

# 惠州市半岛桥设计构思及结构特点

张振学,张 滔,王振南

(天津城建设计院有限公司,天津市 300122)

**摘 要:** 半岛桥位于广东省惠州市惠阳区淡水中心区,是广东省惠州市重点桥梁工程。该桥的设计方案构思新颖美观,结构形式合理独特。以半岛桥的设计构思和结构特点为研究重点,通过对结构进行合理的精细化设计,综合应用了计算机仿真分析、桥梁 BIM 技术和三维空间扭转无推力钢拱桥施工及监控等一系列手段,综述了三维空间扭转无推力钢拱桥的设计关键和创新技术,解决了桥梁方案创新带来的桥梁建设上的重难点问题,可为同类景观桥梁的设计提供一定的参考。

**关键词:** 三维空间扭转无推力钢拱桥;仿真分析;桥梁方案创新

**中图分类号:** U442.5+3

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)11-0118-04

## 1 工程背景和概况

半岛桥工程位于广东省惠州市惠阳区淡水中心区,南起东华大道,北连滨河北路,平面位置如图 1 所示。项目路线总长约 1 429 m,包括东华大道和半岛路两部分,道路等级为城市主干道,设计行车速度为 50 km/h。



图 1 半岛桥平面位置示意图

既有惠阳半岛桥建成于 2006 年,依据桥梁检测报告,综合分析评定该桥为 D 级,处于不合格状态,现阶段桥梁在限高限载通行。并且原桥道路等级低,荷载标准为城-B,承载潜力不高,与惠州市惠阳区淡水中心区控制性详细规划中城市主干路的荷载标准须为城-A 的规划不符,因此对既有惠阳半岛桥采取拆除方案。

新建半岛桥采用两跨连续无推力空间变箱形钢拱桥桥型,跨径布置为 18+152=170 m,桥梁全长

178.1 m,桥梁全宽约为 42.3~48.9 m。

本文以半岛桥设计构思和结构特点为研究重点,综合介绍了半岛桥这一三维空间扭转无推力钢拱桥的设计关键和创新技术。

## 2 设计方案构思

### 2.1 以“太极圆融”为理念根基

基于对城市风格、历史和文化的解读,以及对上位规划和相关规划的研究,设计者提出以“太极圆融”为理念根基:圆,强而不硬、软而不弱;融,互含互渗、你中有我、我中有你。该设计理念契合惠阳的特质,呼应环境的期待。半岛桥与淡水河互为图底、虚实相牵,以阴阳平衡、刚柔兼济、和谐稳定的形象奠定基础,以求惠阳区和淡水镇的协调发展、圆融顺畅。

桥梁设计使得大跨度钢结构桥梁与舒缓的河水相遇,刚中有柔、柔中带刚,一刚一柔乃成方圆,刚柔相济方为大道。桥梁力与美同在的外形、河水与桥梁互表的阐释,预示着区域的有机生长与永序发展,如图 2 所示。



图 2 “太极圆融”

收稿日期: 2024-03-14

作者简介: 张振学(1966—),男,博士,教授级高级工程师,从事桥梁设计与研究工作。

## 2.2 以当地文化为依托

惠阳的古井与淡水河承载着诸多美丽的传说,纵观惠阳的山岭水榭、风土人情,可谓人杰地灵,既有叶挺等名人为这个地区增色,又因婉转的淡水河而灵动。

道路桥梁的平面构图取自琵琶的颈和四根弦。“四根弦”是纵向的四片拱,辅以横梁,如图 3 所示。



图 3 “清水琵琶”

受到客家围屋的启示,通过拱梁及其间的联系横梁与拉索形成顶部和侧面的空间围合感,营造出场所的领域感,以舒适性、亲切感吸引人群的聚集和活动,如图 4 所示。



图 4 “客家围屋”

