

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.04.020

# 某大跨网状吊杆拱桥设计与施工方案研究

秦延飞<sup>1</sup>, 于振华<sup>2</sup>

[1.广东深汕投资控股集团有限公司,广东 广州 516473; 2.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘要:** 深圳市深汕合作区某大桥采用230 m主跨网状吊杆拱桥一跨过河设计方案,主桥全宽56 m,主梁采用纵横梁体系钢-混组合梁断面;主拱采用六边形箱形断面,拱轴线按二次抛物线设计,矢跨比为1/5.5,拱高为41.273 m。大桥采用无柔性系杆体系,采取先梁后拱架设工序;结合内河航道无大节段钢梁运输条件、桥址处位于台风高发期的复杂施工条件,提出了主梁采用岸边原位拼装、支架滑移法施工方案,主拱采用拱脚段低位拼装、跨中段整体提升安装方案。该桥的设计理念和施工方案验证了网状吊杆拱桥在市政桥梁中的适用性、可实施性和经济性,相关研究和设计成果为今后同类桥型设计和施工提供借鉴。

**关键词:** 网状吊杆拱桥; 支架滑移; 整体提升; 安装方案

中图分类号: U448.22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0083-04

## 1 桥梁设计方案

### 1.1 总体布置

深圳市深汕合作区某大桥因河道通航和防洪条件限制,不能在河中设立桥墩,故采用网状吊杆钢混组合梁拱桥的结构形式,跨径设计为主跨230 m一跨跨越河道<sup>[1]</sup>,桥梁计算跨径227 m,主桥立面图如图1所示。因大桥东侧设置有隧道,桥梁与隧道相连,桥位处道路中央分隔带宽度为20 m,同时结合道路功能要求,主桥采用整幅56 m超宽断面。大桥为市政超宽桥梁中首次采用网状吊杆拱桥,设计时践行创新技术应用,关注功能性和经济性,注重细节构造,功能与艺术景观紧密结合,打造城市新地标。

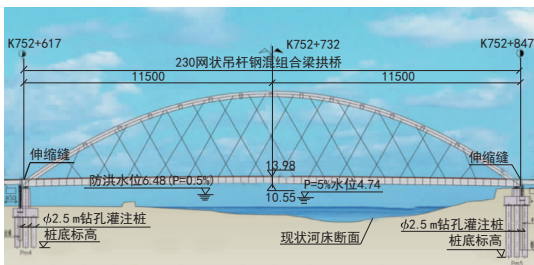


图1 主桥立面(单位:cm)

### 1.2 主梁设计

主梁采用纵横梁体系钢-混组合梁断面<sup>[2-3]</sup>,不设柔性系杆。主梁全宽56 m,主系梁高3.08 m,横梁

梁高1.0~3.24 m,横断面如图2所示。主梁由系梁、小纵梁、中横梁、端横梁和桥面系组成。系梁采用四边形单箱单室断面,系梁中心间距为16 m,高3.08 m,宽3.0 m,顶底板和腹板板厚30~40 mm。中横梁采用工字型截面,标准间距3.5 m,端横梁采用箱型断面;横梁高度为1.0~3.24 m。

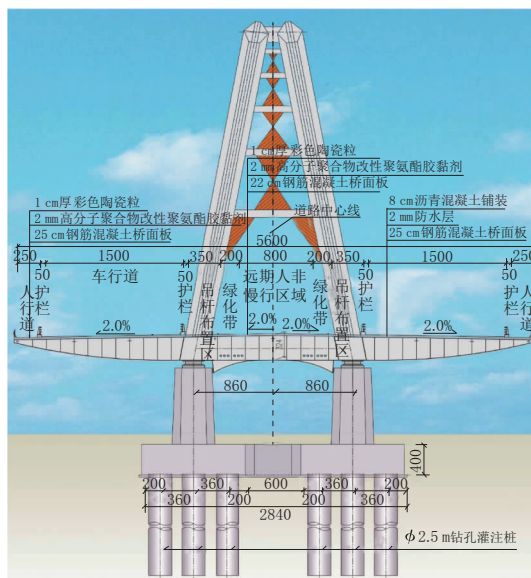


图2 主桥横断面(单位:cm)

