

文章编号: 1674—8247(2018)01—0053—03

## 双曲面球型减隔震支座在铁路桥梁上的应用

罗登发<sup>1</sup> 郭占元<sup>2</sup> 戴胜勇<sup>2</sup> 陈建峰<sup>2</sup>

(1. 洛阳双瑞特种装备有限公司, 洛阳 471000; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**减隔震型支座作为桥梁实现抗震、减震的有效方法和重要手段,已经成为桥梁抗震设计的首选。双曲面球型减隔震支座具有双球面的球体,利用简单的钟摆机理延长桥梁的自振周期,从而降低加速度反应,并通过桥身自重提供所需的自复位能力,帮助桥梁上部结构回到原来的位置,具有完备的减震功能,良好的耐久性能,适合在震区桥梁上大面积推广使用。

**关键词:**梁桥; 双曲面; 减隔震支座

**中图分类号:**U441<sup>+</sup>.3 **文献标志码:**A

## Application of Hyperboloid Spherical Isolation Bearing on Railway Bridge

LUO Dengfa<sup>1</sup> GUO Zhanyuan<sup>2</sup> DAI Shengyong<sup>2</sup> CHEN Jianfeng<sup>2</sup>

(1. Luoyang Sunrui Special Equipment Co., Ltd., Luoyang 471000, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Isolation bearing has become a preferred choice of aseismic design of bridge regarding as effective and important solution for resisting earthquake. Hyperboloid spherical solution bearing has hyperboloid sphere, using simple pendulum mechanism to extend bridge natural vibration period to reduce acceleration reactions. And the bearings help superstructure of bridge restore original position through self-restoration due to bridge self-weight. In conclusion, spherical isolation bearings possess complete earthquake resisting function and good durability which are suitable to be widely applied on bridges in seismic zone.

**Key words:** bridge; hyperboloid, isolation bearing

我国是一个地震多发国家,分布有较多的地震带,因此抗震性是桥梁设计时需要考虑的重要因素,减隔震设计是一种能有效减轻结构在地震中遭受损坏的设计方法<sup>[1]</sup>。使用减隔震桥梁支座是桥梁实现减隔震的有效方法和重要手段<sup>[2]</sup>。使用减隔震桥梁支座进行减隔震的目的是当桥梁受到地震力的作用时,能够避免或减小桥梁的破坏<sup>[3-4]</sup>。要达到这个目的,可通过延长桥梁的基本周期,避开地震力作用的高峰期间,从而降低桥梁受到的地震力。

### 1 双曲面球型减隔震支座

为了减小地震引起桥梁结构的破坏,各国学者对桥梁结构的减、隔震进行了广泛、深入的研究,并取得了大量的研究成果。研究表明:对于桥梁结构比较容易实现和有效的减震方法主要是采用减隔震支座。在日本、美国、新西兰等国家的许多桥梁都安装了减隔震支座,并取得了较好的减震效果。

双曲面球型减隔震支座是在成熟的球型支座基础上,借鉴了摩擦摆支座的工作原理而开发的一种新型

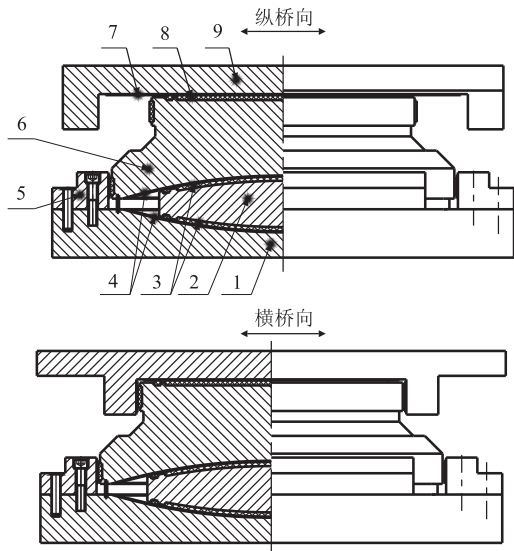
收稿日期:2017-08-04

作者简介:罗登发(1962-),男,高级工程师。

引文格式:罗登发,郭占元,戴胜勇,等. 双曲面球型减隔震支座在铁路桥梁上的应用[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):53-55.

LUO Dengfa, GUO Zhanyuan, DAI Shengyong, et al. Application of Hyperboloid Spherical Isolation Bearing on Railway Bridge[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 53-55.

