



中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T 1062—2025

代替JT/T 822—2011、JT/T 842—2012、JT/T 1062—2016等

桥梁减隔震装置通用技术条件

General technical requirements of seismic isolation devices for bridges

2025-03-24 发布

2025-07-01 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和符号..... 2

4 分类、结构及型号..... 5

5 技术要求..... 16

6 试验方法..... 28

7 检验规则..... 36

附录 A(资料性) 桥梁减隔震装置基本力学模型 40

附录 B(资料性) 桥梁减隔震装置的设计计算 41

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 JT/T 822—2011《公路桥梁铅芯隔震橡胶支座》、JT/T 842—2012《公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座》、JT/T 843—2012《公路桥梁弹塑性钢减震支座》、JT/T 852—2013《公路桥梁摩擦摆式减隔震支座》、JT/T 927—2014《桥梁双曲面球型减隔震支座》、JT/T 928—2014《桥梁超高阻尼隔震橡胶支座》、JT/T 1062—2016《桥梁减隔震装置通用技术条件》。以 JT/T 1062—2016 为主，整合了 JT/T 822—2011、JT/T 842—2012、JT/T 843—2012、JT/T 852—2013、JT/T 927—2014、JT/T 928—2014 的内容。与 JT/T 1062—2016 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了桥梁减隔震装置范围(见第1章,2016年版的第1章)；
- b) 增加了剪力卡榫装置、隔震橡胶支座、摩擦摆减隔震支座、整体式摩擦摆减隔震支座、分离式摩擦摆减隔震支座、弹塑性钢减隔震支座、设计压应力、保险销和复合橡胶的术语和定义(见3.1.2、3.1.4~3.1.11)；
- c) 删除了隔震装置、减震装置、刚性连接装置、永久连接装置、熔断保护装置、位移相关型装置、速度相关型装置、流体黏滞阻尼器、黏弹性阻尼器的术语和定义(见2016年版的3.2~3.6、3.8~3.11)；
- d) 增加了符号(见3.2)；
- e) 更改了桥梁减隔震装置分类(见4.1,2016年版的第4章)；
- f) 增加了桥梁减隔震装置结构、型号(见4.2、4.3)；
- g) 删除了桥梁减隔震装置按布置方式的分类方法(见2016年版的4.3)；
- h) 更改了减隔震装置功能要求和使用性能要求(见5.1.1,2016年版的5.1、5.2)；
- i) 增加了环境适应性、装配性、安装要求(见5.1.2~5.1.4)；
- j) 增加了剪力卡榫装置的材料、工艺性能及力学性能(见5.2.2~5.2.4)；
- k) 更改了速度锁定装置、隔震橡胶支座的钢材性能指标(见5.3.2.1、5.4.2.2,2016年版的6.1.2.2、6.2.2.3)；
- l) 更改了速度锁定装置、隔震橡胶支座的力学性能指标(见5.3.4、5.4.4.1、5.4.4.3~5.4.4.7,2016年版的6.1.3.3、6.2.3.1、6.2.3.2)；
- m) 更改了隔震橡胶支座外观要求(见5.4.1,2016年版的6.2.1)；
- n) 更改了橡胶材料性能指标、试验方法(见5.4.2.1、6.4.2.1,2016年版的6.2.2.2、7.3.2.2)；
- o) 增加了隔震橡胶支座、摩擦摆减隔震支座的设计、计算要求(见5.4.4.3、5.5.4.8)；
- p) 更改了摩擦摆减隔震支座的材料、工艺性能及力学性能(见5.5.2~5.5.4,2016年版的6.2.2、6.2.3.3、6.2.4.2)；
- q) 增加了弹塑性钢减隔震支座的外观、材料、工艺性能及力学性能(见5.6.1~5.6.4)；
- r) 更改了试验方法的一般要求(见6.1,2016年版的7.1)；
- s) 增加了剪力卡榫装置、弹塑性钢减隔震支座的试验方法(见6.2、6.6)；
- t) 更改了速度锁定装置、隔震橡胶支座、摩擦摆减隔震支座的试验方法(见6.3~6.5,2016年版的7.2.3.3、7.3.3)；
- u) 删除了摩擦阻尼器、流体黏滞阻尼器、黏弹性阻尼器相关内容(见2016年版的6.3.1~6.3.4、7.4.1~7.4.3)；

- v) 增加了检验规则(见第7章);
- w) 删除了附录A中椭圆形模型(见2016年版的A.2、A.5.3);
- x) 增加了桥梁减隔震装置设计计算(见附录B)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会(SAC/TC 223)提出并归口。

本文件起草单位:中交第一公路勘察设计研究院有限公司、中交公路规划设计院有限公司、西安中交土木科技有限公司、中交公路长大桥梁建设国家工程研究中心有限公司、中路高科交通检测检验认证有限公司、中船双瑞(洛阳)特种装备股份有限公司、柳州东方工程橡胶制品有限公司、河北宝力工程装备股份有限公司、恒为检验检测认证(河北)集团有限公司、云南交通土木工程检测有限公司、成都市大通路桥机械有限公司、苏州海德新材料科技股份有限公司、衡水市橡胶总厂有限公司、衡水常青橡胶有限公司。

本文件主要起草人:彭泽友、潘长平、钟明、王永祥、李贞新、王建强、陈洪彬、宋建平、孙红兰、徐源庆、李明、何家荣、李靖、何林楠、刘乐、王刚、张春、岳红平、王世其、李冲、赵彦龙、胡月伟、杜强、何平根、吴志峰、王立志、张光亮。

本文件的历次版本发布情况为:

——2016年首次发布为JT/T 1062—2016;

——本次为第一次修订,并入了JT/T 822—2011《公路桥梁铅芯隔震橡胶支座》、JT/T 842—2012《公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座》、JT/T 843—2012《公路桥梁弹塑性钢减震支座》、JT/T 852—2013《公路桥梁摩擦摆式减隔震支座》、JT/T 927—2014《桥梁双曲面球型减隔震支座》、JT/T 928—2014《桥梁超高阻尼隔震橡胶支座》的内容。

桥梁减隔震装置通用技术条件

1 范围

本文件规定了桥梁减隔震装置的分类、结构、型号、技术要求、试验方法和检验规则。

本文件适用于桥梁减隔震装置的生产、检验和使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法

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 699 优质碳素结构钢

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 1682 硫化橡胶 低温脆性的测定 单试样法

GB/T 1688 硫化橡胶 伸张疲劳的测定

GB/T 1800.1 产品几何技术规范(GPS) 线性尺寸公差 ISO 代号体系 第1部分:公差、偏差和配合的基础

GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 1814 钢材断口检验法

GB/T 2100 通用耐蚀钢铸件

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带

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 4162 锻轧钢棒超声检测方法

GB/T 4171 耐候结构钢

GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)

GB/T 7233.1 铸钢件 超声检测 第1部分:一般用途铸钢件

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 7760 硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材粘合强度的测定 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 9799 金属及其他无机覆盖层 钢铁上经过处理的锌电镀层

GB/T 9870.1 硫化橡胶或热塑性橡胶动态性能的测定 第1部分:通则

GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件

GB/T 11379 金属覆盖层 工程用铬电镀层
GB/T 12332 金属覆盖层 工程用镍电镀层
GB/T 12832 橡胶结晶效应的测定 硬度测量法
GB/T 13934 硫化橡胶或热塑性橡胶 屈挠龟裂和裂口增长的测定(德墨西亚型)
GB/T 17955 桥梁球型支座
GB/T 18684 锌铬涂层 技术条件
GB/T 20688.1 橡胶支座 第1部分:隔震橡胶支座试验方法
GB/T 20688.2 橡胶支座 第2部分:桥梁隔震橡胶支座
GB 50661 钢结构焊接规范
HG/T 2366 二甲基硅油
HG/T 2502 5201 硅脂
JB/T 5945 工程机械 装配通用技术条件
JB/T 6396 大型合金结构钢锻件 技术条件
JB/T 6402 大型低合金钢铸件 技术条件
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 901 桥梁支座用高分子材料滑板
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测
NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测
NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测
SH/T 0692 防锈油

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

桥梁减隔震装置 seismic isolation device for bridge

通过延长桥梁结构特征周期和(或)增大结构阻尼以降低结构地震响应的装置。

3.1.2

剪力卡榫装置 shear card tenon device

小于设计位移时可自由活动、达到设计位移时进行限位的装置。

3.1.3

速度锁定装置 velocity lock-up device

输出力由所施加速度决定,在低于设计锁定速度作用下产生较小输出力、在不小于设计锁定速度作用下产生较大输出力的装置。

3.1.4

隔震橡胶支座 seismic isolation rubber bearing

通过橡胶支座本体在水平方向发生剪切位移和(或)滞回耗能以实现减隔震功能的支座。

3.1.5

摩擦摆减隔震支座 friction pendulum seismic isolation bearing

利用球冠在摩擦曲面上摩擦滑动,耗散地震能量,延长结构振动周期,实现减隔震功能的支座。

3.1.6

整体式摩擦摆减隔震支座 unitary friction pendulum seismic isolation bearing

桥梁正常使用位移和地震位移在同一摩擦面上的摩擦摆减隔震支座。

3.1.7

分离式摩擦摆减隔震支座 separating friction pendulum seismic isolation bearing

桥梁正常使用位移和地震位移在不同摩擦面上的摩擦摆减隔震支座。

3.1.8

弹塑性钢减隔震支座 elastic-plastic steel seismic isolation bearing

利用弹塑性钢阻尼元件的弹塑性变形,吸收和耗散地震能量,实现减隔震功能的支座。

3.1.9

设计压应力 design pressure stress

未发生剪切应变状态下,设计采用的作用于隔震橡胶支座加劲钢板上的压应力。

3.1.10

保险销 safety pin

低于承载力阈值时阻止连接部件之间相对运动,超过阈值时发生破断、允许结构相对运动的元件。

3.1.11

复合橡胶 synthetic rubber

由一种或多种生橡胶与炭黑、二氧化硅(白炭黑)和(或)其他配合剂的均匀混合物加工而成的橡胶。

[来源:GB/T 31357—2014,3.1,有修改]

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

A_0 ——有效面积,即隔震橡胶支座内部加劲钢板的平面面积,单位为平方毫米(mm^2);

a ——加劲钢板纵边长度,单位为毫米(mm);

b ——加劲钢板横边长度,单位为毫米(mm);

$C_r(\gamma)$ —— K_r 的修正系数;

$C_p(\gamma)$ —— K_p 的修正系数;

d ——圆形隔震橡胶支座本体直径,单位为毫米(mm);

d_i ——加劲钢板开孔直径,单位为毫米(mm);

d_0 ——圆形隔震橡胶支座加劲钢板外径,单位为毫米(mm);

E_c ——橡胶修正压缩弹性模量,单位为兆帕(MPa);

e ——综合位移,单位为毫米(mm);

e_0 ——位移,对于整体式摩擦摆减隔震支座取综合位移,对于分离式摩擦摆减隔震支座取地震位移,单位为毫米(mm);

e_1 ——正常使用位移,单位为毫米(mm);

e_2 ——地震位移,单位为毫米(mm);

$F_{\max}$ ——最大荷载,单位为千牛(kN);

F_L ——设计锁定力,单位为千牛(kN);

G ——剪切模量,单位为兆帕(MPa);

$G_{eq}(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效剪切模量,单位为兆帕(MPa);

g ——重力加速度,单位为米每秒的平方(m/s^2);

h ——隔震橡胶支座总高度(不含预埋钢板厚度),单位为毫米(mm);

- K_h ——水平等效刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_{he} ——测试水平等效刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_p ——铅芯隔震橡胶支座中铅芯的水平等效刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_r ——铅芯隔震橡胶支座嵌入铅芯前的水平等效刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_v ——竖向压缩刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_1 ——初始水平刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 K_2 ——屈服后水平刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);
 l_a ——矩形隔震橡胶支座本体纵桥向长度,单位为毫米(mm);
 l_b ——矩形隔震橡胶支座本体横桥向长度,单位为毫米(mm);
 n ——隔震橡胶支座内部有效橡胶层数;
 P ——设计竖向承载力,单位为千牛(kN);
 $P_{1.5}$ ——压应力为1.5 MPa时支座竖向力(按支座有效面积计算),单位为千牛(kN);
 P_6 ——压应力为6 MPa时支座竖向力(按支座有效面积计算),单位为千牛(kN);
 Q_y ——屈服力,单位为千牛(kN);
 R_{eq} ——支座等效曲面半径,单位为毫米(mm);
 S_{max} ——最大水平位移,单位为毫米(mm);
 S_y ——屈服位移,单位为毫米(mm);
 S_1 ——第一形状系数,为隔震橡胶支座内部单层橡胶层的有效承压面积与其自由侧面表面积之比;
 S_2 ——第二形状系数,为隔震橡胶支座内部橡胶层有效直径或宽度与内部橡胶总厚度之比;
 T ——隔震周期,单位为秒(s);
 T_r ——隔震橡胶支座内部橡胶总厚度,为单层橡胶厚度与有效橡胶层数之积,单位为毫米(mm);
 t_r ——单层橡胶厚度,单位为毫米(mm);
 $U(\gamma)$ ——屈服力与剪应变对应的剪力之比;
 W ——一个荷载循环对应的弹性应变能;
 W_d ——每加载循环所消耗的能量,即滞回曲线的包络面积;
 X ——隔震橡胶支座剪切位移,为隔震橡胶支座内部橡胶总厚度与剪应变之积,单位为毫米(mm);
 Y ——压缩位移,单位为毫米(mm);
 α ——剪切角,单位为弧度(rad);
 α_0 ——铅芯隔震橡胶支座初始刚度经验修正系数;
 α_1 ——橡胶材料压缩弹性模量经验修正系数;
 γ ——剪应变;
 γ_e ——地震状态容许剪应变;
 γ_u ——极限剪应变;
 γ_s ——反复加载试验剪应变;
 δ_{σ_0} ——压应力为 σ_0 时支座竖向压缩变形量,单位为毫米(mm);
 $\delta_{0.5}$ ——压应力为0.5 MPa时支座竖向压缩变形量,单位为毫米(mm);
 $\delta_{1.5}$ ——压应力为1.5 MPa时支座竖向压缩变形量,单位为毫米(mm);
 δ_6 ——压应力为6 MPa时支座竖向压缩变形量,单位为毫米(mm);
 θ ——转角,单位为弧度(rad);
 μ ——滑动摩擦系数;

- ξ ——等效阻尼比；
 ξ_e ——测试等效阻尼比；
 σ_b ——拉伸强度,单位为兆帕(MPa)；
 σ_t ——设计拉应力,单位为兆帕(MPa)；
 σ_0 ——设计压应力,单位为兆帕(MPa)。

