

菱形钢阻尼减震支座与性能分析

杨俊^{1,3}, 高昊²

(1.上海材料研究所, 上海市 200437; 2.同济大学, 上海市 200092; 3.上海消能减震工程技术研究中心, 上海市 200437)

摘要:针对中小跨径的梁式桥,围绕支座滑动、隔断地震力以及后续梁体的地震限位问题,提出一种同时具备优良滞回耗能特性和工程可实践性的菱形钢阻尼减震支座。首先详细介绍了该种支座的构造形式和工作机制,并通过数值仿真的技术手段研究了菱形钢阻尼元件的变形模式和力学行为,之后以一座典型的梁式桥为例,比较分析了滑动约束体系、采用菱形钢阻尼支座的减震体系、固定约束体系下墩底的剪力、弯矩需求以及墩-梁位移的地震响应情况,进而论证本文菱形钢阻尼支座的减震效果。

关键词:菱形;钢阻尼;减震效果;动力分析

中图分类号:U442.5+5

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2022)07-0056-03

0 引言

中小跨径梁式桥是我国交通路网的重要组成部分,如何提高如此量大面广的梁式桥的抗震性能尤为重要。李建中^[1-3]、王克海^[4]等分别研究了考虑板式橡胶支座滑移的梁式桥地震反应特点,分析发现板式橡胶支座的剪切变形及后续的滑移行为可以很好地隔绝地震力的传递,有效降低下部结构的地震需求。如能通过较为经济的技术途径限制梁体位移在可接受的范围之内,则该种抗震策略可以作为对现行抗震规范的一种有益扩充。项乃亮^[5]、崔侠侠^[6]等分析了不同形式挡块下梁式桥的抗震性能,计算结果表明弹塑性挡块相比于其他挡块,力学行为清晰明确,且具有较好的耗能特性,控制位移效果较好。如图1所示,常见的弹塑性挡块形式有X形^[6]、三角形^[7]等。

上述类型的弹塑性挡块一般占据竖向空间较大,同时又考虑到板式橡胶支座支承吨位较小、变形能力有限等因素,有时会将弹塑性阻尼元件和钢类支承组装在一起,构成弹塑性钢阻尼支座,常见的钢阻尼支座有E形、C形等形式,见图2。前述钢阻尼支座通常占据的平面空间较大,在工程应用时会受到一定限制。针对该技术背景,本文提出一种菱形钢阻尼减震支座,在保证弹塑性阻尼元件耗能特性优良、成本优势明显的前提下,又具有很好的空间普适

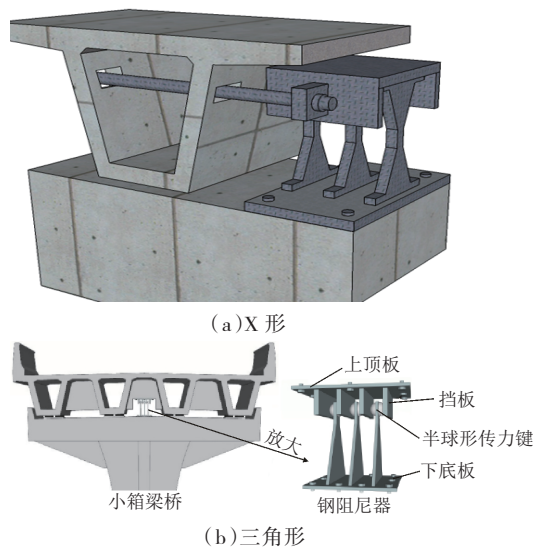


图1 常见弹塑性钢阻尼挡块

性,满足绝大多数桥梁工程应用场景。

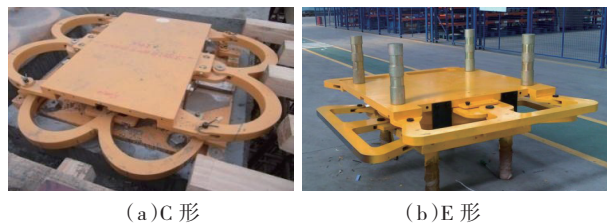


图2 常见弹塑性钢阻尼支座

1 构造形式

如图3所示,菱形钢阻尼支座的整体呈中心对称结构。从上至下依次由顶板、第一导向系统、连接滑板、菱形阻尼元件、第二导向系统、挡槽、支座底板等部件构成。其中第一导向系统与第二导向系统可分别对应桥梁的顺桥向和横桥向。在地震作用下,惯性力被分解为沿两个导向系统滑动方向的分力。导向系统

