

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2024.06.003

跨长深高速公路特大桥连续梁钢管拱施工技术研究

胥宁宁

(中铁十八局集团 第四工程有限公司, 天津 300350)

摘要: 已有跨长深高速公路特大桥连续梁钢管拱施工技术存在加固结构性能不足的问题, 导致加固结构在应对桥梁复杂受力情况时表现出较低承载能力和抗变形能力, 桥梁在长期使用过程中出现变形、裂缝等。因此, 以某公路桥梁工程为例, 设计了跨长深高速公路特大桥连续梁钢管拱施工技术。首先, 准备施工材料、调试施工设备并清理施工现场; 然后, 进行钢管拱脚预埋, 包括钢管切割、固定、钢管柱支撑及支撑板加固; 其次, 确定吊装点, 用起重机完成钢管拱吊装与合龙施工; 再次, 按照配合比制备混凝土并灌注。施工完成后, 进行后期维护与处理。工程实例应用结果表明, 该施工技术的水平位移和竖向位移量符合设计标准。

关键词: 跨长深高速公路; 桥梁工程; 大桥连续梁; 钢管拱施工; 施工技术

中图分类号: U448.22⁺5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2024)06-0016-05

引文格式: 胥宁宁. 跨长深高速公路特大桥连续梁钢管拱施工技术研究 [J]. 湖南工业大学学报, 2024, 38(6): 16-20.

Research on the Construction Technology of Continuous Beam Steel Pipe Arch for the Super Large Bridge Across the Changshen Expressway

XU Ningning

(China Railway 18th Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Tianjin 300350, China)

Abstract: In view of the problem of insufficient reinforcement structural performance found in the construction technology of steel pipe arches for continuous beams of super large bridges spanning Changsha-Shenzhen highways, which results in a lower bearing capacity and deformation resistance of the reinforcement structure when dealing with complex stress situations of the bridge, as well as the deformation, cracks, and other issues experienced by the bridge during its long-term use, taking a certain highway bridge project as an example, the construction technology has been designed of continuous beam steel pipe arch for a super large bridge spanning Changsha-Shenzhen highways. Firstly, construction materials are prepared, construction equipment is debugged and the construction site is cleaned up; Secondly, the lifting point is determined and the lifting is completed by using a crane and the construction of the steel pipe arch is closed; Thirdly, concrete is prepared and poured according to the mixture ratio. After the construction is completed, post-maintenance and treatment are carried out. The application results of an engineering examples show that the horizontal and vertical displacement of the construction technology meet the design standards.

Keywords: spanning Changsha-Shenzhen highway; bridge engineering; continuous bridge beam; steel pipe arch construction; construction technology

随着基础设施建设不断深入, 高速公路建设面临越来越多的挑战。在高速公路特大桥建设过程中, 由于自身特性, 其施工难度较大、技术要求较高。而连

续梁钢管拱桥作为特大桥的一种重要形式, 其自身承载力较强、稳定性能较好、强度较大, 且在实际应用中使用寿命较长, 应用在高速公路特大桥建设中能取

收稿日期: 2024-02-20

作者简介: 胥宁宁, 女, 中铁十八局集团第四工程有限公司助理工程师, 主要研究方向为高速公路, E-mail: ghjyku456@163.com

得较好效果。然而，因其施工工艺复杂，技术要求较高，已有施工技术中存在安全性较低、施工成本较高等问题，导致施工效果不佳。因此，开展连续梁钢管拱桥施工技术研究具重要现实意义。

许多学者针对钢管拱施工技术展开了研究^[1-5]。如杨小强^[1]提出在桥梁施工前先安装基础结构，再安装相应支撑结构和固定装置，随后进行混凝土浇筑和顶推施工，利用设备将桥梁推到设计位置，但其施工成本较高。陈彦发^[2]根据设计需求，先对钢管拱进行加工和制作，然后在施工现场安装钢管拱，再按照要求配制混凝土浇筑到钢管拱中，完工后对施工质量进行评估，但其施工时间较长。王猛^[3]提出先对施工现场进行清理，再根据施工要求安装相应钢支撑和固定装置，并在固定位置处安装模板和支撑架，按照配合比配制混凝土灌注，同时对连续梁进行悬臂拼装，并对梁体进行固定和连接，以保证施工质量。但施工结果表明其施工质量较差。

