

跨运河大跨度双层钢桁拱桥安装施工技术研究

赵泽华, 李维强

[中铁山桥(南通)有限公司, 江苏 南通 226000]

摘要: 跨运河钢桁架拱桥由于结构刚度大、跨越能力强,且具有较好的城市景观效应,未来修建跨运河大跨度双层钢桁架拱桥具有较好的应用前景。为了进一步研究大跨度双层钢桁架拱桥的施工技术,以余杭运河大桥主桥为工程研究背景,建立了主桥的有限元三维模型,分析典型工况下的受力情况,详细介绍了双层钢桁架拱桥的结构特点,并对大桥的安装施工方法进行比较判别,最终选择了大跨度双层钢桁架拱桥支架法+跨中浮吊起重结合的安装施工方法。结果表明:依托桥梁为空间桁架结构,具有良好的刚度和强度,计算结果满足规范要求,主梁合龙后可拆除主梁的临时支架,可有效降低支架受力,便于水中支架拔除,节约成本。

关键词: 公路桥梁;钢桁架拱桥;大跨度;支架法;浮吊起重;安装施工

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)04-0180-05

Research on Erection and Construction Technology of Long-span Double-layer Steel Truss Arch Bridge Spanning Canal

ZHAO Zehua, LI Weiqiang

[China Railway Shanqiao (Nantong) Co., Ltd., Nantong 226000, China]

Abstract: Due to its high structural stiffness, strong spanning capacity and good urban landscape effect, the steel truss arch bridge spanning canal has a good prospect for future construction of long-span double-layer steel truss arch bridges spanning canal. In order to further study the construction technology of long-span double-layer steel truss arch bridge, taking the main bridge of Yuhang Canal Bridge as the engineering research background, a finite element three-dimensional model of the main bridge is established to analyze the stress situation under the typical working conditions. The structural characteristics of double-layer steel truss arch bridge are introduced in detail, and the erection and construction methods of the bridge are compared and judged. Finally, the erection and construction method of long-span double-layer steel truss arch bridge combined with mid-span floating crane is selected. The results show that as a spatial truss structure, the bridge has good stiffness and strength, and the calculation results meet the requirements of the specifications. After the main girder is closed, the temporary support of the main girder can be removed, which can effectively reduce the stress on the support, facilitate the removal of the underwater support, and save costs.

Keywords: highway bridge; steel truss arch bridge; long span; support method; floating crane; erection and construction

0 引言

钢桁架拱桥具有良好的承载能力和结构刚度,跨越能力强,是大跨度桥梁的主要桥型之一^[1],同时也是跨越内河航道的合理结构形式。大跨度钢桁架拱桥常用的施工方法主要有分段支架安装法、缆索吊装施工法、顶推施工法等,对于内河航道地区的钢桁架拱桥采用“先梁后拱,分段吊装”的施工方法居

多^[2-4]。钢桁架拱桥建造过程中,受力安全是保证顺利成桥的关键因素。桥梁结构施工过程中的内力 and 变形是由各个施工阶段叠加而成^[5-6],不同的施工方法会影响结构内力,众多学者主要通过有限元计算的方法对桥梁结构在施工过程中的受力和变形情况进行分析^[7-8]。随着结构体系的创新优化和施工技术的进步,钢桁架拱桥结构设计也开始往大跨度、超宽幅的方向发展,同时也更加强调降低施工过程对环境的影响。钢桁架拱桥的施工过程比较复杂,不同的施工过程对结构内力影响较大,双层钢桁架拱桥采用支架法施工时^[9-10],一般顺序为搭设主梁支架,进行主梁安装,在主梁桥面上搭设拱肋支架,采用吊机完成拱肋的合龙,最后拆除所有支架装,这种

收稿日期: 2025-01-13

作者简介: 赵泽华(1994—),女,硕士,工程师,从事桥梁钢结构制造安装工作。

通信作者: 李维强(1994—),男,硕士,工程师,从事桥梁钢结构制造安装工作。电子邮箱: 1607098457@qq.com

施工方法安全可靠,但会导致支架使用时间较长,特别是水中墩的施工,长时间留置水中极易导致后期拔除困难,甚至无法拔除,造成材料浪费。本文以余杭区东西大道运河大桥(下文简称余杭桥)双层钢桁架拱桥为工程背景,对大桥安装的施工方法进行比较判别,最后通过建立有限元三维模型并对过程中典型工况进行受力分析,提出跨运河双层钢桁架拱桥的安装施工新方法。

