

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.08.031

双曲面球型减隔震支座在连续梁桥的应用研究

王振南

(天津城建设计院有限公司, 天津市 300122)

摘 要: 作为我国研发的一种新型减隔震装置,双曲面球型减隔震支座具有构造简单、承载力大、耐久性好和可以提供可靠的自恢复能力等优点。对采用该新型减隔震支座的一大跨径连续梁桥的抗震性能进行深入分析与研究。结果表明:该新型支座具有十分稳定和高效的减隔震效果,为桥梁设计人员提供丰富的减隔震参数选择空间,非常适用于高烈度区大跨径连续梁桥的减隔震设计。

关键词: 桥梁工程;大跨径连续梁桥;双曲面球型减隔震支座;抗震性能

中图分类号: U443.36 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2023)08-0124-04

0 引 言

桥梁减隔震技术自诞生以来,受到了广泛的重视。1973 年新西兰建成第一座减隔震桥梁以后,减隔震技术在桥梁抗震中得到了迅速地推广,进而成为桥梁抗震技术的首选^[1]。

双曲面球型减隔震支座作为我国研发的一种新型减隔震装置,具有构造简单小巧、承载力大、耐久性好和可以提供可靠的自恢复能力等优点,被广泛的应用到高烈度区大跨径连续梁桥的减隔震设计中,并取得了良好的经济效益和社会效益^[2]。

双曲面球型减隔震支座是通过对技术上非常成熟的球型滑动支座进行改造而开发的。该支座,见图 1,将普通球型滑动支座的水平滑动面改为球面,由一个带有滑动球面的上支座板、一个具有双球面的中支座板、一个带有转动球面的下支座板和一个环形套箍组成。上支座板的顶面与梁体连接成为一个整体。上支座板下表面与中支座板的滑动球面相切,在出现水平相对位移后可以提供竖向和水平反力。中支座板下表面与下支座板的转动球面相切,在发生转动后也可以提供竖向支承。下支座板与桥墩连接成为一个整体。环形套箍与上支座板通过螺栓相连,包围在下支座板外侧,对上、下支座板进行约束,提供正常使用状态下的水平承载力。地震作用下,一旦支座承受的水平地震荷载超过环形套箍与上支座板螺栓的剪断力,则桥梁整体支座约束体系发生转

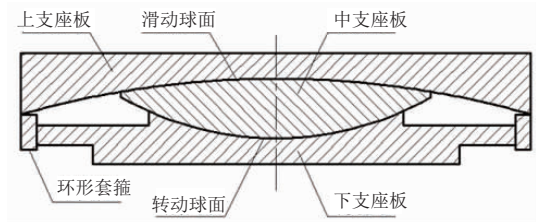


图 1 双曲面球型减隔震支座示意图

换,即环形套箍约束解除,固定支座转换为活动支座。当支座承受的水平地震荷载超过支座的摩擦力时,支座开始滑动,耗散地震能量,延长结构周期,发挥其减隔震效果^[2,3]。

本文对采用双曲面球型减隔震支座的一大跨径连续梁桥的抗震性能进行深入分析与研究,结果表明,该新型减隔震支座非常适用于高烈度区大跨径连续梁桥的减隔震设计^[4]。

1 工程实践分析

1.1 工程背景

天津市某高速公路工程全线采用装配式预应力混凝土小箱梁+高阻尼隔震橡胶支座为主的方案。因跨越需要,设置一联 65 m+85 m+65 m 预应力混凝土变截面连续箱梁结构,桥宽 13.3 m。采用直腹板单箱双室断面,梁高 3.4~5.3 m,悬臂 2.5 m。中墩采用矩形墙式墩,横向支点间距为 6 m,截面尺寸为 2 m(纵向)×8 m(横向),承台采用切角型承台,承台厚为 2.5 m,下设 7 根直径为 1.8 m 的钻孔灌注摩擦桩;边墩采用矩形盖梁矩形墩柱,墩柱截面尺寸为 1.8 m×1.8 m,横向布置两根墩柱,墩柱间距为 7 m,承台采用矩形承台,承台厚为 2.0 m,下设 2(纵向)×3(横向)共 6 根直径为 1.5 m 钻孔灌注摩擦桩。