收稿日期: 2021-08-31

作者简介: 杨俊(1983—),男,学士,工程师,从事桥梁减振技术及产品研发和管理工作。

本身既是导向滑移的部件又是传力受力的部件,可限制菱形阻尼元件运动方向,使其发生预设模式的变形,提供指定大小的阻尼力。其中菱形阻尼元件为双悬臂的对称式结构,其线形按照受力作用下的弯矩图示进行设计,两侧悬臂端为球形传力构造,保证阻尼元件始终受指向球心的水平力,按指定模式发生变形。

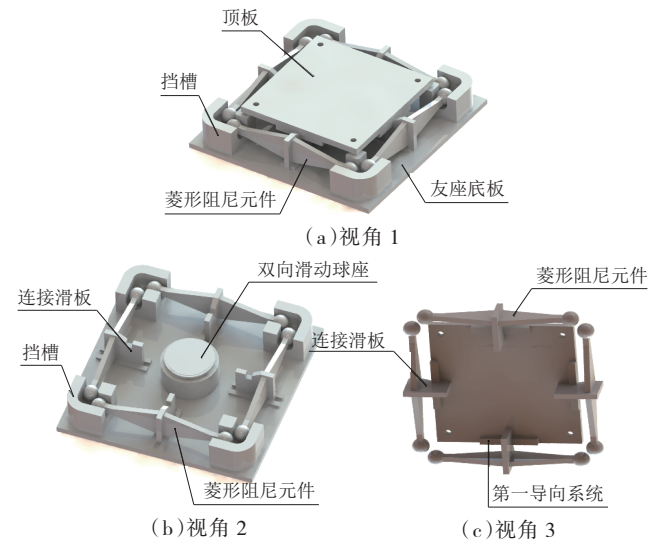


图 3 菱形钢阻尼减震支座构造

值得说明的是,本文提出的菱形钢阻尼减震支座,相应的支座本体可以是球型钢支座,也可以是盆式支座。另外,可根据运营状态的功能需求,内置指定熔断阈值大小的抗剪销钉,以提供桥梁结构正常使用状态下的强度和刚度[8]。地震作用下,抗剪销钉发生剪断,菱形钢阻尼元件发挥耗能减震的作用。

2 阻尼元件力学行为分析

本节针对菱形钢阻尼减震支座中的耗能元件的力学行为进行分析,图 4 为菱形钢阻尼元件的尺寸示意图。

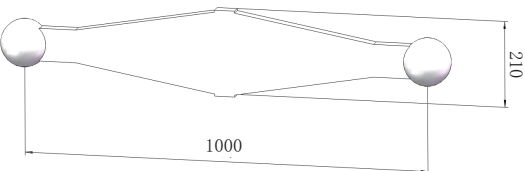


图 4 菱形钢阻尼尺寸示意图(单位:mm)

