

李为, 李万里, 孟祥勇. 铅芯支座力学参数对梁桥地震响应的影响 [J]. 华南地震, 2018, 38(2): 35-39. [LI Wei, LI Wanli, MENG Xiangyong. The Influence of the Mechanical Parameters on the Seismic Response of the Beam Bridge [J]. South China journal of seismology, 2018, 38(2): 35-39]

铅芯支座力学参数对梁桥地震响应的影响

李 为¹, 李万里¹, 孟祥勇²

(1. 广州大学工程抗震研究中心, 广州 510405; 2. 西南交通大学土木工程设计有限公司, 成都 610031)

摘要: 应用减隔震支座进行连续梁桥的抗震设计时, 可通过支座参数的合理选择实现结构的抗震性能优化。针对一工程实例, 进行系统的有限元仿真分析, 研究铅芯橡胶支座设计参数优化问题。数值计算结果表明, 铅芯橡胶支座的屈服强度对结构的内力和位移响应有较大影响; 结构的内力和位移响应的降低与支座耗能率相关, 其最大响应值随耗能率的增大而有不同程度的减小。建议根据支座耗能率进行隔震梁桥的支座参数优化, 实现内力和位移响应量的同时降低。

关键词: 铅芯橡胶支座; 连续梁桥; 地震响应; 耗能率

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2018)02-0035-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.02.006

The Influence of the Mechanical Parameters on the Seismic Response of the Beam Bridge

LI Wei¹, LI Wanli¹, MENG Xiangyong²

(1. Earthquake Engineering Research & Test Center of Guangzhou University, Guangzhou 510405, China;
2. Southwest Jiaotong University Civil Engineering Design Co. LTD, Chengdu 61003, China)

Abstract: The seismic performance of the bridge is optimized by the reasonable selection of the support parameters. In this paper, the design parameter optimization of lead core rubber bearings is studied. The numerical results show that the yield strength of lead rubber bearings has great influence on the internal force and displacement response of the structure. The decrease of the internal force and displacement response of the structure is correlated with the energy dissipation rate of the support, and its maximum response value decreases with the increase of energy dissipation rate. It is suggested to optimize the support parameters of the isolation bridge based on the energy consumption of the support, and reduce the internal force and the displacement response.

Keywords: Lead core rubber bearing; Continuous beam bridge; Earthquake response; Power consumption rate

收稿日期: 2017-10-02

作者简介: 李为 (1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事桥梁减隔震研究。

E-mail: 1011538226@qq.com.

0 前言

对于连续梁桥的抗震设计,一般采用减隔震支座改变整个结构的动力特性,以及结构在地震作用下的传力模式,因为在桥梁中采用的各种隔震支座能隔断地震作用传播路径,并且消耗输入结构中的地震能量来减轻地震对结构的破坏作用,来达到减少地震损失的目的。

目前国内广泛研究应用的是铅芯橡胶支座。曾攀^[1]通过改变铅芯橡胶支座的动力参数、桥梁结构的自振周期,进行了连续梁桥地震响应时程分析。Park 等^[2]引入权重系数合理选取隔震装置设计参数,解决弯矩减小和位移增大之间的矛盾。钟铁毅^[3]对非隔震与铅芯橡胶支座隔震连续梁桥的地震能量反应进行了分析。

铅芯橡胶支座屈服力是支座最基本的动力参数之一。规范要求,屈服强度 Q_y 的确定要考虑支座上部梁体的重量,将铅芯橡胶支座屈服强度的总和与上部梁体总重量的比值定义为屈重比,其取值一般在 2%~12% 之间。本文考虑不同屈重比计算了对应梁桥的地震响应,通过对铅芯橡胶支座参数的优化,使隔震桥梁结构在保证梁体顺桥向位移满足设计要求的同时,最大程度地降低结构的内力响应^[4-5]。

1 铅芯橡胶隔震支座

铅芯橡胶支座由普通的橡胶支座中压入铅芯,铅芯具有良好的力学性能,具有较低的屈服剪力,具有足够高的初始剪切刚度和很好的耐疲劳性能。铅芯提供了地震作用下的耗能和静力作用下所必需的屈服强度和刚度。在地震力作用下,由于铅芯的屈服,一方面消耗输入结构的地震能量,使支座具有良好的阻尼效果,另一方面,刚度降低,达到延长结构周期的目的^[6]。铅芯橡胶支座的构造如图 1 所示。

