

大直径高阻尼隔震橡胶支座力学性能的研究

袁维娜, 魏德超, 温文露, 黄兆明, 张远喜*, 管庆松, 唐均, 张志强
(震安科技股份有限公司 云南省工程结构减隔震应用工程研究中心, 云南 昆明 650041)

摘要: 对直径为1 500 mm的高阻尼隔震橡胶支座(HDR1500支座)的力学性能测试值与设计值进行对比研究。结果表明:HDR1500支座的水平性能剪应变相关性测试值与设计值偏差在±20%以内, 竖向压缩性能、水平性能剪应变相关性、水平性能频率相关性和反复加载相关性测试值均满足EN 15129:2018要求;各支座力学性能偏差较小, 稳定性好。

关键词: 大直径; 高阻尼; 隔震橡胶支座; 力学性能; 设计值; 测试值; 竖向压缩性能; 水平性能

中图分类号: TQ336.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)05-0371-05

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.05.0371



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

高阻尼隔震橡胶支座采用高阻尼橡胶材料与钢板叠加而成^[1], 不需要加入铅芯, 本身具有耗能作用, 避免其加工过程中对工人身体的伤害及环境的污染。与铅芯支座相比, 高阻尼隔震橡胶支座在大剪应变时能够提供更高的阻尼性能, 可以有效地保证工程结构的安全, 因此被越来越广泛地用于桥梁与建筑隔震领域。随着建筑房屋、桥梁的跨度越来越大, 大直径高阻尼隔震橡胶支座的用量将越来越大。大直径高阻尼隔震橡胶支座制作难度大, 力学性能难以控制, 其力学性能的可靠性和稳定性对工程结构的安全性有着至关重要的作用^[2], 因此对大直径高阻尼隔震橡胶支座的力学性能进行研究变得越来越迫切。

本工作对直径为1 500 mm的高阻尼隔震橡胶支座(HDR1500支座)的力学性能进行理论设计, 并进行实测, 检验力学性能测试值与设计值的相符程度, 研究其变化规律。

1 实验

1.1 试样

3个HDR1500支座(编号分别为HDR1500-1, HDR1500-2和HDR1500-3), 震安科技股份有限公司产品, 主要设计技术参数: 加劲钢板外径(d_0) 1 500 mm, 加劲钢板内径(d_i) 80 mm, 橡胶层

总厚度(T_r) 275 mm, 单层胶片厚度(t_r) 7.64 mm, 第一形状因数(S_1) 46.5, 第二形状因数(S_2) 5.45, 支座有效面积(A) 1 761 226 mm², 橡胶剪切模量(G) 0.70 MPa, 橡胶等效阻尼比(ζ) 18%。

1.2 主要仪器

电液伺服压剪试验机(最大垂向荷载为35 MN, 最大水平荷载为8 MN, 最大水平位移为1 000 mm), 济南三越测试仪器有限公司产品。

1.3 性能测试

高阻尼隔震橡胶支座各项力学性能均按照EN 15129:2018^[3]进行测试。

2 结果与讨论

2.1 竖向压缩性能

2.1.1 竖向压缩刚度设计值

隔震橡胶支座竖向压缩刚度(K_v)^[4]计算公式如下:

$$K_v = \frac{AE_c}{nt_r} \quad (1)$$

$$E_c = \left[\frac{1}{E_{ap}} + \frac{1}{E_{\infty}} \right]^{-1} \quad (2)$$

$$E_{ap} = E_0(1 + 2\kappa S_1^2) \quad (3)$$

式中, E_c , E_{ap} , E_{∞} , E_0 分别为橡胶修正压缩弹性模量、橡胶表观弹性模量、橡胶体积弹性模量和橡胶弹性模量, n 为内部橡胶层数, κ 为与橡胶硬度有关的弹性模量修正系数。

各参数取值(来源)^[5]: G 0.7 MPa, E_0 3.25

作者简介: 袁维娜(1984—), 女, 山东日照人, 震安科技股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事建筑、桥梁减隔震橡胶制品的技术研究工作。

*通信联系人(840456097@qq.com)

MPa (P. B. Lindley), $\kappa = 0.64$, $E_{\infty} = 2\,090$ MPa (P. K. Freakley 和 A. R. Gent)。根据经验, E_{∞} 取 P. K. Freakley 和 A. R. Gent 的设计参数更接近试验值。