## 2.3 融入周边环境

河岸边的体育文化公园开阔、舒缓,因此,桥梁设计需尽量维护绿带和蓝带空间的开敞与通透。桥梁采用中承式结构,桥梁结构与桥面浑然一体,维护舒展大气的天际线。桥梁形式灵动、通透,具有流动感、协调性,充满生命力和活力;底部箱梁的外轮廓高低起伏,与河水的波澜相呼应。主桥以一跨轻盈越过的姿态,将两岸、将自然景观与人工建筑物、将现在与未来联系在了一起,而人们行走于绿地、河水、桥梁之间,眼前景色将彼此交融,如图 5 所示。基于此设计,

桥梁成为多元联系的纽带,助推城区永续发展。



图 5 轻盈跨越的桥梁形式

## 2.4 兼顾结构的合理性与造型的美感

桥梁设计方案强调柔和的曲线兼曲面,而避免竖向高大的结构构件。每幅桥由两个纵向钢拱通过横梁连接为一体,两幅桥之间用横向支撑加大整体稳定性。以化整为零的手法,采用小截面的结构构件,避免出现粗重的形态,不因市政基础设施带来景观的压抑感,使桥梁完美地融入体育文化公园,同时也将与周边具有现代感、科技感的城区及建筑产生友好呼应,如图 6 所示。



图 6 造型柔美的桥梁设计方案

## 2.5 体现人文关怀的细节设计

设计方案崇尚人本主义,在细部设计方面充分考虑行人的心理感受和行为规律,将功能照明与护栏结合,照亮非机动车道和机动车道,而不设置常规灯杆,因为高灯杆容易扰乱桥面美感。结合桥梁拱的结构布置灯具,使景观照明凸显拱梁和桥面梁轮廓,夜景照明则雅致、浪漫。通过多维度的精细设计,在桥面、箱梁、护栏、照明等方面反复推敲,充分考虑行人的感受,营造以桥梁为核心的场所归属感及符合行人行为规律的舒适感,如图 7 所示。在桥上设置人行梯步与桥下景观公园连接(见图 4),充分考虑行人的休闲观景需求,统筹兼顾桥上通行与桥下游玩,增加行人美好体验。

## 3 结构特点

### 3.1 总体设计

采用两跨连续无推力空间变箱形钢拱桥,桥梁跨径布置为  $18+152=170$  m。根据桥梁结构形式和功





图7 雅致浪漫的夜景照明

能设置,桥梁平面线形为变截面曲线,采用双向6车道,全宽为42.3~48.9 m,设置人行梯步与周边景观公园连接。

桥梁的设计结构及受力体系十分新颖,传统的

两跨连续无推力拱桥常采用斜撑和拉杆结构起到支撑主梁和承受主梁上拔荷载的作用,但考虑到拉杆结构容易受到干扰,耐久性能不好保证,因此本桥梁设计时,将常规拉杆结构用边钢柱的形式进行代替,进而创新性地采用斜撑和边钢柱的结构组合以实现支撑主梁和承受主梁上拔荷载的性能要求。

该桥梁结构下的受力体系为正交异性钢桥面板将汽车荷载传至临近位置横隔板,横隔板将承受的荷载传至纵梁,纵梁再将承受的荷载通过临近吊杆传至临近主拱,整个主拱将承受的荷载传至拱脚,进而传至基础,斜撑起到支撑主梁并传递主拱荷载的重要作用,边钢柱则承受较大的竖向上拔荷载。桥梁的基本构件为:钢箱拱肋、风撑、纵横梁及正交异性钢桥面板、平行钢丝吊杆、斜撑、边钢柱和桥台、桩基等<sup>[1]</sup>,总体设计如图8所示。

