

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.019

曲靖长征路上承式系杆拱桥设计

任坤明, 赵慧清

(昆明市政工程设计科学研究院有限公司, 云南 昆明 650228)

摘要: 城市桥梁对景观的要求很高, 长征路跨白石江主桥采用的上承式系杆拱桥结构新颖、桥式舒展优美, 与周边环境和谐统一。结合该桥的工程特点和桥梁位于风景区的地理位置要求, 阐述了该桥概念设计的过程, 着重介绍了主桥的桥型、结构设计、受力分析和施工工艺, 希望对国内同类桥梁设计有所帮助。

关键词: 系杆拱桥; 箱形拱; 体外束系杆; 施工措施; 桥梁设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0066-04

0 引言

近年来随着悬臂浇筑、转体、劲性钢骨架及钢管拱架等施工方法的采用, 使拱桥的施工手段有了质的变化; 同时拱通过与梁的组合形成了新的结构体系——拱梁组合体系桥梁, 使拱与梁在受力方面的优点得以充分发挥, 呈现出优良、稳定的经济指标与美观的外形, 并且因其结构轻巧、外部无水平推力而较适用于软弱地基^[1]。

1 连续拱梁组合桥的性能与特点

连续拱梁组合桥在构造上可以处理成完全无水平多余约束或在成桥后才形成多余约束两种方式。因此即使有水平多余约束也在桥梁建成后起作用, 而大部分永久荷载并不引起水平推力, 反映出连续梁桥的外部受力特点。从结构内部受力情况来看, 荷载在拱与梁中产生的内力大部分转变为它们之间所形成的自平衡体系的相互作用力^[2]; 而荷载对于拱梁组合结构外部约束条件所引起的总体受力效应, 也因其构造特点而变成另一形式的作用效应。从而拱的水平推力与梁的轴向拉力相互作用, 拱与梁截面的总弯矩等效为主要由拱受压、梁受拉的受力形式, 剪力则主要成为拱压力的竖向分力^[3]。这些共同的受力性能还依结构形式反映出不同特点。

2 工程概况

长征路是曲靖经济技术开发区一条南北走向城市主干路, 作为连接开发区中心与环路之间的

主要交通干路, 是开发区的基本路网骨架的重要组成部分。道路途径曲靖重要防洪通道——白石江, 在桥位处新建白石江公园风景区。

3 桥位自然条件

白石江在长征路 K0+920 桩号处穿过, 现状河道宽约 10 m, 白石江发源于马龙县城东面山麓, 于麒麟区史家村汇入潇湘江, 30 a 最大洪峰流量 16.5 m³/s。2009 年 6 月 23 日暴雨后, 河水淹没至该场地高程约 1 866.5 m 处。

道路沿线岩土层主要为第四系冲洪积、残坡积层, 基岩为泥盆系下统西屯组(D1xt)泥岩夹石英砂岩、钙质砂岩。

4 方案构思设计

通过对桥梁方案设计前期资料的研究和桥位处实地踏勘之后, 发现该项目有如下一些特点:

(1) 车道数量多, 桥面宽度达到 60 m。宽桥面对于缆索支承桥梁方案可能是不利的, 因为 60 m 宽的桥面从力学上考虑需布置多道索面为宜, 而索面布置太多会使桥梁立面造型看起来比较凌乱。

(2) 桥位处持力层石英砂岩覆土较浅, 地质条件好, 为承受水平力的拱桥创造了良好的条件。

(3) 桥梁背景是当地有名的白石江公园, 从景观设计角度考虑, 桥梁不宜再设计高耸的主塔或者主拱肋, 以免与背景产生视觉冲突。

经多方案比较后, 决定主桥选用(23.5+41+23.5)m 上承式系杆拱桥, 该方案结构新颖, 桥型舒展优美, 以蓝色的河面为背景, 白色为主色调, 造型犹如张开翅膀的大鸟欢迎来宾。该方案能较好地与白石江景观公园相协调。

收稿日期: 2020-05-09

作者简介: 任坤明(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政道桥、岩土设计工作。

5 主要技术标准

- (1)道路等级:城市主干路,双向6车道。
- (2)设计速度:50 km/h。
- (3)设计荷载为城-A,人群荷载为 3.5 kN/m^2 。
- (4)桥梁标准宽度: $2 \times (5.25 \text{ m 人行道} + 4.0 \text{ m 非机动车道} + 4.0 \text{ m 绿化带} + 12.0 \text{ m 机动车道} + 5 \text{ m 绿化带}) = 60.5 \text{ m}$ 。
- (5)设计洪水频率:1/100。
- (6)地震动峰值加速度:0.15g(对应地震基本烈度Ⅶ度,按Ⅶ度设防)。

