



中华人民共和国建筑工业行业标准

JG/T 118—2018
代替 JG 118—2000

建筑隔震橡胶支座

Rubber isolation bearings for buildings

2018-06-26 发布

2018-12-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

目 次

前言 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号..... 1

4 分类与标记 3

5 一般要求 4

6 要求 5

7 试验方法 9

8 检验规则..... 14

9 标志、包装、运输和贮存..... 17

附录 A（规范性附录） 25%定伸应力实验方法 18

附录 B（资料性附录） 支座计算模型 19

附录 C（资料性附录） 建议的标准化产品规格及参数 21

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准是对 JG 118—2000《建筑隔震橡胶支座》的修订,本标准与 JG 118—2000 相比主要技术变化如下:

- 修改补充了相关术语和定义,增加了本标准中引用的符号(见第 3 章);
- 增加了形状系数和支座一般尺寸的要求(见 5.2、5.3);
- 增加了高阻尼橡胶支座的物理机械性能指标(见 6.1 中表 2);
- 修改了竖向压缩刚度和水平向性能要求,增加了轴向拉伸刚度性能要求,增加了侧向不均匀变形要求,修改了压缩变形性能要求(见 6.4 中表 5);
- 修改了当水平位移为支座内部橡胶直径 0.55 倍状态时的竖向极限压应力性能要求,增加了高阻尼橡胶支座水平性能要求,修改了水平极限变形能力要求(见 6.4 中表 5);
- 删除了耐火性能要求(见 2000 年版的 4.4.3)和试验方法(见 2000 年版的 5.4.3);
- 修改了天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求(见 6.6.1 中表 7);
- 增加了高阻尼橡胶支座相关性能要求(见 6.6.2 中表 8);
- 增加了竖向拉伸刚度、竖向极限拉应力试验方法(见 7.4.5);
- 增加了侧向不均匀变形测量方法(见 7.4.6);
- 修改了水平等效刚度试验方法中的加载频率(见 7.4.7);
- 增加了隔震支座的计算模型(见附录 B);
- 增加了隔震支座产品力学性能参数和规格尺寸建议值(见附录 C)。

本标准由住房和城乡建设部标准定额研究所提出。

本标准由住房和城乡建设部建筑标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:中国建筑科学研究院、广州大学、华中科技大学、北京建筑大学、南京工业大学、云南省地震工程研究院、中国建筑标准设计研究院、衡水震泰隔震器材有限公司、云南震安减震科技股份有限公司、西安达盛隔震技术有限公司、无锡圣丰建筑新材料有限公司、北京橡胶工业研究设计院、衡水亿力工程橡胶机械制造有限公司、柳州东方工程橡胶制品有限公司、北京建工建筑设计研究院。

本标准主要起草人:肖从真、薛彦涛、常兆中、熊世树、安晓文、冯德民、刘伟庆、谭平、黄襄云、曾德民、资道铭、管庆松、赵烽、盛明勇、王曙光、王惠强、蔡尚脉、宋西振、杜志超。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- JG 118—2000。

建筑隔震橡胶支座

1 范围

本标准规定了建筑隔震橡胶支座产品的符号、分类与标记、一般要求、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于工业与民用建筑所用的建筑隔震橡胶支座。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 469 铅锭

GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定

GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分:邵氏硬度计法(邵尔硬度)

GB/T 2941 橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序

GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验

GB/T 3672.1 橡胶制品的公差 第1部分:尺寸公差

GB/T 3672.2 橡胶制品的公差 第2部分:几何公差

GB/T 7759.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第1部分:在常温及高温条件下

GB/T 7759.2 硫化橡胶或热塑性橡胶 压缩永久变形的测定 第2部分:在低温条件下

GB/T 7760 硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材黏合强度的测定 90°剥离法

GB/T 7762 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐臭氧龟裂 静态拉伸试验

GB/T 15256 硫化橡胶或热塑性橡胶 低温脆性的测定(多试样法)

