

自适应多功能摩擦摆支座的性能试验研究

韦胜顺 褚盼 仇继好 陈晶萍 陆金柱 李善律

(柳州东方工程橡胶制品有限公司 广西柳州 545005)

摘要:为克服传统摩擦摆减隔震支座的局限性,在前人研究的基础上,研制出一种新型的自适应多功能摩擦摆支座,通过竖向承载力试验、水平性能试验,研究结果显示,支座的屈服力、屈后刚度、等效阻尼会随着逐渐增加的位移而发生变化,与传统的摩擦摆减隔震支座相比具有较好的自适应性。

关键词:摩擦摆支座 自适应 变刚度 变阻尼

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.04.009

前言

地震具有突发性和毁灭性,强烈的地震往往对桥梁、建筑结构造成损坏,带来巨大的生命和财产损失,给受灾群众留下难以磨灭的心理阴影。如何抵御地震、最大限度地减小地震危害是人类必须解决的重大问题。

随着国内外地震灾害资料的不断增加,人们对地震动特性以及地震作用下各类结构的动力响应特性、破坏机理、构件能力的研究和认识也在不断加深,此外,由于经济的快速发展,工程师们针对不同结构在不同等级地震作用下,结构预期抗震性能会有不同的要求。

减隔震设计方法应用于建筑、桥梁工程上已经有三十多年的历史,具备了较为完善的理论体系。减隔震设计的关键环节是开发出性能稳定、减隔震效果良好并确定其力学性能和计算模型的减隔震装置,目前,国内外应用比较多的减隔震装置主要包括隔震橡胶支座(铅芯支座、高阻尼橡胶支座)、异型钢支座(E型钢、c型钢、非线性阻尼型)、摩擦摆减隔震支座。

摩擦摆减隔震支座以其良好的减隔震性能、大承载能力、大位移能力、可自复位及寿命长等特点,能保护结构在地震中的安全,工程实践表明,摩擦摆减隔震支座能够有效减少地震力向上部结构传递,降低施工难度,降低工程的总造价,因而在国内外的建筑、桥梁和工业领域得以广泛应用。

目前国内外对典型摩擦摆减隔震支座的性能研究已经比较成熟。在建筑、桥梁结构的减隔震分析验算中,传统摩擦摆减隔震支座的屈服力、

屈后刚度、等效阻尼比是主要的输入参数,完成设计后这些减隔震参数是定值,不会随着地震激励的改变而变化,不利于建筑、桥梁结构,在不同震级的地震动作用下的抗震需求。针对这样的局限性,研制出一种新型的自适应多功能摩擦摆支座,该支座能根据不同球面的曲率半径和摩擦系数的相同或相异,在可计算和控制的位移范围内,具有自动调节刚度和阻尼的自适应特性,且该支座结构简单,竖向承载力大,支座水平位移大,耐久性好,减隔震机理明确,适用于抗震性能要求高的大跨度桥梁以及其它的大型构筑物等。

1 常规摩擦摆减隔震支座构造与工作原理

常规摩擦摆减隔震支座(如图1所示)是依靠双凸球冠在上支座板和下支座板间的球面配合,进行转动、滑移,来实现支座的正常功能和减隔震功能。当支座所受的水平力超过滑动面的摩擦力时,支座发生滑移,滑移的同时,支座的高程发生变化,物理模型类似钟摆,摆动周期 T 由曲率半径 R 控制(如图2所示), $T=2\pi R/g$,与支座上部结构的质量无关,设计者可以利用支座的这个特点,延长上部结构的自振周期,避开地震的卓越周期,以减少地震力向上部结构传递,滑移时利用摩擦阻尼耗散部分地震能量,减小结构的地震反应,保护结构安全,支座在地震后,可以通过上部结构的自重进行自动复位,帮助上部结构回到原来的位置。

摩擦摆减隔震支座恢复力与位移关系曲线(如图3所示),基本上是规则的平行四边。支座在工作过程中设计的屈服强度 Q ,可以抵御风力、车辆冲击等常规荷载的作用,随着位移的增

