

高烈度区大跨度刚构桥梁的抗震性能研究

宁晓骏, 周亦唐, 李睿

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 连续刚构桥梁由于其造价较低, 目前在我国得到广泛的应用. 但是在高烈度地区跨越峡谷时, 其桥墩通常较高, 此时其抗震性能如何将成为设计人员关注的重点. 论文以一座 91m 墩高的连续刚构为例, 对其地震响应进行详细计算和分析. 结果表明, 该型式桥梁具有较好的抗震性能.

关键词: 连续刚构; 高墩; 高烈度区; 刚构桥梁; 大跨度桥梁

中图分类号: U442 54 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2007)03-0064-04

Research on the Earthquake-Resistant Behavior of Long Span Rigid-Frame Bridge in High Intensity Region

NING Xiao-jun, ZHOU Yi-tang, LI Rui

(Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract Continuous rigid-frame bridges are widely used in China because of its lower cost, but in high intensity region where the pier is usually high, the earthquake-resistant behavior becomes the main concern of the designer. The seismic response of a continuous rigid-frame bridge with 91-m pier is calculated and analyzed in detail, showing that this type of bridge has excellent earthquake-resistant behavior.

Key words rigid-frame bridge; high pier; high intensity region; rigid frame bridge; long-span bridge

0 引言

连续刚构桥梁是一种跨越能力较强的桥型. 由于其造价较低, 在主跨为 100~250m 时具有非常良好的竞争力^[1]. 但是在高烈度地区跨越峡谷时, 其桥墩通常较高^[2], 此时其抗震性能如何将成为设计人员关注的重点.

本文以一座 91m 墩高的连续刚构为例, 对其地震响应进行详细计算和分析. 在计算中采用时程分析, 分别考虑了峰值加速度为 0.2g 和 0.3g 的地震响应. 计算结果表明, 高墩连续刚构桥梁桥具有较好的抗震性能.

1 工程背景

某特大桥主桥布置为 86m+160m+86m, 为预应力混凝土连续刚构桥, 引桥为 20m 预应力混凝土空心板桥, 左侧为 2 跨, 右侧为 3 跨. 主桥布置示意图见图 1.

主桥桥面宽 9m, 主梁采用单箱单室预应力混凝土箱梁. 箱梁设计高度由根部 10.5m 按 1.8 次曲线渐变至跨中 3m; 底板厚度由根部 1.20m 按 1.8 次曲线渐变至跨中 0.32m. 主墩为双肢等截面矩形断面, 间距 7.6m, 单肢顺桥向宽度为 3.2m, 横桥向宽度为 8m, 墩高 91m.

2 地震响应计算与分析

2.1 几何模型^[3]

采用有限元分析软件 ANSYS10.0 对主桥部分进行抗震分析.

收稿日期: 2007-03-16

第一作者简介: 宁晓骏 (1971-), 男, 博士, 副教授. 主要研究方向: 桥梁工程. E-mail: adn689@163.com

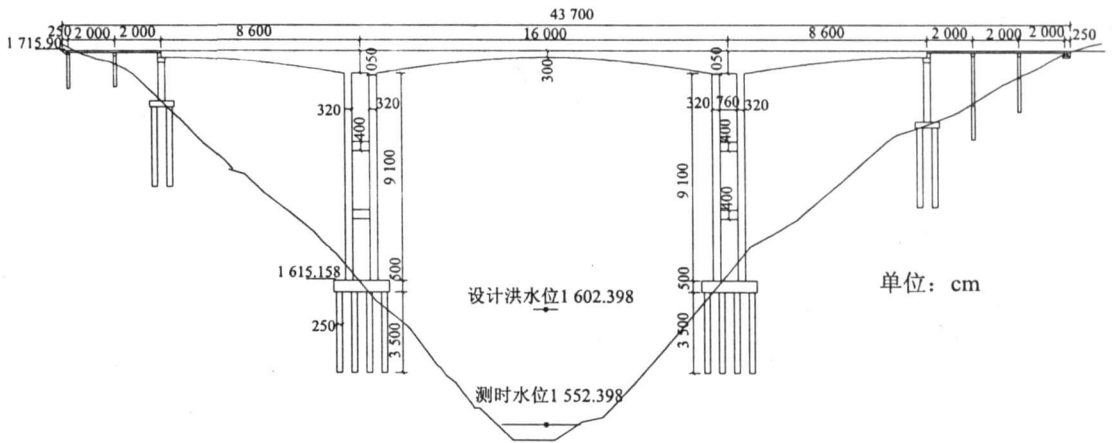


图1 主桥布置示意图
Fig.1 Layout of bridge

大桥几何模型采用 BEAM 188 三维梁单元创建. 梁单元控制截面均按照一般构造图提供的截面尺寸建立.

