

文章编号:1671-6833(2006)02-0107-03

多跨连续斜靠式异型拱桥的设计与稳定分析

张天航,李清富

(郑州大学环境与水利学院,河南 郑州 450002)

摘要:斜靠式异型拱桥是一种新型的、特点鲜明的空间组合结构体系,以韩江北桥为例,介绍了多跨连续斜靠式异型拱桥桥型的设计与布置,分析了桥梁结构的体系特点,通过平面和空间的静力计算,表明全桥结构设计受力合理,拱截面、吊杆、系杆、V撑箱梁混凝土应力储备适中,各跨位移均满足规范要求;主桥动力结构分析计算A、B、C三跨结构面内、外刚度接近,对第1阶失稳模态求解临界荷载比例因子计算结果为稳定系数均大于5,结构发生一类失稳的可能性较小,空间稳定性亦满足要求。

关键词:斜靠式异型拱桥;静力计算;稳定计算

中图分类号:U 448 **文献标识码:**A

0 引言

斜靠式异型拱桥是空间组合结构体系不断创新的代表,它改变传统的拱结构平面受力特性,突出了桥梁上部构造空间受力的特点,使桥面观感更加开阔^[1]。其结构体系特点是桥面两侧各设两片拱肋,以内拱作承重拱,外拱作稳定拱,两拱自成稳定体系,同时取消了横跨桥面的横向支撑,依靠拱肋自重或斜拱支撑来维持拱的稳定,但是取消横向支撑是否会影晌桥梁的横向刚度,能否依靠桥面系维持拱的稳定成为这一结构体系成败的关键,本文以广东潮州市韩江北桥为例,介绍多跨连续斜靠式异型拱桥的设计及其稳定分析。

1 工程概况

潮州市韩江北桥位于广东省潮州市湘桥区韩江之上,工程全长为3.57 km,跨韩江桥梁全长为1 926 m,其中主桥长580 m,东岸引桥长773 m,西岸引桥长573 m,引桥宽28 m,主桥桥面加宽至30 m,双向六车道,两侧设置人行道,详见桥型布置图(图1)。

韩江北桥主桥为V型中墩五跨连续钢管混凝土系杆拱桥,跨径布置为85 m+114 m+160 m+114 m+85 m;为给桥面提供开敞的行车空间,主桥每跨每侧设一片哑铃型拱肋主拱和一片圆型

拱肋斜拱。主拱承受桥面荷载,斜拱维持主拱稳定。四片拱肋、吊杆、系杆与桥面系组成稳定的空间受力体系,结构独特,造型新颖。160 m主跨(A跨)竖拱肋拱轴线理论跨径137.2 m,矢高29.412 m,理论矢跨比1/4.66,次边跨(B跨)竖拱肋拱轴线理论跨径94 m,矢高19.377 m,理论矢跨比1/4.85;边跨(C跨)竖拱肋拱轴线理论跨径68.8 m,矢高13.921 m,理论矢跨比1/4.94。竖拱肋拱与V撑顶混凝土箱梁固结,斜拱肋拱顶与竖拱拱肋刚性固结,拱脚固结于V撑箱梁。全桥共设49对吊杆(边跨7×2对+次边跨10×2对+主跨15对),吊杆中心间距8.0 m,吊杆拉索采用OVMPEs(FD)系列新型低预应力防腐吊索。为抵抗水平力,每片拱肋下设4根水平系杆,采用挤包双层大节距低应力扭绞型拉索,系杆锚固于V撑箱梁上。桥面系采用悬吊体系,吊杆吊支工字型钢横梁,钢横梁上支预应力混凝土桥面空心板。吊杆下锚箱结合处设有两道纵梁,在拱脚处设端钢横梁,端横梁与纵梁焊接,简支在V撑顶现浇混凝土箱梁牛腿上。主桥6个中墩均为预应力箱形结构,V型墩墩顶为与桥面等宽的预应力箱形梁,其下为箱形斜支腿和空心薄壁矩形直墩,墩底承台为长方形混凝土承台,下部采用直径为Φ2.0 m的钻孔灌注桩群桩基础。

