

钢管混凝土拱桥组合法施工技术

黄 锋 马 弢

中铁大桥局集团第二工程有限公司 江苏 南京 210000

摘 要：本文以某130m跨黄河大堤钢管混凝土拱桥施工技术作为研究背景，着眼受场地限制情况下节段拼装时拱桥施工方法，灵活应用杆件散拼、钢梁顶推、节段拼装等技术，制定因地制宜的施工方
 案，满足在既有道路通行的条件下完成拱桥钢结构安装。针对钢管混凝土拱桥管内混凝土压注工艺，提出了解决措施。希望通过本文论述后，能够给类似工程提供参考，从而推进桥梁工程项目事业的不断发展。

关键词：钢管混凝土；拱桥；组合法；顶推；压注技术

1 引言

在国民经济持续增长与交通强国战略深入推进的双重驱动下，我国桥梁工程建设规模持续扩大，结构创新与材料革新成为提升桥梁性能的关键突破口。而钢管混凝土是目前施工过程中的重要技术之一，钢管混凝土施工技术可以有效地提升施工的进度，同时节约施工的成本^[1]。该桥型在大跨度桥梁领域展现出显著竞争力，不仅具备卓越的承载性能与结构韧性，更在工程经济性、环境适应性及景观协调性等维度呈现多维价值特征。

传统的钢管混凝土拱桥主要有支架施工法、缆索吊装法、转体施工法等方法^[2]，在进行一些跨度较大的跨江河、跨山谷、跨交通要道等的拱桥建设时，如何跨越山区河谷将成为不得不面对的经常性难题^[3]，大跨度钢管混凝土拱桥的转体施工控制是一大难点^[4]。

随着施工装备智能化与工艺创新水平的提升，当代桥梁工程已突破传统单一工法限制，逐步形成基于多因素决策的复合施工模式。这种多维协同的建造方法不仅显著提升了工程安全性与质量控制水平，更在施工周期压缩、成本效益优化及生态影响控制等方面展现出独特优势，为复杂工况下的桥梁建设提供了创新解决方案。

2 工程实例应用

2.1 工程基本情况

该桥为跨大堤桥130m单跨下承式钢管混凝土筒支系杆拱结构，桥面结构为钢-混凝土组合结构。跨径布置为130m，跨中桥面宽度为42.24m，拱脚处桥面宽度为44m，系梁、钢管拱与端横梁固结，拱脚处设置4个球形摩擦摆式减隔震支座。

钢管拱桥的计算跨径为124m，矢跨比1/4，拱轴线采用悬链线，拱轴系数1.1，拱肋断面形式为桁架式，高度为3.2m，宽2.5m，由腹杆和上下平联组成。纵向四根钢管和吊点处横联钢管断面内填C50自密实补偿收缩混凝土，其余为空心钢管。设置三道桁架式风撑。

土，其余为空心钢管。设置三道桁架式风撑。

全桥共设2道系梁，设置在东西两侧，系梁为钢箱结构，内设置横隔板，间距2.5m；中横梁采用工字型结构钢梁，间距为5m；吊杆设置在主拱拱肋与系梁之间，单侧设置21根，间距为5m，以桥梁中心线对称设置，全桥吊杆共42根。

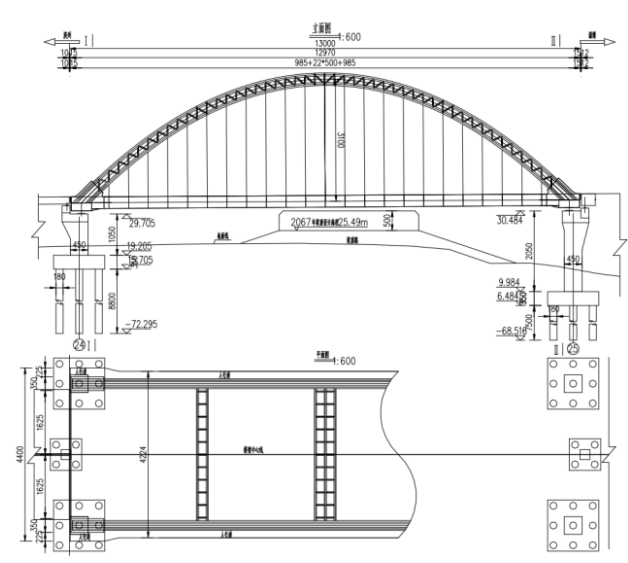


图1 130m钢管拱桥布置图（单位：cm）

2.2 方案确定

该桥为跨黄河大堤，大堤交通繁忙，大堤两侧边坡较长，且不允许设置管桩基础以免破坏黄河大堤。根据结构形式和现场条件，综合考虑吊机站位，采用全新的吊装+顶推+支架三种方法组合施工方法。基本思路是先梁后拱，系梁通过滑移法施工减少对交通要道的干扰，钢管拱肋采用吊机上桥面支架法拼装，钢拱脚用350t履带吊机原位吊装。

