

矮塔斜拉桥的动力特性分析

朱 强, 刘 菲

(西南交通大学力学与工程学院, 成都 610031)

摘 要:矮塔斜拉桥是国际上一种新型的桥梁结构,具有跨越能力大、经济性好和造型美观等特点。以某实际工程矮塔斜拉桥为例,运用有限元软件 MIDAS/CIVIL 对该结构进行有限元建模,并对其进行动力特性分析,得到该结构的自振频率和振型,该研究可为矮塔斜拉桥的抗震设计提供参考。

关键词:矮塔斜拉桥;自振频率;振型

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

矮塔斜拉桥是由法国 Mathivat 教授于 1988 年提出的一种新型的桥梁结构形式。矮塔斜拉桥是介于刚性连续梁桥与柔性斜拉桥之间的一种刚柔相济的桥型^[1-2]。1994 年日本建成了世界上第一座矮塔斜拉桥—小田原港桥。我国起步稍晚,于 2000 年我国建成了首座矮塔斜拉桥—芜湖长江大桥,它是一座公铁两用钢桁加劲的矮塔斜拉桥。2001 年建成了我国第一座公路与城市道路上的矮塔斜拉桥—福州漳州战备大桥。矮塔斜拉桥因为造型优美、跨越能力大和经济性好等优点,在公路、铁路、市政道路上得到了广泛的应用。本文以实际工程某矮塔斜拉桥为例,对其进行动力特性分析^[2]。

1 工程概况

桥梁跨径布置为(84+56+32)m 独塔矮塔斜拉桥,采用塔、墩、梁固结的结构体系。梁顶面以上全高 20.0 m,采用实心截面,塔柱横向宽度均为 3.0 m,且横向不设横联。主梁为单箱四室箱型截面,梁高 3.8 m~6.0 m,箱梁顶宽 23 m,箱梁底宽 16.0 m~18.2 m,两侧腹板斜置。斜拉索为双索面扇形布置,塔上索距为 0.7 m,梁上索距为 6 m,全桥所设斜拉索共 16 对。

2 矮塔斜拉桥动力特性分析

2.1 动力分析概述

桥梁结构的振动特性由结构形式、质量分布、结构刚度、材料性质和构造连接等因素决定,与外载荷无关,为结构的固有特性,是反映桥梁结构整体状态性能的重要参数^[3]。结构的动力特性包括结构的固有频率、振型和阻尼,分析结构的动力特性变化对桥梁的抗风和抗震具有重要意义。

2.2 结构建模

矮塔斜拉桥结构是主梁、拉索和索塔三种结构的综合体现。本桥采用空间梁单元模拟主梁和桥塔,主梁、主墩和索塔均采用 C50 混凝土,边墩和辅助墩采用 C40 混凝土。拉索用桁架单元模拟,拉索材料采用钢绞线。运用 MIDAS/CIVIL 建立全桥模型,如图 1 所示。

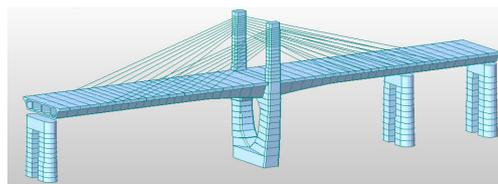


图 1 全桥模型

收稿日期:2015-05-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51378437)

作者简介:朱 强(1989-),男,四川宜宾人,硕士生,主要从事振动与控制方面的研究,(E-mail)yyzhuq@126.com

2.3 结构基本原理及结构动力模型

结构体系的振动方程:

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [C]\{\dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{F\} \quad (1)$$

式中, $[M]$ 为质点体系的质量矩阵, $[C]$ 为质点体系的阻尼矩阵, $[K]$ 为质点体系的刚度矩阵, $\{\delta\}$ 为质点对地面的相对位移矢量^[4]。

结构在外力作用且阻尼为零和非零的初始条件下得到结构的振动方程及其求解为:

$$[M]\{\ddot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = 0 \quad (2)$$

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (3)$$

此时结构振动反映的是结构本身的固有特性,即自由振动频率和振型。该振型分析可计算与其系数矩阵所对应的特征值 ω_i 和特征值向量 $\{\varphi_i\}$ 。

在 MIDAS/CIVIL 分析中,一般将结构连续分布的质量用集中质量或一致质量法进行离散,该结构模型的自由度较少,采用一致质量法。

求解非阻尼自由振动条件下的振型和固有周期的特征方程式为:

$$[K]\{\varphi_n\} = \omega_n^2[M]\{\varphi_n\} \quad (4)$$

式中 $[K]$ 为结构的刚度矩阵, $[M]$ 为结构质量矩阵, $\{\varphi_n\}$ 为第 n 阶振型向量, ω_n 为第 n 阶振型特征值。该模型采用 Lanczos 法进行阵型分析,并提取结构前 30 阶固有频率和部分主要的振型参与质量^[5],见表 1 和表 2。前 4 阶振型如图 2 ~ 图 5 所示。

表 1 自振频率和周期

振型编号	频率 /Hz)	周期 /s	振型编号	频率 /Hz)	周期 /s
1	1.5434	0.6479	16	9.0779	0.1102
2	2.2591	0.4427	17	10.6220	0.0941
3	2.9942	0.3340	18	11.3175	0.0884
4	3.7282	0.2682	19	12.1482	0.0823
5	3.8769	0.2579	20	12.1629	0.0822
6	3.9107	0.2557	21	12.3847	0.0807
7	4.4785	0.2233	22	12.4761	0.0802
8	4.7298	0.2114	23	13.2293	0.0756
9	5.0106	0.1996	24	13.3788	0.0747
10	5.7575	0.1737	25	13.6802	0.0731
11	5.8879	0.1698	26	14.3100	0.0699
12	7.9537	0.1257	27	15.1479	0.0660
13	8.1072	0.1233	28	15.2591	0.0655
14	8.2597	0.1211	29	15.3695	0.0651
15	8.6340	0.1158	30	15.3900	0.0650