加, 支座发生屈服, 屈服后刚度为 K , 弱化刚度以符合隔震需求的隔震周期, 使结构变柔, 降低上部结构的惯性力, 保护结构安全。

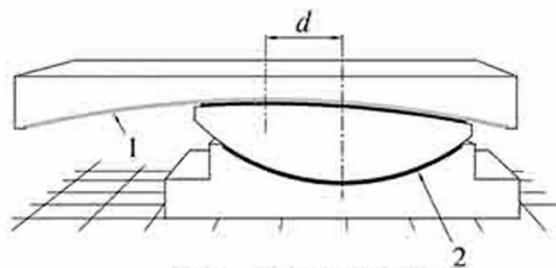


图1 支座构造简图

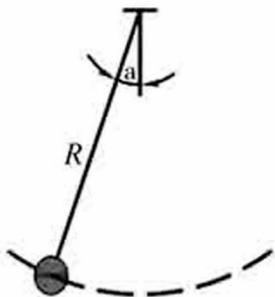


图2 钟摆原理

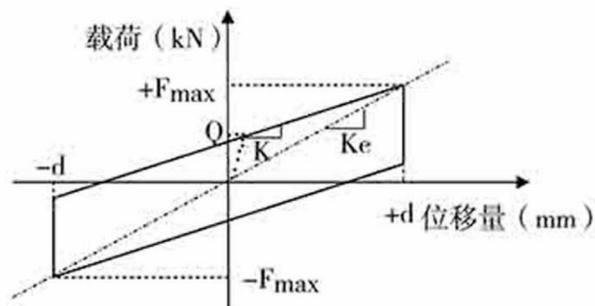


图3 摩擦摆减隔震支座力-位移关系曲线

2 自适应多功能摩擦摆支座的构造与工作原理

常规摩擦摆支座可以通过调整滑动面的摩擦系数和曲率半径及滑移位移量, 调整支座的性能, 在这个基础上, 设计多个可独立的滑动球面, 形成自适应多功能摩擦摆支座 (如图4所示)。从结构可知, 自适应多功能摩擦摆支座的物理简化模型, 类似于几个典型摩擦摆减隔震支座模型的串联, 由于运动过程不同, 又不完全是简单的串联, 只是总体的性能比较相似。多个滑动面多参数的出现, 导致了支座的刚度和阻尼的自适应性, 工程师们可以针对结构在不同地震动下, 性能的需求, 设计各阶段的支座性能, 使结构适应更加广泛的地震激励。

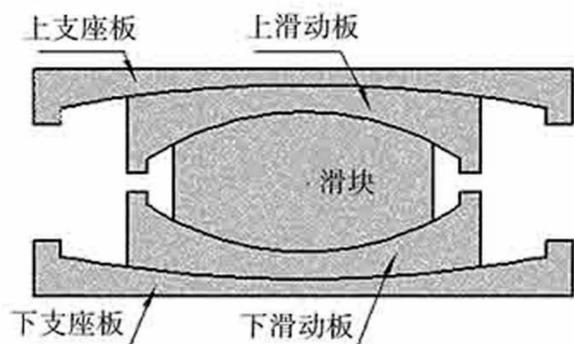


图4 自适应多功能摩擦摆支座结构图

3 性能试验

自适应多功能摩擦摆支座是在典型的摩擦摆减隔震支座基础上开发的, 具有钟摆特性及滞回特性, 为验证其减隔震性能, 需要对支座进行性能试验研究。

试验在柳州东方工程橡胶制品有限公司的试验检测中心进行, 采用桥梁支座专用检测设备2000t电液伺服压剪试验机 (如图6所示) 对试制件进行试验, 竖向承载力检测按照国家标准《桥梁球型支座》(GB/T 17955-2009) 附录进行, 水平性能试验参照摩擦摆支座行业标准进行。

3.1 试件规格

本次自适应多功能摩擦摆支座由柳州东方工程橡胶制品股份公司制作完成, 共1个规格, MSFP-3000, 支座规格几何量如表1所示。

表1 支座规格几何量

试样名称	试样规格	试样尺寸 (mm)	试样高度 (mm)	数量 (套)
自适应多功能摩擦摆支座	MSFP-3000	810×810	345	1

3.2 竖向承载力试验

竖向设计荷载3000kN, 按1.5倍竖向设计荷载对支座进行3次预压, 以支座竖向设计荷载的1%作为初始压力, 逐步加压, 直至1.5倍竖向设计荷载, 稳压3min后卸载, 采用位移传感器逐级记录下压缩变形量, 要求支座在竖向设计荷载下的变形量不大于支座设计高度的1%, 支座竖向压缩变形曲线 (如图5所示), 从图上可知, 在竖向加载1.5倍设计承载时, 支座竖向最大变形量为2.88mm, 压缩量为0.83%, 满足标准规范要求 (试验见图6)。