4 分类、结构及型号

4.1 分类

桥梁减隔震装置按照结构和功能特点分为以下类型。

- a) 剪力卡榫装置,代号为 STD。
- b) 速度锁定装置,代号为 LUD。
- c) 隔震橡胶支座,按结构和材料分为:
 - 1) 天然橡胶支座,代号为 LNR;
 - 2) 高阻尼隔震橡胶支座,代号为 HDR,分为 HDR(I)型和 HDR(II)型;
 - 3) 铅芯隔震橡胶支座,代号为 LRB。
- d) 摩擦摆减隔震支座,按结构分为:
 - 1) 整体式摩擦摆减隔震支座,代号为 UFPB,分为 UFPB(I)型和 UFPB(II)型;
 - 2) 分离式摩擦摆减隔震支座,代号为 SFPB。
- e) 弹塑性钢减隔震支座,按结构分为:
 - 1) C 型钢阻尼减隔震支座,本体为球型支座时,代号为 CQZ;本体为盆式支座时,代号为 CPZ;
 - 2) E 型钢阻尼减隔震支座,本体为球型支座时,代号为 EQZ;本体为盆式支座时,代号为 EPZ;
 - 3) 非线性阻尼减隔震支座,本体为球型支座时,代号为 NDQZ;本体为盆式支座时,代号为 NDPZ;
 - 4) 弹塑性钢棒减隔震支座,本体为球型支座时,代号为 SRQZ;本体为盆式支座时,代号为 SRPZ。

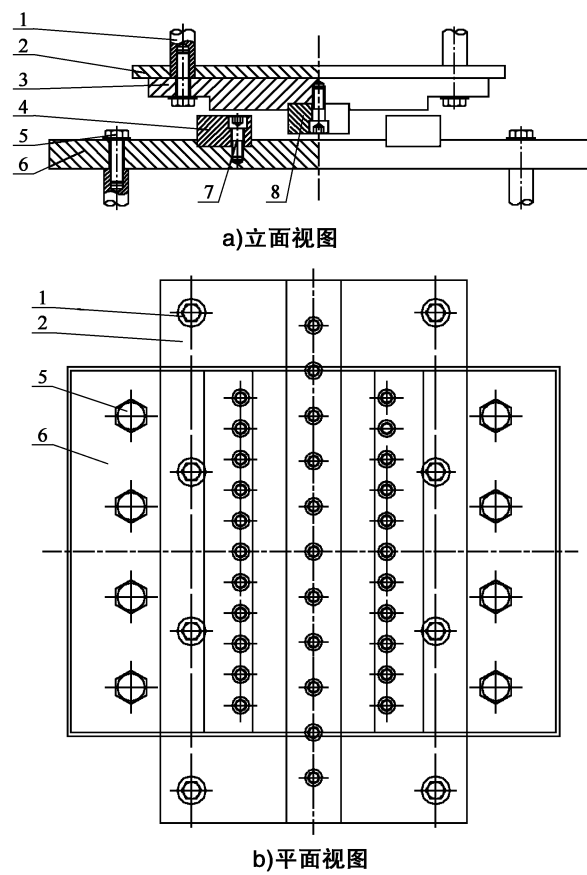
4.2 结构

4.2.1 剪力卡榫装置由预埋钢板、上下座板、限位卡块组件和锚固组件等组成。其中,限位卡块通过连接螺栓或保险销与上下座板连接,锚固组件包括套筒、锚固螺栓、锚杆等。剪力卡榫装置结构示意图见图 1。

4.2.2 速度锁定装置由底座组件、连接筒、速度锁定构件、耳环、连接销等组成,其结构示意图见图 2。其中,速度锁定构件由活塞杆、密封件、缸体、端盖等组成,其结构示意图见图 3。

4.2.3 隔震橡胶支座的结构应符合下列规定。

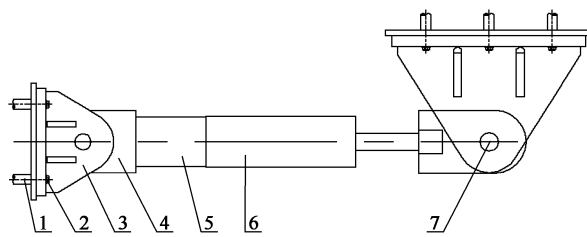
- a) LNR 天然橡胶支座由预埋钢板、封层钢板、支座本体(叠层橡胶和加劲钢板)以及锚固组件等组成,属抗拉型,其结构示意图见图 4。
- b) HDR(I)型高阻尼隔震橡胶支座由预埋钢板、支座钢板、封层钢板、支座本体(叠层橡胶和加劲钢板)以及锚固组件等组成,属抗拉型,其结构示意图见图 5。HDR(II)型高阻尼隔震橡胶支座由预埋钢板、连接销、封层钢板、支座本体(叠层橡胶和加劲钢板)以及锚固组件等组成,属非抗拉型,其结构示意图见图 6。
- c) 铅芯隔震橡胶支座由预埋钢板、支座钢板、铅芯、封层钢板、支座本体(叠层橡胶和加劲钢板)以及锚固组件等组成,属抗拉型,其结构示意图见图 7。



标引序号说明:

- | | | |
|-----------|-------------|----------------|
| 1——套筒; | 4——侧限位卡块组件; | 7——卡块连接螺栓或保险销; |
| 2——上预埋钢板; | 5——锚固螺栓; | 8——中限位卡块组件。 |
| 3——上座板; | 6——下座板; | |

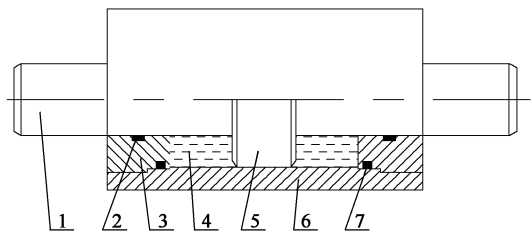
图 1 STD 剪力卡榫装置结构示意图



标引序号说明:

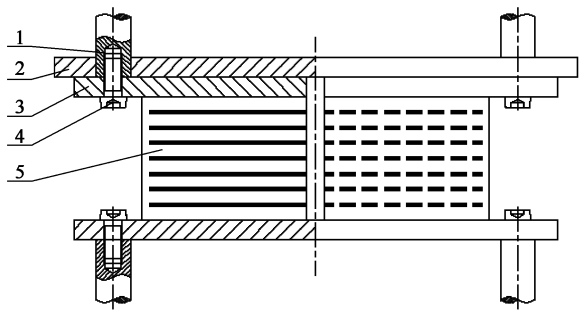
- | | | |
|----------|------------|---------|
| 1——套筒; | 4——耳环; | 7——连接销。 |
| 2——锚固螺栓; | 5——连接筒; | |
| 3——底座组件; | 6——速度锁定构件; | |

图 2 LUD 速度锁定装置结构示意图



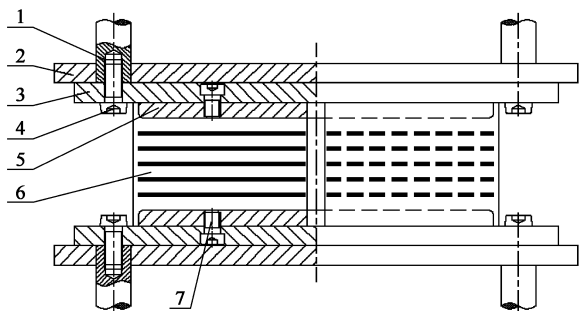
- 标引序号说明：
- | | | |
|----------|----------|----------|
| 1——活塞杆； | 4——填充介质； | 7——静密封件。 |
| 2——动密封件； | 5——活塞； | |
| 3——端盖； | 6——缸体； | |

图3 速度锁定构件结构示意图



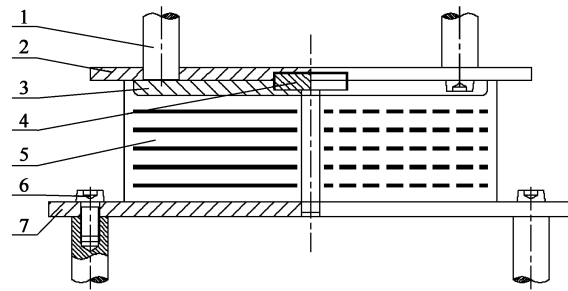
- 标引序号说明：
- | | |
|----------|----------|
| 1——套筒； | 4——锚固螺栓； |
| 2——预埋钢板； | 5——支座本体。 |
| 3——封层钢板； | |

图4 LNR 天然橡胶支座结构示意图



- 标引序号说明：
- | | | |
|----------|----------|----------|
| 1——套筒； | 4——锚固螺栓； | 7——连接螺栓。 |
| 2——预埋钢板； | 5——封层钢板； | |
| 3——支座钢板； | 6——支座本体； | |

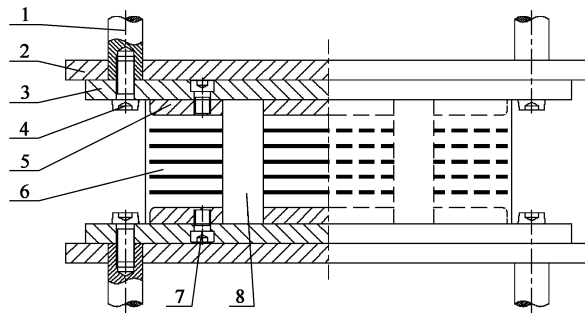
图5 HDR(I)型高阻尼隔震橡胶支座结构示意图



标引序号说明:

- | | | |
|-----------|----------|-----------|
| 1——套筒; | 4——连接销; | 7——下封层钢板。 |
| 2——预埋钢板; | 5——支座本体; | |
| 3——上封层钢板; | 6——锚固螺栓; | |

图6 HDR(Ⅱ)型高阻尼隔震橡胶支座结构示意图



标引序号说明:

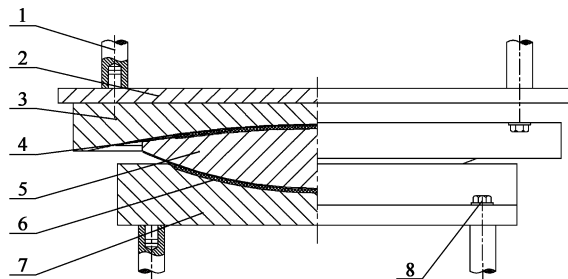
- | | | |
|-----------|----------|----------|
| 1——套筒; | 4——锚固螺栓; | 7——连接螺栓; |
| 2——上预埋钢板; | 5——封层钢板; | 8——铅芯。 |
| 3——支座钢板; | 6——支座本体; | |

图7 LRB 铅芯隔震橡胶支座结构示意图

4.2.4 整体式摩擦摆减隔震支座按使用性能分为双向活动型(SX)、纵向活动型(ZX)、横向活动型(HX)及固定型(GD)支座,其结构应符合下列规定:

a) UFPB(Ⅰ)型整体式摩擦摆减隔震支座:

- 1) SX型UFPB(Ⅰ)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、滑板和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图见图8。

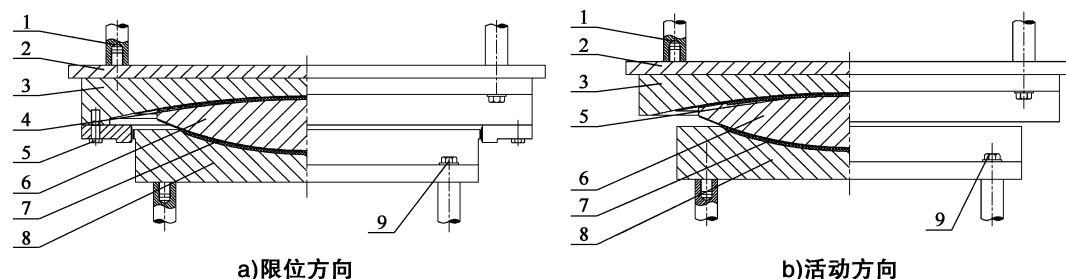


标引序号说明:

- | | | |
|-----------|----------|----------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——下座板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——球冠衬板; | 8——锚固螺栓。 |
| 3——上座板; | 6——下滑板; | |

图8 SX型UFPB(Ⅰ)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

- 2) ZX/HX 型 UFPB(I)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、滑板、保险销和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 9。

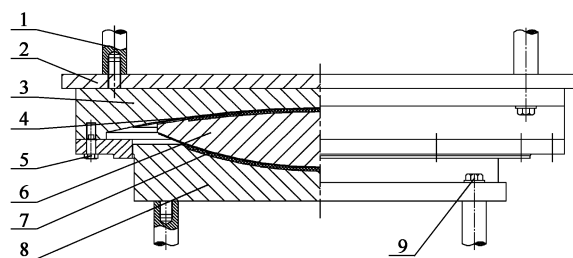


标引序号说明:

- | | | |
|-----------|-----------|----------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——下滑板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——保险销组件; | 8——下座板; |
| 3——上座板; | 6——球冠衬板; | 9——锚固螺栓。 |

图 9 ZX/HX 型 UFPB(I)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

- 3) GD 型 UFPB(I)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、滑板、保险销和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 10。



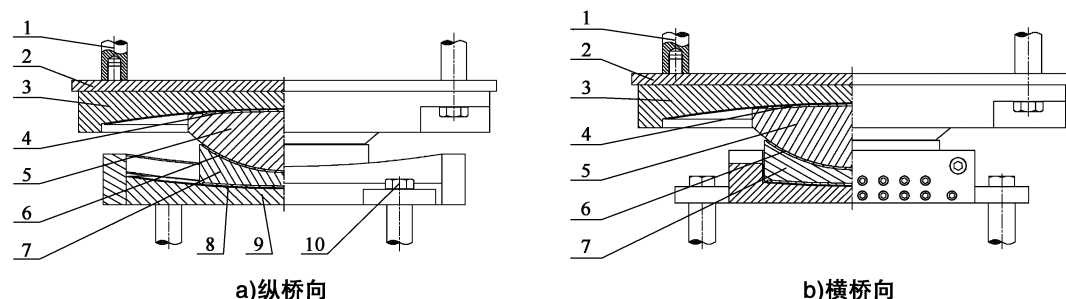
标引序号说明:

- | | | |
|-----------|-----------|----------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——下滑板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——保险销组件; | 8——下座板; |
| 3——上座板; | 6——球冠衬板; | 9——锚固螺栓。 |

图 10 GD 型 UFPB(I)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

b) UFPB(II)型整体式摩擦摆减隔震支座:

- 1) SX 型 UFPB(II)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、球冠承板、滑板和锚固组件等组成,滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 11。

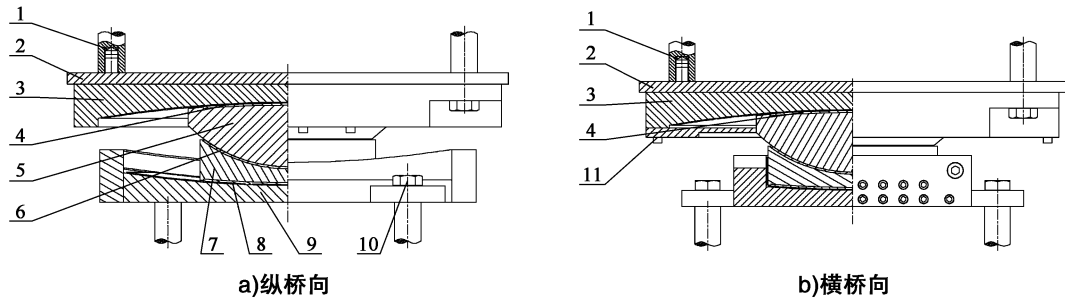


标引序号说明:

