

桥梁减隔震钢支座剪力销剪断性能试验研究

王健¹, 夏俊勇^{1*}, 罗勇欢¹, 马白虎², 杜斌³, 徐向东³

(1. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007; 2. 贵州省公路开发有限责任公司;
3. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司)

摘要:该文介绍了剪力销在减隔震钢支座中的作用及可能的失效形式,对不同规格、不同数量以及不同布置方式下的剪力销进行了剪断性能试验。试验结果表明:抗剪力随着剪力销数量的增加呈线性增加,随着最小剪断直径的增加呈平方增加,而布置方式对抗剪力基本无影响;依据试验结果,提出减隔震钢支座剪力销剪断力采用极限强度设计更为合理;且当支座采用多剪力销结构时,支座剪力销挡块应尽量采用整体式设计方案。

关键词:公路桥梁;剪力销;试验研究;减隔震钢支座;剪断性能;布置方式

减隔震钢支座结构以其良好的抗震性能和较低的抗震设防成本日益受到重视,近年来对减隔震钢支座的研发及支座的非线性力学特性及其力学模型进行了大量的研究。JTG/T B02-01-2008《公路桥梁抗震设计细则》发布后,中国国内公路桥梁也越来越多地采用了减隔震钢支座,如杭瑞高速公路大岳段大批量应用了摩擦摆支座,上海罗蕴河大桥采用了弹塑性钢支座,南昌朝阳大桥采用了拉索减隔震球形支座。

减隔震钢支座在平时工况下与普通球形支座功能基本一致,在地震工况,当水平力达到一定值时,支座剪断剪力保险结构开始摆动耗能,对整个桥梁结构起减隔震作用。若在平时工况下,支座剪力保险结构过早剪断,则减隔震钢支座丧失普通球形支座的水平约束与导向功能,容易引起梁体的偏移甚至落梁,给桥梁正常运营及民众生命财产安全造成隐患。若设定地震工况下,这些减隔震钢支座的剪力保险结构不能被剪断,则这些支座将丧失减隔震功能,与普通球形支座无异,给桥梁结构等在地震工况下的结构安全带来危险。因此保证减隔震钢支座的剪力保险结构按设计预期剪断,对减隔震钢支座以及采用减隔震设计的桥梁具有至关重要的意义。该文以剪力销这种常见的剪力保险结构为研究对象,对其数量多少、结构大小、布置方式等因素对整体剪断力的影响进行试验研究。

1 试验研究目的

针对桥梁减隔震钢支座的剪力销剪断性能,研究目的如下:

- (1) 研究相同规格不同数量的剪力销对支座整体剪断力的影响。
- (2) 研究不同剪力销规格对支座整体剪断力的影响。
- (3) 研究相同数量相同规格剪力销不同布置方式对支座整体剪断力的影响。

2 试验设计与过程

2.1 试验设计

2.1.1 试验对象

剪切直径 d 分别为 10、20、30 mm 的剪力销若干,结构示意如图 1 所示。为减少试验个体误差,所用剪力销取自同批材料、采用同种工艺制造。

2.1.2 试验内容

- (1) 剪力销数量变化试验:数量分别为 1、2、4、6、8 根等。
- (2) 剪力销大小规格变化试验:剪切直径为 10、

收稿日期:2020-10-25(修改稿)

基金项目:贵州省科技重大专项项目(编号:黔科合重大专项字(2016)3013);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金资助项目(编号:黔科合人字(2015)08号)

作者简介:王健,男,大学本科,高级工程师。E-mail:wangjian1997@csrzc.com

* 通信作者:夏俊勇,男,大学本科,高级工程师。E-mail:xiajunyong@csrzc.com

20、30 mm。

(3) 剪力销布置方式:分单排式、双排式及半圆周式3种剪力销布置方式(图2)进行测试。每种方案进行3次试验,结果取平均值。

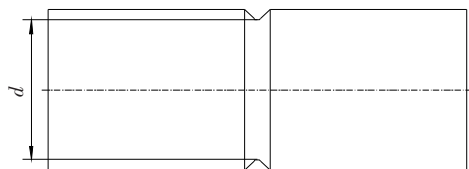
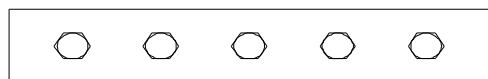
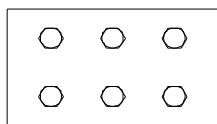


