

异型中承式拱桥设计计算分析

李雪峰, 徐 辉, 孙晨然

(中国市政华北设计研究总院有限公司, 天津市 300202)

摘 要: 中承式拱桥通常需要很大的水平力平衡拱脚的水平推力, 通常在山区等能提供强大水平推力的区域使用。此次设计的中承式拱桥位于华北平原, 另外为满足景观匹配性, 拱肋轴线没有采用常用的悬链线线形, 除顶部圆弧状外, 其余均采用直线的异型线形。此次设计需要重点解决两个问题, 一个是拱轴线异型情况下结构受力的合理性, 另一个问题是平原区拱桥设计如何减少拱脚水平力的问题。

关键词: 拱桥; 钢结构; 异型

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)12-0081-03

1 概 述

该桥位于华北平原区域, 为满足城市景观设计需求, 选择了中承式拱桥作为设计方案。主桥起点桩号为 K0+450.628, 终点桩号为 K0+560.628, 主桥长 110 m。主桥横向布置为 4.5 m(人行道)+2.5 m(非机动车道)+4 m(拱肋区)+11 m(机动车道)+0.5 m(隔离墩)+11 m(机动车道)+4 m(拱肋区)+2.5 m(非机动车道)+4.5 m(人行道)=44.5 m。道路等级为城市主干路, 桥梁荷载等级标准为城-A 级, 设计车速为 60 km/h。主桥桥梁布置如图 1 所示。

根据地勘资料揭示, 在钻探深度范围内, 桥梁建设区域主要为第四纪冲、洪积而形成的粉质黏土、粉土等。场地内及其附近未发现影响建筑物稳定性的活动构造。在勘察过程中未发现其他不良地质作用, 也未发现埋藏的河道、沟浜、防空洞、孤石等对工程不利的埋藏物。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[1], 该场地抗震设防烈度为 8 度, 设计基本地震加速度值为 0.2g, 抗震需求较高。

2 结构设计

2.1 拱肋

由于景观设计需求, 此次设计的拱肋采用矩形截面钢结构, 拱肋内偏 18°, 主拱圈高 34 m。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010), 该地区地震设防烈度为 8 度区, 为高度地震区, 为减少

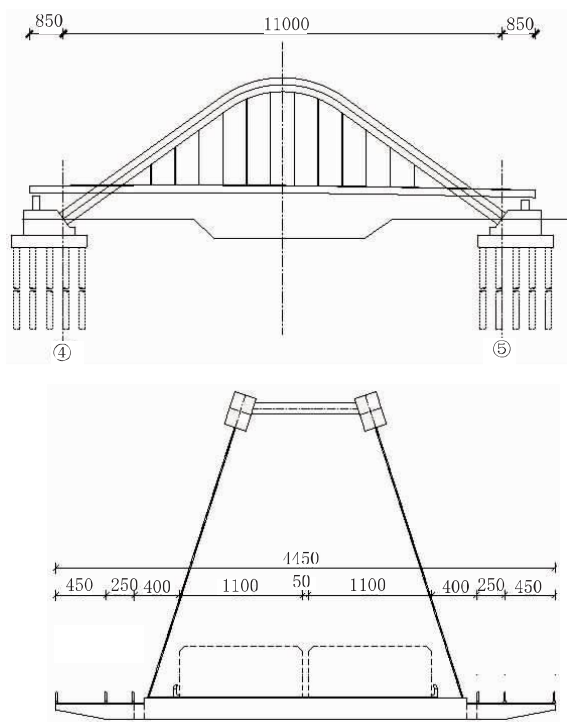


图 1 桥型布置图(单位:cm)

地震力影响, 该桥采用拱肋和梁分离结构, 增加震动周期, 减少地震力影响。为满足结构受力需求, 桥面以上拱肋为等截面设计, 桥面以下拱肋结构采用变截面结构设计。拱肋线形除顶部为圆弧外, 其余均是直线。

2.2 主梁

由于标准索距为 6 m, 此次设计标准节段长 6 m。主桥结构采用单箱多室钢箱梁。顶、底板及腹板采用 U 形加劲肋。顺桥向采用等截面梁高设计, 梁高控制在 1.8 m, 横桥向靠近边缘区域逐步降低梁高, 到边缘处对应梁高为 0.8 m。横隔板按照 3 m 一道设置, 主要结构钢板厚度采用 20 mm, 局部加厚段

收稿日期: 2020-05-21

作者简介: 李雪峰(1976—), 男, 本科, 高级工程师, 从事道路桥梁的设计研究工作。

控制在 40 mm 以内。

2.3 吊索

单个拱肋纵桥向共设置 12 对吊索,吊索间距 6 m。吊索采用环氧涂层钢绞线成品索,标准强度 $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$,PE 包裹防护。吊索设计时考虑其单根可更换性。

3 结构计算分析

此次设计对桥梁结构进行了承载能力及正常使用状态计算,并进行了动力特性及屈曲性能等的分析,桥梁计算采用 Midas Civil 2019 软件进行计算。此次设计重点解决结构受力的合理性及减少拱脚的水平推力,故本文着重对承载能力状态计算进行叙述。结构计算时假设各种荷载对结构的作用符合线形叠加原理的条件,材料在荷载作用下处于小变形和线弹性阶段。设计荷载考虑自重、二期恒载、温度效应及不均匀沉降和活荷载等。空间计算有限元模型如图 2 所示。

