

车行桥和人行桥组合抗震设计研究

张朝朋

(西安浐灞发展集团有限公司, 陕西 西安 710024)

摘要:随着景观桥梁的增多,车行桥和人行桥组合设置越来越多,根据实际工程案例,建立了人行桥和车行桥的抗震分析模型,分析车行桥采用速度锁定支座,摩擦摆以及人行桥采用固定支座和高阻尼橡胶支座四种工况进行对比分析,考虑人行桥和车行桥的组合抗震设计问题,计算结果表明,车行桥采用速度锁定支座同时人行桥采用高阻尼橡胶支座可以很好的满足车行桥和人行桥的组合受力问题,同时让墩柱均匀受力,并且减小墩柱受力。

关键词:车行桥;人行桥;速度锁定支座;高阻尼橡胶支座

中图分类号: U453.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0071-03

0 引言

随着经济的发展和人民生活水平的提高,越来越多的跨河桥梁在增加交通舒适性的同时更加要求景观性。因此原本设置在车行道之外的人行道也因为景观以及行人对亲水的要求而分离。本文将以其实际案例为背景,介绍车行桥和人行桥组合受力,进行抗震研究的情况。为了得到更好的抗震设计结果,本案例应用到了速度锁定支座^[1]以及高阻尼橡胶支座,这两种支座都为桥梁的协同受力,增加结构的抗震性能起到了重要的作用。

1 工程背景介绍

该桥车行桥为景观桥梁,主桥跨径布置为 $42\text{ m}+4\times 64\text{ m}+42\text{ m}=340\text{ m}$,采用分离式双幅桥布置,桥梁断面具体布置为: 0.5 m (护栏)+ 11.5 m (机动车道)+ 0.5 m (护栏)+ $2\sim 6\text{ m}$ (中央分隔带)+ 0.5 m (护栏)+ 11.5 m (机动车道)+ 0.5 m (护栏)= $27\sim 31\text{ m}$;主桥为拱形连续钢箱梁,桥梁外侧面腹板及悬臂下缘设置有钢板装饰。

该桥人行桥为景观桥,桥梁景观效果与周边河道景观相匹配。为满足河道跨越要求,桥梁跨径布置为 $(30\text{ m})+(2\times 21+21+22+21+21+22+21)\text{ m}+(21+22+21+21+22+21+2\times 21)\text{ m}=370\text{ m}$,见图1。上部结构均采用简支钢箱梁或连续钢箱梁,箱梁外侧设置有“碗形”装饰板。人行桥位于车行桥下层,人行桥梁底高程与车行桥下层箱体最低点高程基本接

近。人行桥除支承于主桥中墩外,还通过吊杆悬挂于主桥上,在 64 m 跨主桥上每跨设置有两根吊杆、 42 m 主桥上设置一根吊杆;6#墩处设置有桩柱接盖梁的下部结构,5a#和12#设置有桩柱式桥台,见图2。

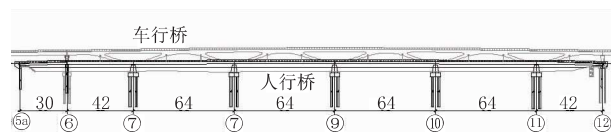


图1 桥跨立面布置图(单位:m)

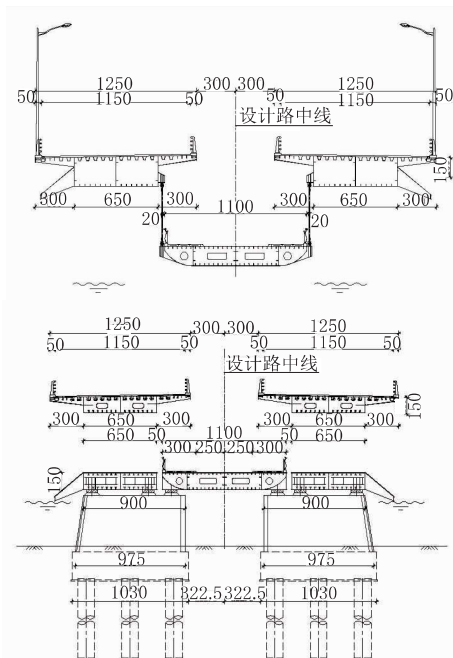


图2 人行桥和车行桥在吊杆处和桥墩处连接图(单位:m)

2 问题提出及方案优缺点

车行桥和人行桥在墩位处各自支撑在墩柱上,互不影响。但是为了保证人行桥的整体刚度,保证行人在人行桥上的舒适性,在墩位之间设置了吊杆,将人

收稿日期: 2021-04-29

作者简介: 张朝朋(1973—),男,硕士,高级工程师,从事建设管理及技术管理工作。

行桥吊在了车行桥下侧。这种连接方式会存在一定的问题,比如地震作用下,车行桥和人行桥的抗震模式是怎样的,两者如何协同抗震?要解决这个问题我们首先要分析一下拟采用抗震支座及其主要优缺点,见表 1。

