

深圳市工程建设地方标准

SJG

SJG XXX - 2023

建筑工程高阻尼隔震技术规程

Technical specification for high damping seismic isolation in
building engineering

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

深圳市住房和城乡建设局 发布

前 言

为使在深圳市及深汕特别合作区使用高阻尼橡胶支座建筑的隔震设计、施工、验收、标识、监测、维护以及高阻尼橡胶支座的设计、检测有据可循，参考国家、行业相关标准，借鉴最新国际、美国、欧盟、日本和中国台湾地区等标准以及最新研究成果，根据深圳市及深汕特别合作区自身地震、场地特点和环境温度特点等，编制本规程。

本规程共分 8 章，主要包括：总则、术语和符号、基本规定、高阻尼橡胶支座、隔震结构设计、隔震工程施工、隔震工程验收以及监测、标识和维护。

本标准由深圳市住房和建设局归口管理，由深圳防灾减灾技术研究院和中震华创(深圳)技术有限公司负责具体技术内容的解释。

本标准执行过程中，希望各单位结合高阻尼隔震建筑工程建设实践认真总结经验，注意积累资料，如有意见、建议和问题，请将有关资料寄至深圳防灾减灾技术研究院（地址：广东省深圳市罗湖区罗芳路 68 号中震大厦，邮政编码：518003），供今后修订时参考。

主 编 单 位：xxx

参 编 单 位：xxx

xxx

xxx

主要起草人：xxx xxx xxx

目 录

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	主要符号	4
3	基本规定	9
4	高阻尼橡胶支座	10
4.1	一般规定	10
4.2	分类及表示方法	10
4.3	材料	11
4.4	产品设计规定	13
4.5	检测	18
5	隔震结构设计	21
5.1	一般规定	21
5.2	地震作用和作用效应	22
5.3	上部结构	26
5.4	隔震层	27
5.5	下部结构	29
6	隔震工程施工	31
6.1	一般规定	31
6.2	高阻尼橡胶支座	31
6.3	柔性连接	33
6.4	隔离缝	33
7	隔震工程验收	35
7.1	一般规定	35
7.2	检验批	35
7.3	分项工程验收	37

7.4 子分部工程验收	39
8 监测、标识和维护	41
8.1 监测	41
8.2 标识	42
8.3 维护	43
附录 A 高阻尼橡胶支座形状系数计算公式	45
附录 B 高阻尼橡胶支座水平及竖向性能计算	46
附录 C 高阻尼橡胶支座产品设计方法	49
附录 D 高阻尼橡胶支座连接设计	52
附录 E 复振型影响系数计算公式	56
附录 F 材料进场检验记录	58
附录 G 质量验收记录	59
条文说明	62

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家有关建筑工程、防震减灾的法律法规，实行以预防为主的防震减灾方针，规范高阻尼橡胶支座在深圳市及深汕特别合作区建筑工程中的应用，制定本规程。

1.0.2 本标准适用于在深圳市及深汕特别合作区采用高阻尼橡胶支座的新建和既有建筑的隔震设计、施工、验收、维护及管理。

1.0.3 采用高阻尼橡胶支座的新建和既有建筑的隔震设计、施工、验收、维护及管理除应执行本标准外，尚应符合国家、行业和深圳市及深汕特别合作区其他现行标准的相关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 隔震结构 seismic isolation structure

在结构物中设置隔震装置而形成的结构体系。包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

2.1.2 隔震层 seismic isolation layer

设置在被隔震的上部结构与下部结构（或基础）之间的全部隔震装置的总称。包括全部隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置以及其他附属装置。

2.1.3 上部结构 structural elements above the seismic isolation layer

隔震结构中位于隔震层以上的部分。

2.1.4 下部结构 structural elements below the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以下的部分，不包括基础。

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

用具有较高阻尼性能的橡胶制成的支座。

2.1.6 使用寿命 design working life

支座在正常使用和维护情况下不丧失有效使用功能的期限。

2.1.7 内部橡胶 inner rubber

支座内部多层钢板之间的橡胶。

2.1.8 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。

2.1.9 第一形状系数 1st shape factor

支座中内部一个橡胶层的有效承载面积与其自由表面积之比。

2.1.10 第二形状系数 2nd shape factor

对于圆形支座，为内部橡胶层直径与内部橡胶总厚度之比。

对于矩形或方形支座，为内部橡胶层有效宽度与内部橡胶总厚度之比。

2.1.11 有效宽度 effective width

矩形支座中内部橡胶层的短边长度。

2.1.12 设计压应力 design compressive stress

设计中作用于支座上的压应力。

2.1.13 竖向极限压应力 vertical ultimate compressive stress

支座在某一剪应变下竖向受压至破坏所能承受的最大压应力。

2.1.14 竖向极限拉应力 vertical ultimate tensile stress

支座在某一剪应变下竖向拉伸至破坏所能承受的最大拉应力。

2.1.15 水平极限变形能力 lateral ultimate deformation capacity

支座在恒定压力作用下水平加载至破坏时的水平变形满足变形要求的能力。

2.1.16 侧向均匀变形 lateral uniform deformation

在竖向压力作用下，支座外侧均匀对称向外鼓出。

2.1.17 有效承压面积 effective loaded area

支座承受竖向荷载的有效面积，等于内部橡胶的平面面积。

2.1.18 最大压应力 maximum compressive stress

地震时作用于高阻尼橡胶支座上的最大压应力。

2.1.19 竖向性能参数 vertical properties of elastomeric isolators

支座的竖向性能参数，包括压缩刚度和拉伸刚度。

2.1.20 剪切性能参数 shear- properties of elastomeric isolators

支座的剪切性能参数，包括第一水平刚度、特征力、第二水平刚度、水平等效刚度和等效阻尼比。

2.1.21 极限性能 ultimate properties

在压剪或者拉剪荷载作用下高阻尼橡胶支座产生破坏、屈曲或滚翻时的性能。

2.1.22 极限性能曲线 (UPD) ultimate properties diagram

支座达到极限性能时的剪力与剪切位移的关系曲线。

2.1.23 第一水平刚度 first horizontal stiffness

支座双线性本构关系中的初始水平刚度。

2.1.24 第二水平刚度 second horizontal stiffness

支座双线性本构关系中，支座第二阶段对应的水平刚度。

2.1.25 特征力 bearing characteristic force

支座第一和第二水平刚度交点所对应的水平剪力。

2.1.26 等效阻尼比 equivalent damping ratio

支座产生水平剪切变形时，一个荷载往复循环所损耗的能量与最大弹性储能之比。

2.1.27 等效水平刚度 shear equivalent stiffness

支座所受水平拉力或压力与剪切变形的割线刚度。

2.1.28 剪力比 shear ratio

地震作用下建筑结构隔震与非隔震上部结构各层剪力的比值。

2.1.29 大变形历经性 large deformation ergodicity

高阻尼橡胶支座在经历过 250%及以上水平变形后，再次进行小应变加载，小应变的滞回曲线包含在所经历的最大应变的滞回曲线中，这种特性称为大变形历经性。

2.2 主要符号

下列符号适用于本规程。

γ_u	——	极限剪应变
t	——	钢板厚度
S_1	——	第一形状系数
d_0	——	内部钢板的外部直径
t_r	——	单层内部橡胶的厚度
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
b	——	矩形支座内部橡胶的短边长度
d_i	——	内部钢板的开孔直径
S_2	——	第二形状系数
t_s	——	单层内部钢板厚度
δ_H	——	支座产品的水平偏移
ψ	——	支座平整度
δ_v	——	支座平整度偏差
D	——	圆形支座有效直径
D_f	——	圆形连接板直径
D'	——	圆形支座包括保护层厚度的外部直径
t_f	——	连接板厚度
σ	——	支座压应力
σ_0	——	设计压应力
σ_{cr}	——	支座临界应力
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
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
K_v	——	支座竖向压缩刚度

