

山谷地形桥梁横向地震反应特性分析

张少为* 叶爱君

(同济大学桥梁工程系, 上海 200092)

摘要 建立了典型山谷地形桥梁的动力计算模型,同时考虑主梁和桥墩刚度的影响,从动力特性出发,分析了桥梁的横向地震惯性力分配规律以及相邻联桥梁之间的地震耦联性。结果表明:主梁刚度和桥墩高度变化对山谷地形桥梁的横向动力特性地震惯性力分配、以及主引桥间的地震耦联性均有显著的影响,但桥墩高度变化的影响更大。

关键词 山谷地形桥梁,动力计算模型,主梁刚度,桥墩刚度,横向地震反应

DOI:10.15935/j.cnki.jggcs.2015.05.019

Analysis on Transverse Seismic Response of Valley Bridges

ZHANG Shaowei* YE Aijun

(Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract Considering the influence of both main beam stiffness and pier stiffness, three typical dynamic calculation models of valley bridges were adopted. According to the dynamic properties of bridges, the distribution rules of seismic inertia force in piers and seismic coupling of adjoining parts were analyzed. The results indicate that main beam stiffness and pier stiffness both observably influence the transverse dynamic properties, transverse distribution rules of seismic inertia force and seismic coupling of main bridge and approach bridges. However, the pier stiffness has a greater influence.

Keywords valley bridges, dynamic calculation models, main beam stiffness, pier stiffness, transverse seismic response

1 引言

山谷地形桥梁中间桥墩高,边上桥墩矮,相邻联桥梁的刚度差异较大,动力特性差异也较大,容易产生非同向振动,因此地震反应与常规桥梁相比更为复杂,对抗震不利。对此,我国的《城市桥梁抗震设计规范》^[1]规定梁式桥(多联桥)相邻联的基本周期比宜大于等于0.7(含顺桥向和横桥向),从而减小相邻联间的非同向振动。

目前,关于山谷地形桥梁的抗震研究主要集中在纵桥向。文献[2]的结论为:山谷非规则桥梁相邻联的纵向基本周期相差较大,纵向地震输入下,会导致伸缩缝相邻联非同向振动,引起伸缩缝处相邻联产生较大的相对位移和伸缩缝处的碰

撞。文献[3]针对简支梁桥的研究表明,当邻跨的刚度相差较大时,即结构动力特性差异较大时,邻跨刚度比对结构地震反应的影响更为显著。在纵向地震作用下,主梁发生纵向平动,因此可以忽略主梁刚度的影响,仅需考虑桥墩刚度对地震反应的影响。但是在横桥向地震作用下,主梁的横向振动不可忽略,而主梁的横向振动又会受到桥墩的约束,因此,主梁的刚度、桥墩的刚度都会影响桥梁的横向地震反应。目前对于桥梁横向地震反应的研究很少研究主梁刚度的影响,一般认为上部结构产生的横向地震惯性力按桥墩刚度分配给各桥墩^[4-6]。而对于山谷地形桥梁来说,桥墩的刚度变化很大,因而墩梁相对刚度在各联间的差别很大。另外,实际工程中,主梁横向刚度的不同主要是设计时桥宽或者梁高的不同引起的,而

收稿日期: 2015-05-16

* 联系作者, Email: 836942608@qq.com

主梁质量占全桥总质量的比重很大 ,于是主梁刚度改变所附带的质量变化也是一个不容忽视的影响因素。因此 ,山谷地形桥梁的横向地震反应具有与纵桥向完全不同的特点 ,涉及地震惯性力在各墩间的分配以及相邻联的横向动力耦联性问题 ,非常复杂 ,目前还缺乏相关的研究。

为此 ,本文建立了典型山谷地形桥梁的三维动力计算模型 ,同时考虑主梁和桥墩刚度的影响 ,从动力特性出发 ,分析该类桥梁的横向地震惯性力分配特点以及相邻联桥梁之间的耦联性 ,从而揭示山谷地形桥梁的横向地震反应特性。

