

下承式单拱斜跨空间索面钢箱拱桥施工技术

张志

(中铁十八局集团建筑安装工程有限公司, 天津 300308)

摘要: 下承式单拱斜跨空间索面钢箱拱桥的外形美观、跨越能力强, 但其单拱空中旋转的特殊结构, 导致施工的难度更大。结合克兰河大桥工程实例, 在常规下承式钢箱拱桥施工的基础上, 于钢管支架体系中加入斜支撑、立柱等临时支撑结构, 在提高支撑效果的同时, 也减少了钢材的使用。另外, 为保证施工稳定性, 工程还通过有限元模型软件 Midas/Civil 模拟单拱进行内力分析, 在主梁 $1/4L$ 和主梁 $3/4L$ 变形与位移最大的位置设置风缆, 增强单拱的稳定性。结果显示, 经过采用以上施工, 提前 20 d 完成了施工, 且节约大约 30 t 钢材, 钢箱拱合龙施工顺利, 单拱线形符合设计, 工程施工稳定, 有效验证了此种施工技术的经济合理性, 具有显著的应用价值。

关键词: 下承式钢箱拱桥; 单拱斜跨; 施工; 钢管支架; 临时支撑

中图分类号: U443.3

文献标识码: A

Construction Technology of Steel Box Arch Bridge with Single Arch under Bearing Diagonal Span Space Cable Plane

ZHANG Zhi

(Construction and Installation Engineering Co., Ltd. of China Railway 18th Bureau Group, Tianjin 300308, China)

Abstract: The steel box arch bridge with single arch under bearing diagonal span space cable plane is beautiful in appearance and strong in span, but the special structure of the single arch rotating in the air makes the construction more difficult. According to Kelan River Bridge project, on the basis of the construction of conventional steel box arch bridge, temporary supporting structures such as inclined supports and columns are added to the steel pipe support system, which can improve the supporting effect and reduce the use of steel. In addition, in order to ensure the stability of the construction, the project also simulated the internal force analysis of the single arch through the finite element model software Midas/Civil, and set the wind cable at the position of the main beam $1/4L$ and the main beam $3/4L$ with the greatest deformation and displacement, to enhance the stability of the single arch. The results show that after the above construction, the construction period is completed 20 days ahead of schedule, and about 30 t of steel is saved. The steel box arch closing construction is smooth, the single arch line is in line with the design, and the project construction is stable, which effectively verifies the economic rationality of this construction technology and has significant application value.

Key words: bottom-bearing steel box arch bridge; single arch inclined span; construction; steel pipe support; temporary support

下承式钢箱拱桥的造型美观且跨越能力强^[1], 近年来在全国大范围使用, 克兰河大桥就是采用此种结构的跨河大桥。克兰河大桥采用了

独特的单拱 15° 空中扭转斜跨结构, 形成一扭转面, 造型更美观, 但施工难度也更大。这就需要在施工过程中采取有效的支撑结构, 保证施工的

收稿日期: 2023-05-15

作者简介: 张志, 助理工程师, 大专, 研究方向为桥梁工程施工

安全性。为此本工程对钢管支撑结构加以创新，加入了立柱、斜支撑、风缆等临时支撑结构，可满足钢管支架的横桥向稳定性，节省了成本、缩短了工期，也能起到有效的支撑效果。

1 工程概况

克兰河大桥位于新疆阿勒泰地区，设计为下承式单拱斜跨钢箱拱加现浇砼连续梁组合体系桥梁。主梁为 35 + 40 + 35（m）现浇砼连续箱梁，钢拱设计为一孔单拱斜跨钢箱拱，由 13 对吊杆连接砼连续梁组成共同受力体系。桥轴线与拱轴线夹角 15°，钢箱拱设计跨径 155.242 m，矢跨比 1/4，矢高 40 m，钢箱设计为 2.5 m × 2.5 m 等截面空腹拱（见图 1）。钢拱施工方案为桥上搭设支架法，分节段汽车吊车安装。全桥共分 19 个节段，节段长 8 ~ 12 m，节段重 28 ~ 43 t，最大安装高度 35 m。



图 1 克兰河大桥单拱斜跨扭转结构图

本工程安装高度大，需要加入支架结构来辅助施工，但是因场地限制，施工现场较窄，给支架结构的选择带来了一定难度^[2]。如果选择碗扣

件支架，要想提升支撑性能，以满足本工程的特殊结构，就需要加宽处理，但是工程场地比较窄，限制了碗扣件支架的应用，故本工程采用钢管柱支架。和碗扣件支架相比，此种支架体系占地面积较小。为增强其稳定性，避免过多钢管柱的使用，本工程对常规的钢管支架体系进行创新，加设斜支撑、立柱、风缆等临时支撑结构。

