

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.07.022

兴隆76路中承式异形钢管拱桥总体设计

梅宇

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610094)

摘要:兴隆76路中承式异形钢管拱桥为成都市天府新区直管区川法生态科技园的一座标志性景观桥梁,跨径组成为32 m+96 m+32 m,主拱拱圈整体造型为人字形,截面形状呈蜜桃形,除了左右两拱圈交汇处采用变截面外,其余区段均为等截面,主梁为等高等宽连续钢箱梁,其桥面板采用正交异性板结构,吊杆上、下端均采用钢锚箱与主拱拱圈、主梁进行锚固。采用有限元软件对主桥进行整体静力及稳定性分析,结果表明:在施工阶段及运营阶段主拱和主梁的承载能力均满足设计规范要求,桥梁具有良好的静力性能。通过总结此类桥梁结构的设计形式及受力特点,可为后续其他类似桥梁的设计提供经验参考。

关键词:拱桥;异形钢管拱;结构计算;桥梁设计;静力分析

中图分类号: U448.225

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0095-05

1 工程概况

兴隆76路中承式异形钢管拱桥位于成都市天府新区直管区川法生态科技园,是鹿溪河上的四座景观大桥之一,毗邻天府大道和兴隆湖,主桥效果见图1。鹿溪河将科技园区划分为两个部分,通过建立的兴隆76路大桥将两岸交通联系起来,为天府新区提供了交通保障。主桥呈现出以“创新、科技与现代”为主调的设计风格,其上部的提篮拱与桥下湿地公园配合在一起,不失为鹿溪河上一道优美的风景线。



图1 主桥效果图

主桥设计总体采用跨径组合为32 m+96 m+32 m中承式异形钢管拱桥,矢高为34 m,矢跨比为1/3.235,拱轴线采用二次抛物线,拱肋采用分段等截面钢箱断面,拱圈整体造型从平面上看如同一个“人”字,拱圈截面形状呈蜜桃形。主拱小桩号侧横桥向设置两片钢拱肋,向内倾斜23°,拱座处两拱肋横向间距52.0 m,主拱在跨中位置两片钢拱肋相交

合成一片拱肋。桥梁宽度设置为3.5 m(人行道)+12.75 m(车行道)+0.5 m(防撞护栏)+0.5 m(防撞护栏)+12.75 m(车行道)+3.5 m(人行道)+4 m(中央分隔带)=37.5 m。为满足景观要求,主跨桥面以上各拱肋间不设风撑。拱圈与钢主梁之间除吊杆连接外,其余部分均独立开,拱圈与梁体相交的部分,采用主梁顶板开孔处理。两侧拱座与桥台均为独立体系。主桥立面布置见图2。

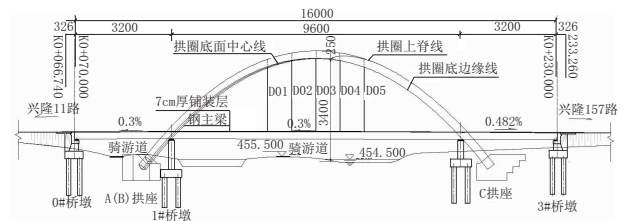


图2 主桥立面布置图(单位:cm)

2 主要技术标准

- (1)道路等级:城市次干路。
- (2)设计车速:30 km/h。
- (3)设计荷载:汽车:城-A级,人群:3.5 kN/m²。
- (4)桥梁结构设计基准期:100 a。
- (5)设计安全等级:一级;结构安全系数:1.1。
- (6)抗震标准:地震动峰值加速度:0.1g;地震基本设防烈度:7度;反应谱特征周期0.45 s。
- (7)设计洪水频率:P1%。
- (8)混凝土耐久性设计环境类别:I类。

3 结构设计

3.1 主拱

主拱拱圈截面形状呈蜜桃形,除了左右两拱圈交

收稿日期:2022-11-10

作者简介:梅宇(1990—),男,学士,工程师,从事桥梁设计工作。

汇处采用变截面外,其余区段均为等截面,在小里程端拱脚处,拱肋截面宽 3.0 m,高 2.0 m(不含上部装饰段),在大里程端拱脚处,拱肋截面宽 4.0 m,高 2.25 m(不含上部装饰段)。拱肋断面顶底板板厚为 24 mm,腹板板厚为 16 mm,均采用 Q345C 结构钢焊接,拱肋断面内侧设置纵向加劲肋,顶底板采用 T 型加劲肋加劲,腹板采用板肋加劲。主拱构造见图 3、图 4。