收稿日期: 2022-11-15
作者简介: 王振南(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计与研究工作。

1.2 地震作用

该桥梁抗震设防烈度为7度,Ⅱ类场地地震动峰值加速度为 $0.15g$,抗震设防分组为第三组。工程场地类别为Ⅳ类,属抗震不利地段。

该桥采用的E1、E2地震动加速度反应谱控制参数依据文献[5]选取。

得到的E1、E2地震动水平设计加速度反应谱曲线见图2。

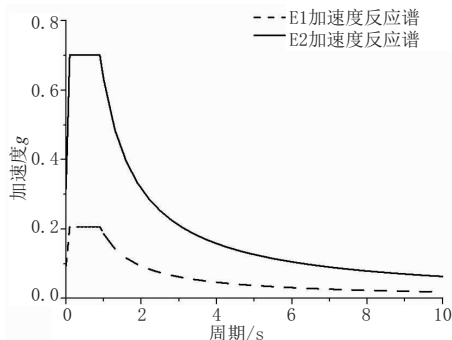


图2 E1、E2地震动水平设计加速度反应谱(单位:g)

采用纽约州立大学布法罗分校(the State University of New York at Buffalo)工程地震实验室(Engineering Seismology Laboratory)开发的RSCTH(Response Spectrum Compatible Time Histories)程序,生成E1、E2地震动各三条加速度时程曲线。

1.3 桥梁抗震方案

使用大型有限元软件Midas Civil 2021,建立该桥有限元计算模型。为了考虑相邻结构和边界条件的影响,建立预应力混凝土变截面连续箱梁结构相邻联跨桥梁影响。桥梁跨径布置为 3×29 m(预应力混凝土简支变连续小箱梁)+(65 m+85 m+65 m)(预应力混凝土变截面连续箱梁)+38 m(预应力混凝土简支小箱梁),共计7跨,全长340 m,墩位编号为33#到40#。

桥梁有限元计算模型均以顺桥向为X轴,横桥向为Y轴,竖向为Z轴。主梁、盖梁、桥墩、系梁和承台均离散为空间梁单元,承台底部采用 6×6 的土弹簧模拟桩土相互作用。小箱梁的高阻尼隔震橡胶支座采用双线性滞回模型模拟。Midas Civil有限元计算模型见图3。

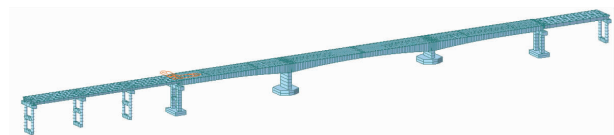


图3 Midas Civil有限元计算模型

通过对桥梁结构进行静力计算,得到65 m+85 m+65 m预应力混凝土变截面连续箱梁中墩单个支座的

竖向承载力型号为24 000 kN,边墩单个支座的竖向承载力型号为7 000 kN。普通橡胶类减隔震支座,如高阻尼隔震橡胶支座和铅芯隔震橡胶支座^[6,7],其常用的支座最大吨位在15 000~16 000 kN左右,本预应力混凝土变截面连续箱梁中墩单个支座的竖向力需求超过普通橡胶类减隔震支座的竖向承载力范围,因此考虑采用承载能力更大的双曲面球型减隔震支座进行桥梁抗震性能研究。

按照静力要求,合理布置固定型、单向活动型和双向活动型支座的位置,见图4。其中固定支座布置在37#、38#两个中墩中墩柱高度较高的37#墩顶上。E1地震作用下,支座固定方向的环形套箍螺栓不剪断,满足支座小震不坏的性能目标;E2地震作用下,支座固定方向的环形套箍螺栓剪断,固定支座均转换为活动支座,所有墩柱均参与承受上部结构惯性力,支座发挥减隔震作用,延长结构周期,耗散地震能量,从而降低桥梁结构的地震响应,提升桥梁结构的抗震性能^[8,9]。