2 支架体系

工段采用钢管支架体系，选择直径为 426 mm 的钢管，3 × 3 m 为 1 组，共设置 16 组，每组通过 16 号的工字钢进行连接，每 6 m 为一层；再通过直径 219 mm 的钢管进行横向连接，从而使各支架组件形成一个完整的支架体系。为增强稳定性，避免过多钢管柱的使用，本工程对常规的钢管支架体系进行创新，在支架的底部大约 9 m 以内的位置设置斜撑，还在 5#、5' 与 8#、8' 的支架两端分别设置附加立柱，增设立柱的高度大约是支架整体的 2/3，另外还设置 4 个风缆。结构立面图和平面图见图 2、图 3。

3 受力及位移监测

由于工程的拱肋结构比较特殊，为一个扭曲的结构，为提高安全性，在施工前先对单拱的受力情况进行模拟分析，找到在自重以及风荷载的作用下最大的受力位置，并在此设置风缆，从而提升其稳定性。通过有限元模型软件 Midas/Civil 对拱肋的受力情况进行模拟分析。本工程拱肋的受力结构比较特殊，先通过全站仪对各点位置进行精确放样，测点分别设置在拱顶、跨中、支点、主梁 1/4L、主梁 3/4L、拱肋 1/4L（西侧）、

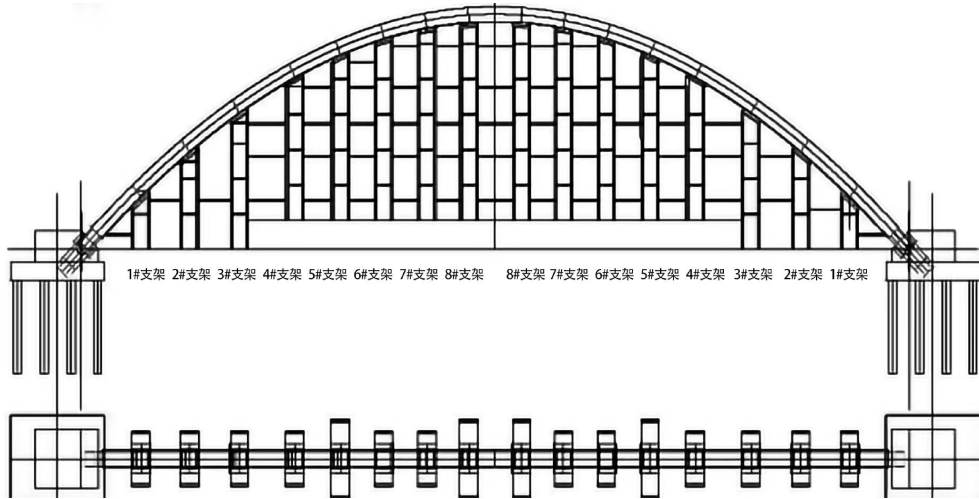


图 2 钢管柱支架体系结构立面图

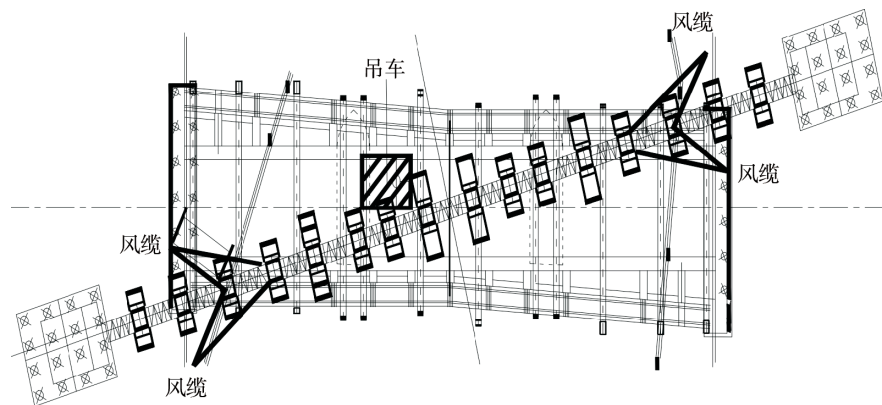


图3 钢管柱支架体系结构平面图

拱肋 $1/4L$ （东侧）等处，均在拱肋的外侧，并在拱肋的底板处布设智能弦式数码应变计进行表面应变测量，用综合测试仪监测应力、位移、温度等，模拟拆架状态下的单拱受力状态，位移实测值与模拟计算理论值见图4与表1、表2。

