

赤水市凉江大桥总体方案设计

杜威

(中铁十一局集团有限公司,湖北 武汉 430074)

摘要:赤水市凉江大桥采用主跨跨径 200 m 非对称斜拉-拱组合桥跨越赤水河道。无背索桥塔由混凝土直线塔与钢管曲线塔组合构成,9 根斜拉索锚固于钢管曲线塔。拱肋采用中承式多项式悬链线无铰提篮钢箱拱,拱肋截面宽 2 m,高 3 m,共布置 22 对吊杆。主梁采用纵横梁体系,全宽 26.6 m,横梁与吊杆同间距每 8 m 设置一道。空间有限元计算结果全面地反映了索塔、拱肋与主梁构件的受力特点及应力分布情况。

关键词:非对称;斜拉-拱组合桥;索塔;拱肋;桥梁景观

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)09-0133-05

0 引言

赤水市半岛旅游度假区位于赤水市东南部,复兴镇西北部,距市区 7 km,距复兴镇 3.8 km。拟建凉江大桥位于复兴镇境内,横跨赤水河,连接凉江半岛和长江半岛,是半岛旅游度假区内路网规划的一座重要桥梁。

1 建设条件

赤水市属长江水系,有大小河流 352 条,总长度 1 255 km,其中流域面积大于 20 km² 的河流 26 条,总长度 335 km。赤水市河网密度达到 0.7 km/km²,赤水河为境内最大的河流,属长江一级支流。拟建大桥位于赤水市复兴镇下游 3.3 km 处,桥址距下游赤水河口 67.6 km,位于赤水河狗狮子—合江 77.9 km 航段,桥区航道等级为 V 级。

根据勘察揭示,场区的岩土层按其成因分类主要有:第四系全新统冲洪积层(Q₄^{al+pl})粉质黏土与细砂;下伏为侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})泥岩与长石石英砂岩。自上而下叙述如下:

① 质黏土(Q₄^{al+pl}):黄褐色,可塑,层厚 0.80 ~ 7.00 m,平均厚度 3.05 m,为中等压缩性土。

② 细砂(Q₄^{al+pl}):灰红褐色,稍湿,松散,局部夹黏性土,平均厚度 3.60 m。

③ 泥岩(J_{2s}):暗紫红色,全风化,岩石结构、构造已完全风化,层厚 0.60 ~ 2.20 m,平均厚度 1.52 m。

④ 泥岩(J_{2s}):暗紫红色,强风化。层顶高程 230.56 ~ 237.02 m,层厚 1.70 ~ 3.00 m,平均厚度 2.58 m。

⑤ 泥岩(J_{2s}):暗紫红-灰褐色,中风化。该岩石饱和状态下为软岩,岩体完整程度为较完整,岩石饱和单轴抗压强度 $f_{rk} = 12.8 \sim 22.2$ MPa。层顶高程 179.62 ~ 234.02 m,层厚 1.70 ~ 30.30 m,平均厚度 13.19 m。

⑥ 长石石英砂岩(J_{2s}):浅灰-灰紫色,中风化,该岩石饱和状态下为较硬岩,岩体完整程度为较完整,岩石饱和单轴抗压强度 $f_{rk} = 34.0 \sim 57.6$ MPa。层顶高程 184.12 ~ 212.76 m,层厚 2.50 ~ 15.2 m,平均厚度 6.46 m。

依据赤水市城市总体规划,桥梁位置选择主要由河道情况、通航条件、岸坡地形地质条件、路网规划等因素决定。结合桥梁位于弯道上的情况,同时考虑到赤水河生态环境保护原则,尽量减少大桥的建设对赤水河及赤水河内珍稀鱼类等造成影响。拟定凉江大桥采用 200 m 主跨一跨跨越赤水河,在满足通航要求的同时尽量减小桥梁建设过程和运营阶段对赤水河的影响。

2 主要技术标准

(1)道路等级:二级公路。

(2)设计荷载:公路-I 级,人群荷载取 3.0 kN/m²。

(3)设计行车速度:40 km/h。

(4)断面组成:0.7 m(索区)+5.0 m(人行道)+7.5 m(车行道)+1.6 m(中间带)+7.5 m(车行道)+5.0 m(人行道)+0.7 m(索区)=28.0 m。

