|  |  |
| --- | --- |
| ICS  |       |
| CCS  |

|  |
| --- |
| D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png CECS |

      |

中国工程建设标准化协会团体标准

T/CECS XXXX—XXXX

叠层厚橡胶支座

Laminated rubber bearings with thick rubber layers

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国工程建设标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc152773175)

[1 范围 1](#_Toc152773176)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc152773177)

[3 术语和定义 1](#_Toc152773178)

[4 支座分类与标记 2](#_Toc152773191)

[5 一般要求 3](#_Toc152773194)

[6 性能要求 4](#_Toc152773199)

[7 试验方法 8](#_Toc152773204)

[8 检验准则 11](#_Toc152773208)

[9 标志、包装、运输及贮存 14](#_Toc152773212)

[附录A （规范性） 支座力学性能设计准则 15](#_Toc152773217)

[附录B （规范性） 支座振震双控设计准则 19](#_Toc152773226)

[附录C （规范性） 支座动态性能测试 20](#_Toc152773231)

1. 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。

本文件是按中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第一批协会标准　制订、修订计划>的通知》（建标协字[2021]11号）规定制定。

本文件由中国工程建设标准化协会提出。

本文件由中国工程建设标准化协会建筑振动专业委员归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

叠层厚橡胶支座

* 1. 范围

本标准规定了叠层厚橡胶支座产品的术语和符号、支座分类与标记、一般要求、性能要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存，以及支座力学性能设计准则、支座震振双控设计准则和支座动态性能测试。

本标准适用于震振双控所用的叠层厚橡胶支座。

* 1. 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 469 铅锭

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钢板和钢带

GB/T 3672.1 橡胶制品的公差　第1部分:尺寸公差

GB/T 6592 电工和电子测量设备性能表示

GB/T 8081 天然生胶　标准橡胶规格

GB/T 8089 天然生胶　烟胶片、白绉胶片和浅色绉胶片

GB/T 15168 振动与冲击隔离器静、动态性能测试方法

GB/T 20688.1 橡胶支座　第1部分:隔震橡胶支座试验方法

GB/T 20688.3 橡胶支座　第3部分:建筑隔震橡胶支座

GB/T 51408 建筑隔震设计标准

JG/T 118 建筑隔震橡胶支座

T/CECS 1035 城市轨道交通上盖结构设计标准

T/CECS 1234 建筑工程振震双控技术标准

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* + 1. 叠层厚橡胶支座 **laminated rubber bearing with thick rubber layers**

通过增加单层橡胶厚度而形成的第一形状系数介于2~16、第二形状系数不小于3的叠层橡胶支座，包括天然厚橡胶支座（TNRB）、铅芯厚橡胶支座（LTRB）、高阻尼厚橡胶支座（THDRB）和水平限位型厚橡胶支座（HR-TRB）。

* + 1. 天然厚橡胶支座 **thick natural rubber bearing**

内部无竖向铅芯，由多层增加厚度的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，其第一形状系数不小于6。

* + 1. 铅芯厚橡胶支座 **lead thick rubber bearing**

内部含有竖向铅芯，由多层增加厚度的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，其第一形状系数不小于6。

* + 1. 高阻尼厚橡胶支座 **thick high damping rubber bearing**

用复合橡胶制成且增加橡胶厚度的具有较高阻尼性能的支座，其第一形状系数不小于6。

* + 1. 水平限位型厚橡胶支座 **horizontal restrained thick rubber bearing**

通过设置刚性限位装置，不允许水平变形的天然厚橡胶支座，其第一形状系数介于2~6。

* + 1. 厚橡胶层 **thick rubber layer**

通过增加叠层橡胶厚度形成的厚橡胶层。

* + 1. 竖向压缩刚度 **vertical compressive stiffness**

作用在支座上的等效地震静力与相应的位移之比。

* + 1. 竖向隔振刚度 **vertical vibration isolation stiffness**

作用在支座上的竖向小幅值振动等效静力与相应的位移之比。

* + 1. 竖向动刚度 **vertical dynamic stiffness**

作用在支座上的竖向动态弹性力与相应的位移之比。

* + 1. 竖向屈服拉应力 **vertical yield tensile stress**

支座竖向拉伸至拉伸刚度明显下降时的拉应力。

* + 1. 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。

* + 1. 橡胶层均匀变形 **uniform deformation of rubber layers**

在设计压应力和无侧移下，各橡胶层应均匀凸出或均匀对称向外鼓出，支座整体不应发生如“C”型和“S”型侧向屈曲或局部异常鼓出。

* 1. 支座分类与标记
		1. 分类

叠层厚橡胶支座可分为天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座、高阻尼厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座。常用的截面形状分为圆形或矩形（图1）。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| a) 圆形支座 | b) 矩形支座 |

