

宽幅无风撑中承式连续梁拱组合桥总体设计

范佐银,豆飞,保积伟

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:重点介绍嘉峪关市金港路上跨清嘉高速公路桥梁的总体设计和技术特色。该桥采用宽幅无风撑中承式连续梁拱组合桥结构体系,桥位处地震烈度高,为有效减小地震作用对桥梁结构的影响,在拱脚处设置摩擦摆减隔震支座,与传统中承式无铰拱桥有较大区别,为国内首座无风撑中承式连续梁拱组合桥。主桥跨径布置为(22+65+22)m,桥宽36m,主梁采用钢-混凝土组合梁,拱肋采用矩形薄壁钢箱,桥墩采用锥形实体墩,基础采用钻孔灌注桩基础。

关键词:无风撑;高烈度抗震;中承式;连续梁拱组合桥;钢箱拱;总体设计

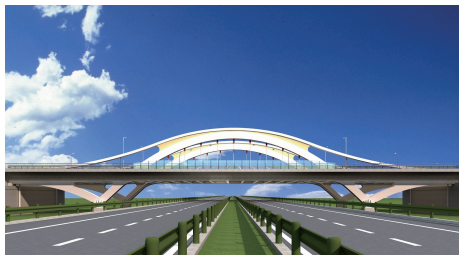
中图分类号:U442.5+3

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)09-0082-04

1 工程概况

本工程位于嘉峪关市中心城区的东部,在新文路桥与机场南路桥以东,连接安远沟组团、讨赖河新区组团,呈南北走向,主桥建成效果如图1所示。道路等级为设计车速60 km/h的城市主干路,桥梁全长156.4 m,主桥采用跨径布置为(22+65+22)m的中承式连续梁拱组合桥,与道路建设同步实施^[4]。



(a)高速行车视角



(b)桥上行车视角

图1 主桥效果图

2 主要技术标准

(1)道路等级:城市主干路。

收稿日期:2024-01-29

作者简介:范佐银(1977—),男,学士,高级工程师,从事市政桥梁设计工作。

(2)设计车速:60 km/h。

(3)荷载等级:城-A级。

(4)桥面宽度:双向6车道,全宽36.0 m。

(5)设计风速:100 a一遇基本风速为31.3 m/s(规范值),运营桥面风速为25 m/s,施工阶段设计采用的风速按20 a风速重现期计取。

(6)抗震设计:桥梁抗震设防类别为乙类,桥址处地震基本烈度8度,设计基本地震动峰值加速度为0.2g,设计地震分组为第二组,地震反应谱特征周期值为0.4 s。

3 主桥总体布置

嘉峪关市金港路上跨清嘉高速公路桥梁的主桥为(22+65+22)m中承式连续梁拱组合桥,桥宽36 m,桥面系为钢-混凝土组合梁结构,道路中心线处梁高2.451 m;拱肋采用两片平行钢箱拱,拱肋横向中心间距为25.5 m;吊索间距4 m。

桥墩采用造型美观的锥形墩,承台采用分离式承台,基础采用钻孔灌注桩基础,桥台采用重力式桥台,施工工法采用部分钢支架施工。主桥总体布置如图2所示,主桥横断面如图3所示。

4 主桥结构设计

4.1 拱肋系统

(1)主拱:拱肋主跨径65 m,矢高16.25 m,矢跨比为1:4,边跨跨径22 m;桥梁拱肋为钢结构,材质采用桥梁用钢Q345qE,为宽1.5 m、高1.7 m的矩形

