

文章编号:1671-6833(2005)04-0025-04

斜靠式拱桥动力特性研究

陈 淮, 申哲会, 胡 锋, 杨 磊

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 平顶山市城东河路湛河桥是一座斜靠式钢筋混凝土箱肋拱桥, 该桥内拱外倾、外拱内倾, 组成组合拱肋与系杆梁、横梁组合成空间结构体系. 该桥型较少见, 为了了解该桥型的动力性能, 需要对桥梁进行空间动力特性分析. 采用 ANSYS 软件建立该桥梁空间有限元计算模型, 计算得到桥梁前 15 阶振动周期和振型. 计算结果表明: 该种桥型的拱肋面内外刚度相差较大, 横向刚度较竖向刚度弱, 桥梁低阶以拱肋横向振动为主; 桥梁的自振周期较大; 桥梁振型较为密集.

关键词: 斜靠式拱桥; 有限元法; 频率; 振型
中图分类号: U 448.225 文献标识码: A

0 引言

正在修建的平顶山市城东河路湛河桥为斜靠式拱桥, 主跨 120 m, 该桥拱肋主拱(内拱)外倾、稳定拱(外拱)内倾, 组成组合拱肋, 与系杆梁、横梁构成空间结构体系. 主拱与稳定拱拱轴线均为二次抛物线, 主拱矢跨比 1/4.444, 稳定拱矢跨比为 1/2.711, 主拱肋和稳定拱肋都采用箱形截面, 主拱肋箱高 2.7 m, 宽 1.5 m, 稳定拱肋箱高 2.7 m, 宽 1.2 m. 主拱肋向桥外侧倾斜 1 度, 稳定拱肋向内侧倾斜 8.0075 度, 两者用横向联系梁相连; 系

杆梁采用预应力混凝土箱形截面, 箱宽 1.5 m, 高 2.7 m, 中横梁采用预应力混凝土 T 形梁; 桥面板采用普通钢筋混凝土板. 在两拱肋及系杆梁中间, 为加强桥面稳定性, 改善桥面系受力状况, 分别设两道纵梁, 与桥面板及各横梁刚性相接. 主拱吊杆采用镀锌高强钢丝制成的平行钢丝束、冷铸墩头锚体系, 间距 4 m, 稳定拱吊杆间距同主拱肋, 分别吊于各横梁端部, 共计 92 根吊杆. 主拱采用盆式橡胶支座支承在钢筋混凝土箱形墩身, 稳定拱肋每个拱脚下采用 6 根 Φ120 cm 钻孔灌注桩. 主桥正立面及侧立面布置图如图 1 所示.

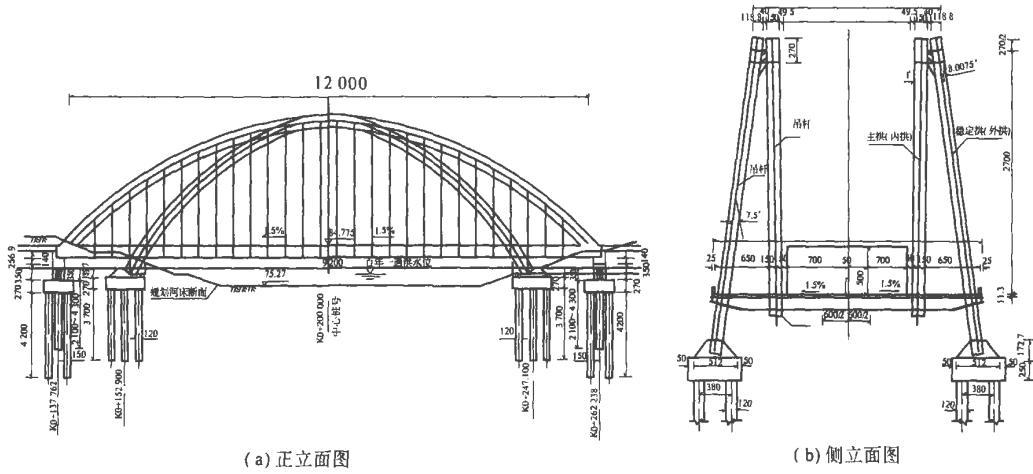


图 1 主桥正立面及侧立面布置图(除标高外单位为 cm)
Fig.1 The sketch of Zhanhe bridge

在这一体系中,纵向受力结构为主拱、外拱、系杆梁,其余都为二次结构.在恒载作用下,主拱承受机动车道与部分非机动车道和人行道的荷载,并将水平力传至系杆梁,形成一个无推力体系.外拱承受部分非机动车道和人行道荷载,并将水平力通过外拱桥墩传至地基.桥梁横向受力以两根端横梁和内部的中横梁为主.