减隔震支座。其主要技术特点是它采用了大半径的球面摩擦副,并设置抗剪装置,双球面的球体设计使其在竖向荷载作用下曲面压应力均匀,在地震不发生的情况下,其功能与普通球型支座一致,可满足桥梁的正常运行。但当地震发生后,其抗剪装置被剪断,支座可以在任何方向滑动,梁体沿球面升高后通过梁体自重实现自复位,利用钟摆机理延长了桥梁的自振周期,从而降低加速度反应,起到减隔震作用。相比摩擦摆支座,双曲面球型减隔震支座具有更加完备的减震功能、优异的抗震性能、良好的耐久性能以及较长的使用寿命,适合在震区桥梁上大面积推广使用。双曲面球型减隔震支座结构如图1所示。



1. 下座板; 2. 中座板; 3. 双球面聚乙烯滑板; 4. 双球面不锈钢滑板; 5. 限位板; 6. 上座板; 7. 平面不锈钢滑板; 8. 平面聚乙烯滑板; 9. 顶座板

图1 纵向活动双曲面球型减隔震支座结构图

双曲面球型减隔震支座设计参数与桥梁自身结构关系密切,支座吨位、水平剪断力、支座位移等决定支座尺寸、曲面半径等参数。以吨位3 000 kN、0.2 g 支座为例,支座设计参数及滞回曲线如表1和图2所示。

表1 支座设计参数

型号	竖向承载/kN	设计震后位移/mm	设计摩擦系数	屈后刚度/(kN/m)	自动复位能力	球面曲率半径/m
3000-0.2g	3 000	±100	0.02~0.03	2 000	具备	1.5

从实验结果可知,支座的滞回曲线丰满,具有比较大的等效阻尼系数,曲线规则,重复性好,达到了设计要求的屈后刚度;水平摩擦系数符合设计要求;支座具有自复位能力,可以达到预期的减隔震效果。

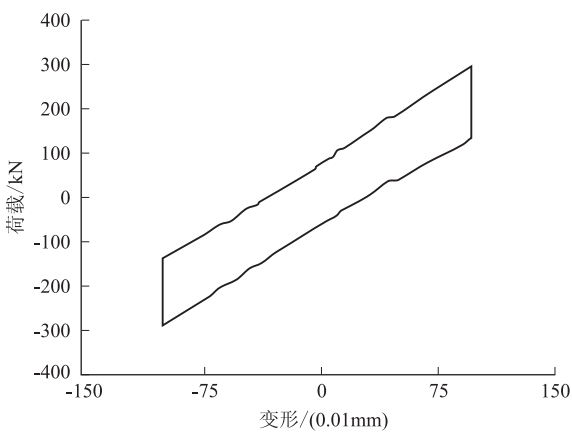


图2 支座滞回曲线

2 双曲面球型减隔震支座应用分析

2.1 桥型概况

选取在建某线上四种跨度(32+48+32)m、(32+56+32)m、(40+64+40)m和(48+80+48)m标准单箱单室连续箱梁,采用双曲面球型减隔震支座后进行抗震仿真分析,连续梁基本参数如表2所示。

表2 某线典型连续梁参数表

梁型	设计活载	地震动峰值加速度	地震动反应谱特征周期	墩高/m
40+64+40	中—活载	0.3 g	0.55 s	36、38、39、21
32+56+32	中—活载	0.3 g	0.4 s	17、13、14、14.5
32+48+32	中—活载	0.2 g	0.4 s	21、24.5、25.5、27
48+80+48	中—活载	0.15 g	0.4 s	20、17、17、19.5

2.2 仿真模型

如图3所示,建立各桥梁空间计算模型,建模时考虑了桩基,通过桩基计算中的地基比例系数换算成桩节点的节点弹性支撑<sup>[5]</sup>,施加在桩节点上来考虑地基变形的影响。桥墩和桩均采用梁单元进行建模,墩底与桩顶以刚性连接进行连接。支座采用摩擦摆单元进行模拟,支座下部节点与梁顶节点以刚性连接进行连接。分别按有车、无车进行计算:当桥上有车时,顺桥向不计算活载引起的地震力;横桥向计入50%活载引起的地震力,作用于轨顶以上2 m处,活载竖向力按列车竖向静活载的100%计算。

2.3 地震动输入

对每座连续梁,计算输入3条人工拟合的地震波,取3组计算结果的最大值<sup>[6]</sup>。本文仅列出0.3 g、0.55 s人工拟合地震波时程曲线图,如图4~图6所示。

