

# 几种隔震橡胶支座性能研究及隔震效果探讨

资道铭<sup>1,2</sup> 梁莹莹<sup>1,2</sup> 袁涌<sup>3</sup> 梁德郡<sup>1,2</sup> 陈伟亮<sup>1,2</sup>

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005

2 柳州东方工程橡胶制品有限公司 广西柳州 545005 3 华中科技大学 湖北武汉 430074)

**摘要:**近年全球大级别的地震频发,引起了人们对这种特殊不安全因素的关注。在国内,用于桥梁减隔震设计技术的各类减隔震装置也纷纷面世。其中,被广泛应用的中小吨位的橡胶类隔震支座就有好几种。这几种橡胶类隔震支座的性能有什么区别,其隔震效果是否一样,是文章将要进行探讨的议题。

**关键词:**地震 铅芯橡胶支座 水平力分散型橡胶支座 超高阻尼橡胶支座 隔震

## 1 前言

地震灾害带来的结构安全威胁是非常特殊也非常不确定的一个安全因素,但随着近年全球高级别地震的频发,已经引起人们足够重视。如1995年发生在日本的阪神大地震、2004年发生的印尼苏门达腊地震、2008年发生在我国的5.12汶川大地震、2011年发生的3.11日本东北大地震,均对震区大量的建筑、桥梁结构造成了毁灭性的破坏,也给灾区人们带来了巨大的灾难<sup>[1]-[3]</sup>。

道路桥梁是震后抢险抗灾通道的咽喉,其抵抗地震能力的重要性不言而喻。实际上,针对地震对桥梁的破坏,早就有学者提出了我国桥梁抗震技术的不足<sup>[4]</sup>。汶川地震发生后,更有众多专家对我国的桥梁抗震技术纷纷进行了分析、总结和反思<sup>[5]-[8]</sup>,也对国外较先进的桥梁抗震技术进行了阐述和解读<sup>[9]-[11]</sup>。汶川地震发生后几个月,交通部颁布了新的桥梁抗震标准<sup>[12]</sup>,与旧版桥梁抗震规范<sup>[13]</sup>相比,增加了减隔震设计的相关内容,使这种新的桥梁抗震思路与方法在国内应用有了法律依据。

减隔震技术是指通过采用减隔震装置来延长桥梁结构的自振周期,额外消耗地震能量,减少桥墩顶部的地震位移反应,同时减小了上部结构的加速度反应,以保证桥梁的安全。

减隔震设计在国外早已有较广泛的使用<sup>[14]-[16]</sup>。可用于桥梁减隔震设计的产品类型很多,有不同形式的耗能装置<sup>[17]-[20]</sup>,有不同的隔震支座类型<sup>[21]-[22]</sup>。它们可以单独使用,也可以在需要时

组合起来应用<sup>[23]</sup>。

隔震支座按利用的主要材料分,有金属类隔震支座与橡胶类隔震支座。金属类隔震支座一般适用于大承载力要求的地震区桥梁,而橡胶类隔震支座一般适用于中小承载力要求的地震区桥梁。各类橡胶隔震支座在国内外均有着广泛的应用,它们的结构基本相同,但其性能、隔震效果如何,有什么差异,是个值得研究与探讨的课题。

国内已有不少铅芯隔震橡胶支座及高阻尼橡胶支座的性能及隔震效果研究资料<sup>[24]-[28]</sup>,但没有超高阻尼橡胶支座方面内容,并且内容也不是很系统、全面。在这里,我们公布几种隔震橡胶支座的研究对比数据,并对其隔震效果进行对比分析。

## 2 几种橡胶类隔震支座性能的研究与对比

### 2.1 橡胶类隔震支座的分类及结构

现阶段在桥梁上使用的橡胶隔震支座主要归纳为以下几类:

1) 天然叠层橡胶支座-NRB(水平力分散型橡胶支座)

天然叠层橡胶支座是用天然橡胶与钢板叠层硫化粘结制作成的(图1)。它具有弹性性能,本身不具备显著的阻尼性能,其阻尼比只有5%左右。所以严格意义上讲它不属于隔震支座,应该属于水平力分散型支座,它主要是将地震力大致均匀地分散到每一跨桥墩上,避免桥墩上地震力集中。在桥梁动力分析中,其恢复力模型基本上是采用线性弹性模型,不考虑其阻尼性能。

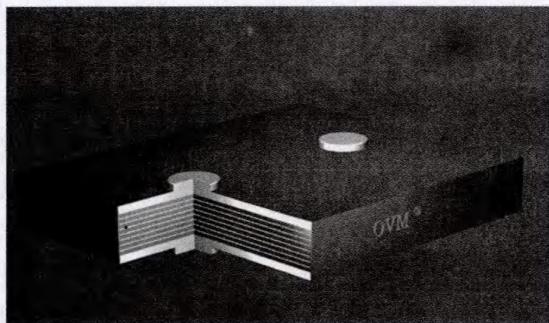


图1 天然叠层橡胶支座 (NRB) 结构

## 2) 铅芯隔震橡胶支座-LRB

铅芯橡胶支座由橡胶层、钢板等迭层粘结再灌入铅芯棒组合而成(结构如图2)。钢板提高支座竖向刚度,使之能有效地支承桥梁上部结构和建筑物结构;橡胶层赋予支座高弹性变形及复位和承载的功能;铅金属有一种叫做“再结晶”的性能,铅芯棒在支座发生剪切变形时会被挤压变形、剪断,而后又会慢慢结晶起来,这个过程中便会消耗能量,从而吸收能量,增大支座的阻尼。因此,铅芯隔震橡胶支座既具有较高的承载性,又具有较大的阻尼,大水平位移能力和复位功能。