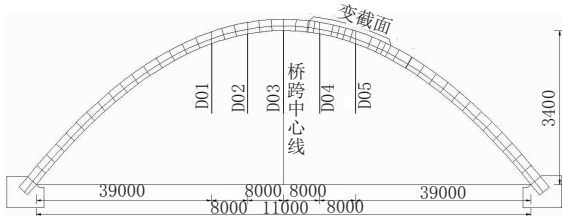


图 3 主拱构造图(单位:mm)

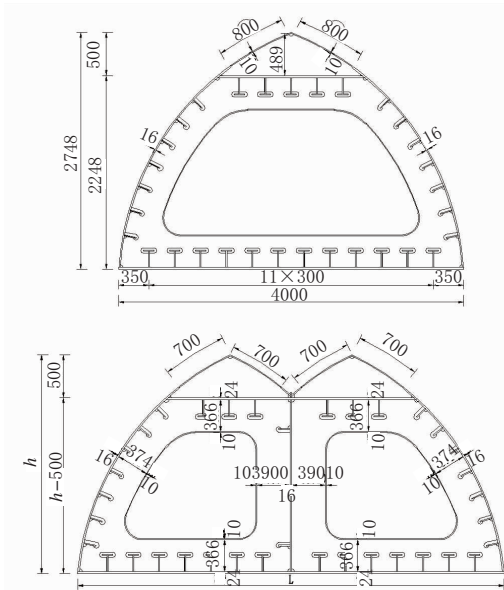


图 4 主拱断面构造图(单位:mm)

3.2 主梁

主梁为等高等宽连续钢箱梁,主梁全宽 37.5 m,边腹板处梁高 2.0 m,箱梁中心处梁高 2.265 m,顶面设 1.5%双向横坡,各支点处横向均设置两个支座。考虑到施工现场的运输和拼装问题,主桥钢箱梁采用纵横向划分,节段箱梁间联结方式主要采用工厂焊接与工地现场焊接相结合的方式。

钢箱梁桥面板采用正交异性板结构,标准断面顶板厚 16 mm,底板厚 16 mm,腹板厚 16 mm,支点位置附近梁段,底板厚度调整为 20 mm。腹板横向间距 10.0 m,横隔板纵向间距 4.0 m,普通横隔板采用 12 mm 板厚,支点和吊点对应横隔板采用 20 mm 板厚。顶板纵向加劲肋采用 300 mm × 280 mm × 8 mm 的 U 型加劲肋,标准间距 0.6 m;底板纵向加劲肋采用 300 mm × 280 mm × 8 mm 的 U 型加劲肋,标准间

距 0.8 m;腹板纵向加劲肋采用板肋,板厚 12 mm,高 100 mm。钢箱主体结构材料采用 Q345C 钢板。主梁构造断面见图 5。

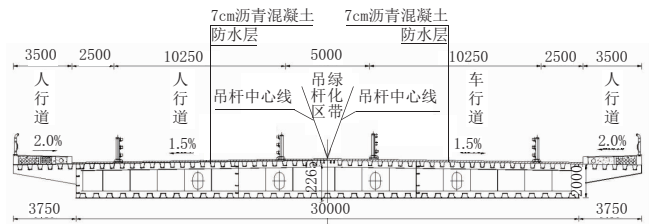


图 5 主梁断面构造图(单位:mm)

3.3 吊杆

全桥共设置 5 对吊杆,吊杆纵向间距为 8 m,上吊点横桥向距离最大为 15.4 m,下吊点均位于桥面中心线上。吊杆采用 19 s 根及 27 s 根 ϕ s15.20 的喷涂型环氧钢绞线束配挤压锚具。吊杆与主梁和拱肋的连接均采用叉耳连接,在梁顶进行张拉。本吊索采用钢绞线整束挤压拉索体系,钢绞线成品索索体由环氧喷涂钢绞线无粘结筋成束后缠包高强聚脂带,再挤包外层 HDPE 防护层,具有良好的防腐性能。耳板构造见图 6。

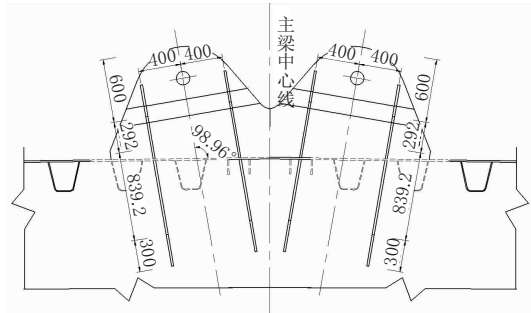


图 6 耳板构造图(单位:mm)

