

成都市金融城锦言大桥总体设计

邹颖

(深圳市市政设计研究院有限公司, 广东 深圳 518029)

摘要: 成都市金融城锦言大桥为下承式空间异形钢拱桥, 主梁跨径 135 m, 主拱跨径 138 m。桥下锦江为 VI 级航道, 主梁采用 2.5 m 高单箱七室扁平钢箱梁, 钢拱肋采用单箱单室变截面钢箱, 全桥设置 11 根高强度成品吊索, 桥面总宽 30 m。采用有限元软件对桥梁总体进行仿真计算分析, 根据分析结果指导设计及施工。锦言大桥结构形式特殊, 外观优美大气, 桥梁建成后成为区域标志性建筑。锦言大桥的总体设计方案可为类似下承式空间异形拱桥设计提供参考借鉴。

关键词: 下承式空间异形拱桥; 钢拱桥; 吊索; 总体设计; 有限元分析

中图分类号: U448.22

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)02-0073-05

Overall Design of Jinyan Bridge in Financial Town of Chengdu

ZOU Ying

(Shenzhen Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518029, China)

Abstract: Jinyan Bridge in Financial Town of Chengdu is a through spatial special-shaped steel arch bridge. The span of the girder is 135 m and the span of the main arch is 138 m. Jinjiang River under the bridge is a Class VI waterway. The girder is a 2.5 m-high single-box seven-chamber flat steel box girder. The steel arch rib is a single-box single-chamber variable section steel box. The whole bridge is equipped with eleven high-strength finished slings. The total width of the bridge deck is 30 m. The finite element software is used to simulate, calculate and analyze the whole bridge. The design and construction are guided according to the analysis results. Jinyan Bridge has a special structural form and beautiful appearance, and has become a regional landmark after its completion. The overall design scheme of Jinyan Bridge can provide the reference for the design of similar through spatial special-shaped arch bridges.

Keywords: through spatial special-shaped arch bridge; steel arch bridge; sling; overall design; finite element analysis

1 工程概况

成都金融总部商务区位于成都市天府大道两侧, 金融城总面积约为 5 km², 横跨锦江, 同处成都市高新区、锦江区两个行政区划。

锦言大桥位于锦言街上, 西侧起于锦言街与科华南路交叉口, 东侧止于泰华西路与国华街交叉口, 为城市次干路。线路全长约 200 m, 跨越锦江, 规划道路宽 30 m, 桥梁轴线与河道呈 65° 斜交。桥下锦江河道宽度约为 110 m, 为 VI 级航道。锦言大桥桥梁主梁为简支钢箱梁结构, 跨径 135 m, 主拱为变截面空间异形钢拱桥, 跨径 138 m, 桥梁总面积约为 4 140 m²[1-2]。目前本桥已建成通车。

收稿日期: 2024-01-30

作者简介: 邹颖(1990—), 女, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

2 桥梁方案设计

桥梁造型方案围绕“锦”字进行构思, 分别以不同文化形态符号语言进行诠释, 以锦带之手法联系锦江两岸, 不同桥位以现代抽象的表现手法, 对提取“锦”之元素进行升华, 以时尚、简洁的造型, 体现着成都商业文明独有的“锦”之文化。桥梁重点展示出了这个区域的不同文化符号, 高低起伏, 错落有致, 既相互联系又有独立的符号语言, 与滨江绿化公园一起形成一条观光走廊, 桥梁造型给人一种强烈的视觉画面, 突出一组由“丝带”飘动而形成的符号化、现代化、易识别的景观桥梁连接锦江两岸。

锦言大桥为市政车行桥梁, 为满足城市形态的控制要求, 此处桥梁的设计不宜太高, 体量不宜太大。因此, 该桥的方案以蜀锦中常表现的“锦绣山水”为构思主题, 以成都平原的山水为元素, 延续城市“流, 系, 连, 织”的设计总体概念。设计上以一跨