E_c	——	修正压缩弹性模量
E_∞	——	橡胶体积弹性模量
E_{ap}	——	橡胶表观弹性模量
E_0	——	橡胶弹性模量
κ	——	与硬度有关的弹性模量修正系数
$G_{eq}(\gamma)$	——	由压缩荷载产生的平均剪应变 γ 对应的剪切模量
ε	——	支座的压应变
P	——	压力
K_h	——	水平等效刚度
G	——	橡胶的剪切模量
$G_{eq}(\gamma)$	——	剪应变为 γ 时的等效剪切模量
K_1	——	第一水平刚度
K_2	——	第二水平刚度
Q_y	——	等效双线性模型的特征力
X_y	——	等效双线性模型的特征位移
h_{eq}	——	支座等效阻尼比
W_d	——	剪力—剪切位移滞回曲线的包络面积
ξ	——	临界应力计算系数
E_b	——	受弯时橡胶表观弹性模量
k	——	修正系数
ρ_c	——	安全系数
γ_u	——	支座极限剪应变
$\gamma_{\max}$	——	最大设计剪应变
$\sigma_{\min}$	——	最小设计压应力
ζ_r	——	支座总高度 H_n 与内部橡胶总厚度之比
ρ_R	——	安全系数
F_u	——	支座承受的提离拉力
ρ_T	——	安全系数，按设计要求确定
P_{Ty}	——	支座的屈服拉力
$X_{\max}$	——	支座最大剪切位移
σ_s	——	内部钢板拉应力
f_t	——	钢材的抗拉强度设计值
λ	——	钢板应力修正系数
Q	——	水平荷载
M_r	——	支座水平剪力产生的附加弯矩
F_u	——	支座提离力
T_i	——	螺栓由弯矩产生的拉力
L_i	——	螺栓到中性轴的距离
$T_{\max}$	——	螺栓最大拉力
σ_B	——	螺栓或锚杆的拉应力
A_b	——	螺栓的有效面积
f_t^b	——	螺栓抗拉设计强度
τ_B	——	螺栓剪应力
n_b	——	螺栓个数

f_v^b	——	螺栓抗剪设计强度
B	——	连接板受弯部分的有效宽度
f_t	——	钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值
t_f	——	连接板的厚度
d_k	——	螺栓孔的直径
$\alpha_{\max}$	——	地震影响系数最大值
T	——	隔震结构自振周期
T_g	——	场地特征周期
γ	——	曲线下降段的衰减指数
η	——	阻尼调整系数
ζ	——	阻尼比, 取隔震结构振型阻尼比
F_{Ek}	——	结构总水平地震作用标准值
α_1	——	相应于隔震结构基本周期的设防地震时水平地震影响系数
G_{eq}	——	上部结构总重力荷载代表值
F_i	——	质点 <i>i</i> 的水平地震作用标准值
G_i 、 G_j	——	分别集中于第 <i>i</i> 、 <i>j</i> 质点重力荷载代表值
F_{ji}	——	<i>j</i> 振型 <i>i</i> 质点的水平地震作用标准值
α_j	——	<i>j</i> 振型周期的地震影响系数
S_j	——	<i>j</i> 振型的参与系数
X_{ji}	——	<i>j</i> 振型 <i>i</i> 质点的水平相对位移
S_{Ek}	——	水平地震作用标准值的效应
S_j	——	第 <i>j</i> 振型水平地震作用标准值的效应
η_j	——	第 <i>j</i> 振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数, 按本规范附录E中式(E.0.2-1)计算。
F_{Xji} 、 F_{Yji} 、 F_{rji}	——	分别为 <i>j</i> 振型 <i>i</i> 质点的 <i>x</i> 方向、 <i>y</i> 方向和转角方向的水平地震作用标准值
X_{ji} 、 Y_{ji}	——	分别为 <i>j</i> 振型 <i>i</i> 层质心在 <i>x</i> 、 <i>y</i> 方向的水平相对位移
ϕ_{ji}	——	<i>j</i> 振型 <i>i</i> 层的相对扭转转角
r_i	——	<i>i</i> 层的转动半径, 可取 <i>i</i> 层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根
γ_{tj}	——	计入扭转的 <i>j</i> 振型的参与系数
S_j 、 S_k	——	分别为 <i>j</i> 、 <i>k</i> 振型水平地震作用标准值的效应, 可根据振型参与质量系数确定参与计算振型数
ρ_{jk}	——	<i>j</i> 振型与 <i>k</i> 振型的耦联系数
ζ_j 、 ζ_k	——	分别为 <i>j</i> 、 <i>k</i> 振型的阻尼比
λ_T	——	<i>k</i> 振型与 <i>j</i> 振型的自振周期比
S_x 、 S_y	——	<i>x</i> 向、 <i>y</i> 向单向水平地震作用
Δu_e	——	设防地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移
$[\theta_e]$	——	弹性层间位移角限值
h	——	计算楼层层高
Δu_p	——	在罕遇地震、极罕遇地震作用下弹塑性层间位移
$[\theta_p]$	——	弹塑性位移角限值
ζ_{eq}	——	隔震层等效阻尼比
K_{eq}	——	隔震层水平等效刚度
ζ_j	——	<i>j</i> 隔震支座由试验确定的等效阻尼比
k_j	——	隔震支座 <i>j</i> (含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度
u_{hi}	——	第 <i>i</i> 个隔震支座的水平位移
u_i	——	隔震层的水平位移

F_h	——	隔震层的水平剪力
K_h	——	隔震层的水平等效刚度
η_i	——	第 i 个隔震支座的扭转影响系数
e	——	偏心率
y_i	——	第 i 个隔震支座与隔震层刚心之间在计算主轴法线方向的投影
$B、L$	——	分别为结构平面两正交方向的边长
u_{hi}	——	罕遇地震、极罕遇地震作用下，第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移
$[u_{hi}]$	——	第 i 个隔震支座的水平位移限值
V_{Rw}	——	抗风装置的水平承载力设计值
γ_w	——	风荷载分项系数
V_{wk}	——	风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值
r	——	地震作用位置向量
$\zeta_n、\omega_n$	——	第 n 阶复振型对应的单自由度结构阻尼比和圆频率
$\phi_n、\rho_n$	——	采用状态空间法进行复振型分解得到的振型向量中位移分量的实部和虚部
$M、C、K$	——	分别为非比例阻尼结构的 $N \times N$ 阶的质量、阻尼和刚度矩阵
ρ_{nm}^{DD}	——	位移相关系数
ρ_{nm}^{DV}	——	位移-速度相关系数
ρ_{nm}^{VV}	——	速度相关系数
$\gamma_{xj}、\gamma_{yj}$	——	参与系数
θ	——	地震作用方向与 x 方向的夹角
$\zeta_j、\zeta_k$	——	分别为 $j、k$ 阶振型的阻尼比
λ_T	——	k 振型与 j 振型的自振周期比
M	——	隔震支墩及连接部位所受弯矩
P	——	上部结构传递的竖向力
δ	——	支座的水平剪切变形
V	——	支座所受水平剪力
h	——	支座的总高度（含连接板）
σ_c	——	隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值
θ	——	支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半
n	——	螺栓与混凝土的弹性模量比
P_g	——	螺栓配筋率
D_e	——	上下支墩有效混凝土柱截面直径
β_c	——	混凝土强度影响系数
β_l	——	混凝土局部受压时的强度提高系数
f_c	——	支墩混凝土轴心抗压强度
X_n	——	中性轴位置
r_s	——	螺栓布置的半径
r	——	上下支墩有效混凝土柱截面半径
F_B	——	螺栓拉力
A_b	——	单个螺栓截面积
n_b	——	螺栓数量
L_{max}	——	螺栓到中性轴的最大距离
A_{ab}	——	单个锚杆截面积
f_{yt}^{ab}	——	锚杆抗拉设计强度
l_{ab}	——	与螺栓相连锚杆的锚固长度
α	——	锚杆的外形系数

f_t	——	混凝土抗拉设计强度
d_{ab}	——	锚杆直径
V_1	——	单根栓钉所承受的剪力
n_{st}	——	栓钉数量
N_v^{st}	——	单根栓钉受剪承载力设计值
A_{st}	——	单根栓钉截面积
γ	——	栓钉材料抗拉强度最小值与屈服强度之比
f_{st}	——	栓钉抗拉强度设计值

3 基本规定

3.0.1 隔震建筑应按现行的《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的有关规定确定其抗震设防类别及其抗震设防标准。