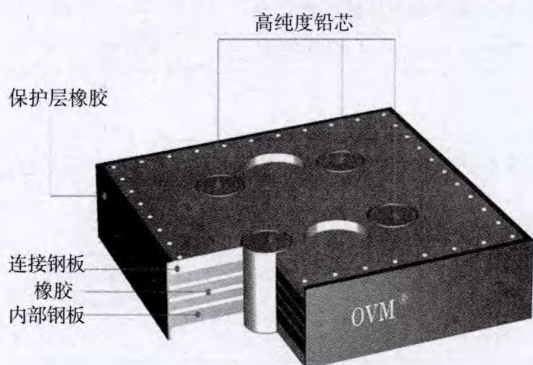


图2 铅芯隔震橡胶支座 (LRB) 结构

## 3) (超)高阻尼叠层橡胶隔震支座 (HDR, SHDR)

(超)高阻尼叠层橡胶隔震支座在结构上与水平力分散型橡胶支座是一样的,只是使用的橡胶是通过特殊的方法,例如在橡胶内掺入某些高分子聚合材料,来调节和改变了材料的阻尼性能,使支座在发生快速水平剪切变形时消耗较大能量。普通高阻尼橡胶支座的阻尼比在12%以上,而超高阻尼橡胶支座的阻尼比可以达到18%以上。(超)高阻尼叠层橡胶隔震支座兼有隔震

装置和阻尼器的作用,在隔震系统中独立使用。

## 2.2 橡胶类隔震支座的性能研究

水平性能是隔震支座最重要的性能。几类隔震橡胶支座典型的滞回曲线见图3~图6。

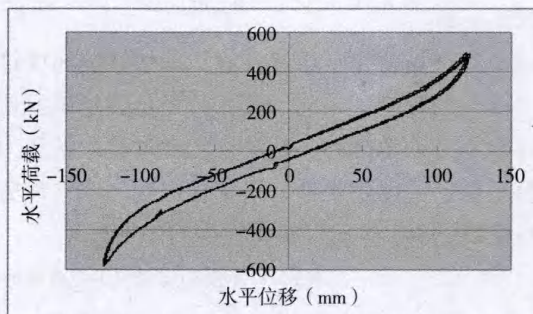


图3 天然叠层橡胶支座 (NRB) 的滞回曲线

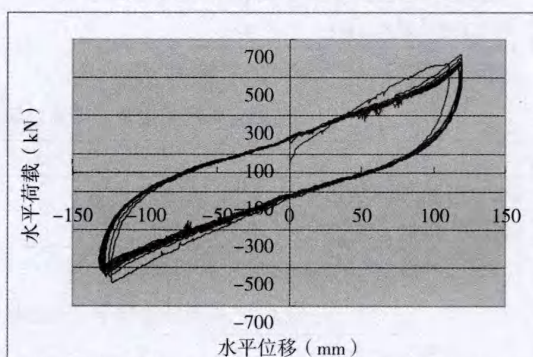


图4 铅芯隔震橡胶支座 (LRB) 的滞回曲线

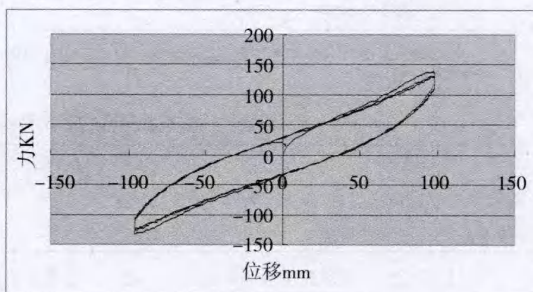


图5 高阻尼橡胶支座典型滞回曲线 (HDR)

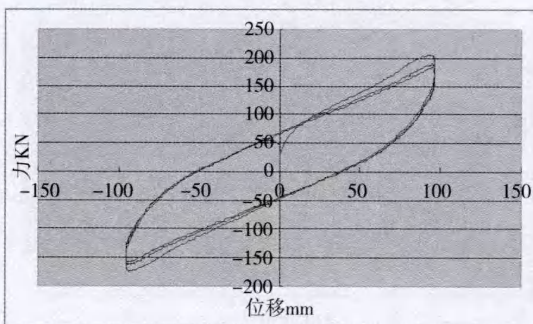


图6 超高阻尼橡胶支座典型滞回曲线 (SHDR)

由图4~图6明显可以看出，超高阻尼橡胶支座比高阻尼橡胶支座的滞回曲线更饱满，因此阻尼比更高，耗能能力更强，从而对铅芯橡胶支座的替代性也更强。当然，其生产工艺及其技术要求也更高。