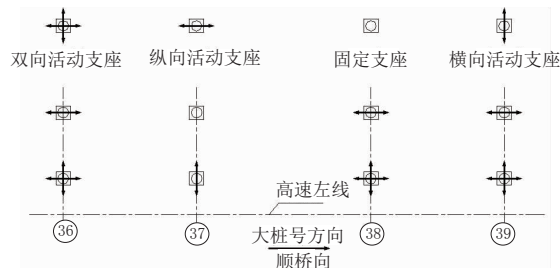


图4 预应力混凝土变截面连续箱梁支座布置示意图

1.4 抗震性能分析

设定中墩双曲面球型减隔震支座的球心距 $H=5.4$ m,支座滑动球面摩擦系数 $\mu=0.05$,边墩双曲面球型减隔震支座的球心距 $H=2.9$ m,支座滑动球面摩擦系数 $\mu=0.05$ 。

对桥梁结构进行E1地震作用抗震性能分析,得到中墩支座承受最大水平力为3 020 kN,与竖向承载力比值为 $3\,020/24\,000 \times 100\%=12.6\%$,中墩承受最大剪力为5 934 kN。边墩支座承受最大水平力为1 364 kN,与竖向承载力比值为 $1\,364/7\,000 \times 100\%=19.5\%$,边墩承受最大剪力为868 kN。

中墩和边墩截面箍筋布置见图5。依据文献[5]对主桥中墩和边墩进行抗剪性能验算,验算结果见表1。结果表明,墩柱抗剪承载力安全度较大,因此设定中墩支座最大水平承载力为竖向承载力的15%,边墩支座最大水平承载力为竖向承载力的20%,此时墩柱抗剪承载力满足要求^[10]。

以墩柱抗弯性能分析为例,得到采用该新型减

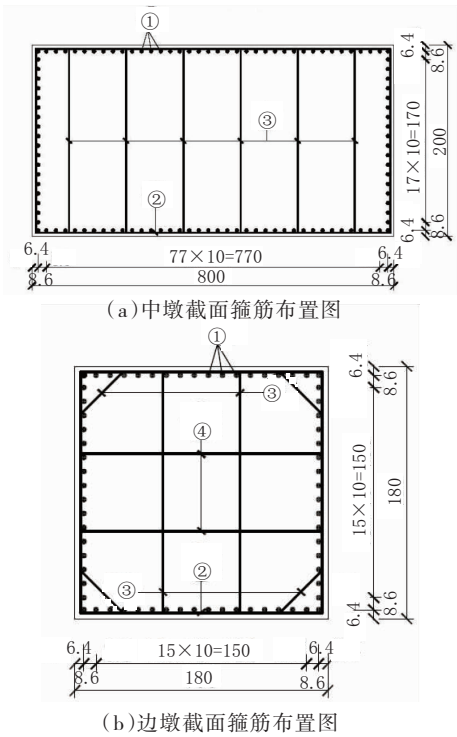


图 5 桥墩墩柱箍筋布置图(单位:cm,箍筋直径和布置: 16 mm@100 mm)

表 1 墩柱抗剪性能验算表

墩位	剪力 /kN	抗剪能力 /kN	是否满足
中墩	5.93E+03	2.59E+04	✓
边墩	8.68E+02	2.61E+04	✓

隔震支座的一大跨径连续梁桥的抗震性能特点。

提取 E1、E2 地震作用下桥墩在三条地震动时程分析的地震响应结果最大值。通过对截面进行弯矩 - 曲率分析,得到结构的首次屈服弯矩和等效屈服弯矩。E1 地震作用下,当结构地震响应的最大值小于截面首次屈服弯矩时,表明 E1 地震作用下,桥墩的抗弯性能满足规范要求;E2 地震作用下,当结构地震响应的最大值小于截面等效屈服弯矩时,表明 E2 地震作用下,桥墩的抗弯性能满足规范要求。主桥结构边墩截面尺寸为矩形 1.8 m × 1.8 m,配置钢筋直径为 28 mm 的纵筋,间距为 10 cm,中墩截面尺寸为矩形 2.0 m × 8.0 m,配置钢筋直径为 28 mm 的纵筋,间距为 10 cm,墩柱抗弯性能验算见表 2。

