



中华人民共和国国家标准

GB 20688.2—2006

橡胶支座 第2部分：桥梁隔震橡胶支座

Rubber bearings—

Part 2: Elastomeric seismic-protection isolators for bridges

(ISO 22762-2:2005, Elastomeric seismic-protection isolators—
Part 2: Applications for bridges—Specifications, MOD)

2006-08-24 发布

2007-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	3
5 隔震橡胶支座分类	5
5.1 按构造分类	6
5.2 按极限性能分类	6
5.3 按水平等效刚度的允许偏差分类	7
6 要求	7
6.1 通则	7
6.2 隔震橡胶支座设计压应力和设计剪应变	7
6.3 隔震橡胶支座性能要求	7
6.3.1 力学性能试验项目	7
6.3.2 力学性能要求	8
6.3.3 剪切性能相关性要求	10
6.3.4 耐久性性能要求	10
6.4 橡胶材料性能要求	11
6.4.1 物理性能试验项目	11
6.4.2 物理性能要求	11
6.4.3 其他性能要求	11
6.5 隔震橡胶支座尺寸要求	12
6.6 钢板强度要求	13
6.7 外观要求	13
7 设计准则	13
7.1 隔震橡胶支座设计参数及要求	13
7.1.1 设计参数的计算公式	13
7.1.2 剪应变的计算及要求	14
7.1.3 其他设计参数的验算	14
7.2 连接件的设计	15
7.2.1 影响连接件的外力	15
7.2.2 连接件验算	15
7.2.3 容许应力	15
8 允许偏差	15
8.1 通则	15
8.2 隔震橡胶支座平面尺寸允许偏差	15
8.3 隔震橡胶支座高度允许偏差	15
8.4 隔震橡胶支座产品的平整度允许偏差	16

8.5 隔震橡胶支座水平偏移允许偏差.....	16
8.6 连接板平面尺寸允许偏差.....	16
8.7 连接板厚度允许偏差.....	16
8.8 连接板螺栓孔位置允许偏差.....	16
9 检验规则.....	17
9.1 检验分类.....	17
9.1.1 型式检验.....	17
9.1.2 出厂检验.....	17
9.2 检验项目.....	17
9.3 判定规则.....	17
10 隔震橡胶支座产品标志和标签	17
10.1 内容	17
10.2 要求	18
10.3 示例	18
附录 A (资料性附录) 本部分章条编号与 ISO 22762-2:2005 章条编号对照	19
附录 B (规范性附录) 支座设计要求	21
附录 C (资料性附录) 支座橡胶材料拉伸性能要求	22
附录 D (资料性附录) 支座的竖向压缩刚度和弹性模量的确定	23
D.1 竖向压缩刚度 K_v	23
D.2 橡胶修正压缩弹性模量 E_c 计算公式	23
D.3 橡胶修正压缩弹性模量 E_c 经验公式	23
附录 E (资料性附录) 支座剪切性能确定	24
E.1 天然橡胶支座的剪切性能	24
E.2 高阻尼橡胶支座的剪切性能	24
E.3 铅芯橡胶支座的剪切性能	25
附录 F (资料性附录) 修正压缩弹性模量 E_c' 的确定	27
附录 G (资料性附录) 支座的最大设计压应力	28

前　　言

本部分的 6.3.1、6.3.2、6.3.4、6.7、8.4、8.5、8.8、9.1、9.2、9.3 条中加黑内容为强制性的，其余为推荐性的。

《橡胶支座》分为四个部分：

- 第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法；
- 第 2 部分：桥梁隔震橡胶支座；
- 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座；
- 第 4 部分：普通橡胶支座。

本部分为《橡胶支座》的第 2 部分。

本部分修改采用国际标准 ISO 22762-2:2005《橡胶隔震支座 第 2 部分：在桥梁上应用》(英文版)。

本部分根据 ISO 22762-2:2005 重新起草。考虑到我国国情，在采用 ISO 22762-2:2005 时，本部分做了一些修改。为了方便比较，在资料性附录 A 中列出了本国家标准条款和国际标准条款的对照一览表。主要差异如下：

- 按照汉语习惯对一些编排格式进行了修改；
- 将一些适用于国际标准的表述改为适用于我国标准的表述；
- 删除了国际标准 ISO 22762-2 中的附录 A、附录 D、附录 E；将附录 B 和附录 C 及 7.6~7.8 合并后成为附录 B；保留了附录 F 和附录 J 的内容，成为本部分附录 C 和附录 G；对附录 G、附录 H 和附录 I 进行修改后予以保留，成为本部分附录 D、附录 E 和附录 F；新增加了附录 A。

本部分的附录 B 为规范性附录，附录 A、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G 为资料性附录。

本部分由中国石油和化学工业协会提出。

本部分由全国橡胶与橡胶制品标准化技术委员会橡胶杂品分会(SAC/TC 35/SC 7)归口。

本部分起草单位：广州大学工程抗震研究中心、北京市化工产品质量监督检验站、交通部公路科学研究院。

本部分主要起草人：周福霖、黄襄云、武晓星、马玉宏、何玉珊。

橡胶支座

第2部分：桥梁隔震橡胶支座

1 范围

本部分规定了桥梁隔震橡胶支座及所用橡胶材料和钢板等的要求,包括橡胶支座的分类、要求、设计准则、允许偏差、检验规则、标志和标签。

本部分适用于桥梁结构所用的隔震橡胶支座。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 20688.1—2007 橡胶支座 第1部分:隔震橡胶支座试验方法(ISO 22762-1;2005,MOD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1