由于斜靠式拱桥不同于一般意义上的中、下承式拱桥,此类桥型结构新颖,国内外建造较少,研究成果也较少^[1].而桥梁的动力特性反映了桥梁的刚度指标,取决于结构的组成体系、刚度、质量分布以及支承条件等,是桥梁结构动力分析和抗震设计的重要参数,对正确进行桥梁结构的设计和安全维护具有重要的意义.本文就上述桥型的动力特性进行了计算分析,计算结果丰富了此类桥梁动力研究的内容,所得数据可为该桥在运营阶段的健康检测和维护提供参考.

1 桥梁空间有限元建模

为分析平顶山市城东河路湛河桥的振动性能,采用大型有限元软件 ANSYS 进行建模.该桥由拱肋、吊杆和桥面系 3 部分组成,桥面系包括水平系杆梁、端横梁、中横梁、小纵梁和桥面板.在桥梁的有限元建模中,根据该桥的结构特点,并结合类似工程计算实例^[2],选用合适的有限单元,主拱、稳定拱及桥面系的端横梁、中横梁、系杆梁、小纵梁、内外拱连接,均采用空间弹性梁单元 BEAM¹⁸⁹ 进行有限元离散,吊杆采用只承受拉而不受压的空间杆单元 LINK¹⁰ 模拟,桥面板采用 SHELL⁹³ 弹性壳单元模拟,并且建模时考虑了桥面板的纵坡与横坡.主拱边界按一侧铰支,一侧滑动处理,外拱按两端固结处理.桥梁有限元计算模型如图 2 所示.计算采用的常数:结构钢筋混凝土部分,50 号混凝土弹性模量、质量密度按桥梁设计规范取值,吊杆高强钢丝、内外拱连接材料参数按桥梁设计规范取值.

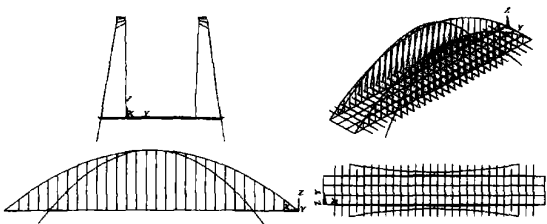


图 2 桥梁空间有限元计算模型

Fig. 2 The space finite element model of Zhanhe Bridge

2 计算结果及分析

在结构动力分析中,一般情况下结构的低阶自振频率和振型起控制作用,所以只需求结构的前几阶自振频率和振型.通过借助大型有限元软件 ANSYS,采用子空间叠代法求解结构的动力特性,计算得到该桥梁结构前 15 阶自振频率和振型图,计算结果列于表 1,限于篇幅文中只给出桥梁前 6 阶振型图,如图 3 所示.

从表 1 计算所得桥梁结构前 15 阶自振频率、振动特征和图 3 所示振型图可以看出,平顶山市城东河路湛河桥的振型比较复杂,主要包括主拱、稳定拱组合拱肋的横向振动、扭转振动和桥梁整体竖向振动、扭转振动,该桥的振型具有下列特点:

(1) 桥梁结构的前几阶振型均以拱肋的横向振动为主,直到第 5 阶才出现全桥竖向振动.桥梁前 15 阶振型中有 10 阶为拱肋的面外横向振动振型,且拱肋的横向自振频率明显小于桥梁全桥竖向振动频率,说明该种桥型的拱肋面内外刚度相差较大,其横向刚度较竖向刚度弱,这与该桥梁在 2 片主拱(内拱)之间不设横撑有关.

(2) 桥梁的自振周期较大,第 1 阶振型的周期为 1.63s,大于一般中、下承式拱桥的基本周期值^[3~4];桥梁振型较为密集,桥梁第 1 阶振型频率为 0.612 8 Hz,至第 15 阶振型频率也仅为 2.817 6 Hz,在 2 Hz 左右的频率范围内分布了 15 阶振型.

(3) 桥梁的第 1 阶振型为拱肋的横向异向振动,第 2 阶振型为拱肋的横向同步振动,第 3 阶振型为拱肋的异向扭转振动,第 4 阶振型为拱肋的同向扭转振动,出现这些振动形式的原因是 2 片组合拱的主拱之间不设横撑.

(4) 由于拱肋和系杆梁之间设有吊杆,桥面与拱肋在竖向呈现同步振动的特征,且第 1 阶竖向振型为反对称,第 2、第 3 阶竖向振型为对称振动,这不同于一般梁式桥的第 1 阶振型(对称振动),桥面的竖向振动频率比一般下承式钢筋混凝土系杆拱桥大^[3~4].这主要由该桥梁的自身特点所决定,其竖向结构体系是由拱肋、吊杆和系杆梁共同组成的受力体系,横梁通过刚性节点固接于系杆梁上,系杆梁再通过吊杆将荷载传至拱肋,桥梁的竖向弯曲刚度主要由拱肋和系杆梁的刚度决定.