倒V字形钢拱作为上部拱结构跨河岸,钢拱形体用硬朗的直线体现拱的力量与阳刚之美。下方拱脚处顺应地势,以水纹的形式表现,塑出优美的人非通道;一山一水,充分体现了成都平原的山水特色。桥梁结构采用现代的空间异形钢拱结构,钢材的金属质感与独特的钢拱造型及索支撑体系,又体现了桥梁的“现代”特点^[3]。锦言大桥立面效果图见图1。



图1 锦言大桥立面效果

锦言大桥桥下河道的通航净高为6 m,通航净宽为不小于58 m,桥位处最高通航水位为483.33 m。防洪标准为200 a一遇,洪水位484.84 m。为满足河道通航需求,同时结合地形情况,采用主桥一跨过河,可减少水下施工,降低施工难度,因此确定桥梁主梁为单跨简支梁,锦江两侧岸上设置桥台,河道内不设置桥墩,主梁单跨跨径135 m。锦言大桥桥型布置见图2、图3。

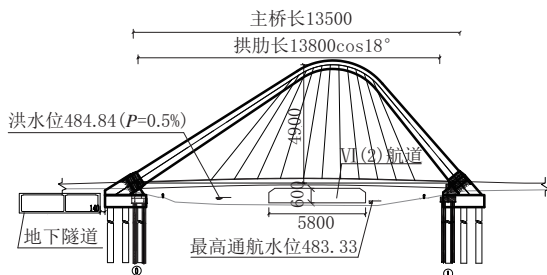


图2 桥型立面布置(单位:cm)

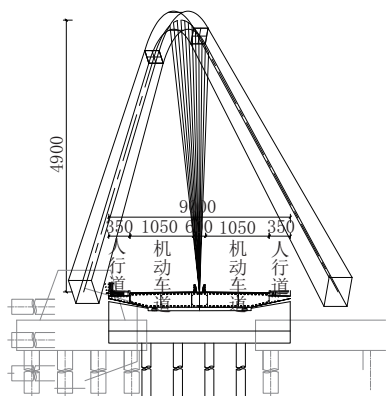


图3 桥型横断面布置(单位:cm)

3 上部结构设计

锦言大桥为主跨跨径135 m的简支钢箱梁钢拱

桥。桥梁主梁位于 $R=500$ m的平面曲线段+直线段上,桥面的最大纵坡约3.609%,主梁结构设置双向1.5%的横坡。拱肋斜跨于主梁之上,主拱圈的设计跨径为138 m,设计矢高为49 m,拱肋矢跨比为0.355,拱肋为单箱单室钢拱肋。

3.1 主梁

桥梁主梁为单箱七室扁平钢箱梁,总宽度为30 m,中心线处梁高为2.5 m。主梁标准横断面设置为3.5 m(人行道)+10.5 m(非机动车道+车行道)+2.0 m(中分带)+10.5 m(非机动车道+车行道)+3.5 m(人行道)=30 m。七室中,中间箱室安装锚拉板,为吊杆锚固受力点;两侧翼缘箱室下沉40 cm,方便规划管线过桥并设置人行道;其余四室均设置为机动车道。

钢箱梁标准段顶板厚20 mm,底板厚20 mm,腹板厚16 mm。吊索锚拉板与主梁横隔板及顶板焊接,根据锚拉板局部应力计算,对吊点附近结构顶板局部加厚至30 mm。在中间箱室吊杆位置设置吊点横隔板,间距8~10 m,厚20 mm。普通横隔板与横隔板交替布置,标准间距2.5 m,厚16 mm。纵腹板和横隔板上设有人孔,人孔尺寸为600 mm×900 mm。

根据桥梁有限元验算结果,主梁结构在不同作用组合下会产生横桥向位移、纵桥向位移或支座脱空的情况,故主梁结构在常规设置横桥向限位装置外,沿桥梁纵向桥台背墙处也设置纵向限位装置。纵向限位装置设置于主梁各箱室纵向隔板位置,设置加劲肋分散应力并通过主梁纵向隔板传力。并对主梁梁端支座位置设置配重混凝土。钢箱梁特殊节点横断面布置见图4、图5。

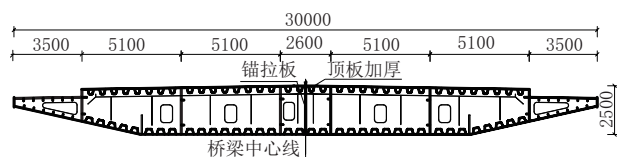


图4 主梁锚拉板处横断面布置(单位:mm)