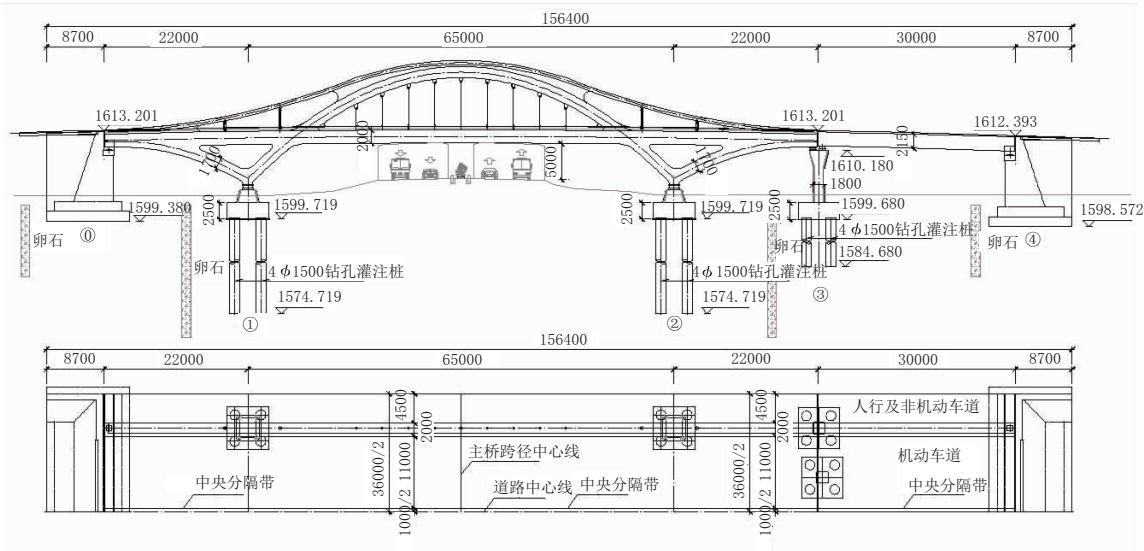


图 2 主桥总体布置图(单位:mm)

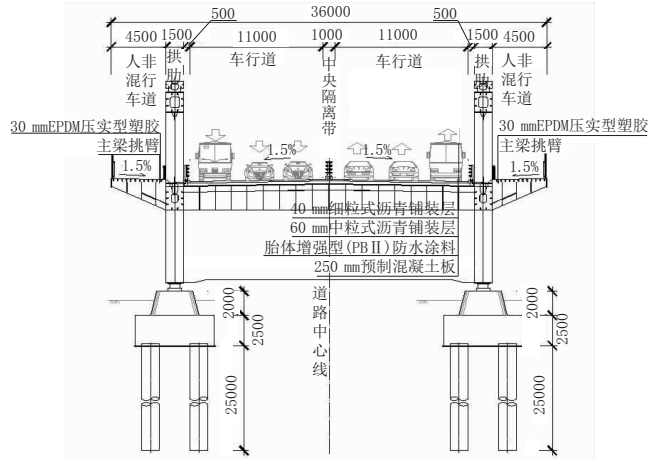


图 3 主桥横断面图(单位:mm)

截面;拱肋标准段的顶底板、腹板厚度均为 16 mm,在主拱每个吊索锚固处设一道 24 mm 厚的横隔板,横隔板连接吊耳板,采用销铰方式锚固吊索,如图 4 所示;中跨拱梁结合段采用完整拱肋腹板,主纵梁顶底板与拱肋顶底板焊接,以使传力路径顺畅,如图 5 所示;拱脚段腹板为整板,顶底板、腹板厚 30 mm,主跨拱肋与边跨拱肋交汇形成整体,拱肋纵向加劲采用满足高厚比的板肋,横向加劲按与拱肋的拱轴线垂直布设,拱脚构造简单,传力明确,立面图如图 6 所示。

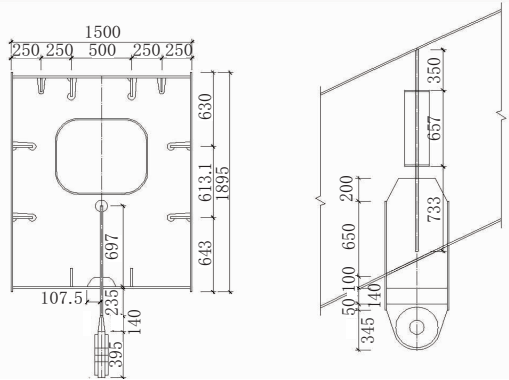


图 4 拱肋吊点断面图(单位:mm)