2 动力计算模型及地震动输入

本文以实际桥梁工程为背景 ,建立了不同主墩墩高的三个典型山谷地形桥梁的动力计算模型 ,采用规范反应谱作为地震输入 ,分析山谷地形

桥梁的横向地震反应。

2.1 动力模型

本文建立的三个计算模型如图 1 所示。全桥共三联 ,左右两个边联即左右引桥对称(以下都称为引桥) ,各为三跨连续梁桥 ,墩高变化剧烈;中间联即主桥为四跨连续刚构(以下都称为主桥) ,所有桥墩等高 ,三个模型的主桥墩高分别为 30 m、60 m、90 m。各墩底皆采用全约束 ,主桥刚构部分墩梁固结 ,其余各墩与主梁的约束条件见表 1。

对于主梁刚度 ,本文假定主梁刚度不同是由桥宽变化引起的 ,因此通过将桥宽改为原来的 n 倍来改变主梁刚度 ,则主梁横桥向刚度变为原来的 n^3 倍 ,而主梁质量变为原来的 n 倍。原桥宽 12 m ,本文考虑了 1 倍桥宽、1.58 倍桥宽和 2 倍桥宽三种情况来研究 ,对应刚度为 1 倍主梁刚度、4 倍主梁刚度和 8 倍主梁刚度。

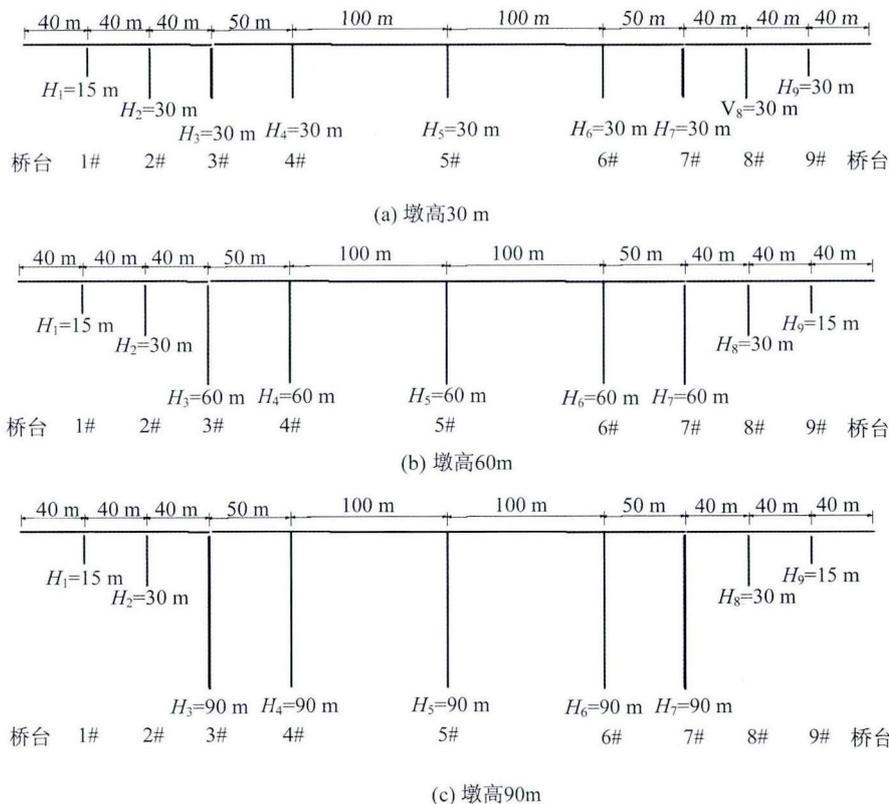


图 1 计算模型

Fig. 1 Calculation models

2.2 地震动输入

本文采用规范^[5]反应谱作为地震输入 ,地震动峰值加速度 0.1 g ,特征周期 0.45 s ,场地调整系数取 1.0 ,阻尼调整系数取 1.0 ,重要性系数取

