

文章编号: 1674—8247(2022)02—0104—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.02.021

大跨度斜拉桥钢箱桁梁架设关键技术研究

郭星亮

(中铁三局集团有限公司, 太原 030001)

摘要:商合杭铁路裕溪河特大桥主桥为(60+120+324+120+60)m双塔钢箱桁梁斜拉桥,是目前国内350km/h高速铁路最大跨度的钢箱桁梁斜拉桥,施工技术难度极大。本文针对钢箱桁梁的结构特点,根据桥址现场施工条件,通过方案比选,首次提出了“边跨顶推、中跨悬拼、跨中合龙、钢箱梁与钢桁梁同步安装、塔梁同步”的钢箱桁梁架设技术;研制了具有“竖向起吊、纵向倒运”功能的经济型桥面吊机;提出了“激光跟踪、纵向调位、中线精调、标高调位”的测量定位方法,实现了钢箱桁梁的快速精确测量定位。实践证明,本文提出的钢箱桁梁架设关键技术合理,可为大跨度钢箱桁梁及类似梁型的架设施工提供借鉴。

关键词:大跨度;斜拉桥;钢箱桁梁;架桥机;架设;测量

中图分类号:U445.46

文献标志码:A

Study on Key Technology for the Erection of Steel Box Truss Girder of Long-span Cable-stayed Bridge

GUO Xingliang

(China Railway No.3 Engineering Group Co., Ltd., Taiyuan 030001, China)

Abstract: The main bridge of the Yuxi River Super Major Bridge of Shangqiu-Hefei-Hangzhou High-speed Railway, (60+120+324+120+60)m in length, is a cable-stayed bridge of steel box truss girder with two towers. It is the cable-stayed bridge of steel box truss girder of the maximum span for 350 km/h high-speed railway in China at present, and the construction technology is extremely difficult. According to the structural characteristics of steel box truss girder and the site construction conditions of the bridge site, this paper proposes the erection technology of steel box truss girder for the first time through the comparison and selection of schemes, which includes the incremental launching of side and auxiliary spans, mid-span cantilever splicing, mid-span closure, synchronous installation of steel box girder and steel truss girder, and synchronous installation of tower girder; an economical bridge crane with the function of "vertical lifting and longitudinal reversing" was developed; the measurement and positioning method of "laser tracking, longitudinal position adjustment, centerline fine adjustment, and elevation adjustment" is put forward, and the rapid and accurate measurement and positioning of steel box truss girder are realized. The practice has proved that the key technology of steel box truss girder erection proposed in this paper is reasonable, which can provide a reference for the erection of large-span steel box truss girders and similar girder types.

Key words: large span; cable-stayed bridge; steel box truss girder; girder-erecting machine; erection; measurement

收稿日期:2021-07-06

作者简介:郭星亮(1983-),男,高级工程师。

引文格式:郭星亮.大跨度斜拉桥钢箱桁梁架设关键技术研究[J].高速铁路技术,2022,13(2):104-108.

GUO Xingliang. Study on Key Technology for the Erection of Steel Box Truss Girder of Long-span Cable-stayed Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2):104-108.

1 工程概况

商合杭铁路裕溪河特大桥主桥为(60+120+324+120+60) m的双塔钢箱桁梁斜拉桥,是目前国内时速350 km高速铁路最大跨度的钢箱桁梁斜拉桥,施工技术

难度极大。主塔采用“H”型索塔,塔底以上索塔高为123.00 m,桥面以上塔高105.801 m;斜拉索为平行钢丝拉索、空间双索面,每塔两侧共13条对索,桥址处地势较为平坦,两个主塔墩均位于裕溪河大坝外侧,主桥立面示意如图1所示。

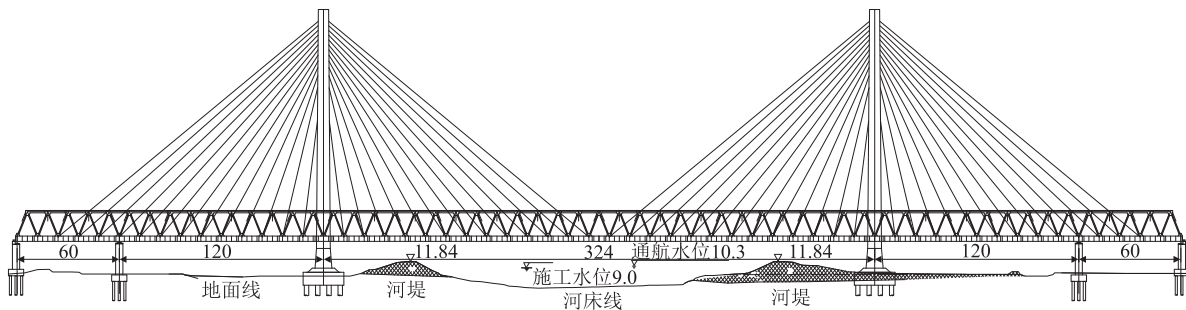


图1 裕溪河主桥立面示意图(m)

