

交通运输

大跨度斜拉桥动力反应分析

徐凯燕 刘 灿

(广东交通职业技术学院, 广州 510650)

摘 要 以主跨 460 m 的武汉军山长江大桥为例, 运用自编程序进行了成桥状态索力计算, 并详细分析了其动力特性。结果表明: 1) 该桥第一振型为纵飘振型, 这对结构在地震作用下的反应十分有利; 2) 其模态相当密集, 自振频率很低, 前 40 阶模态的频率在 0.1—2 Hz 之间, 从而使得桥梁具有良好的使用性能; 3) 结构的扭转频率和弯扭频率比 ε 值较高, 说明该桥具有较高的颤振临界风速, 具有较好的抗风性; 4) 大跨度斜拉桥支座连接方式对整个桥梁体系的动力特性影响很大, 必须正确模拟; 5) 在半漂浮体系斜拉桥中, 对塔的横向地震反应贡献最大的是以塔的振动为主的振型。该桥计算分析结论可为该类型大跨度斜拉桥的抗震分析和设计提供参考依据。

关键词 大跨度 斜拉桥 动力特性 分析

中图法分类号 U441.3; **文献标志码** A

1 工程概况

武汉军山长江大桥主桥为 48 m + 204 m + 460 m + 204 m + 48 m 五跨连续半漂浮体系钢箱梁斜拉桥。斜拉索采用高强度低松弛平行钢丝外挤包高密度双层聚乙烯护层制成的扭绞型拉索, 标准索距

为 12 m, 最大索长 250.793 m, 重 19.16 t。全桥共设有 6 对竖向支座, 分别设于主 3、主 4、主 5、主 6、主 7、主 8 号墩上。2 对横向抗风支座, 分别设于主 5、主 6 号墩处。4 组纵向限位支座, 设于主 5、主 6 号墩与钢箱梁风嘴间。顺桥向不设固定支座, 在主 3、主 8 号墩处各设一道大位移伸缩缝。采用分离式倒 Y 型空间索塔, 索塔总高度为 163.500 米。桥梁布置见图 1^[1]。

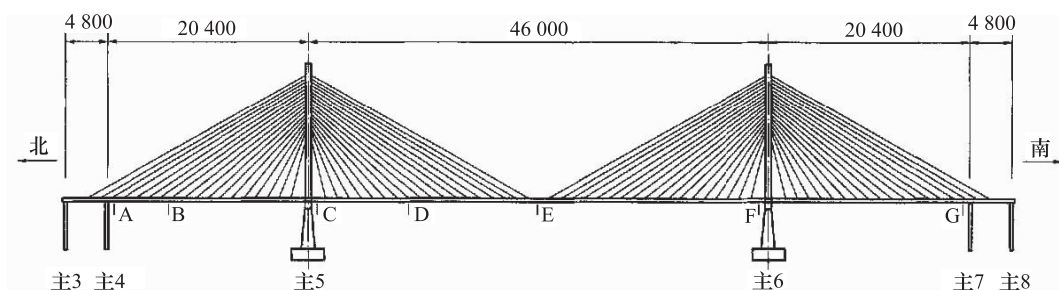


图1 武汉军山长江大桥桥型布置图

2011年6月30日收到

第一作者简介: 徐凯燕(1975—), 男, 高级工程师, 博士, 研究方向:

桥梁工程。E-mail: xkywh@sohu.com。

2 成桥状态下的索拉力

在成桥状态,利用自编非线性静力计算程序 3DXLQCX 计算得到 144 根索的拉力见表 1,用以形成动力分析时斜拉索的初始刚度^[2-4]。

表 1 成桥状态索拉力 (kN)

索类 型号	索单元号	索拉力	索类 型号	索单元号	索拉力
A18	24、164、 400、540	4 185. 58	J1	42、182、 418、558	2 451. 96
A17	25、165、 401、541	3 575. 04	J2	43、183、 419、559	1 919. 82
A16	26、166、 402、542	3 086. 02	J3	44、184、 420、560	1 807. 12
A15	27、167、 403、543	2 983. 12	J4	45、185、 421、561	1 759. 1
A14	28、168、 404、544	3 022. 32	J5	46、186、 422、562	1 811. 04
A13	29、169、 405、545	2 964. 5	J6	47、187、 423、563	1 916. 88
A12	30、170、 406、546	2 906. 68	J7	48、188、 424、564	1 969. 8
A11	31、171、 407、547	2 711. 66	J8	49、189、 425、565	2 158. 94
A10	32、172、 408、548	2 508. 8	J9	50、190、 426、566	2 239. 3
A9	33、173、 409、549	2 404. 92	J10	51、191、 427、567	2 402. 96
A8	34、174、 410、550	2 301. 04	J11	52、192、 428、568	2 449. 02
A7	35、175、 411、551	2 166. 78	J12	53、193、 429、569	2 456. 86
A6	36、176、 412、552	2 064. 86	J13	54、194、 430、570	2 597
A5	37、177、 413、553	1 958. 04	J14	55、195、 431、571	2 876. 3
A4	38、178、 414、554	1 907. 08	J15	56、196、 432、572	2 984. 1
A3	39、179、 415、555	1 930. 6	J16	57、197、 433、573	3 042. 9
A2	40、180、 416、556	2 004. 1	J17	58、198、 434、574	3 246. 74
A1	41、181、 417、557	2 451. 96	J18	59、199、 435、575	4 156. 18