3.0.2 新建建筑的设防目标是：当遭受相当于本地区基本烈度的设防地震时，主体结构基本不受损坏或不需修理即可继续使用，且要保证建筑的正常使用功能；当遭受罕遇地震时，结构可能发生损坏，经修复后可继续使用。特殊设防类建筑遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

3.0.3 建筑结构的隔震设计方案的确定应根据建筑抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、建筑结构类型和使用要求，并综合考虑技术、经济和使用条件。

3.0.4 在设防地震作用下，应进行结构以及隔震层的承载力和变形验算；在罕遇地震作用下，应进行结构以及隔震层的变形验算，并应对隔震层的承载力进行验算。对特殊设防类建筑，在极罕遇地震作用下，尚应进行结构及隔震层的变形验算。

3.0.5 隔震层中隔震支座的设计使用年限不应低于建筑结构的设计使用年限。当隔震层中的其他装置的设计使用年限低于建筑结构的设计使用年限时，在设计中应注明并预设可更换措施。

3.0.6 隔震建筑的设计、施工及维护应保证建筑在发生地震时的正常变形不受阻碍。

3.0.7 高阻尼橡胶支座应严格抽检。

4 高阻尼橡胶支座

4.1 一般规定

4.1.1 高阻尼橡胶支座性能测试的基准温度为 23℃。

4.1.2 高阻尼橡胶支座应进行型式检验和出厂检验，性能应符合本规程和设计的要求。

4.2 分类及表示方法

4.2.1 可按构造分为 I 型和 II 型高阻尼橡胶支座，其连接板与中间部分进行可靠连接，应选择表 4.2.1-1 中的连接方式，且支座整体应能承受不小 1.5MPa 的拉应力。如果选择其他连接方式，应有实验数据支撑，并进行专门论证。

表 4.2.1-1 按构造分类

分类	说明	图示
I 型	连接板和封板通过螺栓连接，封板与内部橡胶黏合。	
II 型	连接板直接与内部橡胶黏合。	

4.2.2 可按等效阻尼比分为普通高阻尼橡胶支座（NHDR）、中高阻尼橡胶支座（MHDR）和超高阻尼橡胶支座（SHDR），见表 4.2.2-1。

表 4.2.2-1 按等效阻尼比分类

类别	普通高阻尼橡胶支座	中高阻尼橡胶支座	超高阻尼橡胶支座
等效阻尼比	$10\% < h_{eq} \leq 15\%$	$15\% < h_{eq} \leq 20\%$	$h_{eq} > 20\%$

4.2.3 可按极限剪应变分为一级和二级，设计时可根据要求选表 4.2.3-1 中的一级和二级两个等级的产品。

表 4.2.3-1 按极限性能分类

极限剪应变	$\gamma_u \geq 400\%$	$350\% > \gamma_u \geq 300\%$
类别	一级	二级

注：支座极限剪应变测试压应力不应小于 15MPa。

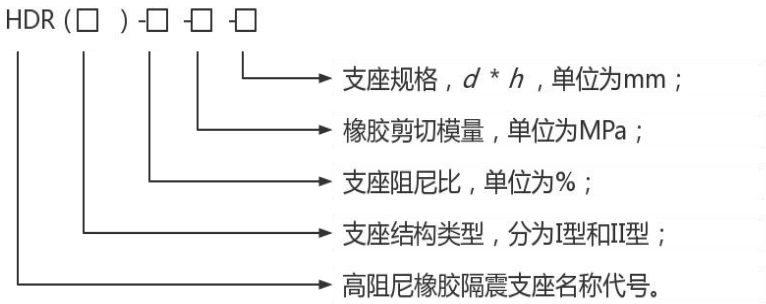
4.2.4 可按剪切性能的允许偏差分为 S-A 和 S-B 两类。特殊设防类和重点设防类建筑隔震设计时，应选用表 4.2.1-3 中 S-A 类产品。标准设防类建筑进行高阻尼橡胶支座隔震设计时，可选用表 4.2.4-1 中 S-B 类产品。

表 4.2.4-1 按剪切性能的允许偏差分类

类别	单个试件测试值	一批试件平均测试值
S-A	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$
S-B	$\pm 25\%$	$\pm 20\%$

4.2.5 高阻尼橡胶支座在 15MPa 恒定压应力下，当 $S_2 \geq 5$ 时，其极限剪应变不应小于 400%，当 $4 \leq S_2 < 5$ 时，其极限剪应变不应小于 350%，当 $3 \leq S_2 < 4$ 时，其极限剪应变不应小于 300%。

4.2.6 高阻尼橡胶支座应按照下图方法表示。



示例：II 型高阻尼橡胶支座，有效直径 500mm，高度 189mm，橡胶剪切模量 0.49MPa，阻尼比 20%，型号表示为：HDR（II）-20-0.49-500x189。

4.3 材料

4.3.1 高阻尼橡胶支座所用橡胶可选用天然橡胶或合成橡胶，宜优先选用一级烟片胶，不应使用任何再生胶或粉碎的硫化橡胶。

4.3.2 橡胶材料常规物理性能试验项目及要求见表 4.3.2-1 和表 4.3.2-2，型式检验增加的高阻尼橡胶材料物理机械性能应符合表 4.3.2-3 的规定。

表 4.3.2-1 橡胶材料物理性能要求

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	内部橡胶	橡胶保护
拉伸性能	拉伸强度	GB/T 20688.1-2007 的 5.3	√	√	√	√
	扯断伸长率		√	√	√	√
	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	Δ	Δ	√	√
	扯断伸长率变化率		Δ	Δ	√	√
	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	Δ	Δ	Δ	Δ
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	Δ	×	√	√
压缩性能	压缩永久变形	GB/T 20688.1-2007 的 5.7	√	×	√	×
剪切性能	剪切模量	GB/T 20688.1-2007 的 5.8	Δ	×	√	×
	等效阻尼比		Δ	×	√	
	剪切模量和等效阻尼比的温度相关性		Δ	Δ	√	Δ
	破坏剪应变	GB/T 20688.1-2007 的 5.9	×	×	√	×
脆性性能	脆性温度	GB/T 20688.1-2007 的 5.10	×	×	√	√*
抗臭氧性能	外观变化	GB/T 20688.1-2007 的 5.11	×	Δ	×	√
低温结晶性能	硬度变化率	GB/T 20688.1-2007 的 5.12	×	×	√+	√+
注：√：要进行试验；×：不进行试验；Δ：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/T20688.1-2007 的 5.7）； √*：使用环境温度低于 0℃ 时，应进行试验。						

表 4.3.2-2 橡胶材料物理性能要求

技术指标		要求	试验条件
拉伸性能	拉伸强度	建议制造厂进行支座生产时，每天抽检一次。性能要求应符合 GB/T 20688.1-2007、GB/T 20688.3-2007 的规定。	/
	扯断伸长率		
老化	拉伸强度允许变化率	±25%	天然橡胶：70℃×168h；

性能	扯断伸长率允许变化率	-50%×老化前扯断伸长率最大值	氯丁橡胶或其它橡胶：100°C×72h
	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。	/
	抗臭氧性能	橡胶保护层不应出现龟裂	50×10-8，伸长率 20%，40°C×96h

表 4.3.2-3 型式检验增加的高阻尼橡胶材料物理机械性能

性能	试验项目	要求	试验方法
拉伸性能	100%拉应变时的定伸应力（MPa）	只作为质量控制指标	GB/T 528
热空气老化性能 70°C x 168h	100%拉应变时的定伸应力变化率（%）	≤25	GB/T 3512、GB/T 528
剪切性能	剪切模量和等效阻尼比的温度相关性	≤20	GB/T 9870.1
脆性性能	剪切模量脆性温度（°C）	≤-50	GB/T 1682
低温结晶性能	硬度变化率【-40°C时】（%）	≤20	GB/T 12832