主梁钢箱梁桁梁结构,由主桁和钢箱组成,断面示意如图2所示。主桁采用两片平行布置的华伦式桁架,横向间距14.0 m,桁高12.0 m,节间长12.0 m;下弦钢箱梁采用带风嘴的单箱七室截面,为正交异性板结构,梁高2.5 m,梁顶板宽17.64 m。

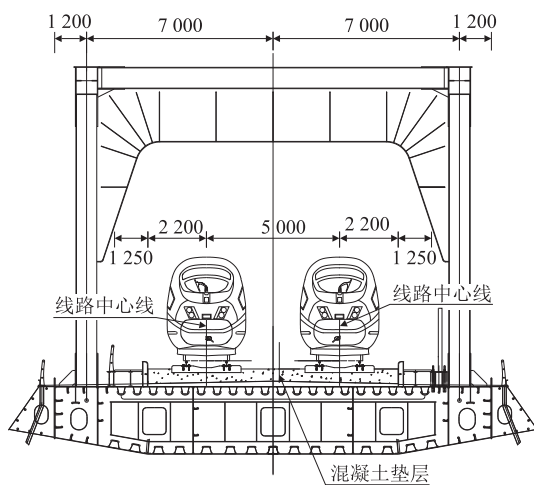


图2 钢箱桁梁断面示意图(mm)

2 钢箱桁梁架设难点

斜拉桥主梁为箱桁组合结构,结构新颖,为同类桥梁中首次采用,可借鉴的施工经验较少。架设难点主要有:

(1) 合理架设方案选择难度大

目前,双塔五跨钢桁梁斜拉桥通常采用对称悬臂架设法施工^[1],具有先塔后梁、中期塔梁同步、后期有多个合龙口等特点,施工速度较慢,因此寻找一种又快又好的钢箱桁梁架设方法是一大难点。

(2) 经济型钢箱桁梁架桥机研发难度大

根据主梁结构特点,可采用“桥面吊机+桅杆吊机”、“回转吊机”等方式进行架设,吊机的成本较高且架设工序复杂,因此,研制一种适用本桥钢箱桁梁架设的经济型架梁吊机是另一大难点。

(3) 架设中变形协调控制难

钢桁梁安装的节点允许误差为2 mm。斜拉索挂索后,各个节段钢箱梁会产生压缩变形,将对上部钢桁梁的安装产生影响。钢箱梁合龙后再安装钢桁梁,此时,钢箱梁已产生纵向变形而钢桁梁无变形。钢箱梁与钢桁梁间存在纵向变形差,当两者纵向变形差超过2 mm时,钢桁梁杆件的安装存在较大困难。

3 钢箱桁梁架设方案比选

针对钢箱桁梁的结构特点,架设可采用两种工法。

(1) 工法一:钢箱梁全部架设完后再架设钢桁梁。该工法具有运输吊装方便、高空作业量小、钢桁梁多作业面拼装、进度快等优点,但因钢桁梁安装于合龙后的钢箱梁上,节点对接对变形较为敏感,调索较为频繁。

(2) 工法二:架设若干节间钢箱梁后待有作业空间再架设钢桁梁。该工法具有钢箱梁与钢桁梁变形协调、钢桁梁安装方便、调索工作量小等优点,但因钢箱梁与钢桁梁同时安装,需研制经济型架桥机,且斜拉索展索较麻烦,作业较为复杂。

为确保后期钢箱桁梁线形及受力状态符合设计要求,对比两种工法的优缺点,建议采用工法二。结合现场地形地貌、钢箱桁梁运输、拼装吊机选型、钢箱与钢桁的变形协调等因素,工法二可采用两种方案实现。