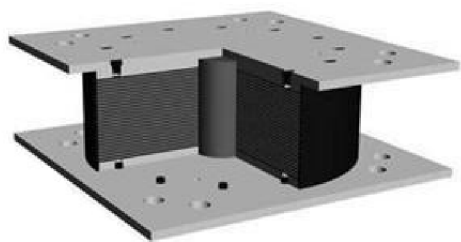


图 1 铅芯橡胶支座

Fig.1 Lead rubber bearing

目前工程上应用比较普遍的铅芯橡胶支座力学模型是双线性力学模型,因为双线性滞回模型容易理解且有较好的分析精度,其滞回曲线如图 2 所示。滞回模型中的初始刚度 K_0 , 支座屈服力 Q_y 以及屈服后刚度 K_e 与初始刚度 K_0 的比值 α 是三个可以调整的参数,并且这三个参数的取值情况将直接影响到结构在地震作用下的响应^[7]。本文仅对铅芯橡胶支座的屈服力进行优化设计。

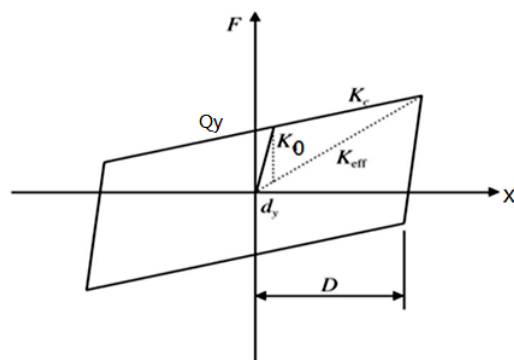


图 2 铅芯橡胶支座滞回模型

Fig.2 Lead rubber bearing hysteresis model

2 结构模型与地震动输入

本文以一个实际工程为背景,计算模型采用一联六跨连续梁桥,单跨跨度为 80 m,墩高皆为 20 m,每个墩上装有 4 个铅芯橡胶支座,整个模型共有 28 个支座。采用 SAP2000 通用有限元程序建立三维有限元模型,进行模拟分析。假定地震作用过程中主梁、桥墩和桩皆保持弹性,模型中主梁、桥墩和桩皆采用弹性梁单元进行模拟;而铅芯橡胶支座则采用非线性连接单元中的橡胶隔震单元进行模拟。六跨连续梁桥整体模型如图 3 所示。

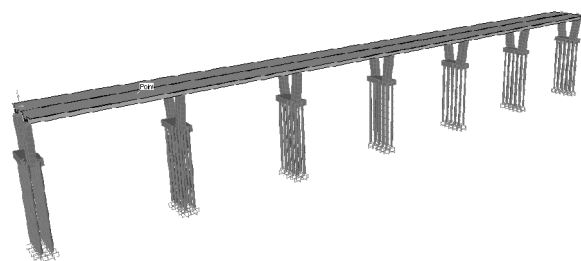


图 3 六跨连续梁桥模型

Fig.3 Six-span continuous girder bridge model

3 结构地震动输入

该工程处于三类场地,地震烈度为 7 度半。研究中采用峰值加速度为 0.15 g 的三条人工地震

波,表 1 给出了该场地的反应谱参数,图 4 是其中一条地震波的反应谱曲线。本研究仅考虑地震作用下桥梁顺桥向的地震响应,因此地震动输入仅按纵向输入。

表 1 工程场地设计反应谱参数 (阻尼比 5%)
Table 1 Response spectrum parameter engineering site (damping ratio 5%)

超越概率	A_m (gal)	α_m	β_m	S_{am} (gal)	T_1 (s)	T_g (s)	γ
100 4%	220	0.550	2.5	550.0	0.10	0.65	1.0