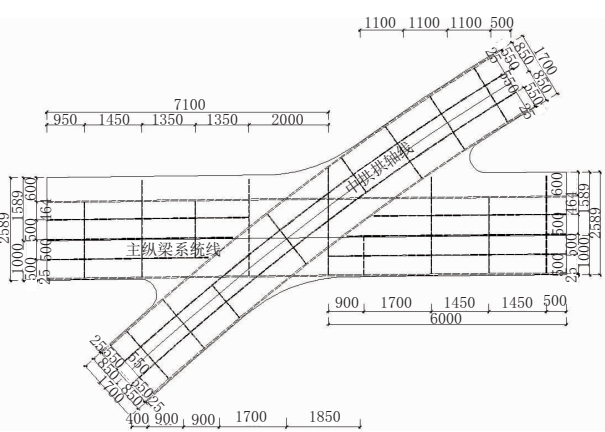


图 5 中跨拱梁节点立面图(单位:mm)

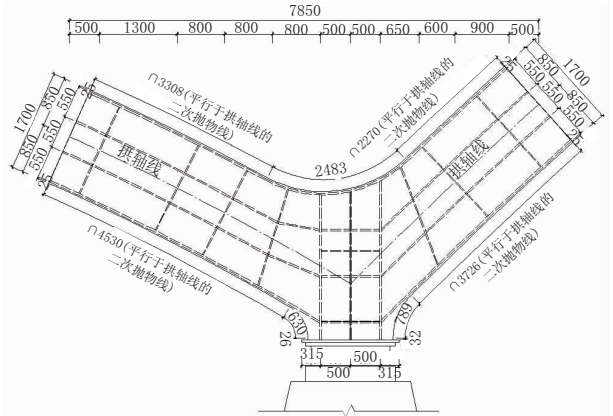


图 6 拱脚段立面图(单位:mm)

由于桥面以上两片拱肋之间横向未设置横撑,为保证桥梁整体稳定性,需在拱脚处设置一道刚性横梁。

(2)副拱:桥梁副拱为钢结构,材质为钢 Q345qE;副拱标准段箱高 0.6 m,宽度 1.5 m;拱顶处与主拱顶面焊连,在主纵梁顶面副拱端部位置设置竖向支座;副拱采用正态分布曲线与主拱刚柔结合形成的整体结构,使造型犹如展翅欲飞的大雁,整体舒展、飘逸。

(3)抗震挡块:挡块与预留更换支座牛腿的整体设计,构造空间利用率高且布设紧凑,挡块采用可拆卸式布置,整体外观效果好、功能全,如图7所示。

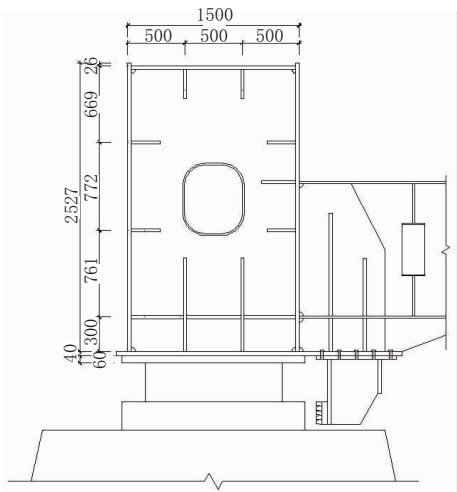


图7 抗震挡块立面图(单位:mm)

4.2 桥面系

桥面系为双边箱钢-混组合结构,道路中心线处梁高2.451 m,全宽36 m。组合梁钢梁的材质采用钢Q345qE,设计为由双边闭口箱主纵梁、中横梁、固定横梁、端横梁及小纵梁组成的双主纵梁梁格体系。其中纵梁上每间隔4 m布设一道工字形大横梁,相邻两道大横梁之间设置两道工字形小纵梁,以实现模板作用。桥面系布置如图8所示。

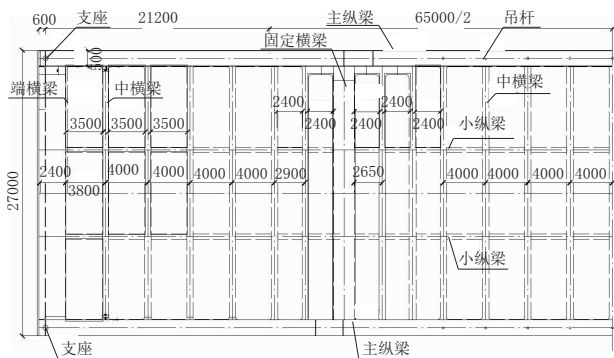


图8 桥面系布置图(单位:mm)