(1)对称悬臂拼装方案(方案一):主塔、辅助墩、边墩施工完成后,在塔旁支架上安装5个节间钢箱桁梁,挂设两侧1对斜拉索后,两侧对称安装桥面吊机,对称悬臂架设钢箱梁至辅(边)墩墩旁支架的钢箱桁合龙口处,利用桥面吊机完成辅(边)跨的钢箱合龙,继续架设中跨钢箱梁直至合龙,整个架设过程中滞后1个节间挂设1对斜拉索及安装钢桁梁。

(2)边跨顶推、中跨单向悬臂拼装方案(方案二):主塔(或施工至一定节段)、辅助墩、边墩施工完成后,安装拼装平台、顶推支架及顶推设备,利用浮吊安装前导梁及3个节间钢箱桁梁,安装桥面吊机吊装钢箱桁梁,向边跨侧顶推24个节间后,单向悬臂架设中跨钢箱桁梁直至合龙,钢箱桁梁悬拼至一定位置后挂设斜拉索,顶推和单向悬拼过程钢桁梁安装同步或滞后少量节间。

从技术可行性、施工成本、施工工期等方面对方案一和方案二进行比选,结果如表1所示。

针对斜拉桥施工环境、地理位置和设计要求,经方案比选,最终确定方案二为钢箱桁梁最终的架设方案:边辅跨顶推,中跨悬拼,跨中合龙,钢箱梁与钢桁梁同

表1 钢箱桁梁架设方案比选表

| 名称 | 方案一 | 方案二 |
|-------|---|---|
| 技术可行性 | 钢箱桁梁在固定厂制造,陆地运输受限;水运至现场需增设码头、临时存梁场;运输设备及吊装设备需特殊制造,安全风险大 | 水上运输至拼装平台处,利用桥面吊机拼装钢箱桁梁,安全风险较小 |
| 施工成本 | 临时墩支架8个,钢梁存放场地8亩,存梁支墩40个,码头2处 | 临时墩支架14个,施工优化减少2处码头,设置钢梁拼装场1处,减少了临时存放场地和周转费用 |
| 施工工期 | 在主塔施工完成第18节段开始钢梁的架设,工期滞后 | 在主塔第7节完成后具备钢箱桁梁架设施工条件,较方案一钢箱桁梁架设工期提前了101d,并实现了塔梁同步施工,缩短了斜拉桥整体工期 |

步安装,塔梁同步。边跨钢桁梁同钢箱梁同步拼装顶推到位,然后单向悬臂继续同步拼装钢桁梁及钢箱梁,同时挂设斜拉索结构,直至钢箱桁梁合龙。

4 钢箱桁梁架设关键技术

4.1 顶推支架结构

顶推支架由拼装平台支架和临时支墩两部分组成^[2],纵向示意如图3所示。

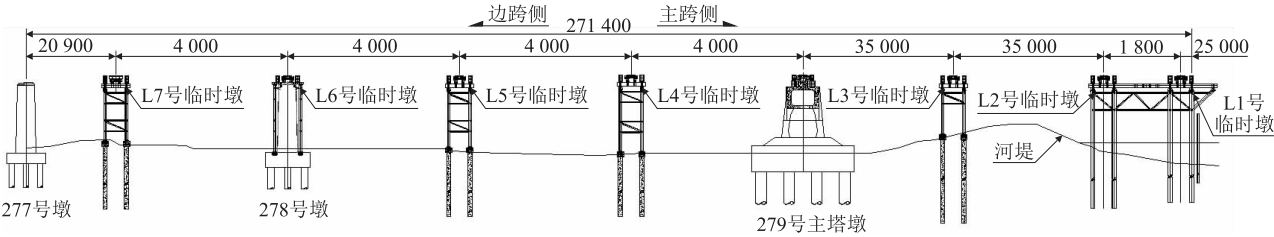


图3 顶推支架纵向示意图(mm)

拼装平台支架为钢管立柱结构,长30m,宽10.6m,纵向为4排钢管立柱,间距为5.0m、13.0m、5.0m,横向为4排钢管立柱,间距均为3.0m,立柱型号为 $\phi 1\,000\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 钢管,其顶部依次设3I63b、3HN900 $\times 300$ 分配梁。临时支墩为钢管立柱结构,纵向为间距5.0m的2排钢管立柱,横向设4排立柱,间距为2.6m、3.4m、2.6m,立柱型号为 $\phi 630\text{ mm}\times 16\text{ mm}$ 钢管,其顶部依次设3I63b、3HN900 $\times 300$ 分配梁。