材料参数取值如下: 主梁为 C50 混凝土, 弹性模量 $3.45 \times 10^4 \text{ MPa}$, 泊松比 0.2, 密度 2600 kg/m^3 ; 主墩为 C40 混凝土, 弹性模量 $3.25 \times 10^4 \text{ MPa}$, 泊松比 0.2, 密度 2600 kg/m^3 .

大桥二期恒载为沿顺桥向 25.6 kN/m , 采用 MASS21 质量单元模拟. 主桥计算模型如图 2 所示.



图2 主桥计算模型
Fig.2 Construction model of bridge

2.2 边界条件

承台底部完全固结, 交界墩处约束竖向、横向及绕桥纵轴向位移, 墩梁固结部分采用刚性梁单元进行连接.

2.3 地震动输入

由于本桥尚未进行场地地震安全性评价, 地震波选取了类似场地的人工拟合地震波. 通过人工调整, 使纵、横桥向地震波的峰值加速度分别为 0.2 g 和 0.3 g .

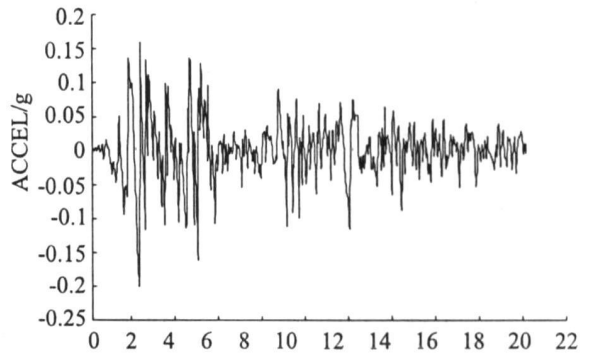


图3 纵向地震波
Fig.3 Longitudinal earthquake wave

图 3 为峰值加速度为 0.2 g 的纵向地震波.

2.4 动力特性分析

动力特性分析是进一步进行桥梁抗震响应分析的基础. 论文计算了该主桥部分的 100 阶振型, 给出前 10 阶的振型.

表 1 结构动力特性

Tab 1 Dynamic characteristic of bridge

阶数	频率 /Hz	振型特点	阶数	频率 /Hz	振型特点
1	0.29893	正对称横弯	6	1.6865	反对称竖弯 + 墩横弯
2	0.37792	反对称竖弯 + 纵移	7	1.8321	墩梁均反对称横弯
3	0.62406	反对称横弯	8	1.8438	墩梁均对称横弯
4	1.1501	对称竖弯	9	1.8459	墩梁均对称竖弯
5	1.3028	对称横弯	10	2.2933	墩梁均反对称竖弯

2.5 地震时程响应分析

地震波的输入方式: 顺桥向 (1.0) + 横桥向 (1.0) + 竖向 (2/3).

图 4、5 为纵、横桥向地震波的峰值加速度为 0.2g 时, 最不利位置 3 号墩右肢墩底的内力时程。

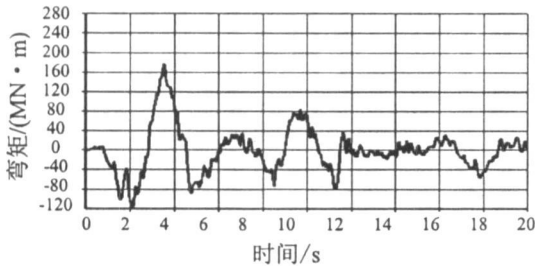


图4 横桥向弯矩时程响应

Fig.4 Transverse time history bending moment

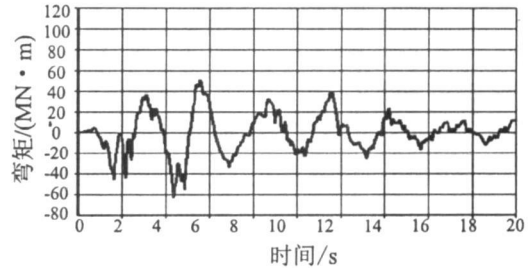


图5 纵桥向弯矩时程响应

Fig.5 Longitudinal time history bending moment

表 2 为纵、横桥向地震波的峰值加速度为 0.2g 和 0.3g 时, 3 号墩右肢墩底最大内力。

表 2 3 号墩右肢墩底最大内力

Tab 2 The largest internal force in the bottom of 3# pier

分析方法	轴力 /MN	纵桥向弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$)	横桥向弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$)
时程一致激励 (0.2g)	23.5	65.2	177.8
时程一致激励 (0.3g)	33.8	93.7	266