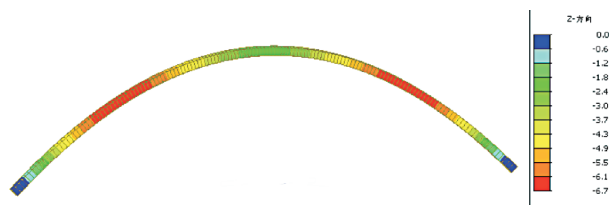


图4 单拱在自重和风荷载影像下各点的位移模拟情况

表1 主梁位移监测结果与实测值

测点位移/mm	理论值/mm	实测值/mm
跨中（一、二、三跨）	3.5	2.5
1/4L	2.5	1
3/4L	2.5	1
支点位置	3.5	2.5

表2 拱肋位移监测结果与实测值

测点位移（位移增量）/mm	理论值/mm	实测值/mm
拱肋 1/4L 处（西侧）	6.2	5
拱肋 1/4L 处（东侧）	6.2	5
拱顶	2.4	1

根据模拟结果可以看出，主梁 $1/4L$ 和主梁 $3/4L$ 的位置在自重和风荷载的影响下会出现较大位移。为此，本工程在这两点各设置一个缆风绳，从而提升其稳定性，避免偏离实际位置。

4 钢箱拱桥施工

4.1 钢锚箱的预埋施工

在混凝土拱座之中预埋钢锚箱，利用竖向的预应力束来有效固定拱座。在施工时先在其顶板的位置安装拱脚段，准确定位、焊接牢固。首先

将定位支架安装到承台之上，之后再将钢锚箱安装到拱座上^[3]。在安装过程中要控制钢锚箱的平面位置、水平度、高程等，不要出现位置偏差。

4.2 拱脚安装定位

拱脚段是钢箱拱安装施工的首要环节，要做好定位为后续准确安装打好基础。因为场地的限制，拱脚段尽可能使用小节段的形式，也更容易有效定位^[4]。在所填充的混凝土表面位置安装拱脚，在第一道的横板上方约 300 mm 处设置一个分段线，使分段线和拱轴线呈正交，其最高处高度 6.5 m。拱脚段的内倾面以及两侧面位置各焊接反力牛腿，用牛腿作为定位及调节的装置^[5]。此外，通过千斤顶固定支撑在牛腿以及钢锚箱的顶面（见图5），结合实测结果进行调节，使高程和轴线位置最大程度控制在设计值内，偏差不能超过 ± 5 mm，最后通过定位焊对拱脚段进行固定，加入环焊缝以及加劲板增强固定效果。