GB/T 20688.1—2007 橡胶支座 第1部分:隔震橡胶支座试验方法

HG/T 2198 硫化橡胶物理实验方法的一般要求

3 术语和定义、符号

下列术语和定义、符号适用于本文件。

3.1 术语和定义

3.1.1

建筑隔震橡胶支座 rubber isolation bearings for buildings

由多层橡胶和多层钢板或其他材料交替叠置结合而成的隔震装置,包括天然橡胶支座(LNR)、铅芯橡胶支座(LRB)和高阻尼橡胶支座(HDR)。

3.1.2

使用寿命 design working life

建筑隔震橡胶支座在正常使用和维护情况下所具有的不丧失有效使用功能的期限。

3.1.3

天然橡胶支座(LNR) linear natural rubber bearing

内部无竖向铅芯,由多层天然橡胶和多层钢板或其他材料交替叠置结合而成的支座。

3.1.4

铅芯橡胶支座(LRB) lead rubber bearing

内部含有竖向铅芯,由多层天然橡胶和多层钢板或其他材料交替叠置结合而成的支座。

3.1.5

高阻尼橡胶支座(HDR) high damping rubber bearing

用复合橡胶制成的具有较高阻尼性能的支座。

3.1.6

内部橡胶 inner rubber

支座内部多层钢板之间的橡胶层。

3.1.7

橡胶保护层 cover rubber

包裹在内部橡胶和内部钢板外侧面的橡胶层。

3.1.8

第一形状系数 1st shape factor

支座中单层橡胶层的内部橡胶的平面面积与其自由侧面表面积之比。

3.1.9

第二形状系数 2nd shape factor

对于圆形支座,为内部橡胶层直径与内部橡胶总厚度之比。

对于矩形或方形支座,为内部橡胶层有效宽度与内部橡胶总厚度之比。

3.1.10

有效尺寸 effective size

有效尺寸包括有效直径和有效宽度及长度,不包括保护层。

3.1.11

设计压应力 design compressive stress

设计采用的作用于支座上的压应力。

3.1.12

竖向极限压应力 vertical ultimate compressive stress

支座在无剪应变状态下竖向受压至破坏所能承受的的最大压应力。

3.1.13

竖向极限拉应力 vertical ultimate tensile stress

支座竖向拉伸至破坏所能承受的最大拉应力。

3.1.14

水平极限变形能力 lateral ultimate deformation capacity

支座在恒定压力作用下水平加载至破坏时的水平变形满足变形要求的能力。

3.1.15

侧向均匀变形 lateral uniform deformation

隔震支座在设计压应力下,支座的侧面均匀对称向外鼓出,剖面呈灯笼状或葫芦串状。

3.2 符号

A ——有效面积,支座内部橡胶的平面面积

- a ——正方形支座内部橡胶的边长,或矩形支座内部橡胶的长边长度
 a' ——矩形支座包括保护层厚度的长边长度
 b ——矩形支座内部橡胶的短边长度
 b' ——矩形支座包括保护层厚度的短边长度
 D ——圆形支座有效直径
 D' ——圆形支座包括保护层厚度的直径
 d_1 ——支座中孔直径
 d_0 ——内部钢板的外径
 G ——橡胶的剪切模量
 K_h ——建筑隔震橡胶支座水平等效刚度
 K_1 ——建筑隔震橡胶支座屈服前水平刚度
 K_v ——建筑隔震橡胶支座竖向刚度
 K_d ——建筑隔震橡胶支座屈服后水平刚度
 P_1 ——平均压应力为 $1.3\sigma_0$ 时的竖向荷载
 P_2 ——平均压应力为 $0.7\sigma_0$ 时的竖向荷载
 Q^+ ——与 U^+ 相应的水平剪力
 Q^- ——与 U^- 相应的水平剪力
 Q_d ——屈服力
 Q_y^+ ——与 U_y^+ 相应的水平剪力
 Q_y^- ——与 U_y^- 相应的水平剪力
 S_1 ——第一形状系数
 S_2 ——第二形状系数
 t_r ——单层内部橡胶的厚度
 U_y^+ ——正方向屈服位移
 U_y^- ——负方向屈服位移
 U^+ ——最大水平正位移
 U^- ——最大水平负位移
 W ——滞回曲线所围面积
 γ ——剪应变
 γ_0 ——设计剪应变
 δ_1 ——竖向荷载为 P_1 时的竖向位移
 δ_2 ——竖向荷载为 P_2 时的竖向位移
 h_{eq} ——建筑隔震橡胶支座等效阻尼比
 σ_0 ——产品的设计轴压应力

4 分类与标记

4.1 分类

建筑隔震橡胶支座可分为天然橡胶支座、铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座。常用的截面形状分为圆形或矩形,平面示意图见图 1。

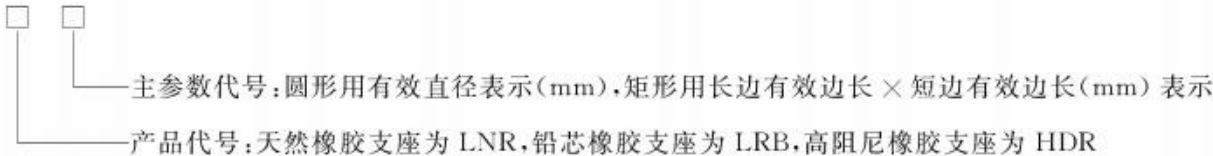


图 1 隔震橡胶支座平面示意图

4.2 标记

4.2.1 标记方法

支座产品的标记应由支座类型代号、支座形状和尺寸组成。



4.2.2 示例

示例 1:

天然橡胶隔震支座、有效直径 500 mm, 标记为: LNR500。

示例 2:

铅芯橡胶隔震支座、有效直径 400 mm, 标记为: LRB400。

示例 3:

高阻尼橡胶隔震支座、有效直径 600 mm, 标记为: HDR600。

示例 4:

天然橡胶隔震支座、矩形支座尺寸 500 mm × 600 mm, 标记为: LNR500 × 600。

5 一般要求

5.1 结构

不同使用要求的建筑隔震橡胶支座可有不同的叠层结构、尺寸、制造工艺和配方设计。建筑隔震橡胶支座应满足所需要的竖向承载力、竖向和水平刚度、水平变形能力、阻尼比等性能要求, 并应具有不少于 60 年的使用寿命。

5.2 形状系数

建筑隔震橡胶支座第一形状系数 S_1 不应小于 15, 第二形状系数 S_2 不应小于 3 且不宜小于 5。当 S_2 小于 5 时, 应降低支座压应力限值; S_2 不小于 4 且小于 5 时, 降低 20%, S_2 不小于 3 且小于 4 时, 降低 40%。

5.3 支座常用尺寸

天然橡胶支座和铅芯橡胶支座常用尺寸要求见表 1。

表 1 支座常用尺寸 单位为毫米

尺寸 d_0 或 a	厚度		中孔直径 d_i
	单层内部橡胶厚度 l_r	单层内部钢板厚度 l_s	
400	$2.0 \leq l_r \leq 5.0$	≥ 2.0	天然橡胶支座和高阻尼橡胶支座： $\leq \frac{d_0}{6}$ 或 $\leq \frac{a}{6}$ 铅芯橡胶支座： $\leq \frac{d_0}{4}$ 或 $\leq \frac{a}{4}$
450	$2.0 \leq l_r \leq 5.5$		
500	$2.5 \leq l_r \leq 6.0$		
550	$2.5 \leq l_r \leq 7.0$		
600	$3.0 \leq l_r \leq 7.5$		
650	$3.0 \leq l_r \leq 8.0$		
700	$3.5 \leq l_r \leq 9.0$		
750	$3.5 \leq l_r \leq 9.5$	≥ 2.5	
800	$4.0 \leq l_r \leq 10.0$		
850	$4.0 \leq l_r \leq 10.5$		
900	$4.0 \leq l_r \leq 11.0$		
950	$4.5 \leq l_r \leq 11.0$		
1 000	$4.5 \leq l_r \leq 11.0$	≥ 3.0	
1 050	$5.0 \leq l_r \leq 11.0$		
1 100	$5.5 \leq l_r \leq 11.0$		
1 150	$5.5 \leq l_r \leq 12.0$		
1 200	$6.0 \leq l_r \leq 12.0$		
1 250	$6.0 \leq l_r \leq 13.0$		
1 300	$6.5 \leq l_r \leq 13.0$	≥ 4.0	
1 350	$6.5 \leq l_r \leq 14.0$		
1 400	$7.0 \leq l_r \leq 14.0$		
1 450	$7.0 \leq l_r \leq 15.0$		
1 500	$7.0 \leq l_r \leq 15.0$		

5.4 钢板

内部钢板应采用 Q235 或不低于 Q235 性能的钢板,且应符合 GB/T 3274 的规定;封板宜采用 Q345,且应符合 GB/T 3274 的规定。

5.5 金属铅

铅芯应采用纯度不小于 99.99% 的铅锭经加工而成铅芯,铅锭应符合 GB/T 469 的规定。

6 要求

6.1 橡胶物理机械性能

橡胶支座内部橡胶的物理机械性能应符合表 2 的要求。

表 2 橡胶支座内部橡胶的物理机械性能指标

项目		天然橡胶支座和铅芯橡胶支座 硬度(邵尔 A 度)			高阻尼橡胶支座
		35~44	45~54	55~65	
拉伸强度/MPa		≥13	≥15	≥18	≥10
扯断伸长率/%		≥600	≥550	≥500	≥550
25%定伸应力/MPa		≥0.25	≥0.30	≥0.35	
300%定伸应力/MPa		≥2.5	≥3.0	≥3.5	
压缩永久变形/% 70℃×24 h		≤35			≤60
橡胶与金属黏合强度 90°剥离法/(kN/m)		≥6	≥8	≥10	≥8
热空气老化性能 70℃×168 h	拉伸强度变化率/%	+25			+15
	扯断伸长率变化率/%	-40			-25
	硬度变化/邵尔 A 度	-5~+10			-5~+8
臭氧老化(限外包层) 50×10 ⁻³ (体积分数),40℃×96 h,20%拉伸		目视无龟裂			目视无龟裂
脆性温度/℃		≤-40			≤-40