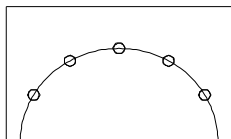
图1 剪力销结构示意图



(a) 单排式布置



(b) 双排式布置



(c) 半圆周式布置

图2 剪力销布置方式示意

2.1.3 试验工装与仪器

试验工装设计见图3。通过合理设计,将所有剪切孔布置于同一剪切板上,兼容试验内容中包含的单排式、双排式及半圆周式布置方式。通过选用不同的配套工装钢套,可在同一试验工装上进行两种规格的剪力销试验,另外试验工装选用材质强度远大于剪力销本身材质强度,以保证工装保持必要的刚度,在试验工程中不变形、不损坏。

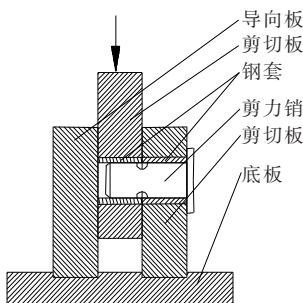


图3 剪断试验工装示意图

因设计剪断试验剪断力跨度较大,为保证剪断力测试精度,估算剪断力需处于试验机量程额定力的10%~80%。根据预估的剪断力,针对预估剪断力范围分别采用不同的试验设备:剪断力 ≤ 480 kN的试验方案采用CSS-4460 二维电子万能试验机[图4(a)]进行检测;剪断力 >480 kN的试验方案采用450 t阻

尼器试验台[图4(b)]进行检测。其中CSS-4460 试验机量程为600 kN,精度为0.01 kN;450 t 阻尼器试验台量程为4 500 kN,精度为0.01 kN。

2.2 试验步骤

(1) 将剪力销按试验计划内容安装至剪断试验工装,钢套与剪力销配套安装,以适应剪断工装。

(2) 将装好剪力销的剪断试验工装置于试验机的承载板上,剪断试验工装中心与承载板中心位置对准。

(3) 正式加载。用加载装置连续均匀地施加剪力(小试验工装施加竖向压力,大试验工装施加水平拉力),由专用的压力传感器记录剪力大小,直到剪力销剪断。

(4) 每组试验过程重复进行3次,取3次试验平均值,作为该剪力工况的最终值。

(5) 重复(1),(2),(3),(4)步骤并完成其他剪断工况。



(a) 小试验工装及剪力试验图



(b) 大试验工装及剪力试验

图4 剪力销剪断试验

3 试验数据及分析建议

根据上述试验方案进行试验,得到剪力销载荷—位移曲线,该文献仅给出双排4根剪切直径为10 mm 剪力销的剪断载荷—位移曲线图,如图5所示,取载荷—位移曲线最大值获得不同方案下的剪断力数据如表1所示。

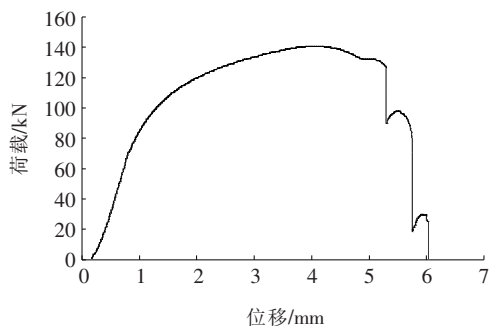


图5 剪力销载荷—位移曲线(双排4根 $\phi 10$ mm)

