

90 m 提篮系杆拱桥设计与分析

易辉, 李爽

(中交公路规划设计院有限公司, 北京市 100088)

摘要: 某城市 90 m 钢箱拱肋提篮系杆拱桥, 主梁采用钢混叠合梁, 拱肋截面高度和宽度在空间同时变化, 并采用无柔性系杆体系和减隔震抗震体系。通过对该桥技术特点介绍和计算分析, 可为同类型桥梁设计提供一定的参考。

关键词: 系杆拱桥; 提篮拱桥; 变高变宽拱肋; 减隔震体系; 钢混叠合梁

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)03-0072-03

0 引言

随着城市的发展, 对城市景观桥梁的要求也越来越高。钢箱系杆拱桥因其结合了梁与拱两种结构类型, 兼具有拱桥的大跨越能力和简支梁桥对地基适应性强的特点, 拱肋也能在空间上设计出各种优美的造型, 在城市景观桥梁中应用越来越广泛^[1]。现介绍某城市新建一座跨河 90 m 钢箱提篮系杆拱桥, 拱肋造型独特截面在空间上高度和宽度同时变化, 桥面标准宽度 21.65 m, 桥面系采用钢混叠合梁结构, 下部结构采用 V 型实体墩和群桩基础。

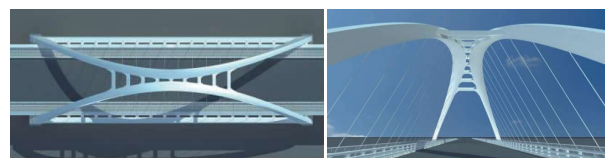
1 方案设计

该新建桥梁跨越城市河流, 连接历史文化遗址与新城, 作为历史古城的门户, 景观要求较高。经方案比选研究, 主桥采用 90 m 钢箱提篮系杆拱桥。在满足路线、通航净空要求及周边建筑景观与自然条件协调的基础上, 桥梁方案以毗邻互助为主题目标进行方案设计, 主桥采用提篮系杆拱桥, 拱肋造型融进流水、树叶等与当地环境文化息息相关的元素, 并将拱肋置于主梁两侧形成镂空效果, 以增加拱肋的形态完整感, 形态简约现代。主桥景观效果见图 1 所示。

2 结构设计

2.1 主要建设条件及技术标准

设计速度: 40 km/h; 桥宽: 21.65 m, 双向四车道; 桥面纵坡 4.86%, 横坡双向 2%; 设计基准风速:



(a) 俯视

(b) 行车角度方向

图 1 主桥景观效果图

55.5 m/s; 地震动峰值加速度 $PGA=0.6g$; 通航净空宽 50 m, 高 5 m。

桥位处地质条件较差, 30 m 范围内无基岩, 主墩水深约 8 m, 基础设计及施工难度较大。桥址区 1 000 a 重现期地震动峰值加速度为 $0.6g$, 属强震区, 结构设计主要受地震控制。

2.2 主拱设计

根据路线及通航净空, 主桥跨径为 90 m。由于主桥纵坡较大, 两桥墩墩顶高差达 4.37 m, 主桥采用“正拱斜置”布置方式, 计算跨径 88 m。拱桥常用拱轴线线型有悬链线、二次抛物线、圆弧线、多段折线等, 合理的拱轴线线型应与压力线吻合^[2]。根据该桥荷载的分布形式, 经对比分析, 拱轴线采用二次抛物线, 拱肋竖直平面内矢高 $f=22$ m, 矢跨比 $f/L=1/4$ 。

主拱系统由拱肋、横撑及装饰板构成, 为全焊钢箱结构, 材料采用 Q345qD。为实现景观效果, 两拱肋斜靠内倾 29.11° , 拱肋截面采用钢箱矩形截面, 截面高度和宽度在空间同时变化。高度由拱脚到拱顶按二次抛物线从 3 m 变化到 1.6 m, 宽度由拱脚到拱顶根据拱轴线弧长按线性变化从 1.6 m 变化到 3 m。拱肋横隔板垂直于拱肋设置, 间距 1.5~2 m, 吊杆处横隔板竖直。为增强横向稳定性, 拱肋间设置 9 道“一字”横向风撑, 横撑采用矩形钢箱断面, 高 1.2 m, 宽 1.48 m。主桥立面布置及标准横断面见图 2 所示。