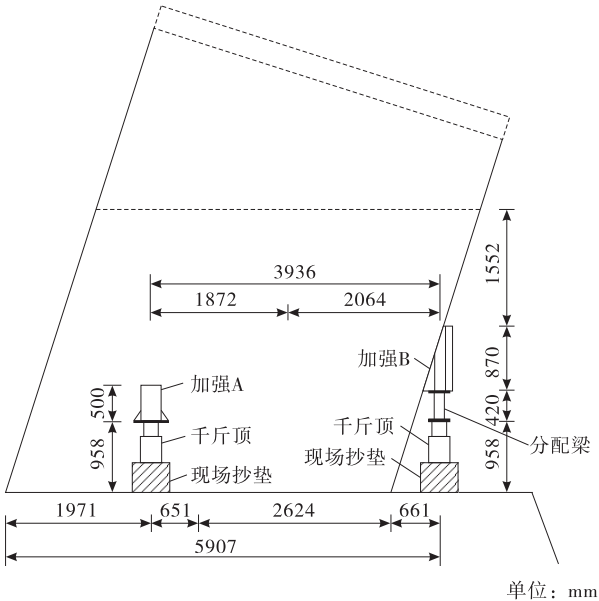


图5 拱脚段定位示意图

4.3 钢箱拱节段安装

4.3.1 吊装布置

钢箱拱采用分段式安装,按照大节段、少支架的施工原则,减少支架的搭设,节段采用高空吊装、焊接固定。钢箱拱各节段在异地加工厂制作完成后送到现场。拱脚段尽量是小节段,其他部分以大节段为主^[6]。吊装设备采用大型履带吊机。本工程的双拱为扭转形态,每个节段的平面位置、角度、高度以及空中姿态都存在较大差异,因此在安装每个节段时都必须仔细调整安装位置、站位、起吊高度和旋转方向等,调节吊机臂杆,控制各节段呈现和设计相符的空中姿态^[7]。大型履带吊机对地基的承载力有一定要求,而本工程当地为湿陷性黄土,因此必须先对吊机站位部分的地基进行加固,通过换填、夯实等操作,提高地基的承载力,再按照设计位置进行吊装。吊具为钢丝绳,以钨金套将节段连接起来。每节段钢箱拱取4个主吊点,通过4个钢丝绳,分别设置2个上吊点及2个下吊点,此外根据吊装的实际情况,设置数量不等的辅助吊点。为保证吊装施工快速定位连接,各节段的后端和前一节前端通过螺杆和螺栓固定连接。

4.3.2 钢箱拱安装

利用挂梯攀登到节段顶面,利用吊绳和套接件与钢箱梁的吊点相连。起吊前于节段的底口张拉2条缆风绳。通过履带吊机匀速将吊臂吊起,使钢箱拱节段起升、翻身。完成翻身操作后,先静停3~5 min,使吊机结构的受力均衡,再进行起吊。将钢箱拱上升到安装位置1~2 m的高度,再水平旋转吊臂杆,使节段朝着安装的部位移动,接近安装位置后,调整履带吊机的水平幅度,从而更加靠近对接安装的位置。位于高空作业平台的施工人员可以通过拽拉牵引缆风绳将节段的安装对接位置对好。节段的位置对准后,在信号员的指挥下操作履带吊机逐渐下放、松钩,将吊装节段的底口插入上一段的导向牛腿中^[8]。当吊装的节段底口和上一段顶部接近、对好位置后,高空操作平台的施工人员打入冲钉,使结构截面有效定位,之后立即将螺栓、螺钉通过加力扳手拧紧固定,直到前后两个节段紧密、牢固对接。固定对接后,钢箱拱节段顶部的吊点逐渐松钩,再通过焊接确保前后两个节段稳定相接后,才可以完全松钩。松钩后对安装位置、角度进行复查,确认无误后,再吊装下一个节段,

直到全部安装完成。

4.3.3 钢箱拱合龙

测量两侧的钢箱拱悬臂端,包括轴线偏差、相对高差、偏位、截面扭转等,确保各项偏差都在10 mm内,截面扭转不超过1',就可进行合龙施工。合龙选择在清晨或夜间进行,利用吊机、人工等将两端对接、螺杆螺栓固定后,通过环焊缝焊接进行固定^[9]。最后拆除支架结构,从拱顶部位开始向两侧对称将钢管支架拆除。

5 结语

克兰河大桥在传统下承式钢箱拱桥梁的基础上进行了外观改造,采用了单拱15°空中扭转斜跨结构,造型更美观但施工难度更大,支撑要求也更高。对此,本工程于钢管支架体系中加入斜支撑、立柱等临时支撑结构,在提高支撑效果的同时,也减少了钢材的使用。另外,为保证施工稳定性,在主梁1/4L、主梁3/4L变形和位移最大的位置设置风缆,增强单拱的稳定性。采用此施工方法起到了理想的施工效果,还节省了30 t钢材成本,缩短了20 d工期。

参考文献:

- [1]赖钦亮.汕头市濠江区某下承式钢箱提篮拱桥顶推施工安全与控制分析[J]. 工程技术研究,2022,7(5): 64-66.
- [2]周广腾.下承式钢箱拱桥缆索吊装施工过程有限元分析[J]. 安徽建筑,2021,28(9):203-205.
- [3]刘定坤,周广东,郑秋怡,等.大跨下承式钢箱系杆拱桥温度变形规律研究[J]. 河南科学,2021,39(4): 604-612.
- [4]杨洋,张浩.下承式钢箱系杆拱桥结构设计分析——以合肥市创新大道桥为例[J]. 安徽建筑,2021,28(11): 162-164.
- [5]梁清泉.先梁后拱下承式钢箱系杆拱桥静动力分析及施工监控研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2020.
- [6]高杨.下承式钢箱系杆拱桥缆索吊系统设计与施工关键技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2018.
- [7]牟键超.竖向地震对下承式钢箱拱桥拱肋截面荷载影响的建模分析[J]. 科技通报,2019,35(7): 191-194,199.
- [8]许旭卯.下承式拱桥索力调整对桥面线形的影响[J]. 浙江建筑,2018,35(7):20-23.
- [9]丁庆洋.单拱肋下承式连续梁拱组合桥边中跨比及极限跨径研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2021.