说明：

*D*——圆形支座外径；*d*1——圆形支座中孔直径；*a*——矩形支座长边尺寸；*b*——矩形支座短边尺寸。

1. 叠层厚橡胶支座截面形状示意
	* 1. 标记
			1. 标记方法

支座产品的标记由支座类型代号、支座形状、尺寸和设计压应力组成（图2）。



1. 支座标记示意
	* + 1. 示例

示例1：

天然厚橡胶支座、有效直径400 mm、设计压应力6 MPa，标记为：TNRB 400-6。

示例2：

铅芯厚橡胶支座、矩形支座尺寸500 mm×600 mm、设计压应力8 MPa，标记为：LTRB 500×600-8。

示例3：

水平限位型厚橡胶支座、有效直径600 mm、设计压应力4 MPa，标记为：HR-TRB 600-4。

* 1. 一般要求
		1. 结构

不同使用要求的叠层厚橡胶支座可有不同的叠层结构、尺寸、制造工艺和配方设计。叠层厚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。

* + 1. 形状系数

叠层厚橡胶支座第一形状系数介于2～16、第二形状系数不小于3，其中天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座第一形状系数不小于6且不大于16，水平限位型厚橡胶支座第一形状系数介于2～6。

* + 1. 常用尺寸

天然厚橡胶支座和铅芯厚橡胶支座常用尺寸要求应符合本标准表5.3的规定。

1. 叠层厚橡胶支座常用尺寸（mm）

| 尺寸*D*或*a* | 单层内部橡胶厚度*t*r | 单层内部钢板厚度*t*s | 中孔直径*d*1 |
| --- | --- | --- | --- |
| 400 | 6.5≤*t*r≤50.0 | ≥3.0 | 天然厚橡胶支座、高阻尼厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座：≤或≤铅芯厚橡胶支座：≤或≤ |
| 450 | 7.0≤*t*r≤56.3 |
| 500 | 8.0≤*t*r≤62.5 |
| 550 | 8.5≤*t*r≤68.8 |
| 600 | 9.5≤*t*r≤75.0 |
| 650 | 10.0≤*t*r≤81.3 |
| 700 | 11.0≤≤*t*r≤87.5 |
| 750 | 12.0≤*t*r≤93.8 | ≥4.5 |
| 800 | 12.5≤*t*r≤100.0 |

1. 叠层厚橡胶支座常用尺寸（mm）（续）

| 尺寸*D*或*a* | 单层内部橡胶厚度*t*r | 单层内部钢板厚度*t*s | 中孔直径*d*1 |
| --- | --- | --- | --- |
| 850 | 13.0≤*t*r≤106.3 |  |  |
| 900 | 14.0≤*t*r≤112.5 |
| 950 | 15.0≤*t*r≤118.8 |
| 1000 | 15.5≤*t*r≤125.0 | ≥6.0 | 天然厚橡胶支座、高阻尼厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座：≤或≤铅芯厚橡胶支座：≤或≤ |
| 1050 | 16.5≤*t*r≤131.3 |
| 1100 | 17.0≤*t*r≤137.5 |
| 1150 | 18.0≤*t*r≤143.8 |
| 1200 | 19.0≤*t*r≤150.0 |
| 1250 | 19.5≤*t*r≤156.3 |
| 1300 | 20.5≤*t*r≤162.5 | ≥7.5 |
| 1350 | 21.0≤*t*r≤168.8 |
| 1400 | 22.0≤*t*r≤175.0 |
| 1450 | 22.5≤*t*r≤181.3 |
| 1500 | 23.5≤*t*r≤187.5 |