破坏 breaking

由压(或拉)-剪荷载引起的隔震橡胶支座的断裂破坏。

3.2

屈曲 buckling

在压-剪荷载作用下隔震橡胶支座失去稳定性时的状态。

3.3

压缩性能 compressive properties

各类型隔震橡胶支座的压缩刚度(K_v)。

3.4

压-剪试验装置 compressive-shear testing machine

用于测试隔震橡胶支座性能的装置,具有在恒定压力下施加剪切荷载的能力。

3.5

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。

3.6

设计压应力 design compressive stress

设计采用的作用于隔震橡胶支座上的压应力。

3.7

有效承压面积 effective loaded area

隔震橡胶支座承受竖向荷载的面积,等于内部橡胶的平面面积。

3.8

有效宽度 effective width

矩形隔震橡胶支座中内部橡胶层的短边长度。

3.9

隔震橡胶支座 elastomeric isolator

在地震区,用于房屋、桥梁或其他结构隔震的橡胶支座,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)。

3.10

普通橡胶支座 normal rubber bearing

用于房屋、桥梁或其他结构,主要起承压、减振作用的橡胶支座,包括板式支座和盆式支座。

3.11

第一形状系数 1st shape factor

隔震橡胶支座中单层橡胶层的有效承压面积与其自由侧面表面积之比。

3.12

第二形状系数 2nd shape factor

对于圆形隔震橡胶支座,为内部橡胶层直径与内部橡胶总厚度之比。

对于矩形或方形隔震橡胶支座,为内部橡胶层有效宽度与内部橡胶总厚度之比。

3.13

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

用天然橡胶制成的隔震橡胶支座。

3.14

铅芯橡胶支座(LRB) lead rubber bearing

内部含有竖向铅芯的隔震橡胶支座。

3.15

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隔震橡胶支座。

3.16

内部橡胶 inner rubber

支座内部多层钢板之间的橡胶层。

3.17

最大压应力 maximum compressive stress

地震时作用于隔震橡胶支座上的最大压应力。

3.18

名义压应力 nominal compressive stress

制造厂提供的隔震橡胶支座允许承受的压应力。

3.19

滚翻 roll-out

用暗销或凹槽连接的隔震橡胶支座发生水平位移时出现滚动翻倒的失稳现象。

3.20

剪切性能 shear properties

天然橡胶支座的水平等效刚度(K_b)和等效阻尼比(h_{eq})。

铅芯橡胶支座的水平等效刚度(K_b)、等效阻尼比(h_{eq})、屈服后刚度(K_d)和屈服力(Q_d)。

高阻尼橡胶支座的水平等效刚度(K_b)和等效阻尼比(h_{eq})。

3.21

极限性能 ultimate properties

在压-剪荷载作用下隔震橡胶支座产生破坏、屈曲或滚翻时的性能。

3.22

极限性能曲线(UPD) ultimate properties diagram

隔震橡胶支座达到极限性能时的剪力与剪切位移的关系曲线。

4 符号

本部分采用的主要符号如下：

- A ——有效面积, 支座内部橡胶的平面面积;
- A_b ——螺栓的有效面积;
- A_e ——隔震橡胶支座顶面和底面之间的有效重叠面积;
- A_{free} ——隔震橡胶支座的自由表面积;
- A_p ——铅芯橡胶支座中的铅芯面积;
- 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 ——连接板受弯部分的有效宽度;
- 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;
- $C_r(\gamma)$ —— K_r 的修正系数;
- $C_p(\gamma)$ —— K_p 的修正系数;
- c ——连接板螺栓孔中心到支座外边缘的距离;
- D' ——圆形支座包括保护层厚度的直径;
- D_t ——圆形连接板的直径;
- d_i ——内部钢板的开孔直径;
- d_k ——螺栓孔直径;
- d_o ——内部钢板的外径;
- E_{sp} ——橡胶的表观弹性模量;
- E_c ——橡胶的修正压缩弹性模量;
- E_c' ——与形状系数(SI)相关的修正压缩弹性模量;
- E_v ——橡胶的体积弹性模量;
- E_g ——橡胶的弹性模量;
- F_u ——隔震橡胶支座承受的提高拉力;
- f ——试验加载频率;
- f_s ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
- f_u ——钢材的极限抗拉强度;
- f_y ——钢材的屈服强度;
- G ——橡胶的剪切模量;
- $G_{eq}(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效剪切模量;
- H ——橡胶支座包括连接板的总高度;
- H_n ——橡胶支座不包括连接板的高度;
- h_{eq} ——等效阻尼比;
- $h_{eq}(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效阻尼比;
- K_a ——铅芯橡胶支座的屈服后刚度;
- K_h ——水平等效刚度;
- K_i ——初始水平等效刚度;

- K_p ——铅芯橡胶支座中铅芯的水平等效刚度；
 K_r ——铅芯橡胶支座嵌入铅芯前的水平等效刚度；
 K_t ——水平切线刚度；
 K_v ——竖向压缩刚度；
 L_f ——正方形连接板的边长；
 M ——抗转动弯矩；
 M_F ——作用在连接板有效截面上的弯矩；
 M_i ——作用在螺栓上的弯矩；
 M_r ——作用在支座上的弯矩；
 n ——内部橡胶层数；
 n_b ——连接螺栓数量；
 P ——压力；
 P_0 ——设计压力；
 P_{\max} ——最大设计压力；
 P_{\min} ——最小设计压力；
 Q ——剪力；
 Q_b ——破坏剪力；
 Q_{buk} ——屈曲剪力；
 Q_d ——屈服力；
 S_1 ——第一形状系数；
 S_2 ——第二形状系数；
 T ——连接螺栓的拉力；
 T_r ——内部橡胶总厚度 $T_r = n \times t_r$ ；
 t_r ——单层内部橡胶的厚度；
 t_{r1}, t_{r2} ——支座上、下表面橡胶层厚度；
 t_s ——单层内部钢板的厚度；
 t_0 ——橡胶支座保护层厚度；
 $U(\gamma)$ ——屈服力与剪应变为 γ 时对应剪力之比；
 V ——提离力；
 v ——加载速度；
 W_d ——每加载循环所消耗的能量，即滞回曲线的包络面积；
 X ——剪切位移；
 X_0 ——设计剪切位移；
 X_b ——破坏时的剪切位移；
 X_{buk} ——屈曲时的剪切位移；
 X_s ——反复加载试验时支座的剪切位移；
 X_{\max} ——最大设计剪切位移；
 X_d ——动力剪切位移；
 Y ——压缩位移；
 Z ——连接板的截面抵抗矩；
 α ——线性热膨胀系数；
 γ ——剪应变；
 γ_0 ——设计剪应变；

- γ ——最大容许剪应变；
 γ_b ——破坏时的剪应变；
 γ_c ——压力引起的剪应变；
 γ_d ——动力剪应变；
 γ_{\max} ——最大剪应变；
 γ_t ——转动引起的剪应变；
 γ_s ——反复加载试验时支座的剪应变；
 γ_u ——极限剪应变；
 δ_H ——支座水平偏差；
 δ_V ——支座平整度偏差；
 ϵ ——支座压应变；
 ϵ_{cr} ——徐变应变；
 ϵ_T ——支座拉应变；
 ϵ_{Tb} ——隔震橡胶支座破坏时的拉应变；
 ϵ_{Ty} ——隔震橡胶支座屈服时的拉应变；
 ζ ——隔震橡胶支座总高度 H_0 与内部橡胶总厚度之比；
 θ ——对圆形支座直径或矩形支座轴线的支座转角；
 θ_a ——支座沿长边方向(a)的转角；
 θ_b ——支座沿短边方向(b)的转角；
 λ ——钢板应力修正系数；
 η ——临界应力修正系数；
 κ ——与硬度有关的弹性模量修正系数；
 $\Sigma\gamma$ ——总剪应变；
 σ ——压应力；
 σ_0 ——设计压应力；
 σ_B ——螺栓拉应力；
 σ_b ——连接板弯曲应力；
 σ_{cr} ——隔震橡胶支座的临界应力；
 σ_{\max} ——最大设计压应力；
 σ_{\min} ——最小设计压应力；
 σ_s ——钢板拉应力；
 σ_t ——拉应力；
 σ_{te} ——容许拉应力；
 σ_{yi} ——钢板的屈服应力；
 τ_B ——螺栓的剪应力；
 τ_i ——钢材的容许剪应力；
 ϕ ——支座受压屈曲稳定系数；
 ψ ——支座受压屈曲检验系数；
 ξ ——临界应力计算系数。