结果表明,通过合理布置双曲面球型减隔震支座,合理设定该支座参数,大跨径连续梁桥可取得良好的抗震性能。

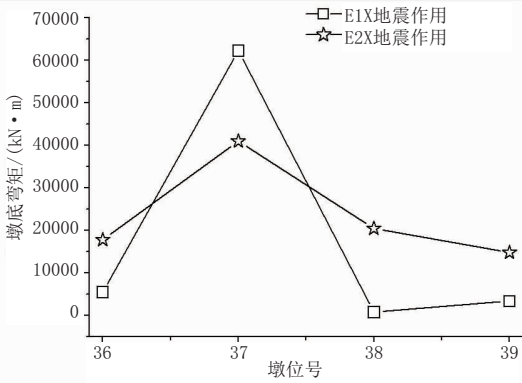
为了深入研究采用该新型减隔震支座的大跨径连续梁桥的抗震性能特点,对 E1、E2 地震作用下桥梁结构的抗震性能进行研究。

采用提取主桥 36#~39# 桥墩墩底弯矩,见图 6。

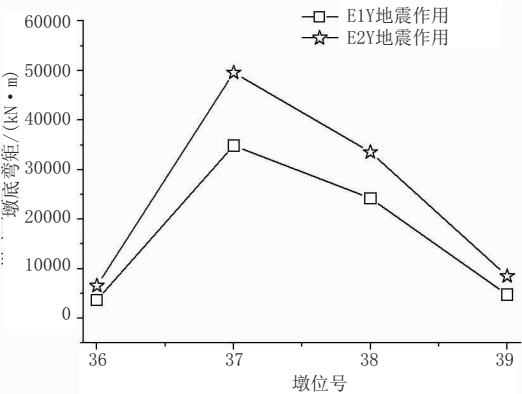
表 2 墩柱抗弯性能验算表

墩位	地震动	轴力 /kN	弯矩 / (kN·m)	抗弯能力 / (kN·m)	是否满足
边墩	E1X	7.82E+03	5.50E+03	1.58E+04	✓
	E1Y	6.59E+03	4.80E+03	1.50E+04	✓
	E2X	6.51E+03	1.79E+04	2.00E+04	✓
	E2Y	4.63E+03	8.50E+03	1.90E+04	✓
中墩	E1X	4.37E+04	6.23E+04	7.17E+04	✓
	E1Y	4.34E+04	3.49E+04	2.44E+05	✓
	E2X	3.59E+04	4.10E+04	8.39E+04	✓
	E2Y	3.47E+04	4.96E+04	3.03E+05	✓

注:轴力为恒载与地震作用组合后墩底截面的最小轴力。地震动中 X 表示顺桥向,Y 表示横桥向。



(a)顺桥向地震作用



(b)横桥向地震作用

图 6 主桥 36#~39# 桥墩 E1、E2 地震作用下墩底弯矩图 (单位:kN·m)

通过图 6 比较分析可得:

对于顺桥向地震作用,双曲面球型减隔震支座通过 E2 地震作用下支座受力体系的转换,将传统桥梁抗震设计中单个墩柱承受全部上部结构惯性力的受力模式,合理的转换为全部墩柱均承受上部结构惯性力的受力模式,大大降低了固定墩位的地震响应,起到整个桥梁结构协同抗震的作用。

为了研究采用该新型减隔震支座的大跨径连续梁桥的抗震性能提升效果,对罕遇地震下非减隔震桥梁和采用该新型减隔震支座的大跨径连续梁桥的抗震性能进行分析比较。

对 E2 地震作用下存在固定墩的非减隔震桥梁结构和 E2 地震作用下存在体系转换的减隔震桥梁结构进行 E2 地震作用计算,得到主桥 36#~39# 桥墩墩底弯矩,见图 7。