0.5 ,如图 2 所示。

3 山谷地形桥梁的横向动力特性

图 3 显示了山谷地形桥梁的横向基本振型 ,

由其振型特点可以看出墩、梁刚度对基本周期都存在一定影响。

表 1 墩梁约束条件

Table 1	Constraint conditions					
支座位置	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
左桥台	0	1	1	1	0	0
1 号墩	1	1	1	1	0	1
2 号墩	1	1	1	1	0	1
3 号墩(引桥侧)	0	1	1	1	0	0
3 号墩(主桥侧)	0	1	1	1	0	0
7 号墩(主桥侧)	0	1	1	1	0	0
7 号墩(引桥侧)	0	1	1	1	0	0
8 号墩	1	1	1	1	0	1
9 号墩	1	1	1	1	0	1
右桥台	0	1	1	1	0	0

注: ①UX 为纵向向, UY 为横向向, UZ 为竖向;
②“0”表示自由, “1”表示互相约束或固结。

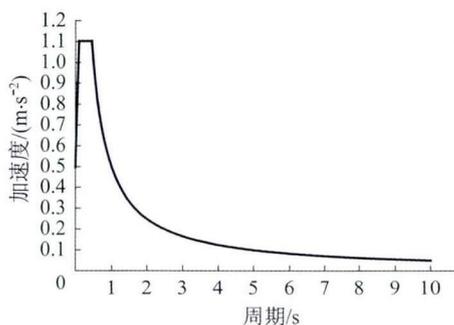


图 2 加速度反应谱

Fig. 2 Acceleration response spectrum curves

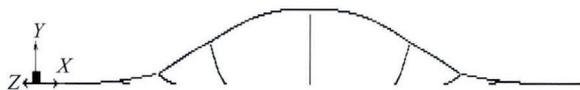


图 3 山谷地形桥梁横向基本振型

Fig. 3 Transverse fundamental mode of valley bridges

本文考虑了墩高 30 m、60 m、90 m 三种情况, 而对于主梁刚度, 本文考虑了 1 倍、4 倍、8 倍三种情况, 表 2 给出了各种情况的基本周期。

表 2 不同情况各桥基本周期

Table 2	Fundamental period in different cases		
主梁刚度倍数	30 m	60 m	90 m
1	1.048	2.254	3.647
4	1.203	2.435	3.553
8	1.290	2.501	3.466

由表 2 可知, 随主梁刚度倍数的增加, 墩高 30 m 和 60 m 时, 基本周期增大, 而墩高 90 m 时, 基本周期减小。主梁刚度变化即桥宽变化会同时

影响桥梁总体刚度和总体质量, 而桥梁总体刚度和总体质量变化幅度的相对大小则会直接影响到桥梁的基本周期。当墩高 30 m 时, 墩高较矮, 桥墩刚度较大, 主梁质量占结构总质量的比重较大, 而主梁刚度占结构总刚度的比重相对较小。主梁刚度变化即桥宽变化后, 桥梁总质量变化幅度较大, 而总刚度变化幅度较小, 所以此时桥梁基本周期总体增大。当墩高为 60 m 和 90 m 时, 情况则相反。墩高较高, 桥墩刚度较小, 主梁质量占结构总质量的比重相对不大, 而主梁刚度占结构总刚度的比重相对较大。主梁刚度变化即桥宽变化后, 桥梁总质量变化幅度较小, 桥梁总刚度变化幅度较大, 所以此时桥梁基本周期总体减小。

4 桥梁横向地震反应特性分析

4.1 地震惯性力分配规律

桥墩弯矩除了受到惯性力大小控制外同时还受到墩高的控制, 没有办法清晰地表现出惯性力的分配规律。因此本文采用墩顶剪力来对惯性力的分配进行分析。

图 4 给出了各墩顶的地震剪力包络图。

由图 4 可知, 对于主桥, 各墩墩高相等, 中间桥墩的横向位移大于两侧桥墩, 因此墩顶剪力从中间向两侧逐渐减小。对于引桥, 墩高变化剧烈, 因此随着墩高的降低, 墩顶剪力增加。