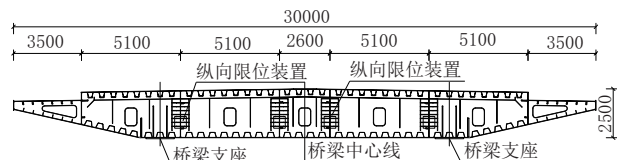


图5 主梁端支点横断面布置(单位:mm)

主梁锚拉板采用厚度40 mm钢板,锚拉板与主梁顶底板均进行焊接,并于主梁理论锚固点位置设置吊点横隔板,板身设置多道加劲肋传力,两侧各加设一道吊点横隔肋,并在板端设置端部加劲肋。主梁锚拉板空间方位与吊杆方向保持一致,锚拉板做

法见图 6。

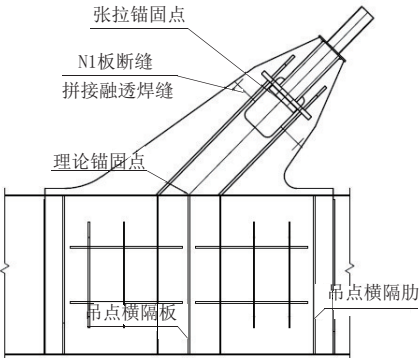


图 6 锚拉板示意图

钢箱梁分节段在工厂制造,各节段经大型货车运输至施工现场并在现场机械吊装、焊接成桥。钢箱梁采用吊机四点平衡起吊,至安装位置后利用临时匹配件与已有梁段临时连接,精确定位后完成全截面焊接。

3.2 拱肋

拱肋为单箱单室变截面钢箱结构,拱脚处截面宽 4.0 m,高 6.0 m,板厚 40 mm,拱顶处为等截面圆弧,拱轴线处圆弧半径为 25 m。拱顶钢箱截面宽 3.5 m,高 3.5 m,板厚 40 mm。拱肋截面沿拱轴线直线段线性变化。拱肋钢箱采用板肋加劲肋,高 300 mm。拱肋上横隔板间距 2.5 m(轴线距离),有吊点处横隔板厚 40 mm,无吊点处横隔板厚 30 mm。拱肋非吊点处横断面见图 7。

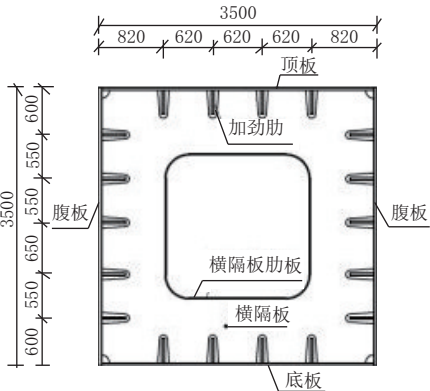


图 7 拱肋顶部非吊点处横断面(单位:mm)

拱肋顶部设置吊杆位置,对箱室进行隔板加强,吊杆理论锚点为拱轴线位置,实际锚点根据各吊点位置实际情况进行调整。锚箱做法见图 8。

拱座采用钢混组合结构,钢结构在结合段通过 PBL 剪力键与拱座混凝土连接^[4]。拱脚界面承压板以下钢拱肋节段预埋进混凝土内部,埋入深度为 3 m,并在界面承压板以下设置多条开洞钢板,在开孔处各方向穿入普通钢筋来分散钢拱肋传递的应