对于隔震支座而言，水平剪切性能还受许多因素的影响。因此，其相关稳定性能试验研究也是必须考虑的。相关稳定性试验包括压力稳定性、温度稳定性、频率稳定性、水平疲劳稳定性<sup>[29]</sup>。

下面表1~表5列出几类橡胶隔震支座相关性试验对比数据：

需要特别指出的是，（超）高阻尼橡胶对温度非常敏感，表2中所描述的温度引起的水平性能变化不是很大，是我们经过长期研究才得到的理想结果。若温度性能没有解决好，支座0℃时的水平剪切刚度与23℃时的水平剪切刚度可能相差近一倍（见图7），其在-20℃发生水平剪切变形非常困难。因此，对于低温地区使用（超）高阻尼橡胶支座，一定要关注其低温性能，以免引起灾难性后果。

表1 不同面压情况下支座等效水平刚度、等效阻尼比最大变化率

支座类型	水平力分散型	铅芯橡胶支座	高阻尼支座	超高阻尼支座
等效水平刚度最大变化率	%	1	4	30
等效阻尼比最大变化率	%	-	9	23

注：支座面压分别为6MPa, 8MPa, 10MPa, 12MPa

表2 不同温度情况下支座等效水平刚度、等效阻尼比最大变化率

支座类型	水平力分散型	铅芯橡胶支座	高阻尼支座	超高阻尼支座
等效水平刚度最大变化率	%	-	18	30
等效阻尼比最大变化率	%	-	13	61

注：铅芯橡胶支座试验温度为23℃、40℃、0℃、-10℃、-25℃；（超）高阻尼橡胶支座试验温度为23℃、40℃、0℃、-10℃、-20℃。

表3 不同试验频率下支座等效水平刚度、等效阻尼比最大变化率

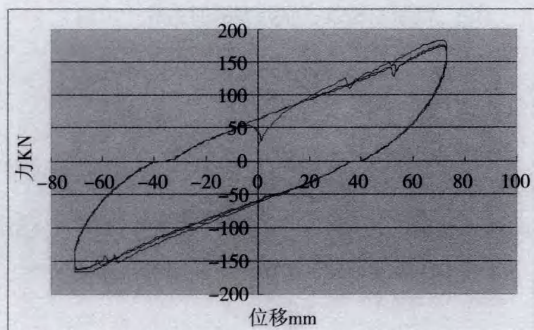
支座类型	水平力分散型	铅芯橡胶支座	高阻尼支座	超高阻尼支座
等效水平刚度最大变化率	%	2	4	-
等效阻尼比最大变化率	%	-	4	17

注：铅芯橡胶支座与水平力分散型支座试验频率为0.01~1Hz；超高阻尼橡胶支座试验频率为0.01~0.1Hz，高阻尼橡胶支座没有进行频率试验，因此没有提供出数据。

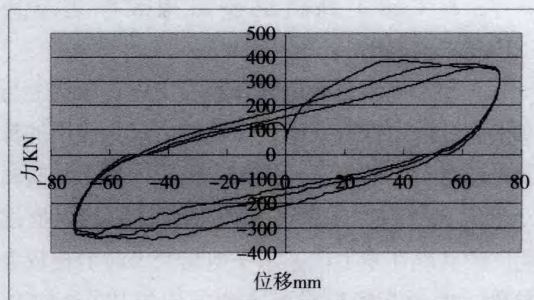
表4 支座疲劳情况下等效水平刚度、等效阻尼比最大变化率

支座类型	水平力分散型	铅芯橡胶支座	高阻尼支座	超高阻尼支座
等效水平刚度最大变化率	%	-	18	26
等效阻尼比最大变化率	%	-	13	25

注：铅芯橡胶支座试验次数为5000次，（超）高阻尼支座次数为3000次。



(a) 23℃温度情况下试验曲线



(b) 0℃温度情况下试验曲线

图7 未解决好温度性能的同—高阻尼橡胶支座不同试验温度情况下滞回曲线

### 2.3 小结

1) 水平力分散型橡胶支座与铅芯隔震橡胶支座的橡胶材料一样,其弹性较好,支座阻尼比较小(4%~6%),而通过增加铅棒,支座水平剪切曲线由直线变成折线,形成较饱满的滞回曲线,可以增大阻尼比(15%~20%)

2) (超)高阻尼橡胶支座通过调制特殊的橡胶配方,不使用铅棒,也可以增大支座的阻尼比,但高阻尼橡胶支座水平剪切曲线不是特别饱满,阻尼比还相对较小,而超高阻尼橡胶支座水平滞回曲线已几乎与铅芯橡胶支座的完全一致,其阻尼比超过18%;

3) (超)高阻尼橡胶支座的压力稳定性不如铅芯隔震橡胶支座,其水平剪切刚度及阻尼比随着竖向压力变化而变化较大;

4) 相对水平力分散型橡胶支座及铅芯橡胶支座来说,(超)高阻尼橡胶支座的耐环境温度性能稍差,特别是没有解决好温度性能的(超)高阻尼橡胶支座,应用于低温地区,可能会带来

严重后果;