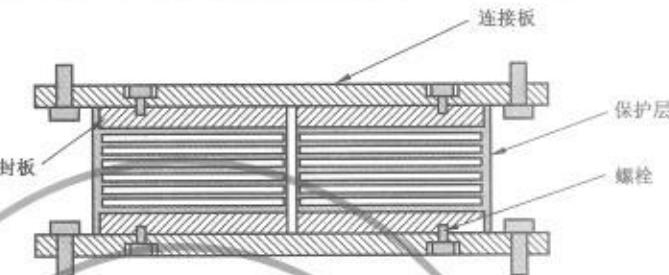
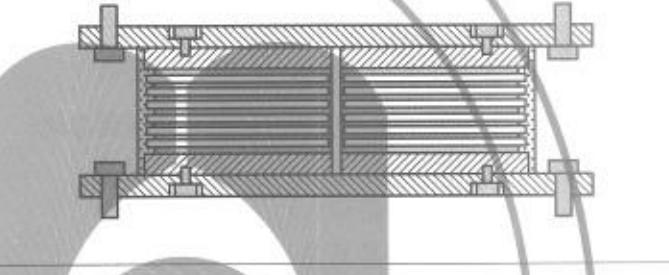
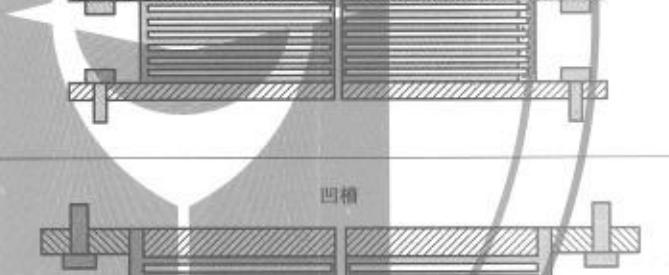
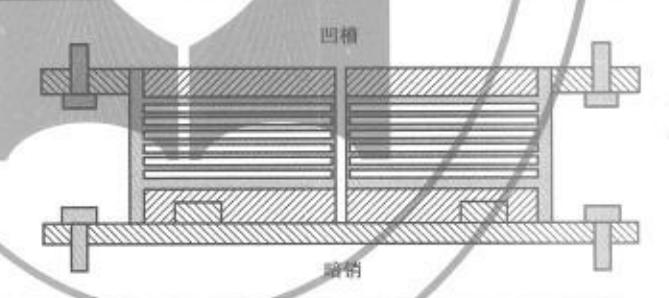
5 隔震橡胶支座分类

隔震橡胶支座可根据构造、极限性能和水平等效刚度的允许偏差进行分类。

5.1 按构造分类

隔震橡胶支座按构造分为3类,见表1。

表1 按构造分类

分 类	说 明	图 示
I型	连接板和封板用螺栓连接。封板与内部橡胶黏合 橡胶保护层在支座硫化前包裹	
	连接板和封板用螺栓连接。封板与内部橡胶黏合 橡胶保护层在支座硫化后包裹	
II型	连接板直接与内部橡胶黏合	
III型	支座与连接板用凹槽或暗销连接	

5.2 按极限性能分类

隔震橡胶支座按极限性能分类见表2。

表2 按极限性能分类

静载引起的压应力/ (N/mm ²)	极限剪应变 γ_u			
	$\gamma_u \geq 300\%$	$300\% > \gamma_u \geq 250\%$	$250\% > \gamma_u \geq 200\%$	$\gamma_u < 200\%$
6.0	A1	B1	C1	D1
8.0	A2	B2	C2	D2
10.0	A3	B3	C3	D3
12.0	A4	B4	C4	D4

5.3 按水平等效刚度的允许偏差分类

隔震橡胶支座按水平等效刚度的允许偏差分类见表3。

表3 按水平等效刚度的允许偏差分类

类 别	允许偏差
S-A	±10%
S-B	±20%

6 要求

6.1 通则

确定橡胶支座性能的标准温度为23℃,应考虑橡胶支座的实际使用环境确定其工作温度的范围。

6.2 隔震橡胶支座设计压应力和设计剪应变

隔震橡胶支座的设计压应力和设计剪应变应按下列公式计算:

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A}, \quad \sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A_e}, \quad \sigma_{\min} = \frac{P_{\min}}{A}, \quad \gamma_0 = \frac{X_0}{T_r}, \quad \gamma_{\max} = \frac{X_{\max}}{T_r}$$

式中:

σ_0 ——设计压应力;

σ_{\max} ——最大设计压应力;

σ_{\min} ——最小设计压应力;

P_0 ——设计压力;

P_{\max} ——最大设计压力;

P_{\min} ——最小设计压力;

A ——有效面积,支座内部橡胶的平面面积;

A_e ——支座顶面和底面之间的有效重叠面积;

γ_0 ——设计剪应变;

γ_{\max} ——最大剪应变;

X_0 ——设计剪切位移;

X_{\max} ——最大设计剪切位移;

T_r ——内部橡胶总厚度($T_r = n \times t_r$)。

6.3 隔震橡胶支座性能要求

6.3.1 力学性能试验项目

隔震橡胶支座力学性能试验项目见表4,支座标准试件见GB/T 20688.1—2007的6.1。

表4 隔震橡胶支座力学性能试验项目

性 能	试验项目	试验方法	出厂检验	型式检验	试 件
压缩性能 转动性能	竖向压缩刚度 压缩位移	GB/T 20688.1—2007 的 6.3.1	√	√	足尺
剪切性能	水平等效刚度 屈服后刚度 等效阻尼比	GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2	√	√	足尺

表 4 (续)

性 能	试验项目	试验方法	出厂检验	型式检验	试 件
拉伸性能	破坏拉力 拉伸破坏或屈服时对应的剪应变	GB/T 20688.1—2007 的 6.6	×	△	足尺或 缩尺模型 B
剪切性能相关性	剪应变相关性	GB/T 20688.1—2007 的 6.4.1	×	√	足尺或 缩尺模型 B
	压应力相关性	GB/T 20688.1—2007 的 6.4.2	×	△	足尺或 缩尺模型 B
	加载频率相关性	GB/T 20688.1—2007 的 6.4.3	×	√(m)	足尺或缩尺模型 A, 标准试件, 剪切型橡胶试件
	反复加载次数 相关性	GB/T 20688.1—2007 的 6.4.4	×	√	足尺或 缩尺模型 B
	温度相关性	GB/T 20688.1—2007 的 6.4.5	×	√(m)	足尺或缩尺模型 A, 标准试件, 剪切型橡胶试件
极限剪切性能	破坏剪应变 屈曲剪应变 滚翻剪应变	GB/T 20688.1—2007 的 6.5	×	√	足尺或 缩尺模型 B
耐久性能	老化性能	GB/T 20688.1—2007 的 6.7.1	×	√(m)	足尺或缩尺模型 A, 标准试件, 剪切型橡胶试件
	徐变性能	GB/T 20688.1—2007 的 6.7.2	×	√	足尺或 缩尺模型 A
	疲劳性能	GB/T 20688.1—2007 的 6.7.3	×	√	足尺或 缩尺模型 B
低速率变形的 反力性能	水平等效刚度 或剪力	GB/T 20688.1—2007 的 6.8	×	△	足尺或 缩尺模型 A
<p>√——要进行试验; √(m)——对支座试件或剪切型橡胶试件进行试验; ×——不进行试验; △——可选择进行试验;</p> <p>缩尺模型 A 的尺寸要求: 对于圆形支座, 直径 ≥ 150 mm, 对于矩形支座, 长边 ≥ 100 mm。 橡胶层厚度 ≥ 1.5 mm, 钢板厚度 ≥ 0.5 mm</p> <p>缩尺模型 B 的尺寸要求: 对于圆形支座, 直径 ≥ 400 mm, 对于矩形支座, 长边 ≥ 400 mm。 橡胶层厚度 ≥ 1.5 mm, 钢板厚度 ≥ 0.5 mm</p> <p>标准试件: 见 GB/T 20688.1—2007 的 6.1。对 LRB, 标准试件仅允许用于老化试验。</p> <p>剪切型橡胶试件: 见 GB/T 20688.1—2007 的 5.8.3。对 LRB, 剪切型橡胶试件仅允许用于老化试验。</p>					