根据公式(1)~(3)及上述各参数取值计算得出HDR1500支座竖向压缩刚度设计值为 $10\,859\text{ kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。

2.1.2 竖向压缩刚度测试值

HDR1500支座的竖向压缩性能按照EN 15129:2018进行测试,结果如表1所示。竖向压缩刚度在 $1/3N_{\text{Sd,SLS}}$ 至 $N_{\text{Sd,SLS}}$ 压力范围内加载,取第3次循环的结果^[2], $N_{\text{Sd,SLS}}$ 为支座承受的永久荷载与非地震活动荷载之和。

表1 HDR1500支座的竖向压缩性能测试值

项 目	HDR1500-1	HDR1500-2	HDR1500-3
$N_{\text{Sd,SLS}}/\text{kN}$	21 135	21 135	21 135
$1/3N_{\text{Sd,SLS}}/\text{kN}$	7 045	7 045	7 045
$1/3N_{\text{Sd,SLS}}$ 下压缩			
变形/mm	0.64	0.66	0.70
$N_{\text{Sd,SLS}}$ 下压缩变形/mm	1.93	1.98	2.05
竖向压缩刚度/ ($\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$)	10 922	10 674	10 437
竖向压缩刚度与 设计值偏差/%	+0.58	-1.70	-3.90

从表1可以看出,HDR1500支座的竖向压缩刚度测试值与设计值很接近,偏差非常小,均在 $\pm 5\%$ 以内,该套计算竖向压缩刚度的理论方法及各参数的取值具有实用性。此外,3个支座的竖向压缩刚度偏差最大为4.48%,支座力学性能稳定可靠。

2.2 水平性能剪应变相关性

隔震橡胶支座水平等效刚度($K_{\text{eff,b}}$)计算公式^[5]如下:

$$K_{\text{eff,b}} = \frac{G(\gamma)A}{T_r} \quad (4)$$

$$G(\gamma) = G_{\text{eq}}(\gamma) \cdot G \quad (5)$$

$$G_{\text{eq}}(\gamma) = 2.855 - 3.878\gamma + 2.903\gamma^2 - 1.016\gamma^3 + 0.1364\gamma^4 \quad (6)$$

式中, $G(\gamma)$, G 和 $G_{\text{eq}}(\gamma)$ 分别为不同剪应变橡胶的剪切模量、 $\gamma=1$ 时橡胶剪切模量和不同剪应变橡胶剪切模量修正系数, γ 为剪应变。

$$\xi_{\text{eff,b}}(\gamma) = \xi_{\text{eq}}(\gamma) \cdot \xi \quad (7)$$

$$\xi_{\text{eq}}(\gamma) = 0.915 + 0.2364\gamma - 0.1804\gamma^2 + 0.02902\gamma^3 \quad (8)$$

式中, $\xi_{\text{eff,b}}(\gamma)$ 为不同剪应变下支座等效阻尼比; $\xi_{\text{eq}}(\gamma)$ 为不同剪应变下支座等效阻尼比修正系数; ξ 为 $\gamma=1$ 时支座等效阻尼比。

国内关于高阻尼隔震橡胶支座力学性能计算的理论经验公式研究非常少,暂无参考依据。根据日本研究的经验公式(6)和(8),计算不同剪应变下HDR1500支座水平等效刚度和等效阻尼比,结果如表2所示。

表2 HDR1500支座水平性能剪应变相关性设计值

剪应变/%	水平等效刚度/ ($\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$)	等效阻尼比
5	11.96	0.167
10	11.19	0.169
20	9.81	0.172
50	6.83	0.179
100	4.48	0.180

测试的不同剪应变下HDR1500支座水平荷载-位移滞回曲线如图1所示,根据图1计算不同剪应变下HDR1500支座的水平等效刚度和等效阻尼比,结果如图2和3所示(设计值上、下限偏差为 $\pm 20\%$)。

从图1~3和表2可以看出,HDR1500支座的水平等效刚度、等效阻尼比测试值与设计值偏差在 $\pm 20\%$ 以内,满足EN 15129:2018的要求,可验证日本的设计经验公式具有适用性。随着剪应变的增大,HDR1500支座的水平等效刚度逐渐减小,且降幅非常明显;等效阻尼比逐渐增大,增幅非常小,