- | | | | |
|-----------|----------|----------|-----------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——球冠承板; | 10——锚固螺栓。 |
| 2——上预埋钢板; | 5——球冠衬板; | 8——下滑板; | |
| 3——上座板; | 6——中滑板; | 9——下座板; | |

图 11 SX 型 UFPB(II)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

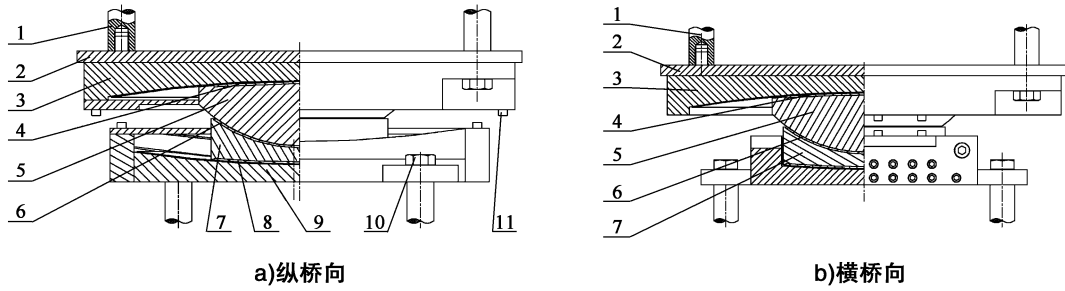
2) ZX 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、球冠承板、滑板、保险销、锚固组件和水平限位组件等组成,滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 12。



- 标引序号说明:
- | | | | |
|-----------|----------|----------|------------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——球冠承板; | 10——锚固螺栓; |
| 2——上预埋钢板; | 5——球冠衬板; | 8——下滑板; | 11——保险销组件。 |
| 3——上座板; | 6——中滑板; | 9——下座板; | |

图 12 ZX 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

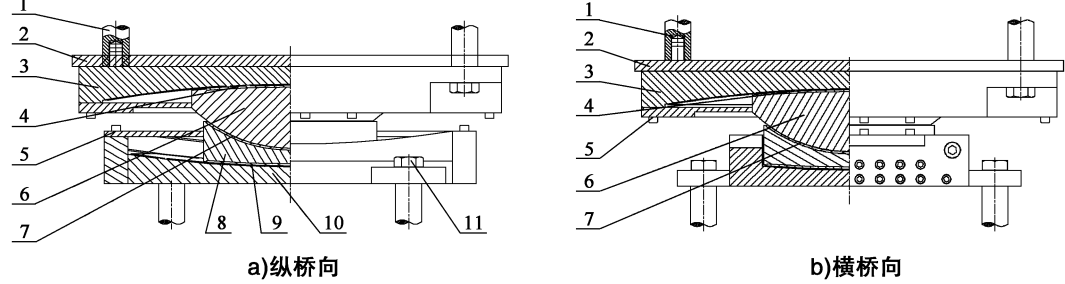
3) HX 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、球冠承板、滑板、保险销、锚固组件和水平限位组件等组成,滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 13。



- 标引序号说明:
- | | | | |
|-----------|----------|----------|------------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——球冠承板; | 10——锚固螺栓; |
| 2——上预埋钢板; | 5——球冠衬板; | 8——下滑板; | 11——保险销组件。 |
| 3——上座板; | 6——中滑板; | 9——下座板; | |

图 13 HX 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

4) GD 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座由上下座板、球冠衬板、球冠承板、滑板、保险销、锚固组件和剪力组件等组成,滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 14。

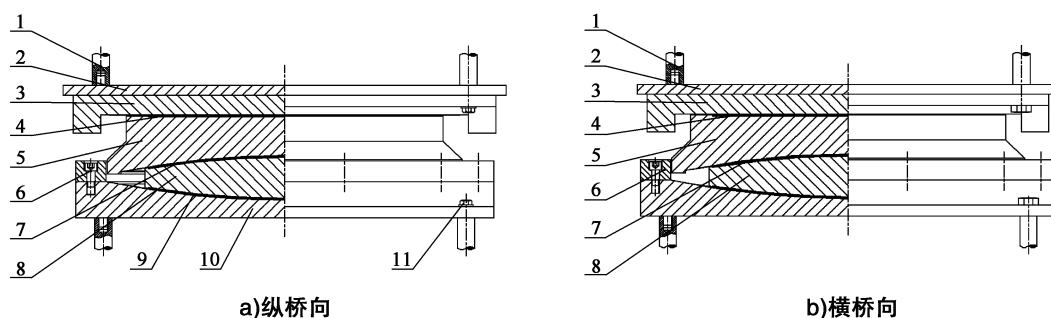


- 标引序号说明:
- | | | | |
|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1——套筒; | 4——上滑板; | 7——中滑板; | 10——下座板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——保险销组件; | 8——球冠承板; | 11——锚固螺栓。 |
| 3——上座板; | 6——球冠衬板; | 9——下滑板; | |

图 14 GD 型 UFPB(Ⅱ)型整体式摩擦摆减隔震支座结构示意图

4.2.5 分离式摩擦摆减隔震支座按使用性能分为 SX、ZX、HX 及 GD 型支座,其结构应符合下列规定:

- a) SX 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座由上下座板、中座板、球冠衬板、滑板、保险销和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 15。

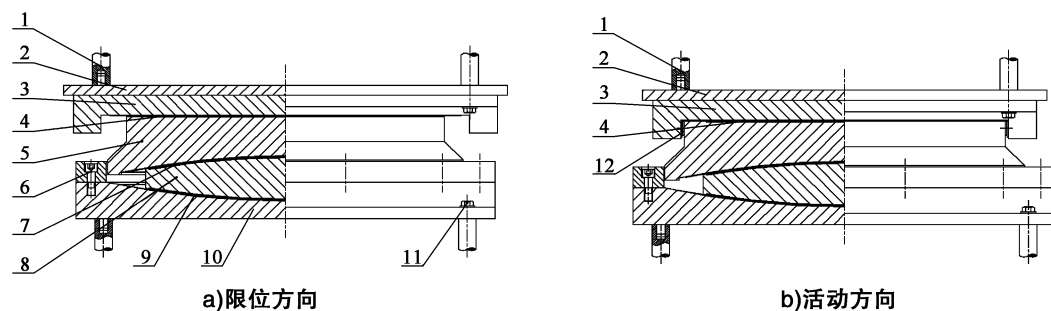


标引序号说明:

- | | | | |
|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1——套筒; | 4——平面滑板; | 7——球面滑板; | 10——下座板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——中座板组件; | 8——球冠衬板; | 11——锚固螺栓。 |
| 3——上座板; | 6——保险销组件; | 9——减震滑板; | |

图 15 SX 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座结构示意图

- b) ZX/HX 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座由上下座板、中座板、球冠衬板、滑板、保险销和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 16。

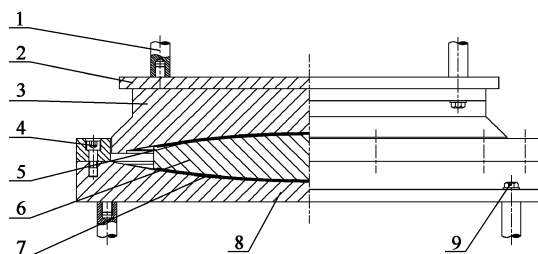


标引序号说明:

- | | | | |
|-----------|-----------|----------|--------------|
| 1——套筒; | 4——平面滑板; | 7——球面滑板; | 10——下座板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——中座板组件; | 8——球冠衬板; | 11——锚固螺栓; |
| 3——上座板; | 6——保险销组件; | 9——减震滑板; | 12——SF-1 滑板。 |

图 16 ZX/HX 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座结构示意图

- c) GD 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座由上下座板、中座板、球冠衬板、滑板、保险销和锚固组件等组成,球冠衬板的滑板外侧设密封圈,支座结构示意图 17。



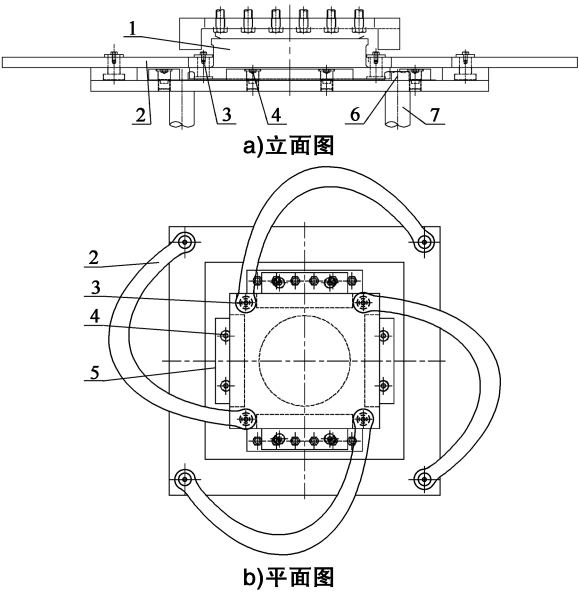
标引序号说明:

- | | | |
|-----------|-----------|----------|
| 1——套筒; | 4——保险销组件; | 7——下滑板; |
| 2——上预埋钢板; | 5——上滑板; | 8——下座板; |
| 3——上座板; | 6——球冠衬板; | 9——锚固螺栓。 |

图 17 GD 型 SFPB 分离式摩擦摆减隔震支座结构示意图

4.2.6 弹塑性钢减隔震支座按使用性能分为 SX、ZX、HX 及 GD 型支座,其结构应符合下列规定:

- a) NDQZ 非线性阻尼减隔震支座阻尼元件的外观为非线性阻尼辐形状,由支座本体、连接销、非线性阻尼辐、保险销组件等组成,SX 型 NDQZ 非线性阻尼减隔震支座结构示意图见图 18。

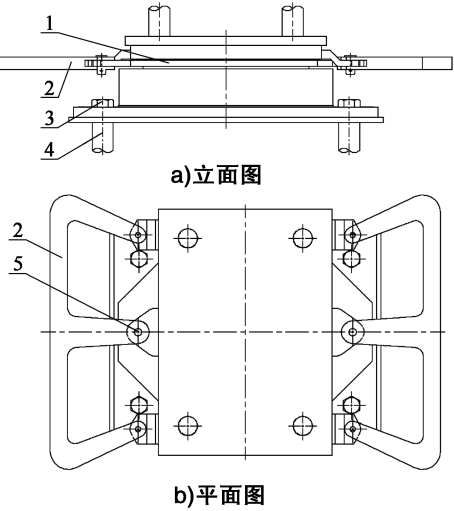


标引序号说明:

- 1——支座本体; 4——保险销组件; 7——套筒。
2——非线性阻尼辐; 5——限位块;
3——连接销; 6——锚固螺栓;

图 18 SX 型 NDQZ 非线性阻尼减隔震支座结构示意图

- b) EQZ 钢阻尼减隔震支座钢阻尼元件的外观为 E 型形状,由支座本体、连接销、E 型钢阻尼元件等组成,ZX/HX 型 EQZ 钢阻尼减隔震支座结构示意图见图 19。

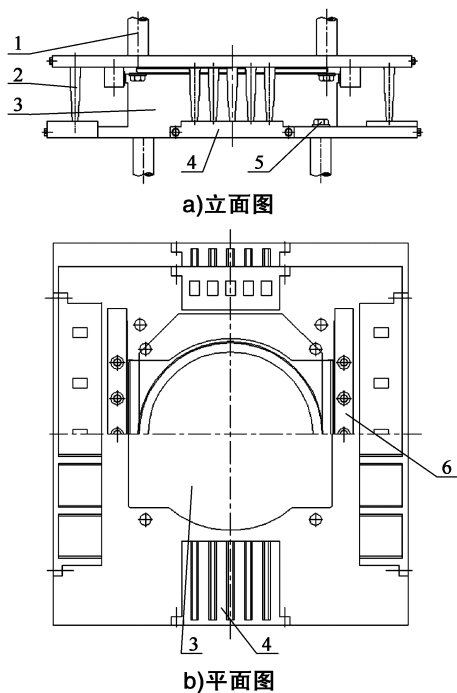


标引序号说明:

- 1——支座本体; 4——套筒;
2——E 型钢阻尼元件; 5——连接销。
3——锚固螺栓;

图 19 ZX/HX 型 EQZ 钢阻尼减隔震支座结构示意图

- c) SRQZ 弹塑性钢棒减隔震支座的基本结构由支座本体、弹塑性钢棒组件、限位挡块组件等组成,ZX/HX 型 SRQZ 弹塑性钢棒减隔震支座结构示意图见图 20。

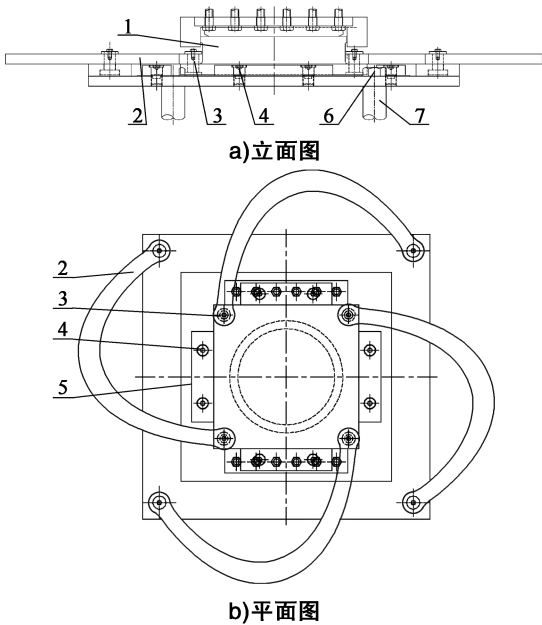


标引序号说明：

- | | |
|-----------|---------------|
| 1——套筒； | 4——弹塑性钢棒限位挡板； |
| 2——弹塑性钢棒； | 5——锚固螺栓； |
| 3——支座本体； | 6——限位挡块组件。 |

图 20 ZX/HX 型 SRQZ 弹塑性钢棒减隔震支座结构示意图

d) GD 型 NDQZ 非线性阻尼辐减隔震支座结构示意见图 21。

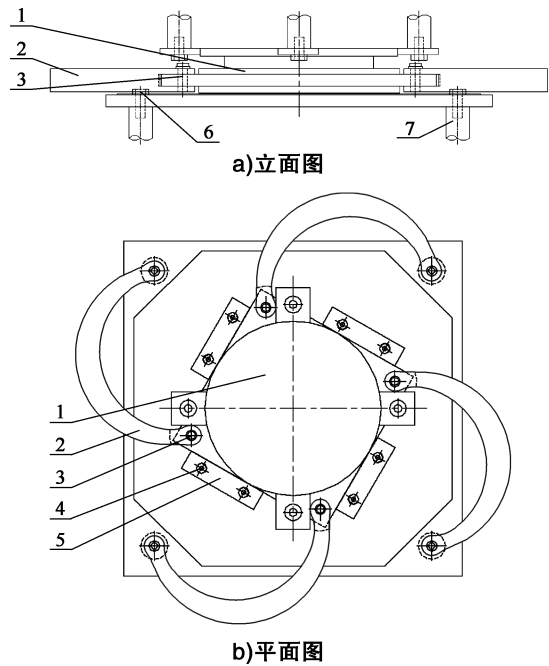


标引序号说明：

- | | | |
|------------|-----------|--------|
| 1——支座本体； | 4——保险销组件； | 7——套筒。 |
| 2——非线性阻尼辐； | 5——限位块； | |
| 3——连接销； | 6——锚固螺栓； | |