收稿日期:2022-08-23

作者简介:杜威(1982—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。

(5)地震:地震动峰值加速度值为 $0.05g$ 。

3 总体设计

主桥采用 200 m 的单跨斜拉-拱组合桥。主拱布置为提篮式钢箱拱,内倾角 12° ,拱轴线采用非对称多项式悬链线;桥塔为无背索斜塔,倾斜角度为 60° ,由直线塔和曲线塔两部分组成。其中:直线塔为混凝土矩形截面,曲线塔为钢管截面,塔高 60 m;主梁采用钢梁,纵横梁体系。引桥均采用 16 m 跨径预应力混凝土空心板。桥梁立面总体布置见图 1 所示。

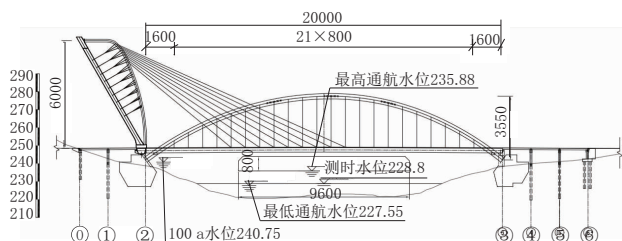


图 1 桥梁立面布置图(单位:cm)

4 桥梁结构体系

目前世界范围内大跨径的斜拉-拱组合桥实施极少,能够检索到的有位于湖南湘潭的莲城大桥(主跨 400 m,见图 2)和马来西亚吉隆坡的詹巴坦·神·绍贾拉桥(主跨 300 m,见图 3)。莲城大桥主桥跨径布置为 120 m+400 m+120 m,其结构体系为钢管混凝土中承式拱桥与斜拉桥组合,对称结构,主跨斜拉索锚点设置在拱肋上。詹巴坦·神·绍贾拉桥跨径为 300 m,其结构体系为钢管混凝土中承式拱桥与有背索斜塔斜拉桥组合,对称结构,主跨斜拉索锚点设置在主梁上。



图 2 莲城大桥之实景



图 3 詹巴坦·神·绍贾拉桥之实景

拟建凉江大桥采用无背索斜拉桥与中承式拱桥组合共同承受桥面荷载,无背索斜塔仅设置在一侧,为非对称结构,具有技术先进、受力复杂、造型优美、视觉突出等特点。凉江大桥作为创新型桥梁结构体系,需要充分研究无背索斜拉桥与中承式拱桥两种桥梁体系并将其合理融合。桥梁效果图见图 4 所示。



图 4 凉江大桥效果图

5 结构设计

5.1 索塔

索塔由直线部分和曲线部分组成,两部分通过联系形成整体。

直线塔采用 C50 钢筋混凝土结构。直线塔高 60 m,沿线路方向倾角 60° 。塔柱采用矩形截面,实体塔柱,横向宽度 2 m,高度 2.5 m,左右两侧塔柱塔底端部靠近桥梁边缘,与横梁一起浇筑;塔顶向桥梁中心线靠近,宽度 4 m,索塔正立面见图 5 所示。

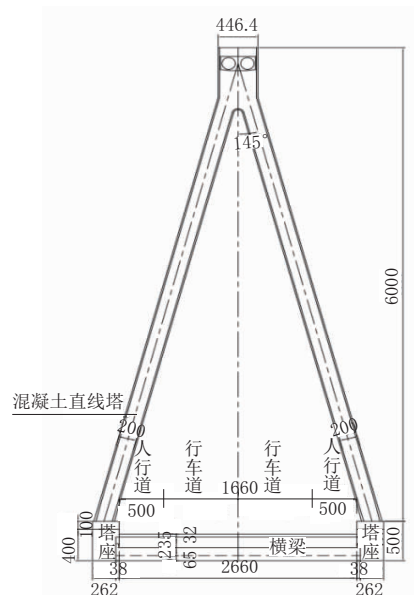


图 5 索塔正立面图(单位:cm)

曲线塔采用钢结构,钢材为 Q345,采用 $\phi 1.5$ m 的钢管,厚度 28 mm。直线塔与曲线塔之间采用 $\phi 60$ cm 钢管相连,厚度 20 mm。钢结构与横梁间使用预应力构件连接,索塔侧面见图 6 所示。

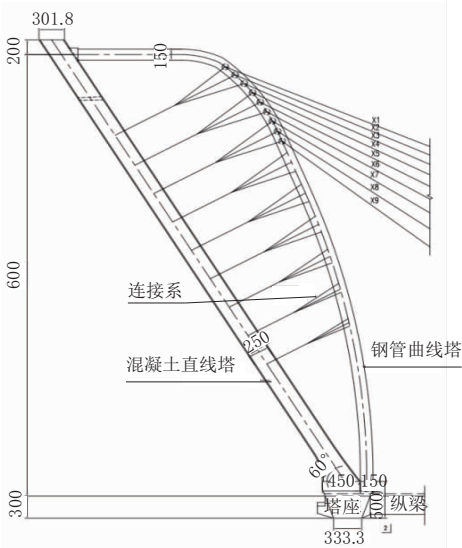


图 6 索塔侧立面图(单位:cm)