6.3.2 力学性能要求

隔震橡胶支座的力学性能应满足表 5 的要求。

表 5 隔震橡胶支座力学性能要求

序号	项目	要 求	试 件	试验方法和条件
1	压缩性能	<p>竖向压缩刚度 K_V 允许偏差为±30%。 计算 K_V 所需的 P_1 和 P_2 可由下式求得：</p> $P_1 = A \sigma_1$ $P_2 = A \sigma_2$ <p>其中： P_1——第3次加载循环时的较小压力； P_2——第3次加载循环时的较大压力； A——有效面积，支座内部橡胶的平面面积； σ_1 和 σ_2 为压应力，可分别采用 1.5 MPa、6.0 MPa</p>	<p>型式检验：应采用足尺支座； 出厂检验：应使用支座产品</p>	<p>试验标准温度应为 23℃。否则应对试验结果进行温度修正</p>
2	转动性能	<p>可在设计荷载作用下进行压缩试验，压缩位移应大于转动位移。 也可进行转动试验，确定支座的转动性能</p>	<p>型式检验：应采用足尺支座； 出厂检验：应使用支座产品</p>	—
3	剪切性能	<p>剪应变可采用 100%、175%。剪切性能试验项目见表 6 的规定。 水平等效刚度允许误差为： S-A 类支座：±10%； S-B 类支座：±20%</p>	<p>型式检验：应采用足尺支座； 出厂检验：应使用支座产品</p>	<p>1. 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2。 2. 试验标准温度应为 23℃，否则应对试验结果进行温度修正</p>
4	拉伸性能	在指定拉力作用下，试件不产生破坏	可采用足尺或缩尺模型 B 支座	<p>1. 在指定剪应变作用下，进行指定拉力的拉伸性能试验。 2. 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.6</p>
5	极限性能	<p>1. 试件在恒定压力作用下产生剪切位移，发生破坏、屈曲或滚翻时的剪应变应大于表 2 的规定。 2. 对于设暗销或凹槽的支座，竖向恒定压力应为 P_{max} 和 P_{min}。 3. 对于承受拉力的支座，按照 GB/T 20688.1—2007 的 6.6 进行测试。当剪应变为 γ_{max} 时，支座不发生拉剪破坏。 4. 当剪应变超过表 2 的要求，未发生破坏、屈曲和滚翻现象时，试验可以继续进行。以支座无明显破坏迹象时的位移为最大位移值</p>	可采用足尺或缩尺模型 B 支座	可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.5
6	低速变形下的反力性能	—	可采用足尺或缩尺 A 型支座	可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.8

表 6 隔震橡胶支座剪切性能试验项目

支座类型	项 目	往复加载次数	试验方法
天然橡胶支座 (LNR)	水平等效刚度 K_h	3	取第 3 次循环的测试值
高阻尼橡胶支座 (HDR)	水平等效刚度 K_h , 等效阻尼比 h_{eq}	3 或 11	取第 3 次循环的测试值 或取第 2~11 次循环的测试平均值
铅芯橡胶支座 (LRB)	水平等效刚度 K_h , 等效阻尼比 h_{eq} , 屈服后刚度 K_d , 屈服力 Q_s	3 或 11	取第 3 次循环的测试值 或取第 2~11 次循环的测试平均值

6.3.3 剪切性能相关性要求

隔震橡胶支座剪切性能相关性应满足表 7 的要求。

表 7 隔震橡胶支座剪切性能相关性要求

序号	项 目	试 件	试验条件
1	剪应变相关性	足尺或缩尺模型 B 支座	1. 应测试在 $0.5 \gamma_0$ 、 $1.0 \gamma_0$ 、 $1.5 \gamma_0$ 或最大剪应变时的剪切性能。 也可增加测试在 $0.1 \gamma_0$ 和 $0.2 \gamma_0$ 剪应变下的剪切性能。 2. 可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.4.1
2	压应力相关性	足尺或缩尺模型 B 支座	1. 应测试在压应力为 0 、 $0.5 \sigma_0$ 、 $1.0 \sigma_0$ 、 $1.5 \sigma_0$ 和最大拉应力下的剪切性能, 基准值为设计压应力下的测试值。 2. 可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.4.2
3	加载频率相关性	足尺、缩尺模型 A 支座、标准试件或剪切型橡胶试件	可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.4.3
4	重复加载次数相关性	足尺或缩尺模型 B 支座	可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.4.4
5	温度相关性	足尺、缩尺模型 A 支座、标准试件或剪切型橡胶试件	可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.4.5

6.3.4 耐久性性能要求

隔震橡胶支座的老化、徐变及疲劳性能应满足表 8 的要求。

表 8 隔震橡胶支座的耐久性性能要求

序号	项 目	要 求	试 件	试验条件
1	老化性能	水平等效刚度和阻尼性能的允许变化率为 $\pm 30\%$	足尺支座、缩尺模型 A 支座、标准试件或剪切型橡胶试件	—
2	徐变性能	在 60 年后的徐变应变不应超过 10%	足尺或缩尺模型 A 支座	—
3	疲劳性能	水平等效刚度允许变化率为 $\pm 15\%$, 试件外观无裂缝	足尺或缩尺模型 B 支座	剪应变可为 70% 或 0% 。 可采用单、双剪试验装置, 试验方法见 GB/T 20688.1—2007 的 6.3.2 和 6.7.3

6.4 橡胶材料性能要求

6.4.1 物理性能试验项目

橡胶材料物理性能试验项目见表 9。

表 9 橡胶材料物理性能试验项目

性 能	试验项目	试验方法	出厂检验			型式检验	
			内部橡胶	橡胶保护层	试验次数	内部橡胶	橡胶保护层
拉伸性能	拉伸强度	GB/T 20688.1—2007 的 5.3	√	√	每工程一次	√	√
	扯断伸长率		√	√	每工程一次	√	√
	100% 拉应变时的弹性模量		×	×	×	√	√
老化性能	拉伸强度变化率	GB/T 20688.1—2007 的 5.4	√	√	每年一次	√	√
	扯断伸长率的变化率		√	√	每年一次	√	√
	100% 拉应变时的弹性模量变化率		×	×	×	√	√
硬度	硬度	GB/T 20688.1—2007 的 5.5	△	△	△	△	△
黏合性能	橡胶与金属黏合强度试件破坏类型	GB/T 20688.1—2007 的 5.6	√	×	每工程一次	√	√
压缩性能	压缩永久变形	GB/T 20688.1—2007 的 5.7	√	×	每年一次	√	×
剪切性能	剪切模量	GB/T 20688.1—2007 的 5.8	△	×	×	√	×
	等效阻尼比		△	×	×	√	×
	剪切模量和等效阻尼比的温度相关性		×	×	×	√	×
脆性性能	脆性温度	GB/T 20688.1—2007 的 5.10	×	×	×	△	√
抗臭氧性能	性能变化率	GB/T 20688.1—2007 的 5.11	×	√	每年一次	×	√
低温结晶性能	硬度变化率	GB/T 20688.1—2007 的 5.12	×	×	×	√ ⁺	√ ⁺

√——要进行试验; ×——不进行试验; △——可选择进行试验;

√⁺——必须进行试验,除非橡胶对工作温度范围内的结晶不敏感(见 GB/T 20688.1—2007 的 5.12)