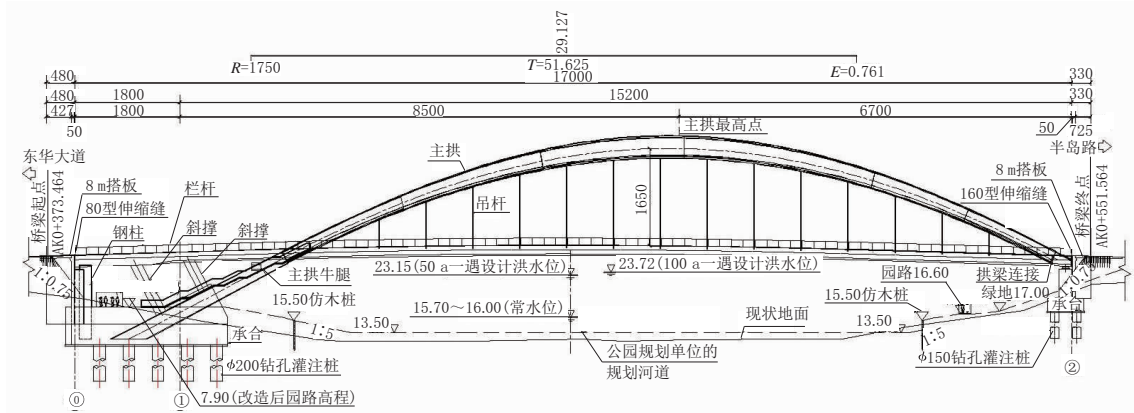


图8 桥梁立面图(单位:cm)

为了实现桥梁的整体景观效果,桥梁主受力结构的主拱整体采用空间三维曲线线形,由两道边拱和两道中拱组成,每道主拱的截面形式实现由拱脚处的规则四边形箱形截面向拱顶处的不规则五边形箱形截面过渡,如图9所示,并在四道主拱之间辅以风撑连接。

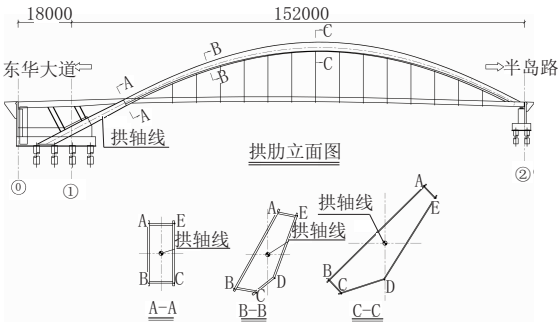


图9 主拱断面示意图(单位:mm)

3.2 上部结构

采用纵横梁体系,全桥共设4根主纵梁,在人行道下设置2根次纵梁。纵梁截面形式为倒梯形箱形

截面。主梁的典型断面图如图10所示。

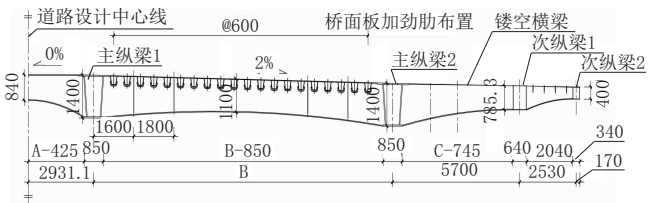


图10 主梁典型断面图(单位:mm)

横梁的顺桥向布置以4 m为基本间距。车行道下横梁采用工字形截面,截面高度在两纵梁之间呈弧线变化;人行道下横梁为工字形截面,高度呈弧线变化。在桥梁端部、拱梁连接以及桥梁连接楼梯等部位,横梁为箱形截面并相应加强<sup>[2]</sup>。

3.3 钢主拱

钢主拱由四道拱肋组成,中拱位于中央分隔带,边拱位于非机动车道与人行道之间,钢箱拱肋采用三维曲线造型。四道拱肋的纵桥向矢跨比相同,桥面以上的主拱矢跨比为1:7.7。

其中,中拱拱轴线距桥面的最高距离为 16.5m,两道中拱在靠近桥面处合并为一个整体箱形截面,在远离桥面处分开为两道独立中拱;中拱采用箱形截面,拱脚底到拱脚伸出外包混凝土段采用等截面,伸出外包混凝土段至拱脚顶截面采用变截面;拱脚顶截面到中拱最高处截面采用空间三维曲线的线形变化。

边拱拱轴线距桥面的最高距离为 16.5 m。边拱采用箱形截面,拱脚底到拱脚伸出外包混凝土段采用等截面,伸出外包混凝土段至拱脚顶截面采用变截面,拱脚顶截面到边拱最高处截面采用空间三维曲线的线形变化。