5.2 拱肋

拱肋采用中承式多项式悬链线无铰提篮钢箱拱,以两拱脚连线为轴线分别向线路中心线侧倾斜 12° 以形成提篮。单拱以拱顶为界,分左右不同拱轴系数,左侧计算跨径 $L=208\text{ m}$,拱轴系数 $m=1.6$,矢跨比 $f/L=1/5.859$;右侧计算跨径 $L=192\text{ m}$,拱轴系数 $m=1.4$,矢跨比 $f/L=1/5.408$;两条拱肋之间拱脚处中线横向间距为 32.531 m ;拱顶中线横向间距 17.464 m ;主拱立面见图 7 所示。

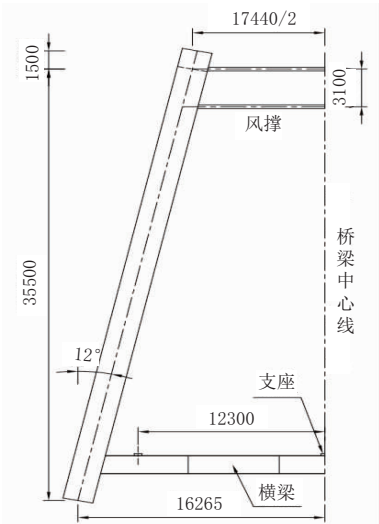


图 7 拱肋立面图(单位:mm)

拱肋采用等截面钢箱,宽 2 m ,高 3 m ,钢箱顶底板、左右侧腹板厚均为 28 mm ,纵向加劲板、横隔板厚均为 18 mm 。两条拱肋之间共设三道风撑,风撑轮廓最大宽度 6.19 m ,最小轮廓宽度 4 m ,高 0.6 m ,风撑中心以椭圆形挖孔;风撑钢板厚均为 16 mm 。主拱断面见图 8 所示。

5.3 斜拉索及吊杆

斜拉索及吊杆均采用 PES(FD)索体,该索体为

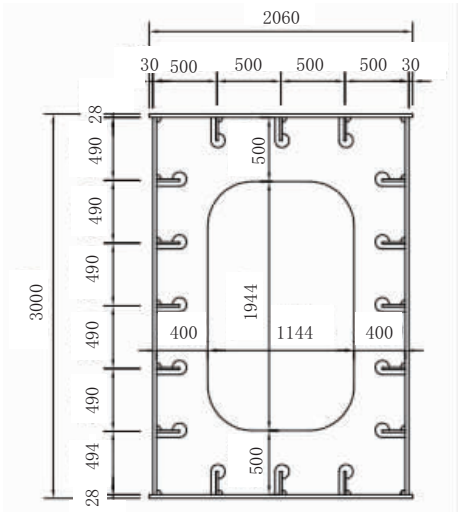


图 8 拱肋断面图(单位:mm)

双层 HDPE 防护的全防腐索体。

吊杆采用单吊杆,最大长度约 27 m ,吊杆采用两端叉耳销轴形式,桥面纵梁作为张拉端,拱肋作为固定端。斜拉索由于索长相对较长,塔端采用螺母形式作为张拉端,梁端采用叉耳销轴形式作为固定端。斜拉索及吊杆构造见图 9、图 10 所示。

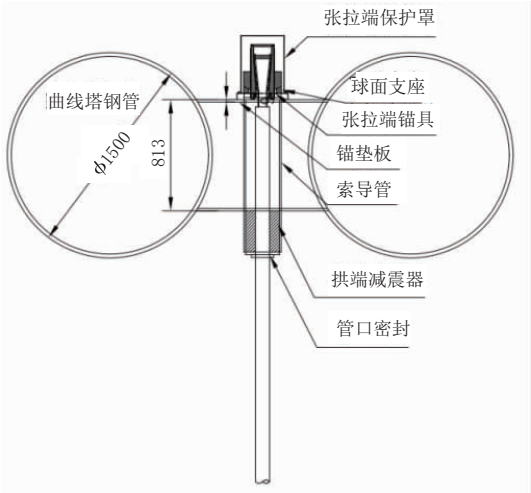


图 9 塔端斜拉索图示(单位:mm)