随着主梁刚度的增加, 各墩墩顶剪力都有不同程度的增加且惯性力分配的趋势都相同。当墩高 30 m 时, 引桥的增加幅度较小, 主桥的增加幅度较大。当墩高 90 m 时, 引桥的增加幅度较大, 主桥的增加幅度较小。易见墩高 60 m 时的情况是墩高 30 m 和墩高 90 m 间的中间状态, 所以下面着重分析墩高 30 m 和墩高 90 m 的情况。

结合图 4 和表 2 可知, 对于墩高 30 m, 随着主梁刚度增加即桥宽增加, 桥梁基本周期增大, 加速度减小, 但是此时反应谱处于平缓段, 加速度减小幅度较小。相对的, 主梁质量翻倍, 结构总质量增加幅度较大, 所以墩顶惯性力总体仍是增大的。而墩高 90 m 时, 桥梁基本周期减小, 加速度和主梁质量都增加, 所以墩顶惯性力增大。

4.2 地震横向位移

图 5 给出了主梁的地震横向位移包络图。

由图 5 可知, 墩高 30 m 时, 随着主梁刚度的

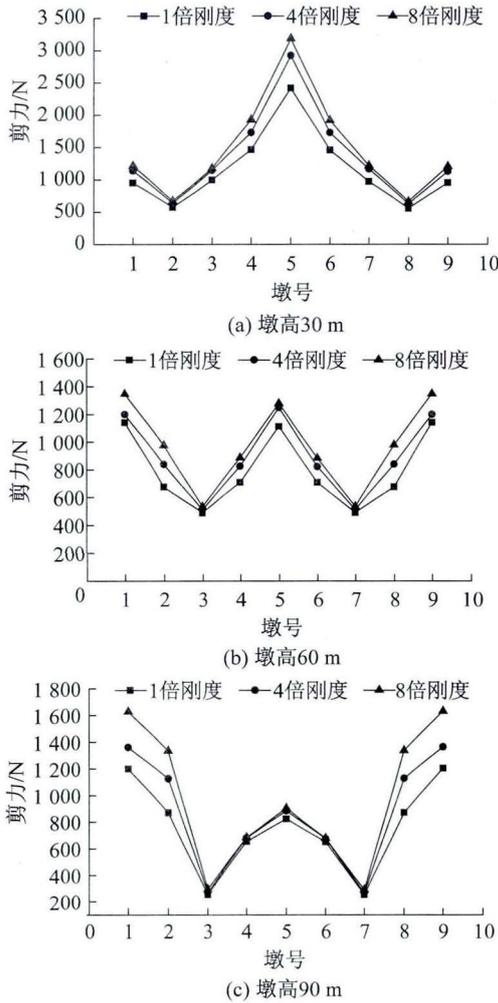


图4 地震墩顶剪力包络图

Fig. 4 Top shear envelope diagram

增加,主梁横向位移增加。墩高 90 m 时,随着主梁刚度的增加,主梁横向位移减小。而墩高 60 m 时是墩高 30 m 和 90 m 的中间状态。

对于墩高 30 m 结合表 2 随着主梁刚度的增加基本周期增大,所以位移也增加。对于墩高 90 m 随着主梁刚度的增加基本周期减小,所以位移也减小。

同时由图 5 可见,随着墩高的增加,横向位移包络图越来越趋于平滑,这是因为桥墩刚度减小,对于主梁的约束作用也随之减弱。

4.3 相邻联的地震耦联性

山谷地形桥梁相邻联刚度相差较大,主梁刚度的改变会影响惯性力的传递。因此本文研究了不同墩高情况下,主梁刚度变化对于相邻联内力耦联性的影响。本文分别建立了三个单联模型,即左引桥单联模型(左桥台、1[#]—3[#]墩),主桥单联模型(3[#]—7[#]墩)和右引桥单联模型(7[#]—9[#]墩、