5) 这几种橡胶隔震支座,其水平抗极限破坏能力都可以得到很好的解决,其剪应变都可达到300%以上。

### 3 不同隔震橡胶支座用于桥梁隔震效果的分析探讨

由前文可知,相对高阻尼橡胶支座而言,超高阻尼橡胶支座与铅芯隔震橡胶支座的耗能性能更接近。高阻尼支座的阻尼性能是介于水平力分散型橡胶支座与超高阻尼橡胶支座之间的一种隔震产品。因此,本文只选用水力分散型支座、铅芯隔震橡胶支座及超高阻尼橡胶支座进行实桥分析,对比隔震效果。

#### 3.1 工程简介

桥跨径为:(2×30+2×25)+4×30m,两联连续箱梁,桥宽10.5m,矩形墩柱120×120,桥址所在地抗震设防烈度为7度,基本加速度峰值为0.15g,场地类型为II类,桥型基本布置如图8所示。

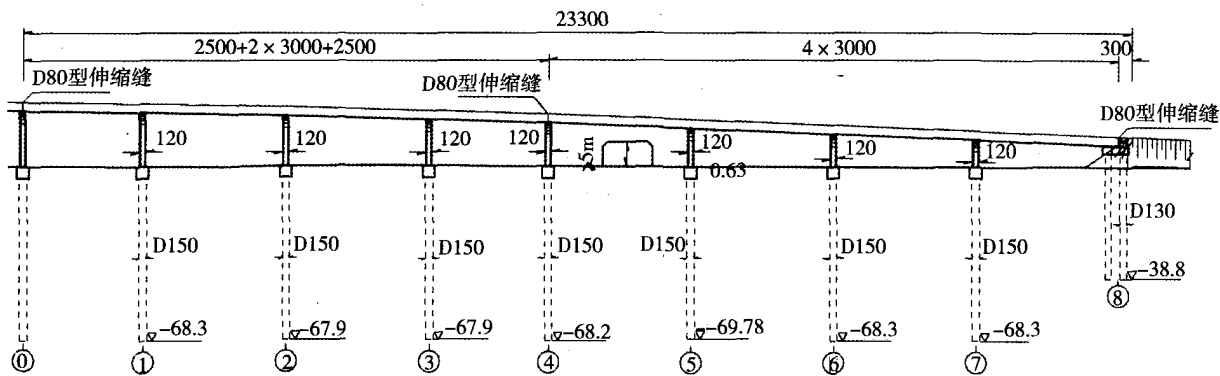


图8 桥型图

采用有限元程序Ansys对该大桥进行抗震计算,采用空间梁单元beam188模拟预应力混凝土连续梁桥的主梁和桥墩;二期恒载采用集中质量单元mass21模拟;主梁与边墩之间的联结用combine39单元来模拟。桥梁结构有限元计算模型简图如图9所示。

在建模时,各构件截面特性、连接方式及边界条件均按实际情况确定,较为真实地模拟实际结构的力学特点。

为了对比不同支座的抗震性能,现采用以下4种工况进行分析。

1) 抗震结构支座布置为常规方式:支座采用抗震盆式支座,2#、6#墩均采用一固定盆式支座,其余墩、台采用单向活动及双向活动盆式支座;

2) 使用水平力分散型橡胶支座作隔震装置;

3) 使用铅芯隔震橡胶支座作隔震装置;

4) 使用超高阻尼橡胶支座作隔震装置;

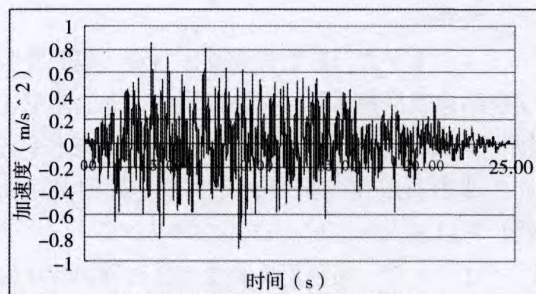
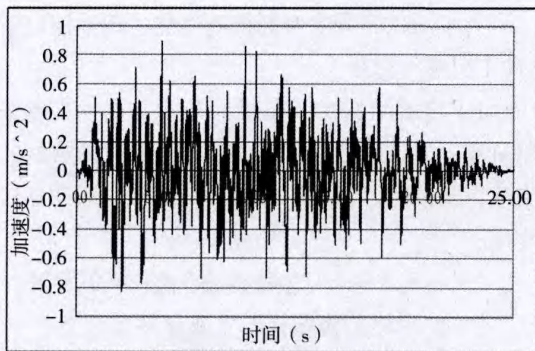
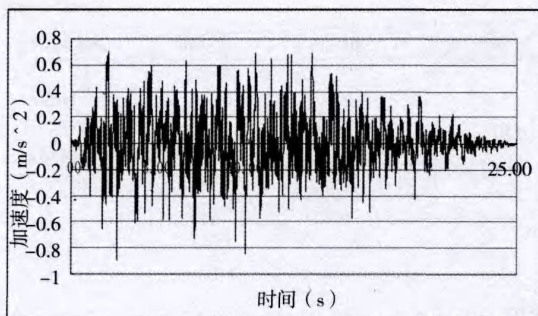