表 1 抗震采用支座及主要优缺点

桥梁	支座形式	优点	缺点
车行桥	速度锁定器	多墩柱共同受力	增加整个结构的地震受力
	摩擦摆	桥梁减隔震设计,减小墩柱受力	地震位移过大
人行桥	固定支座	一定程度的保证行人的舒适性	地震力过大
	高阻尼橡胶支座	可以减小地震受力	地震位移略大

速度锁定器,国外一般称为 LUD,在静力工况下可以自由滑动,不会对墩梁位移进行限制,但是地震工况或者突发制动力等工况情况下,LUD 会紧急发生作用,实现墩梁的刚性连接,因此采用固定 + 速度锁定器可以实现净力工况下,主梁位移不受限制,而地震工况下,速度锁定器锁死,多墩柱同时受力。但是由于地震工况所有墩柱变为固定墩同时也导致桥梁结构整体刚度的增加,地震力的增加。

摩擦摆减隔震支座是美国在 1985 年发明的,他的机理是通过曲面滑动,动能和势能转换时摩擦耗能实现消减地震能量,减小墩柱受力的。摩擦摆也具有位移大的缺点,位移过大对于伸缩缝以及相邻联碰撞也会发生不利的影响。

高阻尼橡胶支座是在传统橡胶支座的基础上研发而来,它相较于橡胶支座具有容许位移大,阻尼比大,残余变形小,对温度依赖性小的优点。

通过以上分析,可以看到,各种支座都有各自的优缺点,如何取用只能通过建模分析实际情况的受力进行分析。

3 动力模型建立及动力特性

采用大型有限元程序,建立主桥的动力空间计算模型。有限元计算模型以顺桥向为 X 轴,横桥向为 Y 轴,竖向为 Z 轴。主梁、墩柱均采用空间的梁单元模拟。各桥墩处的桩基础采用一个 6×6 土弹簧模型加以模拟。二期恒载等效为线质量均匀施加主梁上。模型见图 3。

车行桥主梁和墩柱之间主要的连接装置有两种,一种是采用速度锁定器,静力工况,设置固定墩,

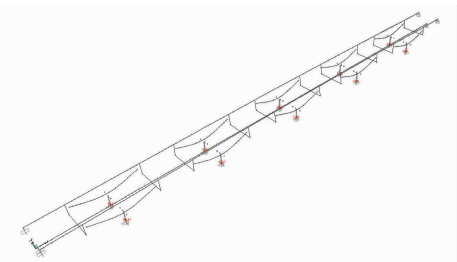


图 3 车行桥和人行桥计算模型

其他墩柱速度锁定器自由移动,释放温度位移,地震工况,速度锁定器锁死,所有墩柱共同受力;第二种是采用摩擦摆^[2],摩擦摆可以减小上部主梁传递给桥墩的地震力^[3,4]。

人行桥主梁和墩柱之间主要的连接装置有两种,一种采用固定支座,另一种采用高阻尼橡胶支座。工况设置情况见表 2。

表 2 四种工况连接装置设置情况

工况	车行桥	人行桥
工况 1	速度锁定器	固定支座
工况 2	速度锁定器	高阻尼橡胶支座
工况 3	摩擦摆	固定支座
工况 4	摩擦摆	高阻尼橡胶支座

4 地震动输入

目前抗震大多采用多级设防。其中最为成熟的抗震设计方法是两水准设防、两阶段设计的抗震设计方法。

图 4 所示的为工程场地地震安全性评价报告提供的 50 a 超越概率 10% 工程场地地表地震加速度时程曲线,本文采用其进行非线性地震时程分析,其中 E1、E2 地震作用下时程波曲线是在 50 a 超越概率 10% 时程波曲线的基础上分别考虑结构重要性系数 0.5、1.7 得到。

5 结果分析

计算结果表明,地震作用下工况 3 和工况 4 两种工况车行桥的墩梁位移较大,达到 20 cm,车行桥位移太大影响连接墩处引桥,由于引桥为混凝土梁,主桥为钢箱梁,两者频率不同,引起碰撞反应;同时人行桥受到车行桥拉杆拉动的作用,对于工况 3 拉杆受力较大,而对于工况 4 人行桥支座位移过大。所以只能对工况 1 和工况 2 进行比较。计算结果见表 3。