6.2 外观质量

建筑隔震橡胶支座表面保护胶应光滑平整,外观质量应符合表 3 的要求。

表 3 外观质量要求

缺陷名称	质量指标
气泡	单个表面气泡面积不超过 50 mm ²
杂质	杂质面积不超过 30 mm ²
缺胶	缺胶面积不超过 150 mm ² ,不应多于 2 处,且内部嵌件不应外露
凹凸不平	凹凸不超过 2 mm,面积不超过 50 mm ² ,应不多于 3 处
胶钢黏结不牢(上、下端)	裂纹长度不超过 30 mm,深度不超过 3 mm,应不多于 3 处
裂纹(侧面)	不允许
钢板外露(侧面)	不允许

6.3 尺寸允许偏差

建筑隔震橡胶支座尺寸允许偏差应符合表 4 的要求。

表 4 尺寸允许偏差

项目		尺寸允许偏差
内部	每层橡胶层厚度/%	产品设计值的+10
	橡胶层总厚度/%	产品设计值的+5
	夹层薄钢板厚度/mm	按 GB/T 3274 执行
	封钢板厚度/mm	+0.5
	钢板直径或边长/mm	+1.0
外部	总高度	设计值的+1.5%与 6 mm 两者间的较小值
	外直径或边长 D' 、 a' 和 b'	设计值的+1%，且不大于+5.0 mm
	中孔直径 d_1 /mm	+1.5
	橡胶包覆层厚度/mm	+1.5
	支座平整度	直径或短边边长不小于 1 200 mm 时，取直径或测量长度的 1/400 和 3 mm 的较小值； 直径或短边边长为 1 500 mm 时，取直径或测量长度的 1/300； 直径或短边边长介于 1 200 mm 和 1 500 mm 之间，可内插
	侧面垂直度	支座总高度的 1/100
	水平偏差/mm	5

6.4 支座竖向和水平力学性能

支座竖向和水平力学性能要求见表 5。支座的计算模型参照附录 B，建议的支座标准化产品规格和参数参照附录 C。

表 5 支座竖向和水平力学性能要求

项目		性能要求
竖向性能 (天然橡胶支座、 铅芯橡胶支座、 高阻尼橡胶支座)	竖向压缩刚度	实测值允许偏差为+30%；平均值允许偏差为+20%
	压缩变形性能	荷载-位移曲线应无异常
	竖向极限压应力	当 $3 \leq S_2 \leq 4$ 时，应不小于 60 MPa； 当 $4 < S_2 \leq 5$ 时，应不小于 75 MPa； 当 $S_2 > 5$ 时，应不小于 90 MPa
	当水平位移为支座内部橡胶直径 0.55 倍状态时的极限压应力	当 $3 \leq S_2 \leq 4$ 时，应不小于 20 MPa； 当 $4 < S_2 \leq 5$ 时，应不小于 25 MPa； 当 $S_2 > 5$ 时，应不小于 30 MPa
	竖向极限拉应力	应不小于 1.5 MPa
	竖向拉伸刚度	实测值允许偏差为+30%；平均值允许偏差为+20%
	侧向不均匀变形	直径或边长不大于 600 mm 支座，侧向不均匀变形不大于 3 mm；直径或边长不大于 1 000 mm 支座，侧向不均匀变形不大于 5 mm；直径或边长不大于 1 500 mm 支座，侧向不均匀变形不大于 7 mm

表 5 (续)

项目		性能要求
天然橡胶支座 水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异应不大于 15%;实测值允许偏差为+15%;平均值允许偏差为+10%
铅芯橡胶支座 水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异应不大于 15%;实测值允许偏差为+15%;平均值允许偏差为+10%
	屈服后水平刚度	
	等效阻尼比	实测值允许偏差为+15%;平均值允许偏差为+10%
	屈服力	实测值允许偏差为+15%,平均值允许偏差为+10%
高阻尼橡胶支座 水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异应不大于 15%;实测值允许偏差为+15%;平均值允许偏差为+10%
	屈服后水平刚度	
	等效阻尼比	实测值允许偏差为+20%,平均值允许偏差为+15%
	屈服力	实测值允许偏差为+15%,平均值允许偏差为+10%
水平极限性能 (天然橡胶支座、 铅芯橡胶支座、 高阻尼橡胶支座)	水平极限变形能力	极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的 400%与 0.55D 的较大值

6.5 耐久性

耐久性包括老化性能、徐变性能、疲劳性能,应符合表 6 的规定。

表 6 耐久性性能要求

项目		性能要求
老化性能	竖向刚度变化率	+20%
	水平等效刚度变化率	
	等效阻尼比变化率 (LRB、HDR)	
	水平极限变形能力	≥320%剪应变
	支座外观	目视无龟裂
徐变性能	徐变量	天然橡胶支座和铅芯橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的 5%; 高阻尼橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的 10%
疲劳性能	竖向刚度变化率	+15%
	水平等效刚度变化率	
	等效阻尼比变化率 (LRB、HDR)	
	支座外观	目视无龟裂
注:表中未特别注明的性能要求适用于天然橡胶支座、铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座。		

6.6 相关性能

6.6.1 天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求应符合表 7 的规定。

表 7 天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求

项目		性能要求
竖向应力相关性能	水平等效刚度,屈服力变化率(LRB)	+15%
	等效阻尼比变化率(LRB)	
大变形相关性能	水平等效刚度,屈服力变化率(LRB)	+20%
	等效阻尼比变化率(LRB)	
加载频率相关性能	水平等效刚度,屈服力变化率(LRB)	+10%
	等效阻尼比变化率(LRB)	
温度相关性能	水平等效刚度,屈服力变化率(LRB)	+25%
	等效阻尼比变化率(LRB)	

6.6.2 高阻尼橡胶支座相关性能要求应符合表 8 的规定。

表 8 高阻尼橡胶支座相关性能要求

项目		性能要求
竖向应力相关性能	水平等效刚度变化率	+25%
	等效阻尼比变化率	
大变形相关性能	水平等效刚度变化率	+25%
	等效阻尼比变化率	
加载频率相关性能	水平等效刚度变化率	+25%
	等效阻尼比变化率	
温度相关性能	水平等效刚度变化率	0℃~40℃: +25%; -10℃~0℃: +40%
	等效阻尼比变化率	