1 工程概况

余杭桥为双层钢桁架拱桥,桁架节点板采用 Q370qD,其余构件均为 Q345qD。主桥采用 3 跨连续支撑的下承桁架式梁拱组合结构,跨径布置为 69 m+162 m+69 m=300 m(见图 1)。横桥向布置两片主桁,主桁包含上下弦杆、腹杆,采用整体节点,桁架为三角桁式,制造采用以直代曲的方式。上下弦杆断面为矩形,高 2 m,宽 1.5 m。标准斜腹杆为矩形,横桥向为 1.5 m,顺桥向为 1.23 m。主桁间距为 32.5 m,中心桁高为 9.5 m,节间距为 9 m。

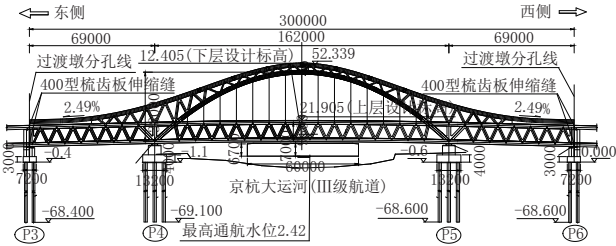


图 1 桥型立面图(单位:mm)

该桥梁采用双层桥面,上层为双向 6 车道的城市快速路,标准断面宽 38 m,下层为地面双向 6 车道+非机动车道+人行道,跨中断面宽度最大为 55 m(见图 2)。上下层桥面道路中心线处均设置 R=3 450 m 的竖曲线,车行道桥面横坡为 2%。横桥向设两片主拱,主拱由上下两根拱肋组成的桁拱体系,采用三角桁式,杆件均采用焊接连接,拱肋矢高 38 m,矢跨比为 1/4.26。

桁架杆件之间采用整体节点板,节点板为主要传力板件。所有杆件的对齐方式均采用内表面对齐,并采用全焊接的连接方式。

2 安装施工方法

2.1 安装方法比选

大跨度钢桁架拱桥常用的安装施工方法主要包括缆索吊装施工法^[11]、顶推施工法^[12]、支架安装法。从满足工期要求、保证施工成本、符合结构特征、安

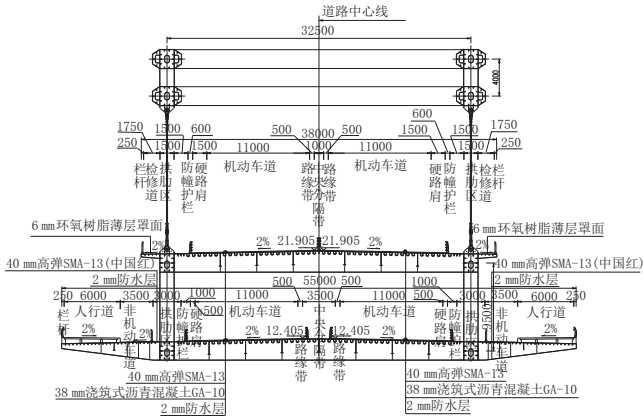


图 2 桥型断面图(单位:mm)

全性能为出发点,同时结合余杭桥结构及特点,拟对这 3 种安装方法进行对比,对比情况如表 1 所列。

表 1 安装施工方法对比情况

安装施工方法	优点	缺点
缆索吊装施工法	临时支架较少,通航影响小,施工精度高,水平运输和垂直运输机动灵活	吊装技术要求大,吊装设备多,索塔需要占用引桥施工区域,影响整体工期,高空作业多
顶推施工法	不需要大型吊装设备,通航影响小,施工质量易控制,结构整体性好	成本较高,需要占用引桥施工区域,影响整体工期,需要大量支架材料
支架安装法	成本较低,施工工艺简便,杆件安装难度较小,线形容易控制	支架材料较多,吊装作业较多,施工周期长,水中支架对通航影响较大