6.4.2 物理性能要求

橡胶材料物理性能应满足表 10 的要求。

6.4.3 其他性能要求

其他性能应根据表 9 所列的试验项目进行测试,试验结果应在试验前指定的允许偏差范围之内。

表 10 橡胶材料物理性能要求

技术指标		天然橡胶	氯丁橡胶
拉伸性能		见附录 B	
老化性能	拉伸强度变化率	$\pm 25\%$	
	扯断伸长率变化率	最大值 -50%	
	试验条件	70℃×168 h	100℃×72 h
黏合性能		90°剥离强度的最小值为 7.0 N/mm	
压缩永久变形	天然橡胶支座(LNR)所用橡胶 铅芯橡胶支座(LRB)所用橡胶 其他低阻尼支座所用橡胶	$<35\%$	
	高阻尼橡胶支座(HDR)所用橡胶	$<60\%$	
	试验条件	70℃、24~ $\frac{9}{2}$ 小时, 压缩率为 25%	
抗臭氧性能	外观要求	橡胶保护层不出现龟裂	
	试验条件	50×10^{-8} , 20%伸长率, 40℃×96 h	
硬度	硬度可作为质量控制指标之一, 但不应作为主要的设计指标		

6.5 隔震橡胶支座尺寸要求

隔震橡胶支座的尺寸要求见表 11。橡胶保护层的厚度不应小于 5 mm, 并应满足工作环境和条件的要求。

钢板厚度应满足本部分 7.2 应力检验的要求, 并应满足地震时大变形的稳定性要求。

表 11 隔震橡胶支座的尺寸

尺寸 a 或 d_0 /mm	厚 度		第二形状系数 S_2	LRB 铅芯面积与支座 有效面积之比 A_p/A
	单层内部橡胶厚度 t_r /mm	单层内部钢板厚度 t_s /mm		
400	20 $\geq t_r \geq 11$			
450	20 $\geq t_r \geq 11$			
500	20 $\geq t_r \geq 11$			
550	22 $\geq t_r \geq 12$			
600	25 $\geq t_r \geq 13$			
650	27 $\geq t_r \geq 14$			
700	29 $\geq t_r \geq 15$			
750	31 $\geq t_r \geq 16$			
800	33 $\geq t_r \geq 17$			
850	35 $\geq t_r \geq 18$			
900	37 $\geq t_r \geq 19$			
950	39 $\geq t_r \geq 20$			
1 000	41 $\geq t_r \geq 21$			
1 050	43 $\geq t_r \geq 22$			
1 100	45 $\geq t_r \geq 23$			

表 11 (续)

尺寸 a 或 d_0 /mm	厚 度		第二形状系数 S_2	LRB 铅芯面积与支座 有效面积之比 A_p/A
	单层内部橡胶厚度 t_r /mm	单层内部钢板厚度 t_s /mm		
1 150	47≥ t_r ≥24	≥3	≥4	3%≤ A_p/A ≤10%
1 200	50≥ t_r ≥25			
1 250	52≥ t_r ≥27			
1 300	54≥ t_r ≥28			
1 350	56≥ t_r ≥29			
1 400	58≥ t_r ≥30			
1 450	60≥ t_r ≥31			
1 500	62≥ t_r ≥32			

6.6 钢板强度要求

连接板、封板和内部钢板的强度应满足表 12 的要求。

表 12 钢板的强度要求

牌 号	强度设计值/MPa			
	钢板厚度 t /mm(括号内为 Q345 钢板厚度)			
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$ ($16 < t \leq 35$)	$40 < t \leq 60$ ($35 < t \leq 50$)	$60 < t \leq 100$ ($50 < t \leq 100$)
Q235	215	205	200	190
Q345	310	295	265	250

6.7 外观要求

隔震橡胶支座表面应光滑平整, 外观质量应符合表 13 的规定。

表 13 外观要求

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 , 不得多于 2 处, 且内部嵌件不许外露
凹凸不平	凹凸不超过 2 mm , 面积不超过 50 mm^2 , 不得多于 3 处
胶钢粘结不牢(上、下端面)	裂纹长度不超过 30 mm , 深度不超过 3 mm , 不得多于 3 处
裂纹(侧面)	不允许
钢板外露(侧面)	不允许

7 设计准则

7.1 隔震橡胶支座设计参数及要求

7.1.1 设计参数的计算公式

形状系数、竖向压缩刚度、水平等效刚度和等效阻尼比的计算公式见表 14。

表 14 形状系数、竖向压缩刚度、水平等效刚度和等效阻尼比的计算

设计参数		计算公式		备注
		圆形支座	矩形支座	
形状系数	第一形状系数	$S_1 = \frac{d_o - d_i}{4 t_r}$	$S_1 = \frac{4ab - \pi d_l^2}{4t_r(2a + 2b + \pi d_l)}$	对有开孔的支座,有效承压面积应扣除开孔面积; 自由表面积应包括橡胶层的孔洞表面积; 若支座孔洞灌满铅或橡胶,则按无开孔支座考虑
	第二形状系数	$S_2 = \frac{d}{T_r}$	沿短边有约束: $S_2 = \frac{a}{T_r}$ 沿短边无约束: $S_2 = \frac{b}{T_r}$	
竖向压缩刚度		$K_v = \frac{E_c A}{T_r}$		E_c 可参见附录 D
水平等效刚度		$K_h = G \frac{A}{T_r}$ 考虑剪应变对剪切模量的影响时, $K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A}{T_r}$		$G_{eq}(\gamma)$ 可参见附录 E
等效阻尼比		$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_d}{K_h X^2}$		可参见附录 E

7.1.2 剪应变的计算及要求

剪应变的计算及要求见表 15。

表 15 剪应变的计算及要求

设计参数		计算公式及要求		备注
		圆形支座	矩形支座	
剪应变	水平位移引起的剪应变	a) 温度、混凝土收缩、桥梁翘曲等引起的剪应变: $\gamma_s = \frac{X_s}{T_r} \leq 70\%$		
		b) 地震作用引起的剪应变: $\gamma_s = \frac{X_s}{T_r} \leq \frac{\gamma_a}{1.2}$		
剪应变	压力引起的剪应变	$\gamma_t = \frac{6.0 S_1 P_{max}}{E_t' A_t}$	$\gamma_t = \frac{8.5 S_1 P_{max}}{E_t' A_t}$	E_t' 可参见附录 F
	转动引起的剪应变	$\gamma_t = 6.0 S_1^2 \theta / n$	$\gamma_t = \frac{a^2 \theta_a + b^2 \theta_b}{2 t_r^2 n}$	—
总剪应变		$\Sigma \gamma = \gamma_s + \gamma_t + \gamma_r \leq \gamma_{st}$		γ_{st} 为最大容许剪应变, 可参见附录 C

7.1.3 其他设计参数的验算

内部钢板的拉应力验算、最大压应力、转动性能、稳定性能和拉应力验算,以及影响结构的力、弯矩和变形验算等见附录 B。

7.2 连接件的设计

7.2.1 影响连接件的外力

- 连接件设计时应考虑以下外力或其组合作用：
- 竖向压缩反力：恒载反力、活载反力、拉力、地震时的提高力等；
 - 剪力：在支座水平位移、风、地震和其他作用下引起的剪力；
 - 倾覆力矩：由剪力与支座的有效高度相乘得到；
 - 偏心力矩：由剪切位移和竖向压缩反力引起。