图 5 为菱形钢阻尼元件的有效应力云图。

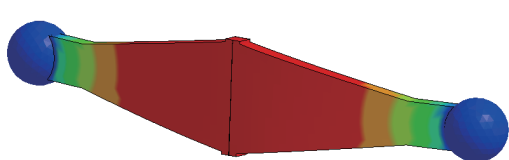


图 5 菱形钢阻尼元件有效应力云图

菱形钢阻尼元件在发生指定模式的变形时,除球形传力构造区域,大部分截面同时进入塑性状态,

使得阻尼元件具备优良的滞回耗能特性,这一机理可以从图 5 的阻尼元件有效应力云图中进一步得到佐证。数值计算得到的菱形阻尼元件的力 - 位移曲线见图 6。

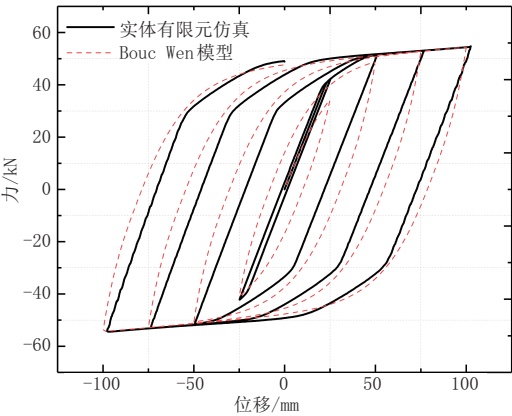


图 6 菱形钢阻尼元件的力 - 位移曲线

需要指出的是,上述阻尼元件的厚度为 30 mm,如有需求,可使用更厚的板材,提供更高吨位的屈服力。同时基于模块化的设计思想,沿第一或第二滑动方向,可集成不同数量的菱形钢阻尼单元,各阻尼元件是力学上的并联关系,支座在该方向提供的阻尼力大小为各元件的阻尼力之和。

3 减震效果数值验证

本节以一座典型的四跨连续梁桥为例,依托 OpenSEES^[9]计算平台,示意说明本文菱形钢阻尼支座的减震效果。案例桥梁的具体信息如下:跨径组合形式为 4 × 50 m,上部结构形式为单箱单室箱梁,下部结构形式为独柱桩墩形式,具体的桥型布置图见图 7。数值模型中,主梁、墩柱、桩体均通过三维空间梁单元进行模拟,菱形钢阻尼支座的阻尼力 - 位移关系通过 uniaxial Material BoucWen 材料模型进行模拟,每个阻尼元件的力 - 位移曲线模拟情况见图 6。中间的 3 个墩柱设置有本文提出的新型菱形钢阻尼减震支座,地震动输入采用 LOMA PRIETA 加速度记录,峰值加速度 PGA 调整至 0.11g。

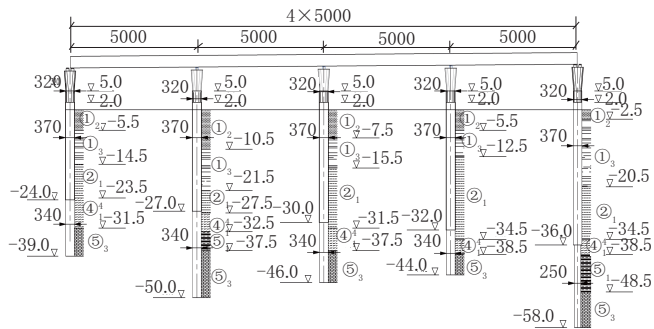


图 7 案例桥梁桥型图

案例桥梁的典型动力分析结果见图8。由图可知,采用菱形钢阻尼减震支座的桥梁抗震方案在力-位移之间取得较好的平衡。设置菱形钢阻尼支座的减震体系,墩底的剪力和弯矩地震响应相比于滑动约束体系虽然有一定程度的小幅增加,如图8(a)和(b)所示,但墩-梁位移的情况明显优于滑动体系,见图8(c)。相比于传统的固定约束体系,采用菱形支座的减震体系以可接受范围内的墩-梁位移为代价,显著降低相关墩底的剪力和弯矩需求,改善下部结构的地震受力状态。各装置地震作用下的力-位移关系见图8(d),可以看到,本文提出的菱形钢阻尼减震支座相比一般意义上的滑动型支座,具备优良的耗能特性和限位效果。