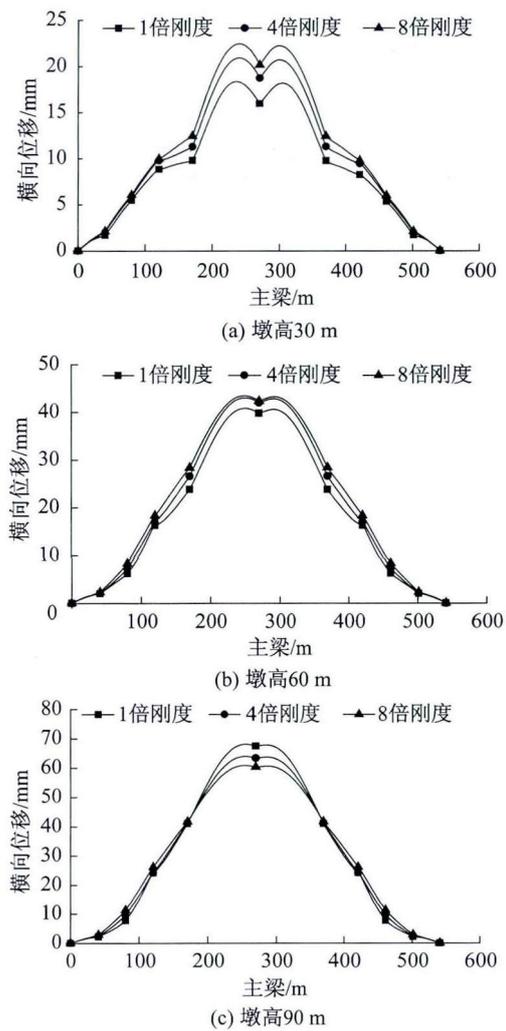


图5 主梁地震横向位移包络图

Fig. 5 Transverse displacement envelope diagram

右桥台)。分别将主桥和左右引桥单独一联情况下的各墩墩顶剪力与主桥和引桥相连后的各墩墩顶剪力进行比较后,可以得到耦联性对各墩地震惯性力的影响。图 6 为单联墩顶剪力与相连后的三联墩顶剪力的比值情况。

根据图 6,墩高 30 m 时,相邻联相连后主桥剪力增大,引桥剪力减小;墩高 90 m 时,相邻联相连后主桥剪力减小,引桥剪力也减小。墩高 60 m 为二者的中间状态。总体来说,主桥的中间桥墩即 4 号、5 号、6 号桥墩受主、引桥耦联性的影响不大,但引桥受耦联性的影响较大,而过渡墩受耦联性的影响很大。考虑主桥的影响后,引桥各墩分担的惯性力会减小,随着主桥墩高的减小,惯性力减小的幅度增大。考虑耦联性后,过渡墩的剪力相对比较接近较刚的引桥模型中的结果,而较柔的主桥模型的计算结果误差较大。