图 21 GD 型 NDQZ 非线性阻尼辐减隔震支座结构示意图

e) CQZ 钢阻尼减隔震支座钢阻尼元件的外观为 C 型形状,由支座本体、限位导轨、C 型钢阻尼元件、保险销等组成,GD 型 CQZ 钢阻尼减隔震支座结构示意图 22。



标引序号说明:

- | | | |
|--------------|-----------|--------|
| 1——支座本体; | 4——保险销组件; | 7——套筒。 |
| 2——C 型钢阻尼元件; | 5——限位导轨; | |
| 3——连接销; | 6——锚固螺栓; | |

图 22 GD 型 CQZ 钢阻尼减隔震支座结构示意图

4.3 型号

4.3.1 剪力卡榫装置型号表示方法见图 23。

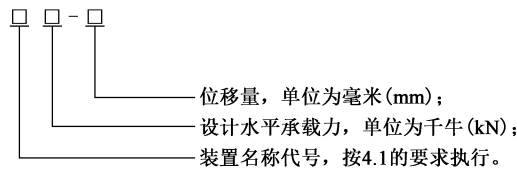


图 23 剪力卡榫装置型号

示例:

装置设计水平承载力 3 000 kN,设计位移 ± 200 mm,型号表示为:STD3000-200。

4.3.2 速度锁定装置型号表示方法见图 24。

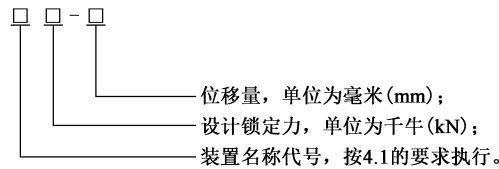


图 24 速度锁定装置型号

示例:

装置设计锁定力 1 000 kN,设计位移 ± 100 mm,型号表示为:LUD1000-100。

4.3.3 隔震橡胶支座型号表示方法见图 25。

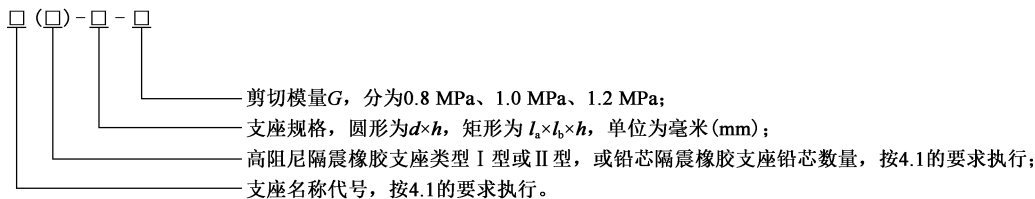


图 25 隔震橡胶支座型号

示例 1:

矩形天然橡胶支座,长 620 mm,宽 670 mm,高 216 mm,剪切模量 1.0 MPa,型号表示为:LNR - 620 × 670 × 216 - G1.0。

示例 2:

I 型矩形高阻尼隔震橡胶支座,长 420 mm,宽 420 mm,高 187 mm,剪切模量 1.2 MPa,型号表示为:HDR (I) - 420 × 420 × 187 - G1.2。

示例 3:

圆形铅芯隔震橡胶支座,4 铅芯,直径 520 mm,高 135 mm,剪切模量 1.0 MPa,型号表示为:LRB (4) - d520 × 135 - G1.0。

4.3.4 摩擦摆减隔震支座型号表示方法见图 26。

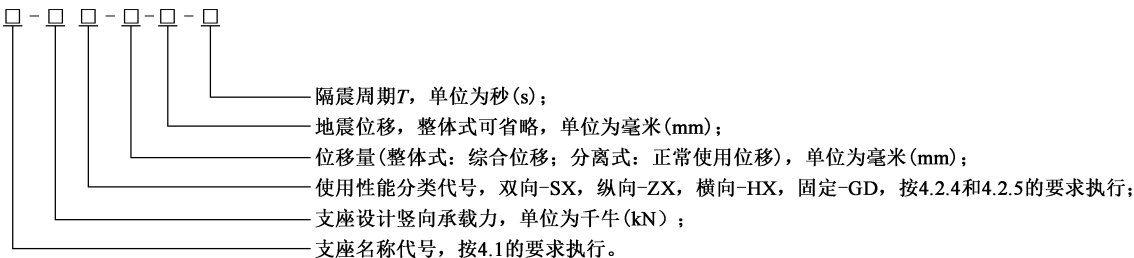


图 26 摩擦摆减隔震支座型号

示例 1:

双向活动 I 型整体式摩擦摆减隔震支座,设计竖向承载力 10 000 kN,纵桥向综合位移 ± 200 mm,横桥向综合位移 ± 100 mm,隔震周期 4 s,其型号表示为:UFPB (I) - 10000SX - Z200/H100 - 4。

示例 2:

纵向活动分离式摩擦摆减隔震支座,设计竖向承载力 5 000 kN,纵桥向正常使用位移 ± 150 mm,地震位移 ± 200 mm,隔震周期 3.5 s,其型号表示为:SFPB-5000ZX-Z150-200-3.5。

4.3.5 弹塑性钢减隔震支座型号表示方法见图 27。

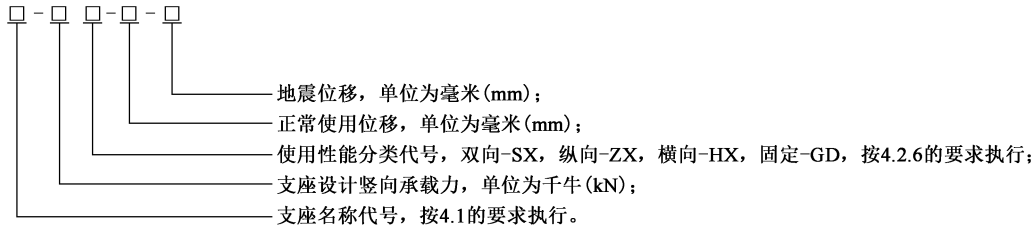


图 27 弹塑性钢减隔震支座型号

示例 1:

纵向活动型非线性阻尼辐减隔震球型支座,设计竖向承载力 20 000 kN,纵桥向正常使用位移 ± 150 mm 的,地震位移 ± 150 mm,型号表示为:NDQZ-20000ZX-Z150-150。

示例 2:

横向活动型 E 型钢减隔震盆式支座,设计竖向承载力 10 000 kN,横桥向正常使用位移 ± 50 mm,地震位移

±100 mm,型号表示为:EPZ-10000HX-H50-100。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 使用性能

5.1.1.1 采用减隔震装置进行减隔震设计时,桥梁减隔震装置基本力学模型见附录 A,各类装置可单独或组合使用,但宜将桥梁上所有减隔震装置作为整体减隔震系统进行综合考虑。减隔震系统应满足以下功能:

- a) 适应桥梁正常使用功能需求。
- b) 具有延长桥梁结构特征周期的隔震性能和(或)增大结构阻尼的减震性能。
- c) 具有变位控制或复位功能。

5.1.1.2 减隔震装置应功能明确、性能可靠且适应环境温度变化,其力学性能应满足设计要求;减隔震装置应具有足够的初始刚度和屈服刚度,并满足位移需求。

5.1.1.3 减隔震装置可设置智能信息化模块,通过采集减隔震装置力学性能参数,实现装置预设功能参数监测、病害反馈以及辅助桥梁状态评估等功能。设置的智能信息化模块应适应桥梁正常使用功能要求,不应影响减隔震装置功能实现。

5.1.1.4 减隔震装置在使用寿命年限内应满足设计功能要求。在正常使用和维护情况下,速度锁定装置设计使用年限不应低于20年;隔震橡胶支座设计使用年限不应低于30年;其他减隔震装置设计使用年限不应低于50年。

5.1.1.5 减隔震装置根据桥梁使用需求可由隔震橡胶支座、摩擦摆减隔震支座和弹塑性钢减隔震支座与剪力卡榫装置、速度锁定装置等单独或组合使用。

5.1.2 环境适应性

5.1.2.1 减隔震装置宜应用于抗震设防烈度Ⅶ度及以上地区或有减隔震需求的桥梁结构。

5.1.2.2 剪力卡榫装置、隔震橡胶支座适用环境温度为-50℃~60℃;速度锁定装置、摩擦摆减隔震支座、弹塑性钢减隔震支座适用环境温度为-40℃~60℃。减隔震装置应根据使用环境腐蚀特性按JT/T 722的要求选择合适的防腐涂装体系。

5.1.2.3 减隔震装置宜设置临时连接装置和防尘装置,在运输、储存过程中应避免阳光直接照射及雨雪浸淋,保持清洁且不应随意拆卸。不应与酸、碱、油类、有机溶剂等可影响支座质量的物质相接触,距热源应在5 m以外。

5.1.3 装配性

减隔震装置应根据桥梁结构类型选择合适的连接方式,与梁体上下部结构有效连接,宜采用螺栓连接。减隔震装置应满足桥梁上下部结构的局部承压要求。减隔震装置设计应考虑减隔震装置及元件养护、更换空间;因自身病害或偶然作用后应方便维修、更换;减隔震装置养护与更换应重视资源节约、环境保护和循环利用。

5.1.4 安装

安装时应确保减隔震装置型号规格与墩台位置对应,安装方向应正确。装置安装时梁体上下部结构应调平,根据实际需求设置装置预偏量。装置安装宜采用整体吊装施工,安装完成后应适时去除临时连接装置。

5.2 剪力卡榫装置

5.2.1 外观

外观应符合以下要求:

- a) 产品表面平整洁净,无机械损伤、毛刺、飞边或锈蚀等。
- b) 焊缝均匀,无气孔、夹渣等缺陷。
- c) 涂装表面光滑,无脱落、流痕、褶皱等现象。
- d) 产品铭牌标记清晰。

5.2.2 材料

钢材符合以下要求:

- a) 上座板、下座板、限位卡块在常温地区宜采用 Q355B 热轧钢板或锻件,在严寒地区宜采用 Q355D 热轧钢板或锻件,在极寒地区宜采用 Q355E 热轧钢板或锻件,性能应符合 GB/T 1591 的规定;处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时,宜采用 Q355NH 热轧钢板或锻件,性能应符合 GB/T 4171 的规定;保险销宜采用合金结构钢,性能应符合 GB/T 3077 的规定。
- b) 预埋钢板宜采用碳素结构钢,性能应符合 GB/T 700 的规定;套筒宜采用优质碳素结构钢,性能应符合 GB/T 699 的规定;螺栓宜采用合金结构钢,性能应符合 GB/T 3077 的规定;处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时,套筒、螺栓宜采用 06Cr17Ni12Mo2 不锈钢,性能应符合 GB/T 1220 的规定。

5.2.3 工艺性能

5.2.3.1 机加工

机加工尺寸及公差配合应符合设计要求,未注线性尺寸和角度尺寸公差应符合 GB/T 1804 中 c 级的规定,未注形状和位置公差应符合 GB/T 1184 中 L 级的规定。

5.2.3.2 防腐

防腐应符合以下要求:

- a) 装置外露表面进行防腐涂装,涂层质量符合 JT/T 722 的规定。
- b) 锚固螺栓、套筒等连接件表面涂装采用镀锌或镀铬涂层,镀锌层质量符合 GB/T 9799 的规定,镀铬涂层质量符合 GB/T 18684 的规定。

5.2.3.3 装配

装配应符合以下要求:

- a) 所有待装配零件符合设计要求且有合格标记;装配牢固可靠,未注装配要求符合 JB/T 5945 的规定。
- b) 已涂装金属部件在涂装干透后进行装配。
- c) 金属部件装配前,应清洁所有零部件,使相互配合面均洁净。

5.2.4 力学性能

5.2.4.1 设计水平承载力分为 25 级:100,150,200,300,400,500,600,700,800,900,1 000,1 250,1 500,2 000,2 500,3 000,3 500,4 000,4 500,5 000,6 000,7 000,8 000,9 000,10 000 kN。

- 5.2.4.2 位移分为 8 级： ± 50 ， ± 100 ， ± 150 ， ± 200 ， ± 250 ， ± 300 ， ± 400 ， ± 500 mm。
- 5.2.4.3 适用环境温度：常温型为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；耐寒型为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；极寒型为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.2.4.4 力学性能应符合表 1 的规定。

表 1 力学性能要求

项目		性能指标
位移性能		实测位移不应小于其设计位移
水平限位性能	水平限位连接	实测值不应小于设计值
	保险销连接	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内

5.3 速度锁定装置

5.3.1 外观

外观应符合 5.2.1 的要求，且不应漏油。

5.3.2 材料

5.3.2.1 钢材

钢材符合以下要求：

- a) 活塞杆宜采用力学性能不低于 40Cr 合金结构钢，性能应符合 GB/T 3077 的规定；或采用力学性能不低于 14Cr17Ni2 不锈钢，性能应符合 GB/T 1220 的规定。
- b) 缸体宜采用力学性能不低于 40Cr 合金结构钢，性能符合 GB/T 3077 的规定；或采用不低于 45 号优质碳素结构钢，性能应符合 GB/T 699 的规定；处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时，采用力学性能不低于 12Cr12 不锈钢，性能应符合 GB/T 1220 的规定。
- c) 连接筒、耳环、底座组件宜采用力学性能不低于 45 号优质碳素结构钢，性能应符合 GB/T 699 的规定；或采用力学性能不低于 Q355B 低合金高强度结构钢，严寒地区宜采用 Q355D 热轧钢板或锻件，性能应符合 GB/T 1591 的规定；处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时，宜采用 Q355NH 热轧钢板或锻件，性能应符合 GB/T 4171 的规定。
- d) 连接销宜采用力学性能不低于 40Cr 合金结构钢，性能应符合 GB/T 3077 的规定；或采用力学性能不低于 14Cr17Ni2 不锈钢，性能应符合 GB/T 1220 的规定。
- e) 套筒、螺栓用钢材等应符合 5.2.2 的要求。

5.3.2.2 填充介质

填充介质可选用无毒、不易燃、具有良好化学惰性的二甲基硅油，无色透明，无可见机械杂质，理化性能应符合 HG/T 2366 的规定。在环境温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地区，填充介质可选用无毒、不易燃、具有良好化学惰性的硅酮类化合物，闪点应大于 $93.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，密度介于 $1.1\text{ g/cm}^3 \sim 1.2\text{ g/cm}^3$ 。

5.3.3 工艺性能

5.3.3.1 热处理

热处理应符合以下要求：

- a) 锻钢件进行热处理,热处理后力学性能符合 JB/T 6396 的规定。
- b) 轧钢件进行热处理,热处理后优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢、不锈钢的硬度分别符合 GB/T 699、GB/T 1591、GB/T 3077 和 GB/T 1220 的规定。