图9 有限元计算模型简图

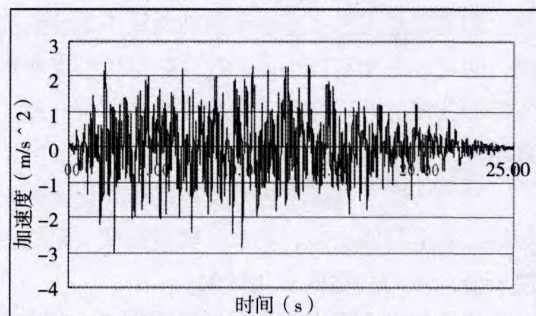
### 3.2 地震动输入

针对以上4种工况进行对于E1水准、E2水准分别进行3条输入地震动加速度时程分析。时程分析结果采用三条地震波响应结果的最大值。E1水准、E2水准的各条地震波时程曲线如图10所示:

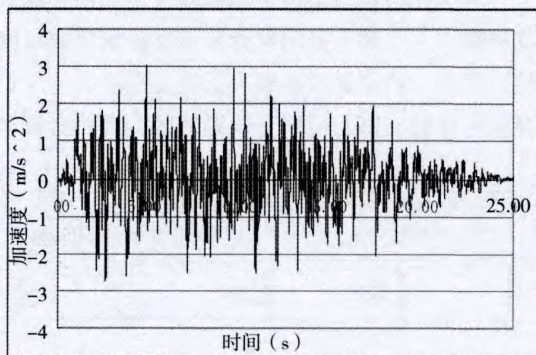
在进行该桥梁的地震时程响应计算时,依据公路工程抗震设计规范规定,应采用多条地震波进行计算分析,为便于比较,现选用三条地震波进行分析,分别为两条天然波(E1 Centro波和Kobe波),一条由设计反应谱拟合的人工波。E1下这三条地震波的加速度峰值为0.1g(E2下的加速度峰值为0.34g),时程分析结果采用三条地震波响应结果的最大值,未调整的地震波时程如图10所示:



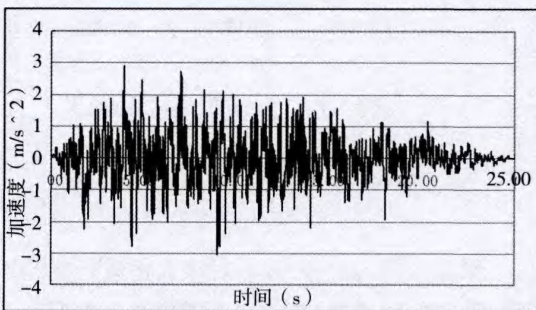
a) E1水准地震动时程



时间 (s)



时间 (s)



b) E2水准地震动时程

图10 地震波时程曲线

根据公路桥梁抗震设计细则(JTG/TB02-01-2008)里第5.1.1条规定,本文中采用的地震动输入模式为顺桥向和横桥向分别输入,不考虑竖向地震作用。

### 3.3 隔震方案及支座参数

在本文中,以下把未采取隔震装置的桥梁结

构简称为“抗震结构”，而把采用隔震装置的结构简称为“隔震结构”。在本报告中分别采取3种隔震方案，对上述抗震结构的动力计算模型进行了相应的修改。在本文所用各隔震支座规格相同，尺寸为720×720×294，参数如表5：

### 3.4 动力特性分析

连续梁的动力特性是研究连续梁动力行为的基础，其自振特性决定其动力响应的特性。经计

算分析，采用不同设计方案情况下4×30m连续梁桥的前10阶自振频率如表6所示：

抗震结构的基频为1.48Hz，结构前10阶振型特征主要表现为主梁纵飘、竖向弯曲振动和侧向弯曲振动，表现出连续梁桥结构体系的特点。与抗震结构相比，隔震结构的基频分别为0.559Hz，1.081Hz，0.916Hz，与抗震结构相比，基频有不同程度的减小，可以减小地震响应。

表5 隔震橡胶支座及其参数

支座类型	隔震装置设计参数			
	屈服力 kN	屈服前刚度 kN/mm	屈服后刚度 kN/mm	水平等效刚度 kN/mm
水平力分散型支座	--	--	--	2.7
铅芯隔震橡胶支座	317	14	2.2	3.7
超高阻尼橡胶支座	378	8.82	1.6	3.1

注：以上的参数是在剪切弹性模量G=1MPa，100%的剪应变情况下的数值。

表6 不同方案情况下结构自振频率及周期

序号	抗震结构	水平力分散型	铅芯隔震橡胶	超高阻尼橡胶支座
	频率 (Hz)	频率 (Hz)	频率 (Hz)	频率 (Hz)
1	1.4815	0.5590	1.0809	0.9162
2	1.7596	0.5661	1.1506	0.9635
3	2.0769	0.5736	1.1843	0.9748
4	2.5743	0.5847	1.1963	0.9903
5	2.9916	0.6902	1.4558	1.197
6	3.6221	0.7328	1.5851	1.2837
7	4.0651	2.1529	2.6179	2.424
8	4.0992	2.5299	2.9714	2.7821
9	4.4935	3.6124	3.6161	3.6146
10	5.1536	4.0612	4.063	4.0623