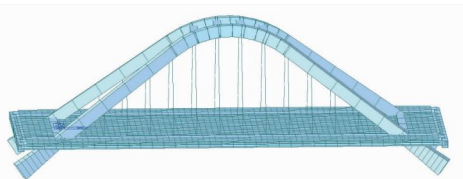


图 2 空间计算模型

3.1 结构设计协调性

拱桥从受力体系上有柔性拱桥(即拱肋承受主要荷载)、刚性拱桥(即拱肋抗弯刚度较低,主要承受轴向力),还有介于中间的梁拱组合结构。此次设计的拱肋线形比较特殊,为顶部圆弧形、下部直线形的线形,不是传统意义上的悬链线。线形的独特性决定了该桥不能采用刚性拱的方案,剩下可选的方案只有柔性和组合结构。按照柔性拱考虑结构设计,如何调整吊索力是考虑的关键。根据梁鹏等^[2]认为构件的刚度是其在结构中承受相应内力的权并通过公式推导予以证明,意味着刚度大的截面可适当多分担一些荷载,如果[B]阵可由用户任意调整,则可人为给出各构件在优化时的加权量。按照相关文献^[3]给出的思路,设计时调整拱肋及吊杆刚度进而增大拱肋承受的荷载,通过计算得到的吊杆力输入到施工阶段吊杆中,按照成桥最后一次调索控制,得到的整体结构应力图如图 3 所示。从图 3 上可看出,拱肋应力达到 267 MPa,虽然应力在可控范围内,但主梁应力较少,最大不超过 50 MPa,结构的材料稍显浪费。另外一个很大的因素为拱肋承受了较大的轴向力,造成水平力较大,这个问题下节详细介绍。

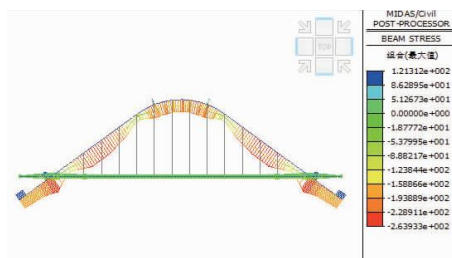


图 3 柔性拱应力图(单位:MPa)

此次拱桥另一个设计思路是组合结构,即拱肋和主梁协同受力,材料均可有效利用。按照相关文献^[4]调整索力最终的目的是实现拉索索力和钢结构应力的弯矩和恒载平衡,达到合理的成桥状态。其控制的关键因素是控制拉索竖向分力和恒荷载的比值,此次设计控制吊索竖向分力之和与恒荷载总比值为 0.6 进行调索,调整后的应力图如图 4 所示。

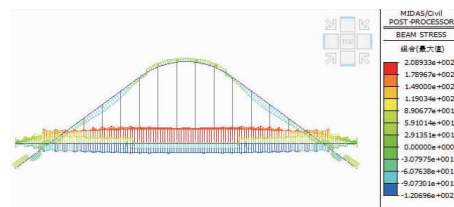


图 4 梁拱协同受力应力图(单位:MPa)

从图 4 中可以看出,经过调整吊杆竖向力后,拱肋应力降低到 150 MPa 以下,主梁应力提高到 200 MPa,桥梁材料得到很好的利用。梁拱协同体系能够充分利用结构材料,采用这种理念设计的桥梁,拱肋主梁均各自承担一部分桥梁荷载,不必将荷载极化到某一个构件上,这种设计理念对异型结构的桥梁设计是很有益的。

3.2 拱脚水平推力

对于山区等可以承担很大水平力的地质构造区域,希望拱脚水平力更大,这样可以平衡一部分拱肋弯矩,但在此次设计的桥梁,由于其处于平原区,过大的水平力将是非常不利的^[5]。此次设计的重点是如何降低水平力进而减少下部结构的使用量,这部分设计也是此次设计的重、难点。为控制拱脚水平力,此次设计着重考虑两个方面的因素。

3.2.1 主梁支点的控制

常规中承式拱桥设计习惯在拱桥与主梁相交处的下缘设置一道横梁,上方设置支座作为主桥和引桥的分界点。这种设计方法可以有效减少主桥主梁跨径及造价。此次设计的桥梁为控制拱脚水平力,将主桥与引桥的分界点引伸到拱座上方,不在拱与主梁相交处下缘设置支座。这是由于该桥拱轴线下部为直线,支座反力若作用在拱肋上,可直接转化成轴向力进而转为水平力。具体关系

如图 5 所示。

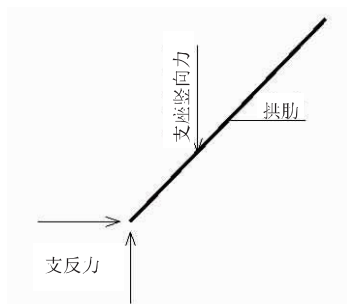


图 5 支座竖向力和支反力关系图

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

凝土肋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.