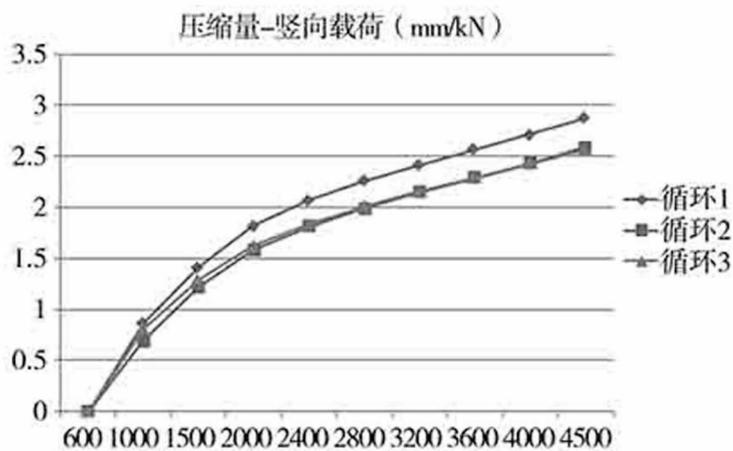


图5 支座竖向压缩变形曲线



图6 自适应多功能摩擦摆支座试验

3.3 水平性能试验

对支座进行水平往复加载运动(见图11),加载频率为0.01Hz,水平往复位移量分别为±20mm、±70mm、±200mm、±270mm;每个位移进行5个循环试验,自动记录支座水平运动滞回曲线。见图7、图8、图9、图10。理论与试验数据对比见表2、表3、表4、表5。

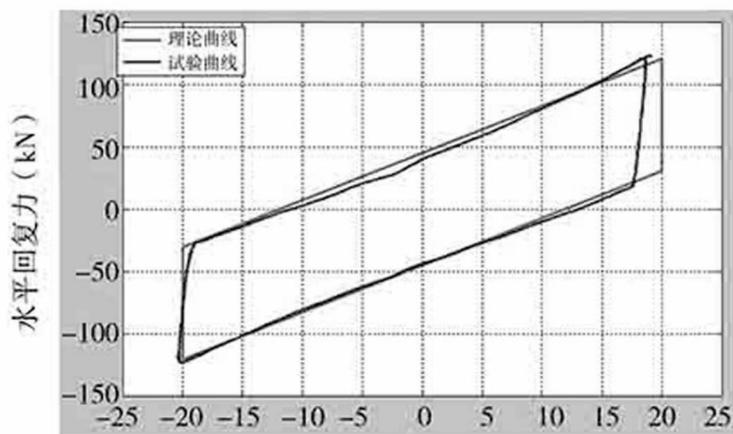


图7 ±20mm滞回曲线

表2 理论与试验数据对比

	屈服力 (kN)	屈后刚度 (kN/mm)	阻尼比 ξ
试验值	44.75	3.80	0.23
设计值	45	4.73	0.24
偏差	-0.56%	-19.7%	-2.02%