### 3.5 结构地震响应分析

本文采用时程法计算时，选用提供的3条地震波作用下结构地震响应的最大值，计算结果均

只考虑地震作用效应，由于只作隔震效果比较，未提取桩的受力。而且受篇幅所限，本文只提取E2地震作用下的数据进行比较（表7~表

表7 支座水平反力

位置	盆式支座		水平力分散型支座		铅芯隔震橡胶支座		超高阻尼橡胶支座	
	纵桥向 kN	横桥向 kN	纵桥向 kN	横桥向 kN	纵桥向 kN	横桥向 kN	纵桥向 kN	横桥向 kN
0#台顶	147.2	1008.2	446.2	360.2	466.8	356.5	465.6	398.7
1#墩顶	118.9	1998.3	368.3	362.5	383.9	369.8	408.3	404.5
2#墩顶	846.8	3834.6	384.8	394.7	387.1	404.3	412	434.4
3#墩顶	133.6	3529	396.2	400.2	395.2	412.5	420.9	433.2
4#墩顶	117.7/126	2987.5	363.2/375.8	369.5/423.3	369.6/346.5	387.2/386.5	403.8/406	409.7/414.2
5#墩顶	150.8	3403.7	428.3	460	387.5	418.4	420.9	445.7
6#墩顶	1368.4	3086.2	428.3	452.9	387.4	408.2	420.5	442.5
7#墩顶	143.6	2801.9	439.3	424.8	400.7	382.2	230	227.9
8#台顶	147.3	510.8	458.5	380.5	423.8	347.8	237.7	210.1

表8 梁位移

位置	盆式支座		水平力分散型支座		铅芯隔震橡胶支座		超高阻尼橡胶支座	
	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移
	mm	m	m	m	m	m	m	m
1#墩顶	0.056	0.038	0.166	0.147	0.077	0.070	0.107	0.069
2#墩顶	0.056	0.057	0.166	0.157	0.077	0.082	0.107	0.083
3#墩顶	0.056	0.043	0.166	0.157	0.077	0.084	0.107	0.083
4#墩顶	0.056/0.042	0.032	0.166/0.171	0.152/0.171	0.077/0.070	0.084/0.087	0.107/0.098	0.078/0.091
5#墩顶	0.042	0.025	0.171	0.176	0.070	0.085	0.098	0.093
6#墩顶	0.042	0.023	0.171	0.173	0.070	0.080	0.098	0.089
7#墩顶	0.042	0.014	0.171	0.161	0.070	0.066	0.098	0.076

表9 支座位移(剪切变形)

位置	盆式支座		水平力分散型支座		铅芯隔震橡胶支座		超高阻尼橡胶支座	
	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移
	mm	m	m	m	m	m	m	m
1#墩顶	0.050	0	0.136	0.134	0.050	0.060	0.076	0.056
2#墩顶	0	0	0.142	0.146	0.055	0.074	0.083	0.071
3#墩顶	0.051	0	0.147	0.148	0.057	0.075	0.088	0.073
4#墩顶	0.051/0.033	0	0.135/0.139	0.137/0.156	0.049/0.040	0.070/0.072	0.073/0.063	0.062/0.077
5#墩顶	0.039	0	0.159	0.170	0.059	0.080	0.086	0.087
6#墩顶	0	0	0.159	0.167	0.059	0.075	0.086	0.084
7#墩顶	0.040	0	0.163	0.157	0.063	0.063	0.090	0.072

表10 墩顶位移

位置	盆式支座		水平力分散型支座		铅芯隔震橡胶支座		超高阻尼橡胶支座	
	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移	纵桥向位移	横桥向位移
	mm	m	m	m	m	m	m	m
1#墩顶	0.016	0.038	0.031	0.013	0.033	0.013	0.037	0.015
2#墩顶	0.056	0.057	0.025	0.011	0.026	0.011	0.028	0.012
3#墩顶	0.010	0.043	0.021	0.009	0.021	0.010	0.023	0.010
4#墩顶	0.013	0.032	0.032	0.015	0.031	0.015	0.036	0.016
5#墩顶	0.005	0.025	0.013	0.006	0.011	0.006	0.013	0.006
6#墩顶	0.042	0.023	0.013	0.006	0.011	0.006	0.013	0.006
7#墩顶	0.003	0.014	0.008	0.004	0.007	0.004	0.008	0.004

表11 桥墩关键截面的地震内力响应

位置	盆式支座				水平力分散型支座				铅芯隔震橡胶支座				超高阻尼橡胶支座			
	纵桥向		横桥向		纵桥向		横桥向		纵桥向		横桥向		纵桥向		横桥向	
	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN	M (kN·m)	Q kN
1#墩顶	2277.9	271.9	7637.3	1212.1	4100.8	382.4	2586.7	405.9	4386.8	428.9	2697.3	439.4	4963.9	485.2	2998.3	481.9
2#墩顶	8602.2	875.8	13416.5	2297.1	3940.6	404.8	2589.3	436.2	4100.6	434.8	2619.9	458.1	4530.2	486.9	2872.1	495.7
3#墩顶	1939.5	244.9	11329.6	2058.4	3760.3	416.7	2454.3	440.4	3884	453.6	2491.3	452.3	4164.9	482.9	2721.3	496.8
4#墩顶	2641.4	351.6	9273	1783.4	6420.9	738.7	4389.7	813.6	6335.7	742	4430	834.6	7370.3	865.7	4574.4	853.7
5#墩顶	1458.8	236.2	9158.7	1980	3280.1	435.5	2282	477.1	3049.5	409.7	2131	454.8	3347.7	453.1	2358.2	502.7
6#墩顶	10631.4	1377.7	8422.4	1827.7	3279.7	435.5	2244.1	470.2	3048.8	418.1	2088.4	446.5	3347.6	453.1	2309.8	496
7#墩顶	1115.8	207.9	6592.4	1645.6	2900.2	441.2	1837.5	441.1	2608.8	417.5	1705.4	418.7	2935.9	467.1	1896.1	466.8