(5) 由于该种桥型主拱和桥面系杆梁间设有吊杆,端横梁又与系杆梁组成水平平面内框架体系,使得这种桥型整体扭转刚度较大,桥梁到第 7

阶才出现全桥以扭转振动为主的振型.

(6) 文献[3]认为,人体对振动比较敏感的频率范围为 2~6 Hz,而该桥的自振特性表明,其最低频率 $f=0.612\ 80\ \text{Hz}$,出现在拱肋横向振动第 1 振型.另一方面,由于载重车辆的基本频率一般都

在 2.5~3.5 Hz 之间,而此桥的竖向第 1 阶振动频率仅为 1.256 2 Hz,所以该斜靠式拱桥的基频不在人体较敏感的范围之内,车辆荷载亦不会引起明显的振动效应.

表 1 桥梁动力特性计算结果

Tab.1 The dynamic characteristic results of the bridge

振型阶次	频率/Hz	周期/s	振型特征
1	0.612 8	1.631 9	拱肋横向第 1 阶振动,桥面基本不动,无竖向和扭转振动
2	0.641 6	1.558 7	拱肋横向第 2 阶振动,桥面基本不动,无竖向和扭转振动
3	1.072 3	0.932 6	主拱、稳定拱肋扭转第 1 阶振动,桥面基本不动
4	1.080 6	0.925 4	主拱、稳定拱肋扭转第 2 阶振动,桥面基本不动
5	1.256 2	0.796 1	全桥竖向第 1 阶振动,有微小横向振动,无扭转振动
6	1.958 1	0.510 7	全桥竖向第 2 阶振动,有微小横向振动,有较小扭转振动
7	1.958 9	0.510 5	全桥扭转第 1 阶振动,主拱、稳定拱肋有微小横向振动
8	2.297 4	0.435 3	全桥扭转第 2 阶振动,主拱、稳定拱肋有较大扭转振动
9	2.309 8	0.432 9	主拱、外拱肋扭转第 3 阶振动,桥面有微小扭转
10	2.398 3	0.417 0	全桥扭转第 3 阶振动,主拱、稳定拱肋有较大扭转振动
11	2.435 8	0.410 5	主拱、稳定拱肋扭转第 4 阶振动,桥面有微小扭转
12	2.450 6	0.408 1	主拱、稳定拱肋扭转第 5 阶振动,桥面基本不动
13	2.451 6	0.407 9	主拱、稳定拱肋扭转第 5 阶振动,桥面基本不动
14	2.545 4	0.392 9	全桥扭转第 4 阶振动,主拱、稳定拱肋有扭转振动
15	2.817 6	0.354 9	全桥竖向第 3 阶振动,主拱、稳定拱肋有较大扭转振动