4.3.3 高阻尼橡胶支座封钢板及连接板宜采用 Q355 低合金高强度结构钢，夹层钢板宜采用 Q235 钢材，设计值按表 4.3.2 取值。

预埋钢板可采用碳素结构钢，其性能应符合《碳素结构钢》GB/T 700 的规定。

套筒宜采用优质碳素结构钢，其性能应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699 的规定。

螺栓宜采用合金结构钢，其性能应符合《合金结构钢》GB/T3077 的规定。

表 4.3.2 钢板强度设计值（N/mm²）

牌号	钢板厚度 t /mm（括号内为 Q355B 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
Q355	310	295	265	250

4.4 产品设计规定

4.4.1 高阻尼橡胶支座的第一、二形状系数计算公式见附录 A。第一形状系数 S_1 不应小于 15，第二形状系数 S_2 不应小于 3。

4.4.2 外观质量及尺寸偏差要求

1 高阻尼橡胶支座表面应光滑平整，外观质量应符合表 4.4.2-1 的规定。

表 4.4.2-1 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 50mm ² 。
杂质	杂质面积不超过 30mm ² 。
缺胶	缺胶面积不超过 150mm ² ，不得多于二处，且内部嵌件不许外露。
凹凸不平	凹凸不超过 2mm，面积不超过 50mm ² ，不得多于三处。
胶钢粘结不牢（上、下端面）	裂纹长度不超过 30mm，深度不超过 3mm，不得多于三处。
裂纹（侧面）	不允许
钢板外露（侧面）	不允许

2 高阻尼橡胶支座产品高度的允许偏差为±1.5%与±6.0mm 两者中的较小值。

3 高阻尼橡胶支座的平面尺寸偏差应符合表表 4.4.2-2 的规定。

表 4.4.2-2 支座产品平面尺寸（ D' 、 a' 和 b' ）的允许偏差（mm）

D' 、 a' 和 b' （mm）	允许偏差
D' 、 a' 和 $b' \leq 500$	5mm
$500 < D'$ 、 a' 和 $b' \leq 1500$	1%
D' 、 a' 和 $b' < 1500$	15mm

4 高阻尼橡胶支座的水平偏移（ δ_H ）不应超过 5.0mm（此偏移值也适用于试验后 48 小时内残余变形的限制要求）。

5 高阻尼橡胶支座的平整度要求为：

$$|\psi| \leq 0.25\% \quad (4.4.3-1)$$

$$|\delta_v| \leq 3\text{mm} \quad (4.4.3-2)$$

$$\psi = \left| \frac{\delta_v}{D_f} \right| \text{ 或 } \left| \frac{\delta_v}{D'} \right| \quad (4.4.3-3)$$

式中： ψ ——平整度；

δ_v ——高阻尼橡胶支座的平整度偏差，即相距 180°的两点所测的支座高度之差（mm），

见图 4.4.3； D_f ——圆形连接板直径（mm），见图 4.4.3；

D' ——圆形支座包括保护层厚度的外部直径（mm）。

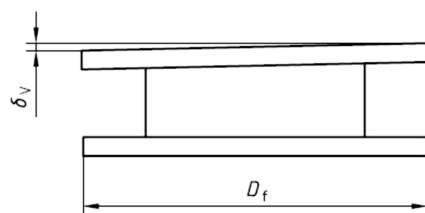


图 4.4.3 平整度的测量

6 连接板厚度允许偏差应符合表 4.4.2-3 的规定：

表 4.4.2-3 I型高阻尼橡胶支座连接板厚度允许偏差（mm）

连接板厚度 t_f	允许偏差	
	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

7 连接板平面尺寸的偏差应符合表 4.4.3-4。

表 4.4.2-4 连接板直径和边长允许偏差（mm）

连接板厚度 t_f	D_f (或 L_f) < 1000	$1000 < D_f$ (或 L_f) < 3150	$3150 < D_f$ (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

4.4.3 高阻尼橡胶支座水平位移为 0.55 倍有效直径时的极限压应力应满足以下要求：当 $S_2 > 5$ 时，不应小于 30MPa；当 $4 < S_2 \leq 5$ 时，不应小于 25MPa；当 $3 < S_2 \leq 4$ 时，不应小于 20MPa。

4.4.4 极限性能要求

1 高阻尼橡胶支座无剪应变时的稳定性验算

剪应变为零时的稳定性验算应满足下列要求：

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi}{4} \cdot \xi \cdot S_2 \sqrt{E_b \cdot G} \quad (4.4.4-1)$$

式中： G ——橡胶剪切模量（N/mm²）（对应于剪应变 100%）；

ξ ——临界应力计算系数，圆形支座： $\xi = 1$ ，方形支座： $\xi = \frac{2}{\sqrt{3}}$ ；

E_b ——受弯时，橡胶表观弹性模量（N/mm²），可按式计算：

$$\frac{1}{E_b} = \frac{1}{E_0(1 + 2/3kS_1^2)} + \frac{1}{E_\infty} \quad (4.4.4-2)$$

式中： k ——修正系数，见 4.4.6-1。

高阻尼橡胶支座设计压应力 σ_0 考虑受压稳定时，可按式计算：

$$\sigma_0 \leq \frac{1}{\rho_c} \sigma_{cr} \quad (4.4.4-3)$$

式中： ρ_c ——安全系数，按设计要求确定。

2 大剪应变支座稳定性验算时应符合下列规定：

- 1) 采用足尺或缩尺模型，最小直径250mm，橡胶层最小厚度2mm，内部钢板的最小厚度为0.5mm。
- 2) 采用压剪试验装置，试验过程中，竖向压力恒定，绘制试验中的剪力—剪切位移关系曲线。
- 3) 试验压应力为0、0.5 σ_0 、 σ_0 和2.0 σ_0 。必要时，可增加压应力1.5 σ_0 和2.5 σ_0 。
- 4) 高阻尼橡胶支座在压力和剪力作用下发生破坏、屈曲或滚翻。测定破坏点（ X_b ， Q_b ）、屈曲点（ X_{buk} ， Q_{buk} ）或滚翻点（ X_{ro} ， Q_{ro} ）的剪切位移和剪力。
- 5) 当剪切位移达到指定极限剪切位移时，若没有明显的破坏迹象，且剪力和位移的关系曲线单调增加，则可停止试验，并根据最大剪力和剪切位移确定高阻尼橡胶支座的极限剪切性能，见图4.4.4-1。

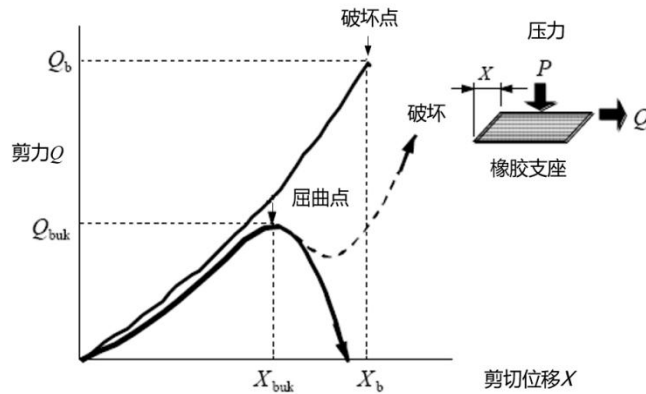


图 4.4.4-1 极限剪切性能的试验确定

6) 极限性能区域符合下列规定：

- ① 支座临界应力 σ_{cr} 与极限剪应变 γ_u 的关系曲线见图 4.4.4-2。

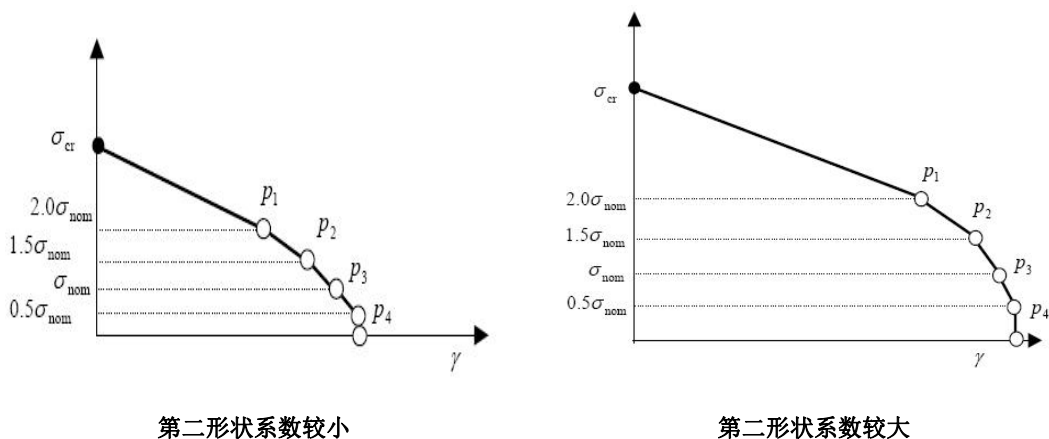


图 4.4.4-2 试验测得的高阻尼橡胶支座极限性能区域图

②零剪应变时的临界应力可按式计算：

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi}{4} \xi S_2 \sqrt{E_b G} \quad (4.4.4-4)$$