(1)主纵梁:全桥共设两片矩形截面主纵梁,中心距25.5 m,梁高2 m,宽度1.5 m,顶底板厚20 mm,腹板厚16~20 mm;主纵梁上每4 m设置一道横隔板,分别与横梁位置相对应,横隔板厚为14、16 mm,如图9所示;考虑施工和后期维护的方便,在主纵梁箱内未设置水平预应力钢束,主纵梁完全承担拱肋水平推力。

(2)横梁与小纵梁:横梁分为中横梁、固定横梁及端横梁,工字形断面中横梁顺桥向布设间距为4 m,最小梁高为2 m;钢结构中横梁顶板尺寸为600 mm ×

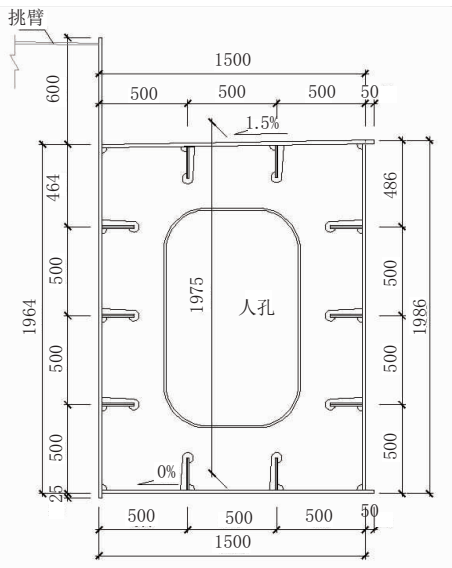


图9 主纵梁横断面图(单位:mm)

24 mm,底板尺寸为700 mm × 20 mm至700 mm × 30 mm,腹板厚度为16 mm;固定横梁采用箱型断面,最小梁高为2 m,板厚20~24 mm;端横梁采用箱形断面,宽度为1.9 m,最小梁高为2~2.16 m,顶板厚度为20 mm,底板厚度为24 mm,腹板厚度为20 mm;工字形断面小纵梁顶板尺寸为500 mm × 16 mm,底板厚度为300 mm × 12 mm,腹板厚度为372 mm × 12 mm。

(3)人行道挑臂:在主梁两侧设置挑梁及钢人行道板,挑梁标准间距为4 m,与横梁对应。

(4)桥面板:桥面板横向分为三块预制板,预制板之间采用现浇湿接缝连接,全桥共设四道纵向湿接缝;预制板采用C50混凝土,厚度为25 cm,预制板尺寸为2 400 mm × 7 050 mm至3 500 mm × 7 800 mm,单片最大预制板重为19.1 t;为减小混凝土收缩徐变造成的不利影响,预制板需存放6个月以上再进行安装。

(5)剪力钉:剪力钉是桥面板与钢主梁和横梁连接的关键构件,本桥采用高度200 mm、直径22 mm的圆头焊钉,以纵向间距为100~300 mm进行布设,并结合桥面板钢筋间距进行局部优化。

4.3 吊索

梁拱间布设平行吊索,吊索采用1 860 MPa级GJ15-17钢绞线整束挤压锚固体系产品,吊索按纵桥向4 m间距设置,全桥共设18根。吊索上下端均采用销轴式耳板锚固,在梁端张拉,总调节量为100 mm。

4.4 下部结构

桥墩采用造型美观的锥形实体墩,桥墩高度为2 m,锥形顶外轮廓尺寸2.5 m(纵) × 3.0 m(横),采

用分离式承台接群桩基础,承台尺寸为 $6.5\text{ m}\times 6.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ 。基础采用 $\phi 1.5\text{ m}$ 钻孔灌注桩,桩长 25 m 。过渡墩采用钢筋混凝土柱式墩,墩身尺寸为 $1.8\text{ m}\times 1.8\text{ m}$,采用分离式承台,承台尺寸为 $6.25\text{ m}\times 6.25\text{ m}\times 2.5\text{ m}$,单个承台接4根直径为 1.5 m 的钻孔灌注桩,桩长 15 m 。桥台采用重力式钢筋混凝土桥台,持力层为卵石层,基础材质采用便于施工的钢筋混凝土以扩大基础。