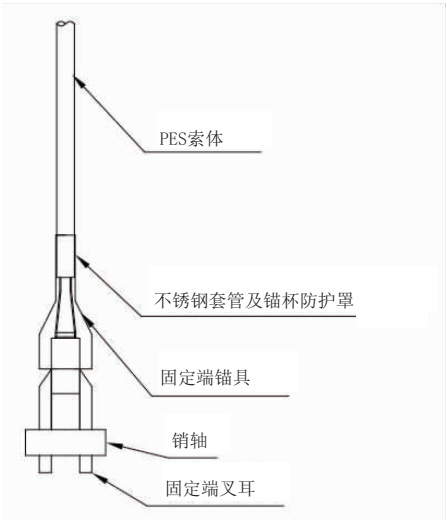


图 10 梁端吊杆图示

5.4 主梁

主梁采用纵横梁体系,全宽 26.6 m。主梁设三道主纵梁,四道小纵梁,横梁间距与吊杆同间距,每 8 m 设置一道;主梁起点侧梁端设置为混凝土结构,与主塔固结,横梁宽 4.5 m,高 2.5 m,终点侧横梁为钢结构,横梁宽 2 m,高 2.5 m。

主纵梁底板水平,顶板设置 2% 的双向人字坡;主纵梁均采用箱形截面,边梁梁宽 2 m,梁高 2.5 m,中梁梁宽 2 m,梁高 2.694 m;三道主纵梁顶底板及腹板厚度均采用 20 mm,纵横向加劲板厚度均采用 18 mm;小纵梁采用工字型截面,梁高 1.24 m,钢板厚 16 mm。

吊杆吊箱设置在横梁端部的边纵梁外侧,每 8 m 设置一道,吊箱上顶板宽 0.847 m,下底板宽 1.230 m,高 2 m,纵向长度 1.5 m。主梁构造见图 11 所示。

5.5 支承体系

主拱为无铰拱,拱脚埋入拱座内与拱座固结;索塔与主梁通过混凝土实体段固结,梁底设置支座支承于拱座顶面;非索塔侧主梁通过支座支承于拱座墩柱上。索塔侧支承构造见图 12 所示。

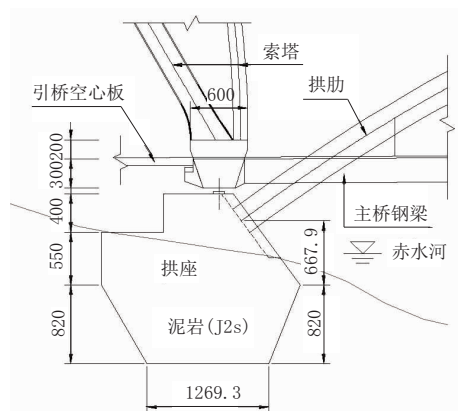


图 12 索塔侧支承构造图(单位:cm)

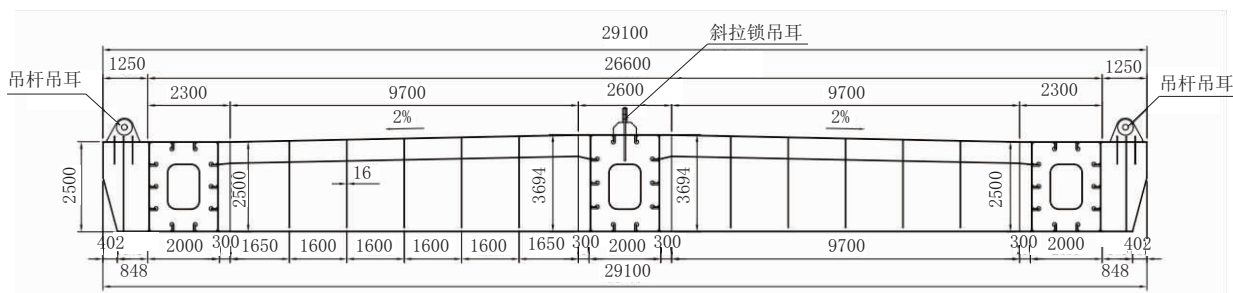


图 11 主梁断面图(单位:mm)