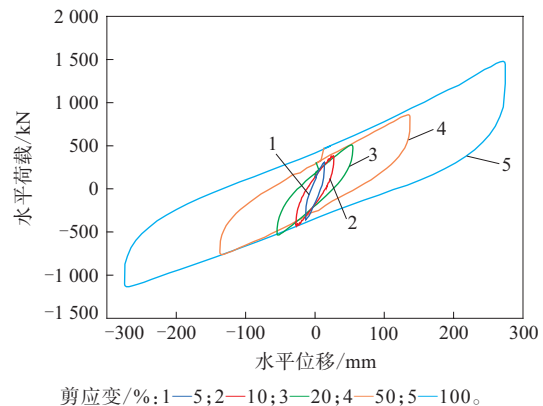


图1 不同剪应变下HDR1500支座的水平荷载-位移滞回曲线

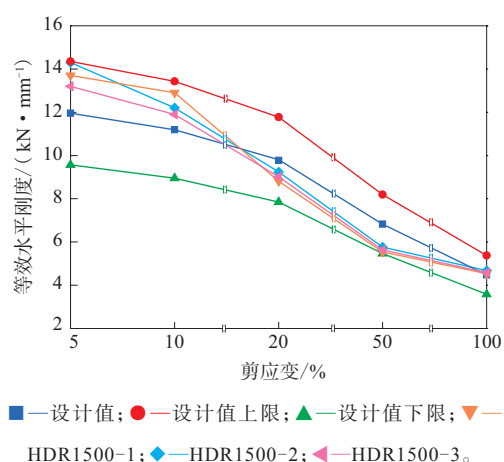
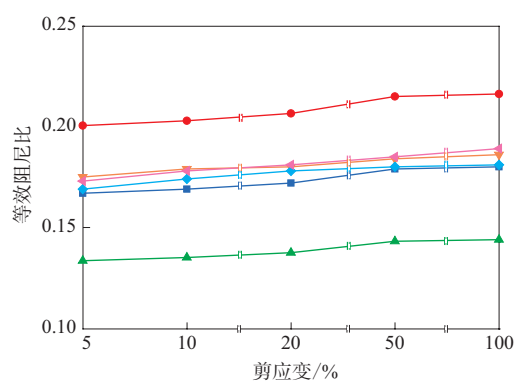


图2 不同剪应变下的HDR1500支座水平等效刚度



注同图2。

图3 不同剪应变下的HDR1500支座等效阻尼比

这与HDR1500支座设计值的变化趋势基本一致。

2.3 水平性能频率相关性

测试的不同频率下HDR1500支座的水平荷载-位移滞回曲线如图4所示,根据图4计算不同频率下HDR1500支座的水平等效刚度和等效阻尼比,结果如表3所示。

从图4和表3可以看出,随着频率的增大,HDR1500支座的水平等效刚度和等效阻尼比均增大,但增幅非常小,最低频率和最高频率的水平等效刚度和等效阻尼比与中间频率的偏差在4.2%以内,满足EN 15129:2018中规定的20%以内的要求。

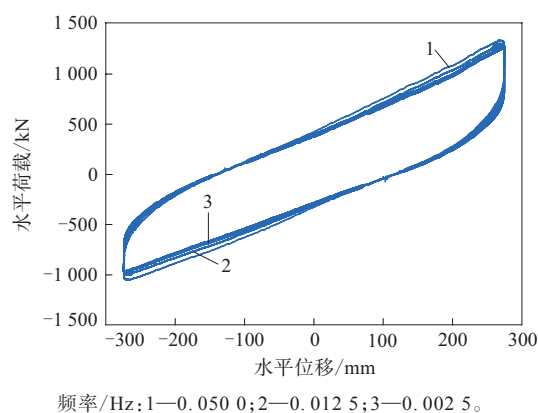


图4 不同频率下HDR1500支座的水平荷载-位移滞回曲线

表3 HDR1500支座的水平性能频率相关性

项 目	HDR1500-1		HDR1500-2		HDR1500-3	
	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比
频率/Hz						
0.050 0	4.15	0.183	4.28	0.180	4.23	0.181
0.012 5	4.01	0.180	4.12	0.176	4.08	0.178
0.002 5	3.85	0.177	3.97	0.171	3.91	0.174
最低值偏差/%	4.0	1.7	3.6	2.3	4.2	2.2
最高值偏差/%	3.5	1.7	3.9	2.8	3.7	1.7

