

文章编号:1671-6833(2005)01-0054-03

部分斜拉桥力学性能分析

高 飞, 陈 淮, 杨 磊, 王 艳

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 平顶山市湛河一桥主桥为双跨独塔单索面矮塔部分斜拉桥, 为了分析该桥梁的力学性能, 采用大型有限元通用软件 ANSYS 进行建模, 主梁和塔采用空间梁单元(beam188) 进行离散, 拉索采用只承受拉力的空间杆单元(link 10) 模拟, 建立了该桥梁的有限元计算模型, 分别计算了桥梁的内力、自振频率和振型. 计算结果表明, 对于该矮塔部分斜拉桥, 拉索对主梁的轴力和弯矩影响较大, 主梁的刚度对桥梁整桥自振频率影响较大, 该桥梁低阶振动主要表现为桥梁的整体竖向振动和横向振动. 计算结果可为该桥的施工控制及使用阶段的健康检测和维护提供参考.

关键词: 部分斜拉桥; 建模; 受力; 振动特性

中图分类号: TU 448.2 **文献标识码:** A

0 引言

正在修建的平顶山市湛河一桥主桥为双跨独塔单索面矮塔部分斜拉桥, 桥梁全长 205.75 m, 主桥跨径分别为 88 m 和 72 m, 采用塔、墩、梁固结体系, 混凝土强度为 C50. 主梁为三向预应力变截面单箱三室箱型截面, 主桥桥面宽度 30 m, 横向坡度为 1.5%, 中支点梁高 4 m, 边支点梁高 2.2 m, 梁高以主塔为中心两边各 72 m 按 1.6 次抛物线变化, 88 m 跨不平衡段(16 m 长) 为等截面段, 梁高 2.2 m; 主塔结构桥面以上高 22.7 m, 采用实心矩形截面, 顺桥向宽 3.4 m, 横桥向宽 2.0 m, 布置在中央分隔带上; 斜拉索为扇形分布, 顺桥向集中布置在梁体 1/3 跨度附近, 梁上索距为 4 m, 塔上索距 0.8 m, 拉索采用双排索, 主塔两侧对称布置 9 对. 其施工方法为移动支架分段现浇, 由于矮塔部分斜拉桥不同于一般意义上的斜拉桥, 该桥型结构新颖^[1], 国内建造较少, 且现有研究成果也较少^[2~9], 为了了解该桥型的力学性能, 为桥梁施工监控服务, 本文作者对该桥梁进行了力学性能分析.

1 桥梁结构有限元建模

斜拉桥是高次超静定结构, 它的结构内力计算比较复杂^[1]. 为分析平顶山市湛河一桥主桥双跨独

塔单索面矮塔部分斜拉桥的力学性能, 采用大型有限元软件 ANSYS 进行建模. 在有限元建模中, 主梁采用空间梁单元(beam188) 进行离散, 拉索采用只承受拉力的空间杆单元(link 10) 进行模拟, link 10 单元是空间三维杆单元, 每个节点有 3 个自由度, link 10 单元没有弯曲刚度, 通过输入参数控制杆单元只承受拉或只承受压; 主塔采用梁单元(beam4) 进行模拟. 桥梁边界条件按塔根部固结, 主梁两端按滑动边界条件处理. 全桥计算模型共计有限元结点总数 134 个, 单元总数 75 个, 桥梁有限元计算模型如图 1 所示. 桥梁计算采用的材料常数根据桥梁设计规范确定, 其值为: 钢绞线弹性模量取 1.9×10^5 MPa, C50 混凝土弹性模量 3.5×10^4 MPa, 钢材密度 $7\,850\text{ kg/m}^3$, 钢筋混凝土密度 $2\,500\text{ kg/m}^3$.

2 计算结果及其分析

桥梁的恒载根据输入的桥梁材料参数和几何参数按给定的数据文件由程序自动加载, 其中梁体与桥塔自重荷载为 $9.767 \times 10^4\text{ kN}$, 桥面二期荷载为 $1.33 \times 10^4\text{ kN}$, 桥梁所承受的活载根据《城市桥梁设计荷载标准》^[9] 中城-A 级汽车荷载确定, 由于平顶山市湛河一桥主桥跨径大于 20 m 且小于 150 m, 当计算弯矩时, 车道荷载的均布荷载标准值 q_M 采用 10.0 kN/m ; 计算剪力时, 均布荷载标准值 q_Q 采

收稿日期:2004-10-10; 修订日期:2005-01-20

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(0411052900)

作者简介:高 飞(1978-), 男, 河南省鹤壁市人, 郑州大学硕士研究生, 主要从事桥梁结构分析工作.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

用 15.0kN/m,集中荷载 P 采用 300kN.

