

桥梁弧形钢阻尼装置与工程应用

杨俊^{1,4}, 高昊², 钱云峰^{3,4}

(1.上海材料研究所, 上海市 200437; 2.中交路桥建设有限公司, 北京市 100027; 3.上海上材减振科技有限公司, 上海市 200437; 4.上海消能减震工程技术研究中心, 上海市 200437)

摘要:以桥梁钢制阻尼装置减震为技术背景,提出一种新型弧形钢阻尼装置。该装置由运营模块和阻尼模块两部分组成,与以往钢阻尼装置相比,在不干扰桥梁结构正常使用状态受力的情况下,装置空间普适性和工程可实践性更强,成本优势更加明显。针对阻尼模块中的钢制弧形元件,开展了足尺模型试验,检验了阻尼元件的水平滞回行为。试验结果表明,弧形阻尼元件滞回耗能特性良好。最后,以一座典型的斜拉桥为例,介绍了新装置的工程实践情况,可供相关专业人员参考。

关键词:弧形;钢阻尼;运营模块;阻尼模块;足尺试验

中图分类号: U443.26

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)05-0220-03

0 引言

横向减震体系相比于传统的固定约束体系,在上部结构关键点位移控制在可接受范围内的情况下,能够有效减小通过支承连接处传递至下部结构的惯性力,降低相关地震需求,是一种较为合理的抗震体系。数值模拟和振动台试验表明,以弹塑性钢阻尼装置为代表的这种横向减震体系在悬索桥^[1]、斜拉桥^[2,3]、拱桥^[4]和梁式桥^[5]中均可取得较好的控制效果。钢阻尼装置类型中,较为常见的阻尼元件形式有柱形、三角形、 $E(\varepsilon$ 或 $m)$ 形、 $C(\Omega)$ 形等。如图1(a)所示,以柱形^[6]、三角形^[7]阻尼元件为代表的钢阻尼装置,一般通过预留滑道的方式适应桥梁上部结构沿顺桥向的活动位移(如温度作用下的伸缩位移),该装置在使用时,顶底板需分别与主梁和墩顶进行连接。如图1(b)所示,以 $E(\varepsilon$ 或 $m)$ 形、 $C(\Omega)$ 形^[8]元件为代表的钢阻尼装置,一般需要通过设置附加的滑块和滑槽构造以适应前述活动位移,该装置在使用时,装置可向外悬出一部分,因此相关空间需求小于棒形、三角形等情况,但这种形式使得装置本身重量分布不均,对附加的滑槽和滑块的滑动性能提出了挑战。