表 2 振型参与质量

模态编号	TRAN - X		TRAN - Y		TRAN - Z	
	质量/%	合计/%	质量/%	合计/%	质量/%	合计/%
1	70.71	70.71	0.04	0.04	0	0
2	0.05	70.76	70.35	70.39	0	0
3	0	70.76	5.88	76.27	0	0
4	6.3	77.05	0	76.27	0	0
5	6.2	83.25	0	76.27	0	0
6	0	83.25	9.41	85.68	0	0
9	5.43	88.68	0	85.69	0	0
20	3.86	92.74	0.01	91.81	0	0
27	0.11	97.26	0	96.63	5.84	5.84
33	0	97.83	0	98.73	13.95	21.66
39	0	99.51	0	99.61	6.87	30.86
40	0	99.51	0	99.61	8.91	39.77
62	0	99.72	0	99.88	34.2	81.76
164	0	99.99	0	100	0.84	89.71
165	0	99.99	0	100	0.3	90.02

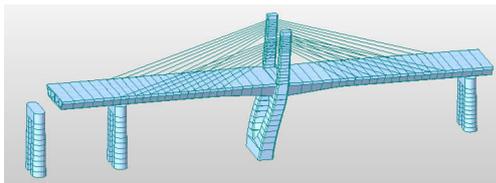


图 2 第一阶振型全桥纵飘

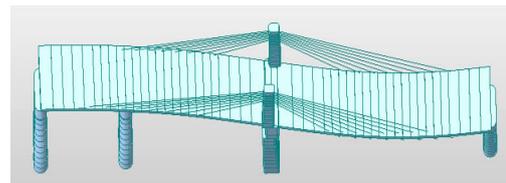


图 4 第三阶振型梁反对称横弯

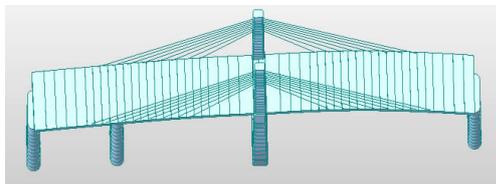


图 3 第二阶振型索塔横弯

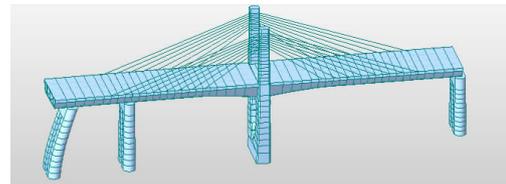


图 5 第四阶振型主墩纵移

分析可知,结构的前几阶振型在总振动中起控制和主导作用。在给出的170阶振型中,顺桥向和横桥向贡献最大的振型参与质量均在前10阶。竖桥向的振型参与质量贡献最大的是第27、33、40、62振型。根据规范规定,在前20阶振型中,顺桥向和横桥向的地震反应的振型分量均已达到90%的总质量,而竖桥向的地震反应,在前164阶振型分量达到了总质量的90%。前6阶振型分别为全桥纵飘、索塔横弯、梁反对称横弯、主墩纵移、索塔侧弯和对称侧弯。

3 结论

根据文献和矮塔斜拉桥实例分析可知,矮塔斜拉桥的动力特性有:

(1)一阶振型频率为1.5434 Hz,周期为0.6479 s,频率比一般的斜拉桥和悬索桥要高。一阶振型全桥纵飘,纵飘发生较早。

(2)前十阶振型中桥塔侧弯和主梁横弯的振型较多,索面摆动较突出和桥梁的横向位移较明显,说明索塔和主梁的侧向刚度较小。

(3)在前20阶中,纵向和横向的振型参与质量都可以达到90%以上,矮塔斜拉桥的高阶振型对结构的影响

较小。

参考文献:

- [1] 陈从春,周海智,肖汝诚.矮塔斜拉桥研究的新进展[J].世界桥梁,2006(1):70-73.
- [2] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 白金超.杨浦大桥动力特性测试与评估[J].公路,2015(1):85-89.
- [4] 葛俊颖.桥梁工程软件MIDAS/CIVIL使用指南[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [5] 王世杰.独塔波形钢腹板梁斜拉桥动力特性与抗震分析[J].河南科学,2015,33(2):220-225.
- [6] 蔺鹏臻,刘凤奎,张元海.单索面混凝土矮塔斜拉桥的动力特性[J].世界地震工程,2006,22(3):111-115.
- [7] 铁路工程抗震设计规范,GB50111-2006[S].
- [8] 谢旭.桥梁结构地震响应分析与抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [9] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震[M].北京:人民交通出版社,2011.

Analysis of Dynamic Characteristics of Extradosed Cable-stayed Bridge

ZHU Qiang, LIU Fei

(School of Mechanics and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Extradosed cable-stayed bridge is a new bridge structure in the world, with large span capacity, good economics and beautiful appearance. With a practical project of extradosed cable-stayed bridge as an example, the finite element software MIDAS/CIVIL is used to establish the finite element modeling of the bridge and the dynamic property of extradosed cable-stayed bridge is analyzed, then the natural vibration frequency and vibration mode of the bridge are obtained. The study can provide references for the aseismic design for extradosed cable-stayed bridge.

Key words: extradosed cable-stayed bridge; natural vibration frequency; mode of vibration