5.3.3.2 机加工

缸体内表面和活塞杆表面尺寸公差不应低于 GB/T 1800.1 中 IT8 级的规定;未注尺寸公差不应低于 GB/T 1804 中 c 级的规定;缸体内表面、活塞杆表面粗糙度不应低于 Ra0.8 的要求;安装密封件的沟槽表面粗糙度不应低于 Ra1.6 的要求;活塞杆、缸体、活塞、端盖的配合面和摩擦面目视不应有凹坑、划痕等缺陷。

5.3.3.3 焊接

焊缝焊接质量应符合 GB 50661 的规定。

5.3.3.4 探伤

探伤应符合以下要求:

- a) 对缸体、活塞杆进行磁粉或渗透探伤,表面无裂纹、白点和横向缺陷显示,磁粉探伤质量符合 NB/T 47013.4 中 I 级的规定,渗透探伤质量符合 NB/T 47013.5 中 I 级的规定。
- b) 对活塞杆、缸体、连接筒、活塞、耳环、端盖逐件进行超声波探伤,超声波探伤质量不低于 NB/T 47013.3 中 II 级的规定,或不低于 GB/T 4162 中 A 级的规定。

5.3.3.5 防腐与防尘

防腐与防尘应符合以下要求:

- a) 外露表面除活塞杆外均进行防腐涂装,涂层质量均符合 JT/T 722 的相关规定。
- b) 活塞杆表面镀硬铬、镀镍或铬镍共镀,基底材料为合金钢时,镀层总厚度不低于 70 μm ;基底材料为不锈钢时,镀层总厚度不低于 40 μm 。硬铬层的技术要求符合 GB/T 11379 的规定,镍层的技术要求符合 GB/T 12332 的规定。
- c) 锚固螺栓、套筒等连接件表面防腐涂装符合 5.2.3.2 的要求。
- d) 装置周围设置可靠、耐久的防尘围板等设施,防尘设施便于安装、更换及日常养护。

5.3.3.6 装配

装配应符合以下要求:

- a) 所有待装配零件符合设计要求;密封件、填充介质等外购部件提供合格证明;装配牢固可靠,未注装配要求符合 JB/T 5945 的规定。
- b) 已涂装金属部件在涂装干透后进行装配。
- c) 金属部件装配前,将铁屑、毛刺、油污和泥沙等杂物清除干净;配合面和摩擦面无锈蚀、凹坑和影响使用性能及寿命的划痕;相互配合面均洁净。
- d) 速度锁定装置在任意方向与安装轴线夹角的容许转角范围不小于 0.1 rad;装配过程中防止密封件损坏,密封件无划伤、碰伤及挤压变形等受损现象。
- e) 缸体内充满填充介质。缸体密封后不再解封,若有特殊情况需要解封,由生产单位进行解封及重新密封的操作;解封后重新填充介质至解封前状态,方可重新密封。
- f) 装配完成后,轴承内外表面均用防锈油进行防腐,防锈油性能符合 SH/T 0692 规定。

5.3.4 力学性能

- 5.3.4.1 设计锁定力 F_L 分为 25 级:150,200,250,300,400,500,600,700,800,900,1 000,1 250,1 500,1 750,2 000,2 250,2 500,2 750,3 000,3 500,4 000,4 500,5 000,5 500,6 000 kN。
- 5.3.4.2 设计锁定速度宜为 1 mm/s ~5 mm/s,锁定位移不大于 12 mm。
- 5.3.4.3 位移分为 8 级:±50, ±100, ±150, ±200, ±250, ±300, ±350, ±400 mm。
- 5.3.4.4 适用环境温度:常温型为 -25℃ ~60℃;耐寒型为 -40℃ ~60℃;硅酮类化合物适用环境温度为 -10℃ ~60℃。
- 5.3.4.5 力学性能应符合表 2 的规定。

表 2 力学性能要求

项目	性能指标
正常位移	实测值不应小于产品设计值
正常输出力	实测值不应大于产品设计值
锁定位移	实测值不应大于产品设计值
锁定力	实测值不应小于产品设计值
锁定速度	实测值偏差应在产品设计值的 ±15% 以内
超载性能	实测值不应小于产品设计值;超载时锁定力不应小于 1.5 倍设计锁定力

- 5.3.4.6 疲劳性能应满足疲劳荷载加载完成后,装置外观无裂纹、无漏油且不破坏。

5.4 隔震橡胶支座

5.4.1 外观

外观质量应符合表 3 的规定。

表 3 外观质量要求

缺陷类型	质量要求
缺胶	缺胶面积不超过 150 mm ² ,不应多于两处,内部嵌件不允许外露
凹凸不平	凹凸不超过 1 mm,面积不超过 50 mm ² ,不应多于三处
气泡、杂质、裂纹(侧面)	不允许
钢板外露(侧面)、钢板与橡胶黏结处开裂或剥离	不允许
支座表面平整度	不大于支座平面对角线或直径的 0.4%

5.4.2 材料

5.4.2.1 橡胶

橡胶材料宜采用天然橡胶、高阻尼橡胶、复合橡胶,其物理机械性能应符合表 4 的规定。

表4 物理机械性能

性能			类型			试验方法
			天然橡胶	高阻尼橡胶	复合橡胶	
拉伸性能	拉伸强度 σ_b (MPa)		≥ 18	≥ 10	≥ 20	GB/T 528
	100% 拉应变时的定伸应力 (MPa)		质量控制指标			
	拉断伸长率 (%)	剪切模量 G , $G = 0.8$ MPa	≥ 500	≥ 600	≥ 550	
		$G = 1.0$ MPa	≥ 500	≥ 550	≥ 550	
		$G = 1.2$ MPa	≥ 450	≥ 500	≥ 500	
热空气老化性能 (70 ℃ ×168 h)	拉伸强度变化率 (%)		± 15	± 15	± 15	GB/T 3512 GB/T 528
	扯断伸长变化率 (%)		≥ -20	≥ -40	≥ -20	
	100% 拉应变时的定伸应力变化率 (%)		质量控制指标			
黏合性能	橡胶与金属黏结强度 (N/mm)		≥ 10	≥ 10	≥ 10	GB/T 7760
	破坏类型		橡胶破坏			
压缩永久变形 (压缩率 25% ,70 ℃ ×24 h) (%)			≤ 35	≤ 60	≤ 35	GB/T 7759.1
剪切性能	G (MPa)		0.8,1.0,1.2			GB/T 9870.1
臭氧老化性能	外观要求 (臭氧浓度 50×10^{-8} , 伸长率 30% ,40 ℃ ×96 h)		无龟裂			GB/T 7762
脆性性能	脆性温度 (℃)		≤ -50	≤ -45	≤ -60	GB/T 1682
伸张疲劳寿命	加载次数 (万次)		≥ 5	≥ 5	≥ 20	GB/T 1688
六级屈挠疲劳性能	加载次数 (万次)		≥ 10	≥ 10	≥ 30	GB/T 13934
低温结晶性能	硬度变化率 (-40℃) (%)		≤ 20	≤ 20	≤ 20	GB/T 12832
注:臭氧老化性能仅针对保护层橡胶测试项目。						

5.4.2.2 钢材

钢材符合以下要求:

- 支座钢板、封层钢板和加劲钢板在常温地区宜采用 Q355B 热轧钢板或锻件, 在严寒地区宜采用 Q355D 热轧钢板或锻件, 在极寒地区宜采用 Q355E 热轧钢板或锻件, 性能应符合 GB/T 1591 的规定; 处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时, 宜采用 Q355NH 热轧钢板或锻件, 性能应符合 GB/T 4171 的规定。
- 预埋钢板、锚固螺栓、套筒等用钢材应符合 5.2.2 的要求。

5.4.2.3 铅

铅芯应采用纯度不低于 99.99% 的高纯度铅锭, 铅的化学成分应符合 GB/T 469 的规定。

5.4.2.4 黏结剂

黏结剂应不可溶并具有热固性, 其质量应稳定, 橡胶与金属黏结强度应符合表 4 的规定。

5.4.3 工艺性能

5.4.3.1 加工工艺

加工工艺符合以下要求：

- a) 支座硫化时应不缺胶,且确定合适的硫化温度、时间、压力及排气次数。
- b) 隔震橡胶支座因硫化加工工艺需要,可设置定位孔,圆形支座定位孔数量不宜大于1,矩形支座定位孔数量不宜大于2,且定位孔面积不应超过支座有效承载面积的1%,支座硫化完成后应将定位孔填塞充实。
- c) 机加工尺寸及公差配合应符合设计要求,未注线性尺寸和角度尺寸公差应符合 GB/T 1804 中 c 级的规定,未注形状和位置公差应符合 GB/T 1184 中 L 级的规定。
- d) 锯开后支座本体内部胶层厚度应均匀,单层橡胶厚度 t_r 的偏差应符合: $t_r \leq 10$ mm 时,偏差为 ± 0.4 mm; 10 mm $< t_r \leq 20$ mm 时,偏差为 ± 0.7 mm; $t_r > 20$ mm 时,偏差为 ± 1.0 mm。

5.4.3.2 焊接

焊缝焊接质量应符合 5.3.3.3 的要求。

5.4.3.3 防腐

防腐应符合以下要求：

- a) 支座外露钢件表面涂层质量符合 JT/T 722 的规定。
- b) 支座锚固螺栓、套筒外露表面防腐符合 5.2.3.2 的要求。

5.4.3.4 装配

所有待装配零件应符合设计要求且有合格标记方可进行组装。装配应牢固可靠,未注装配要求应符合 JB/T 5945 的规定。

5.4.4 力学性能

5.4.4.1 设计竖向承载力 P 宜为 200 kN ~ 15 000 kN,设计压应力 σ_0 不应大于 12 MPa,第一形状系数 S_1 取值范围为 $S_1 \geq 10$ 。当 $10 \leq S_1 < 12$ 时, σ_0 取 S_1 的值;当 $S_1 \geq 12$ 时, σ_0 取 12 MPa。

5.4.4.2 正常使用状态下,支座剪切角 α 正切值,当不计制动力时, $\tan \alpha \leq 0.5$;当计入制动力时, $\tan \alpha \leq 0.7$ 。

5.4.4.3 高阻尼隔震橡胶支座等效阻尼比 ξ 分为 3 级:12%、15%、18%。隔震橡胶支座的设计计算见附录 B.1。支座内部钢板的拉应力、支座最大设计压应力、转动、屈曲、拉应力等稳定性能和支座位移引起的剪力、支座转动引起的弯矩、支座压力引起的竖向压缩位移等验算按 GB/T 20688.2 的规定进行。橡胶保护层厚度不低于 10 mm。支座应用于严寒地区和寒冷地区时,当最低气温低于 -10 ℃时应进行支座的低温试验。隔震橡胶支座力学性能应符合表 5 的规定。

表 5 力学性能要求

项目	天然橡胶支座	高阻尼隔震橡胶支座	铅芯隔震橡胶支座
竖向压缩刚度 K_v (kN/mm)	$K_v \pm K_v \times 30\%$		
压缩位移 Y (mm)	设计荷载下, $Y \leq T_r \times 7\%$		
水平等效刚度 K_h (kN/mm)	$K_h \pm K_h \times 15\%$		

表5 力学性能要求(续)

项目		天然橡胶支座	高阻尼隔震橡胶支座	铅芯隔震橡胶支座
转角 θ (rad)		$\theta \geq 0.006$		
设计拉应力 σ_t (MPa)	连接销结构	0	0	0
	$0.8 \leq G < 1.0$ MPa	1.6	1.6	1.6
	$G \geq 1.0$ MPa	2.0	2.0	2.0
反复加载试验剪应变 γ_s (%)		100	150	150
地震状态容许剪应变 γ_e (%)		250		
极限剪应变 γ_u (%)		300		
ξ		—	$\xi \pm \xi \times 15\%$	$\xi \pm \xi \times 15\%$
适用环境温度		常温型为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$;耐寒型为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$;极寒型为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$		

5.4.4.4 力学相关性应符合表6、表7的规定。

表6 力学相关性要求

项目	性能指标
剪应变相关性	不同剪应变下支座 K_h 和 ξ 实测值变化率在 $\pm 30\%$ 以内
压应力相关性	不同压应力下支座 K_h 和 ξ 实测值变化率在 $\pm 30\%$ 以内
频率相关性	不同加载频率下支座 K_h 和 ξ 实测值变化率在 $\pm 30\%$ 以内
重复加载次数相关性	不同重复加载次数下支座 K_h 和 ξ 实测值变化率在 $\pm 30\%$ 以内
温度相关性	测定温度对剪切性能的相关影响时,支座 K_h 在试验测试温度下与基准温度下测试值的变化率应符合表7的规定

表7 试验测试温度 and 变化率要求

温度(°C)	-50	-40	-25	-10	0	23	40
剪切性能变化率(%)	$-20 \sim +250$	$-20 \sim +150$	$-20 \sim +80$	$-20 \sim +50$	$-20 \sim +35$	基准值	± 20

5.4.4.5 耐久性能要求

耐久性能应符合以下要求:

- a) 老化性能,支座 K_h 和 ξ 允许变化率为 $\pm 30\%$ 。
- b) 徐变性能,支座在 60 年后徐变应变不超过 10%。
- c) 疲劳性能,支座 K_h 和 ξ 允许变化率为 $\pm 20\%$,支座外观无裂缝、损伤。

5.4.4.6 极限性能要求

极限性能应符合以下要求:

- a) 在 σ_0 作用下产生剪切位移,剪应变达到 γ_u 时,支座不发生破坏、屈曲或翻滚。
- b) 在 γ_e 作用下,承受设计拉应力时,抗拉型隔震橡胶支座不发生拉剪破坏。

5.4.4.7 内部质量要求

锯开后支座本体的内部质量应符合表 8 的规定。

表 8 内部质量要求

项目名称	内部质量检验指标
钢板与橡胶黏结性能	钢板与橡胶黏结应牢固,且无离层现象
保护层橡胶厚度	保护层厚度不小于设计值
剥离胶层橡胶性能	剥离胶层后,测定的橡胶性能与表 4 的规定相比,拉伸强度的下降率不应大于 15%,扯断伸长率的下降率不应大于 20%

5.5 摩擦摆减隔震支座

5.5.1 外观

外观应符合以下要求:

- a) 产品表面平整洁净,无机械损伤、毛刺、飞边、锈蚀等。
- b) 焊缝均匀,无气孔、夹渣等缺陷。
- c) 涂装表面光滑,无脱落、流痕、褶皱等现象。
- d) 产品铭牌标记清晰。

5.5.2 材料

5.5.2.1 钢材

钢材性能应符合以下要求:

- a) 支座上下座板、球冠板宜采用热轧钢板、锻件或铸钢件。常温地区宜采用 Q355B 热轧钢板或锻件,严寒地区宜采用 Q355D 热轧钢板或锻件,性能应符合 GB/T 1591 的规定;腐蚀环境宜采用 Q355NH 热轧钢板或锻件,性能应符合 GB/T 4171 的规定。
- b) 常温地区铸钢件宜采用 ZG270 ~ 500、ZG20Mn 或 ZG20MnMo,性能应分别符合 GB/T 11352、JB/T 6402 的规定;严寒地区宜采用 ZG20Mn,性能应符合 JB/T 6402 的规定;处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时,宜采用 ZG07Cr19Ni11Mo2 或 ZG03Cr26Ni7Mo4CuN 不锈钢,性能应符合 GB/T 2100 的规定。
- c) 与滑板对磨不锈钢板宜采用 06Cr17Ni12Mo2 或 06Cr19Ni13Mo3,处于高湿度、高盐度等严重腐蚀环境时,宜采用 022Cr17Ni12Mo2 或 022Cr19Ni13Mo3,性能应符合 GB/T 3280 的规定。预埋钢板、套筒、锚固螺栓性能应符合 5.2.2 的要求。