7 试验方法

7.1 橡胶物理机械性能

7.1.1 天然橡胶和高阻尼橡胶的物理机械性能试验方法见表 9。

表 9 橡胶物理机械性能试验方法

性能	项目	试验方法
硬度	硬度	GB/T 531.1
拉伸性能	拉伸强度	GB/T 528
	扯断伸长率	GB/T 528
	25%定伸应力	附录 A
	300%定伸应力	GB/T 528

表 9 (续)

性能	项目	试验方法
压缩性能	压缩永久变形	GB/T 7759.1,GB/T 7759.2
黏合性能	黏合强度	GB/T 7760
热空气老化性能	拉伸强度变化率	GB/T 3512
	扯断伸长率变化率	
	硬度变化率	
抗臭氧性能	臭氧老化	GB/T 7762
	静态拉伸试验	
脆性性能	脆性温度	GB/T 15256

7.1.2 天然橡胶和高阻尼橡胶的物理机械性能试验应符合 GB/T 2941 和 HG/T 2198 的规定。

7.2 外观质量

产品外观质量可用目视观察及直尺测量评定。

7.3 尺寸允许偏差

支座产品尺寸测量的标准温度为 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。产品尺寸可用钢直尺、游标卡尺、直角尺、倾角仪或其他工具进行测量,其测量尺寸的公差应符合 GB/T 3672.1 和 GB/T 3672.2 的规定。支座的平面尺寸测量,圆形支座的直径取两个不同位置测量值的平均值,矩形支座两个边长均取每边两个不同位置测量值的平均值。支座高度和厚度尺寸取最外侧 4 个不同位置测量值的平均值。支座平整度取支座周边 4 个不同位置所测得的 2 个高度差的最大值,测量位置与支座高度的测量位置相同。支座水平偏差取 4 个不同位置顶边和底边水平偏差测量值的最大值。侧表面垂直度可用直角尺或具有相应精度的量具测量。

7.4 支座竖向和水平力学性能

7.4.1 竖向压缩刚度

取与轴压应力 $(1\pm 30\%)\sigma_0$ 相应的竖向荷载(σ_0 为产品的设计轴压应力,MPa),3 次往复加载,绘出竖向荷载与竖向位移关系曲线。取第 3 次往复加载结果,按式(1)计算竖向刚度:

$$K_v = \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- K_v ——建筑隔震橡胶支座竖向刚度,kN/m;
- P_1 ——平均压应力为 $1.3\sigma_0$ 时的竖向荷载,kN;
- P_2 ——平均压应力为 $0.7\sigma_0$ 时的竖向荷载,kN;
- δ_1 ——竖向荷载为 P_1 时的竖向位移,m;
- δ_2 ——竖向荷载为 P_2 时的竖向位移,m。

7.4.2 压缩变形性能

取与轴压应力 $(1\pm 30\%)\sigma_0$ 相应的竖向荷载,3 次往复加载,绘出竖向荷载与竖向位移关系曲线,荷

载位移曲线应无异常。

7.4.3 竖向极限压应力

向支座施加轴向压力,缓慢或分级加载,直至破坏。同时绘出竖向荷载和竖向位移曲线,根据曲线的变形趋势确定破坏时的荷载和压应力。

7.4.4 水平位移为支座内部橡胶直径 55% 状态时的极限压应力

向支座施加设计轴压应力,然后施加水平荷载,使支座处于水平位移为支座内部橡胶直径 55% 的剪切变形状态,再继续缓慢或分级竖向加载,记录竖向荷载和水平刚度,往复循环加载各一次。当支座外观发生明显异常或水平刚度趋于 0 时,视为破坏。

7.4.5 竖向拉伸刚度、竖向极限拉应力

对支座在剪应变为零的条件下,低速施加拉力直到试件发生破坏,绘出拉力和拉伸位移关系曲线。按下列方法求出屈服拉力和拉伸刚度:

- 通过原点和曲线上与剪切模量 G 对应的拉力作一条直线(G 为设计压应力、设计剪应变作用下的剪切模量);
- 将上述直线水平偏移 1% 的内部橡胶厚度;
- 偏移线和试验曲线相交点对应的力即为屈服拉力;
- 10% 拉应变对应的割线刚度即为拉伸刚度;
- 破坏点对应的试件拉应力即为竖向极限拉应力。

7.4.6 侧向不均匀变形

在设计竖向压应力下,采用直角尺和塞尺测量支座侧面最大鼓出位置的鼓出量。

测量侧向不均匀变形时的竖向压应力,当 S_2 不小于 5 时,型式检验取 15 MPa,出厂检验取设计压应力;当 S_2 不小于 4 且小于 5 时,竖向压应力降低 20%;当 S_2 不小于 3 且小于 4 时,竖向压应力降低 40%。

7.4.7 水平等效刚度

对被试支座在产品的设计压应力作用下,进行剪应变 γ 为 100% 和 250%,加载频率 f 不低于 0.02 Hz,水平加载波形为正弦波的动力加载试验。以对应于正剪应变 γ 和负剪应变 $-\gamma$ 的水平位移作为最大水平正位移和负位移,连续作出 3 条滞回曲线。用第 3 条滞回曲线,按式(2)计算支座的水平等效刚度:

$$K_h = \frac{Q^+ - Q^-}{U^+ - U^-} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- K_h ——水平等效刚度, kN/m;
 U^+ ——最大水平正位移, mm;
 U^- ——最大水平负位移, mm;
 Q^+ ——与 U^+ 相应的水平剪力, kN;
 Q^- ——与 U^- 相应的水平剪力, kN。

7.4.8 屈服后水平刚度

当试验滞回曲线比较理想,具有明显的最大位移和最大剪力特征点以及与剪力轴的交点,铅芯橡胶

支座和高阻尼橡胶支座的屈服后水平刚度 K_d 可按下列方法一确定, 否则按方法二确定:

a) 方法一:

对于铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座, 屈服后水平刚度应根据 $\gamma=100\%$, 加载频率 f 不低于 0.02 Hz 试验的第 3 条滞回曲线按式(3)确定:

$$K_d = \frac{1}{2} \left(\frac{Q_y^+ - Q_y^-}{U^+ - U_y^+} + \left| \frac{Q_y^- - Q_y^+}{U^- - U_y^-} \right| \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

K_d ——屈服后水平刚度, kN/m;

U_y^+ ——正方向屈服位移, mm;

U_y^- ——负方向屈服位移, mm;

Q_y^+ ——与 U_y^+ 相应的水平剪力, kN;