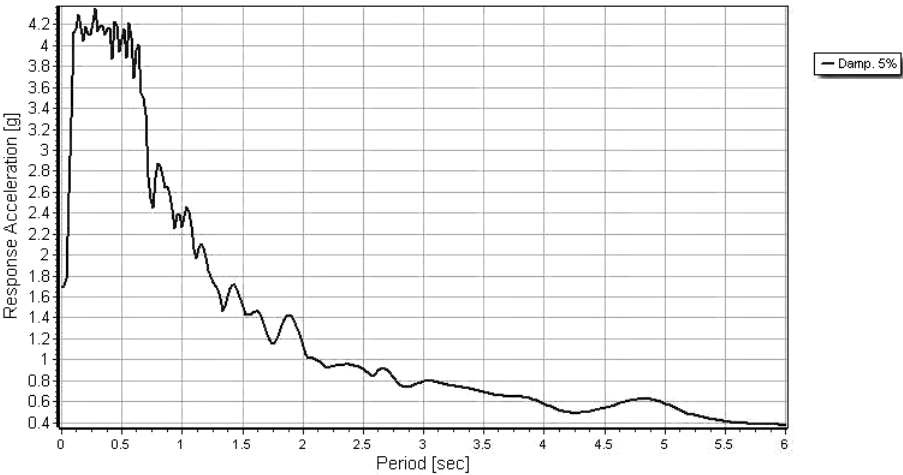


图 4 其中一条地震波反应谱曲线
Fig.4 Response spectrum curves of one of the seismic wave

4 结果分析

4.1 铅芯橡胶支座屈服强度对桥梁地震响应的影响

铅芯橡胶支座屈服力是支座最基本的动力参

数之一,可以通过改变支座中铅芯的尺寸,来改变支座屈服力^[8]。为研究铅芯支座屈服力对结构地震响应的影响,本文考虑不同屈重比情况下,计算了三条地震波下对应梁桥的地震响应峰值,并取其最大值将结果总结列于表 2。

表 2 不同支座屈服强度下结构响应峰值
Table 2 Structural responses peak for different yield strength values

屈重比/(%)	墩底弯矩/(kN·m)	墩底剪力/kN	梁端位移/cm	墩梁相对位移/cm
1.0	60 700	4 500	22.0	17.9
2.0	52 900	3 880	15.4	11.9
3.0	47 100	3 740	10.7	7.6
4.0	55 900	4 450	9.3	5.5
5.0	61 800	4 800	9.9	5.8
6.0	68 300	5 176	10.5	6.0
7.0	78 600	5 880	11.4	6.5
8.0	88 170	6 490	12.8	7.4
9.0	95 000	6 930	13.7	8.0
10.0	104 300	7 530	14.7	8.5
11.0	106 400	7 680	14.9	8.6
12.0	111 200	8 000	15.3	8.8
最小值	47 100	3 740	9.3	5.5

取不同屈重比下结构的响应量峰值与对应最小值之比,可得出屈重比对结构响应量峰值的影响曲线,见图 5。在屈重比为 3%时,墩底弯矩和

墩底剪力的峰值最小;而在屈重比为 4%时,梁端位移和墩梁相对位移的峰值最小。

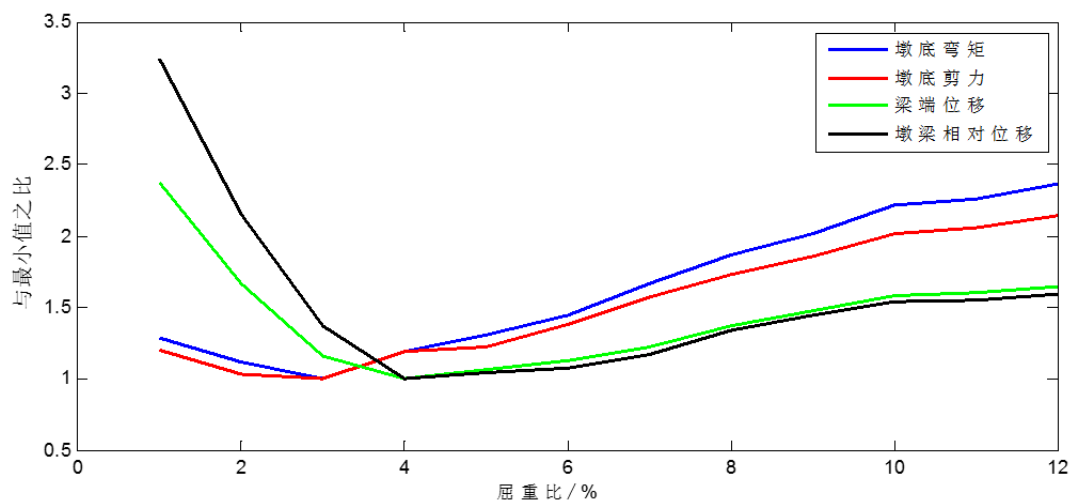


图5 屈重比对结构响应量峰值的影响曲线

Fig.5 The influence curve of the yield gravity ratio to the structure response

4.2 铅芯橡胶支座屈服强度对隔震梁桥支座耗能的影响

在地震作用过程中,结构的能量输入及耗散主要有四个方面:输入结构的地震总能量、隔震支座滞回耗能量、结构阻尼耗能量、结构的动能。铅芯橡胶支座的耗能作用主要通过铅芯屈服达到,下面研究支座屈服力对地震作用下支座滞回耗能的影响。