4 结构静力分析

4.1 有限元模型建立

兴隆 76 路中承式异形钢管拱整体有限元模型采用空间有限元程序 Midas Civil 进行建立,主拱拱肋、钢箱梁均采用空间梁单元模拟,吊杆采用空间桁架单元模拟,纵梁之间建立虚拟横梁连接,虚拟梁采用工字钢断面,梁高为 2 m,翼缘板宽为 2~4 m,吊点与梁拱之间采用刚臂单元连接。模型中共采用了 5 种材料,建立了 1 362 个单元,1 172 个节点,其中梁单元 1 354 个,只受拉单元 8 个。主桥有限元模型见图 7。

计算荷载如下:

(1)结构自重:钢材容重取 78.5 kN/m,混凝土总重取 26.0 kN/m。

(2)二期荷载:包括桥面铺装、栏杆和人行道板

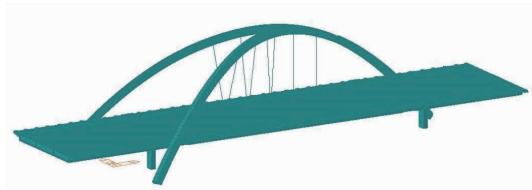


图 7 主桥有限元模型

等附属结构,桥面铺装采用 7 cm 沥青混凝土。

(3)汽车活载:城 -A 级。

(4)人群荷载:按照《城市桥梁设计规范》(CJJ11—2011,2019 年版)计算取值,3.5 kN/m。

(5)温度荷载:体系温度按升温 30°,降温 25°考虑;梯度温度,按 10°考虑。

(6)风荷载:按《公路桥梁抗风设计规范》(JTG-TD60-01—2004)取用,分别考虑横向及纵向风荷载,主梁上的静阵风荷载 $F_H=2.98$ kN/m,主拱上的静阵风荷载 $F_H=3.07\sim 3.39$ kN/m。

(7)支座沉降:按 1 cm 考虑。

(8)制动力:按 1.5 kN/m 取用。

4.2 施工过程受力分析

全桥施工共划分为 5 个施工阶段,其中首先进行桥台、拱座和桥墩施工,并在支架上完成钢箱梁主梁梁体和主拱的现场焊接拼装工作,然后依次完成安装吊杆 D01 和 D05、吊杆 D03 以及吊杆 D02 和 D04,最后进行二期桥面铺装和安装栏杆。具体计算工况见表 1。

表 1 计算工况

施工阶段	具体工序
CS1	主梁和主拱架设
CS2	安装吊杆 1 和 5
CS3	安装吊杆 3
CS4	安装吊杆 2 和 4
CS5	二期桥面铺装和安装栏杆

施工过程中各个构件的应力变化与成桥运营阶段的安全性密切相关,也是设计和研究人员长期以来关注的重点^[1]。通过计算分析可得各施工工况下的主拱及主梁关键控制点的应力见表 2 和表 3。

从表 2 和表 3 中可以看出,整个施工过程中,主拱各控制点一直处于受压状态,压应力分布合理;同时最大压应力发生在 CS5 工况下右拱脚位置处,为 59.3 MPa,满足设计要求。主梁上缘应力除 1/2 梁处受压外,其余部位均处于受压状态;下缘应力除 1/2 梁处受拉外,其余部位均呈现受压状态;同时上缘应力最大值约为下缘应力值的 2/3 左右,由此可见钢

表 2 施工工况下主拱各控制点组合应力 单位:MPa

部位	控制点	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
左拱脚	950	-43.5	-46.9	-45.6	-44.9	-45.5
	1 063	-43.5	-46.9	-45.6	-44.9	-45.5
1/4 拱	979	-15.7	-16.4	-14.9	-14.1	-28.9
	1 092	-15.7	-16.4	-14.9	-14.1	-28.9
1/2 拱	1 007	-13.1	-14.3	-12.8	-12.4	-37.8
	1 120	-13.1	-14.3	-12.8	-12.4	-37.8
3/4 拱	1 037	-13.4	-13.7	-17.1	-17.8	-38.4
右拱脚	1 062	-18.9	-23.3	-24.9	-26.1	-59.3

表 3 施工工况下主梁各控制点上、下缘应力 单位:MPa

部位	应力	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5
左侧梁端	上缘	0	0	0	0	0
	下缘	0	0	0	0	0
1/4 梁处	上缘	69.6	68.1	67.8	67.6	77.4
	下缘	-104.5	-102.4	-101.8	-101.5	-118.2
1/2 梁处	上缘	-63.9	-62.6	-61.4	-61.4	-66.2
	下缘	75.8	74.1	73.1	72.8	78.9
3/4 梁处	上缘	69.9	68.5	68.3	68.0	77.9
	下缘	-105.6	-102.7	-102.3	-101.9	-118.8
右侧梁端	上缘	0	0	0	0	0
	下缘	0	0	0	0	0