③ 图 4.4.8-2 中曲线包络的区域为支座在压力—剪力作用下的稳定范围。

3 拉伸性能

高阻尼橡胶支座拉伸性能应满足下式要求：

$$F_u \leq P_{Ty} \frac{1}{\rho_T} \quad (4.4.4-5)$$

式中： F_u ——支座承受的提离拉力（N）；

ρ_T ——安全系数，按设计要求确定；

P_{Ty} ——支座的屈服拉力（N），见图 4.4.4-4，可按 GB/T 20668.1-2007 第 6.6 条中的方法确定。其拉力-拉伸位移的关系曲线所对应的恒定剪切位移为支座最大剪切位移 $X_{\max}$ （mm）。

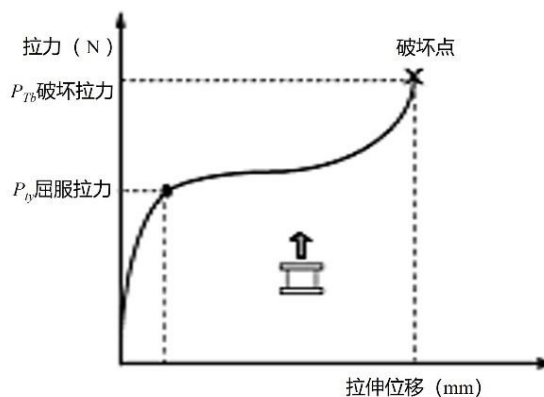


图 4.4.4-4 高阻尼橡胶支座的拉伸性能关系曲线

4.4.5 剪切性能相关性要求

1 剪应变相关性

应测试经历250%剪应变后, 支座再进行100%剪应变时的支座水平等效刚度和等效阻尼比的实测值, 与未经历250%剪应变时的实测值对比, 变化率应在 $\pm 20\%$ 以内。

2 压应力相关性

在10MPa、12MPa、15MPa压应力下, 支座水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率应在 $\pm 20\%$ 以内。

3 频率相关性

在加载频率为0.01Hz、0.1Hz、0.5Hz、1.0Hz时, 支座水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率在 $\pm 20\%$ 以内。

4 重复加载次数相关性

在剪切性能反复加载50次时, 第1、3、5、10、20、30、50次循环的支座水平等效刚度和等效阻尼比的实测值变化率应在 $\pm 30\%$ 以内。

5 温度相关性

型式检验报告应包含支座在 -10°C 、 0°C 、 23°C 和 40°C 环境下的水平等效刚度和等效阻尼比, 变化率应在 $\pm 40\%$ 以内。

4.5 检测

4.5.1 高阻尼橡胶支座及橡胶材料试验用样品及缩尺模型应符合GB/T 20688.1和GB 20688.2的规定。

4.5.2 基本试验条件及设备要求

1 除测试温度相关性的试验外, 试验基准温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

2 除测试频率相关性的试验外, 测试的频率不应低于0.01Hz。

3 剪切试验宜采用单剪试验, 摩擦力对剪力的修正按 GB/T 20688.1附录E的规定进行, 摩擦力应小于剪力的3%。

4.5.3 高阻尼橡胶支座型式检验应满足下列要求

1 有下列情况之一时, 应进行型式检验:

①新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;

②正式生产后, 如结构、材料、工艺有较大改变, 影响产品性能时;

③产品停产两年后, 恢复生产时;

④国家质量监督机构或用户提出进行型式检验的要求时。

2 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相应的外部尺寸和内部尺寸相差 10%以内；

③第二形状系数相差 ± 0.4 以内；

④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 ；

⑤以前的试验条件更严格。

4.5.4 检测比例

出厂检验可采用随机抽样的方式确定检测试件，抽检比例应满足以下要求：

1 对标准设防类建筑，产品抽样数量应不少于总数的 20%；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。

2 对重点设防类建筑，产品抽样数量应不少于总数的 50%；有不合格试件，则应 100%检测。

3 对特殊设防类建筑，产品检测数量应为总数的 100%。

4 每种规格的产品抽样数量不少于 1 件。

4.5.5 高阻尼橡胶支座力学性能试验项目及要求见表 4.5.5-1。

表 4.5.5-1 力学性能试验项目

性能	试验项目	试验条件及方法	出厂 检验	型式 检验	试件	要求
压缩性能	竖向压缩刚度 压缩位移	GB/T 20688.1	√	√	足尺	竖向压缩刚度 K_v 允许偏差为 $\pm 30\%$ 。
剪切性能	水平等效刚度 等效阻尼比 屈服后刚度 屈服力	GB/T 20688.1	√	√	足尺	S-A 类支座：单个支座允许偏差为 $\pm 15\%$ ，一批支座为 $\pm 10\%$ 。 S-B 类支座：单个支座允许偏差为 $\pm 25\%$ ，一批支座为 $\pm 20\%$ 。
拉伸性能	破坏拉应力 屈服拉应力 拉伸破坏或屈服时	GB/T 20688.1	×	Δ	足尺或缩尺 模型 B	极限拉应力不小于 1.5Mpa， 其他满足 GB 20688.3 和 JG/T 118 的要求

	对应的剪应变 拉伸刚度					
剪切性能相关性	剪应变相关性	GB/T 20688.1	×	√	足尺	4.4.5
	压应力相关性	GB/T 20688.1	×	Δ	足尺	
	加载频率相关性	GB/T 20688.1	×	√(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	×	√	足尺或缩尺 模型 B	
	温度相关性	GB/T 20688.1	×	√	足尺或缩尺 模型 A, 标准 试件, 剪切型 橡胶试件	
压缩性能相关性	剪应变相关性	GB/T 20688.1	×	√	足尺或缩尺	允许偏差为±20%。
	压应力相关性	GB/T 20688.1	×	Δ	模型 B	允许偏差为±20%。
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	×	√	足尺或缩尺 模型 B	
耐久性能	老化性能	GB/T 20688.1	×	√	足尺或缩尺 模型 A, 标准 试件, 剪切型 橡胶试件	老化前后竖向压缩刚度变化 率和水平剪切性能变化率在 ±20%范围内, 支座外观目视 无龟裂。
	徐变性能	GB/T 20688.1	×	√	足尺或缩尺 模型 A	≤5%

注: √: 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; Δ: 可选择进行试验;
 缩尺模型 A 的尺寸要求: 对于圆形支座, 直径 ≥ 150mm, 对于矩形支座, 长边 ≥ 100mm。
 橡胶层厚度 ≥ 1.5mm, 钢板厚度 ≥ 0.5mm
 缩尺模型 B 的尺寸要求: 最小比例为 1/2, 对于圆形支座, 直径 ≥ 400mm, 对于矩形支座, 长边 ≥ 400mm。
 橡胶层厚度 ≥ 1.5mm, 钢板厚度 ≥ 0.5mm
 标准试件: 见 GB/T 20688.1。
 剪切型橡胶试件: 见 GB/T 20688.1。