收稿日期:2005-12-20;修订日期:2006-03-01

基金项目:2005年度河南省创新人才培养工程

作者简介:张天航(1970-),男,云南大理人,郑州大学讲师,主要从事道路与桥梁结构工程方面的研究。

万方数据

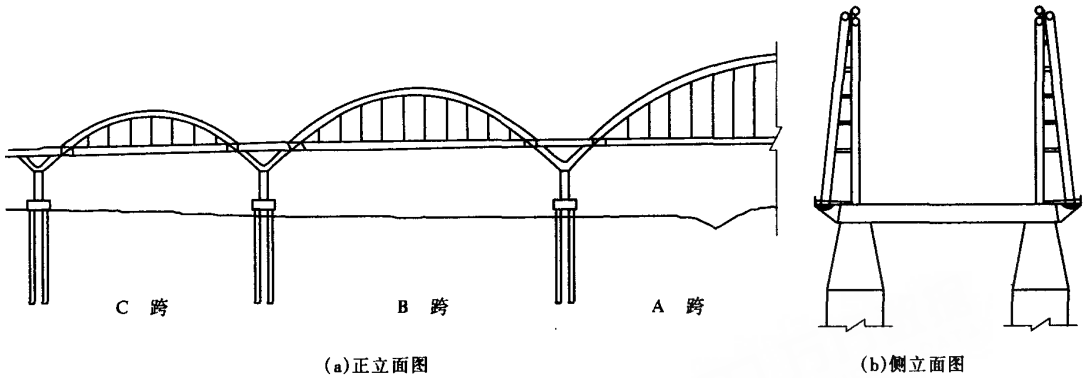


图1 桥型布置图

Fig.1 Bridge pattern arrangement

2 主桥结构体系的特点分析

2.1 纵向结构体系

作为五跨钢管混凝土拱桥,该桥纵向结构体系为 C,B,A,B,C 五跨下承式柔性系杆拱.钢管混凝土拱肋分别固结于六个中墩 V 撑箱梁上;在每一带 V 撑的中墩上,拱肋水平推力和系杆拉力构成了自平衡体系,中墩基本上不承受不平衡水平力.所以尽管桥面以上钢管混凝土系杆拱和桥面以下混凝土 V 撑中墩材料、造型有很大差异,且主桥侧面造型极似五跨连续中承式拱,但就力学机理而言,主桥仍为典型的五跨连续下承式拱.这一体系的设置较好地解决了多跨中承式连续拱桥系杆设置的构造问题和中墩不平衡水平推力问题,纵向主体结构体系设计构思比较合理.因本桥只在竖拱设置吊杆,斜拱基本上不承受桥面荷载,按传力线路最短的原则,V 撑轴线宜尽可能与竖拱拱轴线在一个平面内,以免 V 撑横向偏心受力.

2.2 横向结构体系

桥面内侧竖拱为主拱,直接承受桥面荷载,外侧斜拱用以维持主拱的稳定,每侧的竖拱与斜拱用横撑连接成稳定的体系,取消桥面两侧拱的横向支撑系统.对于每一跨系杆拱的桥面系,设计采用钢横梁作主要承重结构.钢横梁以吊杆支于主拱拱肋,桥面板、桥面铺装支承于钢横梁上.钢横梁以边纵梁和端横梁构成平面梁格系统,支承着混凝土桥面板、桥面铺装.桥面系悬吊于拱肋,成为一个在桥面平面内既无纵向水平约束又无横向水平约束的漂浮系统.考虑抗震设计基本要求,在地震力作用下,若不约束漂浮桥面系的摆动,将导致结构破坏,所以应加大纵梁刚度使之与拱肋形成拱梁体系,并将纵梁与 V 撑固结,桥面板与 V 撑箱梁连续以减少桥面伸缩缝.也可增加纵

梁加强端横梁,使桥面梁格形成刚性整体,桥面板与 V 撑纵向构造连续,并于端横梁 V 撑箱梁支承处,设纵、横向限位装置,以限制地震力作用下桥面系的纵、横向摆动.

3 结构稳定性分析

3.1 结构静力计算与分析

本文对主桥使用平面杆系程序进行计算,假定仅主拱受力,将五跨连续 V 撑结构空间拱桥通过简化变为平面计算模型,对钢管混凝土拱肋按照 CECS 公式进行截面和材料特性的转换进行结构内力分析,计算表明钢管拱的弯矩图曲线除在拱脚处外无突变现象,钢管拱肋整体受压,说明本桥结构设计大体合理;钢管拱截面应力储备适中,但 C 拱外拱脚最大主压应力为 28.7 MPa,最小主压应力 -24.9 MPa;B 拱内拱脚最大主压应力为 30.3 MPa,最小主压应力 -23.5 MPa,数值偏大;吊杆应力储备较大,箱梁混凝土大部分截面受压,压应力均在规范要求以内,箱梁在与拱肋交界处截面内出现拉应力,最大值为 0.8 MPa;V 撑混凝土全截面受压,压应力均在规范要求以内,应力储备适中;钢管拱 C 跨最大竖向位移为 -7.596 cm,发生在组合 2 工况下计算 1/4 拱跨处,挠跨比为 $f_{\max}/L = L/905$;B 跨最大竖向位移为 -8.919 cm,发生在组合 2 工况下 1/4 拱跨处,挠跨比为 $f_{\max}/L = L/1053$;A 跨最大竖向位移为 -9.772 cm,发生在组合 2 工况下 1/2 拱跨处,挠跨比为 $f_{\max}/L = L/1404$,各跨位移均满足规范要求.

