

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.09.021

温州市七都二桥总体方案研究

黄越¹, 陈海兴²

(1.温州市鹿城区城市建设中心, 浙江 温州 325055; 2.浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 311121)

摘要:七都岛作为温州国际未来科技岛的核心载体,其交通压力日益剧增,亟需谋划新通道以解决岛上的出行问题。从建设条件、纵断面控制因素等方面探讨建设的可行性;考虑慢行交通技术要求研究不同的接地方案;从景观定位论述主桥采用七跨连续中承式+上承式组合拱桥方案的合理性;考虑本桥特殊的交通功能,对比不同类型双层桥面结构形式,提出上层采用双边箱钢箱梁结构形式,下层采用钢桁架结构形式。该方案可为跨江市政桥梁设计提供参考。

关键词:七都二桥;建设条件;纵断面控制;七跨连拱;钢箱桁架组合断面

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0086-05

1 工程背景

七都岛隶属于温州市鹿城区,南、北分别被瓯江的南支和北支分隔,四面环水。东望灵昆岛,南临龙湾状元,西靠滨江CBD,北眺乐清乌牛镇,不仅具有“闹中取静”的区位优势,也是滨江商务区重要的功能补充区。

当前七都岛的对外通道仅有七都大桥(含北汉桥)^[1]和甬台温高速公路,且都通过单车道环形匝道连。随着科技岛项目的不断推进,对外出行的需求与日俱增,交通压力日益加重,亟需谋划第三通道,解决岛上的出行问题。此外,甬台温高速温州大桥将于2023年进行改建,需对桥梁进行封闭施工,期间有大量交通在七都大桥进行转换,加重了现状七都大桥的通行负荷。七都岛与主城区的出行交通便利性急剧降低,建设七都二桥的必要性更加突出。

七都二桥工程全长2 060.216 m,规划红线宽度30 m,桥址位于七都大桥南汉桥下游约1.2 km、温州大桥南桥上游约2.9 km,其中桥梁全长1 880 m,宽26.6 m,采用双层桥结构形式,上层为机动车桥,下层为非机动车及人行桥。

七都二桥设计基本风速为42.8 m/s,上层桥梁荷

载等级为城-A级,桥址区抗震设防烈度为VI度,基本地震动峰值加速度0.05g,桥下净空允许500 t级海轮通航,通航净空120 m×17.5 m;最高通航水位为4.95 m,最低通航水位为-3.43 m,设计洪水频率按特大桥标准取1/300。七都二桥工程地理位置如图1所示。



图1 工程地理位置图

2 建设条件

2.1 地形地貌

七都二桥工程范围共跨三个地貌单元,分别为主城区侧、瓯江段和七都岛侧。

主城区侧为冲海积平原地貌,由河口区河、海水共同作用沉积的物质堆积而成;瓯江段为河流地貌,由河流岸坡与河床组成,岸坡与河床以缓坡形式相连;七都岛侧为河口三角洲地貌,因江面变宽流速减少,泥砂具下,由瓯江干道流水和海水单独或共同作用沉积的物质堆积而成。

2.2 地质条件

桥位处工程地质以黏土、淤泥、粉土、卵石等为

收稿日期: 2023-10-30

基金项目: 国家自然科学基金(52378287)

作者简介: 黄越(1991—),男,硕士,工程师,从事建筑、道桥等建设与管理工

通信作者: 陈海兴(1986—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。电子信箱: 150552605@qq.com

主,工程区内地表水主要为瓯江江水,地下水为鹿城区瓯江路一侧以及七都岛一侧的地下潜水及承压水。桥址区不良工程地质问题主要表现为平原区浅部分布的厚层软土和局部分布的抛石体等特殊岩土。

2.3 气象

七都地区气温适中,年际平均气温 $16.7\sim 18.0^{\circ}\text{C}$,全年雨水充沛,降水多集中在4—9月份。热带气旋是温州地区夏秋季节最主要的气象灾害,平均每年影响2.5次,主要集中在7—9月份。