7.2.2 连接件验算

螺栓、暗销和连接板的验算分别见表 16、表 17、表 18。

表 16 螺栓的验算

	外 力	需考虑的横截面
抗拉	抗弯拉力+提高力	受拉螺栓横截面面积
抗剪	剪力	所有螺栓横截面总面积

表 17 暗销的验算

	外 力	需考虑的横截面
抗压	剪力	暗销侧表面和封板的接触受压面积
抗剪	剪力	暗销的横截面面积

表 18 连接板的验算

	外 力	需考虑的横截面
抗压	剪力	暗销和连接板的公共受压面积
抗弯	抗弯拉力、提高力产生的弯矩(与螺栓行距有关)	连接板受弯部分的有效宽度与厚度的乘积

7.2.3 容许应力

容许应力应等于屈服应力除以 1.7。

8 允许偏差

8.1 通则

桥梁隔震橡胶支座的尺寸偏差应满足本节的要求。测量方法见 GB/T 20688.1—2007。

8.2 隔震橡胶支座平面尺寸允许偏差

I型、II型和设暗销的III型支座的平面尺寸的偏差应符合表 19 的规定。

对于设凹槽的III型支座，其平面尺寸允许偏差可取 2 mm 或 0.4% 中的较大值。

表 19 支座产品平面尺寸(a' 、 b' 和 D')的允许偏差

标称平面尺寸(a' 、 b' 和 D')/mm	允许偏差
≤ 500	5 mm
$1\ 500 \geq \text{尺寸} > 500$	1%
$> 1\ 500$	15 mm

8.3 隔震橡胶支座高度允许偏差

支座产品高度的偏差应满足表 20 和表 21 的规定，其中表 21 不适合于III型支座。

表 20 支座高度 H_n 的允许偏差

标称产品高度 H_n /mm	允许偏差
$160 \geq H_n > 20$	±2.5%
$H_n > 160$	±4 mm

表 21 支座总高度 H 的允许偏差 单位为毫米

标称连接板直径 D_f 或边长 L_f	允许偏差
≤ 1500	±($H_n \times 0.025 + 1.5$)
> 1500	±($H_n \times 0.025 + 2.5$)

8.4 隔震橡胶支座产品的平整度允许偏差

支座产品平整度的偏差应满足表 22 的规定。

表 22 支座平整度的允许偏差 单位为毫米

标称平面尺寸(a' 、 b' 和 D')	允许偏差
≤ 1000	1
> 1000	(a' 、 b' 和 D')/1000

8.5 隔震橡胶支座水平偏移允许偏差

支座产品的水平偏移(δ_H)不应超过 5.0 mm, 此偏移值也适用于经历试验后 48 h 内的残余变形限制要求。

8.6 连接板平面尺寸允许偏差

连接板平面尺寸的偏差应满足表 23 的规定。

表 23 连接板直径和边长的允许偏差 单位为毫米

厚度	D_f (或 L_f) < 1000	$1000 \leq D_f$ (或 L_f) < 3150	$3150 \leq D_f$ (或 L_f) < 6000
$6 < t_f \leq 27$	±2.0	±2.5	±3.0
$27 < t_f \leq 50$	±2.5	±3.0	±3.5
$50 < t_f \leq 100$	±3.5	±4.0	±4.5

8.7 连接板厚度允许偏差

连接板厚度的允许偏差应符合表 24 的规定。

表 24 连接板厚度的允许偏差 单位为毫米

标称尺寸	D_f (或 L_f) < 1600	$1600 \leq D_f$ (或 L_f) < 2000
$16.0 < t_f \leq 25.0$	±0.65	±0.75
$25.0 < t_f \leq 40.0$	±0.70	±0.80
$40.0 < t_f \leq 63.0$	±0.80	±0.95
$63.0 < t_f \leq 100.0$	±0.90	±1.10

8.8 连接板螺栓孔位置允许偏差

连接板螺栓孔位置和封板螺纹孔位置的允许偏差应符合表 25 的规定。

表 25 螺栓孔位置的允许偏差

单位为毫米

标称尺寸	较高要求	一般要求
$400 < D_t \text{ (或 } L_t \text{)} \leq 1000$	±0.8	±2.0
$1000 < D_t \text{ (或 } L_t \text{)} \leq 2000$	±1.2	±3.0
$D_t \text{ (或 } L_t \text{)} > 2000$	±2.0	±4.0

9 检验规则

9.1 检验分类

检验分型式检验和出厂检验两类。

9.1.1 型式检验

制造厂提供工程应用的隔震橡胶支座新产品(新种类、新规格、新型号)进行认证鉴定时,或已有支座产品的规格、型号、结构、材料、工艺方法等有较大改变时,应进行型式检验,并提供型式检验报告。

9.1.2 出厂检验

隔震橡胶支座产品在使用前应由检测部门进行质量控制试验,检验合格并附合格证书,方可使用。

9.2 检验项目

检验项目应按表 4 和表 9 的规定执行。

9.3 判定规则

9.3.1 型式检验的试件可按表 4 采用。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) 相应的外部和内部尺寸相差 10% 以内;
- c) 第二形状系数相差 ±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。

9.3.2 出厂检验可采用随机抽样的方式确定检测试件。若有一件抽样试件的一项性能不合格,则该次抽样检验不合格。不合格产品不得出厂。

对一般桥梁,产品抽样数量应不少于总数的 20%;若有不合格试件,应重新抽取总数的 30%,若仍有不合格试件,则应 100% 检测。

对重要桥梁,产品抽样数量应不少于总数的 50%;若有不合格试件,则应 100% 检测。

对特别重要的桥梁,产品抽样数量应为总数的 100%。

每项工程抽样总数不少于 20 件,每种规格的产品抽样数量不少于 4 件。

9.3.3 支座产品在安装前应对工程中所用的各种类型和规格的原型部件进行抽样检测,抽样的数量和要求同出厂检验。

10 隔震橡胶支座产品标志和标签

10.1 内容

支座产品的标志和标签应提供以下信息:

- a) 制造厂的名字和企业的商标;
- b) 支座的类型:天然橡胶支座(LNR),高阻尼橡胶支座(HDR),铅芯橡胶支座(LRB);
- c) 产品序列号或生产号码;
- d) 支座产品的尺寸,标注方法如下:

圆形支座可标注为“D-直径尺寸”;矩形支座可标注为“长边×短边尺寸”;方形支座可标注为“S 边

长尺寸”。尺寸单位为毫米(mm)。

标注示例：

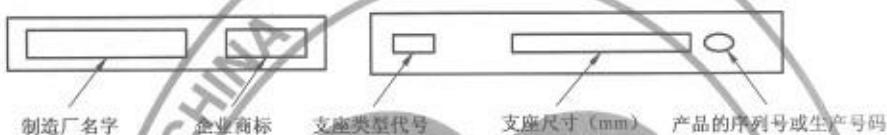
- 1) 直径为 800 mm 的圆形支座可表示为 D-800；
- 2) 边长为 800 mm×600 mm 的矩形支座可表示为 800×600；
- 3) 边长为 800 mm 的方形支座可表示为 S800 或 800×800。

10.2 要求

- a) 标志和标签应显示在支座的侧表面；
- b) 标志和标签应防水且耐磨损；
- c) 标志和标签应方便辨认，字母的高度和宽度应大于 5 mm。

10.3 示例

- a) 表示成一行的形式：



- b) 表示成两行的形式：



示例：××××××公司生产的直径为 800 mm 的高阻尼橡胶支座可表示为：



附录 A
(资料性附录)