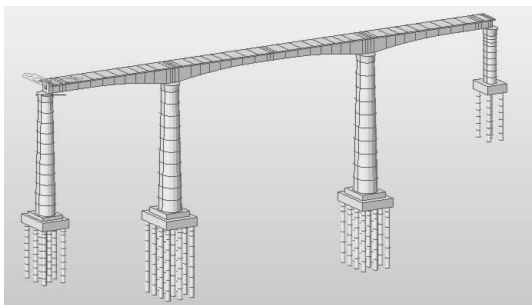


图 3 (40+64+40) m 连续梁空间计算模型

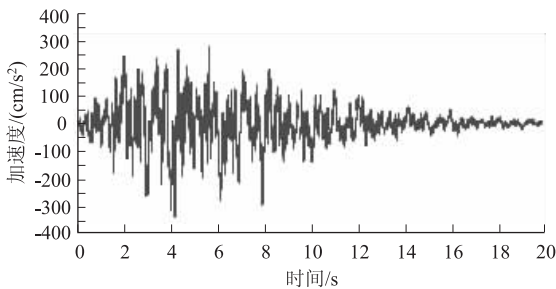


图 4 0.3 g、0.55 s 人工拟合地震波 1

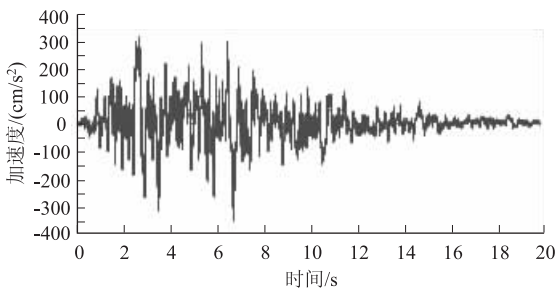


图 5 0.3 g、0.55 s 人工拟合地震波 2

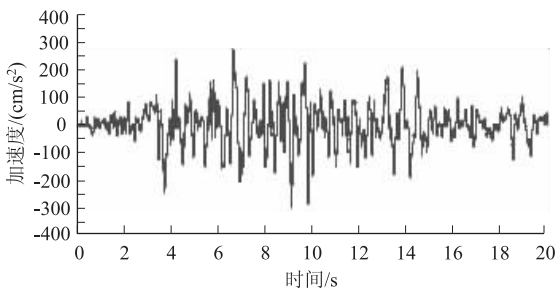


图 6 0.3 g、0.55 s 人工拟合地震波 3

2.4 结果分析

为了直观的体现减隔震支座的减震效果,本文采用墩底弯矩减震率  $P$  来表达计算结果,采用减隔震支座模型计算的墩底弯矩为  $M_j$ ,采用普通支座模型计算的墩底弯矩为  $M_p$ ,减震率为:

$$P=1-M_j/M_p$$

各模型计算结果对比如表 3~表 6 所示。

从表 3 中可以看出,采用双曲面球型减隔震支座后,2 号固定墩减震率达到 83%。纵桥向最大位移为 194 mm。

表 3 (40+64+40) m 连续梁计算结果对比表

墩号	纵向有车		横向无车		横向有车	
	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%
1	157	61	135	80	134	80
2	162	85	139	83	140	83
3	170	60	160	78	162	83
4	194	67	193	69	194	73

表 4 (32+56+32) m 连续梁计算结果对比表

墩号	纵向有车		横向无车		横向有车	
	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%
7	127	50	130	70	127	76
8	138	80	132	80	129	80
9	125	52	133	77	129	78
10	122	74	129	67	123	74

从表 4 中可以看出,采用双曲面球型减隔震支座后,8 号固定墩减震率达到 80%。纵桥向最大位移为 138 mm。

表 5 (32+48+32) m 连续梁计算结果对比表

墩号	纵向有车		横向无车		横向有车	
	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%
48	62	58	55	64	54	67
49	59	73	57	65	56	63
50	67	79	61	73	59	68
51	67	67	64	62	62	69

从表 5 中可以看出,采用双曲面球型减隔震支座后,50 号固定墩减震率达到 68%。纵桥向最大位移为 67mm。

表 6 (48+80+48) m 连续梁计算结果对比表

墩号	纵向有车		横向无车		横向有车	
	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%	支座位移/mm	减震率 P/%
63	54	70	56	73	52	73
64	52	79	56	82	50	79
65	60	72	55	81	50	78
66	58	74	55	72	52	72

从表 6 中可以看出,采用双曲面球型减隔震支座后,64 号固定墩减震率达到 79%。纵桥向最大位移为 60 mm。

综合上述结果,采用双曲面球型减隔震支座后,(40+64+40) m 连续梁地震最大位移为 194 mm;最大减震率为 85%,最小减震率为 60%;(32+56+32) m 连续梁地震最大位移为 138 mm,最大减震率为 80%,最

(下转第 89 页)

(2) 经过现场监测分析掌握了隧道变形的规律和特点,根据分析结果及时指导进行施工组织优化,既控制了隧道变形,同时加快了施工的进度,取得了月成洞 55 m 的效果。

(3) 根据监测情况尝试采用三台阶加中立柱工法施工,既有效控制了隧道变形,又创造了作业空间利于大型设备作业,做到了快速封闭。

(4) 综上所述,能否解决膨胀土围岩隧道施工过程中的围岩稳定性,使其开挖后变形控制在一定范围内,并进行快速掘进封闭,是富水强膨胀围岩隧道施工的关键所在。

参考文献:

[1] 覃仁辉.隧道工程[M].重庆:重庆大学出版社,2001.  
QIN Renhui. Tunnel Engineering [ M ]. Chongqing: Chongqing University Press,2001.  
[2] 于书翰,杜漠远.隧道施工[M].北京:人民交通出版社,1999.