2.4 水文与河床演变

工程河段受径流和潮流共同作用,同频率洪水下的流速相比较,300 a一遇洪水时桥址处最大流速为 3.5 m/s ,发生在落潮时刻。

目前七都二桥通航孔内底高程介于 $-7\sim -10.7\text{ m}$,300 a一遇低潮位时水深仍有 3 m 以上,远大于通航要求尺度,建桥后桥墩束水可能会进一步促进墩间水深的增大。由于北侧河床冲刷,深槽的下延,2014—2022年间桥址附近深泓线由南岸南板桥丁坝附近移至北侧(通航孔附近),桥址断面深泓线移动距离约 500 m ,如图2所示。南侧主桥墩局部冲刷深度为 11.0 m ,北侧主桥墩局部冲刷深度为 14.0 m 。

2.5 通航

七都二桥横跨七都南汊,不在北汊主航道上。七都南汊航道主要过河建筑物有七都大桥南汊桥、温州大桥南汊桥,受两座大桥通航等级限制,七都南汊航道现状通航等级为 500 t 级海轮。

七都二桥最小通航净高要求为 17.5 m ,最小通航净宽要求为 120 m 。设计最高通航水位采用年最高潮位频率分析 5% (20 a一遇)的水位,取为 4.95 m ;最低

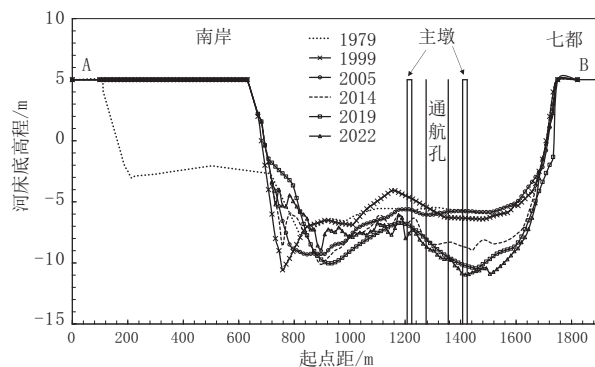


图2 七都二桥工程断面历年底高程变化图
通航水位位于最低潮面位于85国家高程基准面下 3.43 m ,为 -3.43 m 。

2.6 地震

据现代地震监测资料表明,区内现代地震活动微弱,一般仅限于 3.0 级以下地震,对拟建场区影响小。

3 控制因素分析与接地方案设计

3.1 纵断面方案设计

机动车和非机动车对道路纵坡的适应性不同,为兼顾两者的通行体验,结合项目情况,以现状防洪堤为界,将工程总体分为三段,分别为主城段、瓯江段和七都段,如图3所示。其中主城段和七都段按照主线机动车道层和慢行通道层分离设置的原则,采用不同的纵坡实现落地,机动车道层最大纵坡为 4.9% ,最小坡长 150 m ;慢行通道层最大纵坡为 3.5% ,最大坡长 150 m 。瓯江段长约 1.1 km ,主要考虑慢行交通的通行体验,按照主线机动车道层和慢行通道层合并设置的原则,按照非机动车的通行标准控制,最大纵坡控制为 2.4% 。

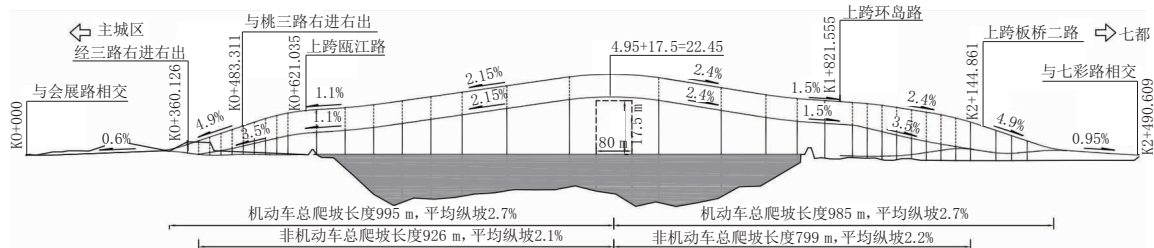


图3 工程纵断面示意图(按设计通航孔位)