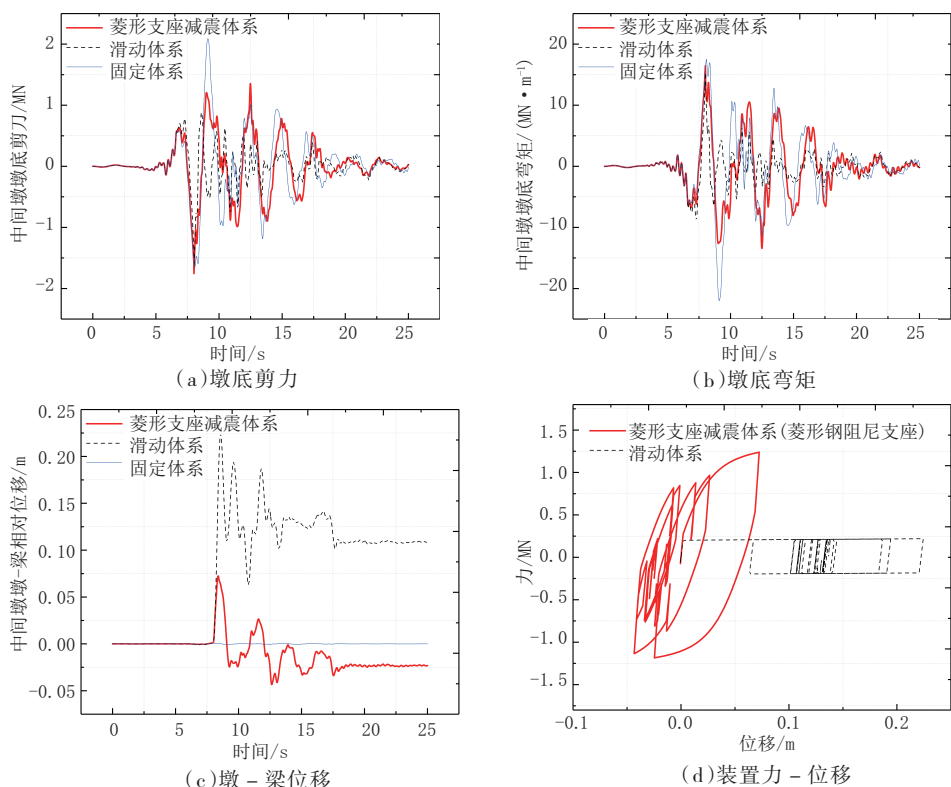


图8 案例桥梁地震响应

外,其余部分几乎同时发生塑性变形,具备良好的滞回耗能特性。对于大吨位阻尼力的情况,后续可通过调整板厚、钢材屈服强度等参数对菱形钢阻尼单元实现不同规格的的标准化设计。

(3)案例桥梁的地震反应分析结果表明:采用本文提出的菱形钢阻尼支座的减震体系,可在下部结构的地震需求和上部结构关键点的地震位移之间取得较好平衡,在具备良好工程可实践性的基础上,为提高中小跨径梁式桥的抗震性能提供有效的技术实现途径。

参考文献:

[1] 项乃亮,李建中.考虑板式支座滑移的中小跨度梁式桥振动台试验[J].土木工程学报,2018,51(7):104-111.

4 结果和结论

本文面向国内量大面广的中小跨径梁式桥,围绕隔断地震力传递以及后续主梁的地震限位问题,提出了一种钢类支承与钢阻尼耗能元件组合在一起的弹塑性钢阻尼支座,具体研究工作和研究结果如下:

(1)本文提出的菱形钢阻尼支座相比以往的C形和E形钢阻尼支座,在应用空间场景方面更加具备普适性,依次叠加设置的菱形钢阻尼单元在平面空间上更加占据优势,可满足绝大多数中小跨径梁式桥的空间安装要求。

(2)针对菱形钢阻尼单元的数值仿真计算表明:菱形钢阻尼单元除悬臂端处的球形传力构造区域

- [2] 李建中,汤虎.中小跨径板式橡胶支座桥梁横向抗震设计研究[J].土木工程学报,2016,49(11):69-78.
- [3] 汤虎,李建中,邵长宇.板式橡胶支座桥梁横向抗震加固研究[J].地震工程与工程振动,2016,36(4):33-41.
- [4] 李冲,王克海,惠迎新,吴刚.中小跨径桥梁地震作用下横向损伤模式分析[J].地震工程与工程振动,2015,35(3):125-133.
- [5] 项乃亮,李建中.不同挡块形式对中小跨径桥梁横向抗震性能的影响[J].工程力学,2016,33(3):188-195.
- [6] 崔侠侠,项乃亮,李建中.X形钢挡块与混凝土挡块抗震性能对比分析[C].第25届全国结构工程学术会议论文集(第II册),2016:299-305.
- [7] 叶爱君,方家欣,张少为,王晓伟.小箱梁桥横向减震体系及其耗能特性[J].中国公路学报,2017,30(12):21-29.
- [8] 庄军生.桥梁减震、隔震支座和装置[M].北京:中国铁道出版社,2012.
- [9] OpenSees User Manual[K]. Peer, University of California, Berkeley.