### 3.6 小结

1) 与传统的抗震结构相比,用各种隔震橡胶支座设计以后,桥梁基频有一定程度的减小,可以减小地震响应。

2) 与传统抗震方法相比,使用橡胶隔震装置的隔震设计都可以大幅度减小地震力引起的上部梁结构对下部墩体结构作用力。在E2地震下水水平力分散型支座、铅芯橡胶支座和超高阻尼橡胶支座在顺桥向的最大隔震率分别为68%、69%和67%,横桥向的最大隔震率分别为81%、80%和78%。隔震率是指以下结构受力的比值:(非隔震结构-隔震结构)/非隔震结构。在顺桥向布置活动支座的墩上,其隔震率均为负值,那是由于这些墩在抗震结构中根本不承担什么地震力,使用隔震方式后,这些墩力值增大恰恰使墩底内力分布更加合理,减少内力分布集中于某一固定墩上,使地震力均匀分配到各个墩上。

本分析中,是假定支座不会破坏,实际上,根据计算结果,抗震方式的固定支座在E2地震作用顺桥向受力达到了竖向承载力的31%,而横桥向达到了竖向承载力的68%,一些单向活动支座的横桥向受力也达到了竖向承载力的50%以上,支座早已经被破坏。虽然说支座破坏可能对桥墩受力有些好处,但由于失去支撑,梁体也将发生很大的损坏甚至发生落梁。

3) 水平力分散型支座结构、铅芯橡胶支座结构和超高阻尼橡胶支座结构在E2水准地震作用下,主梁纵向最大位移分别为0.171m、0.077m和0.109m,主梁横向最大位移分别为0.176m、0.085m和0.093m。由于几乎没有耗能能力,使用水平力分散型支座比使用铅芯橡胶支座或是超高阻尼橡胶支座进行隔震,地震位移反应大得多。

4) 对于几种类型隔震设计,E2地震情况下,伸缩缝位置的4号墩,比其余各墩受力都大得多,原因是该处设置了与其余墩相同参数的隔震支座,因此,设计时一定要考虑这种现象。

## 4 结论

1) 各类橡胶隔震支座性能均可控,均可很好地应用于隔震结构当中。但相对来说,水平力

分散型橡胶支座与铅芯隔震橡胶支座的各种稳定更好,研究得也更成熟。特别是温度性能及疲劳性能,铅芯隔震橡胶支座要明显优于高阻尼橡胶类支座。

2) 地震区合理使用了隔震橡胶支座以后,延长了结构的自震周期,有利于减小结构的地震加速度响应;分析结果表明,使用传统的钢支座作抗震设计,支座所承受的水平力,远远超出传统所谓抗震盆式支座所能承受的能力(水平力为竖向承载力的20%);即使专门针对水平力进行支座设计,一是支座本身结构不太合理,二是设计出的支座可以抵抗地震力,但其巨大的力也要传递到墩台结构,使墩台结构难以设计。

3) 几种橡胶类隔震支座,对减少结构地震力均起到非常好的效果,使墩顶变形得到大幅减小,并且铅芯隔震橡胶支座、超高阻尼橡胶支座,对地震引起的梁的位移,也得到较好的控制。但对于水平力分散型橡胶支座,由于其几乎没有耗能能力,地震引起的梁的位移非常大,相对于其它几种支座,位移至少大了50%以上,因其价格与铅芯隔震橡胶支座或超高阻尼支座相比并没有多大优势,建议桥梁隔震尽量不使用该类型支座;

4) 使用隔震设计以后,两联梁之间设置了伸缩装置的墩,由于两边的梁均有力传递到墩,受力明显增大很多。设计时应调节该处隔震支座的水平刚度,以使力的分配更加合理;

5) 从使用几种型式隔震橡胶支座的分析结果来看,铅芯隔震橡胶支座的综合结果还是最理想的,但随着人类对环保的日益重视,使用无污染金属铅的超高阻尼橡胶支座取代铅芯隔震橡胶支座,应该是大势所趋,即使其效果稍微有些差异,也还是可以接受的。但现阶段,对于一些重要的工程,还是应该慎重,尽量使用已经得到大规模应用,工艺性能更加稳定、成熟的铅芯隔震橡胶支座。特别是一些没有解决温度性能的高阻尼橡胶支座,若被应用于超低温地区,可能带来严重后果。