5.5.2.2 滑板

滑板材料性能应符合 JT/T 901 的规定。可采用整板镶嵌、分片镶嵌或整板与分片混排镶嵌三种方式。滑板尺寸大于 1.0 m 时,宜采用整板与分片混排镶嵌。滑板厚度不应小于 7 mm,嵌入钢件的深度不应小于滑板厚度的 1/2,外露高度不应小于 3 mm。支座用于最低气温低于 -10 ℃ 的地区时,滑板材料应进行低温相关性能试验。

5.5.2.3 硅脂

硅脂宜采用 5201-2 硅脂,性能应符合 HG/T 2502 的规定。

5.5.2.4 密封圈

支座滑板周围宜设置密封圈进行防护,密封圈材料可采用聚四氟乙烯或超高分子量聚乙烯,性能应符合 JT/T 901 的规定。

5.5.2.5 黏结剂

非金属滑板与基层钢板黏结,黏结剂应不可溶且具有热固性,质量应稳定。

5.5.3 工艺性能

5.5.3.1 机加工

机加工尺寸及公差配合应符合设计要求,未注线性尺寸和角度尺寸公差应符合 GB/T 1804 中 c 级的规定,未注形状和位置公差应符合 GB/T 1184 中 L 级的规定。不锈钢板与滑板对磨面表面采用镜面加工,性能应符合 GB/T 3280 中的规定。

5.5.3.2 焊接件

焊接件质量应符合 5.3.3.3 的要求。

5.5.3.3 铸钢件

铸钢件加工工艺符合以下要求:

- a) 支座铸钢件应进行超声波检测,其表面不应有裂纹及蜂窝状孔洞,检测方法和质量评级应符合 GB/T 7233.1 的规定。
- b) 铸钢件加工后表面缺陷未超出表 9 的规定时,应对缺陷进行修补。超出表 9 的规定时,允许进行焊接修补一次,但对有蜂窝状孔洞的部件不允许修补使用。

表 9 加工表面缺陷

缺陷部位	气孔、缩孔、砂眼、渣孔缺陷				
	直径(mm)	深度	个数	总面积	间距(mm)
上下座板曲面、球冠板	≤2	不大于所在部位厚度的 10%	100 × 100 mm 内 ≤1 个	不大于所在部位面积的 1.5%	≥80
上下座板平面位置	≤3				

- c) 铸钢件焊补前,应将缺陷处清铲至呈现质量合格的金属为止,并将距坡口边沿 30 mm 范围内及坡口表面清理干净,焊补后应修磨至符合铸件表面设计要求,不应有未焊透、裂纹、夹渣、气孔等缺陷。焊补后的铸件应进行退火或回火处理。

5.5.3.4 防腐与防尘

支座、锚固螺栓及套筒等外露表面防腐应符合 5.4.3.3 的要求,防尘应符合 5.3.3.5 的要求。

5.5.3.5 装配

装配应符合以下要求:

- a) 组装前,所有待装配零件符合设计要求。
- b) 清洁所有零部件,支座滑动、转动面用丙酮或酒精将不锈钢板表面清洗擦净,不锈钢板表面无碰伤、锈蚀、划痕。

- c) 组装时,支座座板在镶嵌非金属滑板前,将凹槽清洗干净,并均匀涂抹一薄层黏结剂,非金属滑板嵌入凹槽后黏结牢固;嵌装非金属滑板时,检查滑板表面储硅脂坑的排列方向,并在储硅脂坑内注满 5201-2 硅脂润滑剂;无硅脂润滑对磨面做好防护及防尘。
- d) 组装后,支座非金属滑板与座板凹槽间无空气夹层;保险销的设定剪断面置于挡块和减震底座接触面,保险销配合公差按 GB/T 1800.1 中 H9/d8 的规定进行。
- e) 支座组装后的高度允许偏差按设计竖向承载力 P 的值确定,并符合以下要求:
 - 1) $P \leq 20\,000\text{ kN}$ 时,允许偏差为 $\pm 2\text{ mm}$;
 - 2) $20\,000\text{ kN} < P \leq 60\,000\text{ kN}$ 时,允许偏差为 $\pm 3\text{ mm}$ 。

5.5.4 力学性能

- 5.5.4.1 设计竖向承载力 P 分为 31 级:1 000,1 500,2 000,2 500,3 000,3 500,4 000,4 500,5 000,5 500,6 000,7 000,8 000,9 000,10 000,12 500,15 000,17 500,20 000,22 500,25 000,27 500,30 000,32 500,35 000,37 500,40 000,45 000,50 000,55 000,60 000 kN。有特殊需求时应进行专项设计。
- 5.5.4.2 限位方向设计水平承载力分为 4 级,分别为 P 的 10%,15%,20%,25%。
- 5.5.4.3 位移量分为 10 级: ± 50 , ± 100 , ± 150 , ± 200 , ± 250 , ± 300 , ± 350 , ± 400 , ± 450 , $\pm 500\text{ mm}$ 。位移取值应符合以下要求:
- a) 对于整体式摩擦摆减隔震支座,其双向活动型支座各向、纵向活动型支座纵桥向和横向活动型支座横桥向的综合位移 e 取正常使用位移 e_1 或 0.5 倍 e_1 与地震位移 e_2 之和两者中的较大者;固定型支座各向、纵向活动型支座横桥向和横向活动型支座纵桥向位移量取 e_2 。
 - b) 对于分离式摩擦摆减隔震支座, e_1 通过平面滑板所在平面摩擦副实现, e_2 通过减震滑板和球面滑板两个球面摩擦副实现。
- 5.5.4.4 转角 θ 分为 5 级:0.02 rad,0.03 rad,0.04 rad,0.05 rad,0.06 rad。
- 5.5.4.5 隔震周期 T 宜为 2.5 s ~ 6 s。
- 5.5.4.6 适用环境温度:常温型为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$;耐寒型为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.5.4.7 设计竖向承载力作用下,支座正常使用位移范围内滑动摩擦系数 μ 不宜大于 0.03,地震位移范围内 μ 不宜大于 0.07。
- 5.5.4.8 设计计算见附录 B.2,力学性能应符合表 10 的规定。

表 10 力学性能要求

项目	性能指标
竖向承载力	实测值不应小于产品设计值,竖向压缩量不大于支座总高度的 1% 与 2 mm 两者中的较大者
水平承载力	实测值不应小于产品设计值
水平剪断力	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内
最大水平位移	实测值不应小于产品设计值
转角	实测值不应小于产品设计值
水平等效刚度、等效阻尼比	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内

5.6 弹塑性钢减隔震支座

5.6.1 外观

外观质量应符合 5.5.1 的要求。

5.6.2 材料

弹塑性钢阻尼元件用钢材性能应符合 GB/T 700、GB/T 1591、GB/T 4171 的规定。其他钢材、滑板、硅脂、密封圈、黏结剂性能应符合 5.5.2 的要求。

5.6.3 工艺性能

5.6.3.1 机加工

机加工件质量应符合 5.5.3.1 的要求。

5.6.3.2 焊接

焊接件质量应符合 5.5.3.2 的要求。

5.6.3.3 铸钢件

铸钢件性能应符合 5.5.3.3 的要求。

5.6.3.4 防腐与防尘

钢件外露部分表面防腐与防尘应符合 5.5.3.4 的要求。

5.6.3.5 装配

装配应符合 5.5.3.5 的要求。弹塑性钢阻尼元件与支座本体的组装应在工厂完成。弹塑性钢阻尼元件采用连接销与支座本体连接时,配合公差应按 GB/T 1800.1 中 H11/c11 的规定进行。支座组装后的高度允许偏差应按设计竖向承载力 P 的值确定,并应符合以下要求:

- a) $P \leq 20\,000$ kN 时,允许偏差为 ± 2 mm。
- b) $20\,000$ kN $< P \leq 60\,000$ kN 时,允许偏差为 ± 3 mm。

5.6.4 力学性能

5.6.4.1 设计竖向承载力 P 分为 29 级:2 000,2 500,3 000,3 500,4 000,4 500,5 000,5 500,6 000,7 000,8 000,9 000,10 000,12 500,15 000,17 500,20 000,22 500,25 000,27 500,30 000,32 500,35 000,37 500,40 000,45 000,50 000,55 000,60 000 kN。有特殊需求应进行专项设计。

5.6.4.2 限位方向设计水平承载力分为 4 级,分别为 P 的 10%,15%,20%,25%。

5.6.4.3 位移量分为 10 级: ± 50 , ± 100 , ± 150 , ± 200 , ± 250 , ± 300 , ± 350 , ± 400 , ± 450 , ± 500 mm。

5.6.4.4 转角 θ 不小于 0.02 rad。

5.6.4.5 适用环境温度:常温型为 -25 $^{\circ}\text{C}$ ~ 60 $^{\circ}\text{C}$;耐寒型为 -40 $^{\circ}\text{C}$ ~ 60 $^{\circ}\text{C}$ 。

5.6.4.6 设计竖向承载力作用下,支座正常使用位移范围内滑动摩擦系数 μ 不宜大于 0.03,地震位移范围内 μ 不宜大于 0.07。

5.6.4.7 力学性能应符合表 11 的规定。

表 11 力学性能要求

项目	性能指标
竖向承载力	实测值不应小于产品设计值,竖向压缩量不大于支座总高度的 1% 与 2 mm 两者中的较大者
水平承载力	实测值不应小于产品设计值
水平剪断力	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内
最大水平位移	实测值不应小于产品设计值
转角	实测值不应小于产品设计值
水平等效刚度、等效阻尼比	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内

6 试验方法

6.1 一般要求

6.1.1 试验设计

减隔震装置性能试验应根据装置设计性能进行测试,试验方法应能合理模拟装置实际工作状态。

6.1.2 试件

试件通常应使用足尺样本。当现有试验装备无法满足足尺样本试验所要求的能力时,宜采用有代表性小规格型号成品装置进行试验,剪力卡榫装置和速度锁定装置设计水平承载力不低于 1 000 kN 规格,隔震橡胶支座设计竖向承载力不低于 3 000 kN 规格,摩擦摆减隔震支座、弹塑性钢减隔震支座设计竖向承载力不低于 6 000 kN 规格。

6.1.3 试验条件

试验室的温度和湿度条件除各检测项目明确要求外,温度应为 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.4 试验设备

试验设备加载恒定压力允许偏差为 $\pm 5\%$,位移加载允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

6.1.5 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a) 试件编号。
- b) 试件的类型、外形尺寸、主要技术参数。
- c) 试验设备介绍。
- d) 温度。
- e) 加载波形和加载频率。
- f) 试验内容。
- g) 试件外观。
- h) 试验日期。
- i) 试验结果。
- j) 试验曲线。

6.2 剪力卡榫装置

6.2.1 外观

外观质量采用目测或借助放大镜检测。

6.2.2 材料

钢材性能试验应按 GB/T 1591、GB/T 4171、GB/T 699、GB/T 700、GB/T 3077、GB/T 1220 的规定进行,化学成分检测应按 GB/T 4336 的规定进行。

6.2.3 工艺性能

6.2.3.1 机加工

钢件、成品装配后的尺寸、公差可用直尺、游标卡尺、千分尺等量具检测,形位公差应用专用仪器和设备检测。钢件粗糙度应用粗糙度检测仪器检测。钢件的凹坑、划痕等表面缺陷可用目视法检测。

6.2.3.2 防腐

金属表面镀层厚度宜采用金属镀层测厚仪检测,镀层的表面质量可采用目视法检测,成品涂层的检测方法按 JT/T 722 的规定进行。

6.2.4 力学性能

力学性能试验应按表 12 的规定进行。

表 12 力学性能试验

项目		试验方法
位移性能		用直尺、游标卡尺、千分尺等测量剪力卡榫装置的位移空间,均布取点,单侧取点位置不少于 5 个,计算平均值
水平限位性能	水平限位连接销连接	加载分预加载和正式加载。预加载,将水平力连续均匀加载至设计水平承载力并保持 10 min,然后卸载至 0.1 倍设计水平承载力。正式加载,以 0.1 倍设计水平承载力作为初始加载力,将水平力连续均匀加载至 1.2 倍设计水平承载力,装置不应破坏。试验过程中记录力和位移,绘制力-位移曲线
	保险销连接	加载分预加载和正式加载。预加载,将水平力连续均匀加载至 0.5 倍设计水平承载力并保持 30 min。正式加载,以 0.1 倍设计水平承载力作为初始加载力,将水平力连续均匀加载直至保险销断裂或水平力发生突变。试验过程中记录力和位移,绘制力-位移曲线

6.3 速度锁定装置

6.3.1 外观

外观质量检测应按 6.2.1 的规定进行。

6.3.2 材料

6.3.2.1 钢材

钢材性能试验应按 GB/T 1591、GB/T 4171、GB/T 699、GB/T 700、GB/T 3077、GB/T 1220 的规定进

行,化学成分检测应按 GB/T 4336 的规定进行。锻轧钢棒超声波检验方法应按 GB/T 4162 的规定进行,钢材内部缺陷检测应按 GB/T 226 和 GB/T 1814 的规定进行。

6.3.2.2 填充介质

填充介质二甲基硅油的各项理化性能技术指标测定应按 HG/T 2366 的规定进行。

6.3.3 工艺性能

6.3.3.1 热处理

钢件热处理后的力学性能试验应按 JB/T 6396 的规定进行。

6.3.3.2 机加工

钢件、成品装配后的尺寸、机加工质量检测方法应按 6.2.3.1 的要求进行。

6.3.3.3 焊接

焊接件质量检测应按 GB 50661 的规定进行。

6.3.3.4 探伤

磁粉探伤方法按 NB/T 47013.4 的规定进行,渗透探伤方法按 NB/T 47013.5 的规定进行。缸体、连接筒、活塞、耳环、端盖的超声波探伤方法按 NB/T 47013.3 的规定进行,活塞杆的超声波探伤方法按 GB/T 4162 的规定进行。

6.3.3.5 防腐

金属表面镀层厚度用金属镀层测厚仪检测,镀层的表面质量采用目视法检测,成品涂层的检测方法按 JT/T 722、GB/T 11379 及 GB/T 12332 的规定进行。

6.3.4 力学性能

6.3.4.1 力学性能

力学性能试验应按表 13 的规定进行。

表 13 力学性能试验

项目	试验方法
正常位移、正常输出力	加载分预加载和正式加载,加载方式为速度控制匀速加载。预加载,以 0.01 mm/s 加载至设计位移,进行 1 个循环。正式加载,以不低于 0.01 mm/s 且小于设计锁定速度加载,使速度锁定装置位移从零加载至设计位移后再反向加载至设计位移,进行 3 个完整的位移循环运动。全程连续记录荷载位移曲线、荷载时程曲线和位移时程曲线数据。试验过程运行平稳,无卡滞;曲线基本光滑、无异常
锁定力、锁定位移、锁定速度	加载方式为力控制均匀加载,在 2 s 内均匀加载至不低于设计锁定力 F_L ,分别进行拉伸、压缩试验 1 次。以拉伸、压缩两个方向分别记录锁定力、锁定位移、锁定速度值。连续记录荷载位移曲线、荷载时程曲线和位移时程曲线数据。试验过程中,装置不应出现破坏或泄漏,曲线基本光滑,无异常