4.5.5 高阻尼橡胶支座产品设计方法见附录 C, 高阻尼橡胶支座连接设计方法见附录 D。

5 隔震结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 隔震建筑的地震作用应符合下列规定：

1 一般情况下，应至少在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。

2 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。

3 隔震结构可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响。

5.1.2 隔震结构分析模型应符合下列规定：

1 所选取的分析模型应能合理反映结构中构件的实际受力状况。

2 上部结构和下部结构可选多质点系、空间杆系、空间杆-墙板元或壳元、连续体及其他组合有限元等计算模型。

3 隔震层的高阻尼橡胶支座应选择能正确反映其特性的计算模型。

5.1.3 隔震结构地震作用计算，除特殊要求外，可采用下列方法：

1 房屋高度不超过 24m、上部结构以剪切变形为主，且质量和刚度沿高度分布比较均匀的隔震建筑，可采用底部剪力法。

2 除本条第 1 款外的隔震结构应采用振型分解反应谱法。

3 对于房屋高度大于 60m 的隔震建筑，不规则的建筑，或隔震层高阻尼橡胶支座及其他装置的组合比较复杂的隔震建筑，尚应采用时程分析法进行补充计算。每条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

4 平面投影尺度很大的空间结构，应根据结构形式和高阻尼橡胶支座的布置条件，分别按单点一致、多点、多向单点或多向多点输入进行抗震计算。按多点输入计算时，应考虑地震行波效应和局部场地效应。

5.1.4 隔震建筑宜符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对建筑高度的规定，当建筑高度超过 150m 时，应进行论证并采取有效的抗倾覆措施。

5.1.5 隔震结构的抗震措施可按底部剪力比及相应的抗震设防烈度确定；除应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应设防烈度的规定外，尚应符合下列规定：

1 隔震结构底部剪力比大于 0.5 时，隔震结构应按本地区设防烈度规定采取相应的抗震措施，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

2 隔震结构底部剪力比不大于 0.5 时，上部结构可按本地区设防烈度降低 1 度但不应低

于 6 度确定抗震措施。

5.1.6 隔震层设计应能保证避免上部结构及隔震部件正常位移或变形受到阻挡。特殊设防类隔震建筑考虑极罕遇地震作用时，可采用相应的限位措施保护。

5.1.7 隔震建筑内部放置对振动有特殊要求的仪器设备而需限制楼层绝对加速度响应时,容许加速度应符合现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868 的规定。

5.1.8 隔震建筑抗震性能设计应分析隔震结构方案的特殊性,选用适宜的结构抗震性能目标,并采取满足预期的抗震性能目标的措施，应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GBT 51408 的规定。

5.2 地震作用和作用效应

5.2.1 当隔震结构的阻尼比为0.05时，地震影响系数应根据烈度、场地类别、特征周期和隔震结构自振周期按地震影响系数曲线（图5.2.1）确认，其水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$ 应按表5.2.1采用。场地特征周期应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定确定，计算罕遇地震和极罕遇地震作用时，场地特征周期应分别增加0.05s和0.10s。

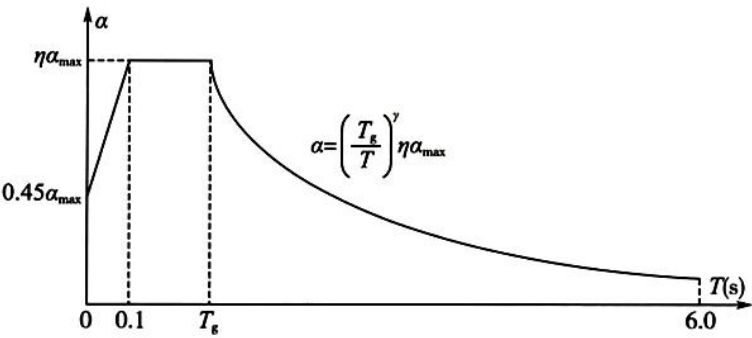


图 5.2.1 地震影响系数曲线

注： α 为地震影响系数； $\alpha_{\max}$ 为地震影响系数最大值； T 为隔震结构自振周期； T_g 为场地特征周期； γ 为曲线下降段的衰减指数； η 为阻尼调整系数。

表 5.2.1 水平地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$

抗震设防烈度	6度	7度
设防地震	0.12	0.23
罕遇地震	0.28	0.50
极罕遇地震	0.36	0.70

5.2.2 隔震结构自振周期、等效刚度和等效阻尼比，应根据隔震层中高阻尼橡胶支座经试验所得滞回曲线对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移值计算，并应符合下列规定：

1 可按对应不同地震烈度作用时的设计反应谱进行迭代计算确定，也可采用时程分析法计算确定。

2 采用底部剪力法时，隔震层高阻尼橡胶支座水平剪切位移可按下述取值：设防地震作用时可取支座橡胶总厚度的 100%，罕遇地震和极罕遇地震作用时可取支座橡胶总厚度的

250%。

5.2.3 当隔震结构的阻尼比不等于 0.05 时，其水平地震影响系数 α 曲线应按地震影响系数曲线（图 5.2.1）确定；但形状参数和阻尼调整系数应按下列规定调整：

1 曲线下降段的衰减指数应按下列公式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (5.2.3-1)$$

式中： γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——阻尼比，取隔震结构振型阻尼比。

2 阻尼调整系数应按下列公式确定：

$$\eta = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (5.2.3-2)$$

式中： η ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时应取 0.55。

5.2.4 隔震结构采用时程分析方法时，地震动加速度时程应符合下列规定：

1 应选用足够数量的实际强震记录加速度时程和人工模拟地震动加速度时程进行输入。宜选取不少于 2 组人工模拟加速度时程和不少于 5 组实际强震记录加速度时程。地震作用取 7 组加速度时程计算结果的平均值。

2 地震动加速度时程应符合设计反应谱和设计加速度峰值的基本规定，设计地震加速度最大值应按表 5.2.4 采用。

3 实际强震记录地震动加速度时程应根据地震烈度、设计地震分组和场地类别进行选择，多组时程的平均地震影响系数应与振型分解反应谱所采用的地震影响系数在统计意义上相符。

4 人工模拟地震动加速度时程应考虑阻尼比和相位信息的影响。

表 5.2.4 时程分析所用水平地震加速度时程的最大值（cm/s²）

抗震设防烈度	6度	7度
设防烈度	50	100
罕遇地震	125	220
极罕遇地震	160	320

5.2.5 采用底部剪力法时，隔震建筑上部结构的水平地震作用标准值应按下列规定计算：

1 结构总水平地震作用标准值，应按下列公式计算：

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \quad (5.2.5-1)$$

式中： F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值；

α_1 ——相应于隔震结构基本周期设防地震时的水平地震影响系数；应按本规范第 5.2.1 条、第 5.2.2 条计算确定；其中计算隔震结构的基本周期时其刚度可取隔震层等效刚度，阻尼比可取隔震层等效阻尼比；

G_{eq} ——上部结构等效总重力荷载，单质点应取重力荷载代表值，多质点可取总重力荷载代表值的85%。

2 质点*i*的水平地震作用标准值可按下式计算：

$$F_i = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n G_j} F_{Ek} \quad (i=1, \dots, n) \quad (5.2.5-2)$$

式中： F_i ——质点*i*的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——分别集中于第*i*、*j*质点重力荷载代表值。

5.2.6 采用振型分解反应谱法时，应将下部结构、隔震层及上部结构进行整体分析，其中隔震层的非线性可按等效线性化的迭代方式考虑。并按下列规定计算其地震作用和作用效应：

1 对不进行扭转耦联计算的隔震结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

1) 结构*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值应按下列公式确定：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (5.2.6-1)$$

式中： F_{ji} ——*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值；

α_j ——*j*振型周期的地震影响系数，应按本规范第 5.2.1、5.2.2 条确定；

γ_j ——*j*振型的参与系数，应按本规范附录 E 中公式 (E.0.1-2) 计算；

X_{ji} ——*j*振型*i*质点的水平相对位移，按本规范附录 E 中公式 (E.0.1-1) 计算。

2) 当相邻振型的周期比小于 0.85 时，水平地震作用标准值的效应（弯矩、剪力、轴向力和变形）可按下式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_j (1 + \iota_j^2) S_j^2} \quad (5.2.6-2)$$

式中： S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应；

S_j ——第*j*振型水平地震作用标准值的效应。

ι_j ——第*j*振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数，按本规范附录 E 中式 (E.0.2-1) 计算。