基于已有研究，本文对跨长深高速公路特大桥连续梁钢管拱施工技术进行设计：根据实际工程概况，先在施工现场进行施工准备，随后依次进行钢管拱脚预埋、钢管柱支撑安装、钢管拱肋吊装、钢管拱混凝土灌注和后期维护与保养等施工过程。本施工技术能完善连续梁钢管拱桥的施工理论和技术体系，为我国高速公路建设提供新的技术支持和指导^[4]，还可为其他类似桥梁施工提供借鉴和参考，为我国交通基础设施建设做贡献^[5]。

1 工程概况

某公路桥梁工程是一条以路网功能为主，兼顾城际功能的高速公路，是对综合交通运输走廊优化升级的骨干交通线路。该公路桥梁工程全长 1 500 m，宽 30 m，采用连续梁架构。该公路桥梁工程包括主桥和引桥两部分，主桥跨径组合为 40 m+60 m+40 m，采用预应力混凝土连续梁结构，桥面宽 25 m，双向四车道，设计时速为 60 km/h。引桥采用钢筋混凝土连续梁结构，跨径组合为 3×25 m，桥面宽 15 m，双向两车道，设计时速为 40 km/h。该公路桥梁工程的具体情况及周边环境如图 1 所示。



a) 工程施工现场



b) 公路局部



c) 立交桥下的公路



d) 城市立交桥

图 1 某公路桥梁工程的实际情况

Fig. 1 Actual situation of a highway bridge project

施工中使用的主要机械设备见表 1。

表 1 施工中的主要机械设备

Table 1 Main mechanical equipment in the construction

设备名称	规格型号	数量 / (台或套)	额定功率 / kW	生产能力
正循环钻机	DZJ-1500	6	72	—
塔吊	—	6	—	25 t/次
预应力自动张拉系统	LJ-ZL01	6	2.5	—
混凝土输送泵	STY5120THBDFL	2	90	90 m ³ /h
挖掘机	CAT330	2	200	1.4 m ³ /次
装载机	ZL50	2	162	3.0 m ³ /次
起重机	—	5	100	—

施工过程中，需要采购相应的施工材料，部分施工材料^[6]如表 2 所示。

表 2 施工材料

Table 2 Construction materials

序号	施工材料	型号	采购数量
1	框架柱	250 mm×250 mm	6 732 t
2	框架梁	350 mm×175 mm	2 887 t
5	连接板	500 mm×400 mm×120 mm	3 112 t
6	地脚锚栓	M16	96 套
7	高强螺栓	4M20	350 套
8	镀锌压型板	YX-51-240-720	396 m ²
9	钢筋	Φ10 以下	35 206 t
10		Φ10 以上	2 345 kg
11	粗砂	—	52.36 m ³
12	沥青砂	—	0.321 t
13	中砂	—	6 235.4 m ³
14	混砂	—	1 520.2 m ³

2 施工技术设计

2.1 施工准备

施工前需根据现场施工的实际设计相应施工方案，并采购相应材料，租赁或安装对应施工设备。同时，还需对施工现场进行清理^[7]。清理施工现场时，根据实际情况采用相关设备和施工材料，针对不同地质条件和污染情况，采取不同的清理方法和工艺，以保证清理效果。清理过程中，应注意保护现场环境，

避免对周边造成污染,且应对清理出的垃圾和废弃物进行分类处理和处置,确保对环境的影响最小化。此外,施工开始前还需对施工设备进行调试,保证其在施工过程中能正常使用^[8]。

施工准备中应对表 1 中多个施工设备,如正循环钻机、塔吊、预应力自动张拉系统、混凝土输送泵、挖掘机、装载机、起重机等进行调试,以保证施工设备能正常使用。若调试过程中存在设备无法正常启动或在运行过程中出现问题的,需及时更换和修理。

2.2 钢管拱脚预埋施工

钢管拱脚预埋施工中,需先根据设计要求,使用切割机将钢管切割成所需形状和尺寸,并对切割后的钢管进行校正和加工,以确保其符合设计要求和质量标准。此外,还需对加工好的钢管进行检验和验收,确保其质量和数量达到要求。预埋钢管前需对其进行防腐处理,如涂刷防锈漆等^[9]。然后根据设计要求确定钢板安装位置和高度,并用焊机将钢管固定在指定位置。图 2 为钢管拱脚预埋示意图。