七都二桥上层桥面两端引桥部分纵坡达 4.9% ,已超出《城市道路工程设计规范》中“桥上纵坡机动车道不宜大于 4.0% ”的要求,针对七都二桥引桥纵坡偏大问题,经分析,主要受瓯江防洪堤、板桥二路的净高限制,可通过增加爬坡距离或减少爬坡高度两个方式进行优化,具体优化措施及可行性见表1。

通过分析,七都二桥引桥纵坡只能通过减少爬

坡高度的方式进行缓解。当主城侧防洪堤和板桥二路通行净高分别降至 4 m 和 3.5 m 时,引桥纵坡可相应降至 4.5% ,仍未满足规范要求,还给后续工程、日常管理及应急抢险都带来了较大的不确定性,工程的可实施性有所欠缺。

同时,通过对“桥上纵坡机动车道不宜大于 4.0% ”的深度解读,其目的主要是从桥梁结构受力和

表 1 纵断面优化措施

引桥位置	优化方式	优化方案	优化措施及可行性
主城区侧	增加爬坡距离	将接地点南移	需要拓宽蒲江路规划红线,但受已建地块制约,规划红线无法拓宽,方案不可行
	减少爬坡高度	降低防洪堤顶通行净高	将防洪堤顶通行净高由 4.5 m 降至 4.0 m,因防洪堤远期将提标至 200 a 一遇标准,需要提升标高,影响后期通行净高,方案存在较大不可控性
七都侧	增加爬坡距离	将接地点北移	将道路接地点北移,需同步调整七彩路规划线位,对七都路网及用地规划影响巨大,方案不可行
	减少爬坡高度	降低板桥二路通行净高	按小客车通行标准,将板桥二路的通行净高由 4.5 m 降至 3.5 m。因通行净高降低,对日常管理、应急抢险等均有一定影响,方案存在较大不可控性

构造方面考虑,也可通过优化桥梁结构及构造的方式进行解决。单从行车方面考虑,《城市道路工程设计规范》明确:“桥头引道纵坡不宜大于 5%”、“设计速度 60 km/h 时,机动车道最大纵坡一般值为 5%”,七都二桥引桥纵坡尚在规范要求范围内。综上所述,因七都二桥引桥纵坡缺乏进一步优化的条件,建议维持 4.9%纵坡,同时关注大纵坡桥梁结构和构造的优化。

3.2 慢行交通接地

慢行交通组织是本工程设计的主要难点。

(1)主城区侧慢行交通组织考虑过桥下直行、桥侧平行和桥下折返 3 个方案。

桥下直行方案是通过设置为主线引桥下方的直行匝道,将慢行交通直接引导地面,并通过蓄车广场及交叉口信号灯,实现与两侧地面非机动车的衔接;桥侧平行方案是先借助过街天桥,将慢行交通引导至机动车道两侧,再以平行匝道形式落地后与地面非机动车道分合流;桥下折返方案通过设置为主线引桥下方的一对折返匝道,将慢行交通折返一次后引导至瓯江路(沿江地面路),并通过地面蓄车广场及交叉口信号灯,实现与地面非机动车的衔接。3 个方案比选内容见表 2。

表 2 主城区侧慢行系统接地方案综合比选表

项目	桥下直行	桥侧平行	桥下折返
最大纵坡及坡长	3.5%/150	3.5%/150	3.5%/150
慢行桥梁规模	最小	最大	中等
是否符合交通流向	是	是	否
是否需要额外占地	否	是	否
桥下空间的完整性	较完整	完整	不完整
通行条件的舒适性	舒适	一般	不舒适
对周边环境的影响	影响小	影响大	影响小

经综合比选,桥下直行匝道方案具有交通流向合理,无需占用额外土地,用地集约,桥下空间利用率高,通行体验最佳,对周边环境影响较小,故予以推荐。

(2)七都侧慢行交通组织主要考虑桥下直行、桥侧平行、桥下折返、堤顶回转和龙行公园回转 5 个方案。

桥下直行方案、桥侧平行方案和桥下折返方案与温州侧相似;针对景观特色,方案研究阶段还提出堤顶回转和龙行公园回转 2 个方案。堤顶回转方案是先通过防洪堤顶的回转匝道,降低慢行通道层后,在通过直行匝道,将慢行交通直接引导至板桥二路;龙行公园回转方案是先通过设置为主线引桥下方的直行匝道,将慢行交通直接引导至龙行公园,以环形匝道的方式将慢行交通引导至与板桥二路交叉口,最终通过交叉口信号灯,实现与地面非机动车的衔接。5 个方案比选见表 3。