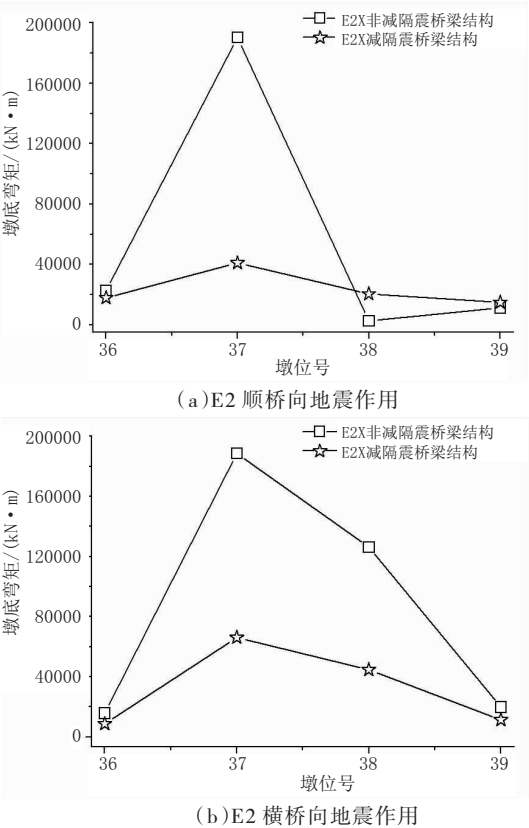


图 7 E2 地震下非减隔震与减隔震桥梁墩底弯矩图(单位:kN·m)
通过图 7 比较分析可得:

(1)双曲面球型减隔震支座可以延长桥梁结构的周期,耗散地震能量,使用双曲面球型减隔震支座后,可以大大减少顺桥向地震作用下固定墩位的地震响应,减少横桥向地震作用下各墩位的地震响应,

大幅降低下部结构的尺寸和配筋,节约工程造价;

(2)通过合理布置双曲面球型减隔震支座和设置减隔震参数,桥梁可以取得预期的抗震性能,固定墩位墩底弯矩可减少 70%~80%,桥梁减隔震效果十分明显。

2 结 语

本文对一座采用双曲面球型减隔震支座的大跨径连续梁桥的抗震性能进行深入分析与研究。结果表明:该新型支座可以大幅降低大跨径连续梁桥的地震响应,通过合理设置该支座的减隔震参数,可以取得良好的抗震性能,是高烈度区大跨径连续梁桥降低地震响应、提升抗震性能的合理抗震解决方案。

参考文献:

[1] 叶爱君,管仲国.桥梁抗震(第二版)[M].北京:人民交通出版社, 2011.

[2] 彭天波,李建中,范立础.双曲面球型减隔震支座的开发及应用[J]. 同济大学学报(自然科学版),2007,35(2):176-180.

[3] 彭天波,李建中,范立础.双曲面球型减隔震支座的竖向位移分析 [J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(9):1181-1185.

[4] 王剑.双曲面球型减隔震支座对桥梁抗震性能影响的研究[D].西安: 长安大学,2014.

[5] JTG/T 2231-01—2020,公路桥梁抗震设计规范[S].

[6] JT/T 842—2012,公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座[S].

[7] JT/T 822—2011,公路桥梁铅芯隔震橡胶支座[S].

[8] 刘洋.高烈度区长联大跨连续梁减、隔震设计研究[D].成都:西南交 通大学,2017.

[9] 张永亮,刘聪聪,李晓钟,等.长联连续梁桥双曲面球型减隔震支座 参数影响研究[J].桥梁建设,2022,52(1):94-100.

[10] 陈杰.八度地震区铁路大跨度连续梁桥减隔震设计[J].铁道建筑, 2022,62(1):83-86.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com