根据表 1 可知,3 种方法均存在一定的缺点,因此选择合适的安装方法尤为重要。根据该桥址实际情况,综合考虑安全、质量、进度、成本各方面因素,经过筛选、排除、优化,最终确定安装施工方法的总体模式为:采用支架+浮吊法配合安装钢桁梁,并采用“先梁后拱”的施工顺序,边跨岸上采用 400 t 履带吊安装^[13-14],水上采用 610 t 浮吊安装跨中段。此方法可以降低水中支架的数量,避免在运河中打钢管灌注桩,便于水中临时支架拔除,且中跨主桁和拱肋在厂内拼装成桁片,由运输船运到桥位,浮吊起吊^[15],减少高空焊接作业,缩短施工工期,有效降低成本,且不占用引桥的施工区域。

2.2 安装施工方法

主桁安装区域分为边跨和中跨两部分,边跨由履带吊直接于地面吊装,中跨由浮吊进行吊装。桥面系结构安装全部采用履带吊安装。主桁及拱肋的节段吊装划分如图 3 所示。划分后边跨、中跨及拱肋最大节段重量分别为 A9A10(138.3 t)、Z2Z3Z4(282.9 t)、A2A3(206.5 t)。

采用履带吊安装边跨主桁及桥面系,由 4#墩、5#

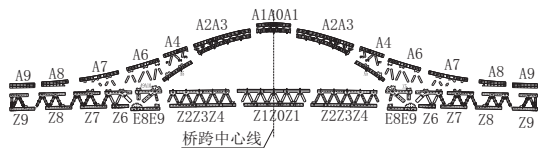


图3 主桁及拱肋的节段吊装划分

墩向各自边跨方向拼装,安装顺序为主桁→下层桥面系→上层桥面系。再采用浮吊安装中跨区域主桁直至合龙,此时将水中临时支架与主桁脱空,从中跨向边跨方向陆续拆除水中及岸上临时支架。将履带吊转移到上层桥面安装中跨桥面系,由4#墩、5#墩向跨中方向安装,直至合龙。合龙后安装边跨挑臂单元。

主桥中跨主桁Z2Z3Z4及合龙段Z1Z0Z1为较大节段,施工过程中需设置预拱度,制造及安装线形由监控单位通过建模计算提供,桥梁预拱度设置严格

按监控单位提供的数据进行加工制造及安装,根据支架预压数据调整安装节段标高,节段落位后,采用码板临时固定,并实时进行测量,保证桥梁线型符合要求。

主梁安装完成后,在桥面上搭设钢管临时支架,拱肋支架设计避开横撑及吊索部位以防影响安装。拱肋安装分为两部分,一部分为履带吊陆地吊装,从边跨杆件A9开始,使用两台履带吊同步从两边向跨中顺次进行对称安装,直至拱肋桁片A4安装完成;另一部分为浮吊水上安装,拱肋跨中片体采用一台浮吊进行安装,直至合龙段A1A0A1安装完成,过程中横撑与拱肋同步安装,拱肋合龙后安装中跨挑臂单元并拆除拱肋支架。钢桁梁安装施工过程如图4各图所示。