YU Shuhan, DU Moyuan. Tunnel Construction[M]. Beijing: China communication press,1999.  
[3] 铁建设[2004]8号,新建时速200公里客货共线铁路工程施工质量验收暂行标准[S].  
Tie Jian She [2004] No. 8, Temporary standard for acceptance of construction quality of 200 km/h new mixed passenger and freight railway engineering [S].  
[4] TB 10012-2001《铁路工程地质勘察规范》[S].  
TB 10012-2001 Code of Railway Engineering Gedogy Survey[S].  
[5] 蒋爵光.隧道工程地质[M].北京:中国铁道出版出版,1991.  
JIANG Jueguang. Tunnel Engineering Geology [ M ]. Beijing: China Railway Press,1991.  
[6] 关宝树.隧道及地下工程[M].成都:西南交通大学出版社,2000.  
GUAN Baoshu. Tunnel and Underground Engineering[ M ]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press,2000.  
[7] TZ 204-2008 铁路隧道工程施工技术指南[S].  
TZ 204-2008 Technical guide for railway tunnel engineering construction[S].

(编辑:车晓娟 苏玲梅)

(上接第 55 页)

小减震率为 50%;(32+48+32)m 连续梁地震最大位移为 67 mm,最大减震率为 79%,最小减震率为 58%;(48+80+48)m 连续梁地震最大位移为 60 mm,最大减震率为 82%,最小减震率为 70%。

固定墩由于承受荷载大,桥墩和基础均会控制下部设计,从上述结果看,固定墩最大减震率为 83%,最小减震率为 68%,减震效果十分显著。

由于双曲面球型减隔震支座在地震作用下会发生较大的位移,(32+56+32)m 连续梁地震最大位移为 138 mm,设计时应予以考虑。对于常规跨度连续梁,若位移小于 150 mm,建议采用增加梁缝值来满足位移要求。若位移大于 150 mm,为避免支座尺寸过大和设置大位移伸缩缝,建议墩梁间设置阻尼器,通过减隔震支座+阻尼器来满足设计要求。阻尼器参数应根据具体工点具体设计,与减隔震支座匹配。

3 结束语

(1) 在不同地震动峰值加速度情况下,采用双曲面球型减隔震支座,均可有效降低连续梁体系桥墩的地震响应,减震率均在 50% 以上,有利于防止落梁,有效保护桥墩和基础,固定墩最大减震率为 83%,最小减震率为 68%,可大大减小固定墩尺寸,优化基础设计。

(2) 减隔震支座的减隔震效果与桥梁自身刚度密

切相关<sup>[7]</sup>,本文仅以特定工点的支座减隔震效果作为参考,具体设计时,应根据工点实际情况建立完整的分析模型进行支座匹配设计,以达到最佳的减隔震效果。

参考文献:

[1] GB 50111-2006 铁路工程抗震设计规范(2009 年版)[S].  
GB 50111-2006 Code for Seismic Design of Railway Engineering (2009)[S].  
[2] TB 10002.5-2005 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].  
TB 10002.5-2005 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert[S].  
[3] 范立础,王志强.桥梁减隔震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.  
FAN Lichu, WANG Zhiqiang. Bridge Isolation Design [ M ]. Beijing: China Communications Press,2001.  
[4] 范立础,胡世德,叶爱君.大跨度桥梁抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.  
FAN Lichu, HU Shide, YE Aijun. Seismic Design for Long Span Bridges [ M ]. Beijing: China Communications Press,2001.  
[5] 王克海.桥梁抗震研究[M].北京:中国铁道出版社,2007.  
WANG Kehai. Anti-seismic Research of Bridge [ M ]. Beijing: China Railway Publishing House,2007.  
[6] JTG/TB 02-01-2008 公路桥梁抗震设计细则[S].  
JTG/TB 02-01-2008 Rules for Seismic Design of Highway Bridges [S].  
[7] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.  
FAN Lichu. Bridge Anti-Earthquake [ M ]. Shanghai: Tongji University Press,1997.

(编辑:车晓娟 白雪)