将地震过程中支座耗散能量与总地震输入能量之比定义为支座耗能率,并以此耗能率衡量隔震支座的耗能效果^[9]。一般情况下,地震作用下的支座滞回环面积越大,越饱满,其耗能效果越好。图6分别给出了在地震作用下屈重比为3%和11%时的模型中某一个铅芯橡胶支座的滞回曲线,其滞回面积差异较大。屈重比为3%屈重比为11%。

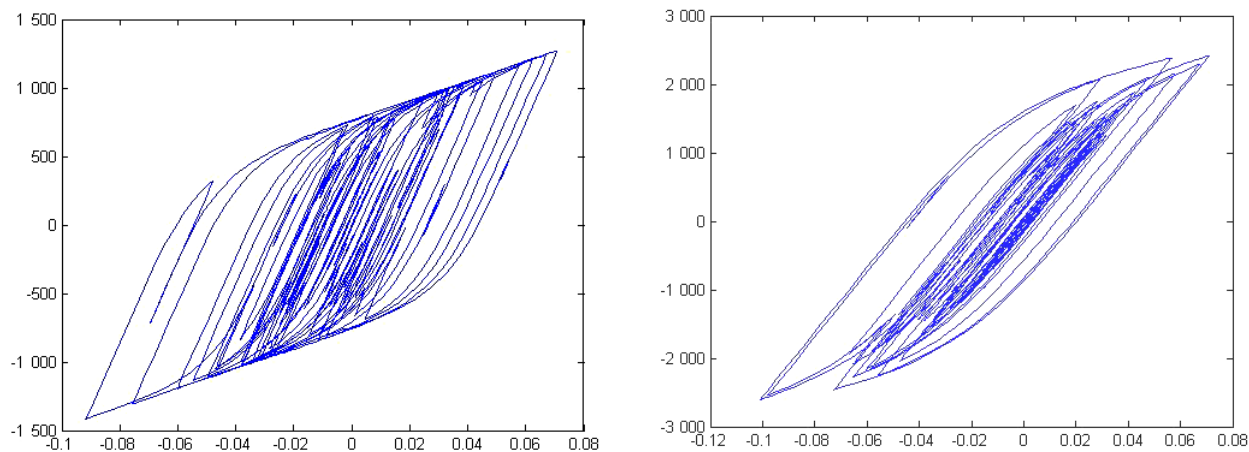


图6 不同屈重比下铅芯橡胶支座滞回曲线

Fig.6 The hysteresis curve of the lead rubber bearings under different yield gravity ratio

图7给出了不同支座屈服力的情况下隔震支座的耗能率变化情况。可以看出,在增大支座屈服力情况下,支座耗能率先增大后减小,在屈重比为3%左右达到最大峰值。

研究地震作用下桥梁的内力、位移响应以及铅芯橡胶支座的耗能率,可以发现结构响应峰值

的降低与铅芯橡胶支座的耗能率相关,即当铅芯橡胶支座的耗能率较高时,桥梁结构的内力和位移响应的峰值相对较低。

5 结语

(1) 通过适当地选择支座的屈服力设计值,

可以降低结构的位移和内力响应;但对于不同结构响应量,最佳屈重比有可能不同。在本研究中,屈重比为3%时,墩底弯矩和墩底剪力的峰值较小;而在屈重比为4%时,梁端位移和墩梁相对位移较小。

(2) 当支座滞回耗能率较高时,结构的内力响应和位移响应峰值相应的会比较低。因此,可以通过提高支座滞回耗能率进行优化设计,同时降低桥梁结构的内力响应和位移响应。

参考文献:

- [1] 曾攀. 铅芯橡胶支座动力特性对连续梁桥地震响应的影响[J]. 铁道学报, 2001, 23(5): 96-101.
- [2] Kyu-Sik Park, Hyung-Jo Jung, In-Won Lee. A Comparative Study on a Seismic Performance of Base Isolation Systems for Multi-span Continuous Bridge [J]. Engineering Structures, 2002(24): 1 001-1 013.
- [3] 钟铁毅. 铅芯橡胶支座隔震连续梁桥的地震能量反应分析[J]. 中国铁道科学, 2009, 30(3): 9-14.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁抗震设计细则: JTG/TB02-01-2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [5] 范立础. 桥梁抗震[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [6] 陈列, 胡京涛. 桥梁减震技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [7] 沈国锋. 连续梁桥铅芯橡胶支座参数的优化设计研究[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2016.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁铅芯隔震橡胶支座: T/T822-2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [9] 王凯. 连续梁桥减隔震支座参数设计与优化[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.