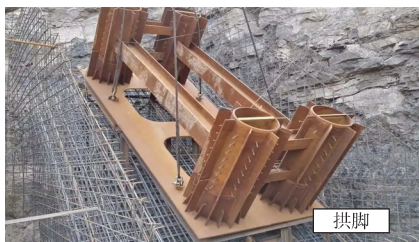


图 2 钢管拱脚预埋施工示意图

Fig. 2 Schematic diagram of steel pipe arch foot pre-embedding construction

在钢管拱脚预埋施工中,使用焊机将钢管焊接在一起,以确保其稳定性和承重能力。钢管焊接过程中的焊接工艺至关重要,应确保焊缝质量良好,避免出现焊接不牢固、焊缝不均匀等问题。焊接完成后,还需进行质量验收和数量核对,即对焊接好的钢管进行外观检查和尺寸测量,以验证焊接质量是否符合标准要求,确保接头强度和耐久性,同时,还需核对钢管数量和规格,以确保与设计一致。验收合格后,利用螺丝刀等工具对钢管拱脚进行固定以确保钢管拱脚在后续使用过程中不会出现移位或变形,从而保证整个桥梁结构的稳定性和承载能力。

2.3 钢管柱支撑安装施工

在钢管柱支撑安装施工时,考虑该工程为公路桥梁工程,公路两旁存在河流,无法直接锚固,在施工过程中,也就无法直接将钢管柱的支撑固定在公路的连续梁上。因此,进行加固时,需先加固钢管柱的底部,再安装钢管柱支撑^[10]。钢管柱支撑安装施工示意图如图 3 所示。在钢管柱支撑安装施工过程中,首先需根据设计要求确定钢管柱支撑位置和安装深

度,因为支撑的位置和深度直接影响支撑的稳定性和承载能力。然后,根据设计要求和现场实际情况选择合适规格的钢管和支撑板,确保其符合承载要求,并具有足够的抗压和抗弯能力。



图 3 钢管柱支撑安装施工示意图

Fig. 3 Schematic diagram of steel pipe column support installation construction

利用起重机将钢管精准地安装在基础上,并确保钢管的垂直度和稳定性。在已安装的钢管上安装支撑板,并确保支撑板的平整度。利用焊接设备将支撑板和钢管牢固连接,并保证焊接质量和接头强度^[11],以确保支撑结构的稳定性和安全性。接下来,在支撑板上安装加固件,使用螺栓将加固件与支撑板相连接,确保加固件牢固,以增强支撑结构的整体承载能力。最后,对安装好的钢管柱支撑进行全面检查和验收,确保安装效果符合设计要求,保证支撑结构安全可靠。

2.4 钢管拱肋吊装施工

在进行钢管拱肋吊装施工过程中,先将钢管拱肋利用塔吊吊到上桥面,再将运输车移动到需进行钢管拱肋安装位置处,进行吊装施工。完成吊装施工后,需要对其钢管拱肋进行合龙。钢管拱肋的吊装施工及合龙现场施工如图 4 所示。



a) 钢管拱肋吊装施工图



b) 钢管拱肋合龙施工图

图 4 钢管拱肋吊装及合龙施工现场图

Fig. 4 Construction drawing of steel pipe arch rib closure

钢管拱肋吊装施工中,应先确定钢管拱肋位置,再利用塔吊将支撑架安装在确定位置处,然后利用起

重机安装钢管拱肋,并将其放置在支撑架上。安装钢管拱肋时要根据钢管拱肋的形状和质量,选择合适吊点位置,且需缓慢、稳定地起吊,避免急速升降或突然转向等动作,确保吊装过程中不会对钢管拱肋造成损坏^[12]。钢管拱肋到达预定位置后,需进行水平校正和垂直校正,确保其与设计位置相符,并使用螺栓将钢管拱肋与支撑架连在一起,确保连接牢固。同时,在支撑架和钢管拱肋间安装加固件,如角钢、支撑杆等,并用螺栓将加固件与支撑架和钢管拱肋连接在一起,确保加固件安装牢固。最后,对加固后的支撑架进行检查和验收,确保其稳定性和承重能力。

完成钢管拱肋吊装后还要对质量检查符合设计标准的钢管拱肋进行合龙施工。施工前要确定合龙间隙和位置,使用起重机将需合龙钢管拱肋吊起并放置在支撑架上,从拱顶开始,逐步向拱脚推进。该过程中需不断调整拱肋位置和姿态,以保证合龙效果^[13]。