表 13 力学性能试验(续)

项目	试验方法
超载性能	在 2 s 内加载至 1.5 倍的 F_L , 持荷不少于 30 s 后, 随即在 2 s 内反方向加载至 1.5 倍的 F_L 并持荷不少于 30 s, 在 2 s 内卸载。全程连续记录荷载位移曲线、荷载时程曲线和位移时程曲线数据。试验过程中, 装置不应出现破坏或泄漏, 曲线基本光滑, 无异常

6.3.4.2 疲劳性能试验

疲劳性能试验加载方式为力加载, 加载振幅为 0.14 倍的 F_L 的正弦波, 加载频率不小于 0.25 Hz。使速度锁定装置进行 10 万次完整的设计位移循环。每 1 万次循环记录一次, 每次记录不少于 20 个完整的循环; 监测试件温度, 超过指定温度时应暂停试验。全程连续记录荷载位移曲线。试验过程中装置应无卡滞现象, 试验完成后装置应无泄漏。

6.4 隔震橡胶支座

6.4.1 外观

外观质量检测应按 6.2.1 的规定进行。

6.4.2 材料

6.4.2.1 橡胶

橡胶材料物理机械性能试验项目及试验方法应按表 4 的规定进行。

6.4.2.2 钢材

钢材性能试验方法应按以下规定进行:

- a) 钢材性能及化学成分检测按 6.2.2 的规定进行。
- b) 锻轧钢棒超声波检验方法按 GB/T 4162 的规定进行。

6.4.2.3 铅芯

铅芯试验方法应按 GB/T 469 的规定进行。

6.4.2.4 黏结剂

黏结剂黏合性能试验应按 GB/T 7760 的规定进行。

6.4.3 工艺性能

6.4.3.1 机加工

机加工尺寸检测应按以下规定进行:

- a) 外形尺寸用钢直尺测量, 高度用游标卡尺或量规测量。
- b) 对矩形支座, 除在四边上测量长短边尺寸外, 还需测量平面与侧面对角线尺寸, 高度在四边中点及对角线中心处测量; 对圆形支座的直径、高度至少测量 4 次, 测点垂直交叉并测量圆心处高度。

- c) 外形尺寸和高度取实测平均值。
- d) 支座本体保护层和内部橡胶层厚度应用游标卡尺测量,测点各不少于 6 个,计算取各自实测平均值。

6.4.3.2 焊接

焊接件质量检测应按 GB 50661 的规定进行。

6.4.3.3 防腐

防腐涂层性能试验应按 JT/T 722 的规定进行。

6.4.4 力学性能

6.4.4.1 力学性能试验

力学性能试验应按表 14 的规定进行。

表 14 力学性能试验

试验项目	试验方法
竖向压缩性能 ^a (竖向压缩刚度 K_v 、压缩位移 Y 、转角 θ)	按 $0 \rightarrow \sigma_0 \rightarrow 0.5 \text{ MPa}$ 施加竖向压应力,加载循环 3 次。 K_v 取第 3 次加载从 1.5 MPa 至 6 MPa,按公式(1)计算: $K_v = (P_6 - P_{1.5}) / (\delta_6 - \delta_{1.5}) \dots\dots\dots(1)$ Y 取第 3 次加载从 0.5 MPa 至 σ_0 ,按公式(2)计算: $Y = (\delta_{\sigma_0} - \delta_{0.5}) \dots\dots\dots(2)$ θ 取第 3 次加载从 0.5 MPa 至 σ_0 ,圆形支座按公式(3)计算: $\theta = Y / (d/2) \dots\dots\dots(3)$ 矩形支座按公式(4)计算: $\theta = Y / (l_a/2) \dots\dots\dots(4)$
水平剪切性能 ^a (水平等效刚度 K_h 、等效阻尼比 ξ)	采用单剪试验方法。竖向加载压应力 10 MPa 并保持;水平荷载加载采用频率为 0.5 Hz 的正弦波、振幅为反复加载试验剪应变 γ_s 对应的剪切位移,加载循环 3 次。记录力和位移值,绘制力-位移滞回曲线。 K_h 和 ξ 取第 3 次循环的测试值,应按 GB/T 20688.1 的规定计算
^a 试验过程中,支座不发生损坏。	

6.4.4.2 力学相关性试验

力学相关性试验应按表 15 的规定进行。

表 15 力学相关性试验

试验项目	试验方法
剪应变相关性	竖向施加 10 MPa 压应力并保持,循环剪切位移加载频率采用 0.05 Hz,分别按 50%、100%、150%、200% 剪应变递增施加水平位移,剪应变允许偏差为 $\pm 5\%$,每个剪应变加载循环 11 次,取第 2 次至第 11 次循环测试平均值。基准剪应变为 γ_s 。记录力和位移值,可提供相关性函数,绘制力-位移滞回曲线

表 15 力学相关性试验(续)

试验项目	试验方法
压应力相关性	按 γ_s 对应的剪切位移施加水平位移,竖向按 6 MPa、8 MPa、10 MPa、12 MPa 递增施加压应力,循环剪切位移加载频率采用 0.05 Hz,每个压应力加载循环 11 次,取第 2 次至第 11 次循环测试平均值。基准压应力为 σ_0 。记录力和位移值,可提供相关性函数,并绘制力-位移滞回曲线
频率相关性	竖向施加 10 MPa 压应力并保持,按 γ_s 对应的剪切位移施加水平位移,加载频率采用 0.001 Hz、0.01 Hz、0.05 Hz、0.1 Hz、0.5 Hz、1.0 Hz、2.0 Hz(速度不宜超过 1 m/s)递增施加循环剪切位移,加载循环 11 次,取第 2 次至第 11 次循环测试平均值。基准加载频率为 0.5 Hz。记录力和位移值,可提供相关性函数,并绘制力-位移滞回曲线
重复加载次数相关性	竖向施加 10 MPa 压应力并保持,按 γ_s 对应的剪切位移施加水平位移,循环剪切位移加载频率采用 0.05 Hz,反复加载循环 50 次。应测试第 1 次、3 次、5 次、10 次、20 次、30 次、50 次循环的剪切性能。试验完成后应冷却至室温,然后再次测定试件的剪切性能,冷却时间不少于 8 h。基准值应取第 2 次至第 11 次循环测试平均值。记录力和位移值,可提供相关性函数,并绘制力-位移滞回曲线
温度相关性	在表 7 中规定的温度条件下,竖向施加 10 MPa 压应力并保持,按 γ_s 对应的剪切位移施加水平位移,循环剪切位移测试频率采用 0.05 Hz,加载循环 3 次,取第 3 次循环测试值,按 GB/T 20688.1 的规定计算。基准温度为 23 ℃ ± 2 ℃。试验前,试件应在试验环境中放置不少于 6 h ~ 24 h,并应记录试件的表面温度。记录力和位移值,可提供相关性函数,并绘制力-位移滞回曲线

6.4.4.3 耐久性能试验

耐久性能试验方法应按以下要求进行:

- a) 老化性能、徐变性能试验按 GB/T 20688.1 的规定进行。
- b) 竖向疲劳性能试验按 GB/T 20688.1 的规定进行。
- c) 水平疲劳试验:竖向施加 8.0 MPa 压应力并保持;水平荷载以 120 s 为周期、70% 剪应变为振幅的正弦波加载,加载循环 1 000 次,每完成 200 次加载循环,检测支座水平等效刚度、等效阻尼比,并与水平疲劳试验前的检测结果对比。在每次完成水平等效刚度、等效阻尼比检测试验后,支座在 23 ℃ ± 2 ℃ 放置不少于 24 h,再进行下一个 200 次的循环加载。

6.4.4.4 极限性能试验

极限性能试验应按表 16 的规定进行。

表 16 极限性能试验

试验项目	试验方法
极限剪切性能	支座的极限剪切性能应按 GB/T 20688.1 的规定进行。支座完成试验后不应在工程中使用
拉伸性能	支座的拉伸性能应按 GB/T 20688.1 的规定进行,在表 5 规定的设计拉应力 σ_t 和地震状态容许剪应变 γ_s 下进行,试验后支座外观应无异常或损伤。支座完成试验后不应在工程中使用

6.4.4.5 内部质量试验

支座内部质量检验应随机抽取一个橡胶层数大于3的支座进行解剖,将其沿垂直方向锯开。钢板与橡胶黏结性能试验应按 GB/T 7760 的规定进行;剥离胶层橡胶拉伸性能试验应按 GB/T 528 的规定进行。试验结果应符合表 8 的要求。

6.5 摩擦摆减隔震支座

6.5.1 外观

外观质量检测应按 6.2.1 的规定进行。

6.5.2 材料

6.5.2.1 钢材

钢材化学成分检测按 GB/T 4336 的规定进行,钢材内部缺陷检测按 GB/T 226 和 GB/T 1814 的规定进行,钢材其余性能试验应按以下规定进行:

- a) 钢件性能试验按 GB/T 1591、GB/T 4171、GB/T 11352、GB/T 699、GB/T 700 和 GB/T 3077 的规定进行。
- b) 支座铸钢件逐个进行超声波检测,其探测方法和质量评级方法按 GB/T 7233.1 的规定进行。
- c) 不锈钢板性能试验按 GB/T 3280 的规定进行。
- d) 锻轧钢棒超声波试验按 GB/T 4162 的规定进行。

6.5.2.2 滑板材料

滑板材料性能试验应按 JT/T 901 的规定进行。

6.5.2.3 硅脂

5201-2 硅脂物理性能试验应按 HG/T 2502 的规定进行。

6.5.2.4 密封圈

密封圈性能试验应按 JT/T 901 的规定进行。

6.5.3 工艺性能

工艺性能试验应按 6.4.3 的规定进行。铸钢件无损探伤和质量评级方法应符合 GB/T 7233.1 的规定。

6.5.4 力学性能

力学性能试验应按表 17 的规定进行。

表 17 力学性能试验

项目	试验方法
竖向承载力	加载分为预加载和正式加载。预加载,将支座竖向力以连续均匀速度加载至设计竖向承载力 P 并保持 10 min,然后卸载至 1% P (不小于 50 kN)。正式加载,以 1% P 作为初始压力,连续均匀加载至检验荷载 (1.5 倍 P)。荷载稳压 2 min 后记录位移传感器数据,直至检验荷载,稳压 3 min 后卸载至初始压力。加载 3 次。竖向压缩变形取第 3 次加载从 1% P 至 P 时的压缩变形值,绘制竖向荷载-竖向压缩变形曲线

表 17 力学性能试验(续)

项目	试验方法
水平承载力	将支座竖向承载力以连续均匀速度加载至 P 并保持。预加载,将支座水平力以连续均匀速度加载至 0.6 倍设计水平承载力,然后卸载至 0.1 倍设计水平承载力,反复 3 次。正式加载,用水平位移加载装置连续均匀速度加载至支座保险销断裂或水平力发生突变,试验过程中支座其他零部件不出现损伤、裂纹、断裂等现象;记录力和位移值,绘制力-位移曲线
转角	转角试验可选用 2 个规格相同的固定支座,按 GB/T 17955 的安装方法进行安装,对准中心位置,精度小于 1% 的球冠衬板直径,并在转动加载装置两端分别安装 2 只位移传感器或千分表。加载分为预加载和正式加载。预加载,将支座竖向力以连续均匀速度加载至 P 并保持 10 min,然后卸载至 1% P (不小于 50 kN)。正式加载,以 1% P 作为初始压力,连续均匀加载至 P 并保持。对转动加载装置施加力,使支座分别产生设计转角的 50%、75%、100%,每次达到要求转角后,稳压 30 min。卸载后,将支座各部件拆解,观察各零部件有无变形及损坏
最大水平位移、水平等效刚度、等效阻尼比 ^a	去除支座的水平限位组件。将支座竖向力以连续均匀速度加载至 P 并保持。水平加载分为预加载和正式加载。预加载,用水平位移加载装置以 2 mm/s 的速度连续匀速施加水平位移至最大,然后反向加载至最大水平位移,加载循环 3 次。正式加载(分离式摩擦摆减隔震支座宜采用固定支座),竖向加载至 P 并保持,用水平位移加载装置以正弦波加载,速度峰值不小于 200 mm/s,施加至最大水平位移,加载循环 3 次。由专用力传感器记录水平力,取实测第 3 次加载值计算支座水平等效刚度、等效阻尼比,见公式(B.25)、(B.26)。绘制力-位移滞回曲线,滞回曲线应光滑、无异常
^a 除支座水平剪力试验外,其余试验过程中支座不发生屈服和损坏。	

6.6 弹塑性钢减隔震支座

6.6.1 外观

外观质量检测应按 6.5.1 的规定进行。

6.6.2 材料

材料性能试验应按 6.5.2 的规定进行。

6.6.3 工艺性能

工艺性能试验应按 6.5.3 的规定进行。

6.6.4 力学性能

力学性能试验应按表 18 的规定进行。

表 18 力学性能试验

项目	试验方法
竖向承载力	应按 6.5.4 的规定进行
水平承载力	应按 6.5.4 的规定进行
转角	应按 6.5.4 的规定进行

表 18 力学性能试验(续)

项目	试验方法
最大水平位移、 水平等效刚度、 等效阻尼比	去除支座的水平限位组件。将支座竖向承载力以连续均匀速度加载至 P 并保持。水平加载加载分为预加载和正式加载。预加载,用水平位移加载装置以不低于 2 mm/s 的速度连续匀速施加水平位移至正常使用位移,然后反向加载至正常使用位移,循环 3 次。正式加载(支座宜采用固定支座),竖向加载至 P 并保持。用水平位移加载装置以正弦波加载,速度峰值不小于 200 mm/s ,施加至最大水平位移,加载循环 3 次。由专用力传感器记录水平力,取实测第 3 次加载平均值计算支座水平等效刚度、等效阻尼比。绘制力-位移滞回曲线,滞回曲线应光滑、无异常

7 检验规则

7.1 检验分类

减隔震装置检验分原材料及部件进厂检验、产品出厂检验和型式检验三类。

7.1.1 原材料及部件进厂检验

减隔震装置加工用原材料及部件进厂时应进行验收检验,合格后方可进厂使用。

7.1.2 产品出厂检验

减隔震装置出厂时应进行检验,合格后方可出厂使用。

7.1.3 型式检验

有下列情况之一时,应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定。
- b) 正式生产后,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时。
- c) 正常生产时,每三年进行一次检验。
- d) 产品停产两年后,恢复生产时。
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。
- f) 国家质量监督机构或用户提出进行型式检验要求时。

7.2 检验项目及检验频次

7.2.1 原材料及部件进厂检验

减隔震装置用原材料及部件进厂检验项目及检验频次应符合表 19 的规定。对原材料及外协部件,除有供应商的质保单外,减隔震装置生产厂应提供复检报告。

表 19 原材料及部件进厂检验项目及检验频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	检验频次
1	钢材	5.2.2/5.3.2.1/5.4.2.2/5.5.2.1/5.6.2	6.2.2/6.3.2.1/6.4.2.2/6.5.2.1/6.6.2	每批
2	填充介质	5.3.2.2	6.3.2.2	每批
3	橡胶材料	5.4.2.1	6.4.2.1	每批