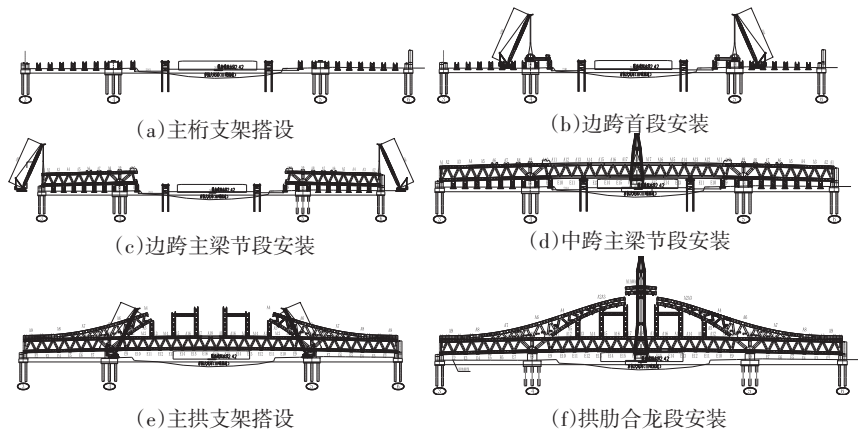


图4 钢桁梁安装施工过程

2.3 安装过程中典型工况受力分析

采用桥梁专用分析软件 MIDAS Civil 软件建立空间有限元施工全过程模型,如图5所示,对结构受力进行分析计算。在分析模型中,采用梁单元模拟拱肋、主桁架、小纵梁、副横梁、临时支架体系等;采用板单元模拟正交异性桥面板及外挑人行道桥面板。分析模型充分考虑了施工过程中,桥梁各部分结构刚度的模拟和各种荷载的作用过程。临时支架材料参数如表2所列,力学参数如表3所列。通过对施工全过程的模拟,可以得到在施工过程中钢构件的应力最大值变化情况及结构的变形情况。

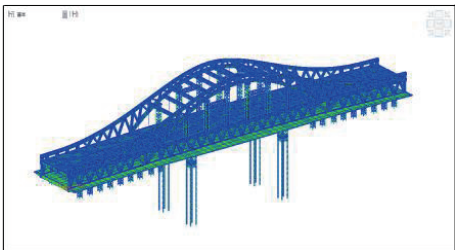


图5 钢桁架拱桥施工全过程有限元模型

表2 临时支架材料参数表

部位	名称	材质	规格型号/mm
岸上临时墩	钢管立柱	Q235	φ478×8
	平联	Q235	L100×10角钢
	横梁	Q345	2HN700×300型钢
水中临时墩	钢管桩	Q235	φ820×10
	平联	Q235	φ273×6.5钢管
	横梁	Q345	2HN700×300型钢
拱肋临时支架	钢管立柱	Q235	φ478×8
	平联	Q235	L100×10角钢
	横梁	Q235	2HN700×300型钢

表3 力学参数表

材质	容许组合应力允许最大值/MPa
Q235	145
Q345	210

容许组合应力作为主要控制参数需满足表3要求,变形量作为辅助参数用来调整预拱度的设置,典型工况计算结果如图6至图11所示,其中临时支架受力最大工况如图10所示。

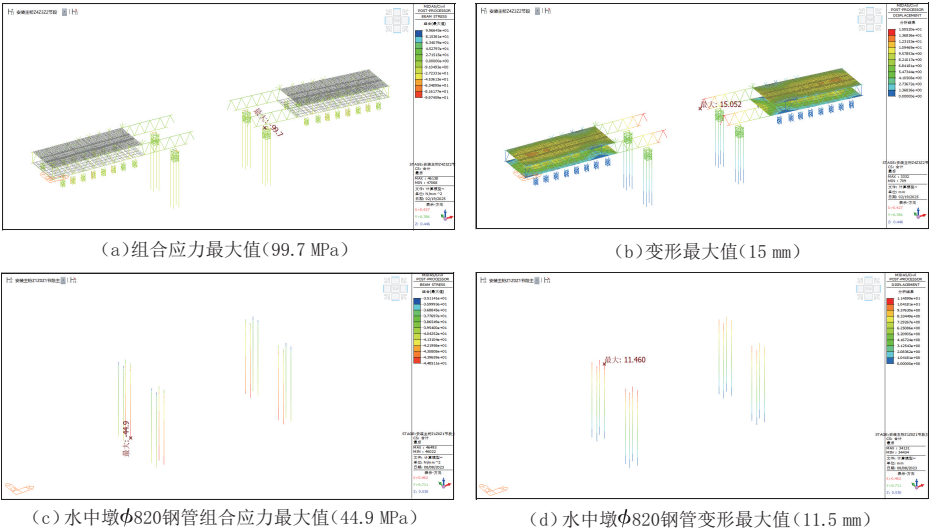


图6 安装主桁Z4Z3Z2节段(主桁合龙前)

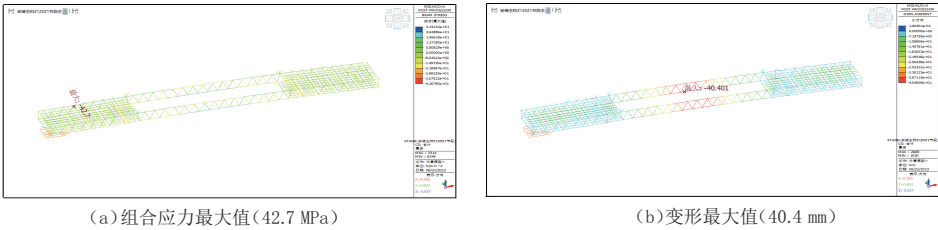


图7 安装主桁Z1Z0Z1节段(主桁片合龙)