钢箱梁架设过程中,结构所受荷载为钢梁及导梁自重、架梁吊机自重和吊重、横桥向风荷载。钢箱梁截面较小,风载对钢箱梁顶推与架设受力影响很小,可忽略不计。整个钢箱梁按静力学计算,不考虑钢箱梁所受顶推力及摩阻力^[3-4]。

根据步履式顶推千斤顶的工作情况,对钢箱桁梁顶推施工进行有限元模拟分析,以各临时墩受力最不利为原则,得出钢箱桁梁顶推施工过程的各控制工况

如表2所示。

表2 墩顶最不利受力结果表

| 工况 | 反力/kN | 内容 | 备注 |
|-----|-------|------------------------------|-------------|
| 工况一 | - | 浮吊拼装NA15号~NA13号箱梁及导梁,并拼装架梁吊机 | 拼装平台托架受力最不利 |
| 工况二 | 6 940 | 架设完NA11号钢箱梁,并往边跨整体顶推12 m | L2号临时墩受力最不利 |
| 工况三 | 6 760 | 架设NA9号钢箱梁 | L1号临时墩受力最不利 |
| 工况四 | 9 180 | 架设NA8号钢箱梁 | L3号临时墩受力最不利 |
| 工况五 | 8 900 | 架设完NA5号钢箱梁,并往边跨整体顶推6 m | 279号墩受力最不利 |
| 工况六 | 9 560 | 架设完NA2号钢箱梁,并往边跨整体顶推6 m | L4号临时墩受力最不利 |
| 工况七 | 9 540 | 架设完NJ2号钢箱梁,并往边跨整体顶推6 m | L5号临时墩受力最不利 |
| 工况八 | 9 540 | 架设完NJ5号钢箱梁,并往边跨整体顶推10 m | L6号临时墩受力最不利 |
| 工况九 | 8 000 | 架设完NJ8号钢箱梁,并往边跨整体顶推6 m | L7号临时墩受力最不利 |

将表2计算所得的最不利反力施加于顶推支架结,有限元模拟计算结果表明:拼装平台分配梁受到的最大正应力为176 MPa(Q345材质),最大剪应力59 MPa,钢管立柱考虑稳定后的最大组合应力为100 MPa;临时支墩分配梁受到的最大正应力为154 MPa(Q345材质),最大剪应力58 MPa,钢管立柱考虑稳定后的最大组合应力为99 MPa。顶推支架结构受力满足要求。

4.2 架桥机研制

4.2.1 传统架桥机实现方案

在钢桁梁桥悬臂拼装的基础上,钢箱桁梁可采用“回转吊机”“桥面吊机+桅杆吊机”进行架设:(1)将回转吊机安装在钢桁梁上弦杆顶面,沿线路方向左右各旋转90°能满足架设线路左右侧钢梁杆件的要求,考虑经济效益和利用现有设备的原则,根据架设要求,拼装吊机可采用半回转体系(旋转180°)或全回转体系(旋转360°);(2)在桥面板位置设置1个桥面架梁吊机,同时在桁架上方设置1个小吨位的桅杆吊机,实现桥面板、钢桁梁的同步架设。

4.2.2 经济型钢箱桁梁架桥机

针对“回转吊机”“桥面吊机+桅杆吊机”成本较高、架设工序复杂等缺点,围绕本桥钢箱桁梁的特点,从竖向起吊、纵向倒运等方面展开架桥机的研究。

(1) 设计原则

架梁吊机的设计吊重为230 t,能起吊主梁标准节段长度为8 m、9 m、10 m、11 m、12 m的钢箱梁,能满足从水面运输船上起吊钢箱梁、钢桁梁的高度,能架设相邻钢箱梁节段并完成钢桁梁主桁和平联杆件的倒运作业。

(2) BL230 桥面吊机

桥面吊机主要由机架金属结构、吊具纵横移机构、吊具、轨道及前移机构、起升机构、锚固支撑系统、双电葫芦辅助起重系统、液压系统、司机室、电气系统等组成。采用单机双吊点抬吊施工工法,将钢箱梁节段安全准确地提升至桥面,并依靠吊具纵横移机构和吊具调平机构的配合进行对位和拼接。此外桥面吊机配有1套双电葫芦辅助起重系统,用于倒运钢桁梁主桁和平联杆件。BL230桥面吊机纵向及横向示意如图4所示。