2.5 钢管拱混凝土灌注

在进行钢管拱混凝土灌注前,需先配制灌注用混凝土。本工程中使用的混凝土配制比见表3。

表3 混凝土配制比

Table 3 Concrete preparation ratio		kg/m ³		
混凝土强度	水泥	水	沙子	石子
C15	1.7	185	3.4	7.3
C20	2.1	185	3.2	6.2
C25	2.5	185	2.8	6.1
C30	3.2	185	2.5	5.9

按照表3配制混凝土,将不同强度混凝土应用在钢管拱施工技术的各环节中,以提高钢管拱安装强度和重量。完成混凝土配制后,即进行混凝土灌注。灌注过程中,利用混凝土输送泵将混凝土灌注到钢管拱肋中,灌注过程要缓慢且稳定,避免急速注入或突然转向等动作,以免对钢管拱肋造成损坏或失稳。同时,要时刻观察钢管拱肋状态和位置,确保其稳定性和安全性。在灌注过程中,需使用专门的测量设备和工具,对拱肋的位置和姿态进行监测和调整。混凝土灌注完成后,需进行养护和拆模工作。养护期间需定期浇水保湿,并采取其他必要措施,以防止混凝土开裂或变形。达到规定养护时间后进行拆模,拆模时需小心,避免对钢管拱肋造成损坏或失稳。

2.6 后期维护与保养

施工完成后需进行后期维护和保养。在钢管拱维护过程中需对其表面进行预处理,以提高涂层附着力和耐腐蚀性能。钢管拱使用期间需定期进行全面检查,包括结构完整性、焊缝质量、涂层老化等。检查频率取决于桥梁使用频率和当地自然环境条件。

钢管拱表面涂层是防止腐蚀的重要屏障,若有损坏或老化现象,应立即进行修复或重新涂装。涂层维护还包括定期清洁和防锈处理^[14]。施工完成后,还需定期检查工程排水、防水设施,如防水层、排水沟等,防止水对钢管拱产生不利影响。如发现结构缺陷或安全隐患,应采取适当加固措施,如增加支撑、加固焊缝等,或采用相关技术进行修复。

3 施工效果

按照上述施工顺序完成施工后,对其进行质量检测,并对其施工效果进行记录,其效果图见图5。



图5 某公路桥梁工程的竣工效果图

Fig. 5 Construction effect of a certain highway bridge project

如图5所示,竣工的某公路桥梁工程达到了设计要求,给附近的居民带来了极大便利,施工效果较好。为更加直观地展现本工程施工效果,施工结束后在某公路桥梁工程多个位置设置监测点,统计施工结束后多天不同监测点的水平位移和竖向位移量,判断其是否达到设计标准。随机选取5个监测点的监测结果进行统计,具体监测结果见表4。

表4 监测结果表

Table 4 Monitoring results table

位移	监测点				
	#01	#02	#03	#04	#05
水平位移/mm	1.2	1.3	1.5	1.8	1.1
竖向位移/mm	0.8	0.9	0.6	0.4	0.7

由表4可知各监测点水平位移最大为1.8 mm,竖向位移最大为0.9 mm,均符合设计标准。可见本工程施工效果较好,且对相关建筑行业有一定借鉴价值。

4 结语

本研究对某跨长深高速公路特大桥连续梁钢管

拱施工技术进行了探讨。通过对施工过程中的关键技术环节和后期维护处理分析,总结出一套有效施工方案和后期维护措施,其不仅保证了施工质量和安全性,还为桥梁长期使用和维护提供了强有力支持。

通过本研究,不仅能认识到钢管拱施工技术在桥梁建设中的重要性,且能得知先进的施工技术、严格的施工管理和有效的后期维护措施都是确保桥梁安全性和耐久性的关键因素。未来的工作中,将对该施工技术进行不断优化和改良,以期进一步促进我国基建行业的发展和进步。

参考文献:

- [1] 杨小强. 大跨径混凝土钢管拱桥梁顶推施工技术研究[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2022, 20(2): 10-13, 33.
YANG Xiaoqiang. A Study on Launching Construction Technology of Long-Span Concrete-Filled Steel Tubular Arch Bridge[J]. Journal of Guangdong Polytechnic of Water Resources and Electric Engineering, 2022, 20(2): 10-13, 33.
- [2] 陈彦发. 京杭运河特大桥钢管拱混凝土顶升灌注施工技术[J]. 工程技术研究, 2021, 6(18): 31-32.
CHEN Yanfa. Construction Technology of Concrete Jacking and Pouring for Steel Tube Arch of Beijing-Hangzhou Canal Bridge[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(18): 31-32.
- [3] 王 猛. 上跨既有大跨度悬臂连续梁施工技术研究[J]. 价值工程, 2023, 42(18): 108-111.
WANG Meng. Research on Construction Technology of Long Span Cantilever Continuous Beam over Existing Line[J]. Value Engineering, 2023, 42(18): 108-111.
- [4] 董宝成. 大跨度铁路桥梁连续梁挂篮施工技术研究[J]. 建筑机械化, 2023, 44(4): 52-54.
DONG Baocheng. Research on Construction Technology of Continuous Beam Hanging Basket of Long-Span Railway Bridge[J]. Construction Mechanization, 2023, 44(4): 52-54.
- [5] 李梦洁. 单联多跨度悬臂连续梁施工技术研究[J]. 价值工程, 2022, 41(36): 84-86.
LI Mengjie. Research on Construction Technology of Single Multi Span Cantilever Continuous Beam[J]. Value Engineering, 2022, 41(36): 84-86.
- [6] 王 雷. 大跨度铁路桥连续梁施工技术要点[J]. 四川建材, 2022, 48(6): 164-165.
WANG Lei. Key Points of Construction Technology for Continuous Beam of Long-Span Railway Bridge[J]. Sichuan Building Materials, 2022, 48(6): 164-165.
- [7] 姚 勇. 桥梁连续梁工程施工技术探讨: 以安庆市勇进路大桥为例[J]. 工程技术研究, 2021, 6(19): 96-97.
YAO Yong. Discussion on Construction Technology of Continuous Beam Bridge: Taking Yongjinlu Bridge in Anqing as an Example[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(19): 96-97.
- [8] 刘益锋. 高速铁路现浇道岔连续梁超长预应力束施工技术分析[J]. 工程与建设, 2022, 36(1): 175-176, 181.
LIU Yifeng. Construction Technology Analysis of Super-Long Prestressed Beam of Cast-in-Place Turnout Continuous Beam in High-Speed Railway[J]. Engineering and Construction, 2022, 36(1): 175-176, 181.
- [9] 周大勇. 基于预制胶接拼装法的高速铁路连续梁施工技术与传统施工技术对比[J]. 铁道建筑, 2021, 61(5): 35-37.
ZHOU Dayong. Comparison Between Construction Technology of High Speed Railway Continuous Beam Based on Prefabricated Glued Assembly Method and Traditional Construction Technology[J]. Railway Engineering, 2021, 61(5): 35-37.
- [10] 聂 磊. 高速铁路大跨度现浇连续梁施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2021, 19(3): 50-54.
NIE Lei. Construction Techniques for Large-Span Cast-in-Situ Continuous Beam for High Speed Railways[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2021, 19(3): 50-54.
- [11] 赵 欢. 大跨度铁路桥连续梁施工关键技术研究[J]. 工程技术研究, 2021, 6(7): 100-101.
ZHAO Huan. Research on Key Technologies of Continuous Beam Construction of Long-Span Railway Bridge[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(7): 100-101.
- [12] 袁梦阳. 高速铁路桥梁连续梁工程施工技术[J]. 工程技术研究, 2021, 6(6): 100-101.
YUAN Mengyang. Construction Technology of Continuous Beam Engineering of High-Speed Railway Bridge[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(6): 100-101.
- [13] 钟志彬. 特大桥梁悬臂现浇连续梁施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(5): 93-94.
ZHONG Zhibin. Construction Technology Analysis of Cantilever Cast-in-Place Continuous Beam of Extra-Large Bridge[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(5): 93-94.
- [14] 李 康, 陈诗泉, 王志金. 超大跨径全栓接钢管拱首节段精调施工技术[J]. 公路, 2023, 68(10): 57-61.
LI Kang, CHEN Shiquan, WANG Zhijin. Fine Adjustment Construction Technology of the First Segment of Super-Long Span Fully Bolted Steel Pipe Arch[J]. Highway, 2023, 68(10): 57-61.

(责任编辑: 廖友媛)