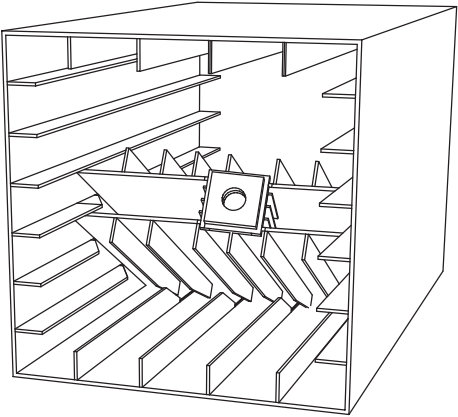


图 8 拱肋吊杆锚箱三维图

力,开孔钢板埋入深度为 4.5 m^[5]。由于钢拱肋与主梁不在同一平面内,拱脚在各方向的受力不均衡,拱脚处在外荷载作用下会产生弯矩^[5]。因此,在拱座范围设置预应力钢束,预应力钢束固定端设置于拱座大体积混凝土内,张拉端设置于拱脚截面承压板以上。拱座受拉区预应力钢束采用 14 ϕ ^s15.2 钢绞线,其他位置布置 9 ϕ ^s15.2 钢绞线,钢绞线埋入混凝土内深度约为 10~16 m。钢混结合段一般构造见图 9、图 10。

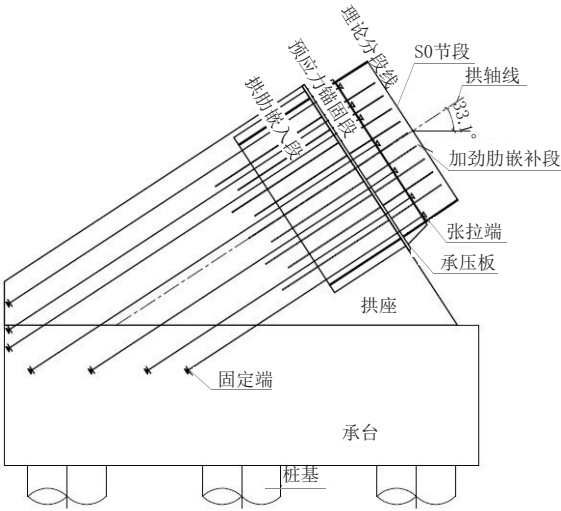


图 9 拱脚示意图

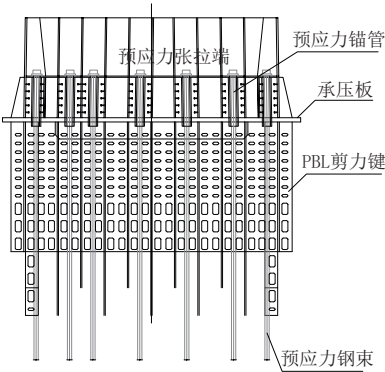


图 10 拱脚 S0 节段钢结构构造

拱肋截面尺寸较大,整体运输难以实现,考虑沿拱肋纵向分节段制作,运输至现场吊装,主拱纵向分成18节段,节段纵向长度控制在10 m左右;单节段钢拱最大吊装重量约92 t。其中拱顶范围单节段重约65 t。

3.3 吊索

全桥吊索共11根,吊索顶部固定于钢拱肋顶部范围,吊索中心点间距为3~3.5 m,底部固定于主梁锚拉板之上,吊索中心点间距为7.5~10 m^[6]。吊索采用 $\phi 15-37$ 、 $\phi 15-43$ 高强度钢绞线成品索,抗拉强度1 860 MPa,索体外径130 mm。

为了保证防腐可靠,钢绞线应采用填充型环氧涂层钢绞线(厚环氧涂层型,且中心丝与边丝吊杆在与主梁结合之间的间隙也须填充环氧树脂)。吊杆在与主梁结合处设置防水罩,锚具组件表面采用热渗锌处理,镀锌厚度不小于60 μm ,施工现场再进行氧化聚合型包覆防护,并在吊索底部主梁锚固端设置减震器。

4 下部结构设计

锦言大桥拱座采用无收缩混凝土,由于场地空间受限及结构造型要求,拱座承台与桥台承台部分重叠,需要共同浇筑,混凝土体积较大,应在施工过程中针对大体积混凝土布设冷却管。

桥台采用重力式桥台接承台桩基的形式,桥台承台下设置2排直径1.8 m桩基。拱座为钢筋混凝土结构,下接承台及桩基。为便于拱脚应力扩散,承台尺寸较大,高度为5 m,下设3排共12根直径2.8 m桩基。