空间静力计算采用 ANSYS 8.0 程序进行,上部结构中的竖拱肋和斜拱肋,横梁和纵梁采用 BEAM4 空间梁单元模拟,吊杆、系杆、桥面板和人行道采用 LINK8 空间桁架单元模拟,其中预应力采用降温法模拟,V 型墩采用实体单元 SOKID45

和 SOLID65 模型.结构荷载工况:①恒载和吊杆、系杆预应力;②城-A 级活载和人群荷载;③全桥布满人群荷载;④均匀升温 20 ℃.按容许应力法验算系杆抗拉强度,计算表明活载作用下 A, B, C 各跨系杆强度满足其抗拉强度的要求,由活载占全部荷载效应的比例可知,系杆的疲劳强度满足要求,吊杆的平均拉应力和最大拉应力均小于设计容许值.拱肋强度验算按各跨拱脚竖拱和斜拱最不利内力组合,并将其折算为钢结构材料,可知竖拱肋和斜拱肋截面上、下最大压应力均小于

Q345C 抗拉、压强度设计值(300 MPa),且安全储备较足.由最不利荷载工况下 A, B, C 各跨拱肋竖向挠度最大挠度为 14.3 cm,小于规范规定的容许挠度 $L/800 = 160 \text{ m}/800 = 20 \text{ cm}$,满足要求.

3.2 结构动力计算与分析

主桥动力结构分析计算建模过程与空间静力计算相同.在结构动力特性分析中,一般情况下结构前几阶自振频率和振型起控制作用^[2],图 2 所示为桥梁主跨第 1~4 阶振型的侧立面示意图.

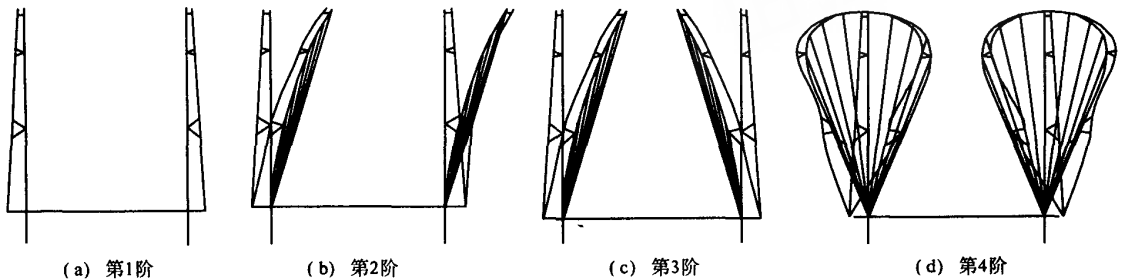


图 2 主跨第 1~4 阶振型侧立面示意图

Fig.2 The main span 1st ~ 4 step inspiring side sets up the surface schematic drawing

采用子空间迭代法进行桥梁振动特性分析,从该桥前几阶振动圆频率可以看出,桥梁的第 1 阶振动模式是桥面的纵向刚体振动,说明漂浮桥面系纵向刚体运动最有可能发生,设计时应增加纵向位移限位措施,避免桥面系在地震中发生碰撞破坏;桥梁的第 2 阶和第 3 阶振动形式是拱肋的面外横向振动,桥梁的第 4 阶和第 5 阶振动形式是拱肋的面外扭转振动,同时在结构的前 10 阶振动形式中,有 6 阶为拱肋的面外振动,说明该桥梁拱肋的面外横向刚度相对较弱,而全桥的竖向振动在第 6 阶才发生,说明全桥的竖向刚度较拱肋的横向刚度大.由于桥面系纵横梁截面较小,桥面系面外刚度较弱,全桥出现扭转振动形式,所以桥梁设计时,应加大纵横梁截面尺寸.