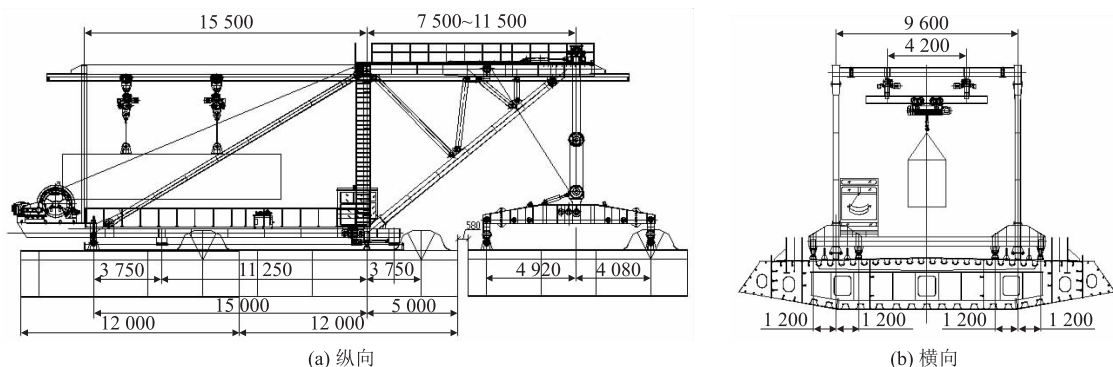


图4 BL230桥面吊机示意图(cm)

4.3 钢箱桁梁架设技术

4.3.1 顶推施工技术

1~24节间钢箱梁采用顶推架设方案,首先由浮吊架设起始3个节间钢箱梁,并安装边跨方向的导梁,然后在安装完成的钢箱梁上拼装230 t桥面吊机,后续钢箱梁节段由桥面吊机从运梁船上直接起吊拼装,每拼装完1个节间钢箱梁,整体向边跨方向顶推1个节间。边跨钢梁顶推作业过程中,为保证各个临时墩受力满足设计要求,纵桥向各个支点的各组顶推器及垫座间的高差应控制在1 cm以内,单个支点横桥向两组顶推器及垫座间的高差应控制在2 mm以内^[5-6]。

4.3.2 单向悬拼技术

NJ9-NJ13、NJH钢梁采用悬臂架设方案,边跨钢箱梁顶推到位后,对称挂设边跨和主跨已安装完成钢箱

梁的斜拉索^[7-10],同时利用桥面吊机单悬臂架设主跨下1节间钢箱梁。其步骤为:

(1)运输船到达指定位置并定位后,根据待吊梁段的重心位置,将桥面吊机滑车调整到指定位置。

(2)桥面吊机空钩下放,检查吊具各插销位置是否适合该节间重心位置,调整平油缸长度,吊具与待起吊的节段插销连接,解除待吊梁段四周锚绳,整体提升10 cm,调平后整体起升到钢梁平面准备进行精确对位。

(3)整节段钢箱梁起吊至已架设钢箱梁平齐时,停止起升,利用顶部油缸向后纵移吊点,使钢梁节段端部靠近已架设钢梁的节点前端。微调起升装置和吊点横移装置,使钢梁节段端部与已架钢梁节点前端准确对位,检查并开始钢箱梁接口焊接,焊接完成并探伤合

格后,桥面吊机松钩,整节段钢桁梁安装完成。

(4)钢桁梁杆件通过桥面吊机提升至桥面,双电葫芦辅助起重系统倒运钢桁梁主桁和平联杆件,通过运梁车运输至待架位置,由50 t汽车吊滞后钢桁梁3个节间进行架设,钢桁梁安装顺序:先安装斜腹杆,形成正三角结构,再安装上弦杆,然后安装平联撑杆,最后整体安装平联斜杆。

4.3.3 钢桁梁精确对位测量技术

利用“激光跟踪、纵向调位、中线精调、标高调位”的测量定位方法,实现钢桁梁的精确测量定位,步骤如下:(1)全站仪立在混凝土梁端,利用激光朝向正在吊装的梁段中线3点来控制中轴线,将中轴线粗调至2 cm误差以内;(2)利用桥面吊机的伸缩功能调整前后距离(顺桥向),即下弦节间栓孔间距12 m;(3)精调待吊装梁段中轴线至设计要求,用少量码板固定前后左右防止错位;(4)将待吊装梁段测点全部调整至设计标高;(5)检查轴线、孔距、标高是否符合设计要求,合格后即可开始从梁面、腹板、底板开始码板固定。