拱座基础距离现状地下隧道及相应的管线较近,为了防止拱脚水平推力传至现状地下建筑物,在

承台边缘外贴10 cm厚PE泡沫板进行隔离。泡沫板伸入地下建筑物底部以下2 m。泡沫板变形量不小于5 cm^[7]。

地质勘探资料显示,桥梁基础所处位置岩层含石膏泥质岩,承台及桩基长期处于地下水侵蚀环境,根据地下水 Cl^- 、 SO_4^{2-} 平均含量,采用C35混凝土,混凝土中掺入CPA混凝土抗蚀增强剂,按36 kg/m³加入。

5 桥梁结构计算分析

本桥的结构计算分析主要分为全桥整体分析和抗震分析两部分。

5.1 全桥整体分析

采用有限元软件MIDAS Civil进行建模分析,对主梁、主拱建立杆系模型^[2]。桥梁桩基础通过等代土弹簧单元来模拟桩-土之间的相互作用。建立全桥精细弹性有限元模型,反映整体结构在施工阶段和运营阶段的受力性能。主梁和主拱均在支架上拼装,施工过程模拟为一次落架的形式^[8]。有限元模型见图11。

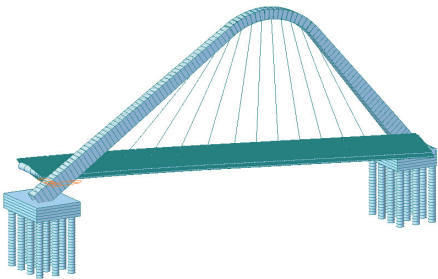


图11 锦言大桥有限元模型

根据计算可知,主梁单支座最大竖向正反力9 743.3 kN,最大水平力2 172.3 kN。主拱拱脚最大竖向力38 236 kN,最大水平推力达26 474 kN。正常使用阶段最不利计算结果见表1。

表1 正常运营阶段计算结果

状态	主梁挠度/ mm	主拱挠度/ mm	主拱横向位移/ mm	主梁正应力/ MPa	主梁剪应力/ MPa	拱肋正应力/ MPa	拱肋剪应力/ MPa	吊杆索力/ kN
最不利荷载组合	240	213	96.5	-53.4	56.1	-268	65	4 796

5.2 稳定分析

在恒荷载作用、制动力作用、风荷载作用、活荷载作用下对桥梁结构进行稳定性验算,得到结构的一阶失稳模态(见图12)。

桥梁结构在成桥状态下,结构一阶模态失稳为拱肋面外失稳,安全系数 $K=5$,满足要求。

5.3 抗震分析

本桥在E2地震作用下的地震反应的基础上,采

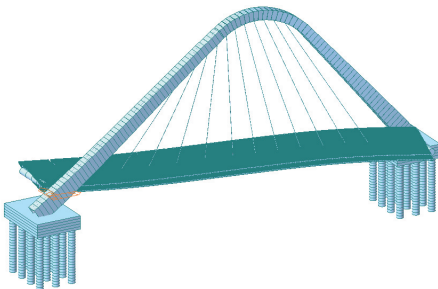


图12 桥梁一阶失稳模态($K=5$)

用非线性时程分析。表 2 列出了该桥的动力特性(仅列出前 10 阶)。对桥台的塑性转动能力、桥台的抗剪能力、桩受压承载力、桩身抗弯能力、桩身抗剪能力,以及活动盆式支座的水平位移进行计算,均满足抗震要求。

表 2 结构动力特性

振型阶数	周期/s	频率/Hz	关键振型特征描述
1	4.187	0.239	主梁竖向对称弯曲
2	2.702	0.370	主拱横向振动
3	1.181	0.847	主梁、主拱横向振动
4	0.825	1.212	主梁、主拱横向振动
5	0.687	1.455	主梁横向二阶振动
6	0.614	1.629	主拱横向扭转振动
7	0.425	2.352	主梁横向对称振动
8	0.406	2.465	主梁纵向振动
9	0.360	2.774	主梁横向三阶振动
10	0.352	2.838	主梁、主拱纵向振动