本部分章条编号与 ISO 22762-2:2005 章条编号对照

表 A.1 给出了本部分章条编号与 ISO 22762-2:2005 章条编号对照一览表。

表 A.1 本部分章条编号与 ISO 22762-2:2005 章条编号对照

本部分章条编号	对应的国际标准章条编号
—	5.1
5.1	5.2
5.2	5.3
5.3	5.4
—	6.3
6.2	6.4
6.3	6.5
6.3.1	6.5.1
6.3.2	6.5.2~6.5.5、6.5.7~6.5.10
6.3.3	6.5.6
6.3.4	6.5.8、6.5.9
6.4	6.6
6.4.1	6.6.1
6.4.2	6.6.2~6.6.7
6.4.3	6.6.8
6.5	6.7
6.6	6.8
6.7	—
7.1.1	7.2.1、7.2.2、7.3.1、7.3.2
7.1.2	7.4、7.5.1~7.5.3
7.2.1	7.9.1
7.2.2	7.9.2
7.2.3	7.9.3
8.2	8.3.2
8.3	8.4.2
8.4	8.5.2
8.5	8.6.2
8.6	8.8
8.7	8.9
9.1	6.2

表 A.1 (续)

本部分章条编号	对应的国际标准章条编号
9.2	6.2
9.3.1	6.2
9.3.2	6.2
9.3.3	6.2
10.1	9.2
10.2	9.3
10.3	9.3
附录 A	—
附录 B	附录 B、附录 C、正文 7.6~7.8
附录 C	附录 F
附录 D	附录 G
附录 E	附录 H
附录 F	附录 I
附录 G	附录 J
—	附录 A
—	附录 D
—	附录 E

注：表中的章条以外的本部分其他章条编号与 ISO 22762-2:2005 其他章条编号相同。

附录 B
(规范性附录)
支座设计要求

内部钢板的拉应力验算、支座的最大压应力、转动性能、稳定性能和拉应力验算，以及影响结构的动力、弯矩和变形验算等见表 B.1。

表 B.1 支座设计要求

设计参数	计算公式及要求		备注
	圆形支座	矩形支座	
内部钢板的拉应力	$\sigma_s = 2\lambda \frac{P_{max} t_r}{A_e t_s} \leq f_u$		λ 为修正系数 无开孔的支座: $\lambda = 1.0$ 有开孔的支座 ($A_p/A = 3\% \sim 10\%$): $\lambda = 1.5$
稳定性验算	最大设计压应力	$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A_e}$	最大设计压应力容许值可参考附录 G
	转动	$\frac{1}{C_1} \cdot \frac{P}{K_v} \geq \frac{d_o \theta}{2}$	C_1 为安全系数, 可取 1.3
	屈曲	$\frac{P_{max}}{A_e} \leq \frac{1}{\phi} \cdot \frac{d_o G S_1}{T_r}$	不考虑地震作用: $\phi = 2.5$ 考虑地震作用: $\phi = 1.5$
	拉应力	$\sigma_t = \frac{V}{A_e} \leq \sigma_{tw}$	不考虑地震作用: $\sigma_{tw} = 0$ MPa 考虑地震作用: 当剪切模量 $G = 0.8$ MPa 时: $\sigma_{tw} = 1.6$ MPa 当剪切模量 $G \geq 1.0$ MPa 时: $\sigma_{tw} = 2.0$ MPa
支座对结构内力和变形的影响	支座位移引起的剪力	$Q = K_h \cdot X$	
	支座转动引起的弯矩	$M = \frac{G}{\gamma_m} \cdot \frac{\pi \theta D^6}{512 n t_r^3}$ $\gamma_n = 1$	1. 系数 K_h 见表 B.2。 2. 弯矩 M 在多数情况下适用, 在特殊情况下, 要通过试验确定
	支座压力引起的竖向压缩位移	$Y = \frac{P}{K_v}$	

表 B.2 系数 K_h

b/a	0.5	0.75	1	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5
K_h	137	100	86.2	80.4	79.3	78.4	76.7	75.3
b/a	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.5	10	∞
K_h	74.1	73.1	72.2	71.5	70.8	68.3	61.9	60

附录 C
(资料性附录)
支座橡胶材料拉伸性能要求

橡胶材料性能		要 求		
	剪切模量 G^* / MPa	0.8	1.0	1.2
拉伸强度 / MPa	高阻尼橡胶支座(HDR)			
	支座模型	≥10		
	支座产品	≥8		
	天然橡胶支座(LNR)			
	支座模型	≥15		
	支座产品	≥13		
扯断伸长率 / %	高阻尼橡胶支座(HDR)			
	支座模型	≥650	≥600	≥550
	支座产品	≥600	≥550	≥500
	低阻尼氯丁橡胶支座			
	支座模型	≥450	≥450	≥450
	支座产品	≥400	≥400	≥400
	天然橡胶和铅芯橡胶支座(LNR, LRB)			
	支座模型	≥550	≥550	≥500
	支座产品	≥500	≥500	≥450

注：在 7.1.2 中 γ_s 可取扯断伸长率的数据，并取安全系数为 1.5。
 例如：对于高阻尼橡胶支座产品(HDR)， $G=0.8$ 时， $\gamma_s=500\% / 1.5 = 400\%$

* G 是对应于剪应变 100%~175% 的剪切模量

附录 D

(资料性附录)

支座的竖向压缩刚度和弹性模量的确定

D.1 竖向压缩刚度 K_v 竖向压缩刚度 K_v 由式(D.1)得出:

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} \quad (\text{D.1})$$

D.2 橡胶修正压缩弹性模量 E_c 计算公式橡胶修正压缩弹性模量 E_c 可由式(D.2)计算:

$$E_c = \left[\frac{1}{E_{ap}} + \frac{1}{E_0} \right]^{-1} \quad (\text{D.2})$$

 E_0 可由表 D.1 选取, E_{ap} 可按下述两种方法计算:

1) 不考虑剪应变影响时, 按式(D.3)计算:

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

 E_0, κ 可由表 D.1 选取。

2) 考虑剪应变影响时, 按式(D.4)计算:

$$E_{ap} = 3G_{av}(\gamma) \cdot (1 + 2S_1^2) \quad (\text{D.4})$$

式中:

 $G_{av}(\gamma)$ ——压缩荷载产生的平均剪应变 γ 对应的剪切模量, 单位为兆帕(MPa), γ 可按式(D.5)估算:

$$\gamma = \sqrt{6 S_1 \epsilon} \quad (\text{D.5})$$

 ϵ ——支座的正应变。D.3 橡胶修正压缩弹性模量 E_c 经验公式由桥梁支座试验得出的橡胶修正压缩弹性模量 E_c 可按下述经验公式[式(D.6)、式(D.7)]估算:

$$\text{矩形支座: } E_c = \alpha_1 S_1 G \quad (\text{D.6})$$

$$\text{圆形支座: } E_c = 0.75 \alpha_1 S_1 G \quad (\text{D.7})$$

式中:

 α_1 ——经验修正系数; 对天然橡胶支座(LNR), $\alpha_1 = 35$; 对高阻尼橡胶支座(HDR)和铅芯橡胶支座(LRB), $\alpha_1 = 45$; G —— G 可由表 D.1 选取。

表 D.1 支座橡胶材料力学性能参数(也可由制造厂提供)

硬度	E_0/MPa	G/MPa	κ	E_c/MPa
30	0.92	0.30	0.93	1.00×10^3
40	1.50	0.45	0.85	1.00×10^3
50	2.20	0.64	0.73	1.03×10^3
60	5.34	1.06	0.57	1.15×10^3
70	7.34	1.72	0.53	1.27×10^3