Q_y^- ——与 U_y^- 相应的水平剪力, kN。

b) 方法二:

铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座屈服后水平刚度可按 GB/T 20688.1—2007 附录 G 的方法计算。

7.4.9 屈服力

当试验滞回曲线比较理想, 具有明显的最大位移和最大剪力特征点以及与剪力轴的交点, 铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座的屈服力 Q_d 可按下列方法一确定, 否则按方法二确定:

a) 方法一:

对于铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座, 屈服力应根据 $\gamma=100\%$, 加载频率 f 不低于 0.02 Hz 试验的第 3 条滞回曲线按式(4)确定:

$$Q_d = \frac{Q_y^+ - Q_y^-}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Q_d ——屈服力, kN;

Q_y^+ ——与 U_y^+ 相应的水平剪力, kN;

Q_y^- ——与 U_y^- 相应的水平剪力, kN。

b) 方法二:

铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座可按 GB/T 20688.1—2007 附录 G 的方法计算。

7.4.10 等效阻尼比

被试支座的等效阻尼比按式(5)或式(6)计算:

$$h_{eq} = \frac{W}{2\pi Q^+ U^+} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$h_{eq} = \frac{W}{2\pi K_h (U^+)^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

h_{eq} ——建筑隔震橡胶支座等效阻尼比;

W ——滞回曲线所围面积, kN·m。

7.4.11 水平极限变形能力

被试支座在一定竖向压应力作用下, 水平向缓慢或分级加载, 往复一次, 绘出水平荷载和水平位移

曲线,同时观察支座四周表现,当支座外观出现明显异常或试验曲线异常时(如内层橡胶与内层钢板明显撕开,并且试验曲线上力和位移没有同时上升),视为破坏。

测量水平极限变形能力的竖向压应力,当 S_2 不小于 5 时,型式检验取 15 MPa,出厂检验取设计压应力;当 S_2 不小于 4 且小于 5 时,竖向压应力降低 20%;当 S_2 不小于 3 且小于 4 时,竖向压应力降低 40%。

7.5 耐久性

产品的耐久性性能应按表 10 的规定进行。

表 10 耐久性性能试验方法

项目		试验方法
老化性能	竖向刚度	先测定被试支座的竖向刚度、水平等效刚度、等效阻尼比;再将支座置于 80℃ 恒温箱内 962 h 或 100℃ 的恒温箱内 185 h(或相当于 20℃×60 年的等效温度和等效时间)后取出,冷却至自然室温,再重新测定支座的竖向刚度、水平等效刚度、等效阻尼比及水平极限变形能力。比较该支座老化前后的刚度和阻尼性能,并与未老化同型(批)的支座进行水平极限变形能力变形能力的比较
	水平等效刚度	
	等效阻尼比 (LRB、HDR)	
	水平极限变形能力	
	外观	
徐变性能	徐变量	徐变性能试验可采用下列方法: a) 使被试支座在产品的设计压应力作用下,置于 80℃ 恒温箱内 962 h 或 100℃ 的恒温箱内 185 h(或相当于 20℃×60 年的等效温度和等效时间)后,取出测其徐变量; b) 按 GB/T 20688.1 2007 中 6.7.2 规定的试验方法
疲劳性能	竖向刚度	试验时先测被试支座的竖向刚度、水平等效刚度、等效阻尼比;在设计压应力状态下,按剪应变 $\gamma=100\%$,加载频率不低于 0.02 Hz 连续施加水平荷载 50 次,同时记录每次水平加载力与水平位移的滞回曲线,并仔细观察试验过程中试件有无龟裂、钢板与橡胶是否撕裂或出现其他异常现象。再测试被试支座的竖向刚度、水平等效刚度和等效阻尼比,其值满足性能要求且 20 组滞回曲线与其平均曲线偏差在 $\pm 15\%$ 内时,再按剪应变 $\gamma=250\%$,加载频率 0.15 Hz 施加水平荷载 3 次,若滞回曲线无明显异常,则判疲劳试验合格
	水平等效刚度	
	等效阻尼比 (LRB、HDR)	
	外观	

7.6 相关性能

建筑隔震橡胶支座的相关性能试验应符合表 11 的规定。

表 11 相关性能试验方法

项目		试验方法
竖向应力 相关性能	水平等效刚度变化率	按表 7 中的要求,测定被试支座分别在轴向压应力 5 MPa、10 MPa、15 MPa 作用下,剪切变形 $\gamma=100\%$ 时的水平等效刚度、等效阻尼比,并计算与轴压力 10 MPa 时的相应比值
	等效阻尼比变化率 (LRB、HDR)	
大变形 相关性能	水平等效刚度变化率	先按表 7 中的要求,测定被试支座在设计压应力作用下,剪切变形 $\gamma=100\%$ 时的水平等效刚度、等效阻尼比,再做剪切变形 $\gamma=250\%$ 试验 8 次后,重新测定被试支座在设计轴向压应力作用下,剪切变形 $\gamma=100\%$ 时的水平等效刚度、等效阻尼比,并计算相应比值
	等效阻尼比变化率 (LRB、HDR)	

表 11 (续)

项目		试验方法
加载频率 相关性能	水平等效刚度变化率	按表 7 中的要求,测定被试支座在设计压应力作用下,剪切变形 $\gamma=100\%$ 时,加载频率分别为 0.02 Hz,0.05 Hz,0.1 Hz,0.2 Hz 时的水平等效刚度、等效阻尼比,并计算与 $f=0.2$ Hz 时的相应比值
	等效阻尼比变化率 (LRB,HDR)	
温度相关 性能 ^a	水平等效刚度变化率	按表 7 中的要求,测定被试支座在设计压应力作用下,剪切变形 $\gamma=100\%$,温度 T 分别为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的水平等效刚度、等效阻尼比,并计算与 $T=23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的相应比值
	等效阻尼比变化率 (LRB,HDR)	
^a 对于严寒地区的建筑隔震橡胶支座,可根据需要补充进行低温试验。		

8 检验规则

8.1 检验分类

- 8.1.1 建筑隔震橡胶支座应进行出厂检验和型式检验。型式检验合格后方可进行生产。
- 8.1.2 每个隔震橡胶支座均应进行出厂检验,出厂检验应由制造厂质检部门或独立的第三方检测机构检验,检验合格方准出厂。
- 8.1.3 隔震橡胶支座产品有下列情况之一时,应进行型式检验:
- a) 新产品的试制、定型、鉴定;
 - b) 当原料、结构、工艺等有较大改变,有可能对产品质量影响较大时;
 - c) 正常生产时,每 4 年检验一次;
 - d) 停产 1 年以上恢复生产时。