收稿日期: 2020-07-10

作者简介: 易辉(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计工作。

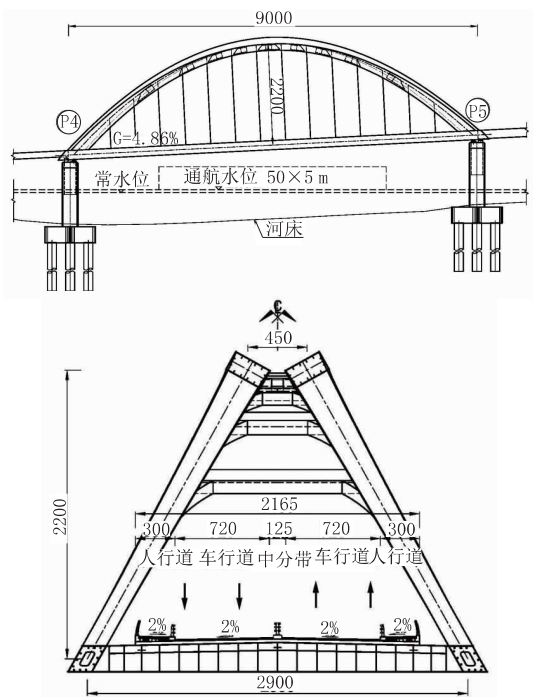


图2 主桥立面及标准横断面图(单位:cm)

2.3 桥面系

该桥将人行道布置于两拱肋间,同时预留一定的距离形成镂空效果,主梁中心距离29 m。钢箱系杆拱桥常用桥面系形式有正交异性钢桥面系与钢混叠合梁桥面系。钢混叠合梁桥面系因其行车噪声小、后期养护维修工作量少等优点具有较大的优势,同时考虑到桥位处主梁大节段运输及吊装较困难,比选分析后采用密布横梁与混凝土桥面板相结合的钢混叠合梁桥面系。

桥面系由主纵梁、小纵梁、端横梁、中横梁及桥面板组成。主纵梁采用全焊平行四边形截面,高2 m,宽2.082 m,顶底板厚30 mm,腹板厚20 mm。通过主纵梁承受水平推力,不再设置柔性系杆。横梁标准间距2.75 m,拱脚处端横梁采用带肋箱形截面,中横梁采用工字型截面,梁高2~2.253 m以适应横坡,横梁与主纵梁采用焊接连接。横梁间设置3道小纵梁,采用工字型截面,梁高0.4 m,与横梁采用焊接连接。混凝土桥面板厚0.26 m,分块预制并存放6个月以上以减小收缩徐变,吊装后通过剪力钉及纵横向湿接缝与横梁、小纵梁形成整体。

2.4 吊杆

吊杆间距与横梁间距相对应,纵桥向间距5.5 m,拱肋每侧各设置14根吊杆,全桥共28根吊杆。吊杆采用PES7-73和PES7-85两种规格高强度镀锌平行钢丝拉索,标准强度1 670 MPa。其中:靠近拱脚处4根吊杆采用PES7-85型,其余吊杆采用PES7-73

型。吊杆上端(张拉端)通过锚具锚固于拱肋内,下端(固定端)与主纵梁通过耳板销铰连接。

2.5 拱梁连接节点

拱脚处拱肋与主纵梁的连接节点处构造复杂为受力关键部位,通过采用整体腹板连接节点板,以消除焊缝等的影响,提高节点的整体性。

2.6 下部结构设计

主桥桥墩采用V形实体墩,同上部拱肋线形呼应,增强景观效果。基础采用13根直径2 m桩基群桩基础。

2.7 抗震设计

目前国内外采用的结构抗震体系主要有两类。一类按延性抗震设计,地震作用下利用墩柱的塑性变形,延长结构周期,耗散地震能量;另一类采用减隔震设计体系,利用桥梁上下部的连接构件发生塑性变形或增大阻尼,延长结构周期,耗散地震能量,从而减少结构地震反应。

该桥位于地震多发区,设计采用减隔震抗震体系,采用摩擦摆减隔震支座。在小震作用下,剪力销不剪断;在大震作用下,剪力销剪断,通过支座的摆动来耗能。

3 主要计算结果

该桥计算主要工作包括整体静力分析、稳定性分析、抗震分析和拱脚、拉索、锚固节点及桥面板局部有限元分析^[3-4]。整体静力分析采用MIDAS CIVIL建立空间有限元模型,如图3所示。其中未考虑桥面板的刚度贡献,吊杆采用桁架单元,其余杆件采用梁单元,并根据施工顺序进行结构离散,全桥共划分为1 128个节点、1 186个单元、6个主要施工阶段。