本文针对上述问题,在保证附属构造滑动性能可控的前提下,进一步利用悬出式装置的空间优势,提出一种具备多项技术优势的桥梁弧形钢阻尼

装置^[9]。下文从构造形式、技术优势、试验验证与工程应用多个方面对本文的钢阻尼装置进行详细的介绍。

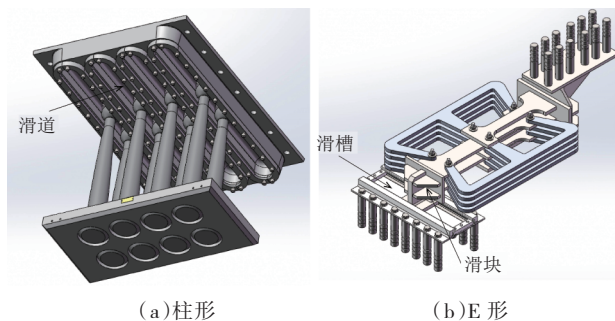


图1 常见的钢阻尼装置构造

1 构造形式

如图2所示,弧形钢阻尼装置依次由主梁连接板、弧形阻尼元件、辅助推力箱、助推销、导向滑块和导向滑槽以及墩顶连接板等部件组成。其中以交叉叠置的弧形阻尼元件为主体,构成阻尼模块;以导向滑块和导向滑槽为主体,构成运营模块。装置在应用时,辅助推力箱和主梁连接板同时和桥梁上部结构进行连接,在桥梁结构正常使用状态下,辅助推力箱通过助推销和弧形阻尼元件共同传动运营模块的主体部件导向滑块沿导向滑槽滑动。由于有双重传力路径的保证,该装置在日常运营过程中,滑动功能更加稳定可控。地震作用下,助推销可以迅速发生指定模式的剪断破坏,此时装置与桥梁结构的有效连接分别为墩顶连接板和主梁连接板,阻尼模块中的主体部件弧形阻尼元件可以按照指定模式发生变形,提供阻尼力。关于地震作用下装置的减震消能效果,后文将通过弧

收稿日期: 2021-08-24

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。

形阻尼元件的足尺试验进一步论证。

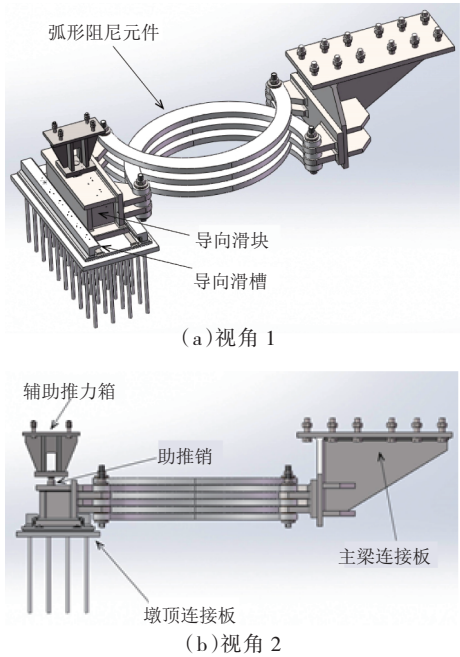


图 2 弧形钢阻尼装置构造

2 技术优势

本文提出的新型弧形钢阻尼装置,与现有的钢阻尼装置相比,具有以下技术特征和技术优势:

(1)功能可控,具体体现在以下两个方面:

a. 日常状态下,运营模块的滑动功能可控,这一点通过双重传力路径得到保证,相关传力路径示意图见图 3。

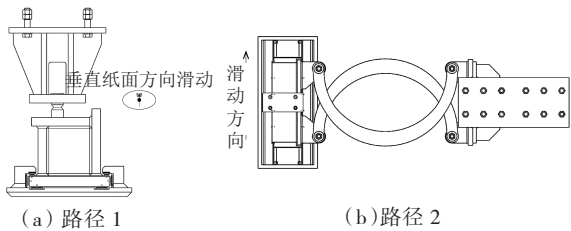


图 3 双重传力路径示意

b. 地震作用下,阻尼模块的减震功能可控,弧形阻尼元件发生指定模式的变形时,力学模型为一变截面曲梁,通过平面内受弯模式提供相应的阻尼力。

(2)空间节省,具体体现在以下两个方面:

a. 悬出的构造形式,使得钢阻尼装置大部分悬空设置,很大程度减少了像柱形、三角板形一类钢阻尼装置必须在墩顶投影空间范围内进行安装的空间限制。

b. 弧形阻尼元件交叉叠放,相较于传统的 E(ε 或 m)形、C(Ω)形阻尼元件,该种叠放形式最大程度减小了平面占用空间,为高烈度地区特大桥梁大吨位阻尼力的减震技术实现提供可能。

(3)成本优势明显。本文提出的新型弧形钢阻尼装置造价相对较为经济,原因有二:

a. 本文的弧形阻尼元件不存在类似于 E (ε 或 m)形的边肢或中间肢,全部节段参与耗能,其理论材料用量最为节省。

b. 弧形阻尼元件的加工制作可以直接在钢板上裁切进行,不同于柱形阻尼元件的锻造工艺,技术工艺要求较低;同时受益于弧形阻尼元件的线形,各弧形阻尼元件可在钢板内相互交叉裁切,边角废料相对较少,板材的使用率相对较高。