表 3 七都侧慢行系统接地方案综合比选表

项目	桥下直行	桥侧平行	桥下折返	堤顶回转	龙行公园 回转
最大纵坡及坡长	3.5%/150	3.5%/150	3.5%/150	3.5%/150	3.5%/150
慢行桥梁规模	最小	小	中等	大	最大
是否符合交通流向	是	是	否	是	是
是否需要额外占地	否	是	否	是	是
桥下空间的完整性	较完整	完整	不完整	较完整	较完整
通行条件的舒适性	舒适	一般	不舒适	一般	舒适
对周边环境的影响	影响小	影响大	影响小	影响小	影响大

经比选,七都侧采用桥下直行匝道方案能在利用有限桥下空间的同时减少对周边环境的影响,交通流向直接,是最佳的设计方案。

4 主桥方案设计

4.1 桥型选择

七都二桥主桥已明确为双层桥面,根据非机动车安全通行的需求,桥梁的高程宜尽量低。考虑到本桥对景观的高要求并兼顾经济性,通航孔跨径宜为 150~250 m。在这种跨径和建设条件下,梁桥、斜拉

桥、悬索桥和拱桥均是适用桥型。

本工程从建设条件出发,分析了各种结构形式桥梁的适用性,七都二桥连接地块定位高,对桥梁景观提出较高要求,不建议采用梁桥方案,因此,综合考虑景观、通航等因素,提出多连拱方案、独塔斜拉桥和独塔自锚式悬索桥共 3 种方案进行比选。在七都岛周边已建成的 4 座桥中,七都大桥北汊桥和温州大桥均为斜拉桥,从考虑桥型的丰富性出发,不推荐采用独塔斜拉桥方案;独塔自锚式悬索桥景观效果比较理想,但其整体造型与斜拉桥较接近,也不推荐;多连拱桥立面线形富于变化、动态感、韵律感强,辨识度高^[2],故七都二桥推荐采用多连拱桥方案。

4.2 方案主题

根据本工程地理位置和景观需求的特点,需要有针对性地选用合理的桥梁结构型式,以达到服务、景观等各项性能要求^[3]。在挖掘瓯江自认美景、传统人文文化、七都岛的定位等多种因素后,提出以科技、时代和传统为主题的 3 个拱桥方案,如图 4 至图

