

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.12.021

广安官盛渠江大桥设计

王 戈, 范碧琨, 梁 健

(四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要: 广安官盛渠江大桥主桥跨度 320 m, 是已建成的世界最大跨度中下承式钢筋混凝土肋拱桥^[1]。大桥主拱肋采用等宽变高度梯形截面构造、箱形截面横撑构造, 结构稳定、轻盈, 兼顾了受力及景观; 主拱采用超高强钢管混凝土强劲骨架外包混凝土成拱, 骨架主弦钢管内首次灌注 C100 超高强混凝土, 骨架腹杆采用空心钢管替代传统型钢腹杆, 解决了传统骨架强度弱、稳定性差的技术难题; 拱肋混凝土分两环成拱, 大大节省了工期, 提高了施工安全性。该桥技术新颖, 为 300 m 及以上级别的钢筋混凝土肋拱桥建造提供了新的思路。

关键词: 钢筋混凝土拱桥; 肋拱桥; 钢管混凝土结构; 劲性骨架; C100

中图分类号: U442.5 文献标志码: B 文章编号: 1009-7716(2020)12-0075-03

0 引 言

钢筋混凝土拱桥因其具有较为强大的跨越能力, 且具有造价低、维护费用低等优势, 非常适用于西部山区 V 形、U 形等河谷地形。

但一直以来, 钢筋混凝土拱桥特别是钢筋混凝土肋拱桥并未得到广泛应用, 主要是因为钢筋混凝土肋拱桥的拱肋截面构造与成拱方式存在矛盾性: 结构受力需要加大截面尺寸, 但增加尺寸则会增加结构自重, 从而加大成拱难度。

广安官盛渠江大桥攻克了肋拱桥设计施工的技术难题, 本文将做详细介绍。

1 工程概况

广安官盛渠江大桥是广安环城大道东南端跨越渠江的一座特大型桥梁。

桥位处为河谷地形, 在初步设计阶段, 工程师对桥梁方案进行了充分论证, 通过比较, 钢筋混凝土具有明显优势: (1) 结构造型与地形、环境协调; (2) 通航性好, 不用增设防撞设施; (3) 工程建设造价低, 一次性投资额度小; (4) 养护费用相对较低。

最终选择了经济性更优的钢筋混凝土肋拱桥方案作为实施方案, 节省了工程材料, 建安费减少约 1/3, 见表 1。

广安官盛渠江桥采用 320 m 钢筋混凝土肋拱桥(见图 1), 引桥采用 30 m 跨预应力混凝土简支 T 梁桥。主要技术标准如下:

收稿日期: 2020-05-07

作者简介: 王戈(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程设计工作。

表 1 桥型方案对比

桥型	主跨 /m	钢材 /t	混凝土 /m ³	造价 / 亿元
钢筋混凝土拱桥	320	4 573	17 544	1.268
钢拱桥	320	8 025	9 131	1.951
斜拉桥	320	9 657	40 937	2.177

- (1) 道路等级: 一级公路。
- (2) 行车道数: 双向 4 车道。
- (3) 设计速度: 60 km/h。
- (4) 桥梁设计荷载: 公路 - I 级, 人群荷载 3.0 kN/m²。
- (5) 桥面宽度: 引桥全宽 26.5 m, 主桥因两侧各增设 25 cm 的吊杆区而调整为 27 m, 如图 2 所示。
- (6) 设计洪水频率: 1/300。
- (7) 航道等级及通航标准: 内河航道 IV - 3 级。
- (8) 抗震: 抗震烈度为 VI 度; 地震动峰值加速度值 0.05g; 地震反应谱特征周期为 0.35 s。
- (9) 设计基本风速: 27.5 m/s。

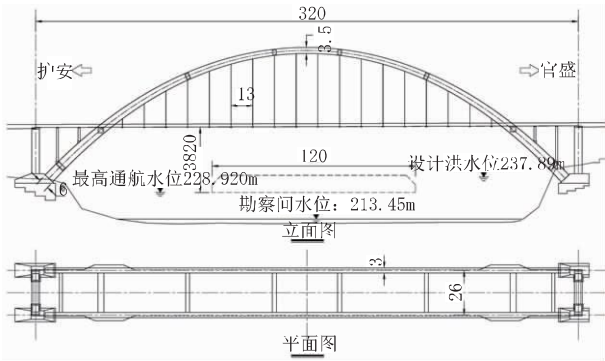


图 1 主桥跨径布置(单位:m)