梁上缘受力较为安全。

4.3 运营阶段受力分析

运营阶段受力分析主要是关于桥梁上部结构的计算,这直接关乎桥梁的正常使用状况,是整个计算分析的重要部分^[2]。对于主拱和主梁等主要组成构件,需要根据规范进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算,并根据规范^[3]来进行荷载最不利组合。通过计算得到承载能力组合作用下主拱和主梁的应力云图见图 8、图 9。

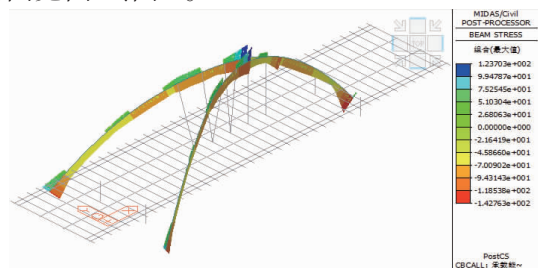


图 8 承载能力组合作用下主拱应力云图(单位:MPa)

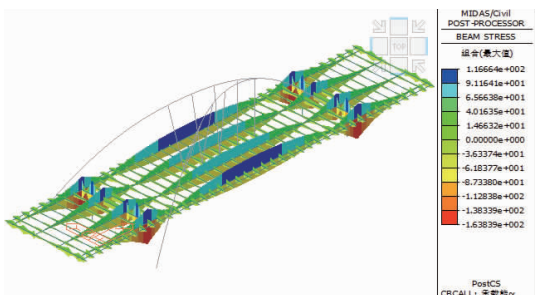


图 9 承载能力组合作用下主梁应力云图(单位:MPa)

从图 8 和图 9 中可以看出, 承载能力作用下, 主拱的最大拉应力为 123.7 MPa, 最大压应力值为 142.7 MPa, 均位于拱顶两拱肋分叉处附近; 主梁的最大拉应力为 116.7 MPa, 位于中跨跨中下缘, 最大压应力值为 163.8 MPa, 位于中支点下缘; 将上述两处截面作为最不利截面进行截面验算, 可知承载能力作用下主拱和主梁的应力值均小于规范规定的 275 MPa^[4], 满足规范要求。

5 结构稳定性分析

大跨径系杆拱桥中, 拱肋作为主要的受压构件, 其稳定性成为该类桥梁稳定问题的关键。弹性稳定分析常用于预测理想弹性结构的理论屈服强度, 其忽略了非线性因素和初始缺陷对稳定性的影响, 但其计算简化效率较高, 其失稳模态形状可作为非线性稳定分析的几何初始缺陷, 故其在理论分析中占据重要作用^[5]。

公路桥规中规定: 对于拱肋宽跨比小于 1/20 的拱桥, 必须进行施工以及成桥阶段的稳定性验算, 对于大跨度拱桥和无支架施工的拱桥, 规定拱肋稳定系数 $k > 4.5 \sim 5$, 以保证结构的安全^[6-7]。本文根据建立的三维空间模型, 利用有限元程序, 按 JTG D 60—2015 规定取两种荷载工况 (见表 10) 对裸拱和成桥两种状态进行结构弹性稳定性计算, 通过计算全桥稳定系数, 以确保桥梁施工与运营安全。

表 10 稳定计算荷载工况

工况(1)	自重 + 风荷载
工况(2)	自重 + 二期 + 风荷载

5.1 裸拱状态下弹性稳定分析

Midas 模型计算了前 10 阶模态的稳定分析, 对工况(1)进行计算, 图 10~ 图 12 为桥梁裸拱状态下的拱肋前三阶失稳系数计算结果图, 对工况(2)进行计算, 图 13~ 图 15 为桥梁成桥状态下的拱肋前三阶失稳系数计算结果图。