6 所示。表 4 从主题、慢行系统、亮点等方面对方案进行综合比选,推荐方案一“科技律动 时代脉搏”。



图 4 方案一:科技律动 时代脉搏



图 5 方案二:数智瓯江 网赢天下



图 6 方案三:潮起月明 瓯水锦绣

表 4 桥型方案比选表

方案名称	方案一:科技律动 时代脉搏	方案二:数字瓯江 网赢天下	方案三:潮起月明 瓯水锦绣
主题	桥梁方案以连续的波浪线形为主要形态,在宽阔的江面上勾勒出富有律动感的连拱造型桥梁,造型如飞舞的丝带,似出水的蛟龙,蕴含了温州悠久海上贸易历史及当地传统纺织文化。中承式+上承式组合拱桥的创新结构形式,凸显了七都岛作为未来科技岛的创新与科技理念	以捕鱼人捕鱼撒网时渔网展开的网扇状形态为灵感,遵循先进发展、未来科技的理念,运用动感流畅的线条,打造轻盈灵动、富有张力的动态桥梁之美,寓意温州人民勤劳致富的优良品和格勇立潮头,敢为天下先的开拓精神。	提取瓯绣灵动的彩线,形成飘逸柔美的拱桥造型。“锦绣”是精美鲜艳的丝织品,如瓯绣;同时象征美丽和美好。“锦绣”是温州倚江、负山、面海的山水格局之凝练。“锦绣”是连接七都未来科技岛与滨江 CBD 的纽带。“锦绣”是蕴含温州古典气韵,又彰显现代桥梁工程美学的地标
慢行系统	主桥采用分幅设计,中分带的设计,为桥下空间的采光和舒适性产生了积极的影响。在拱脚处设置下沉式观景平台,与主桥造型融为一体	上层桥面设观景平台,可从下层桥面楼梯到达桥上观景平台,下层桥面在观景平台处拓宽,增加行人活动面积	拱脚设置景观挑台,丰富慢行系统功能,同时结合平台特色铺装强化瓯绣柔美曲线设计。
方案亮点	1.连续波浪曲线造型,具有较高的标志性与识别度 2.中承式+上承式组合拱桥结构形式,使得桥梁具有较高的时代感与科技感,与科技创新的城市精神相呼应 3.慢行系统在拱脚处增加一体化观景平台设计,丰富了慢行空间的舒适性与体验感	1.主拱造型简约而不简单,流畅有机造型充分展现该桥所具有的“造型之美”、“跨越之美”和“力量之美” 2.非机动车和人行路线规划讲究层次和空间变化,通过下层道路在平面拓宽或立面上的高低错落,以及与上层桥梁连接沟通,在空间和节奏上都体现桥梁景观的立体性	1.整个桥型以温州瓯绣为设计元素,造型灵动飘逸 2.色彩涂装采用外红内白双面异色的涂装方式,向瓯绣双面绣精湛工艺致敬
结论	推荐	比选	比选

4.3 主拱跨数

瓯江七都南汊为通行 500 吨级海轮的习惯性航道,根据桥区航道方案设计专题研究和航道通航条件影响评价专题,通航孔要求净空要求不小于 120 m × 17.5 m,本项目推荐的拱桥方案拱肋与主梁交点间净距为 140 m 左右,主桥采用 200 m 跨径较合适。

随着设计水平的发展,中承式拱桥的景观造型和结构体系愈发多样。新结构形式的出现不仅丰富

了拱桥的桥型,也充分展示了拱桥的造型美^[4]。主桥多连拱的造型舒展、飘逸,能较好融合周边环境和温州地域文化。对比主桥连拱的数量,景观效果从七跨、五跨至三跨,依次呈递减趋势。本项目景观上要求打造城市视觉新焦点,成为城市新地标,最终推荐景观效果最好的七跨方案,如图 7 所示。

4.4 横断面设计

道路横断面分配必须要能够适应城市交通流



图7 七跨方案

成的转变和城市交通长远可持续发展的要求,在考虑其功能的前提下应注重景观设计,考虑现有及规划的工程构筑物合理衔接,近远期结合的同时综合协调交通需要、建筑艺术、日照通风、减灾防灾、埋设各种地下管线的横向布置宽度等方面要求。

本项目慢行交通对竖向高程变化敏感,故将慢行系统专用道布置在第二层桥面,既便于路线竖向设计,也有利于慢行交通的舒适性。双层桥面除满足交通需求外,还应考虑景观性和舒适性,常见的双层桥面形式有桁架、吊挂和箱梁底板外挑3种类型。

(1)桁架桥,如图8所示,是最常见的双层桥断面形式,上下层断面作为整体参与受力。根据桁架形式可呈现独特的几何美,慢行系统为整体式,空间大,互动性好,适应不同下层结构层高需求。

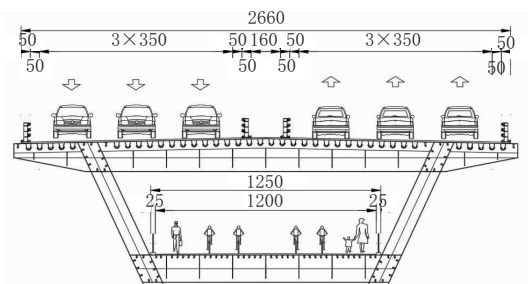


图8 桁架桥双层桥断面示意(单位:cm)