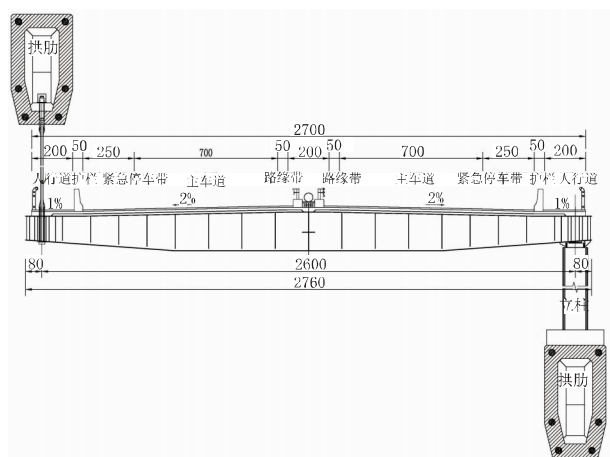


图2 主桥横断面(单位:cm)

大桥主拱采用变截面钢筋混凝土拱肋。

吊杆采用预应力环氧喷涂钢绞线成品束挤压成型为吊杆索体,极限抗拉强度为1 860 MPa,两端采用定型耐久性锚具,桥面以上的吊杆外套哈佛管装饰。吊杆的标准间距为12.8 m。

桥道系采用工字钢格子梁+钢混混凝土组合桥面板结构体系:两道主纵梁(吊杆或立柱处)、一道次纵梁(桥面中心处)、吊杆或立柱处主横梁、主横梁间设置的三道次横梁组成格子桥面梁;8 mm钢底面板通过PBL同12 cm厚混凝土锚固连接,构成桥面板结构。桥面铺装为7 cm厚的改性沥青混凝土。

拱座设计为分离式的钢筋混凝土拱座,底面放坡成梯形结构,底宽8 m,顶宽5 m,并采用系梁相连。拱座基础置于稳定的、完整的中风化基岩上。

主拱采用钢管混凝土成拱技术。钢管骨架采用斜拉扣挂法安装合龙,之后采用同一套吊装体系,完成桥面系的安装。

2 关键技术

2.1 主拱截面构造

拱肋为钢筋混凝土单箱单室截面,主孔净跨径为300 m变截面悬链线无铰拱,净矢跨比为1/4,拱轴系数为1.5。

拱顶截面径向高为3.5 m;拱脚截面径向高为6.0 m。为增加行车视野,肋宽设计为3.0 m。为提高截面刚度,加大了箱室的顶、底、腹板厚度,采用65 cm,拱脚附近一段腹板壁厚逐渐增加至100 cm,顶板为250 cm(见图3)。吊杆处设55 cm的横隔板。

梯形截面构造则丰富了拱肋外形轮廓线,改善了景观效果。

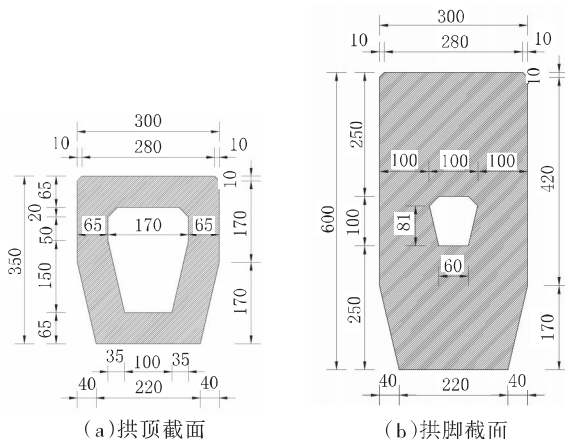


图3 主拱截面(单位:cm)

左右两拱肋间,桥面以上设置4道一字式径向横撑,桥面以下靠近拱脚处的立柱下设一道径向横撑,桥面与拱肋交叉处各设置一道竖向肋间横梁,横撑横梁截面均为单箱单室截面。

2.2 主拱强劲骨架构造

劲性骨架为钢管混凝土弦杆和钢管腹杆组成的桁架结构,每肋左、右腹板设上、中、下三道弦杆,其中上、下弦杆采用 $\phi 351 \times (14 \sim 18)$ mm、内灌C100混凝土的钢管混凝土,中弦杆采用 $\phi 273 \times (10 \sim 12)$ mm、内灌C100混凝土的钢管混凝土。

鉴于主拱肋壁厚超过50 cm的构造,设计采用 $\phi 152 \times (10 \sim 12)$ mm的空钢管腹杆连接主弦杆构成桁架结构(见图4),横隔板对应位置设临时交叉斜撑。横撑劲性骨架采用型钢组成桁架结构,横撑弦杆与腹杆、平联均通过节点板焊接。以钢管腹杆替代惯用的型钢腹杆,不仅节约了腹杆材料,还提高了骨架腹杆的各向刚度和节点刚度,据统计,同等含钢量下空心钢管抗弯惯性矩提高2倍以上,稳定折减系数提高15%以上。