一般来讲,拱的面外稳定时一类失稳的特征比较明显,即一类稳定的承载力较接近二类稳定的承载力.由于没有考虑材料非线性和几何非线性,按国内同类拱桥的设计、施工经验,通常要求稳定系数大于 4.0^[3,4].由 A, B, C 各跨动力特性计算结果发现各跨动力特性相差不大,其振型形状基本上均为桥面系面外、拱肋面外、拱肋面内、拱肋面外+桥面系面外反对称、拱肋面内反对称竖弯,第 1 阶振型均为桥面系为主的横向振动,说明 A, B, C 三跨的桥面系横向刚度相对主拱较小,面内与面外自振频率较为接近,说明结构面内外刚度接近.提取了万方数据

第 1 阶失稳模态,利用兰索斯法进行大型特征值的求解, A, B, C 跨模型临界荷载比例因子(即第 1 阶屈曲模态的特征值)的计算结果为 5.85, 6.47 和 6.62.可见,主桥的空间稳定性是满足要求的.

4 结论

斜靠式异型拱桥最大特点是取消了横向支撑,用斜拱来维持主拱的稳定,通过结构体系的稳定性分析,表明该结构受力合理,拱截面、吊杆、箱梁混凝土等,应力储备适中,各跨位移均满足规范要求,在恒载、汽车活载作用下结构一阶失稳模态均为面外半波失稳,各类稳定系数均大于 5,满足钢管砼结构一类失稳的设计要求,同时表明结构发生一类失稳的可能性较小,稳定性较好.但是该桥梁存在漂浮桥面系不利于抗震,拱肋的面外横向刚度相对较弱的问题,在设计中应予注意,对同类工程设计建议如下:

(1) 为提高主拱的稳定性既可适当加大拱肋断面尺寸,亦可将拱平面外倾一定角度,用吊杆力和桥面系自重来维持拱的稳定;

(2) 加大竖拱拱脚与斜拱拱脚横向间距,或增添斜拱吊索;

(3) 加强桥面系边纵梁刚度,并将其与 V 撑箱梁连接,提高拱肋稳定性.

(下转第 112 页)

须确定 $GF(2)$ 上的 4 元与 16 片叶子的一一对应情况. 但这样的一一对应共有 $16!$ 种, 所以敌手的这种目的极难达到.

(2) 一般情况下, 可视明文长短来确定 n , 使得明文长度 $l < T$.

参考文献:

[1] BETH T, PIPER F C. The stop-and-go generator[J]. Lec-

ture Notes in Computer Science, 1985, 209: 88 ~ 92.

[2] 胡予濮, 张玉清, 肖国镇. 对称密码学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[3] 丁存生, 肖国镇. 流密码学及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.

[4] 王树禾. 图论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

The Linear Recurring Sequence On Triad - tree

WANG Jin - ling, BI Wen - bin

(Department of Mathematics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: By means of the triad - tree theory in graph theory, a sequence in $GF(3)$ is transformed from a sort of clock control sequence in $GF(2)$, and its longest pattern is no more than 2, its linear complexity is higher and its stochastic is more ideal.

Key words: linear complexity; period; triad - tree; clock control sequence; stochastic

(上接第 109 页)

参考文献:

[1] 王 纯, 郭卓明, 王 健. 双提篮拱桥的设计与静力分析[A]. 中国公路学会. 2005 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2005. 1035 ~ 1041.

[2] 钟秩峰, 殷学钢, 陈 淮. 斜靠式异型拱桥体系振动特性分析[J]. 桥梁建设, 2005, (2): 8 ~ 11.

[3] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.

[4] 李广慧, 刘晨宇, 托拉·欧尼弗里奥. 响应面方法及其在桥梁体系可靠度分析中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2004, 25(1): 11 ~ 14.

The Design and Stability Analysis of Continuously Multi - span Slanting Arched Bridge

ZHANG Tian - hang, LI Qing - fu

(School of Environment and Water Conservancy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Slanting heterogeneous type arched bridge is a new type of space composite structure system with specific characteristics. this paper takes the HanJiang bridge as an example, introduces the continuously multi - spans slanting arched bridge design and the arrangement continuously, analyzes the bridge structure system characteristic, through the plane and the spatial static computation, indicates entire bridge structural design stress reasonable, arches the section, the suspension link, the tie bar, box beam, supports the concrete storage stress reserve to be moderate, each cross displacement satisfies the norm requirements; The main span power structure analysis calculates A, B, C three cross structure plane, outside the rigidity approaches, loses the steady modality to the 1st step to solve the critical load proportionality factor computed result to be bigger than 5 for the stability coefficient, the structure has a kind to lose the steady possibility to be small, and the spatial stability also meets the demands.

Key words: slanting arched bridge; static computation; stability computation