主要构件(主梁、拱肋、桩基等)的截面尺寸、配筋均按抗震要求设计,同时考虑到空间吊杆的不对称,对主梁造成较大的水平力,即主梁支座采用特殊制造的抗震支座(可抵抗相应的顺桥、横桥水平分力及变形),且桥台设置较有力的限位装置。同时,在吊杆的底部设置专用的减震装置。以上采取的抗震技术措施可靠性均较好。

6 施工过程

本桥梁施工为枯水期施工,须于锦江河道中设置临时支墩。临时支墩采用钢管桩基础,主梁和拱肋均采用工厂预制,现场吊装拼接施工。锦言大桥

施工步骤如下:施工桥梁桩基→枯水期施工临时支墩→同时钢梁厂制作钢箱梁及钢拱肋节段→运输并分段安装钢箱梁→钢箱梁合龙→主梁防腐→支架分段安装拱肋→拱肋合龙→安装吊索→张拉吊索,调整索力,拆除临时支架,完成体系转换→拱肋防腐→施工主桥桥面铺装、栏杆、人行道及附属设施等→进行成桥荷载试验。

7 结 语

锦言大桥为空间异形钢拱桥结构,结构受力较为复杂。桥梁的外观优美,与周边金融城城市发展需求相贴合,桥梁设计中结合路线线形、通航需求、地质情况及施工技术条件等因素对桥梁主体结构进行设计。目前锦言大桥已建成通车使用,成为锦江河道上一道优美的风景,提升了城市的景观品质。

参考文献:

[1] 杜春林,韩广鹏,罗鹏军.开县寨子坪大桥总体设计[J].城市道桥与防洪,2016(5):72-75.
[2] 张新来.张家口通泰大桥静力与稳定性分析[J].公路,2012(5):213-216.
[3] 姜群.城市景观拱桥的设计要点[J].四川建材,2020,46(9):56-57.
[4] 耿波,王芳,宋军,等.青衣江大桥钢混结合段局部应力分析[J].公路交通技术,2011,12(6):49-53.
[5] 张茜茜,丁印成.弹性应力配筋法在桥梁设计中的应用[J].公路,2014(7):154-157.
[6] 何晨,林晶,陈伟,等.某大跨异型吊索拱结构钢桥设计与分析[J].建筑结构,2016,46(20):94-98.
[7] 吴巨贵.提高桥梁桩基础抗水平推力的地基处理方法[J].江苏建筑,2011(2):84-85.
[8] 丁文俊.朔州市安泰街大桥主桥结构设计[J].城市道桥与防洪,2017(6):107-109.

(上接第 72 页)

于高速的北侧,由南至北逐段拼装主梁,合拢段则设置于高速地面层以北,避开既有高速上方,避免吊装运梁对既有交通的影响,通过扣索协助主拱偏载受力。

(4)主桥北侧为水库,南侧为山体,桥位风场环境复杂。通过虚拟风洞试验及有限元模拟分析,确定主桥各项抗风性能均满足要求,上下游拱肋风荷载存在明显的干扰遮挡效应,下游拱肋风荷载约为上游拱肋的一半,有效指导结构设计。

(5)主桥采用拉索减震球钢支座进行减隔震设计,实现减震与耗能,有效减小墩台基础规模,节约造价。

(6)结合本工程桥位特点,主桥采用下承式提篮系杆拱,充分利用了桥位地形和地貌,且与周边环境相协调,造型美观,体现了力与美的完美结合。该桥犹如一把造型优美的“竖琴”横跨在高速之上,吊杆如琴弦,拱肋如琴弓,自然和谐。2片内倾的拱肋通过7道钢箱横向风撑连为一体,风撑之间设置椭圆孔的装饰结构,在边风撑外侧呈弧形,与拱肋造型相呼应,整体景观效果协调统一,造型优美。

参考文献:

[1] 龚子松.钢管混凝土拱桥拱肋吊装分析与扣索索力优化[J].公路工程,2015,40(5):208-213.
[2] 邵旭东,顾安邦.桥梁工程[M].3版.北京:人民交通出版社,2014.
[3] 陈宝春,陈康明,赵秋.中国钢拱桥发展现状调查与分析[J].中外公路,2011,31(2):121-127.