8.2 检验项目

8.2.1 橡胶材料物理机械性能

橡胶材料物理机械性能检验项目见表 12。

表 12 橡胶材料物理机械性能检验项目

性能	项目	出厂检验	型式检验	要求	试验方法
硬度	硬度	\triangle	\checkmark	6.1.1	7.1.1
拉伸性能	拉伸强度	\checkmark	\checkmark		
	扯断伸长率	\checkmark	\checkmark		
	25%定伸应力	\triangle	\checkmark		
	300%定伸应力	\triangle	\checkmark		
压缩性能	压缩永久变形	\triangle	\checkmark		
黏合性能	黏合强度	\triangle	\checkmark		
热空气老化 性能	拉伸强度变化率	\triangle	\checkmark		
	扯断伸长率变化率	\triangle	\checkmark		
	硬度变化	\triangle	\checkmark		

表 12 (续)

性能	项目	出厂检验	型式检验	要求	试验方法
抗臭氧性能	臭氧老化	×	√	6.1.1	7.1.1
	静态拉伸试验	×	√		
脆性性能	脆性温度	×	√		
注：√ 要进行试验；× 不进行试验；△ 可选择进行试验。					

8.2.2 外观质量

出厂检验和型式检验均应进行支座外观质量检验,外观质量检验按表 3 要求,按 7.2 规定进行。

8.2.3 尺寸偏差

出厂检验应进行支座尺寸偏差外部项目的检验。支座的尺寸偏差检验按表 4 要求,按 7.3 规定进行。型式检验应进行支座尺寸偏差内部和外部项目的检验。

8.2.4 支座竖向和水平力学性能

支座力学竖向和性能检验项目见表 13。

表 13 支座竖向和水平力学性能检验项目

性能	检验项目		出厂检验	型式检验	试件	要求	试验方法	
压缩性能	竖向压缩刚度/(kN/m)		√	√	足尺	6.4	7.4.1	
	压缩变形性能		√	√			7.4.1	
	竖向极限压应力/MPa		×	√	足尺或缩尺模型 A		7.4.2	
	水平位移为支座内部橡胶直径 55% 状态时的极限压应力/MPa		×	√	足尺或缩尺模型 B		7.4.3	
	侧向不均匀变形/mm		√	√			7.4.5	
拉伸性能	竖向拉伸刚度/(kN/m)		△	√	足尺或缩尺模型 B			7.4.4
	竖向极限拉应力/MPa		×	√				7.4.4
水平剪切性能	水平等效刚度/ (kN/m)	剪应变为 100% 或 γ_0	√	√	足尺			7.4.6
		剪应变为 250%	△	√				
	等效阻尼比		√	√				7.4.9
	屈服后水平刚度(铅芯支座)/(kN/m)		√	√				7.4.7
	屈服力(铅芯支座)/kN		√	√				7.4.7
极限剪切性能	水平极限变形能力		×	√	足尺			7.4.10
注: √ 要进行试验; × 不进行试验; △ 可选择进行试验; 缩尺模型 A: 直径或长边尺寸 ≥ 500 mm; 缩尺模型 B: 直径或长边尺寸 $\geq 1\,000$ mm。								

8.2.5 耐久性能

支座耐久性检验项目见表 14。

表 14 支座耐久性检验项目

性 能	试验项目	出厂检验	型式检验	试 件	要求	试验方法
老化性能	竖向刚度	×	√	足尺或缩尺模型 A， 标准试件，剪切型 橡胶试件	6.5	7.5
	水平等效刚度	×	√			
	等效阻尼比	×	√			
	水平极限变形能力	×	√			
徐变性能	徐变量	×	√	足尺或缩尺模型 C		
疲劳性能	竖向刚度	×	√	足尺或缩尺模型 A		
	水平等效刚度	×	√			
	等效阻尼比	×	√			
	外观情况	×	√			
注：√ 要进行试验；× 不进行试验；△ 可选择进行试验； 缩尺模型 A：直径或长边尺寸≥500 mm； 缩尺模型 B：直径或长边尺寸≥1 000 mm； 缩尺模型 C：直径或长边尺寸≥300 mm。						

8.2.6 相关性性能

支座相关性检验项目见表 15。

表 15 支座相关性检验项目

性 能	试验项目	出厂检验	型式检验	试 件	要求	试验方法
竖向应力 相关性	水平等效刚度	×	√	足尺或缩尺 模型 A	6.6	7.6
	等效阻尼比	×	√			
大变形相 关性	水平等效刚度	×	√			
	等效阻尼比	×	√			
加载频率 相关性	水平等效刚度	×	√			
	等效阻尼比	×	√			
温度相 关性	水平等效刚度	×	√	足尺或缩尺 模型 A		
	等效阻尼比	×	√			
注：√ 要进行试验；× 不进行试验；△ 可选择进行试验； 缩尺模型 A：直径或长边尺寸≥500 mm； 缩尺模型 B：直径或长边尺寸≥1 000 mm。						

8.3 判定规则

8.3.1 出厂检验

当全部出厂检验项目均符合要求时,判定该产品合格;当检验结果有不合格项目时,则判定该产品不合格;出厂时应剔除不合格产品,不合格产品不得出厂。

8.3.2 型式检验

当全部型式检验项目均合格时,判定型式检验合格;当检验结果有不合格项目时,则判定型式检验不合格。

满足下列全部条件的,可采用以前相应的型式检验结果:

- a) 支座用相同的材料配方和工艺方法制作;
- b) 相应的外部尺寸和内部尺寸相差10%以内;
- c) 第二形状系数 S_2 相差 ± 0.4 以内;
- d) 第二形状系数 S_2 小于5,以前的极限性能和压应力相关性试验试件的 S_2 不大于本次试验试件的 S_2 ;
- e) 以前的试验条件更严格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

产品的标志应注明以下内容:

- a) 生产厂名称和商标;
- b) 产品标记;
- c) 产品序列号或生产编号。

9.2 包装

每件产品应采用可靠包装。包装应便于运输和搬运并能防止正常运输和搬运中的损坏。

9.3 运输

运输过程中应避免雨淋,严禁与酸碱、油类、有机溶剂等接触,并不应磕碰。

9.4 贮存

产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体,并远离热源的场所。

附 录 A
(规范性附录)
25%定伸应力实验方法

A.1 试验试样

每个试样取样片 5 条为一组,尺寸:100 mm×5 mm×2 mm,每条试片条中间标距为 40 mm。

A.2 试验机

材料拉伸试验机,拉伸速度 50 mm/min。

A.3 试验操作

A.3.1 试片条先测量厚度、宽度和订好标距,垂直夹持。

A.3.2 拉伸试片条使标距伸长 137.5%(即由 40 mm 伸长至 55 mm),即停止松回,再重复一次,共预拉 2 次。

A.3.3 第 3 次拉伸至标距 125%(即由 40 mm 伸长至 50 mm),即停止并计时 30 s 后读取力值。

A.4 试验计量

按式(A.1)计算,将读取力值除以该试片截面积,即为 25%定伸应力。每组试片条按中值法取值。

$$\delta_{25} = \frac{F}{Wb} \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中:

δ_{25} ——25%定伸应力,MPa;

F ——拉伸力值,N;

W ——试片条宽度,mm;

b ——试片条厚度,mm。

A.5 其他

按 GB/T 528 的相关规定进行。

附录 B

(资料性附录)

支座计算模型

B.1 范围

本附录建议的隔震支座计算模型包括：天然橡胶支座(LNR)、铅芯橡胶支座(LRB)、高阻尼橡胶支座(HDR)计算模型。

B.2 通则

隔震橡胶支座计算模型可用于隔震结构的动力时程分析。

计算模型中的竖向受压刚度、竖向受拉刚度、屈服力、屈服后水平刚度和水平等效刚度等力学性能参数应通过支座的力学性能试验来确定。

水平向计算模型宜考虑两个剪切变形方向的耦合。

B.3 天然橡胶支座的力学模型

B.3.1 竖向受压力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

B.3.2 竖向受拉力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座的竖向受拉刚度。

B.3.3 水平向力学模型

水平向力学模型采用线弹性模型见图 B.1，线弹性刚度取支座的水平等效刚度。



图 B.1 天然橡胶支座计算模型

B.4 铅芯橡胶支座的力学模型

B.4.1 竖向受压力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

B.4.2 竖向受拉力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型,线弹性刚度取支座弹性受拉阶段的受拉刚度。

B.4.3 水平向力学模型

水平向力学模型采用双线性模型见图 B.2,恢复力曲线的大小和形状由屈服力,屈服前水平刚度和屈服后水平刚度确定。



图 B.2 铅芯橡胶支座水平向计算模型

B.5 高阻尼橡胶支座的力学模型

B.5.1 竖向受压力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型,线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

B.5.2 竖向受拉力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型,线弹性刚度取支座弹性受拉阶段的受拉刚度。

B.5.3 水平向力学模型

水平向力学模型采用修正双线性模型见图 B.3,恢复力曲线的大小和形状由屈服力,屈服前水平刚度和屈服后水平刚度确定。屈服力,屈服前水平刚度和屈服后水平刚度随支座剪应变进行修正。



图 B.3 高阻尼橡胶支座水平向计算模型

附录 C
(资料性附录)
建议的标准化产品规格及参数

表 C.1 天然橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2=5, G=0.392\text{ MPa}$)

类别	单位	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 300	6 900	5 700	4 700	4 400	4 200	3 700	3 100	2 500	2 100	1 700	1 400	1 000
水平等效刚度 $K_h, 100\%$	kN/mm	2.30	2.15	1.99	1.84	1.68	1.51	1.35	1.21	1.05	0.88	0.73	0.58	0.44
橡胶层总厚度	mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表 C.2 天然橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2=5.45, G=0.392\text{ MPa}$)

类别	单位	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 000	6 700	5 400	4 300	4 100	3 900	3 300	2 700	2 300	1 900	1 600	1 200	900
水平等效刚度 $K_h, 100\%$	kN/mm	2.50	2.34	2.17	2.01	1.83	1.67	1.51	1.33	1.17	0.98	0.81	0.66	0.49
橡胶层总厚度	mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表 C.3 天然橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2=5, G=0.49\text{ MPa}$)

类别	单位	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 600	7 200	6 000	5 000	4 500	4 300	3 800	3 000	2 600	2 200	1 750	1 450	1 050
水平等效刚度 $K_h, 100\%$	kN/mm	2.88	2.68	2.49	2.30	2.10	1.88	1.69	1.51	1.31	1.10	0.92	0.73	0.55
橡胶层总厚度	mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表 C.4 天然橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2 = 5.45, G = 0.49 \text{ MPa}$)

类别	单位	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 300	6 900	5 700	4 700	4 200	4 000	3 400	2 800	2 450	2 000	1 700	1 300	1 000
水平等效刚度 K_h 100%	kN/mm	3.13	2.92	2.75	2.51	2.29	2.09	1.88	1.66	1.46	1.22	1.02	0.82	0.61
橡胶层总厚度	mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

注：表中所列设计承载力根据丙类建筑在重力荷载代表值下的竖向压应力限值 12 MPa 计算所得，甲类建筑和丙类建筑分别按 10 MPa 和 15 MPa 进行换算。

表 C.5 铅芯橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2 = 5, G = 0.392 \text{ MPa}$)

类别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 600	7 200	6 000	5 000	4 600	4 400	3 900	3 400	2 800	2 400	2 000	1 700	1 300
水平等效刚度 K_h 100%	kN/mm	3.64	3.58	3.28	2.84	2.67	2.46	2.08	1.83	1.66	1.40	1.12	0.90	0.70
等效阻尼比 $(100\%) \xi$	%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_u	kN/mm	29.10	27.04	25.12	23.34	21.35	18.97	17.12	15.29	13.30	11.48	9.55	7.54	5.72
屈服后刚度 K_d	kN/mm	2.24	2.08	1.93	1.80	1.64	1.46	1.32	1.18	1.02	0.88	0.73	0.58	0.44
屈服力 Q_d	kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度	mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表 C.6 铅芯橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2 = 5.45, G = 0.392 \text{ MPa}$)

类别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 300	7 000	5 700	4 600	4 400	4 200	3 500	2 900	2 600	2 200	1 800	1 400	1 100
水平等效刚度 K_h 100%	kN/mm	3.95	3.90	3.55	3.09	2.91	2.77	2.37	2.05	1.87	1.58	1.27	1.04	0.76

表 C.6 (续)

类 别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
等效阻尼比(100%) ξ	%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_u	kN/mm	31.63	29.46	27.16	25.46	23.25	21.67	19.67	17.35	15.19	13.11	10.91	8.79	6.44
屈服后刚度 K_d	kN/mm	2.43	2.27	2.09	1.96	1.79	1.67	1.51	1.33	1.17	1.01	0.84	0.68	0.50
屈服力 Q_d	kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度	mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表 C.7 铅芯橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2 = 5, G = 0.49 \text{ MPa}$)

类 别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 900	7 500	6 300	5 300	4 800	4 600	4 100	3 600	2 900	2 500	2 050	1 750	1 350
水平等效刚度(100%) K_{eq}	kN/mm	4.20	4.10	3.76	3.29	3.08	2.82	2.41	2.12	1.91	1.62	1.31	1.05	0.81
等效阻尼比(100%) ξ	%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_u	kN/mm	36.38	33.80	31.40	29.17	26.68	23.72	21.40	19.12	16.63	14.35	11.96	9.49	7.15
屈服后刚度 K_d	kN/mm	2.80	2.60	2.42	2.24	2.05	1.82	1.65	1.47	1.28	1.10	0.92	0.73	0.55
屈服力 Q_d	kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度	mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表 C.8 铅芯橡胶支座力学性能及规格尺寸表 ($S_2 = 5.45, G = 0.49 \text{ MPa}$)