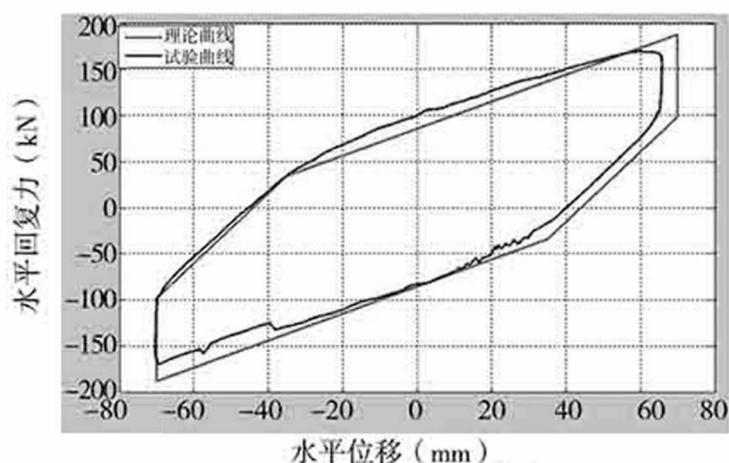


图8 ±70mm滞回曲线

表3 理论与试验数据对比

	屈服位移 (mm)	屈服力 (kN)	阻尼比 ξ
试验值	112	1.34	0.30
设计值	111	1.35	0.25
偏差	0.9%	-0.74%	20%

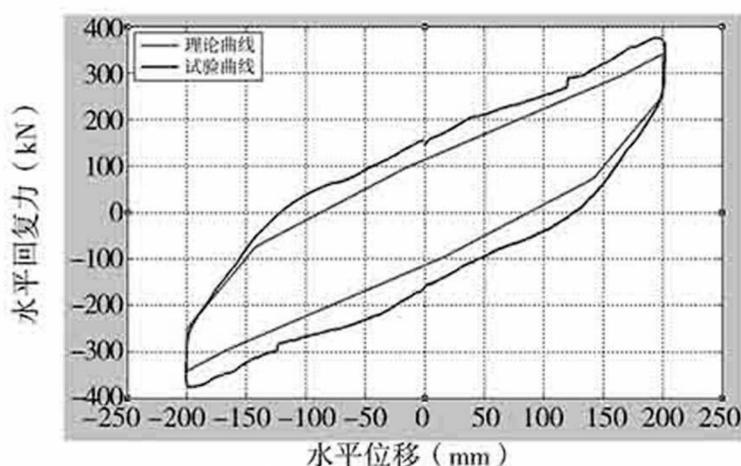


图9 ±200mm滞回曲线

表4 理论与试验数据对比

	屈服力 (kN)	屈后刚度 (kN/mm)	阻尼比 ξ
试验值	297	0.77	0.23
设计值	275	0.82	0.21
偏差	8.00%	-6.10%	9.07%

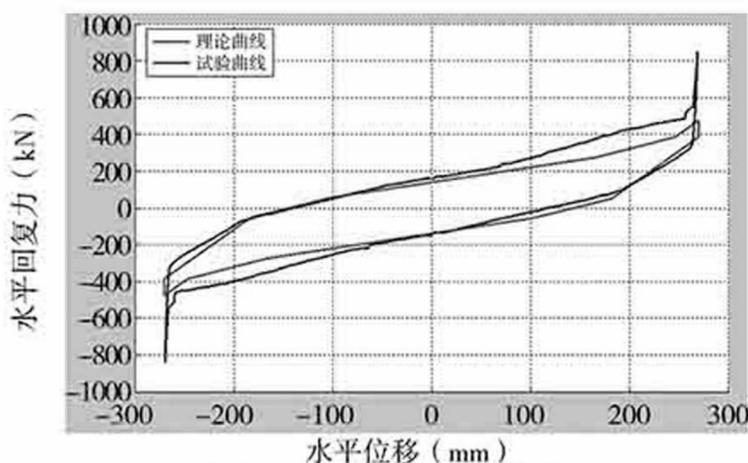


图10 ±270mm滞回曲线

表5 理论与试验数据对比

	屈服位移 (mm)	屈服力 (kN)	阻尼比 ξ
试验值	247	486	0.15
设计值	262	539	0.13
偏差	6.07%	10.9%	-13.3%

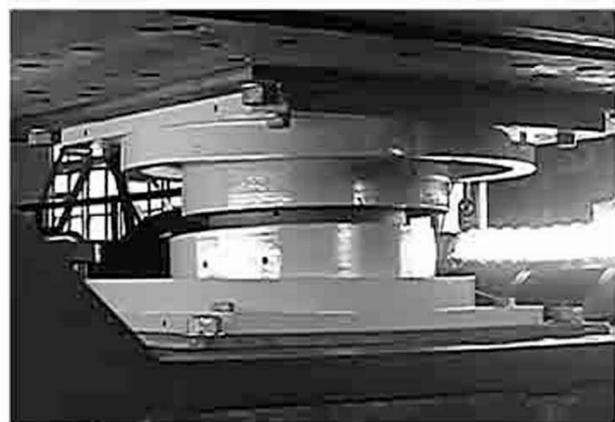


图11 水平性能试验

从以上水平性能试验中可以看出,滞回曲线饱满且重复性良好,表明支座的减隔性能良好且稳定。自适应多功能摩擦摆支座的水平刚度和阻尼比随着位移幅值的增加,逐级地发生变化,各个参数的设计值与试验值的偏差基本在允许的范围内。试验完成后打开支座,各个零部件没有发生明显变形破坏,设计合理。

4 结语

(1) 本文对典型的摩擦摆减隔震支座的结构和工作原理进行阐述和分析, 常规摩擦摆减隔震支座具有良好的减隔震性能, 结构简单, 能有效的延长结构的振动周期, 减小结构的地震反应, 保护结构安全。

