制造工艺

装饰板的外形直接影响着拱肋整体外观效果,因此针对装饰板加工和焊接,采用了以下特殊制造工艺:

(1)通过设计变更取消原横向加劲肋,在装饰板与腹板间增设3条纵向加劲肋,以有效加强支撑作用、减少包封板焊接处塌陷变形。

(2)改变装饰板与拱肋顶底板搭接形式,装饰板与顶底板开坡口焊接后打磨匀顺,使装饰板与顶底板间形成自然过渡。

(3)改变装饰板之间的搭接形式,2块装饰板交接处开坡口与内侧纵向加劲肋焊接,焊后将焊缝打磨平整,使2块装饰板形成直线型棱角。

拱肋装饰示意图见图12。

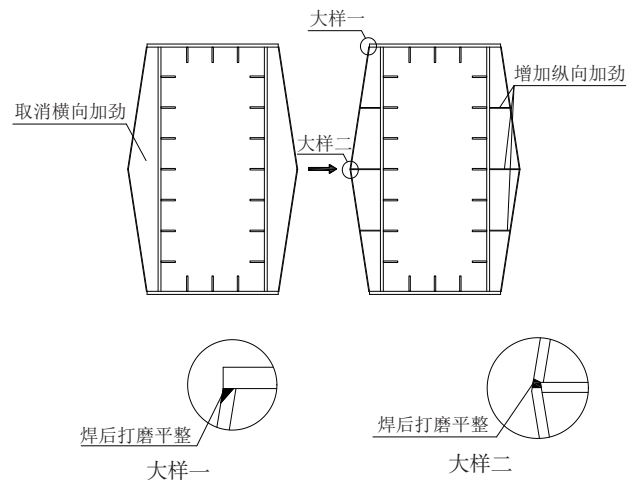


图12 拱肋装饰示意图

## 7 桥位架设技术研究

受汛期和运输条件限制,桥位若采用原钢箱梁+

拱肋整体拖拉施工方案将无法保证项目整体施工工期,且存在较大的汛期安全风险。为保证项目的顺利开展,对原施工方案进行了优化调整。分析得知,影响整体拖拉施工的主要因素是施工工期和运输条件。经过充分研究后,决定采用梁拱分离式拖拉施工方案。此方案可以在保证工期的前提下,避开不利的运输条件和汛期安全风险。

**梁拱分离式拖拉施工方案:**将标准段9段钢箱梁块体汽运至桥址岸边拼装胎架上进行组焊,水中铺设支架和滑道,采用连续千斤顶拖拉系统将9段梁和拱肋下层支架拖拉至水中支架上;标准段钢箱梁完成定位后,采用浮吊进行拱脚和拱肋原位吊装<sup>[8]</sup>。全桥安装完毕成型后,进行吊索张拉等工作。在汛期来临之前,完成水中支架拆除工作。具体施工流程为:

(1)桥位施工场地硬化。场地硬度满足要求后,搭设足够刚度的拼装胎架,胎架设置高程调节构件,用于调整每个块体的线形变化。

(2)在岸边胎架上拼装钢箱梁,与此同时搭设水中支架。箱梁块体总体拼装时,应保证组装精度和端口拼装匹配尺寸。

(3)标准段钢箱梁拼装完成后,搭设足够刚度的下层拱肋拼装支架。支架设置高程调节构件,用于调整每个块体的线形变化。

(4)采用连续千斤顶拖拉系统,通过滑块、滑道将标准段钢箱梁和拱肋拼装支架拖拉到位。

(5)采用浮吊吊装梁拱结合段M1、M2至拼装支架上,完成拱肋支座安装。

(6)拱肋节段船运至桥址后,用浮吊依次吊装至拼装支架并进行焊接。

(7)依次安装顶部拱肋和合龙段,最终拱肋整体成型。

(8)最后依次安装拱肋吊杆,张拉拉索,拆除拱肋支架。安装拱肋吊杆时,需精确调控好吊杆角度<sup>[9]</sup>。

(9)在汛期来临前,拆除水中支架。

桥位现场实际成桥图见图13。



图13 桥位现场实际成桥图

## 8 结 语

本文以南京承天大道跨外秦淮湾大桥为工程背景,完成了复杂空间异型扭曲系杆拱桥制造和架设技术研究。本研究有效指导了该项目杆件、节段的模块化制造,其外形尺寸、安装精度、制造线形完全符合制造规范要求,保证了该桥的制造质量以及桥位架设精度,成为了复杂空间异型扭曲系杆拱桥制作的示范,完善了该类型钢结构桥梁的技术指标,为其他复杂空间异型扭曲钢箱系杆拱桥的制造、架设提供了技术依据。

### 参考文献:

- [1] 胡广瑞.大型公路钢箱梁整体拼装制造线形和尺寸的控制[J]. 钢结构,2006(5):74-75.
- [2] 张广谭.钢拱桥拼装施工关键技术研究[J]. 铁道建筑技术,2018(12):73-76.
- [3] Q/CR 9211—2015,铁路钢桥制造规范[S].
- [4] 刘志雄,石立鹏.芜湖长江公铁大桥钢梁制造技术[J]. 现代工业经济和信息化,2018(16):131-134.
- [5] 张佳第.钢箱梁制造工艺及焊接质量控制研究[J]. 中国设备工程,2021(6):84-85.
- [6] 郭劲光.对大跨度市政钢拱桥施工及关键过程管控研究[J]. 城市建设理论研究,2018(32):44-45.
- [7] 曹勤涛.下承式钢箱提篮系杆拱桥拱肋施工关键技术研究[J]. 建筑机械,2022(561):36-40.
- [8] 易有森,樊少彻.港珠澳大桥青州航道桥钢箱梁施工关键技术[J]. 桥梁建设,2021(3):138-144.
- [9] 阳发金.基于网状吊杆体系的大跨度钢拱桥拱肋方案优化研究[J]. 建筑技术开发,2020(21):112-113.