类 别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D	mm	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v	kN/mm	8 600	7 200	6 000	5 000	4 500	4 300	3 600	3 000	2 750	2 300	1 900	1 500	1 200
水平等效刚度(100%) K_{eq}	kN/mm	4.56	4.47	4.09	3.58	3.36	3.19	2.75	2.39	2.16	1.83	1.48	1.21	0.89

表 C.8 (续)

类 别	单位	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
等效阻尼比($<100\%$) ξ	%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_u	kN/mm	39.54	36.82	34.19	31.82	29.06	27.08	24.58	21.68	18.99	16.39	13.64	10.66	7.93
屈服后刚度 K_d	kN/mm	3.04	2.83	2.63	2.45	2.24	2.08	1.89	1.67	1.46	1.26	1.05	0.82	0.61
屈服力 Q_d	kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度	mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

注：表中所列设计承载力根据丙类建筑在重力荷载代表值下的竖向压应力限值 12 MPa 计算所得，甲类建筑和丙类建筑分别按 10 MPa 和 15 MPa 进行换算。

表 C.9 高阻尼橡胶支座力学性能及规格尺寸表

支座规格	橡胶总厚度 mm	100%					250%					竖向刚度 K_r kN/mm	
		屈服力 Q_d kN	屈服前刚度 K_u kN/mm	屈服后刚度 K_d kN/mm	水平等效刚度 K_h kN/mm	等效阻尼比 H_{eq}	屈服力 Q_d kN	屈服前刚度 K_u kN/mm	屈服后刚度 K_d kN/mm	水平等效刚度 K_h kN/mm	等效阻尼比 H_{eq}		
HDR400	66	32	4.58	0.83	1.23	0.18	39	5.64	1.02	1.44	0.10	2 300	
	75		4.03	0.73	1.08	0.18		4.96	0.90	1.27	0.10		2 050
	78		3.87	0.70	1.04	0.18		4.77	0.87	1.22	0.10		
HDR500	84	50	5.62	1.02	1.51	0.18	61	6.92	1.26	1.77	0.10	2 650	
	92		5.13	0.93	1.38	0.18		6.32	1.15	1.61	0.10		2 450
	100		4.72	0.86	1.27	0.18		5.81	1.06	1.48	0.10		
HDR600	99	71	6.87	1.25	1.85	0.18	88	8.45	1.54	2.16	0.10	3 500	
	113		6.04	1.10	1.63	0.18		7.44	1.35	1.90	0.10		3 050
	117		5.81	1.06	1.56	0.18		7.15	1.30	1.82	0.10		

表 C.9 (续)

支座规格	橡胶总厚度 mm	100%					250%					竖向刚度 K _v kN/mm
		屈服力 Q _d kN	屈服前刚度 K _u kN/mm	屈服后刚度 K _d kN/mm	水平等效刚度 K _h kN/mm	等效阻尼比 H _{eq}	屈服力 Q _d kN	屈服前刚度 K _u kN/mm	屈服后刚度 K _d kN/mm	水平等效刚度 K _h kN/mm	等效阻尼比 H _{eq}	
HDR700	115	97	8.05	1.46	2.17	0.18	120	9.91	1.80	2.53	0.10	4 250
	130		7.12	1.29	1.92	0.18		8.76	1.59	2.24	0.10	3 750
	140		6.61	1.20	1.78	0.18		8.14	1.48	2.08	0.10	3 500
HDR800	132	127	9.16	1.67	2.46	0.18	156	11.27	2.05	2.88	0.10	4 650
	150		8.06	1.47	2.17	0.18		9.92	1.80	2.53	0.10	4 050
	156		7.75	1.41	2.09	0.18		9.54	1.73	2.43	0.10	3 900
HDR900	150	160	10.23	1.86	2.75	0.18	198	12.60	2.29	3.21	0.10	5 350
	169		9.05	1.65	2.44	0.18		11.14	2.03	2.84	0.10	4 750
	176		8.72	1.59	2.35	0.18		10.73	1.95	2.74	0.10	4 550
HDR1000	161	198	11.73	2.13	3.16	0.18	244	14.44	2.63	3.68	0.10	6 300
	189		9.99	1.82	2.69	0.18		12.30	2.24	3.14	0.10	5 350
	196		9.64	1.75	2.59	0.18		11.86	2.16	3.03	0.10	5 150
HDR1100	176	240	12.99	2.36	3.49	0.18	296	15.98	2.91	4.08	0.10	6 750
	192		11.90	2.16	3.20	0.18		14.65	2.66	3.74	0.10	5 200
	208		10.99	2.00	2.96	0.18		13.52	2.46	3.45	0.10	5 700
HDR1200	196	285	13.91	2.53	3.74	0.18	352	17.12	3.11	4.37	0.10	7 400
	221		12.31	2.24	3.31	0.18		15.15	2.75	3.86	0.10	6 550
	238		11.43	2.08	3.08	0.18		14.07	2.56	3.59	0.10	6 050

表 C.9 (续)

支座规格	橡胶总厚度 mm	100%					250%					竖向刚度 K_v kN/mm	
		屈服力 Q_d kN	屈服前刚度 K_u kN/mm	屈服后刚度 K_d kN/mm	水平等效刚度 K_h kN/mm	等效阻尼比 H_{eq}	屈服力 Q_d kN	屈服前刚度 K_u kN/mm	屈服后刚度 K_d kN/mm	水平等效刚度 K_h kN/mm	等效阻尼比 H_{eq}		
HDR1300	207	335	15.42	2.80	4.15	0.18	413	18.98	3.45	4.84	0.10	8 350	
	225		14.19	2.58	3.82	0.18		17.46	3.18	4.45	0.10		7 650
	243		13.14	2.39	3.53	0.18		16.17	2.94	4.12	0.10		
HDR1400	228	388	16.24	2.95	4.37	0.18	479	19.99	3.63	5.10	0.10	8 950	
	257		14.43	2.62	3.88	0.18		17.77	3.23	4.53	0.10		7 950
	276		13.44	2.44	3.62	0.18		16.54	3.01	4.22	0.10		
HDR1500	238	446	17.90	3.25	4.81	0.18	550	22.03	4.00	5.62	0.10	10 350	
	257		16.57	3.01	4.46	0.18		20.39	3.71	5.20	0.10		9 600
	276		15.43	2.80	4.15	0.18		18.99	3.45	4.84	0.10		