为了探讨平顶山市湛河一桥主桥在静力荷载作用下的力学性能,本文作者按恒载+活载作用下的工况对该桥进行静力分析.主梁计算内力结果列于表 1,桥梁的弯矩图和轴力图分别如图 2 和图 3 所示.桥面最大竖向位移为 0.06 m,塔顶的最大顺桥向位移为 0.014 m,全桥位移图如图 4 所示.

表 1 主梁内力计算结果

Tab.1 Internal force results of girders		
位置	轴力/kN	弯矩/(kN·m)
主塔北侧根部	-2.44E+05	-1.20E+05
主塔北侧 44m 处	-2.04E+05	-3.24E+04
主塔北侧支座处	-1.72E+05	5.68E+04
主塔南侧根部	-2.45E+05	-8.16E+04
主塔南侧 36m 处	-2.20E+05	-2.00E+04
主塔南侧支座处	-1.72E+05	1.04E+05

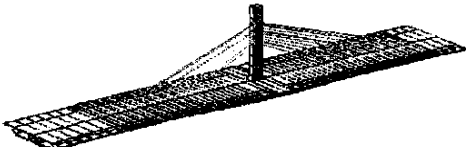


图 1 桥梁有限元计算模型

Fig.1 Calculated model of bridge with finite element



图 2 桥梁弯矩图

Fig.2 Moments of the bridge

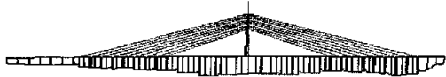


图 3 桥梁轴力图

Fig.3 Axial forces of the bridge



图 4 桥梁位移图

Fig.4 Displacement of the bridge

拉索是斜拉桥的主要承重构件之一,拉索对主梁有弹性支承作用,对整个斜拉桥的结构刚度起着重要作用.在 ANSYS 程序中,可以应用加初应变的方法给出拉索的初始张拉力.平顶山市湛河一桥主桥斜拉索采用 PES 15-37 平行钢绞线,标准强度 1 860 MPa.在恒载+活载作用下的斜拉桥拉索计算内力结果列于表 2.

分析矮塔部分斜拉桥静力计算结果,可得以下结论:

(1) 由于该种桥型的塔高较低,拉索水平倾角较小,拉索对主梁的支撑作用减弱,而水平压力

增大,这相当于拉索对主梁施加了一个较大的体外预应力.

表 2 两根拉索合力计算结果

Tab.2 Calculated results of the two tension cables t					
索号	设计索力	计算索力	索号	设计索力	计算索力
H1	920	940.6	A1	920	918.9
H2	920	938.5	A2	920	913.5
H3	920	936.8	A3	920	909.6
H4	920	935.6	A4	920	906.9
H5	830	842.7	A5	830	815.5
H6	830	839.6	A6	830	814.9
H7	830	835.5	A7	830	815.0
H8	830	830.3	A8	830	816.2
H9	830	824.0	A9	830	818.6

说明:主塔北侧从内到外拉索编号分别为 H1,H2,H3……,主塔南侧从内到外拉索编号分别为 A1,A2,A3…….

(2) 矮塔部分斜拉桥由于拉索不能提供足够的支承刚度,故要求主梁的抗弯刚度较大,所以,主梁截面尺寸比一般斜拉桥主梁截面尺寸大.

(3) 当斜拉桥拉索布置成单索面时,对桥梁的抗扭不起作用,因此要求主梁应采用抗扭刚度较大的箱型截面.

(4) 斜拉桥主梁弯矩分布比较均匀,但是由于箱梁内部大量预应力钢筋和桥面上拉索的拉力,使得主梁承受的轴力较大.计算结果表明,桥梁主梁和桥塔所承受的应力都没有超过桥梁设计规范规定的设计值;拉索计算拉力都在桥梁设计规范允许值之内,表明该桥梁结构安全.

在结构动力分析中,一般情况下结构的前几阶自振频率和振型起控制作用,所以只要求结构的前几阶自振频率和振型.本文作者借助 AN-SYS 程序,采用子空间叠代法求解该桥梁结构的动力特性,计算得到该桥梁结构前 10 阶自振频率,如表 3 所示,限于篇幅,文中只给出桥梁前 2 振型图,分别如图 5 和图 6 所示.