3 军山大桥动力特性分析

参照前人做法,本桥采用双主梁模式,利用空间梁单元模拟主梁、横梁和桥塔,利用索单元模拟斜拉索,考虑斜拉索的垂度效应影响,建立斜拉桥动力分析模型^[5,6]。全桥共划分为 446 个节点,747 个单元(其中梁单元 603 个,索单元 144 个)。该斜拉桥计算模型的跨径为 48 m + 204 m + 460 m + 204 m + 48 m,总长 964 m,而塔高为 163. 5 m。计算模型的边界条件为:主塔底部固定(群桩基础,刚度足够大),主塔与主梁连接处(下横梁)通过支座弹性连接,支座与主梁为主从关系,放松主梁 X 、 Y 方向约束和绕 Z 轴的转动约束。主 3、主 4、主 7、主 8 号墩处根据实桥支座情况(分别采用 GPZ3000DX 和 GPZ10000DX 支座),放松纵桥向(X 方向)位移约束和绕 Z 轴转动位移约束,其余方向固定。斜拉桥动力分析模型如图 2 所示。

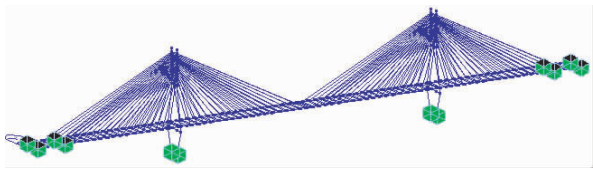


图 2 武汉军山长江大桥动力分析模型

按照上述边界条件,表 2 列出了军山长江大桥的前 10 阶频率和周期,图 3 则为前 10 阶振型^[7]。

表 2 武汉军山长江大桥前 10 阶频率及周期

阶数	振型	频率/Hz	周期/s
1	半漂浮体系顺桥向振动	0. 112 6	8. 881 0
2	梁横向对称弯曲	0. 296 3	3. 375 1
3	梁竖向对称弯曲	0. 329 4	3. 035 4
4	塔横向反对称弯曲	0. 410 9	2. 433 6
5	塔纵向对称弯曲	0. 424 5	2. 355 5
6	梁竖向反对称弯曲	0. 458 0	2. 183 3
7	塔纵向弯曲	0. 505 7	1. 977 5
8	主梁扭转	0. 672 0	1. 488 1
9	主梁竖向弯曲	0. 718 7	1. 391 4
10	主梁横向弯曲	0. 865 1	1. 155 9

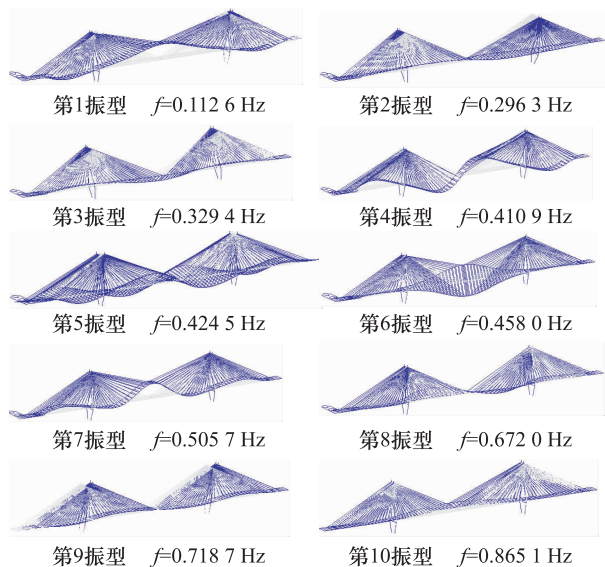


图3 武汉军山长江大桥前10阶振型图

4 结论

从以上分析数据及振型图可以看出:

(1) 由于武汉军山长江大桥采用半漂浮体系,而且跨度较大,故基本周期很长,约为 8.881 0 s,其第一振型为纵飘振型,这对结构在地震作用下的反应十分有利,但可能产生较大的结构位移,设计此类桥梁时应予以重视。