(4)可修可换性强。新型弧形钢阻尼装置基于模块化的设计思想进行设计,阻尼元件分别通过螺栓与连接部件进行连接,包括运营模块中的助推销等构造,可拆卸程度均较高,方便日常运营维修和震后更换。

3 试验验证

针对前文提到的弧形钢阻尼装置,我方设计了设计位移为 $\pm 305\text{ mm}$ 、设计阻尼力为 192 kN 的弧形钢阻尼元件,并完成了其足尺试验。试验参考《公路桥梁弹塑性钢减震支座》^[10]中的加载要求进行,分别进行了 0.25 倍、0.5 倍、1.0 倍和 1.2 倍设计位移 4 个工况的加载,试验过程中部分照片见图 4。

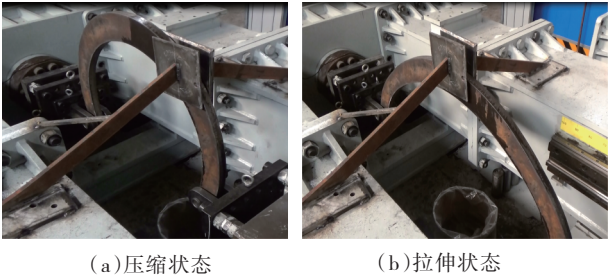


图 4 试验中的弧形钢阻尼元件

四个工况下测得的阻尼元件的力-位移曲线关系见图 5。由图 5 可知,阻尼元件力-位移曲线饱满,具有良好的滞回耗能特性。

4 工程应用

本文提出的弧形钢阻尼装置在国内某斜拉桥的边墩及辅助墩中得到应用,用于横桥向的震动控制,提高大桥的抗震性能,相关应用情况见图 6。截至目前,该装置功能表现良好。

5 结论

本文结合各种桥梁用钢阻尼装置的特点,提出了一种新型弧形钢阻尼装置,并从构造形式、技术优

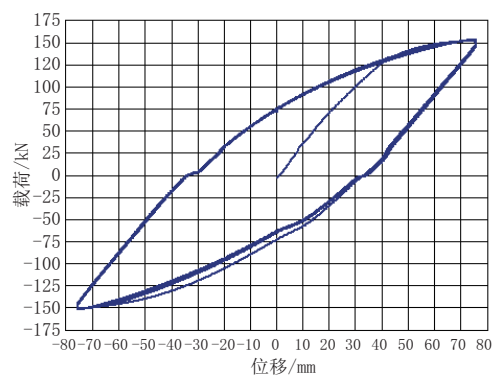
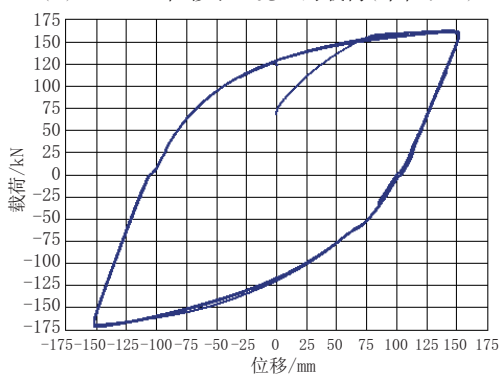
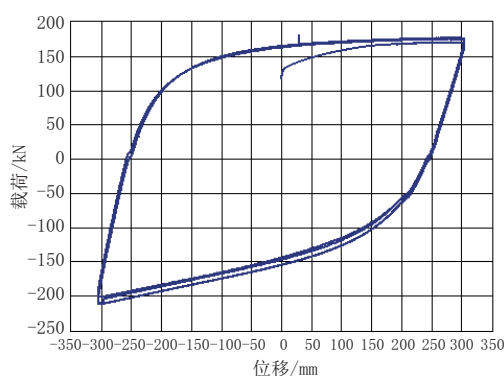
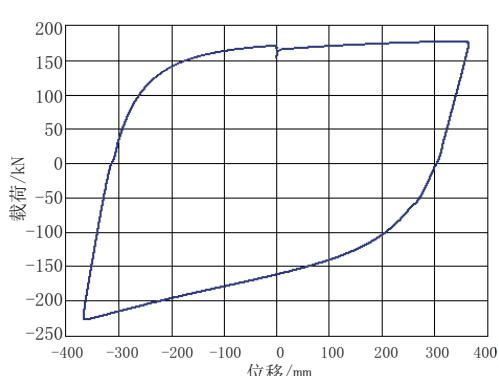
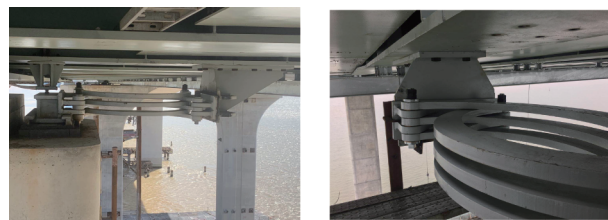
(a) ± 76 mm 位移下工况一的载荷(单位:kN)(b) ± 152 mm 位移下工况二的载荷(单位:kN)(c) ± 305 mm 位移下工况三的载荷(单位:kN)(d) ± 366 mm 位移下工况四的载荷(单位:kN)