3.4 吊杆

全桥共计 4 道索面,分别位于两个中拱和两侧的边拱下方,在两侧边拱下的每道索面各设置 14 根吊杆,计 28 根吊杆;中拱下每道索面设置 1~14 号吊杆,其中 14 号吊杆为中拱两道索面公用吊杆,计 27 根吊杆;全桥共计 55 根吊杆。吊杆采用平行钢丝,顺桥向标准间距为 8 m。中拱采用 14 号公用吊杆,上吊点和下吊点均使用锚箱结构与主拱、主梁连接,其他吊杆的上吊点使用叉耳构造与主拱连接,下吊点使用锚箱结构与梁体横梁对应位置连接。根据吊杆张力需求,吊杆采用直径为  $\phi 7\text{mm}$  和  $\phi 5\text{mm}$  的高强镀锌平行钢丝,标准强度为 1 670 MPa。

3.5 风撑

在中拱与边拱、两道中拱之间设置风撑以增强桥梁整体性能,其位置与吊杆位置对应,单侧中拱与边拱之间、两道中拱之间各设置 10 道风撑,全桥共设风撑 30 道。风撑采用箱形变截面形式。

3.6 斜撑与边钢柱

本桥梁结构为两跨连续无推力空间变箱形钢拱桥,斜撑起到支撑主梁并传递主拱荷载的重要作用,边钢柱承受较大的竖向上拔荷载。由主拱拱脚、斜撑和边钢柱组成的受力体系是桥梁结构中重要的受力结构,是桥梁方案成立与否的重中之重,也是本桥梁工程的设计难点。

在拱脚处沿纵桥向设置 2 排、每排再横桥向设置 3 道斜撑结构,斜撑采用变截面箱形断面,斜撑顶面与主梁焊接,斜撑底面与主拱焊接。在对应斜撑位置的主梁和主拱处进行局部加强处理。

在 0 号墩位处横桥向设置 3 个钢柱,钢柱上端与主梁刚接,下端外包钢柱基础。设置精轧螺纹钢对钢柱基础施加预加力,并设置剪力钉与基础连接。

3.7 下部结构

由于 0、1 号桥台不仅承受上部结构传递的荷载,还起到连接和锚固边钢柱、斜撑、主拱拱脚等主要受力构件的重要作用,受力状况十分复杂。因此在 0 号、1 号墩位处设置整体式桥台,采用拱脚处设置混凝土基础、下设置大承台的形式。上层混凝土基础厚 3.0 m,中拱基础常规段横向宽 4.2 m,对边拱基础横向采用 T 形截面;下层承台采用等截面,下设 30 根钻孔灌注端承桩基础,桩径 2.0 m,桩长以伸入中风化岩层 6 倍桩径为原则,平均桩长 30 m;拱脚设置外包混凝土。设计 0、1 号桥台的基础外形如图 11 所示。

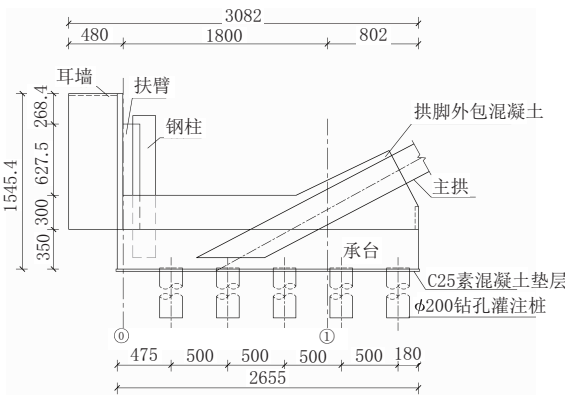


图 11 0、1 号桥台基础外形图(立面图,单位:cm)

2 号墩位处端横梁下设置 3 个盆式支座支撑在 2 号桥台上。承台采用矩形截面形式,下设  $2 \times 6$  根共 12 根钻孔灌注桩基础。承台厚 2.25 m,桩径 1.5 m,桩长以伸入中风化岩层 6 倍桩径为原则,平均桩长为 35 m。