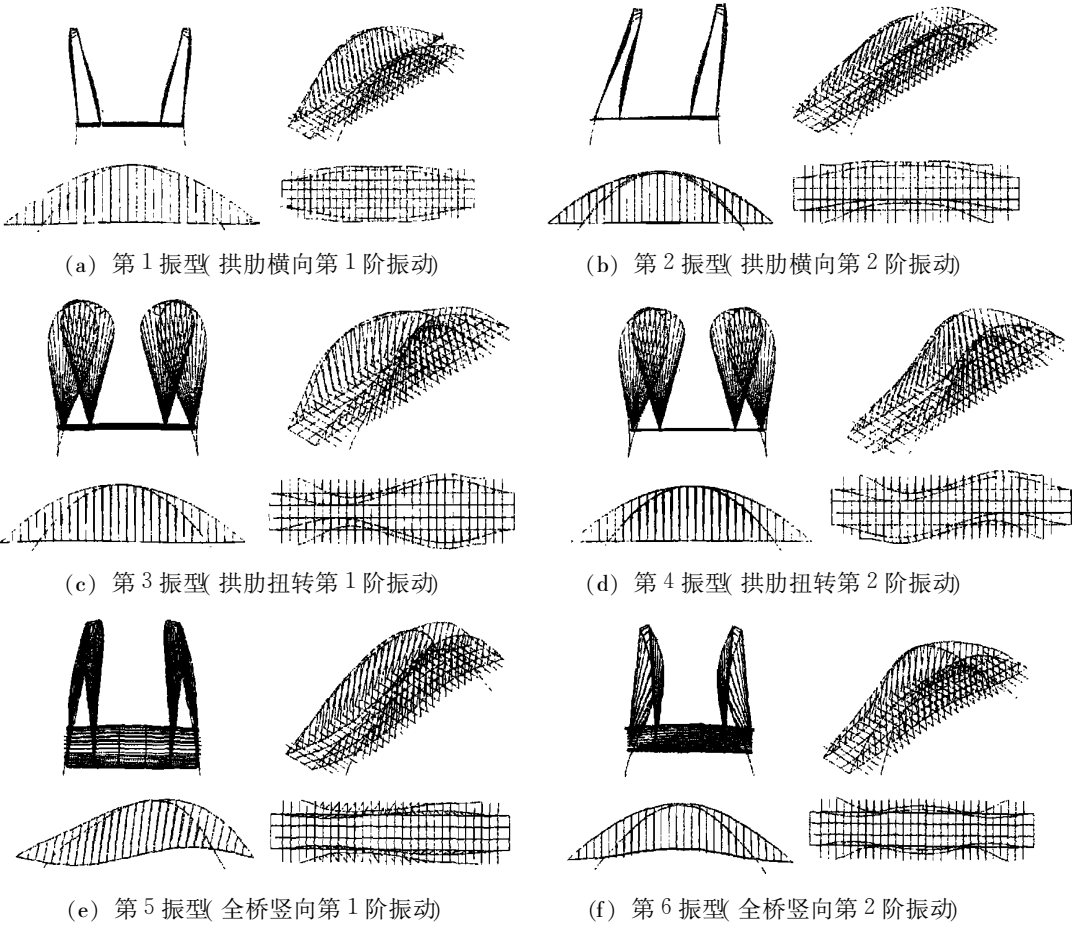


图 3 桥梁结构振型图

3 结 束 语

根据平顶山市城东河路湛河桥的结构特点,采用有限元法对该主桥进行离散,用梁单元模拟系杆梁、端横梁、中横梁、拱肋等构件,用只承受拉力的空间杆单元模拟吊杆,利用 ANSYS 大型有限元通用程序对主桥结构进行了动力分析. 计算结果表明,该种桥型的竖向刚度和桥面系的水平面内刚度相对较大,而拱肋的横向刚度相对较小,桥梁低阶振型以桥梁拱肋横向振动或扭转振动为主,计算结果符合物理概念,且提供了斜靠式拱桥的振动特征,这对了解这种新颖桥型的动力性能有着重要参考价值. 计算结果一方面可为该桥的设计、施工提供技术依据;另一方面,本文所得到的动力特性基本数据,可为该桥梁在运营过程中的健康检测和维护提供基础性数据.

参 考 文 献:

[1] 肖汝诚,孙海涛,贾丽君,等.斜靠式拱桥[J].上海公路,2004,(4):22~26.
[2] 陈 淮,王 艳,董建华,等.康复钢管混凝土拱桥振动特性分析[J].世界地震工程,2003,19(4):51~56.
[3] 陈宝春,郑皆连.钢管混凝土拱桥实例集(一)[M].北京:人民交通出版社,2002.
[4] 陈水盛,陈宝春.钢管混凝土拱桥动力特性分析[J].公路,2001,(2):10~14.
[5] 程海根,强士中.钢管混凝土提篮拱动力特性分析[J].公路交通科技,2002,19(3):63~65.
[6] 高 飞,陈 淮,杨 磊,等.部分斜拉桥力学性能分析[J].郑州大学学报(工学版),2005,26(1):54~56.
[7] 王伟锋,王文东.香港汀九大桥自振特性测量[J].郑州工业大学学报,2001,22(2):39~42.
[8] 杜晓伟,陈 淮,孙国钧.大型双槽渡槽动力特性分析[J].郑州大学学报(工学版),2002,23(3):79~81.

Study on Dynamic Characteristics of Leaning \neg -type Arch Bridge

CHEN Huai , SHEN Zhe -hui , HU Feng , YANG Lei

(School of Civil Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China)

Abstract : Zhanhe Bridge of Chengdong Road in Pingdingshan is a leaning \neg -type arch bridge . Its inner arches lean outward and its outer arches lean inward , which constitute its combinational arch ribs and make space structural system with tied beams and transverse beams . In order to acquire the dynamic characteristics of this type of bridge , which is rare in constructional application , its space dynamic characteristics need to be analyzed . According to the structural characteristics of the bridge , its space finite element computational model is set up . The first 15 orders of period and modes are obtained by the ANSYS program . The result indicates that the transverse stiffness of this bridge is smaller than its vertical stiffness and the transverse vibrations of arches occupy the main part of its lower order modes . The results reveal that there exist considerable differences of the arch ribs between the stiffness in plane and the stiffness out of plane . Meanwhile the transverse stiffness of the bridge is smaller than its vertical stiffness and the transverse vibrations of arches occupy the main part of its lower order modes . It also indicates that the natural vibration period of the bridge is relatively large and vibration modes are close .

Key words : leaning \neg -type arch bridge ; finite element method ; frequency ; mode