2 考虑扭转耦联影响时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并按下列要求计算隔震结构的地震作用效应和作用效应：

1) 结构*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值应按下列公式确定：

$$\begin{aligned} F_{xji} &= \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \\ F_{yji} &= \alpha_j \gamma_j Y_{ji} G_i \quad (i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m) \\ F_{rji} &= \alpha_j \gamma_j r^2 \varphi_{ji} G_i \end{aligned} \quad (5.2.6-3)$$

式中： F_{xji} 、 F_{yji} 、 F_{rji} ——分别为*j*振型*i*质点的*x*方向、*y*方向和转角方向的水平地震作用标准值；

X_{ji} 、 Y_{ji} ——分别为*j*振型*i*层质点在*x*、*y*方向的水平相对位移。

φ_{ji} —— j 振型 i 层的相对扭转转角；

r_i —— i 层的转动半径，可取 i 质点绕质心的转动惯量除以该质点质量的商的正二次方根；

γ_{ij} ——计入扭转的 j 振型的参与系数。

2) 单向水平地震作用效应，可按下列公式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=k}^n \rho_{jk} S_j S_k} \quad (5.2.6-4)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \left(1 + \frac{-1 + \lambda_T^2}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} l_j + \frac{\zeta_k + \zeta_j \lambda_T}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} l_k l_j \right) \quad (5.2.6-5)$$

式中： S_{Ek} ——地震作用标准值的组合效应；

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型水平地震作用标准值的效应，可根据振型参与质量系数确定参与计算振型数；

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦联系数；

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比；

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

3) 双向水平地震作用下的效应可按下列公式中的较大值确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad (5.2.6-6)$$

$$S_{Ek} = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2} \quad (5.2.6-7)$$

式中： S_x 、 S_y ——分别为 x 向、 y 向单向水平地震作用按式（5.2.6-4）计算的地震效应。

5.2.7 当采用时程分析法时，计算模型的确定应满足下列条件：

1 对特殊设防类、重点设防类及标准设防类不规则隔震建筑，隔震体系的计算模型宜考虑结构杆件的空间分布、弹性楼板假定、高阻尼橡胶支座的位置、隔震建筑的质量偏心、在两个水平方向的平移和扭转、隔震层的非线性阻尼特性以及荷载-位移关系特性等。

2 在设防地震作用下，隔震建筑上部结构和下部结构的荷载-位移关系特性可采用线弹性力学模型；隔震层应采用隔震产品试验提供的滞回模型，按非线性阻尼特性以及非线性荷载-位移关系特性进行分析。在罕遇地震或极罕遇地震作用下，隔震建筑上部结构和下部结构宜采用弹塑性分析模型。

3 高阻尼橡胶支座单元应能够合理模拟高阻尼橡胶支座水平非线性和竖向非线性特性；计算分析时，应按实际荷载工况顺序合理加载。

5.2.8 采用振型分解法和时程分析法同时计算时，地震作用应取时程分析法与振型分解反应

谱法的包络值。

5.3 上部结构

5.3.1 上部结构的截面抗震验算按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 及现行相关规范对抗震房屋的规定进行。

5.3.2 上部结构的构造措施还应符合下列要求：

1 隔震层顶板应有足够的平面内水平刚度，在罕遇地震作用下应保持弹性。当采用混凝土结构时，板厚不应小于 180mm。

2 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力宜大于一般楼面的刚度和承载力。

3 与高阻尼橡胶支座相连的支墩、支柱及相连构件应计算抗冲切和局部承压，构造上应加密箍筋并应根据需要配置网状钢筋。

5.3.3 上部结构在设防地震作用下，结构楼层内最大的弹性层间位移应符合下式要求：

$$\Delta u_e < [\theta_e] h \quad (5.3.3)$$

式中： Δu_e ——设防地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，应符合表 5.3.3 的要求；

h ——计算楼层层高。

表 5.3.3 上部结构设防地震作用下弹性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架结构	1/400
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/500
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/600
钢结构	1/250

5.3.4 上部结构在罕遇地震作用下，楼层内最大的弹塑性层间位移应符合下式要求：

$$\Delta u_p < [\theta_p] h \quad (5.3.4)$$

式中： Δu_p ——弹塑性层间位移，宜采用动力弹塑性时程分析方法；对规则建筑，也可采用静力弹塑性分析方法或等效线性化方法。

$[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值，罕遇地震作用下应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 上部结构罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/250
钢结构	1/100

5.3.5 特殊设防类隔震建筑上部结构的结构楼层内最大弹塑性层间位移，尚应符合式（5.3.4）进行极罕遇地震作用下的验算，且弹塑性层间位移角限值应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 上部结构极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/50
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/100
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/120
钢结构	1/50

5.4 隔震层

5.4.1 隔震层设计应符合下列要求：

- 1 抗风装置和抗拉装置可单独设置。
- 2 同一隔震层选用多种类型、规格的隔震装置时，每个隔震装置的承载力和水平变形能力宜充分发挥。所有隔震装置的竖向变形宜保持基本一致。

5.4.2 隔震层的布置应符合下列要求：

- 1 隔震层宜设置在结构的底部或中下部，高阻尼橡胶支座的规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求由计算确定。
- 2 隔震层刚度中心与质量中心宜重合，偏心率不应大于 3%。
- 3 高阻尼橡胶支座的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应，否则，应采用可靠的结构转换措施。
- 4 高阻尼橡胶支座底面宜布置在相同标高位置上；当隔震层的隔震装置处于不同标高时，应采取有效措施保证隔震装置协调工作。

5.4.3 隔震层的高阻尼橡胶支座的拉压应力和耐久性应符合下列要求：

- 1 高阻尼橡胶支座在重力荷载代表值作用下的竖向压应力设计值，不应超过表 5.4.3-1 的规定。高阻尼橡胶支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力，不应超过表 5.4.3-2 所规定的限值。高阻尼橡胶支座在罕遇地震下不宜出现竖向拉应力，当不可避免受拉时，其竖向拉应力不应超过表 5.4.3-3 所规定限值。出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的 30%。

表 5.4.3-1 高阻尼橡胶支座在重力荷载代表值下的压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值(MPa)	10	12	15

注：当高阻尼橡胶支座的第二形状系数（有效直径与橡胶层总厚度之比）小于 5.0 时，应降低平均压应力限值：小于 5 不小于 4 时降低 20%，小于 4 不小于 3 时降低 40%。

表 5.4.3-2 高阻尼橡胶支座在罕遇地震下的压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	20	25	30

表 5.4.3-3 高阻尼橡胶支座在罕遇地震下的拉应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
拉应力限值 (MPa)	0	1.0	1.0

注：高阻尼橡胶支座验算罕遇地震、极罕遇地震作用下最大压应力和最小压应力时，应考虑三向地震作用产生的最不利轴力；其中水平和竖向地震作用产生的应力应取标准值，不再组合。

2 在经历相应设计基准期的耐久试验后，高阻尼橡胶支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的 $\pm 20\%$ 。

5.4.4 隔震层的水平刚度和阻尼应符合下列要求：

1 隔震层的水平等效刚度和等效阻尼比，可按下列公式计算：

$$K_{eq} = \sum k_j \quad (5.4.4-1)$$

$$\zeta_{eq} = \sum k_j \zeta_j / K_{eq} \quad (5.4.4-2)$$

式中： ζ_{eq} ——隔震层等效阻尼比；

K_{eq} ——隔震层水平等效刚度；

ζ_j —— j 高阻尼橡胶支座由试验确定的等效阻尼比；

k_j ——高阻尼橡胶支座 j 由试验确定的水平等效刚度。

2 由试验确定高阻尼橡胶支座设计参数时，竖向荷载应采用表 5.4.3-1 规定的压应力限值；滞回曲线应按隔震层中全部隔震装置经试验得到。计算对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移值后，求得隔震层的等效刚度和等效阻尼比。