(2)吊挂桥,如图9所示,外形相当于下弦杆和腹杆尺寸缩小的桁架桥,能适应不同的主梁结构形式,整体通透性好,可根据需求适应不同的下层结构净高。但下层结构不参与整体结构受力,相当于荷载依附于上层结构,上层结构需要做得更强。在江河入海口、台风高发区尚无工程实例,慢行系统桥的抗风问题和桥上行人的舒适性问题需要引起充分重视。

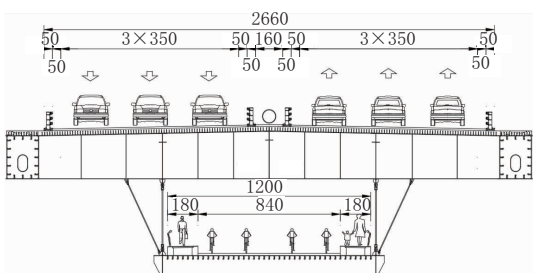


图9 吊挂桥双层桥断面示意(单位:cm)

(3)箱梁底板外挑,如图10所示,仅需在常规箱梁的基础上作底板外挑的新增结构,适用于常规的混凝土和钢箱梁断面,经济性较好。但下层结构梁高受结构自身高度限制,且慢行系统一分为二,左右分幅,可满足交通功能,但休闲性、趣味性较差。

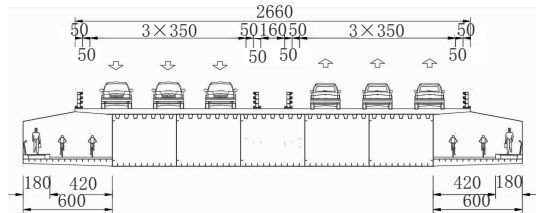


图10 箱梁桥双层桥断面示意(单位:cm)

本项目人非通道致力于打造城市视觉新焦点,创造健康休闲新场所。考虑到慢行空间进深尺度大,根据国内类似桥梁慢行系统净高的调研,慢行系统净高采用4.5 m,推荐采用吊挂慢行系统桥梁方式。同时,充分考虑温州处于台风高发区,对吊挂系统进行改进采用桁架形式^[5-7],提高行人舒适性,如图11所示。

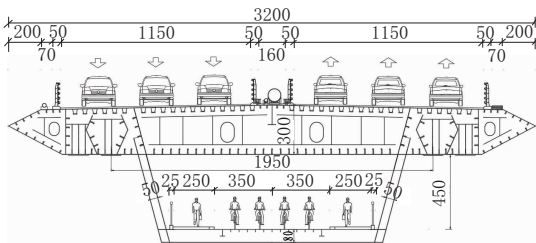


图11 箱梁+桁架组合双层桥断面示意(单位:cm)

5 结语

七都二桥创新性地采用七跨连续钢箱拱桥方案,其中中间三跨为中承式拱桥,两侧各两跨均为上承式和半波上承式拱桥结构,钢拱肋线型采用空间样条曲线,外轮廓为空间异形,断面形式为六边形+圆弧顶面装饰,与周围环境相融合,在景观上具有鲜明特色。主桥主梁采用双层桥面结构形式,上层桥面为机动车桥,满足了多层次过江交通需求。

参考文献:

- [1] 李磊,李亮亮,王晓阳.七都大桥北汊桥主桥设计[J].桥梁建设,2016,46(4):103-108.
- [2] 王振海,周岑,石晋涛.多连跨中承式拱桥合理结构体系研究[J].公路,2019,64(4):131-134.
- [3] 李金国.花园路多跨连拱桥设计与施工[J].城市道桥与防洪,2022(1):100-102,124.
- [4] 曹海顺,鄢芳华.中承式系杆拱桥结构体系分析[J].公路,2020,65(2):125-129.
- [5] 王瑾怡.钢箱桁组合连续梁桥受力特性及参数分析[D].广州:华南理工大学,2021.
- [6] 王金磊,窦巍.大跨度上承式钢箱桁拱桥设计[J].工程与建设,2019,33(1):45-47.
- [7] 窦巍.大跨径拱挂梁全固结体系钢箱桁拱桥设计[J].工程与建设,2020,34(6):1068-1071.