6 结构计算

该桥为斜拉-拱组合体系,采用空间有限元计算软件 MIDAS CIVIL 建立结构空间杆系分析模型,空间有限元计算模型见图 13 所示。

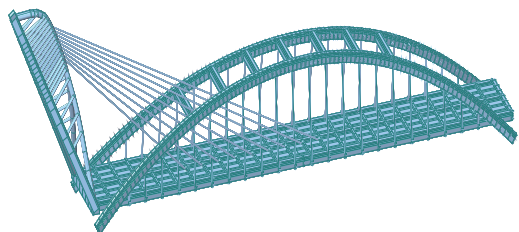


图 13 空间有限元计算模型

6.1 索塔

直线塔最大轴力为 9 484 kN;最大正弯矩为 13 667 kN·m,最大负弯矩为 -16 500 kN·m;最大剪力为 1 837 kN。曲线塔最大应力为 73 MPa,最小应力为 -134 MPa。

6.2 拱肋

拱肋最大轴力为 -37 324 kN,最大剪力为 3 219 kN,全拱肋范围内分布较为均匀;拱肋跨中最大正弯矩为 18 007 kN·m,拱肋跨中最大负弯矩为 -14 197 kN·m;

拱脚处最大正弯矩为 34 462.8 kN·m,拱脚最大负弯矩为 -12 870.8 kN·m。

活载作用下拱肋最大值为 52 mm,最小值为 -70 mm,则正负挠度绝对值之和为 122 mm,跨度 $L=200$ m, $L/1000=200$ mm, $122 < L/1\ 000$,满足规范要求。

6.3 斜拉索及吊杆

斜拉索最大索力出现在近索塔位置,最大索力为 1 408.3 kN,破断索力为 4 692 kN,安全系数为 3.3。吊杆最大拉力出现在梁端位置,最大拉力为 2 901.7 kN,破断索力为 7 776.6 kN,安全系数为 2.7。

6.4 主梁

中纵梁最大正弯矩为 12 961 kN·m,最大负弯矩为 -14 999 kN·m,最大轴力为 -4 024 kN,最大剪力为 2 234 kN。中纵梁最大弯曲应力为 83 MPa,最大轴应力为 17 MPa,最大剪应力 25 MPa。

边纵梁最大正弯矩为 9 665 kN·m,最大负弯矩为 -4 896 kN·m,最大轴力为 -1 859 kN,最大剪力为 -1 079 kN。边纵梁最大弯曲应力为 59 MPa,最大轴应力为 8 MPa,最大剪应力 13 MPa。

有索区横梁最大弯曲应力为 163 MPa,最大轴应力为 9 MPa,最大剪应力 45 MPa。无索区横梁最大弯曲应力为 174 MPa,最大轴应力为 9 MPa,最大剪应力 67 MPa。

活载作用下纵梁挠度最大值为 46 mm,最小值为 -87 mm,正负挠度绝对值之和为 133 mm,跨度 $L=200\text{ m}$, $L/800=250\text{ mm}$, $133<L/800$,满足规范要求。

7 结 语

(1)非对称斜拉-拱组合桥梁形式具有结构新颖,造型独特的特点。

(2)斜塔采用直线混凝土塔与曲线钢管塔的组合结构,较好地解决了斜塔斜拉索张拉锚固的构造问

题,受力更加合理。

(3)斜拉桥与拱桥均属于多次超静定结构,两者组合在一起共同承担桥梁荷载,索塔及拱肋与主梁的协调变形关系及内力分配极其复杂,需要进行大量的计算分析。

(4)非对称斜拉-拱组合桥梁形式景观效果极具视觉冲击力,可为同类桥梁的设计提供参考。

参考文献:

[1] 王伯惠.斜拉桥结构发展和中国经验[M].北京:人民交通出版社,2003.
[2] 王庭正,罗世东,王新国,等.湘潭市莲城大桥总体设计[J].桥梁建设,2008(3):37-40.
[3] 邵长宇.索承式组合结构桥梁[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

(上接第 129 页)
方式及集约化货运方式的占比提升则较难推进。

5 结 语

建立合理的评估指标体系并对指标进行年度跟踪与成因分析,可助力上海市交通基础设施规划决策,完善上海的城市交通管理水平,加强上海从注重交通自身发展,使之向统筹交通体系与经济社会融合发展转变,能担当交通的“先行官”定位。

参考文献:

[1] 卢晓霞.重庆市公路运输系统运行效率评价与管理对策研究[D].重庆:重庆交通大学,2011.
[2] 王倩倩.城市交通运行效率评价指标体系研究[D].青岛:中国海洋大学,2013.
[3] 张昂启.城市交通运行效率评价——以北京市为例[D].北京:首都经济贸易大学.
[4] 徐凤.城市交通运行效率指标体系的构建与应用[J].交通科技与经济,2018,20(2): 6.