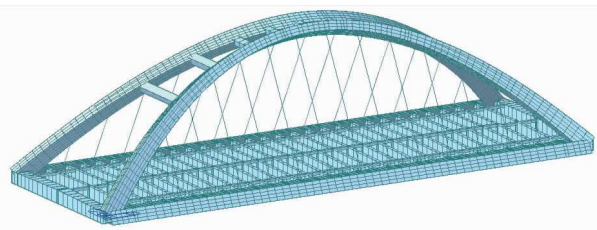


图3 全桥有限元模型

全桥主要计算结果如表1所列,主要计算结论如下:

- (1)在最不利组合下,拱肋截面最大压应力121 MPa,横梁下缘最大拉应力214 MPa,主纵梁最大拉应力112 MPa,各部分应力均满足规范要求。
- (2)活载作用下,主纵梁最大挠度为32 mm,约

为 $L/2812 < L/800$,刚度满足规范要求。

(3)吊杆最小安全系数为 2.9,最大应力幅 78 MPa,满足规范要求。

(4)经对主桥空间稳定性分析,最小弹性稳定系数为 5.9,满足规范大于 4 的要求。

(5)通过采用单振型反应谱法和非线性时程分析法进行地震反应分析,桥梁的抗震性能满足要求。

表 1 主要计算结果表(表中负值表示受压)

检算部位	正截面抗弯承载力检算			截面抗剪承载力检算		
	最大正应力 $\gamma_0\sigma/\text{MPa}$	设计值 f_d/MPa	验算 情况	最大剪应力 $\gamma_0\tau/\text{MPa}$	设计值 f_{vd}/MPa	验算 情况
拱肋	-121	270	通过	18	155	通过
拱肋横撑	-28	270	通过	2.3	155	通过
主纵梁	112	270	通过	5	155	通过
端横梁	158	270	通过	27	155	通过
中横梁	214	270	通过	37	155	通过
小纵梁	255	270	通过	87	155	通过

4 施工方法

钢箱系杆拱桥常用的施工方法有先梁后拱法和整体顶推施工法。综合考虑桥位处场地条件,该桥采用先梁后拱法施工。在满足通航要求下,在水中设置多个临时墩,主要施工步骤如下:

- (1)主桥下部结构及临时墩施工;
- (2)安装主纵梁及端横梁、中横梁及小纵梁;
- (3)安装拱肋支架及主拱肋吊装拼接;
- (4)安装吊杆及混凝土桥面板;
- (5)吊杆张拉,湿接缝浇筑及附属工程施工;
- (6)成桥及二次调索。

5 技术特点分析

- (1)钢箱系杆拱桥拱肋截面一般采用等截面或

变截面,而变截面往往也只有一个方向上变化。该桥拱肋造型独特,酷似一枚树叶,拱肋截面尺寸在空间上宽度和高度同时变化,几何形状较复杂,构造设计难度较大,设计中采用了 BIM 辅助设计,极大提高了效率。

(2)提篮系杆拱桥拱肋的内倾斜角度一般为 $0\sim 15^\circ$,拱肋倾角对结构的稳定有较大影响,在一定角度范围内随着倾角的增大,结构稳定系数增大,超过某一角度后,结构稳定系数变小。为满足造型,该桥将两拱肋斜靠内倾 29.11° ,拱肋内倾角度加大的同时相当于加大了拱脚间距,提高了宽跨比,整体的横向稳定性得到增强。

(3)该桥桥址处地震频发,地震动峰值加速度 $0.6g$,设计中采用减隔震抗震体系,通过支座的摆动,延长结构周期、消耗地震能量,降低结构的响应,具有较好的效果。

6 结 语

钢箱系杆拱桥兼具有拱桥和梁桥的特点,拱肋受压,系杆受拉并承受一定的弯矩,能充分发挥材料的性能。该桥虽跨度不大,但拱肋截面变宽变高造型独特,并采用减隔震抗震体系,计算表明桥梁受力性能均满足规范要求,可供类似组合桥面系钢箱拱肋系杆拱桥设计时参考。

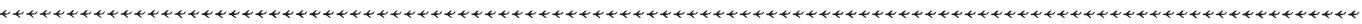
参考文献:

[1] 黄帅.下承式钢箱拱肋系杆拱桥受力性能研究[D].西安:长安大学,2010.

[2] 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.

[3] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

[4] BSIDS-2013,LRFD Bridge Seismic design specifications [S].



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com