附录 E (资料性附录) 支座剪切性能确定

E. 1 天然橡胶支座的剪切性能

天然橡胶支座(LNR)的水平等效刚度 K_b 可按式(E.1)计算:

$$K_h = G \frac{A}{T} \quad \dots \dots \dots \quad (E.1)$$

LNR 的水平切线刚度 K_t 也可代表其剪切性能, K_t 的定义详见 GB/T 20688.1—2007 的附录 G。

E. 2 高阻尼橡胶支座的剪切性能

a) 水平等效刚度

高阻尼橡胶支座典型的剪力-剪切位移滞回曲线见图 E.1。

水平等效刚度 K_h 为滞回曲线上峰值点 A 和下峰值点 B 连线(AB)的斜率。

水平等效刚度 K_h 的计算如式(E.2)：

$$K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A}{T_r} \quad \dots \dots \dots \quad (E.2)$$

式中：

$G_e(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效剪切模量, 单位为兆帕(MPa), 根据试验确定。

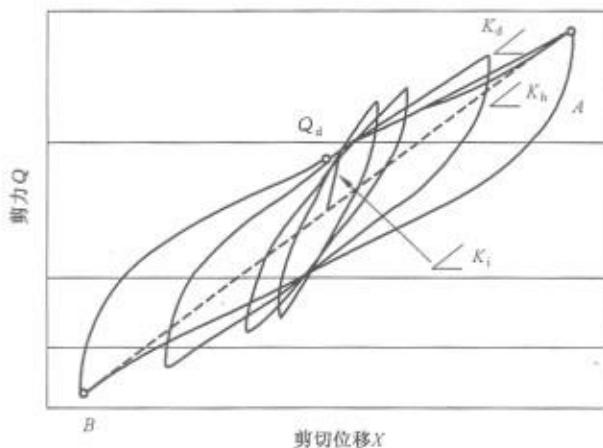


图 E.1 高阻尼橡胶支座的剪力-剪切位移滞回曲线

图 E.2 表示高阻尼橡胶的剪切模量和阻尼比的应变相关性。

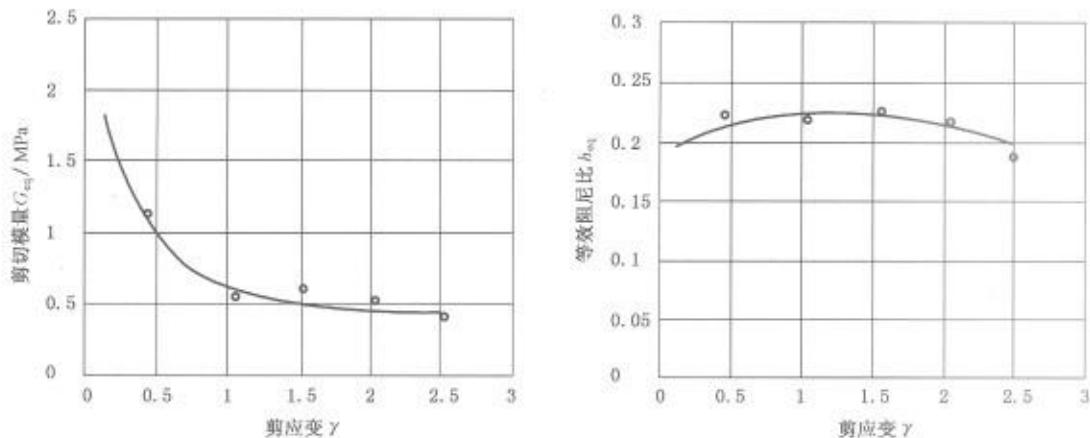
b) 等效阻尼比 $h_{eq}(\gamma)$

等效阻尼比 $h_{eq}(\gamma)$ 可按式(E.3)计算:

$$h_{eq}(\gamma) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{W_d}{2K_h(T_r)\gamma^2} \quad \dots \dots \dots \text{(E. 3)}$$

式中：

W_d ——剪力-剪切位移滞回曲线的包络面积,单位为牛顿毫米(N·mm),由试验确定。

图 E.2 高阻尼橡胶支座的 $G_{eq}(\gamma)$ 、 $h_{eq}(\gamma)$ 与剪应变 γ 的关系曲线c) 初始水平刚度 K_i 和屈服后刚度 K_d 高阻尼橡胶支座的初始水平刚度 K_i 和屈服后刚度 K_d 可按式(E.4)计算：

$$K_i = \frac{2U(\gamma) - \pi h_{eq}(\gamma)[1 - U(\gamma)]}{2U(\gamma) - \pi h_{eq}(\gamma)} \cdot K_{eq} \quad (\text{E.4})$$

$$K_d = [1 - U(\gamma)] \cdot K_{eq} \quad (\text{E.5})$$

式中：

 $U(\gamma)$ ——屈服力与剪应变 γ 对应的剪力之比[见式(E.6)]：

$$U(\gamma) = \frac{Q_d}{K_{eq}(T_r, \gamma)} \quad (\text{E.6})$$

E.3 铅芯橡胶支座的剪切性能

a) 水平等效刚度 K_h

铅芯橡胶支座典型的剪力-剪切位移滞回曲线见图 E.3。

水平等效刚度 K_h 可按式(E.7)计算：

$$K_h = \frac{Q_d}{\gamma T_r} + K_i \quad (\text{E.7})$$

式中：

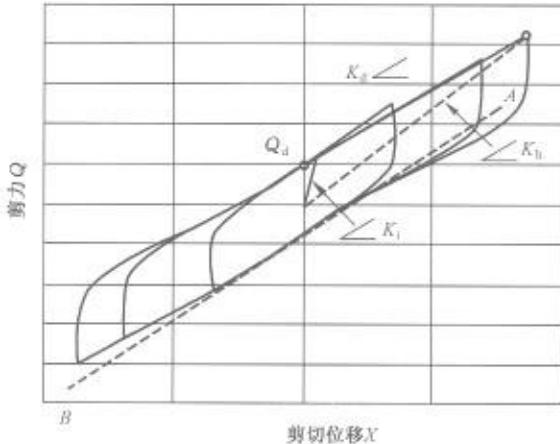
 Q_d ——屈服力, 单位为牛顿(N), 由试验确定。

图 E.3 铅芯橡胶支座的剪力-剪切位移滞回曲线

b) 屈服后刚度 K_d

屈服后刚度 K_d 可按式(E. 8)计算:

式中：

K_e ——铅芯橡胶支座嵌入铅芯前的水平等效刚度,单位为牛顿每毫米(N/mm), $(K_e = G \frac{A}{T_e})$;

K_p ——铅芯橡胶支座中铅芯的水平等效刚度,单位为牛顿每毫米(N/mm);

$C_r(\gamma)$ —— K_r 的修正系数；

$C_n(\gamma)$ — K_n 的修正系数;

注： $C_r(\gamma)$, $C_s(\gamma)$ 由试验数据推导而得。

c) 初始刚度 K_0

初始刚度 K_0 可按式(E.9)计算:

α_0 可取 10 到 15。

附录 F

(资料性附录)

修正压缩弹性模量 E_c' 的确定

当第一形状系数 $S_1 \leq 8$ 时, $E_c = E_{np}$

其他情况，按下述经验公式[式(F.1)]计算：

$$E_c' = \frac{(E_c + 3E_{sp})}{4} \quad \dots \dots \dots \text{ (F. 1)}$$

附录 G
(资料性附录)
支座的最大设计压应力

最大设计压应力 σ_{\max} 可根据第一形状系数 S_1 按表 G. 1 确定：

表 G. 1

S_1	最大设计压应力 σ_{\max}/MPa
$S_1 < 8$	$\sigma_{\max} \leq 8$
$8 \leq S_1 < 12$	$\sigma_{\max} \leq S_1$
$12 \leq S_1$	$\sigma_{\max} \leq 12$