车行道和拉索区设置钢筋混凝土桥面板,厚度为25 cm,采用C60低收缩混凝土,预制施工,湿接缝采用UHPC超高性能混凝土。混凝土桥面为双向受力构件:顺桥向为拉弯构件,其受力可分为第一体系受力和第二体系受力。第一体系为整体受拉受力,第二体系为局部受弯受力。桥面板横桥向近似为轴拉构件。外侧人行道采用钢桥面板,中间慢行系统采用木

收稿日期: 2023-05-05

作者简介: 秦延飞(1983—),男,硕士,高级工程师,从事市政路桥、隧道工程建设及管理工作。

通信作者: 于振华(1985—),男,硕士,高级工程师,从事市政路桥设计工作。电子信箱: yuzhenhua@smedi.com

结构桥面板。

### 1.3 主拱设计

桥梁主拱采用二次抛物线拱轴线<sup>[4]</sup>,拱高41.273 m,矢跨比为1/5.5,拱肋内倾角度为9°,拱肋采用六边形断面,宽2.7 m,高2.7 m。拱肋板厚55~60 mm,延拱轴线每隔3 m左右设置一道横隔板,板厚20 mm。主拱共设置13道风撑,为了景观效果,在风撑横梁之间设置X形水平撑。

### 1.4 吊杆设计

桥梁采用网状吊杆,吊杆倾角按56°~62°取值,主梁上吊杆锚固间距为7 m。钢主拱下设插耳与吊杆销接,主纵梁内设钢锚箱锚固吊杆,主纵梁箱室内张拉。每个吊点设一根吊杆,单侧拱肋吊点横桥向间距0.3 cm,全桥吊杆数量为60根。

限于网状吊杆活载疲劳应力幅大,吊杆选用 $\phi 15.2-43$ 和 $\phi 15.2-55$ 高疲劳应力幅环氧涂层钢绞线吊杆,锚头为复合挤压冷铸锚,钢绞线标准强度1860 MPa,疲劳应力幅为400 MPa。在两根网状吊杆交叉处设置减振索夹以限制吊杆横向振动。

### 1.5 下部结构设计

主墩立柱采用六边形变截面实心墩,造型简洁与上部结构主拱的六边形截面保持一致。基础采用哑铃形承台和 $\phi 2.5$  m钻孔灌注桩。

为改善下部结构抗震受力,主墩上设置了5500 t摩擦摆减隔震支座。主桥位于台风多发区域,设计风速为41.4 m/s,主桥未设置抗风支座。为了满足主桥抗风要求,提高了减隔震支座抗震销水平承载力,保证百年极限风作用下结构的安全性。

## 2 桥梁施工条件分析及方案对策

大桥结构体系创新,施工条件极为复杂,包括:

(1)桥位上、下游均有现状运营桥梁,建成年代较早,通航净空低,不具备大型船只通航条件,大节段钢梁无水运条件,只能进行陆地运输。陆地运输沿线有多座危桥,节段最大重量须限制在100 t以下。

(2)桥址处于台风高发期,每年平均有30个热带气旋形成,半数达到台风强度,历年统计最高风速达17级左右。施工期间应尽量降低支架高度,缩短施工工期,加强抗台措施。

(3)拱桥主梁采用无柔性系杆钢-混组合结构,只能采取先梁后拱架设工序。主拱为多边形断面且跨度大,主梁超宽且设置大挑臂,拱梁结合段构造复杂。为降低工程造价、减少管养费用,主梁采用钢-

混组合桥面和未设置柔性系杆,为国内此类型桥梁结构的首次尝试,桥梁施工及控制复杂。

依据现场施工条件,通过合理的设计和严格的现场控制,提出如下对策<sup>[5]</sup>。

(1)主梁采用梁格体系,采用散件加工与运输,散件之间采用螺栓连接,减少现场焊接工作量;细化主拱和风撑分段;所有构件采用散件运输,长度控制在18 m以下,重量控制在100 t以下。

(2)主梁散件运输至桥头处,在拼装平台上组装成横桥向全宽56 m、顺桥向长度16 m的大节段,采用滑移法在主梁拼装支架上运输安装到位。滑移支架通桥设置,是用于主梁节段滑移施工的大型临建,也是全桥施工的主通道,不再需要搭设栈桥,减少河中吊装作业时间,大大缩短主梁安装周期,节约临时措施费用。