4 结 语

随着我国经济发展和桥梁建设的趋势,人们对于桥梁结构的要求,不单单局限于桥梁的功能性,而更多关注桥梁的景观性。惠州市半岛桥在满足桥梁功能性的基础上,将桥梁景观性与惠州的历史及文化、桥址处周围环境等进行了完美融合,并充分考虑了行人的休闲和观景需求。

惠州市半岛桥的设计方案构思新颖、造型独特,结构受力与构造细节十分复杂。通过对结构进行合理的精细化设计,综合应用计算机仿真分析、桥梁 BIM 技术和三维空间扭转无推力钢拱桥施工及监控等一系列手段,很好地解决了桥梁设计方案创新带来的桥梁建设的重难点问题,打造出了城市地标性建筑,取得了良好的经济效益和社会效益。

(下转第 135 页)

当采用单梁模型进行横梁计算时,一期恒载按照各片单梁在自重作用下的支反力,按集中荷载加载到每片单梁的中心线位置;二期恒载按照各片单梁在二期荷载作用下的支反力,也按照集中荷载加载到每片单梁的中心线位置。移动荷载根据车道位置进行横向布置。

4.3 倾覆计算

采用矩形或者倒 T 型盖梁的小箱梁,无需进行抗倾覆验算。对于本工程隐盖梁预制小箱梁的整体式截面连续梁应进行抗倾覆稳定验算。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)规定,横桥向抗倾覆稳定性系数不小于 2.5,本工程稳定性系数为 6.4,满足规范要求。

5 工程主要特色

(1)在相同的跨径条件下,隐盖梁预制小箱梁结构相比传统的矩形盖梁小箱梁和倒 T 型盖梁小箱梁具有较低的结构高度,优化了桥下净空的利用效率。

(2)由于减少了盖梁对桥下净空高度的占用,采用隐盖梁预制小箱梁设计的道路纵断面能够有效缩减桥梁主线所需的长度,从而在一定程度上节约了工程造价。

(3)相较于传统设计的小箱梁,隐盖梁预制小箱梁采用了现浇中横梁和端横梁方案,其刚度显著增强,因此取消了跨中横隔板的设计。其不仅确保了桥下空间轻盈通透、流线造型美观,更提升了整体的景观效果。

(4)相对于传统的小箱梁桥结构,隐盖梁预制小箱梁通过创新设计取消了独立的盖梁构造,将盖梁与横隔梁现浇阶段巧妙地合为一体,极大地简化了施工流程并缩短了总体工期。

(5)隐盖梁预制小箱梁与横梁现浇连接成一个整体结构,在后期养护时,相比于传统小箱梁桥更换支座的工作量明显减小,提高了养护效率和便捷性。

6 结 语

隐盖梁预制小箱梁桥能够有利于减小结构整体高度,更加有效地利用桥下净空,且桥梁景观效果好,后期养护便捷,同时还能有效缩减桥梁长度,是一种较为新型的桥梁结构形式,但现浇横梁处负弯矩较常规小箱梁桥设计显著增大,桥梁的跨度受到了一定的限制,且每平米单价较常规小箱梁桥更高。

本文以郑州市农业路(西四环—西三环)快速化工程为实际应用案例,深入探讨了隐盖梁预制小箱梁的优化设计方案、施工技术措施以及结构计算分析等内容,旨在为同类隐盖梁预制小箱梁桥的设计提供切实可行的参考依据和实践指导。

参考文献:

[1] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.郑州市农业路(西四环—西三环)快速化工程(第一标段)施工图设计[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2022.  
[2] 史贤豪,谢波,肖海波.预制小箱梁中隐盖梁设计关键技术研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):81-83.  
[3] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

(上接第 121 页)

参考文献:

[1] 韩振勇.城市桥梁设计创新与实践[M].上海:上海科学技术出版社,2019.  
[2] 吴冲.现代钢桥[M].北京:人民交通出版社,2006.

[3] 井润胜,汤洪雁,周凤先,等.天津海河奉化桥设计构思及结构特点[C]//第十八届全国桥梁学术会议论文集,天津:天津城建设计院有限公司,2008(5):317-322.  
[4] 张滔,潘常建.非对称无推力拱桥设计关键技术研究[J].城市道桥与防洪,2016(12):47-49.