表 1 不同剪力销数量、不同剪切直径、不同布置方式下剪力销剪断力试验结果

剪力销数 量/根	剪断力(剪切直径 10 mm)/kN			剪断力(剪切直径 20 mm)/kN			剪断力(剪切直径 30 mm)/kN		
	单排	双排	圆周	单排	双排	圆周	单排	双排	圆周
1	34.80	34.80	34.80	132.35	132.35	132.35	302.27	302.27	302.27
2	69.30	69.97	70.40	276.22	274.55	274.13	579.64	583.42	584.62
4	138.46	140.71	141.91	504.26	535.13	506.22	1 122.61	1 134.87	1 132.16
6	202.56	205.83	206.92	787.45	781.45	773.04	1 736.82	1 746.43	1 786.25
8	270.01	273.26	280.31	1 042.74	1 050.01	1 022.49	2 354.25	2 361.24	2 406.58

从图 5 及表 1 可知:

(1) 屈服前阶段,剪力销承载载荷随着位移增加呈线性增长;屈服阶段,剪力销承载载荷随着位移增加而基本稳定在一定区间范围内,直到达到最大值,进而随着位移的持续增加而突然减小,此时剪力销已断裂。在剪力销剪断后,因剪力销剪断切口并不是纯平面,在剪力销剪断后切口相互顶抵摩擦,仍能提供一定的反力,但其峰值明显小于剪断力峰值。

(2) 同一规格的剪力销随着数量的增加,其剪断力都呈线性增长。

(3) 同等数量下随着剪力销剪断直径增大,其剪断力呈平方关系增加。

(4) 相同规格、相同数量时 3 种布置方式下的剪断力差别很小,以剪切直径 20 mm 规格为例,3 种布置方式下剪断力差异在 5% 以内,考虑存在各种试验误差因素,可认为基本一致。

(5) 经计算,该批材料的剪断强度为 445 MPa 左右,根据标准抗拉强度试验,经计算后抗拉强度约为 770 MPa,对比可知该材料的极限剪切与极限抗拉强度比为 1/1.71,与常规认知的剪切强度与抗拉强度的比值符合很好。值得注意的是,对于需要在设定工况下必须剪断的剪力销结构而言,宜以具体材料的实际极限剪断强度来设计,而不是常规计算中剪切强度按拉伸屈服强度计算。另外,不同的金属材料极限剪切强度与抗拉强度的比值是不固定的,且差距较大,该文不做深入讨论。

4 总结与建议

阐述了剪力销结构对减隔震钢支座的重要性,通过设计专用剪断工装对不同规格、不同数量以及不同

布置方式下剪力销的剪断力进行试验,得到以下结论:

(1) 当剪断结构为整体时,剪力销的剪断力大小与数量呈线性关系,与剪断直径呈平方关系,剪力销布置方式对剪断力影响很小,基本可忽略不计。

(2) 为保证剪力销能在设计水平力下顺利剪断,支座剪力销剪断力应采用极限强度设计,考虑到每批材料的差异性,每批材料需要验证材料剪切强度。

(3) 支座采用多剪力销结构时,剪力销挡块应尽量保证足够的强度与刚度,以使剪力销受力均匀。

支座剪力销挡块应尽量采用整体式设计,以保证剪力销受力为纯剪状态,并且使得该支座结构可实现不论从哪个水平方向受力,剪力销都可以在设计水平力条件下被剪断,进而发挥支座的减隔震功能。

参考文献:

[1] 刘峰,陶诗君,王振海.基于摩擦摆支座的连续梁桥减隔震设计方法[J].公路,2015(6).

[2] 陈列,胡京涛,等.桥梁减隔震技术[M].北京:中国铁道出版社,2014.

[3] 庄军生.桥梁支座[M].2版.北京:中国铁道出版社,2000.

[4] 范立础,王志强.桥梁减隔震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.

[5] 段平葛,绪祯.曲线连续梁桥抗震支座减震效果分析[J].中外公路,2017(4).

[6] JTG/T B02—01—2008 公路工程抗震设计细则[S].

[7] 冷新云,夏俊勇,郭红峰,等.摩擦摆支座结构设计及验证[J].铁道建筑,2013(5).

[8] 唐志,刘军,徐向东,等.ε型钢阻尼减震支座在连续箱梁桥中的减隔震应用效果分析[J].中外公路,2019(2).

[9] 彭泽友,王永祥.弹塑性钢减震支座结构受力分析[J].公路,2016(10).