5 结束语

本文以商合杭铁路裕溪河特大桥钢桁梁架设为工程实例,针对钢桁梁的架设难点,通过对钢箱与钢桁架架设协调性对比、顶推支架结构设计、经济型钢桁梁架桥机研制、钢桁梁节段精确对位测量等关键技术的研究,高质量完成了大跨度斜拉桥钢桁梁的架设,得出主要结论如下:

(1)针对钢桁梁的结构特点,根据桥址现场施工条件,首次提出了“边辅跨顶推、中跨悬拼、跨中合龙、钢箱梁与钢桁梁同步安装、塔梁同步”的钢桁梁架设技术,可为同类斜拉桥主梁的架设提供参考。

(2)针对“回转吊机”“桥面吊机+桅杆吊机”成本较高、架设工序复杂等缺点,围绕本桥钢桁梁的特点,研制了具有“竖向起吊、纵向倒运”等功能的经济型架桥机。

(3)提出了“激光跟踪、纵向调位、中线精调、标高调位”的测量定位方法,实现了钢桁梁的快速精确测量定位。

参考文献:

[1] 刘宏刚,张海华,甘一鸣. BIM技术在新白沙沱长江大桥钢梁架设中的应用[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 39-45.
LIU Honggang, ZHANG Haihua, GAN Yiming. Application of BIM

Technology in Erection of Steel Girder of New Baishaotuo Yangtze River Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 39-45.

[2] 梁崇双. 公铁两用三主桁连续钢桁梁顶推施工新技术[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(3): 41-47.
LIANG Chongshuang. The New Incremental Launching Construction Craftsmanship of Continuous Steel Truss Girder with Three Main Trusses for both Highway and Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(3): 41-47.

[3] 徐胜利,丁广,张宏健. 既有铁路客站新建高架连廊顶推施工技术[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(6): 44-48.
XU Shengli, DING Guang, ZHANG Hongjian. Incremental Launching Construction Technology for New Elevated Corridor of Existing Railway Passenger Station[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 44-48.

[4] 姜松,吴芳,江湧,等. 大吨位钢桁梁步履式顶推滑移施工力学行为分析[J]. 桥梁建设, 2021, 51(1): 66-73.
LOU Song, WU Fang, JIANG Yong, et al. Mechanical Analysis of Walking-Type Incremental Launching and Sliding Construction of Large Tonnage Steel Truss Girder[J]. Bridge Construction, 2021, 51(1): 66-73.

[5] Q/CR 9603-2015 高速铁路桥涵工程施工技术规程[S].
Q/CR 9603-2015 Technical Specification for Construction of High Speed Railway Bridge and Culvert Engineering[S].

[6] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
XIANG Haifan. Advanced Theory of Bridge Structures[M]. Beijing: China Communications Press, 2001.

[7] 赵干明,李海民. 双塔钢桁梁斜拉桥斜拉索安装施工技术[J]. 工程建设与设计, 2020(3): 239-240.
ZHAO Ganming, LI Haimin. Cable Installation and Construction Technology of Steel Box Truss Girder Cable-Stayed Bridge with Twin Towers[J]. Construction & Design for Engineering, 2020(3): 239-240.

[8] 董云鹏. 双塔钢桁梁斜拉桥斜拉索安装关键技术[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(5): 37-40.
DONG Yunpeng. The Technology of Stay Cables Erection for Twin Towers Steel Box Truss Girder Cable-Stayed Bridge[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(5): 37-40.

[9] 王金. 斜拉桥钢桁梁过主塔悬拼施工技术[J]. 高速铁路技术, 2012, 3(3): 74-77.
WANG Jin. Construction Technology for Steel Truss Girder of Stayed-Cable Bridge Crossing Main Tower by Cantilevered Assembling[J]. High Speed Railway Technology, 2012, 3(3): 74-77.

[10] 赵新宇. 石济客专济南黄河公铁两用桥主桥钢桁梁架设方案研究[J]. 铁道建筑, 2016, 56(8): 10-13.
ZHAO Xinyu. Study on Erection Plan of Main Bridge's Steel Truss Girder of Jinan Yellow River Highway and Railway Shared Bridge on Shijiazhuang-Jinan Passenger Dedicated Railway[J]. Railway Engineering, 2016, 56(8): 10-13.