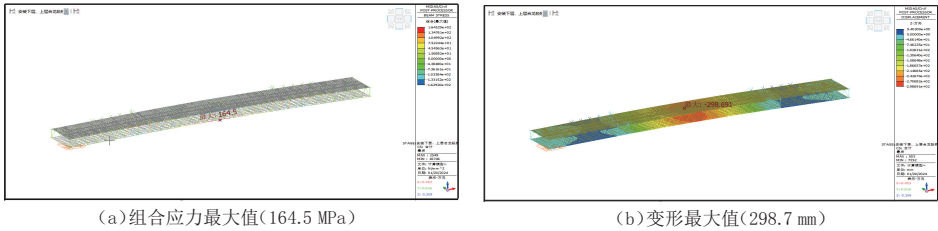


图8 安装主桁Z0桥面(桥面合龙)

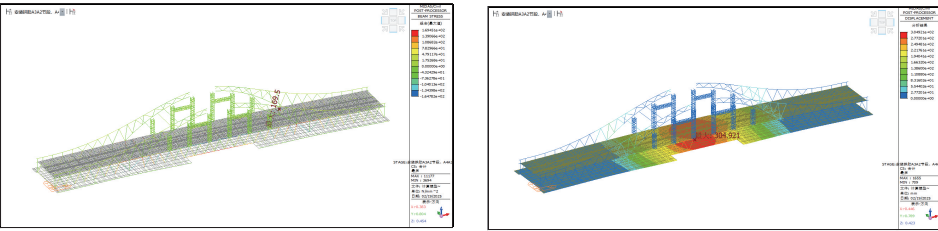


图9 吊装拱肋A3A2节段(拱肋合龙前)

根据对施工全过程分析,主体结构和临时支架在拱肋合龙时组合应力均达到最大值,分别为175.1 MPa和53.1 MPa,对应位置分别为中跨下弦杆和临时支架顶部。综上,在钢桁架拱桥在施工过程中,主体结构及临时支架应力值均满足表3参数要求,也表明了主梁合龙后,拆除主梁临时结构的施工方法是可行的,通过梁体自身刚度承载拱肋吊装过程中的荷载,对管桩竖向承载力要求小,可减小临时结构受力,同时减少水中管桩在土壤中的停留时间,基于以上两点,能够保证水中管桩顺利拔出,避免材料浪费,同时减小对河道的影响。

3 结 语

以余杭桥为工程研究背景,结合现场情况,对大跨度钢桁架拱桥安装施工方法进行比选,确定了支架法+浮吊起重结合的安装施工方法,同时建立了有限元三维模型,对典型工况进行分析。

(1)对施工全过程的受力状态进行了系统分析,在施工过程中主桥结构受力性能合理,安全度较高,钢桁架拱桥在成桥阶段的应力和变形量均满足相关受力要求。

(2)提供了钢桁架拱桥支架法+浮吊安装施工的

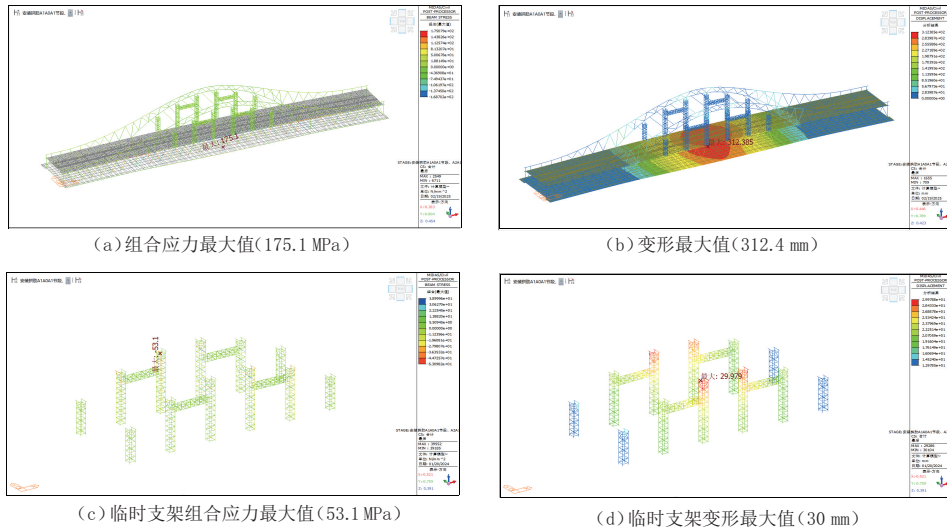


图10 安装拱肋A1A0合龙段(拱肋合龙)