表 3 桥梁自振频率计算结果

Tab.3 Calculated results of the bridge with the natural frequencies			
振型阶次	频率/Hz	周期/s	振型特征
1	1.377 3	0.726 1	主跨竖向一阶弯曲
2	1.802 4	0.554 8	边跨竖向一阶弯曲
3	2.125 4	0.470 5	主塔面外一阶弯曲
4	2.152 4	0.464 6	主跨横向一阶弯曲
5	3.007 7	0.332 5	主跨竖向二阶弯曲
6	4.005 3	0.249 7	边跨横向一阶弯曲
7	4.575 7	0.218 5	边跨竖向二阶弯曲
8	5.101 3	0.196 0	主跨横向二阶弯曲
9	6.092 1	0.164 1	主跨竖向三阶弯曲
10	6.311 7	0.158 4	主塔面内一阶弯曲

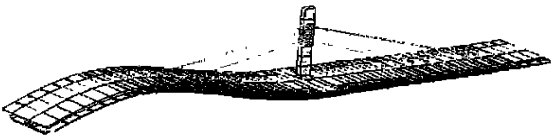


图 5 第 1 阶振型图

Fig. 5 The first vibration mode curves

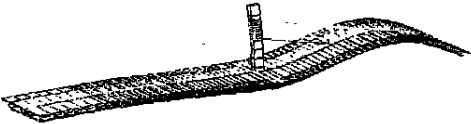


图 6 第 2 阶振型图

Fig. 6 The second vibration mode curves

由表 3 所示桥梁结构前 10 阶自振频率、振动特征和图 5、图 6 所示振型图可以看出,平顶山市湛河一桥主桥双跨独塔单索面矮塔部分斜拉桥振型比较简单,桥梁低阶振动主要表现为桥梁的整体竖向振动和横向振动.该桥的振型有以下特点:①主梁的刚度是影响全桥自振频率和振动特性的主要因素;②桥梁的第 1 阶振型为主跨的竖向振动,第 2 阶振型为边跨的竖向振动.出现这两种振动形式的原因是主梁箱梁截面较宽,竖向刚度小于横向刚度,所以主梁更易产生竖向振动,计算结果符合物理概念.

3 结论

本文作者根据平顶山市湛河一桥主桥——双跨独塔单索面矮塔部分斜拉桥实际特点,计算了

该桥的内力和振动特性,计算结果表明:

(1) 该部分斜拉桥主梁弯矩分布比较均匀,主梁所承受的轴力较大,但是,桥梁主梁和桥塔所承受的应力都没有超过桥梁设计规范规定的设计值;拉索计算拉力都在桥梁设计规范允许值之内,表明该桥梁结构安全.

(2) 该桥梁低阶振动主要表现为桥梁的整体竖向振动和横向振动,桥梁前 2 阶振动为整体竖向振动.

参考文献:

[1] 严国敏. 试谈部分斜拉桥——日本屋代南桥、屋代北桥、小田原港桥[J]. 国外桥梁, 1996, (1): 47~50.

[2] 饶小臣. 部分斜拉桥结构体系的研讨[J]. 铁道勘测与设计, 1999, (4): 35~38.

[3] 陈享锦, 王凯, 李承根. 浅谈部分斜拉桥[J]. 桥梁建设, 2002, (1): 44~47.

[4] 张多平, 李承根. 部分斜拉桥斜拉索的设计[J]. 桥梁建设, 2002, (3): 48~51.

[5] 赵中旺, 葛俊颖, 王海良. 某矮塔斜拉桥的施工控制研究[J]. 铁道建筑, 2002, (6): 23~25.

[6] 陈宝春, 彭桂瀚. 部分斜拉桥发展综述[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程分会. 2004 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2004. 263~273.

[7] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.

[8] CJJ—98, 城市桥梁设计荷载标准[S].

Mechanical Characteristics Analysis of partially Cable stayed Bridge

GAO Fei, CHEN Huai, YANG Lei, WANG Yan

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

Abstract : The main bridge over Zhanhe river at Pingdingshan is a two span partially cable stayed bridge with single stay surface and single short pylon. In order to analyse the mechanical characteristics of the bridge, a calculation model is set up by using the finite element analysis software ANSYS. The girders and pylon are respectively divided into discrete elements by applying 3D linear finite strain beam element (beam 188), and the tension cables are simulated by tension only element (link 10), when the model is established. The internal forces, natural frequencies and vibration modes of the bridge are calculated by applying the model. The calculation results show that, for partially cable stayed bridge with the single pylon, the tension cables have significant influence on the axial force and moment of the girder. It can also be observed that the stiffness of the girder affects natural frequency of the whole bridge significantly and that the first several vibration modes of the bridge are mainly the vertical and horizontal vibrations. The results in this paper can offer the related technical parameters and basic data for the construction control and the health detection and maintenance within its service period.

Key words : partially cable stayed bridge; modelling; Internal force; vibration characteristics