* + 1. 材料要求
			1. 钢板

内部钢板应采用Q235或不低于Q235性能的钢板，封板宜采用Q355，且应符合GB/T 3274的规定。

* + - 1. 金属铅

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

* + - 1. 橡胶

橡胶可使用一级、三级烟片胶或一级标准胶（包含全乳胶），技术要求应符合GB/T 8089和《GB/T 8081的规定，不得使用再生的硫化橡胶。

* + - 1. 使用寿命

叠层厚橡胶支座应具有不少于60年的使用寿命。

* 1. 性能要求
		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本标准表2的规定。

1. 橡胶支座内部橡胶的物理机械性能要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 天然厚橡胶支座和铅芯厚橡胶支座硬度(邵尔A度) | 高阻尼厚橡胶支座 |
| 25～34 | 35～44 | 45～54 | 55～65 |
| 拉伸强度/MPa | ≥12 | ≥13 | ≥15 | ≥18 | ≥10 |
| 扯断伸长率/% | ≥650 | ≥600 | ≥550 | ≥500 | ≥550 |
| 25%定伸应力/MPa | ≥0.20 | ≥0.25 | ≥0.30 | ≥0.35 | - |
| 300%定伸应力/MPa | ≥2.0 | ≥2.5 | ≥3.0 | ≥3.5 | - |
| 压缩永久变形/%70 ℃×24 h | ≤35 | ≤60 |
| 橡胶与金属粘合强度90°剥离法/(kN/m) | 6 | 6 | 8 | 10 | 8 |
| 热空气老化性能 | 拉伸强度变化率/% | ±25 | ±15 |
| 压缩强度变化率/% | ±25 | - |
| 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)50×10-8(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 |

* + 1. 外观质量与尺寸偏差
			1. 通则

每批抽检，尺寸测量公差应符合GB/T 3672.1的规定，测量方法符合GB/T 20688.1的规定。

* + - 1. 外观质量

叠层厚橡胶支座表面保护胶应光滑平整，外观质量应符合6.2.2中的相关规定。

1. 支座外观质量要求

|  |  |
| --- | --- |
| 缺陷名称 | 质量指标 |
| 气泡 | 单个表面气泡面积不超过50 mm2 |
| 杂质 | 杂质面积不超过30 mm2 |
| 缺胶 | 缺胶面积不超过150 mm2，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 mm2，应不多于3处 |
| 胶钢粘接不牢(上、下端面) | 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 | 不允许 |

* + - 1. 尺寸偏差

叠层厚橡胶支座尺寸允许偏差应符合本标准表6.2.3要求。

1. 支座内部质量要求

|  |  |
| --- | --- |
| 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 | ±1.0 |
| 外部 | 总高度 | 设计值的±1.5%与6 mm两者的较小值 |
| 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1200 mm时，取直径或测量长度的1/400和3 mm的较小值；直径或短边边长大于1500 mm时，取直径或测量长度1/300；直径或短边边长介于1200 mm和1500 mm之间，可内插。 |
| 侧表面垂直度 | 支座总高度的1% |
| 水平偏差/mm | ±5 |

* + 1. 支座竖向和水平力学性能

支座竖向和水平力学性能要求应符合表6.3中的相关规定。支座的计算模型应符合附录A的相关规定。

1. 支座竖向和水平力学性能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能要求 |
| 竖向性能(天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座、高阻尼厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座) | 竖向压缩刚度竖向隔振刚度 | 实测值允许偏差为±20%; 平均值允许偏差为±15% |
| 压缩变形性能 | 荷载—位移曲线应无异常 |
| 等效阻尼比 | 实测值允许偏差为±20%，平均值允许偏差为±15% |
| 竖向极限压应力 | 应不小于6倍设计压应力 |
| 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 | 应不小于3倍设计压应力 |
| 竖向极限拉应力 | 应不小于1.5 MPa |
| 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9 mm;直径或边长不大于 1000 mm支座，侧向不均匀变形不大于15 mm;直径或边长不大于1500 mm支座，侧向不均匀变形不大于21 mm |