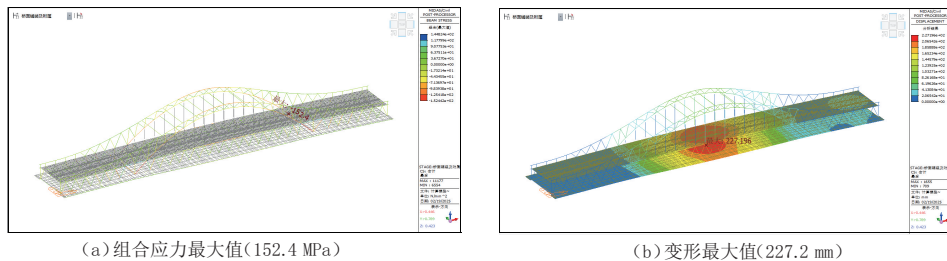


图11 成桥状态

新思路,同时打破以往常规全桥合龙后拆除临时结构的固有思维,对类似桥梁特别是跨江河双层钢桁架拱桥提供了参考,具有一定的经济效益。

参考文献:

- [1] 刘洋. 对大跨度钢桁架拱桥施工技术及质量控制研究[J]. 四川水泥, 2017(5): 81.
- [2] 任煌. 钢桁架拱桥整体顶推施工技术[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(13): 42-44.
- [3] 霍伟松. 大跨度钢桁拱桥施工方法的探讨[J]. 交通世界(建养·机械), 2013(12): 185-187.
- [4] 余林, 雍家林, 王亚萍, 等. 铁路钢管混凝土系杆拱桥施工过程监控及受力性能分析[J]. 国防交通工程与技术, 2020(1): 19-24.
- [5] 易泽翰. 悬臂施工大跨连续梁桥施工至成桥全过程受力性能分析及设计[J]. 城市道桥与防洪, 2013(2): 57-60.
- [6] 江湧, 姜爱国. 带箱内斜撑矮塔斜拉桥施工过程受力性能分析[J]. 桥梁建设, 2013(2): 51-57.
- [7] 王建勋, 马朋朋. 大跨度钢桁架拱桥施工过程受力性能分析[J]. 公路, 2022, 67(10): 204-209.
- [8] 杨远明, 周鲜明, 邓赟. 重庆朝天门长江特大桥钢桁拱变形监测及变形分析[J]. 测绘通报, 2024(增刊2): 86-89; 106.
- [9] 梁胡, 陶小磊, 胡立楷. 钢箱拱桥原位拼装临时支撑系统施工技术研究[J]. 西部交通科技, 2021(4): 169-174.
- [10] 胡立楷, 蒋昌盛, 张坤球. 钢箱拱桥复合支架原位拼装施工关键技术研究[J]. 西部交通科技, 2024(4): 166-168.
- [11] 齐晓峰, 申铁军. 大跨径桥梁缆索吊系统安装施工技术[J]. 交通科技与管理, 2024, 5(22): 117-119.
- [12] 潘晓蒙, 谭攀静, 刘会超. 临时墩在大跨度钢拱桥整体顶推施工中的应用[J]. 建筑结构, 2021, 51(增刊1): 2374-2376.
- [13] 吴承武. 大跨度钢桁架拱桥施工技术及质量控制分析[J]. 企业科技与发展, 2022(1): 110-112.
- [14] 周仁忠, 康学云, 唐震, 等. 大跨公铁两用钢桁拱桥边跨施工关键技术[J]. 世界桥梁, 2024, 52(5): 30-36.
- [15] 张庆森. 大跨度钢箱拱桥拱肋安装控制技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(11): 121-123.