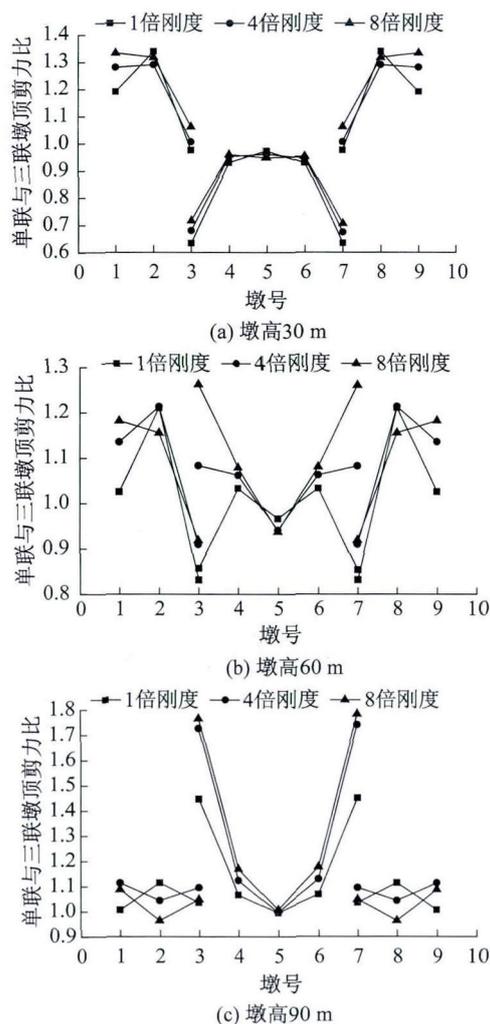


图 6 地震墩顶剪力比
Fig. 6 Top shear ratios

另外,图 6 还表明,主梁刚度对相邻联地震耦联性的影响很大,而且耦联性越强,主梁刚度的影响也越大,但影响规律复杂,还与桥墩刚度的变化有关。比如,对于受耦联性影响最大的过渡墩,当主桥墩高为 30 m 时,主梁刚度对耦联性影响较小;主桥墩高 60 m 时,主梁刚度的不同甚至会使耦联性影响呈现相反的趋势;当主墩墩高 90 m 时,主梁刚度对耦联性的影响较大,但影响趋势不变。

5 结论

本文通过建立有限元分析模型,同时考虑主梁和桥墩刚度的影响,从动力特性出发,分析了山谷地形桥梁的横向基本周期变化、横向地震惯性力分配特点以及相邻联桥梁之间的耦联性,得到了以下结论:

(1) 主梁刚度变化对山谷地形桥梁的横向基

本周期有明显的影晌。对于由桥宽变化引起的刚度变化,当主桥墩高相对不大时,主梁刚度增加会增大基本周期,但当主桥墩高相对很大时,主梁刚度增加会减小基本周期。

(2) 山谷地形桥梁的主桥各墩承担的地震惯性力,中间桥墩到过渡墩依次显著减小,而引桥各墩随着墩高降低所分担的惯性力相应增大。主梁刚度的增加会明显增大各墩分担的地震惯性力,但不改变各墩间的分配规律。

(3) 主桥的中间桥墩受耦联性的影响不大,但引桥,特别是过渡墩受耦联性的影响较大,而主梁刚度对相邻联地震耦联性的影响也较大。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ 166—2011 城市桥梁抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2011.
Ministry of Housing and Urban Rural Department of the People's Republic of China. CJJ 166-2011 Code for seismic design of urban bridge [S]. Beijing: China Building Industry Press 2011. (in Chinese)
- [2] 李建中, 范立础. 非规则梁桥纵向地震反应及碰撞效应[J]. 土木工程学报 2005, 38(1): 84-90.
Li Jianzhong, Fan Lichu. Longitudinal seismic response and pounding effects of girder bridges with unconventional configurations [J]. China Civil Engineering Journal 2005, 38(1): 84-90. (in Chinese)
- [3] 孙广俊, 李鸿晶, 赵鹏飞. 非规则多跨简支梁桥纵向地震反应及参数影响分析[J]. 防灾减灾工程学报 2013, 33(4): 441-448.
Sun Guangjun, Li Hongjing, Zhao Pengfei. Longitudinal seismic response and parameter influence analysis for multi-span simply supported girder bridge with unconventional configurations [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering 2013, 33(4): 441-448. (in Chinese)
- [4] 朱东生. 简支梁桥横向地震反应研究[J]. 土木工程学报 2000, 33(4): 27-31.
Zhu Dongsheng. Transverse seismic response of simply supported girder bridges [J]. China Civil Engineering Journal 2000, 33(4): 27-31. (in Chinese)
- [5] 张培君. 非规则梁桥地震反应分析[D]. 上海: 同济大学 2005.
Zhang Peijun. Longitudinal seismic response of girder bridges with unconventional configurations [D]. Shanghai: Tongji University 2005. (in Chinese)
- [6] 叶爱君, 管仲国. 桥梁抗震[M]. 北京: 人民交通出版社 2011.
Ye Aijun, Guan Zhongguo. Seismic design for highway bridge [M]. Beijing: China Communications Press, 2011. (in Chinese)