1. 支座竖向和水平力学性能要求（续）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能要求 |
| 天然厚橡胶支座水平性能 | 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% |
| 铅芯厚橡胶支座水平性能 | 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% |
| 高阻尼厚橡胶支座水平性能 | 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(天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座、髙阻尼厚橡胶支座) | 水平极限变形能力 | 当3＜S2＜4时，极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的300%；当S2≥4时，极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的350%与0.65*D*的较大值 |
| 水平限位型厚橡胶支座 | 应设置刚性限位装置，不允许产生水平变形 |

* + 1. 耐久性

耐久性包括老化性能、徐变性能和疲劳性能，应符合表6.5中的相关规定。

1. 耐久性性能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能要求 |
| 老化性能 | 竖向压缩刚度变化率 | ±20% |
| 竖向隔振刚度变化率 |
| 水平等效刚度变化率 |
| 等效阻尼比变化率 |
| 水平极限变形能力 | 当3＜S2＜4时，不应小于橡胶总厚度的280%；当S2≥4时，不应小于橡胶总厚度的320% |
| 支座外观 | 目视无龟裂 |
| 徐变性能 | 徐变量 | 天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的6%高阻尼厚橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的10% |
| 疲劳性能 | 竖向压缩刚度变化率 | ±15% |

1. 耐久性性能要求（续）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 性能要求 |
| 疲劳性能 | 竖向隔振刚度变化率 | ±15% |
| 水平等效刚度变化率 |
| 等效阻尼比变化率 |
| 支座外观 | 目视无龟裂 |

* 1. 试验方法
		1. 橡胶物理机械性能

橡胶材料物理性能的试验方法和性能要求应符合GB/T 20688.1和JG/T 118中的规定。实验室的温度和湿度条件、试件的准备、试件的厚度和宽度的测量方法应符合GB/T 2941中的规定。

* + 1. 支座竖向力学性能
			1. 竖向压缩刚度

取与轴压应力（1±30%）*σ*0相应的竖向荷载，*σ*0为支座的设计压应力，3次往复加载，绘出竖向荷载*P*与竖向位移*Y*的关系曲线（图3）。竖向压缩刚度取第三次往复加载结果，应按下式计算：

  （1）

式中：

*K*v1——竖向压缩刚度；

*P*1——平均压应力为1.3*σ*0时的竖向荷载；

*P*2——平均压应力为0.7*σ*0时的竖向荷载；

*Y*1——竖向荷载为*P*1时的竖向位移；

*Y*2——竖向荷载为*P*2时的竖向位移。



1. 竖向压缩刚度
	* + 1. 竖向隔振刚度

取与轴压应力（1±10%）*σ*0相应的竖向荷载，3次往复加载。竖向隔振刚度取第三次往复加载结果，应按下式计算：

  （2）

式中：

*K*v2——竖向隔振刚度；

*P*3——平均压应力为1.1*σ*0时的竖向荷载；

*P*4——平均压应力为0.9*σ*0时的竖向荷载；

*Y*3——竖向荷载为*P*3时的竖向位移；

*Y*4——竖向荷载为*P*4时的竖向位移。

* + - 1. 压缩变形性能

取与轴压应力（1±30%）*σ*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。

* + - 1. 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。

* + - 1. 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。

* + - 1. 竖向屈服拉应力、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。按下列方法求出竖向屈服拉应力和竖向极限拉应力：

1. 通过原点和曲线上与剪切模量*G*对应的拉力作一条直线；
2. 将上述直线水平偏移1%的内部橡胶总厚度；
3. 偏移线和试验曲线相交点对应的力即为竖向屈服拉应力；
4. 破坏点对应的试件拉应力即为竖向极限拉应力。
	* + 1. 侧向不均匀变形

支座在设计压应力作用下，采用直角尺和塞尺测量支座侧面最大鼓出位置的鼓出量。

* + 1. 支座水平向力学性能
			1. 水平等效刚度

支座在设计压应力作用下，进行剪应变为100%和250%，加载频率不低于0.1 Hz，水平加载波形为正弦波的动力加载试验。以对应于正剪应变和负剪应变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。采用第3条滞回曲线，应按下式计算支座的水平等效刚度：

  （3）

式中：

*K*h——水平等效刚度；

——最大水平正位移；

——最大水平负位移；

——与相应的水平剪力；

——与相应的水平剪力。

型式检验时，需分别进行剪应变为100%和250%时的水平等效刚度检验。出厂检验和工程检验可仅做剪应变为100%时的水平等效刚度检验。

* + - 1. 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可按下列方法一确定，否则按方法二确定：