5 结构设计特色

嘉峪关市金港路上跨清嘉高速公路桥梁主桥造型美观、结构线形流畅,通过综合研究分析,本桥在结构设计上具有以下技术特点。

(1)考虑行车视角通透性要求,采用无风撑平行拱肋,避免风撑带来杆件凌乱和压抑的缺点,具有行车视野开阔的优点,由于风撑对拱肋稳定性的改善比较明显,因此宽幅无风撑中承式钢箱拱桥稳定性研究是本桥的设计重点之一。

经计算,一阶失稳模态主要为拱肋侧向失稳,最不利工况下稳定安全系数提高到 $38.8>4.0$,满足规范规定主拱弹性整体稳定安全系数不应小于 4.0 的要求。

(2)高烈度地区对中承式拱桥抗震性能的要求较高,如果采用主拱与拱座固接,在地震作用下拱座的基础反力会非常大。为了减少地震作用下基础的受力,设计将固结拱桥拱脚处解开,设置减隔震体系,即采用双曲面球型减隔震支座,以有效减小桥梁下部结构的地震响应能力,极大提高了桥梁结构的抗震性能,降低了下部结构的工程投资。由于支承体系采用非固结体系,本桥是国内首座宽幅无风撑中承式连续梁拱组合桥。

(3)中承式钢箱拱桥局部交叉节点多,构造复杂,尤其边、中拱梁节点和拱脚节点是全桥的关键部位,为满足结构受力要求,同时也考虑施工可操作性和质量控制要求,对节点构造做了大量细部优化。

(4)清嘉高速公路是嘉峪关中心城区南北向交通的瓶颈之一,因车流量大,且桥位处的天然气管道错综复杂,导致施工难度极大。施工过程需满足保通

要求,采用大跨度支架跨越方案,以保留足够车道数量,最大限度降低对高速公路交通运行的不利影响。

(5)桥位处风沙多、温差大、紫外线强,为减轻桥面养护工作的难度,采用钢-混凝土组合梁可有效解决钢桥面正交异性板疲劳开裂的问题。

6 结语

嘉峪关金港路上跨清嘉高速公路桥的设计结构体系新颖,为国内首座中承式连续钢箱梁拱组合桥,主梁采用钢-混凝土组合梁结构。桥位处地震烈度高,为有效减小地震作用对桥梁结构的影响,在拱脚处设置摩擦摆减隔震支座,与传统中承式无铰拱桥存在较大区别。中承式钢拱肋造型仿佛舞动的丝带般流畅自然,线条优美柔滑,行走其中,好似在丝带中荡漾,为柔美的拱桥形状增加了力度感。

通过对结构体系和构造设计进行优化,实现力学与美学的统一,对于中承式连续梁拱组合桥,充分利用桥面结构和拱脚横撑的框架作用,避免在行车道上方设置额外的风撑,以达到行车视野开阔、结构轻盈、造型美观的目的。该桥于2023年3月开工建设,已于2024年7月建成通车。

参考文献:

- [1] 黄家建.柳州市广雅大桥设计[J].世界桥梁,2014,42(1):6-11.
- [2] 曹发辉,郑旭峰,梁健.海鸥式钢箱拱桥设计关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(1):71-74,96.
- [3] 赵鹏磊,师少辉,付小烦.佛山同济大桥主桥总体设计[J].桥梁建设,2023,53(增刊1):105-110.
- [4] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.嘉峪关市产业园区基础设施连通工程施工图设计[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2022.
- [5] 杨泽伟,胡华,冀苏伟,等.惠州鹅城大桥主桥总体设计[J].世界桥梁,2022,50(6):7-13.
- [6] 盛洪飞.桥梁建筑美学[M].北京:人民交通出版社,2009.
- [7] 刘伟,石雪飞,阮欣.三跨连续系杆钢拱桥主跨标准段受力分析[J].交通科学与工程,2013,29(2):28-34.
- [8] 覃杰.新光大桥关键施工技术[M].重庆:重庆大学出版社,2009.
- [9] 杨军猛,郭俊峰.斜腿刚构桥的设计优化[J].交通科技,2011(2):5-6.
- [10] 戴建国.城市景观桥梁设计中的彰显与融合[J].城市建筑,2021,18(35):192-195.