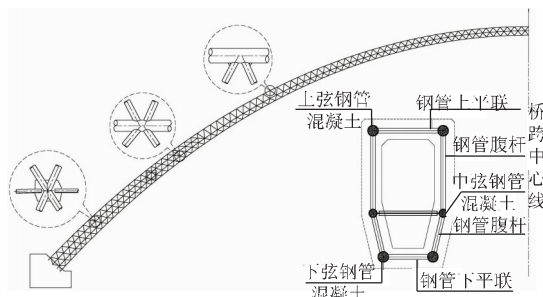


图4 主拱劲性骨架构造

2.3 主拱两环外包成拱技术

拱肋劲性骨架C100混凝土及空心钢管的使用,极大地提高了骨架的强度、高度,为拱圈快速成拱提供了有利条件。

官盛渠江大桥拱肋分两环外包完成,如图5

所示。具体分环分段如下:

(1) 拱上两岸各设 4 个工作面, 全桥共 8 个工作面分五段同步对称浇筑拱肋第一环混凝土, 第一环混凝土浇筑截面高度 2 m 范围, 每一段的浇筑长度相等。每一段混凝土达到设计强度的 85% 后, 方可浇筑下一段。

(2) 按第一环划分的工作面及工作段, 浇筑拱肋截面余下部分。

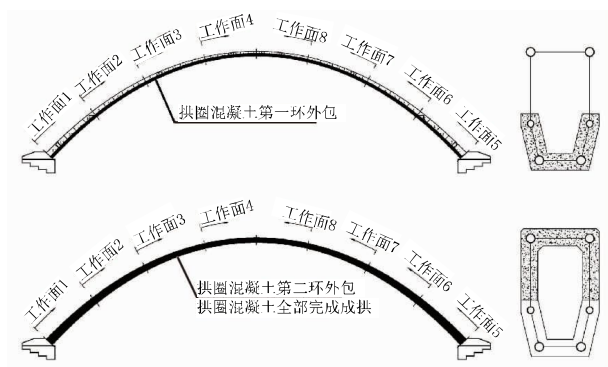


图 5 主拱成拱过程

3 主要计算成果

采用 midas 建立该桥的整体模型, 并对全桥结构进行了验算, 主要结果如下:

(1) 考虑骨架对承载能力贡献^[2], 主拱承载能力验算最不利位置为拱脚截面, 最不利工况为负弯矩最大工况, 截面承载能力安全系数为 1.38, 拱顶最大竖向挠度为 20.2 cm。

(2) 混凝土外包过程中, 拱肋钢管混凝土构件承载能力验算最不利阶段为第二环第五段外包混凝土浇筑时, 主弦杆钢管混凝土承载能力安全系数为 1.18, 腹杆最大强度系数为 0.45 (规范要求不大于 1), 按压弯杆件验算稳定系数为 0.79 (规范要求不大于 1)。

(3) 成桥状态, 结构一阶失稳模态为主拱竖向失稳, 稳定系数为 6.563。

4 相关科研

4.1 主拱节段模型

主拱采用钢管混凝土骨架法形成, 骨架不仅充当了支架, 也对拱圈的承载能力提供了贡献。同时空心钢管的使用虽提高了骨架刚度, 但因其空心, 是否削弱了主拱截面, 降低承载能力, 也存在疑问。

为了揭示强劲主拱极限承载力和刚度等力学行为和计算方法, 我司联合清华大学, 依托该桥制作了三组缩尺模型, 并进行了加载试验, 如图 6 所示。



图 6 主拱缩尺模型试验

结果显示: 主拱钢管混凝土骨架和外围混凝土可以协同工作, 其承载力的贡献 13% 以上, 且钢管混凝土的刚度越大, 承载力提高得越多。

成桥静载试验结果也表明, 空心钢管并未对主拱截面有明显的削弱, 按实心截面计算的主拱截面内力及位移与实测结果相当。

4.2 C100 超高强混凝土的制备

超高强钢管混凝土有着混凝土易收缩、脱空、工作性能差等技术难题, 我司联合武汉理工大学, 进行了 C100 钢管混凝土的研究工作^[4]。

通过多组试验, 研发了胶凝材料总量不超过 600 kg/m³、试验试配强度超过 130 MPa、工程实际强度超过 128 MPa、工作性能优异、一次性灌注饱满的 C100 超高性能混凝土的制备技术。