表 19 原材料及部件进厂检验项目及检验频次(续)

序号	检验项目	技术要求	试验方法	检验频次
4	铅	5.4.2.3	6.4.2.3	每批
5	黏结剂	5.4.2.4	6.4.2.4	每批
6	滑板材料	5.5.2.2/5.6.2	6.5.2.2/6.6.2	每批
7	硅脂	5.5.2.3/5.6.2	6.5.2.3/6.6.2	每批
8	密封圈	5.5.2.4/5.6.2	6.5.2.4/6.6.2	每批
注:橡胶材料的热空气老化性能、压缩永久变形、臭氧老化性能测试频率为每年一次。				

7.2.2 出厂检验及型式检验

7.2.2.1 剪力卡榫装置

出厂检验及型式检验项目和频次应符合表 20 的规定。

表 20 出厂检验及型式检验项目和频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验	检验频次
1	外观	5.2.1	6.2.1	+	+	100%
2	结构尺寸	5.2.3.1/5.2.3.3	6.2.3.1	+	+	100%
3	防腐	5.2.3.2	6.2.3.2	+	+	7.3
4	位移性能	5.2.4	6.2.4	+	+	7.3
5	水平限位性能			-	+	
注:“+”表示进行该项试验;“-”表示不进行该项试验。						

7.2.2.2 速度锁定装置

出厂检验及型式检验项目和频次应符合表 21 的规定。

表 21 出厂检验及型式检验项目和频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验	检验频次
1	外观	5.3.1	6.3.1	+	+	100%
2	结构尺寸	5.3.3.2	6.3.3.2	+	+	100%
3	防腐	5.3.3.5	6.3.3.5	+	+	7.3
4	正常位移	5.3.4	6.3.4	+	+	7.3
5	正常输出力			+	+	
6	锁定位移			+	+	
7	锁定力			+	+	
8	锁定速度			+	+	
9	超载性能			-	+	
10	疲劳性能			-	+	
注：“+”表示进行该项试验；“-”表示不进行该项试验。						

7.2.2.3 隔震橡胶支座

出厂检验及型式检验项目和频次应符合表 22 的规定。

表 22 出厂检验及型式检验项目和频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验	检验频次
1	外观	5.4.1	6.4.1	+	+	100%
2	结构尺寸	5.4.3.1	6.4.3.1	+	+	100%
3	防腐	5.4.3.3	6.4.3.3	+	+	7.3
4	竖向压缩性能	5.4.4.3	6.4.4.1	+	+	7.3
5	水平剪切性能			+	+	
6	力学相关性	5.4.4.4	6.4.4.2	—	+	
7	耐久性能	5.4.4.5	6.4.4.3	—	+	至少 1 件
8	极限性能	5.4.4.6	6.4.4.4	—	+	
9	内部质量	5.4.4.7	6.4.4.5	—	+	
注：“+”表示进行该项试验；“—”表示不进行该项试验。						

7.2.2.4 摩擦摆减隔震支座

出厂检验及型式检验项目和频次应符合表 23 的规定。

表 23 出厂检验及型式检验项目和频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验	检验频次
1	外观	5.5.1	6.5.1	+	+	100%
2	结构尺寸	5.5.3.1	6.5.3	+	+	100%
3	防腐	5.5.3.4		+	+	7.3
4	竖向承载力	5.5.4.8	6.5.4	+	+	7.3
5	水平承载力			—	+	
6	水平剪断力			—	+	
7	转动性能			△	+	
8	最大水平位移			+	+	
9	屈服后水平刚度			+	+	
10	等效阻尼比			+	+	
注：“+”表示进行该项试验；“—”表示不进行该项试验；“△”表示选择性进行该项试验。						

7.2.2.5 弹塑性钢减隔震支座

出厂检验及型式检验项目和频次应符合表 24 的规定。

表 24 出厂检验及型式检验项目和频次

序号	检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验	检验频次
1	外观	5.6.1	6.6.1	+	+	100%
2	结构尺寸	5.6.3.1	6.6.3	+	+	100%
3	防腐	5.6.3.4		+	+	7.3
4	竖向承载力	5.6.4.7	6.6.4	+	+	7.3
5	水平承载力			-	+	
6	水平剪断力			-	+	
7	转动性能			△	+	
8	最大水平位移			-	+	
9	水平等效刚度			-	+	
10	等效阻尼比			-	+	
注：“+”表示进行该项试验；“-”表示不进行该项试验；“△”表示选择性进行该项试验。						

7.3 组批和抽样

7.3.1 组批

7.3.1.1 原材料性能检验组批应由一个采购批次组成。

7.3.1.2 减隔震装置成品的检验组批应由一个生产批次组成。

7.3.2 抽样

减隔震装置出厂检验及型式检验抽样符合以下要求：

- a) 产品出厂检验抽样数量应不少于总数的 20%，且不少于 1 件；产品型式检验采用随机抽样方式，且抽样数量不少于 1 件；检验中若有不合格试件，则应从该批产品中重新抽取双倍试件对不合格项目进行复检。
- b) 可根据用户需求确定产品的抽样数量，但不宜低于上述规定的最少抽样比例。

7.4 判定规则

7.4.1 在进厂检验中发现不合格原料或部件不应使用；在减隔震装置组装过程中发现不合格部件应进行更换，直至全部检验项目均合格。

7.4.2 减隔震装置出厂检验或型式检验性能检测中若有一项不合格，且随机抽取双倍试件检测后仍有不少于一项不合格时，则判定该批产品不合格。

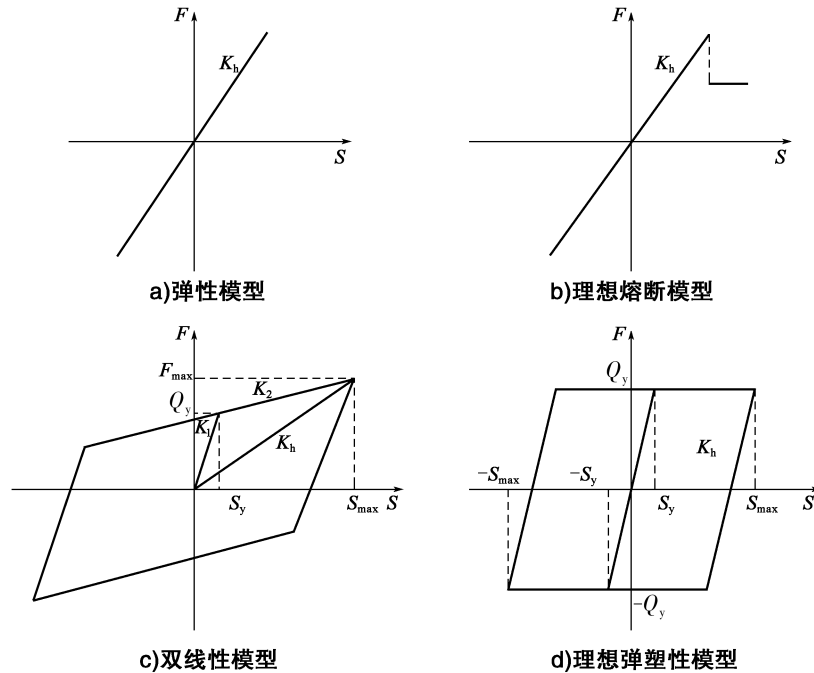
附录 A

(资料性)

桥梁减隔震装置基本力学模型

A.1 基本力学模型

装置基本力学模型可简化为弹性模型、理想熔断模型、双线性模型、理想弹塑性模型,见图 A.1。



标引序号说明:

F ——荷载,单位为千牛(kN);

$F_{\max}$ ——最大荷载,单位为千牛(kN);

K_h ——水平等效刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);

K_1 ——初始水平刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);

Q_y ——屈服力,单位为千牛(kN);

K_2 ——屈服后水平刚度,单位为千牛每毫米(kN/mm);

S ——位移,单位为毫米(mm);

S_y ——屈服位移,单位为毫米(mm);

$S_{\max}$ ——最大水平位移,单位为毫米(mm)。

图 A.1 基本力学模型

A.2 减隔震装置力学模型

A.2.1 速度锁定装置的力学模型采用相应的连接方式模拟。

A.2.2 天然橡胶支座的力学模型采用弹性模型模拟,见图 A.1a)。

A.2.3 高阻尼隔震橡胶支座、铅芯隔震橡胶支座、整体式摩擦摆减隔震支座的力学模型采用双线性模型模拟,见图 A.1c)。

A.2.4 保险销的力学模型采用理想熔断模型模拟,见图 A.1b)。

A.2.5 分离式摩擦摆减隔震支座和弹塑性钢减隔震支座力学模型可采用双线性模型模拟[图 A.1c)],或由双线性模型[图 A.1c)]和理想弹塑性模型[图 A.1d)]组合模拟。

A.2.6 弹塑性钢阻尼元件力学模型采用双线性模型模拟,见图 A.1c)。

附 录 B
(资料性)
桥梁减隔震装置的设计计算

B.1 隔震橡胶支座的设计计算

B.1.1 形状系数

隔震橡胶支座分为圆形和矩形,其第一形状系数 S_1 和第二形状系数 S_2 的计算方法如下:

a) 隔震橡胶支座分为圆形和矩形,圆形支座的 S_1 、 S_2 分别按公式(B.1)、公式(B.2)计算:

$$S_1 = \frac{d_0 - d_i}{4t_r} \dots\dots\dots(\text{B.1})$$

$$S_2 = \frac{d_0}{T_r} \dots\dots\dots(\text{B.2})$$

其中,有开孔(孔直径为 d_i)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;若支座孔洞灌满橡胶,则按无开孔支座考虑。

b) 矩形支座的 S_1 按公式(B.3)计算:

$$S_1 = \frac{4ab - \pi d_i^2}{4t_r(2a + 2b + \pi d_i)} \dots\dots\dots(\text{B.3})$$

S_2 的计算,沿短边有约束按公式(B.4)计算:

$$S_2 = \frac{a}{T_r} \dots\dots\dots(\text{B.4})$$

沿短边无约束按公式(B.5)计算:

$$S_2 = \frac{b}{T_r} \dots\dots\dots(\text{B.5})$$

B.1.2 竖向压缩刚度

竖向压缩刚度 K_v 按公式(B.6)计算:

$$K_v = \frac{E_c A_0}{T_r} \dots\dots\dots(\text{B.6})$$

B.1.3 橡胶修正压缩弹性模量

橡胶修正压缩弹性模量 E_c ,按公式(B.7)计算:

$$E_c = \alpha_1 S_1 G \dots\dots\dots(\text{B.7})$$

注1:一般情况下, G 可取0.8 MPa、1.0 MPa、1.2 MPa;

注2:天然橡胶支座(LNR), α_1 取35~50;高阻尼隔震橡胶支座(HDR), α_1 =45~60;铅芯隔震橡胶支座(LRB), α_1 取40~55。

B.1.4 支座剪切性能

B.1.4.1 天然橡胶支座的剪切性能

天然橡胶支座的水平等效刚度 K_h 按公式(B.8)计算:

$$K_h = G \frac{A_0}{T_r} \dots\dots\dots(\text{B.8})$$

B.1.4.2 高阻尼隔震橡胶支座的剪切性能

高阻尼隔震橡胶支座的剪切性能包括水平等效刚度 K_h 、等效阻尼比 ξ 、初始水平刚度 K_1 、屈服后水平刚度 K_2 ，计算方法如下：

a) K_h 按公式(B.9)计算：

$$K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A_0}{T_r} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

注： $G_{eq}(\gamma)$ 根据试验确定。

b) ξ 按公式(B.10)计算：

$$\xi(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_d}{W} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_d}{K_h X^2} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

c) K_1 和 K_2 分别按公式(B.11)和公式(B.12)计算：

$$K_1 = \frac{2U(\gamma) - \pi\xi(\gamma)[1 - U(\gamma)]}{2U(\gamma) - \pi\xi(\gamma)} \cdot K_h \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

$$K_2 = [1 - U(\gamma)] K_h \quad \dots\dots\dots (B.12)$$

其中， $U(\gamma)$ 按公式(B.13)计算：

$$U(\gamma) = \frac{Q_y}{K_h(T_r\gamma)} \quad \dots\dots\dots (B.13)$$

B.1.4.3 铅芯隔震橡胶支座的剪切性能

铅芯隔震橡胶支座的剪切性能包括水平等效刚度 K_h 、屈服后水平刚度 K_2 、初始水平刚度 K_1 ，计算方法如下：

a) K_h 按公式(B.14)计算：

$$K_h = \frac{Q_y}{\gamma T_r} + K_2 \quad \dots\dots\dots (B.14)$$

注： Q_y 由试验确定。

b) K_2 按公式(B.15)计算：

$$K_2 = C_r(\gamma) K_r + C_p(\gamma) K_p \quad \dots\dots\dots (B.15)$$

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

c) K_1 按公式(B.16)计算：

$$K_1 = \alpha_0 K_2 \quad \dots\dots\dots (B.16)$$

注： α_0 取 5 ~ 15。

B.1.5 压应力

支座设计压应力 σ_0 按公式(B.17)计算：

$$\sigma_0 = \frac{P}{A_0} \quad \dots\dots\dots (B.17)$$

B.2 摩擦摆减隔震支座的设计计算

B.2.1 支座初始水平刚度 K_1 按公式(B.18)计算：

$$K_1 = \frac{\mu P}{S_y} \quad \dots\dots\dots (B.18)$$

B.2.2 支座屈服后水平刚度 K_2 按公式(B.19)计算：

$$K_2 = \frac{P}{R_{eq}} \dots\dots\dots (B.19)$$

B.2.3 摩擦摆减隔震支座水平等效刚度 K_h 按公式(B.20)计算:

$$K_h = \frac{P}{R_{eq}} + \mu \frac{P}{e_0} \dots\dots\dots (B.20)$$

B.2.4 摩擦摆减隔震支座等效阻尼比 ξ 按公式(B.21)计算:

$$\xi = \frac{2\mu}{\pi(e_0/R_{eq} + \mu)} \dots\dots\dots (B.21)$$

B.2.5 摩擦摆减隔震支座隔震周期 T 按公式(B.22)计算:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_{eq}}{g}} \dots\dots\dots (B.22)$$

B.2.6 摩擦摆减隔震支座摩擦系数 μ 按公式(B.23)计算、屈服后水平刚度 K_2 按公式(B.24)计算、测试水平等效刚度 K_{he} 和等效阻尼比 ξ_e 按公式(B.25)、公式(B.26)计算:

$$\mu = \frac{Q_y}{P} \dots\dots\dots (B.23)$$

$$K_2 = \frac{F_{max} - Q_y}{S_{max} - S_y} \dots\dots\dots (B.24)$$

$$K_{he} = \frac{F_{max}}{S_{max}} \dots\dots\dots (B.25)$$

$$\xi_e = \frac{W_d}{2\pi K_{he} S_{max}^2} \dots\dots\dots (B.26)$$