6 总体设计

该桥孔跨布置形式为(23.5+41+23.5)m,起讫里程K0+871.97~K0+968.03,全长96.06 m,如图1所示。

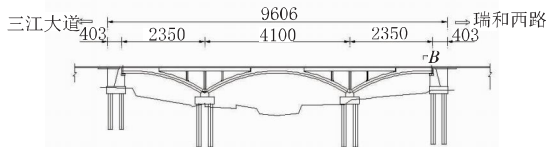


图1 桥梁立面布置图

桥梁位于半径 $R=2\ 000 \text{ m}$ 的平曲线上,此次设计采用平分中矢法按直线桥处理。

6.1 设计要点

该桥桥幅总宽60.5 m,横桥向分14个单元(3+4+4+3),单元间通过拱间横梁、现浇桥面湿接缝连接为整体结构(见图2)。

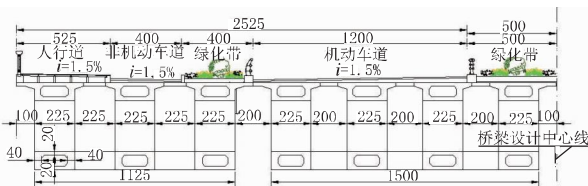


图2 桥梁断面布置图

主拱、边拱采用钢筋混凝土单箱单室箱形截面拱圈,拱轴线采用圆曲线,拱半径为36.6 m,计算跨度为41 m,计算矢高为6.28 m,矢跨比为1/6.528 66。中跨及边跨曲线段参数相同,等截面长度水平距离均为13 m。拱箱标准段高1.2 m,腹板厚度40 cm,顶底板厚度20 cm,箱宽225 cm。

箱形截面桥面梁与拱上立柱、墩上立柱形成梁柱固结体系,梁端则通过板式橡胶支座筒支于拱肋上,并通过无缝伸缩缝与拱肋桥面段衔接^[4]。桥面箱梁为单箱单室截面,梁高1 m,顶底板厚20 cm,腹板厚度35 cm,与立柱刚结部位、梁端头部位设置横隔板。梁拱结合处采用厚180 cm的强横梁过渡。

6.2 体外束系杆

为了平衡拱脚基础水平推力,在两个悬臂边拱拱端头间设置永久性系杆,系杆以体外索形式贯穿悬臂边拱桥面段、中拱桥面段及中间桥面梁箱体^[5]。每个单元共设置两道系杆,系杆材料采用12- $\phi^s 15.2$ 无黏结钢绞线系杆束,张拉控制应力676.3 MPa,单束系杆张拉控制力为1 128 kN,每个单元系杆索力为2 256 kN。

系杆体系为“HDPE套管+PE套管+油脂+环氧喷涂无黏结钢绞线”,具体如图3所示。

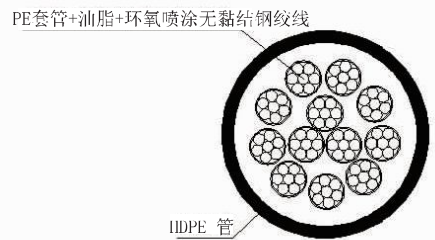


图3 体外束系杆断面图

6.3 桥台与拱墩基础

桥台为U形重力式桥台,每个桥台下设置28根1.2 m桩基,桩基为嵌岩桩,设计单桩竖向承载力特征值2 800 kN。

拱墩基础为群桩基础,每个拱墩承台下设置36根1.2 m桩基,桩基为嵌岩桩,设计单桩竖向承载力特征值6 000 kN,设计单桩水平承载力特征值650 kN。

7 主桥结构计算

采用Midas Civil进行静力计算和动力抗震分析。

7.1 建立模型

上部箱梁采用空间梁格模型,使用梁单元模拟;下部主拱圈及拱上立柱均采用空间单梁模型,使用梁单元模拟;端支座采用弹性连接模拟,承台及下部基础采用一般支承模拟。全桥共划分460个节点、749个单元(见图4)。