## 参考文献

- [1] 栗林荣一. 1995年1月17日日本神户地震(兵库县南部地震)调查报告. 世界地震工程, 1995年5月. 第2期
- [2] 陈乐生. 汶川地震公路震害与分类. 西南公路, 2010年第2期
- [3] 庄卫林, 将劲松. 四川公路桥梁震后抢通、保通及恢复技术. 西南公路, 2010年第2期
- [4] 卓卫东, 范立础. 从震害教训中反思我国桥梁抗震设计现状. 福州大学学报(自然科学版), 1999年6月. 第27卷第3期
- [5] 阮立冬. 汶川大地震梁桥震害分析及梁桥抗震措施研究. 科技信息, 2010年第3期
- [6] 王东升, 王吉英, 孙治国等. 汶川大地震简支梁桥落桥震害与设计对策. 防灾减灾工程学报, 2011年10月. 第31卷第5期
- [7] 李龙安. 地震灾害对铁路桥梁的影响及抗震设计与减隔震控制研究. 西南公路, 2011年第2期
- [8] 王克海, 李茜, 韦韩. 汶川地震对我国地震区划图与桥梁抗震设计的启示. 工程力学, 2010年6月. 第27卷第6期
- [9] 王东升, 孙治国, 郭迅等. 汶川地震桥梁震害经验及抗震研究若干新进展. 公路交通科技, 2011年10月. 第28卷第10期
- [10] 李丽娜, 吴彬. 浅析日本桥梁中桥墩的抗震设计方法. 科技情报开发与经济, 2010年. 第20卷17期
- [11] 占劲松, 胡长福. 汶川地震对桥梁抗震的思考. 交通科技, 2010年第1期
- [12] JTG/T B02-01-2008. 公路桥梁抗震设计细则. 北京: 人民交通出版社, 2008
- [13] TJ004-89. 公路工程抗震设计规范. 北京: 人民交通出版社, 1989
- [14] Soong T.T., Dargush G.F. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering.; 董平译. 北京: 科学出版社, 2005
- [15] Nakashima, M., Kato, H. and Takaoka, E. Development of Real-time Pseudo Dynamic Testing[J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 1992, 21: 79-92.
- [16] Ian Buckle., Satish Nagarajaiah. and Keith Ferrell. Stability of Elastomeric Isolation Bearings: Experimental Study[J]. J. Struct. Eng., 2002, 3-11
- [17] 周云. 粘滞阻尼减振结构设计. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2006.11
- [18] 周云. 摩擦耗能减振结构设计. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2006.11
- [19] 周云. 金属耗能减振结构设计. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2006.11
- [20] 周云. 粘弹性阻尼减振结构设计. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2006.11
- [21] 焦弛宇, 李建中. 桥梁新型减隔震支座的研究进展. 结构工程师, 2007年6月. 第23卷3期
- [22] Yuan, Y., Aoki, T. and Yamamoto, Y. Experiment Study of the Dynamic Behavior of high-damping-rubber bearing isolator[C] //the First International conference on Advances in Experimental Structural Engineering. Nagoya, Japan 2005: 505-511.
- [23] 资道铭, 陈长海, 袁涌. 大跨连续刚构桥桥墩抗震性能分析研究. 振动与冲击, 2011年. 第30卷第5期
- [24] 吴彬, 庄军生. 铅芯橡胶支座力学性能及其在桥梁工程中减、隔震应用研究. 中国铁道科学, 2004年8月. 第25卷4期
- [25] 江海波, 廖蜀樵. 铅芯橡胶支座隔震效果分析. 城市轨道交通, 2005年. 第3期
- [26] 庄学真, 沈朝勇, 金建敏. 桥梁高阻尼橡胶支座力学性能试验研究. 地震工程与工程振动, 2006年10月. 第26卷5期
- [27] 薛晓峰, 胡兆同, 刘健新. 高阻尼橡胶耗能性能研究. 公路交通科技, 2006年3月. 第23卷第3期
- [28] 袁涌, 朱昆等. 高阻尼橡胶隔震支座的力学性能及隔震效果研究. 地震工程与工程振动, 2008年6月. 第30卷3期
- 公路桥梁铅芯隔震橡胶支座. 北京: 人民交通出版社, 2012.1

## 信息视窗

## JT/T850-2013 《挤压锚固钢绞线拉索》 正式批准发布实施

根据中华人民共和国交通运输部公告(2013年第30号文件), 由柳州欧维姆机械股份有限公司主持制订, 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院联合起草制订的交通运输行业标准《挤压锚固钢绞线拉索》已获批准, 并于2013年5月1日起正式发布实施。

挤压锚固钢绞线拉索具有锚固可靠、结构尺寸紧凑和隔离防腐等优点, 适用于拱桥吊杆和系杆、桥梁拉索、岩土锚索等建筑结构用索, 小吨位拉索特别适合用于景观性强的建筑及桥梁工

程。当前, 挤压锚固钢绞线拉索的市场前景非常广阔, 该标准的发布实施不仅能规范产品的生产和检验, 确保工程质量, 同时为设计单位引用该产品提供了强有力的验收依据, 对提高产品市场竞争力起到了良好的促进作用。

柳州欧维姆机械股份有限公司自1993年起, 共参与制修订国家标准10项, 行业标准40项。企业参与国标、行标的制修订研究是时代发展的必然趋势, 是企业发展的必经之路, 它已成为欧维姆公司标准化工作的重点。 (周丹丹)