1. 方法一

对于铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座，屈服后水平刚度应根据剪应变为100%，加载频率不低于0.1 Hz试验的第3条滞回曲线，应按下式计算：

  （4）

式中：

——屈服后水平刚度；

——正方向屈服位移；

——负方向屈服位移；

——与相应的水平剪力；

——与相应的水平剪力。

1. 方法二

铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座屈服后水平刚度应按照GB/T 20688.1中附录G规定的方法计算。

* + - 1. 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Qd可按下列方法一确定，否则按方法二确定：

1. 方法一

对于铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座，屈服力应根据剪应变为100%，加载频率不低于0.1 Hz试验的第3条滞回曲线，应按下式计算：

  （5）

式中：

*Qd*——屈服力。

1. 方法二

铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座应按照GB/T 20688.1中附录G规定的方法计算。

* + - 1. 等效阻尼比

支座的水平等效阻尼比，应按式（7.3.4-1）或（7.3.4-2）计算：

  （6）

  （7）

式中：

*h*eq——支座水平等效阻尼比；

*W*h——剪力-剪切位移滞回曲线所围面积。

* + - 1. 水平极限变形能力

支座在设计压应力作用下，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。

* 1. 检验准则
		1. 检验分类

检验分型式检验和出厂检验两类。

* + - 1. 型式检验

制造厂提供工程应用的叠层厚橡胶支座新产品进行认证鉴定时，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。

* + - 1. 出厂检验

叠层厚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。

* + 1. 检验项目
			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应符合本标准表8.2.1的规定，检验要求符合7.1中的相关规定。

1. 耐久性性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能 | 试验项目 | 出厂检验 | 型式检验 |
| 内部橡胶 | 保护层 | 内部橡胶 | 保护层 |
| 拉伸性能 | 拉伸强度 | √ | √ | √ | √ |
| 扯断伸长率 | √ | √ | √ | √ |
| 100%拉应变弹性模量 | × | × | √ | √ |
| 老化性能 | 拉伸强度变化率 | ∆ | ∆ | √ | √ |
| 扯断伸长率变化率 | ∆ | ∆ | √ | √ |
| 100%拉应变时的弹性模量变化率 | × | × | √ | √ |
| 硬度 | 硬度 | ∆ | ∆ | ∆ | ∆ |
| 粘合性能 | 橡胶与金属粘合强度试件破坏类型 | ∆ | × | √ | √ |
| 压缩性能 | 压缩永久变形 | √ | × | √ | × |
| 剪切性能 | 剪切模量 | ∆ | × | √ | × |
| 等效阻尼比 | ∆ | × | √ | × |
| 剪切模量和等效阻尼比的温度相关性 | × | × | ∆ | × |
| 破坏剪应变 | × | × | ∆ | × |
| 脆性性能 | 脆性温度 | × | × | ∆ | √\* |

1. 耐久性性能要求（续）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能 | 试验项目 | 出厂检验 | 型式检验 |
| 内部橡胶 | 保护层 | 内部橡胶 | 保护层 |
| 抗臭氧性能 | 外观变化 | × | ∆ | × | √ |
| 低温结晶性能 | 硬度变化率 | × | × | √+ | √+ |
| 注：√ ——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）；√\*——使用环境温度低于0℃时，应进行试验。 |

* + - 1. 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，检验按表6.2.2要求。

* + - 1. 尺寸偏差

出厂检验应进行支座尺寸偏差外部项目的检验，检验按表6.2.3要求。型式检验应进行支座尺寸偏差内部和外部项目的检验。

* + - 1. 支座力学性能

支座力学性能检验项目应符合表8.2.4的规定，检验要求应符合6.3、6.4和6.5的相关规定。

1. 耐久性性能要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能 | 试验项目 | 出厂检验 | 型式检验 | 试件 |
| 压缩性能 | 竖向压缩刚度 | √ | √ | 足尺 |
| 压缩位移 | √ | √ | 足尺 |
| 竖向隔振刚度 | √ | √ | 足尺 |
| 侧向不均匀变形 | √ | √ | 足尺 |
| 剪切性能 | 水平等效刚度 | √ | √ | 足尺 |
| 等效阻尼比 |
| 屈服后刚度 |
| 屈服力 |
| 拉伸性能 | 破坏拉力 | × | √ | 足尺 |
| 屈服拉力 |
| 拉伸破坏或屈服时对应的剪应变 |
| 剪切性能相关性剪切性能相关性 | 剪应变相关性 | × | √ | 足尺 |
| 压应力相关性 | × | √ | 足尺 |
| 加载频率相关性 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 反复加载次数相关性 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 温度相关性 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |

1. 耐久性性能要求（续）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能 | 试验项目 | 出厂检验 | 型式检验 | 试件 |
| 压缩性能相关性 | 剪应变相关性 | × | √ | 足尺 |
| 压应力相关性 | × | √ |
| 加载频率相关性 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 极限剪切性能 | 水平极限变形能力 | × | √ | 足尺 |
| 极限压缩性能 | 无水平位移下竖向极限压应力 | × | √ | 足尺 |
| 水平位移为支座内部橡胶直径55%状态时的极限压应力 |
| 耐久性能 | 老化性能 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 徐变性能 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 疲劳性能 | × | √ | 足尺或缩尺模型 |
| 注1：√——要进行试验；× ——不进行试验。注2：对于圆形缩尺支座，直径应不小于300mm；对于矩形支座，长边应不小于300mm；橡胶层厚度应不小于1.5mm，钢板厚度应不小于0.5mm。 |

* + 1. 判定规则
			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：
1. 支座用相同的材料配方和工艺方法制作；
2. 相应的外部和内部尺寸相差10%以内；
3. 第一、第二形状系数相差10%以内；
4. 本次试验试件的第一形状系数*S*1及第二形状系数*S*2，均不小于以前型检试件的*S*1和*S*2；
5. 以前的试验条件更严格。
	* + 1. 叠层厚橡胶支座每种规格产品应全部进行出厂检验。
			2. 除本标准规定外，叠层厚橡胶支座的出厂检验及型式检验，应符合GB/T 20688.3中的规定。
	1. 标志、包装、运输及贮存
		1. 标志

产品的标志应注明以下内容：

1. 生产厂名称和商标；
2. 产品标记；
3. 产品序列号或生产编号；
4. 质量信息可追溯标志。
	* 1. 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。

* + 1. 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；不应磕碰。

* + 1. 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。

1.
2. （规范性）
支座力学性能设计准则
	1. 竖向压缩刚度

天然厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座的竖向压缩刚度*K*v1可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.1） |
|  |  | （A.2） |

式中：

*K*v1——天然厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座竖向压缩刚度，单位为牛每毫米（N/mm）；

*α*——竖向压缩刚度修正因子；

*A*——有效面积，支座内部橡胶平面面积，单位为平方毫米（mm2）；

*E*c——修正压缩弹性模量，应按照GB/T 20688.3中附录A计算，单位为兆帕（MPa）；

*T*r——橡胶层的总厚度，单位为毫米（mm）。

铅芯厚橡胶支座的竖向压缩刚度*K*v1可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.3） |
|  |  | （A.4） |

式中：

*K*v1——铅芯厚橡胶支座竖向压缩刚度；

*K*v0——去除铅芯后的支座竖向压缩刚度；

*K*lead——铅芯竖向压缩刚度；

*E*lead——铅芯竖向压缩弹性模量；

*A*lead——铅芯横截面积；

*T*lead——铅芯高度。

* 1. 竖向隔振刚度

隔振设计时应考虑加载幅值对竖向隔振刚度的影响，天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座的竖向隔振刚度，应根据试验结果确定。已有试验结果表明，天然厚橡胶支座和水平限位型厚橡胶支座的竖向隔振刚度*K*v2较其竖向压缩刚度*K*v1大10%到15%，而铅芯厚橡胶支座的竖向隔振刚度Kv2较其竖向压缩刚度*K*v1大20%到30%。

* 1. 水平等效刚度

考虑到剪应变对橡胶剪切模量的影响，天然厚橡胶支座的水平等效刚度Kh可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.5） |

式中：

*K*h——支座水平等效刚度；

*G*——剪应变为100%时，橡胶的剪切模量；

*CK*, TNRB(*γ*)——天然厚橡胶支座水平等效刚度修正系数，由下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.6） |