根据表 2 的结构内力, 把静力作用下和地震作用下的结构内力按最不利方式进行组合, 即: 轴力相减, 弯矩叠加^[4]。

表 3 静力 (恒载) 作用下 3 号墩右肢墩底的内力

Tab 3 Internal force in the bottom of 3# pier in dead load

分析方法	轴力 /MN	纵桥向弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$)	横桥向弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}^{-1}$)
静力	66.8	13.4	0

表 4 主墩截面验算荷载组合

Tab 4 Section of main pier in checking load

方向	截面位置	荷载	荷载组合结果	
			0.2g	0.3g
纵桥向	3 号墩右肢墩底	轴力 /MN	43.3	33.0
		弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}$)	78.6	107
横桥向	3 号墩右肢墩底	轴力 /MN	43.3	33.0
		弯矩 /($\text{MN} \cdot \text{m}$)	178	266

于本桥位于高地震烈度区域, 桥梁结构设计受地震荷载控制. 设计墩身主筋采用 HRB335 级 $\Phi 32$ 钢筋, 横、纵桥向均布置两排, 主筋间距为 10 cm.

根据主墩的配筋, 反算得墩底横桥向最大弯矩抗力为 $2.675 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 纵桥向最大弯矩抗力为 $1.752 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 均满足抗震计算分析结果.

3 结论

通过以上计算和分析, 可以得出如下结论:

1) 当地震峰值最大加速度从 0.2g 增加到 0.3g 时, 桥梁纵桥向弯矩增加 36.3%, 横桥向弯矩增加

49.4%, 可见地震峰值最大加速度对桥梁地震响应影响非常大. 文献 [5-6] 指出, 对于高墩连续刚构, 其稳定系数均非常高. 因此在地震作用下, 桥墩不会出现失稳.

2) 当地震峰值最大加速度为 $0.3g$ 时, 墩身主筋采用 HRB335 级 $\phi 32$ 钢筋, 横、纵桥向均布置两排, 主筋间距为 10 cm . 此时钢筋已非常密集, 如地震峰值最大加速度再提高, 则需要增大桥墩的截面才能配筋. 而桥墩截面增大后, 由于刚度也随之增大, 地震响应又将加大. 这两者成为矛盾. 故如再增大地震峰值最大加速度, 桥墩的配筋能否通过抗震尚需要进一步研究.

3) 对于高墩连续刚构, 通常其横向振型贡献较大, 故一般以墩底的横向弯矩作为控制桥墩的设计.

4) 查国家地震动峰值加速度图, 大于 $0.3g$ 的地区非常少. 故此, 可以认为连续刚构桥梁在高烈度地区具有较好的适应性.

参考文献:

- [1] 张利. 预应力混凝土连续刚构桥梁箱梁顶板纵向裂缝分析 [J]. 公路, 2006 (8): 262-264
- [2] 王克海, 李茜. 高墩桥梁地震响应分析 [J]. 世界桥梁, 2006 (1): 41-43
- [3] 李权编. ANSYS 在土木工程中的应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005
- [4] 黄侨, 王永平. 桥梁混凝土结构设计原理计算示例 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006
- [5] 郭梅. 高墩大跨连续刚构稳定性分析 [J]. 西安公路交通大学学报, 1999 (3): 31-35
- [6] 彭元诚, 方秦汉, 李黎. 超高墩连续刚构设计中的关键技术 [J]. 桥梁建设, 2006 (4): 30-33

(上接第 63 页)

参考文献:

- [1] Iguni Y, Sakai H, Tokumaru H. A Real-Time Learning Algorithm for a Multilayered Neural Network Based on the Extended Kalman filter [J]. IEEE Trans Signal Processing, 1992, 40(4): 959-966
- [2] J J LaViolette Jr. A Comparison of Unscented and Extended Kalman Filtering for Estimating Quaternion Motion [R]. Proc. 2003 Am. Control Conf. 2003: 2435-2440
- [3] Simon Haykin. Kalman Filtering and Neural Networks [M]. John Wiley & Sons, 2001.
- [4] R van der Merwe and E. Wan. Sigma-Point Kalman Filters for Probabilistic Inference in Dynamic State-Space Models [C]. in Proc. Workshop Adv. in Machine Learning, Montreal, QC, Canada, 2003.
- [5] Julier S J, Uhlmann J K. A New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear Systems [A]. In Proc. of AeroSense: The 11th Int. Symp. On Aerospace/Defence Sensing, Simulation and Controls, 1997.
- [6] Julier S J, Uhlmann J K. The scaled Unscented Transformation [A]. In IEEE American Control Conference, Anchorage, AK, USA, IEEE (2002) 4555-4559.
- [7] Farmer J D. Chaotic Attractors of an Infinite-Dimensional Dynamical System [J]. Physica D, 1982, 4: 366-393.
- [8] R Van der Merwe, Wan E A. The Square-root Unscented Kalman Filter for state and Parameter-estimation [A]. in International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Salt Lake City, Utah, 2001.