图 10 第一阶失稳模态稳定系数为 67.0

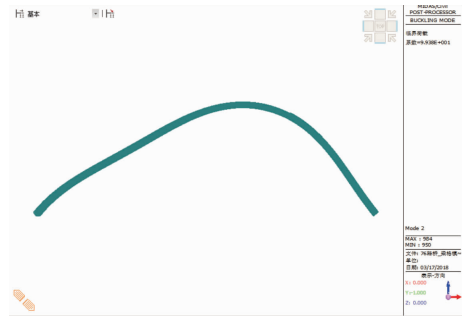


图 11 第二阶失稳模态稳定系数为 99.4

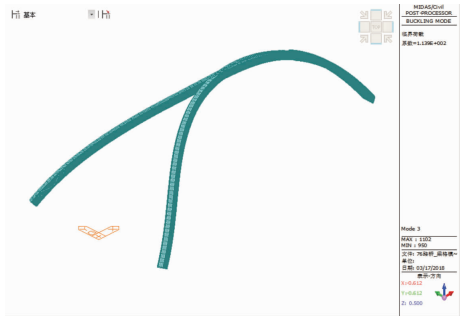


图 12 第三阶失稳模态稳定系数为 113.9

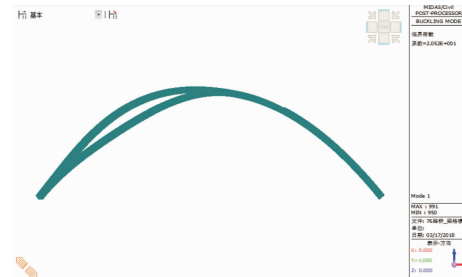


图 13 第一阶失稳模态稳定系数为 20.5

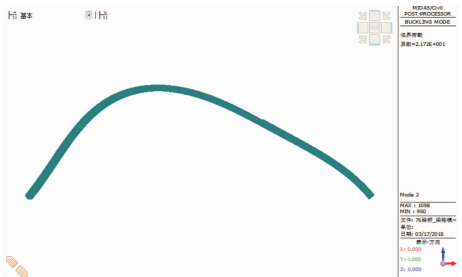


图 14 第二阶失稳模态稳定系数为 21.7

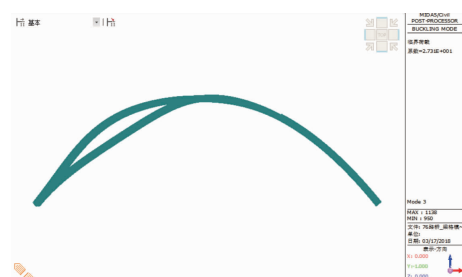


图 15 第三阶失稳模态稳定系数为 27.3

由图 10~ 图 12 可知, 裸拱状态下拱肋第一阶失稳模态稳定系数为 67.0, 第二阶失稳模态稳定系数为 99.4, 第三阶失稳模态稳定系数为 113.9。综上所述, 本桥裸拱状态下的稳定系数均大于 4, 满足该类

桥第一类稳定系数的规范[8]要求。

5.2 成桥状态下弹性稳定分析

由图13~图15可知,成桥状态下拱肋第一阶失稳模态稳定系数为20.5,第二阶失稳模态稳定系数为21.7,第三阶失稳模态稳定系数为27.3。综上所述,本桥成桥状态下的稳定系数均大于4,同样满足该类桥第一类稳定系数的规范[8]要求。

6 结语

我国城市规划法明确指出:“城市规划区的土地利用和各项建设必须符合城市规划,服从规划管理。城市规划区内的建设工程选址和布局必须符合城市规划”。为满足桥下河道及骑游道通过性、景观协调性的要求,本项目采用梁拱结合异形钢箱拱桥跨越规划河道,主拱在跨中位置两片钢拱肋相交合成一片拱肋在顶部合并,该处按单箱多室的方式处理,结构形式新颖。大桥已于2021年1月12日竣工通车,

建成后运营良好并已成为成都市天府新区的地标性建筑。

参考文献:

- [1] 王勇.异形钢管混凝土拱桥的受力分析及试验验证[D].成都:西南交通大学,2014.
- [2] 黄晓彬.造型独特的钢拱桥拱肋设计与计算分析[J].结构工程师,2022,38(2):162-167.
- [3] 吴梅容,卓卫东,孙颖,等.中承式钢管混凝土拱桥动力特性分析[J].振动与冲击,2017,36(24):7.
- [4] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [5] 刘思敏.大跨径钢箱提篮拱桥施工阶段稳定性研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.
- [6] 王林,邢朝伟,王芳.超高矢跨比拱桥拱肋吊装稳定性分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(4):725-728.
- [7] 柴生波,杨清华,王秀兰,等.大跨径中承式钢箱系杆拱桥施工阶段稳定性分析[J].科学技术与工程,2022,22(18):8095-8102.
- [8] 张继权,季日臣.铁路大跨度钢管混凝土拱桥弹性稳定性分析[J].铁道建筑,2020,60(8):12-15.

《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