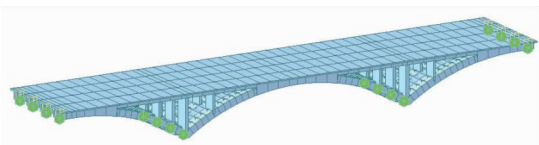


图4 结构有限元模型图

7.2 施工步骤

结合全桥施工流程,施工阶段共划分为三个阶段^[6]。具体施工阶段划分情况见表1。

7.3 静力计算结果

7.3.1 正常使用阶段主梁主拉应力验算

从图5可以看出,正常使用阶段截面中性轴

表1 施工阶段划分情况

施工阶段	内容	时间	累计天数
1	安装承台、主拱、拱上立柱	30	30
2	安装主梁	20	50
3	拆除支架、二期铺装、收缩徐变	3 650	3 700

处最大主拉应力为 1.298 MPa, 满足规范不超过 1.92 MPa 的要求。

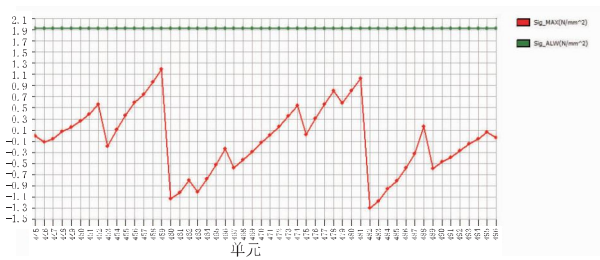


图5 中性轴处主拉应力验算图(单位:MPa)

7.3.2 正常使用阶段主梁裂缝宽度验算

从图6、图7可以看出,正常使用阶段截面上缘最大裂缝宽度为 0.137 mm, 下缘最大裂缝宽度为 0.151 mm, 满足规范不超过 0.2 mm 的要求。

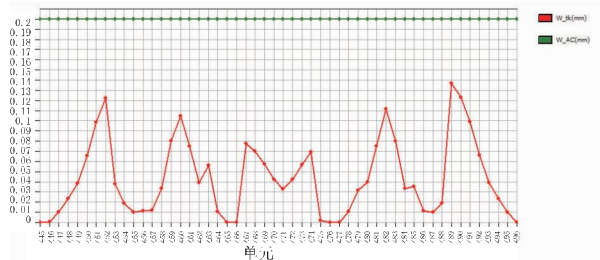


图6 上缘裂缝宽度验算图(单位:mm)

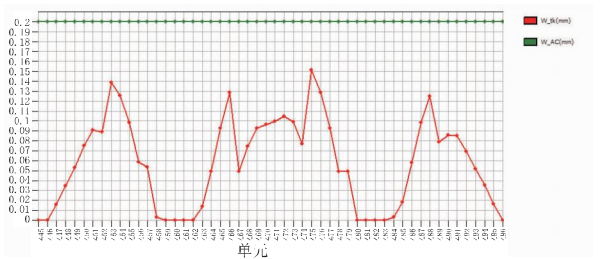


图7 下缘裂缝宽度验算图(单位:mm)

7.3.3 承载能力极限状态主梁抗弯验算

从图8可以看出,承载能力极限状态下主梁抗弯验算满足规范要求。

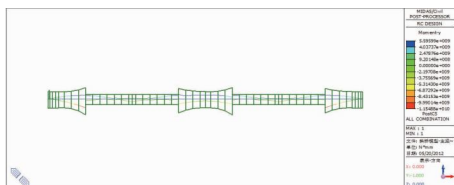


图8 承载能力极限状态主梁弯矩包络图(单位:kN·m)

7.4 动力计算结果

7.4.1 主拱圈裂缝宽度验算

从图9可以看出,两个拱脚位置裂缝宽度达到 0.233 mm, 但该处受力复杂,仅使用梁单元分析很难得到精确的计算结果,因此可以忽略该位置计算结果,其他拱圈位置最大裂缝宽度为 0.171 mm, 满足规范不超过 0.2 mm 的要求。

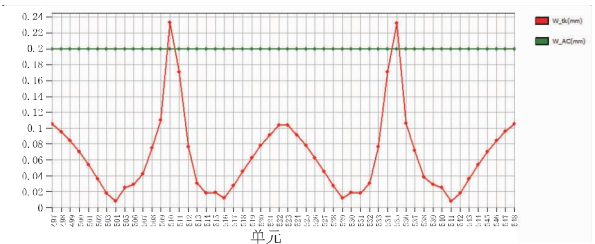


图9 边拱裂缝宽度验算图(单位:mm)