若试验时支座压应力*σ*与设计压应力*σ*0相差较大，则橡胶剪切模量还应考虑压应力的影响，水平等效刚度*K*h可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.7） |

式中：

*σ*——支座压应力；

*σ*cr——支座临界压应力。

考虑到剪应变对橡胶剪切模量的影响，铅芯厚橡胶支座的水平等效刚度*K*h可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.8） |
|  |  | （A.9） |
|  |  | （A.10） |

式中：

*K*d——铅芯厚橡胶支座屈服后刚度，单位为牛每毫米（N/mm）；

*K*r——铅芯厚橡胶支座嵌入铅芯前的水平等效刚度，单位为牛每毫米（N/mm）；

*Q*d——标准温度为23℃的屈服力，单位为牛（N）；

*η*——铅芯屈服系数，可取0.588；

*CQ*(*γ*)——铅芯厚橡胶支座屈服力修正系数，由下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.11） |

*CK*, LTRB(*γ*)——铅芯厚橡胶支座屈服后刚度修正系数，由下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.12） |

* 1. 竖向拉伸性能

叠层厚橡胶支座的竖向屈服前拉伸刚度*K*t可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.13） |
|  |  | （A.14） |

式中：

*K*t——叠层天然厚橡胶支座竖向屈服前拉伸刚度；

*E*t——修正拉伸弹性模量；

*E*apt——橡胶拉伸对应的表观弹性模量；

*E*bt——橡胶拉伸对应的体积模量。

叠层厚橡胶支座的竖向拉伸屈服应力*σ*y可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.15） |

式中：

*σ*y——叠层厚橡胶支座的拉伸屈服应力，单位为兆帕（MPa）。

叠层厚橡胶支座的竖向屈服后拉伸刚度*K*ty可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.16） |
|  |  | （A.17） |
|  |  | （A.18） |

式中：

*K*ty——叠层天然厚橡胶支座竖向屈服后拉伸刚度；

*E*ty——屈服后修正拉伸弹性模量；

*E*bty——橡胶拉伸产生空穴后对应的体积模量；

*E*bty0——橡胶拉伸产生空穴瞬间对应的体积模量；

*β*——叠层厚橡胶支座空穴发展系数；

*u*——叠层厚橡胶支座拉伸位移；

*u*c——叠层厚橡胶支座橡胶拉伸产生空穴瞬间对应的拉伸位移。

叠层厚橡胶支座拉伸性能应满足下式要求：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.19） |

式中：

*σ*s——支座所承受的拉应力；

*σ*G——对应于剪切模量为*G*的拉应力；

*ρ*t——拉应力安全系数，按设计要求确定；

*σ*y——支座拉伸屈服应力；可按图A.0.9确定，首先通过原点和拉应力为*σ*G的点作直线①，将直线①偏移1%的内部橡胶总厚度得到直线②，直线②和试验曲线相交点对应的应力为屈服应力。



* 1. 拉伸屈服点计算方法
	2. 等效阻尼比

叠层厚橡胶支座的竖向等效阻尼比*β*eq可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.20） |

式中：

*β*eq——支座竖向等效阻尼比；

*W*v——压力-压缩位移滞回曲线所围面积；

*P*1——平均压应力为1.3*σ*0时的竖向荷载；

*P*2——平均压应力为0.9*σ*0时的竖向荷载；

*Y*1——竖向荷载为*P*1时的竖向位移；

*Y*2——竖向荷载为*P*2时的竖向位移。

天然厚橡胶支座和铅芯厚橡胶支座的水平等效阻尼比*h*eq可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.21） |

式中：

*h*eq——支座等效阻尼比；

*W*h——剪力-剪切位移滞回曲线所围面积；

* 1. 稳定性验算

天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座在无剪应变时和大剪应变时极限稳定性验算应符合GB/T 20688.3中的相关规定。

* 1. 设计压应力

叠层厚橡胶支座设计压应力*σ*0可按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （A.22） |
|  |  | （A.23） |