图5 四种工况下的力-位移曲线

势、足尺阻尼元件试验以及工程应用等情况进行了较为系统的介绍,主要结果和结论如下:

(1)本文提出的弧形钢阻尼装置由运营模块和阻



(a)视角 1

(b)视角 2

图6 本文所涉的弧形钢阻尼装置在某大桥中的应用情况

尼模块两部分组成,具备双重传力路径保证运营模块滑移功能的稳定性,从而满足桥梁结构正常使用状态下需适应结构沿指定方向的活动位移的目标需求。

(2)本文提出的弧形钢阻尼装置由于悬出式的结构设计形式以及阻尼元件交叉叠放的布设方式,使得该装置的空间普适性和工程实践性较强。同时得益于弧形元件全部节段参与阻尼变形,且生产加工过程中对板材的利用率较高,使其又具备明显的成本优势。

(3)针对本文装置阻尼模块中的弧形阻尼元件,本文开展了足尺模型试验。试验结果表明,弧形钢阻尼具有良好的滞回耗能特性,可以为桥梁减震控制提供有效的技术解决途径。最后结合国内某斜拉桥,介绍了该装置的工程实践情况,为后续桥梁减震设计提供案例借鉴。

参考文献:

- [1] 王靖程,张德明,叶爱君.横向抗震体系对大跨度自锚式悬索桥地震反应的影响[J].土木工程与管理学报,2019,36(5):181-186.
- [2] 周连绪,叶爱君.千米级斜拉桥横向减震体系振动台试验[J].中国公路学报,2019,32(9):71-79.
- [3] 沈星,倪晓博,叶爱君.大跨度斜拉桥边墩横向抗震体系研究[J].中国公路学报,2016,29(11):82-89,121.
- [4] 刘国.梅山春晓大桥工程设计关键技术研究[Z].宁波梅山岛开发投资有限公司,2019.
- [5] 叶爱君,方家欣,张少为,等.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.
- [6] 王君杰,王志强,章小檀,等.可滑移柱形软钢阻尼装置及其在桥梁上的应用:中国,CN101748685A[P].2010-06-23.
- [7] 沈星,叶爱君,倪晓博,等.适用于桥梁结构的横向减震阻尼器:中国,CN102953327A[P].2013-03-06.
- [8] 蔡雪梅,赵前进,梁旭,等.一种用于桥梁的新型C型钢阻尼器支座:中国,CN106192738A[P].2016-12-07.
- [9] 钱云峰,杨俊,李华,等.桥梁震时限位曲梁:中国,CN212404788U[P].2021-01-26.
- [10] JT/T 843—2012,公路桥梁弹塑性钢减震支座[S].