2.4 反复加载相关性

测试的HDR1500支座反复加载水平荷载-位移滞回曲线如图5所示,根据图5计算每1圈的水平等效刚度和等效阻尼比,结果如表4所示。

从表4可以看出,随着加载次数的增大,HDR1500支座的力学性能呈降低趋势,其中水平等效刚度降幅稍大,等效阻尼比降幅较小。水平等效刚度在第2与第10圈之间最小值与最大值的

比值远大于0.7、在第1与第11圈之间最小值与最大值的比值远大于0.6,等效阻尼比在第2与第10圈之间最小值与最大值的比值远大于0.7,各项指标满足并超过EN 15129:2018要求,支座的力学性能稳定性高,满足使用需求。

3 结论

(1) HDR1500支座力学性能测试值与设计值

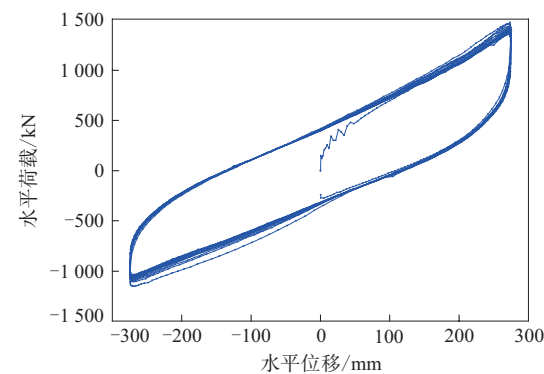


图5 HDR1500支座反复加载水平荷载-位移滞回曲线

偏差在±20%以内,竖向压缩性能、水平性能剪应变相关性、频率相关性、反复加载相关性测试值均满足并超过EN 15129:2018的要求。

(2) 3个HDR1500支座的竖向压缩刚度偏差不超过5%;低剪应变时,随着剪应变的增大,HDR1500支座的水平等效刚度的降幅较大,等效阻尼比的增幅较小;随着频率的增大,HDR1500支座的水平等效刚度和等效阻尼比均增大,但增幅非常小;随着加载次数的增大,HDR1500支座的水平等效刚度的降幅稍大,等效阻尼比的降幅较小。

表4 HDR1500-1支座反复加载性能

项 目	HDR1500-1		HDR1500-2		HDR1500-3	
	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比	水平等效刚度/ (kN·mm ⁻¹)	等效阻尼比
加载圈数						
第1圈	4.51	0.177	4.68	0.171	4.60	0.173
第2圈	4.48	0.176	4.63	0.177	4.55	0.178
第3圈	4.41	0.176	4.53	0.179	4.49	0.180
第4圈	4.36	0.176	4.49	0.178	4.42	0.179
第5圈	4.31	0.176	4.46	0.178	4.37	0.179
第6圈	4.25	0.175	4.40	0.178	4.31	0.178
第7圈	4.23	0.175	4.39	0.178	4.26	0.178
第8圈	4.19	0.174	4.38	0.177	4.23	0.178
第9圈	4.17	0.174	4.34	0.177	4.22	0.177
第10圈	4.14	0.173	4.32	0.177	4.21	0.177
第11圈	4.13	0.173	4.31	0.177	4.20	0.176
最小值/最大值(第2—第10圈)	0.924	0.983	0.933	0.989	0.925	0.983
最小值/最大值(第1—第11圈)	0.916	0.977	0.921	0.955	0.913	0.961

参考文献:

[1] 杨俊,陈平,付金伦,等. 叠层橡胶隔震支座硫化工艺有限元仿真与试验研究[J]. 橡胶工业,2018,65(11):1278-1283.
[2] 张季超,李霆,李宏胜,等. 新型大直径隔震支座性能检测试验研究[J]. 建筑结构,2010,40(8):31-33.
[3] European Committee for Standardization. Anti-seismic Devices: EN 15129:2018[S].Brussels,Belgium:CEN-CENELEC Management

Centre,2018.
[4] BS ISO. Elastomeric Seismic-protection Isolators—Part 3: Applications for Buildings—specifications: ISO 22762-2: 2005[S]. British,Standards Policy and Strategy Committee,2006.
[5] 一般社団法人日本ゴム協会及び一般社団法人日本免震構造協会. 設計者のための建築免震用積層ゴム支承ハンドブック(改訂版)[M]. 东京:榊大慶,2017.