3 施工方案

3.1 交通导改

大堤路为城市外环路,东西方向交通量大,施工期间交通导改,路面由双向6车道+2非机动车道临时管制为双线4车道+2非机动车道,车道搭设管桩贝雷梁支架,既作为系梁顶推平台,也作为车道防护顶棚。防护棚下方净空5m,跨度24m。防护棚迎车面设置混凝土防撞棱,放置车辆撞击防护棚管桩。

交通导改后满足交通的同时,预留出两个车道的场地用于系梁的拼装。钢梁通过大堤路进入拼装场地,在顶推平台上拼装。

3.2 系梁施工

系梁为1740mm×3000mm(宽×高)的钢箱梁断面,顶、底板厚度为30mm,腹板厚度为30mm。长度为9.1~13.2m,重量在33.72~46.36t不等;系梁和拱脚、系梁之间为焊接,系梁与中横梁螺栓连接。

系梁施工是本项目的难点之一,由于场地狭小,需要保持交通,吊机只有在预留出来的拼装区域可以作业,系梁在满足公路运输条件的尺寸下分块,运输至拼装区拼装成大节段整体顶推。

钢梁滑移支架是在系梁下设置双排直径800的管桩,间距为9m或12m。双排管桩顶部安装型钢分配梁,分配梁上布置顺桥向的6组贝雷梁作为滑移纵梁,在滑移纵梁上放置小分配梁,用于布置顺桥向的滑道垫梁、轨道、滑靴等。

根据拼装区的场地尺寸,系梁大节段分成三块,A滑移段包括了8-11#系梁、8道横梁、第一段拱肋、第二段拱肋、1#风撑和对应的小纵梁,共重802t。A滑移段滑移过程中有8个滑靴支点,单个滑靴支点反力100.3t;A滑移段就位后有16个抄垫支点,单个抄垫支点反力50.1t。

B滑移段包括5-7#系梁、5道横梁、第三段拱肋、第四段拱肋、2#风撑和对应的小纵梁,共重766t;B滑移段滑移过程中有8个滑靴支点,单个滑靴支点反力95.8t;B滑移段就位后有14个抄垫支点,单个抄垫支点反力54.7t。

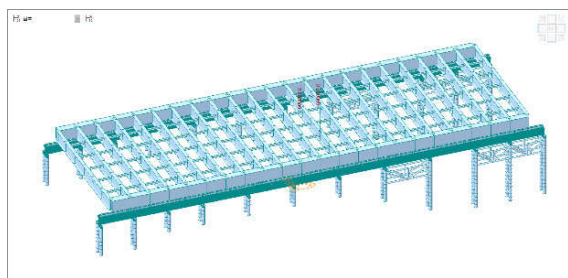


图2 顶推平台计算模型图

对滑移支架和钢梁整体进行受力耦合计算,确保系梁在滑移过程中不发生滑移支点不均匀沉降导致系梁局

部受力过大。为了钢梁滑移顺利进行,滑移轨道整体应平整,滑移轨道在接头处的不平整度控制在1mm以内。

C原位吊装段包括1-4#系梁、10道横梁和对应的小纵梁,总重约803.1t,C段就位后有14个抄垫支点,单个抄垫支点反力57.4t。

系梁全部就位后,均由临时抄垫支撑,选择合适的抄垫位置,单个抄垫点支撑力控制在50~60t之间,保证各支点均匀受力。

3.3 拱肋及桥面板施工

拱肋断面形式为桁架式,拱肋高度为3.2m,宽2.5m,拱肋由4根Φ800mm×16mm的钢管通过腹杆和上下平联组成,腹杆采用Φ320×12mm的钢管;上下平联采用Φ600×12mm的钢管。为便于运输及吊装,拱肋共分为9个节段,分段长12.5~19.5m,除靠近拱脚的1#节段中41t外,其余节段重量控制在21t以内。拱肋采用支架法进行分段拼装,按照拱肋分节长度,在系梁上布置拱肋拼装支架,满足拱肋拼装时悬臂端变形控制的需要,同时对系梁支架需要复核算。拱肋拼装支架顶部放置钢管专用鞍座,保证拱肋支撑点受力均匀。

1#节段拱肋由350t履带吊机分别站在拱桥两端的拱脚外侧吊装,其余节段由160t汽车吊上桥面吊装。在拱桥的纵横梁格构体系上布置特制临时的汽车吊钢桥面板通道及汽车吊打顶平台,满足汽车吊的作业需求。拱肋节段在系梁顶推节段一同顶推到待架位置,整体起吊架设。