(3)主梁合龙后,上面搭设轨道,通过龙门吊运输主拱节段,拱脚段采用支架法低位拼装,跨中段采用支架法低位拼装、整体提升到位合龙,可降低主拱拼装支架搭设高度,提高结构施工期间抵抗台风能力。

## 3 桥梁施工方案

### 3.1 主梁施工方案

主梁分为主纵梁、内横梁、外横梁、小纵梁、外人行道板和内人行道板6种散件运输与安装。主纵梁长度230 m,共分为16个节段。其中,ZL1/ZL16是拱梁结合段,ZL2~ZL15为主纵梁标准节段。横梁分为外横梁和内横梁。其中,外横梁共130个节段,最重节段约42 t。内横梁共65个节段,最重节段约52 t。

构件在Pm7墩靠岸边拼装平台上成ZQ-1至ZQ-16共计16个大节段,然后运输大节段就位安装。ZQ-1整节段全重623 t,无法通过滑移支架跨中12 m跨预留通航孔,仅拼装纵梁和内横梁共计407 t,外横梁待就位后采用汽车吊进行原位安装。ZQ-2~ZQ-15为标准节段,最大重量484 t,采用整节段滑移。ZQ-16节段直接在拼装平台上拼装完成。

主梁支架由滑移支架、外横梁支架和岸边拼装平台组成。钢梁运输系统由运梁台车和轨道组成,运梁台车共4台,运梁小车上设置竖向液压千斤顶、水平千斤顶及四氟板滑道,用于每节段对接及就位时中线及标高的调整。主梁安装流程如下:

(1)搭设滑移支架、外横梁支架和岸边拼装平台(见图3)。

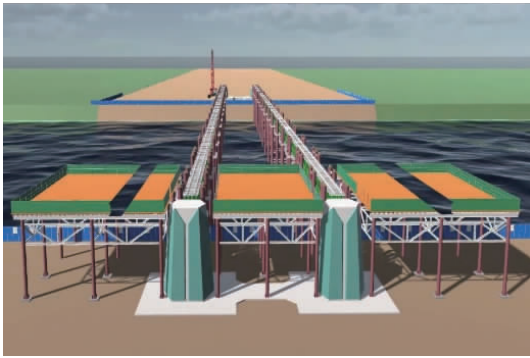


图3 主梁安装步骤一

(2) ZQ-1 节段中间部分滑移到位, 利用 Pm6 墩侧外横梁支架拼装 ZQ-1 节段外挑臂(见图 4)。

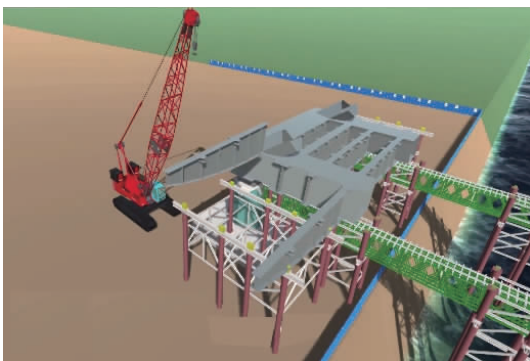


图4 主梁安装步骤二

(3) ZQ-2 至 ZQ-15 节段依次滑移到位, 拼装 ZQ-16 节段(见图 5)。

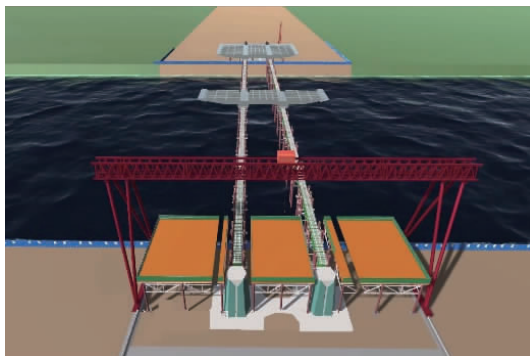


图5 主梁安装步骤三

(4) 调整主梁线形, 主梁合龙(见图 6)。

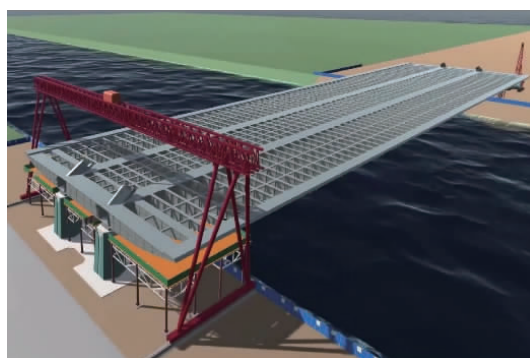


图6 主梁安装步骤四

### 3.2 主拱施工方案

主拱根据运输条件、安装工艺要求, 共分为 28

节段进行加工、运输, 节段最大重量为 97 t。全桥共设置 11 道风撑, 风撑采用箱型断面, 风撑之间设置 X 平联进行装饰连接。拱肋跨中段在低位支架与风撑连接成整体, 整个提升段拱肋柱重量为 2 250 t, 临时结构重量为 500 t。

主梁上设置一台门式起重机吊装主拱。主拱拱脚段低位拼装支架由钢管立柱、横桥向联接系、纵桥向联接系和柱顶横梁及相关限位调位系统组成。跨中段提升支架在河中设置钢管桩基础, 拱肋提升共设置 4 个吊点, 拱脚共设置 4 组水平拉索。主拱安装流程如下:

(1) 安装 Pm6 桥墩侧延长轨道支架和主梁轨道, 安装门式起重机; 安装主拱低位拼装支架。低位拼装主拱跨中段(见图 7)。

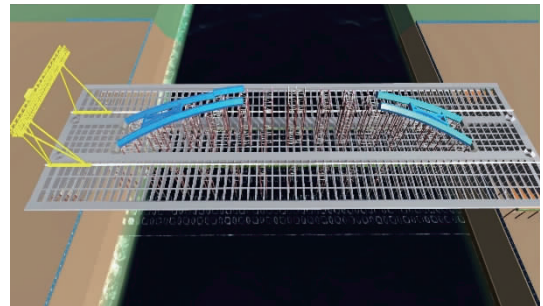


图7 主拱安装步骤一

(2) 低位拼装主拱拱脚段(见图 8)。

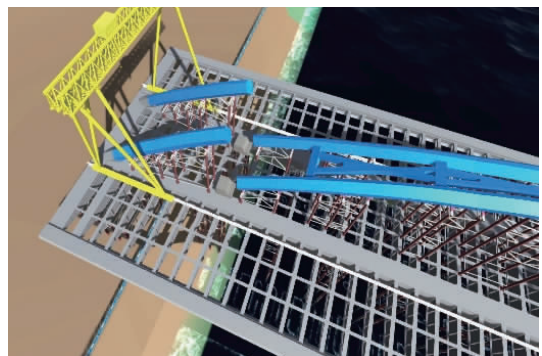


图8 主拱安装步骤二

(3) 跨中段主拱提升(见图 9)。

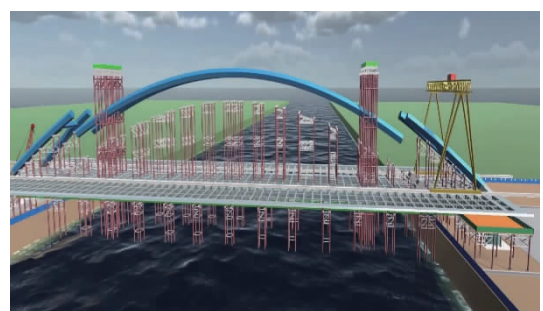


图9 主拱安装步骤三

(4) 主拱合龙(见图 10)。

(5) 拆除主拱拼装支架, 张拉吊杆(见图 11)。

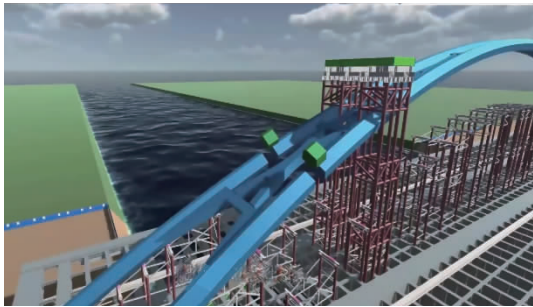


图 10 主拱安装步骤四

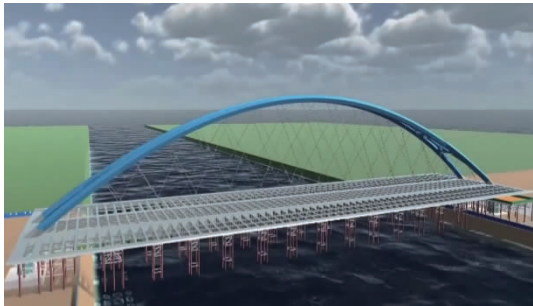


图 11 主拱安装步骤五

(6) 拆除主梁拼装支架, 架设组合梁桥面板, 施工桥面附属结构, 成桥(见图 12)。

#### 4 结论

深圳市深汕合作区某大桥采用 230 m 主跨网状吊杆拱桥一跨过河设计方案, 主梁采用纵横梁体系钢-混组合梁断面, 全宽 56 m, 不设柔性系杆, 采用

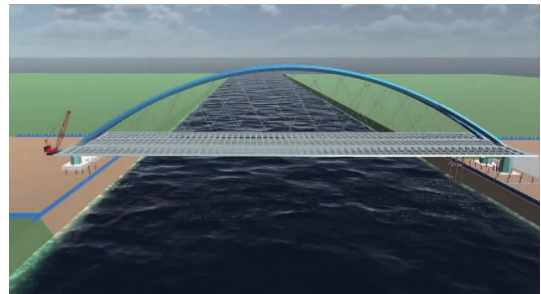


图 12 主拱安装步骤六

先梁后拱施工方案。结合内河航道无大节段钢梁运输条件、桥址处位于台风高发期的复杂施工条件, 提出主梁采用散件岸边原位拼装、支架滑移安装到位施工方案。主拱采用拱脚段低位拼装、跨中段整体提升到位后合龙施工方案。大桥为市政超宽桥梁中首次采用网状吊杆拱桥, 桥梁设计方案先进, 施工方案合理, 缩短施工工期, 节省临时措施费用, 可供类似复杂条件下桥梁施工借鉴或参考。

#### 参考文献:

[1] 周浩. 230 m 网状吊杆组合梁拱桥设计分析[J]. 城市道桥与防洪, 2020(5): 87-90.  
 [2] 邵长宇. 索承式组合结构桥梁[M]. 北京: 人民交通出版, 2017.  
 [3] 魏明光. 齐鲁黄河大桥主桥主梁设计[J]. 上海公路, 2020(2): 62-67.  
 [4] 姚宝文. 网状吊杆系杆拱桥主拱吊点隔板应力扩散趋势分析[J]. 城市道桥与防洪, 2021(8): 159-161.  
 [5] 涂兵. 桥梁施工[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

\*\*\*\*\*  
 (上接第 70 页)

[2] 范诚. 常泰过江通道桥梁与隧道方案综合比选[J]. 工程造价管理, 2023(1): 39-43.  
 [3] 熊厚仁. 富湾特大桥深水岩溶地基钻孔灌注桩施工技术探讨[J]. 江西理工大学学报, 2008, 29(1): 61-64.  
 [4] 罗锡宜, 韩庆定, 邹杰, 等. 佛山市高明区西江新城及周边岩溶发育规律探讨[J]. 华南地震, 2017, 37(2): 34-38.  
 [5] 杨得海, 阮秋菊, 林骋. 高速铁路大跨度高低塔部分斜拉桥设计[J]. 铁道标准设计, 2022(9): 91-96.  
 [6] 陈馈, 冯欢欢. 武汉三阳路公铁合建超大直径盾构隧道设计方案研究[J]. 现代隧道技术 2014, 51(4): 168-177.  
 [7] 谭勇. 岩溶地区大跨度桥梁施工溶洞处理技术[J]. 工程建设与设计,

2022(17): 185-187.  
 [8] 杨育僧, 吴昊, 许建飞, 等. 岩溶地层中的盾构隧道施工[J]. 铁道工程学报, 2007(7): 55-60.  
 [9] 蔡焱. 高速铁路跨水源保护区桥梁基础施工环境保护研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.  
 [10] 刘碧娟. 跨水源保护区桥梁应急排水系统设计要点[J]. 城市道桥与防洪, 2019(9): 119-121.  
 [11] 张之启. 南京地铁过江隧道通风系统方案研究[J]. 铁道工程学报, 2012(4): 104-107, 117.  
 [12] 陶履彬. 工程风险分析理论与实践: 上海市崇明越江通道工程风险分析[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006.