(2) 对于武汉军山长江大桥这种大跨度半漂浮钢箱梁斜拉桥这样的柔性结构,其模态相当密集,自振频率很低,本桥计算的前 40 阶模态的频率在 (0.1—2) Hz 之间。汽车悬挂系统的固有频率都在 2 Hz 以上,所以在行车车辆的作用下,一般极少出现低阶受迫共振的问题,从而使得桥梁具有良好的使用性能,确保了桥上车辆能够平稳舒适地运行。

(3) 由于采用双斜索面,故提高了结构的抗扭刚度,因而结构的扭转频率和弯扭频率比 ε 值(约为

2.04) 也较高,该桥一阶扭转对称振动频率为 0.672 0 Hz,而梁的竖向一阶对称弯曲振动频率为 0.329 4 Hz,说明该桥具有较高的颤振临界风速,使得桥梁具有较好的抗风性。

(4) 为了对比分析有无辅助墩的影响,本文还分别计算了去掉主 4、主 7 辅助墩的情况和全部去掉主 3、主 4、主 7、主 8 辅助墩的情况下结构的动力特性,两种情况下的基本周期分别为 9.155 7/s 和 11.114 1/s,梁的一阶对称竖弯频率则分别为 0.251 7 Hz 和 0.099 3 Hz,一阶扭转频率为 0.665 1 Hz 和 0.689 0 Hz。表明:当辅助墩从无到有时,结构基频增加,一阶竖弯频率变化显著,但对一阶扭转频率影响较小,从而对结构抗风性能影响较小。同时也说明大跨度斜拉桥支座连接方式对整个桥梁体系的动力特性影响很大,必须正确模拟。

(5) 在半漂浮体系斜拉桥中,对塔的横向地震反应贡献最大的是以塔的振动为主的振型(塔的对称横向振动和反对称横向振动)。它们一般出现在第四、第五阶上下,频率值为 0.4 Hz 左右。

参考文献

- 1 中交公路规划设计院. 京珠国道主干线武汉军山长江公路大桥施工图. 北京:1999
- 2 Nazmy A S, Abdel-Ghaffar A M. Non-linear earthquake-response of Long-span cable-stayed bridges; theory. Earthquake Eng Struct Dyn, 1990; 19: 45—62
- 3 Fleming J F. Nonlinear static analysis of cable-stayed bridge. Computers and Structures, 1979; 10:621—635
- 4 张海龙. 桥梁结构分析与程序设计. 武汉:华中理工大学出版社,1995
- 5 范立础. 桥梁抗震. 上海:同济大学出版社,1997
- 6 苏 成,韩大建,王乐文. 大跨度斜拉桥三维有限元动力模型的建立. 华南理工大学学报(自然科学版),1999;27(11): 51—56
- 7 徐凯燕. 大跨度斜拉桥非线性地震反应时程分析及减、隔震研究. 广州:华南理工大学,2009

The Dynamic Response of Long-span Cable-stayed Bridge

XU Kai-yan, LIU Can

(Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650, P. R. China)

[**Abstract**] Take the Wuhan Junshan Yangtze River Bridge as a example, whose main-span is 460 m, the cable force of completed bridge were calculated by the self-developed program, and the dynamic character of it was analyzed. The results show that: 1) Its first mode of vibration is longitudinal floating mode, which is favorable to the earthquake- response of structures. 2) Its former 40 rank frequency are located between (0.1 ~ 2) Hz which is avail to the condition of traffic condition. 3). The ratio of torsion and bending-torsion frequency is 2.04 which is very high. It indicates the flutter critical wind velocity is high and the windproof performance of this bridge is good. 4) The dynamic responses are sensitive to the connection mode which should be simulated correctly. 5) In this kind of half-floating cable-stayed bridge, the vibration of the tower contributes most to the transverse seismic response of the tower. The conclusion can give a reference to the seismic analysis of this kind of bridge.

[**Key words**] long-span cable-stayed bridge dynamic character analysis

(上接第 6989 页)

Design and Implementation of Backup System Guaranteeing Service not be Stopped

DONG Gu-yin, KANG Mu-ning, XU Jie

(Department of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, P. R. China)

[**Abstract**] A backup system guaranteeing service not be stopped based on IP-SAN network is described. The system used the Freeze function which provided by the file system and Snapshot technology to ensure the server not be stopped during the server disk does backup, and through the Snapshot generation management and Log management to ensure data integrity and consistency of the backup data. The system support cross-platform, heterogeneous network and remote backup, because it is based on IP-SAN network. Experiment show that this system has good stability and reliability.

[**Key words**] Snapshot backup Freeze function IP-SAN