值得一提的是, 提高骨架主弦杆混凝土性能是提高骨架强度、刚度最为“实惠”的手段, 但不是唯一手段。除此以外, 工程师可提高管径或者混凝土截面内钢管混凝土主弦杆的肢数, 使钢管混凝土截面占到混凝土截面的 8% 以上, 或者适当提高主弦钢管的壁厚。

4.3 轻型化施工平台

拱圈混凝土外包属高空作业, 难度大、风险高, 是拱桥修建过程中事故多发环节。该桥实施过程中, 首次采用了钢绳作为施工平台悬吊系统, 型钢分配梁组成轻型化施工平台系统 (见图 7)。该系统具有如下特点:

(1) 可在拱肋下方沿拱轴线方向便捷移动, 满足各工作面每一段混凝土施工。

(2) 能同时满足底板混凝土和腹板混凝土施工要求。

(3) 具备全封闭施工作业功能, 保障了施工作业人员的安全。

(4) 兼有布设模板、堆积材料、提供操作平台等多种功能, 经济且可靠。

5 结 语

广安官盛渠江大桥解决了特大跨钢筋混凝土拱肋的设计难题, 提出的强劲骨架构造解决了拱肋成拱的技术难题, 它的顺利建成实现了钢筋混

(下转第 83 页)

如图 5 所示。

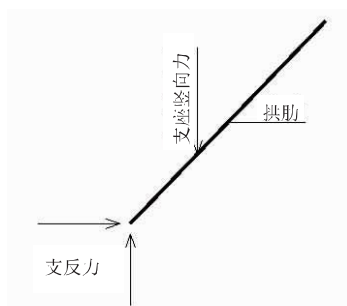


图 5 支座竖向力和支反力关系图

从图 5 可见,若想减少拱脚水平力,减少竖向支座力是有效途径,故此次设计时,引桥主桥交界点后移到拱座上。

3.2.2 吊杆张拉力控制

吊杆张拉力最终转化为拱肋中的轴向力和弯矩,降低吊杆中的拉力则可间接降低拱肋中的轴向力,进而降低拱脚的支反力。该桥按照拱梁协同受力考虑,将拉杆初张力控制在恒载的 60%,可大大降低拱肋的轴向力及拱脚的水平反力,这个也是选择梁拱组合体系的原因。

设计时按照以上两点进行设计,最终水平反力从最初设计的 35 000 kN 降低到 8 500 kN,下降了 75%。按照以往该地区的实际经验,直径 1.5 m 的灌注桩可承受 600 kN 水平力,故设计时采用了 15 根直径 1.5 m 的灌注桩抵抗水平力。

4 结 语

本文通过对比分析,针对柔性拱和梁拱组合体系拱桥受力特点及拱脚水平推力控制进行了研究,得出如下结论:

常规的中承式拱桥设计往往控制拱肋线形,追求拱肋轴向内力的最大化。针对本文提到一类景观性中承式拱桥,线形为满足景观需求,无法按照轴向受力调整,采用梁拱组合体系是设计的一个较好的选择。

景观中承式拱桥的水平推力可通过梁拱组合体系降低拱肋的轴向力,并可通过将支座外移到拱座上进一步降低水平推力。本文采用此种方法设计后,水平推力降低了 75%,节省了很大的工程造价。

参考文献:

- [1] GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].
- [2] 梁鹏,肖汝诚,张雪松.斜拉桥索力优化实用方法[J].同济大学学报(自然科学版),2003(11):1270-1274.
- [3] 庞浩然.无背索斜拉-连续梁组合体系桥梁力学性能分析与优化研究[D].西安:长安大学,2018.
- [4] 易公焜.梁拱组合体系设计理论关键问题研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 丁文胜.下承式刚架系杆拱桥的抗震设计方法及试验研究[D].南京:东南大学,2006.

(上接第 77 页)



图 7 拱肋外包施工工作平台

混凝土拱桥建造技术的突破,极大增强其在同等跨度其他桥型中的竞争优势。

参考文献:

- [1] 周源,王戈.强劲骨架在钢管混凝土劲性骨架拱桥中的应用[J].山西交通科技,2019(3):65-69,83.
- [2] DB51/T 1992—2015,钢筋混凝土箱型拱桥技术规程[S].
- [3] 陈锦阳,韩林海,牟廷敏,等.拱形钢管混凝土加劲混合结构力学性能试验研究[J].西南公路,2018(3):85-91.
- [4] 丁庆军,徐意,牟廷敏.高石粉机制砂制备 C100 钢管混凝土的研究与应用[J].混凝土,2017(11):1-4.