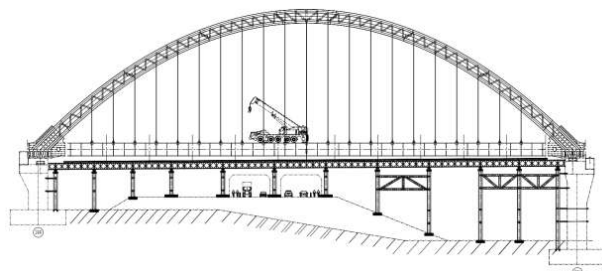


图3 关键工序施工方案图

本桥预制桥面板共144块,由平板车运输到拱桥小里程一侧,地面90t履带吊机起吊放置在桥面的小型平板车上,再利用桥面160t汽车吊安装。安装顺序为从大里程往小里程顺序倒退安装,左右对称平衡架设,边架设边拆除桥面临时钢桥面板通道。

预制桥面板单元精准就位后,首先对端横梁及中横梁顶部的剪力连接件实施标准化焊接作业,随后按照设计规范完成接缝区域钢筋骨架的定位与绑扎工序,采用汽车泵+地泵的复合泵送工艺完成现浇接缝混凝土的浇筑。

3.4 拱脚及端横梁施工

拱脚结构是最大外形尺寸9.15×7.6×5.5m的异形结

构,重量为121t,由于运输条件有限,厂内加工成板单元,在桥址处设临时拼装场,低位焊接成型后,再利用350t履带吊机整体安装;单个拱脚处设置4个临时支座,用于拱脚精确定位和抵抗倾覆力矩。拱脚就位后与永久支座精确对位,为满足钢梁安装精度,先行将拱脚就位。

端横梁采用箱型截面,顶底板、腹板厚度均为30mm,由于桥面存在2%的横坡,横坡由横梁结构形成,路线中心线处横梁截面为5200mm×3825mm,横桥向最外边采用5200mm×3500mm的截面。端横梁单根重量210.2t,尺寸和重量均超过了运输和安装能力,因此端横梁分两段吊装,在中部支架上进行对接焊成整体。

3.5 拱肋混凝土压注

拱肋安装完成后,在拱桥两端各安装1台超高压地泵,出口压力 $\geq 20\text{MPa}$,由两端的拱脚向拱顶压注拱肋钢管混凝土。拱肋混凝土灌注顺序依次为下弦外侧钢管→下弦内侧钢管→上弦外侧钢管→上弦内侧钢管→吊点处平联杆。拱肋两侧需对称压注,左右侧拱肋交错压注。单侧每次压注一根钢管混凝土,待混凝土强度达到80%设计强度后才能灌注第二根钢管。混凝土连续压注,压注时控制在1.0m/min,至跨中是速度降至0.3m/min,单根钢管内混凝土在混凝土初凝时间内压注完毕。

拱桥分节段拼装过程中,钢管刚度、温度和管内混凝土容重是影响拱肋变形的主要参数^[5],在钢管混凝土拱桥施工过程中,选择合适的时机施工钢管拱内混凝土十分重要。本项目经过试验及现场验证,成桥的线型和应力监测

结果均表明,拱肋混凝土灌注取得了较好的效果。

拱肋钢管内混凝土全部压注完毕且达到设计强度后,由跨中往两侧对称拆除拱肋支架。

4 结语

随着经济的发展,桥梁的改造、提升逐步增多,桥梁的建造环境日趋复杂。本项目通过灵活应用杆件散拼、钢梁顶推、节段拼装等技术,制定因地制宜的施工方案,对钢管混凝土拱桥结构及施工环境特点进行分析,对施工中的施工组织、工艺技术、机械设备配备进行研究,最终取得了良好的施工效果,可为今后同类型项目建设提供参考。

参考文献

- [1]王涛.钢管混凝土拱桥施工技术的应用[J].四川建材,2021,47(12):78+80.
- [2]关博文.钢管混凝土拱桥施工方法探讨[J].四川建材,2021,47(10):169-170.
- [3]王彝.考虑拼接误差的钢管混凝土拱桥分段成形优化方法研究[D].重庆交通大学,2023.DOI:10.27671/d.cnki.gcjtc.2023.000712.
- [4]濮云.大跨度钢管混凝土拱桥施工控制研究[J].居业,2023,(04):61-63.
- [5]常钊.大跨度钢管混凝土拱桥上部结构施工控制研究[D].大连理工大学,2020.DOI:10.26991/d.cnki.gdllu.2020.002120.