首先在 E2 顺桥向,工况 1 的 6 号墩~8 号墩,墩

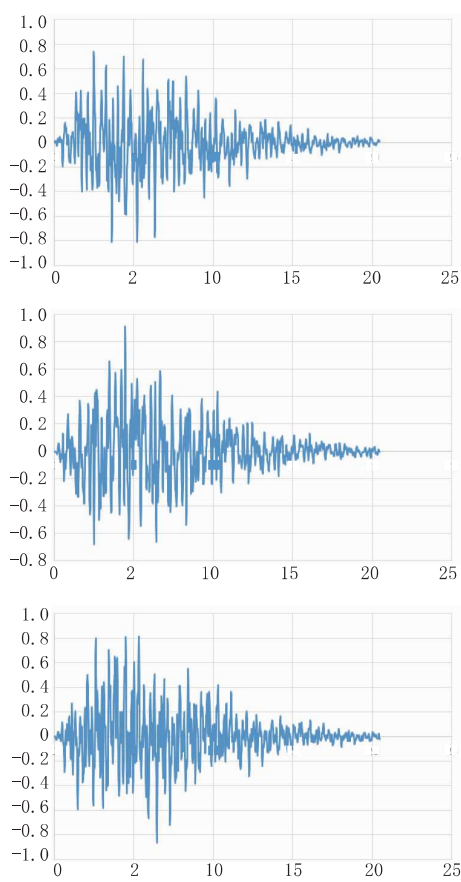


图 4 水平加速度时程曲线(单位:m/s²)

表 3 不同工况下地震力结果对比

受力	位置	工况 1	工况 2	工况 2/ 工况 1
E2 顺桥向	6 号墩弯矩	37 713	47 406	1.26
	7 号墩弯矩	53 124	45 716	0.86
	8 号墩弯矩	61 872	47 476	0.77
E2 横桥向	6 号墩弯矩	47 188	24 208	0.51
	7 号墩弯矩	82 063	62372	0.76
	8 号墩弯矩	91 529	80 631	0.88

柱受力分布不均匀,表现为边墩小,中墩大,而对于工况 2 的 6 号墩~8 号墩,墩柱受力分布均匀,墩柱地震弯矩相差不大。通过地震减小率表格分析,工况 2 相对于工况 1 除 6 号墩,墩柱地震力增加 26%外,

其余墩柱力均减小,减小范围是 14%~23%。
其次在 E2 横桥向,工况 1 的 6 号墩~8 号墩,墩柱受力分布不均匀,表现为边墩小,中墩大,而对于工况 2 的 6 号墩~8 号墩,墩柱受力分布不均匀,墩柱地震弯矩相差较大。通过地震减小率表格分析,工况 2 相对于工况 1 墩柱地震力均为减小,减小范围是 12%~49%,表现为边墩减小多,中墩减小少。
结果表明采用人行桥采用高阻尼橡胶支座可以很好的减小地震力,同时将地震力均匀的分配给各个墩柱,相对于采用固定支座具有很好的抗震效果。同时考虑到固定支座设置对限制主梁温度位移会产生巨大的温度力等问题,综合比选,车行桥选择速度锁定支座,人行桥选择高阻尼橡胶支座。

6 结 论

通过建立该桥的有限元分析模型进行抗震分析,结果表明:
(1)对于多跨长联桥梁选择速度锁定支座相对于摩擦摆具有很大的优势,主要表现为主梁位移小,各个墩柱均匀受力。
(2)考虑车行桥和人行桥协同受力,车行桥采用速度锁定支座可以避免车行桥对人行桥产生巨大的地震拉力,防止拉杆破坏。
(3)人行桥采用高阻尼橡胶支座相较于固定支座可以大幅度削减墩柱的受力。
(4)人行桥采用高阻尼橡胶支座同车行桥采用速度锁定支座一样,两者协同,各个墩柱受力更加均匀^[4]。

参考文献:

[1] 王志强,葛继平.粘滞阻尼器和 Lock-up 装置在连续梁桥抗震中应用[J].石家庄铁道学院学报,2006(1):5-9.
[2] 刘聪,王艳宁.大跨度连续刚构桥抗震性能分析与改造策略[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2014(6):63-65,94.
[3] 范立础,胡世德,叶爱君.大跨度桥梁抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.
[4] 刘聪,李建中.大跨度系杆拱桥减隔震支座参数分析[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2013(1):12-17.

(上接第 63 页)
庄铁道大学学报(自然科学版),2011,24(1):31-34.
[7] 王恒,刘钊.判断混凝土梁桥开裂的应变准则触探[C]//中国公路学会桥梁与结构工程分会 2008 年全国桥梁学术会议论文集.北京:人民交通出版社,2008.
[8] 陈进,黄薇,段云玲.孔口结构混凝土的开裂准则[J].长江科学院院

报,2001,18(3):17-20.
[9] 宋玉普,赵国藩.应变空间混凝土的破坏准则[J].大连理工大学学报,1991,31(4):455-461.
[10] 张承柱,刘信声.应变空间表述的混凝土弹塑性耦合本构模型[J].清华大学学报(自然科学版),1996,36(3):59-64.