收稿日期:2019-11-09

Study on Mechanical Properties of Large Diameter and High Damping Rubber Isolation Bearing

YUAN Weina,WEI Dechao,WEN Wenlu,HUANG Zhaoming,ZHANG Yuanxi,GUAN Qingsong,
TANG Jun,ZHANG Zhiqiang

(Quakesafe Technologies Co.,Ltd,Yunnan Province Engineering Research Center of Engineering Structures for Seismic Reduction and Isolation, Kunming 650041,China)

Abstract: The mechanical properties of the high damping rubber isolation bearing (HDR1500 bearing)

with the diameter of 1 500 mm were tested and compared with design values. The results showed that, the deviation of the test values the shear strain dependence of horizontal characteristics from the designed values was within $\pm 20\%$. The test values of the vertical compressibility, shear strain dependence of horizontal characteristics, frequency dependence of horizontal characteristics, and repeated loading dependence all met the requirements of EN 15129:2018. The deviation of mechanical property of the bearing was small, and its stability was good.

Key words: large diameter; high damping; rubber isolation bearing; mechanical property; design value; test value; vertical compressibility; horizontal characteristics

《可重复使用民用口罩》团体标准解析 新冠肺炎疫情期间,口罩成为不可或缺的防控利器 and 战略物资,是保障人民群众健康的盾牌。在全球范围内,口罩产品的供需矛盾突出。

我国关于口罩产品的标准主要有5个(见表1)。2020年2月以来,北京市组织开展防护口罩再利用平台项目研究。大量科学研究和技术成果表明,在当前疫情应急时期,高质量的口罩重复使用是可行的。

在北京市政府的大力支持下,北京服装纺织行业协会提出立项申请,快速起草《可重复使用民用口罩》团体标准。

北京服装纺织行业协会紧急成立工作组,开展《可重复使用民用口罩》团体标准编制工作,按照团体标准快速制定程序,由北京化工大学作为主编单位,完成标准征求意见稿和编制说明。

4月2日,北京服装纺织行业协会在北京化工大学组织召开了《可重复使用民用口罩》团体标准评审会。日前,《可重复使用民用口罩》团体标准已通过专家评审。为了便于大家了解此标准,特进行如下解析说明。

(1)《可重复使用民用口罩》使用场景。

本标准适用于在日常生活中用于阻隔微生物、飞沫、花粉等颗粒物的可重复使用的民用口罩。口罩可重复使用场景主要面向大规模区域性肺炎、流感等疫情,以及其他防控应急情况下口罩供应急剧短缺状况。

(2)《可重复使用民用口罩》重点内容。

①既包括了民用防护口罩,又包括了民用卫生口罩,适用于不同场景需求。

②强调过滤阻隔高标准以达到高的安全性,本标准规定可重复使用民用防护口罩的过滤效率 $\geq 90\%$,总泄漏率 $\leq 13\%$ 。

③明确了可重复使用性能的内涵,累计佩戴时长不短于24 h,洗消不少于3次。

④规定了消毒清洗的原则,建议制造商和消费者采用卫健委推荐的60~100℃的热水浸泡30 min的方法或者蒸锅沸水湿蒸20 min的消毒方法。

⑤本标准可重复使用性能检测方法中提供了机器模拟方案和受试者方案。

⑥提供抗菌性能和储存寿命性能选择项。

⑦明确可重复使用产品标识,每只口罩上应标有“可重复使用”或“RU”字样。

表1 口罩相关国内标准

标准号	标准名称	主要内容
GB 19083—2010	医用防护口罩技术要求	气流量 $85\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 检测条件下,非油性颗粒物过滤效率 $\geq 95\%/99\%/99.97\%$;要求有良好的防护效果即密合性要求;有合成血液穿透和微生物指标要求
YY 0469—2011	医用外科口罩	细菌过滤效率 $\geq 95\%$;气流量 $30\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 检测条件下,非油性颗粒物过滤效率 $\geq 30\%$;有合成血液穿透和微生物指标要求;无密合性要求
YY/T 0969—2013	一次性使用医用口罩	细菌过滤效率 $\geq 95\%$;有微生物指标要求;无密合性要求
GB/T 32610—2016	日常防护型口罩技术规范	气流量 $85\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 检测条件下,非油性颗粒物过滤效率 $\geq 90\%/95\%/99.97\%$;要求有良好的防护效果即密合性要求;有微生物指标要求
GB 2626—2019	呼吸防护 自吸过滤式防颗粒物呼吸器	气流量 $85\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 检测条件下,非油性颗粒物过滤效率 $\geq 90\%/95\%/99.97\%$;要求有良好的防护效果即密合性;无微生物指标要求

(本刊编辑部)