7.4.2 主拱圈抗压验算

从图10、图11可以看出,最大轴力值为 11 034.35 kN, 远小于截面抗压承载力 38 254.87 kN, 满足规范要求。

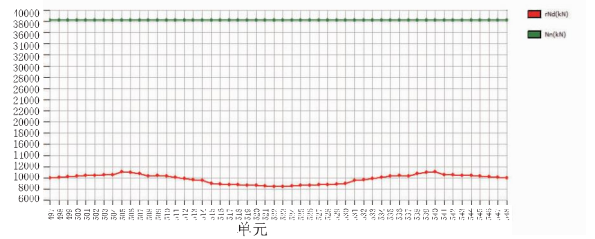


图10 主拱圈轴心抗压验算图(单位:kN)

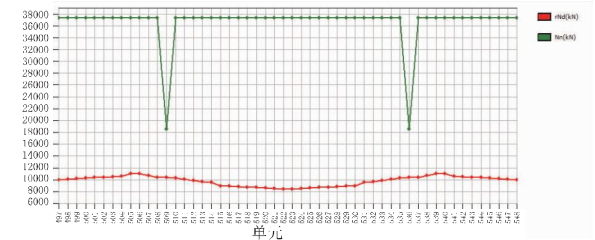


图11 主拱圈偏心抗压验算图(单位:kN)

7.4.3 下部结构抗震验算

(1)结构一阶自振频率为 4.069, 水平 X 方向振型参与质量为 96.64%, 水平 Y 方向振型参与质量为 98.31%, 满足抗震规范要求。

(2)E2 地震作用下主拱圈抗压强度验算, 满足抗震规范要求。

(3)E2 地震作用下主拱圈抗弯强度验算, 满足抗震规范要求。

8 结语

工程目前施工完成,根据成桥试验报告,整体刚度较好;完成了验收,运营一段时间,效果较好。

(1)连续拱梁组合桥是一种造型美观、适用跨

径范围大、经济指标良好且稳定、能充分发挥混凝土拱优越性,又可避免桥梁墩台承担水平推力的新型桥梁^[7]。

(2)连续拱梁组合桥的拱与梁压应力水平决定着结构长期受力与变形趋势。在设计过程中,应综合考虑总体布置及预应力施加程度,以协调结构受力与变形状态。

(3)在连续拱梁组合桥的设计过程中,应注意各结点构造的处理方式,避免不必要的复杂受力,确保节点受力明确、处理方便^[8]。

(4)施工方法、工况对连续拱梁组合桥受力的影响较大,其不仅涉及结构及其体系转换方式,而且还包括构件截面分部组成方式等。

城市桥梁设计要求设计者不仅要具有扎实的结构知识,而且还要有对建桥环境的深刻理解,此次长征路桥梁的设计在这方面做了有益的实践。同时,上承式系杆拱桥桥型舒展优美,通过该桥的

建设和文章的介绍,希望能推动该桥型在国内的发展。

参考文献:

- [1]戎华钦.多跨连续拱桥拓宽改建的设计与思考[J].城市道桥与防洪,2019(6):17,137-139.
- [2]张庆.赵家沟拱桥更换吊杆设计[J].市政技术,2019,37(5):110-113,117.
- [3]王鹏.基于疲劳分析的下承式拱桥吊杆破损安全设计方法研究[D].昆明:昆明理工大学,2019.
- [4]胡尚,杜召华,蒋鑫,等.某钢管混凝土拱桥吊杆更换设计与施工方法研究[J].公路工程,2018,43(3):119-124,189.
- [5]钟力全,郑凯锋.提篮拱桥拱肋优化设计[J].四川建筑,2018,38(1):161-165.
- [6]邢燕羽.某钢管混凝土系杆拱桥设计参数优化分析[J].工程建设与设计,2019(4):139-140.
- [7]丁松马.钢管混凝土系杆拱桥的设计要点分析[J].建筑技术开发,2019,46(12):29-30.
- [8]黄永忠.钢管混凝土拱桥结构受力及参数设计分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(6):1085-1088.

(上接第65页)

单元计算结构的正应力时,采用偏载系数修正方法来抵消宽箱梁空间受力不均的问题,其中2车道采用1.3的偏载系数,3车道采用1.25的偏载系数,4车道采用1.1的偏载系数。

参考文献:

- [1]范立础.桥梁工程(上册)[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [2]CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [3]JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [4]JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].