(2) 在常规摩擦摆减隔震支座的基础上进行研发自适应多功能摩擦摆支座, 并对支座的结构、理论进行分析研究, 对试制的MSFP-3000进行了性能试验, 试验结果显示, 自适应多功能摩擦摆支座的屈服力、屈后刚度、阻尼比呈现出多级稳定的变化, 具有良好的自适应性, 设计值与试验值的偏差基本在允许的范围内。试验过程中观察到的各滑动面运行的先后顺序与分析结果一致。自适应多功能摩擦摆支座的滞回曲线比较饱

满, 形状比较规则, 说明具有良好的耗能能力。

(3) 自适应多功能摩擦摆支座的自适应特点, 能够给结构提供一个可根据多级性能目标和多级地震动的减隔震系统。经合理的设计, 可与“三水准”设计地震水平相适应, 符合我国目前“三水准”的抗震要求。

(4) 为使自适应多功能摩擦摆支座能应用到减隔震工程实践中, 笔者认为还应对支座的耐久性、支座的自复位能力、结合结构的动力时程分析等方面进行深入的研究。

参考文献

- [1] 陈列, 胡京. 桥梁减隔震技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.11.
- [2] 桥梁球型支座[S]. JT/T 17955-2009.
- [3] 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. 2.
- [4] 陈永祁, 杨风利, 刘林. 摩擦摆隔震桥梁的设计及应用[M]. 工业建筑出版社, 2009年第39卷增刊.

(上接第34页)

表1 测试结果数据表

标准力值(kN)	第一次波长值(nm)	第二次波长值(nm)	第三次波长值(nm)	平均波长值(nm)	实际力值(kN)	误差%FS
400	1552.390	1552.391	1552.392	1552.391	410	0.008
1200	1552.33	1552.33	1552.331	1552.33	1227	0.2
2400	1552.237	1552.238	1552.237	1552.237	2479	0.7
3600	1552.153	1552.153	1552.153	1552.153	3615	0.1
4800	1552.059	1552.058	1552.058	1552.058	4890	0.8
6000	1551.974	1551.974	1551.973	1551.974	6030	0.3
7200	1551.88	1551.879	1551.878	1551.879	7305	0.9
8400	1551.83	1551.831	1551.832	1551.831	7952	-0.4
9600	1551.704	1551.703	1551.705	1551.704	9662	0.5
10800	1551.631	1551.631	1551.631	1551.631	10645	-1.3
12000	1551.532	1551.531	1551.531	1551.531	11988	-0.1

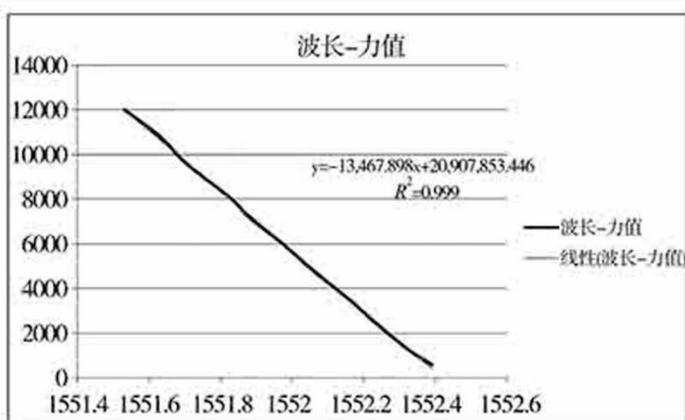


图2 竖向承载力-波长值曲线图

4.4 分析及结论

(1) 在球型支座上布置光纤光栅测力模块, 用来测试支座的竖向承载力是可行的。

(2) 测力球型支座CQZ8SX竖向承载力的力值与光纤光栅波长值之间的线性度和重复性很好, 综合误差仅为1.3%FS, 可靠性较高。

(3) 新型的测力球型支座能有效的检测、

读取支座的竖向承载力, 为结构的健康监测提供科学数据, 拓展了传统人工检测内容, 实现预警、预测维修, 提高管养水平。

5 结语

本文在球型支座上增加了光纤光栅测力模块制成测力球型支座, 通过标准压力机对支座施加竖向承载力, 读取对应的光纤光栅波长值, 得出力值与波长值之间线性函数关系, 实现对球型支座竖向承载力的检测功能。该测力球型支座采用光纤光栅压力传感技术得到支座竖向承载力的测试数据, 能够为桥梁工程结构的健康运营、安全评估和科学分析提供有效的科学依据, 具有很好的市场应用前景。

参考文献

- [1] 压力传感器(静态)检定规程[S]. JJG860-94.
- [2] 压力传感器性能试验方法[S]. GB/T15478-1995.