式中：

*σ*0——支座设计压应力；

*ρ*c——压应力安全系数，按设计要求确定；

*E*b——橡胶弯曲对应的表观弹性模量；

*ξ*——临界应力计算系数，圆形支座取1，方形支座取2/。

* 1. 钢板和连接件设计

叠层厚橡胶支座内部钢板设计和连接件的设计应符合GB/T 20688.3中的相关规定。

1. （规范性）
支座震振双控设计准则
	1. 竖向压缩刚度

用于隔震设计的叠层厚橡胶支座的竖向刚度应按照7.2.1规定的竖向压缩刚度计算，震振双控结构控制指标应符合GB/T 51408、T/CECS 1035和T/CECS 1234中的相关规定。

* 1. 竖向隔振刚度

用于隔振设计的叠层厚橡胶支座应根据传递率曲线初步设计其第一形状系数和第二形状系数（见图B.1），图中*β*sys为系统竖向阻尼比，振动传递率不宜大于0.3，针对目标振动的主要频率*f*v，计算得到采用叠层厚橡胶支座的结构竖向频率*f*TRB；根据结构上部质量，计算得到所需叠层厚橡胶支座的竖向隔振刚度。



* 1. 传递率曲线
	2. 数值计算方法

根据初步设计得到的叠层厚橡胶支座参数，应采用时程分析方法验证叠层厚橡胶支座的竖向隔振效果，往复迭代满足隔振设计需求。

* 1. 震振双控方案

用于震振双控结构设计的方案包括仅天然厚橡胶支座、铅芯厚橡胶支座和高阻尼厚橡胶支座或其组合支座，与阻尼装置共同工作的天然厚橡胶支座，及水平限位型厚橡胶支座和水平隔震支座组成的装置等。

1. （规范性）
支座动态性能测试
	1. 动态性能

叠层厚橡胶支座的动态性能包含竖向动刚度、竖向振型阻尼、传递率或幅频特性等。

* 1. 竖向动刚度

竖向动刚度的测量方法应符合GB/T 15168中的相关规定，包括椭圆法、激振扫描法、自振衰减法和机械阻抗法等四种方法。

* 1. 激振装置

测试支座竖向动刚度的激振装置应采用能产生变频简谐激励或白噪声激励的振动测试机、电磁激振器或振动台等，为避免与被试系统发生耦合效应，装置的上限激振频率应大于4倍的被试系统固有频率，激振扫描中通过激振器或基础台面进行激振时，激振设备工作下限频率应低于测试系统共振频率的1/3。通过机械阻抗法确定叠层厚橡胶支座动态性能参数，需在专用的机械阻抗检测装置上进行。

* 1. 激振设备

激励设备提供的台面均匀度、横向振动分类、白噪声激励的平直度应控制在5%以内。

* 1. 测试系统

测试系统包含加速度（或速度、位移）传感器、力传感器、电荷放大器和测试分析仪等。为尽量减少测试系统各通道间的相位差，应分别采用一致性较好的传感器、放大器和分析仪等。测量仪器的频率范围、频率相应非线性及精度应符合GB/T 6592中的相关规定。

* 1. 支座安装

叠层厚橡胶支座安装状态应保证激励力方向与支座被试方向一致，并在被试方向上产生单一平动位移，而不应耦合其他方向的位移与转动。支座应根据设计压应力施加竖向恒定压力，被试系统各部件之间应紧固连接并采用防松措施

参 考 文 献

[1] Lindley PB. Natural rubber structural bearings. Joint Seal Bear Syst Concr Struct 1981;1(2):353–78

[2] Feng D, Miyama T, Torii T, et al. A new analytical model for the lead rubber bearing. Proceedings: 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000

[3] Kelly JM, Konstantinidis D. Mechanics of rubber bearings for seismic and vibration isolation: John Wiley & Sons; 2011

[4] Zhou Y, Zhang Z. Experimental and analytical investigations on compressive behavior of thick rubber bearings for mitigating subway-induced vibration. Engineering Structure 2022;270:114879

[5] Zhang Z,Zhou Y. Experimental and analytical investigations on horizontal behavior of full-scale thick rubber bearings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2023;174:108202

[6] 张增德,周颖.叠层厚橡胶支座竖向压缩与拉伸力学性能研究[J/OL].工程力学,1-10[2023-12-08]http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2595.O3.20230223.1724.014.html