3 当由温度变化导致的高阻尼橡胶支座水平等效刚度和阻尼比变化率超过 40% 时，应根据试验测得的实际水平等效刚度和阻尼比进行隔震设计复核。

5.4.5 罕遇地震、极罕遇地震作用下高阻尼橡胶支座的水平位移可根据以下原则确定：

1 一般情况下，应采用振型分解反应谱法结合迭代的方法或时程分析法，对隔震体系整体进行分析，确定不同设防地震作用下隔震层位移幅值。

2 采用底部剪力法确定地震作用的隔震结构，其隔震层水平位移可采用如下简化方法：

$$u_h = F_h / K_h \quad (5.4.5)$$

式中： u_h ——隔震层水平位移；

F_h ——隔震层的水平剪力；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

5.4.6 高阻尼橡胶支座在地震作用下的水平位移应符合下列要求：

$$u_{hi} \leq [u_{hi}] \quad (5.4.6)$$

式中： u_{hi} ——第 i 个高阻尼橡胶支座考虑扭转的水平位移；

$[u_{hi}]$ ——第 i 个高阻尼橡胶支座的水平位移限值。

高阻尼橡胶支座在地震作用下的水平位移按如下规定取值：

1 高阻尼橡胶支座在罕遇地震下的最大水平变形，不应大于其有效直径的 0.55 倍和支座内部橡胶总厚度 3.0 倍二者的较小值；罕遇地震下的最大水平位移与由于温度应力引起的支座变形之和，不应大于支座破坏极限水平位移与 0.5 倍橡胶层总厚度之差。

2 对特殊设防类建筑，在极罕遇地震作用下高阻尼橡胶支座的水平变形，不应大于其极限水平变形。

5.4.7 隔震层的抗风承载力应符合下式要求：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (5.4.7)$$

式中： V_{Rw} ——隔震层抗风承载力设计值，隔震层抗风承载力由抗风装置和高阻尼橡胶支座的特征力构成；

γ_w ——风荷载分项系数，可取 1.4；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

5.4.8 隔震建筑抗倾覆验算应符合下列要求：

1 隔震建筑应进行结构整体抗倾覆验算和高阻尼橡胶支座拉压承载能力验算。

2 结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并按上部结构重力代表值计算抗倾覆力矩，抗倾覆力矩与倾覆力矩之比不应小于 1.1。

3 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不应出现不可恢复的变形。高阻尼橡胶支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，其最大拉、压应力应满足本规范第 5.4.3 条的要求。

5.4.9 高阻尼橡胶支座连接预埋件和连接螺栓的验算应取支座在轴向力、水平剪力和弯矩共同作用下的受力状态，宜按本规范附录 D 的规定验算。

5.5 下部结构

5.5.1 隔震层下部结构的承载力验算应考虑上部结构传递的轴力、弯矩、水平剪力以及由隔震层水平变形产生的附加弯矩。

5.5.2 隔震层支墩、支柱及相连构件应采用在罕遇地震作用下高阻尼橡胶支座底部的竖向力、水平力和弯矩进行承载力验算，且应按抗剪弹性、抗弯不屈服考虑，宜按本规范附录 D 的式 (D.0.1) 进行验算。

5.5.3 隔震层以下的地下室或塔楼底盘结构中直接支撑隔震塔楼及其相邻一跨的相关构件，应满足设防地震烈度下的抗震承载力要求，层间位移角限值应符合表 5.5.3-1 的要求。隔震层以下且地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值应满足表 5.5.3-2 的要求。特殊设

防类建筑尚应进行极罕遇地震作用下的变形验算，其层间位移角限值应满足表 5.5.3-3 的要求。

表 5.5.3-1 下部结构在设防地震作用下弹性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架结构	1/500
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/600
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/700
钢结构	1/300

表 5.5.3-2 下部结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/250
钢结构	1/100

表 5.5.3-3 下部结构在极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/60
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/130
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/150
钢结构	1/60

6 隔震工程施工

6.1 一般规定

6.1.1 隔震建筑施工前，编制的专项施工方案应包括项目概况、施工主要依据、施工方法、施工设备及材料、施工人员组织安排、施工质量保证措施和施工进度计划、高阻尼橡胶支座的变形监测。

6.1.2 建筑隔震工程施工所采用的各类计量器具，均应经校准或检定合格，且应在有效期内使用。

6.1.3 高阻尼橡胶支座安装应在上道工序交接检验合格后进行；高阻尼橡胶支座安装工程施工经质量验收合格后，方可进行后续工程施工。

6.1.4 高阻尼橡胶支座安装应有监理进行旁站。

6.1.5 高阻尼橡胶支座安装宜由经过专门培训的人员实施。

6.2 高阻尼橡胶支座

6.2.1 下支墩（柱）钢筋绑扎

1 高阻尼橡胶支座的支墩（柱）与承台或底板宜分开施工，承台或底板混凝土应振捣平整。

2 底板施工完成后，应对隔震下支墩（柱）进行测量定位，绑扎支墩（柱）的钢筋及周边钢筋，预留预埋锚筋或锚杆、套筒的位置。

6.2.2 下预埋件定位与固定

1 高阻尼橡胶支座下预埋件定位前，宜将预埋连接件的位置进行测量定位，预埋定位板上宜画出中心线；预埋锚筋、锚杆或套筒不应与下支墩（柱）钢筋相互阻挡。

2 高阻尼橡胶支座下预埋件固定前，应对预埋定位板标高、平面位置和水平度进行精确的测量定位，并采取有效措施防止下支墩（柱）混凝土浇筑过程中预埋件的连接螺栓及螺栓孔被污染和堵塞。预埋锚筋、锚杆或套筒应垂直，且固定牢固。

6.2.3 下支墩（柱）混凝土浇筑

1 下支墩（柱）混凝土浇筑前，应对下支墩（柱）预埋件进行隐蔽工程验收，并应复核预埋定位板标高、平整度、垂直度和平面中心位置。

2 浇筑混凝土前，应对螺栓孔采取临时封闭措施，不应灌入混凝土。

3 高阻尼橡胶支座下支墩（柱）的混凝土宜分二次浇筑，浇筑时应有排气措施。第一次

宜浇筑至支座下连接板以下,第二次浇筑前应复核支座下连接板的平面位置、标高和水平度。二次浇筑的混凝土宜采用高流动性且收缩小的混凝土、微膨胀或无收缩高强砂浆,其强度等级宜比原设计强度等级提高一级。混凝土不应有空鼓。

4 下支墩(柱)混凝土浇筑过程中,应加强施工管理,避免扰动预埋件,确保预埋件位置准确。

5 下支墩(柱)混凝土浇筑时,应采取必要措施保证预埋定位板下混凝土密实。

6 混凝土初凝前,应对定位板的标高、平整度、垂直度和平面中心位置进行复测并记录,若有移动,应立即校正。

7 混凝土浇筑完成后应及时将预埋钢板表面清洁干净。

6.2.4 高阻尼橡胶支座安装

1 高阻尼橡胶支座应在下支墩(柱)混凝土强度达到设计强度的 75%以上时进行安装。

2 同一支墩(柱)有 2 个或 2 个以上高阻尼橡胶支座时,支座应采用同一厂家的产品。

3 高阻尼橡胶支座安装前应将下支墩(柱)顶面清理干净,并对下支墩(柱)顶面水平度、中心标高、平面中心位置及平整度进行测量和记录,偏差应符合表 6.2.3 的要求。

4 安装前应对支座进行检查,确保法兰板漆面完整。

5 高阻尼橡胶支座安装过程中,宜采用机械设备吊装,并宜保持高阻尼橡胶支座水平。

6 高阻尼橡胶支座吊装过程中,应注意保护高阻尼橡胶支座。

7 高阻尼橡胶支座就位后,应对称拧紧连接螺栓。隔震子分部工程验收前,应对螺栓进行逐个检查,避免出现松动。

8 高阻尼橡胶支座安装完成后,应检查支座平面中心位置、顶面中心标高、顶面水平度,其偏差应符合表 6.2.3 的要求。

表 6.2.3 高阻尼橡胶支座安装位置的允许误差

项目		允许偏差 (mm)
支座中心标高		不应大于±5mm
支座中心平面位置		不应大于±5mm
水平度	支墩(柱)顶面	不宜大于 3‰
	支座(柱)顶面	不宜大于 8‰

6.2.5 上部结构施工

1 高阻尼橡胶支座安装验收合格后,方可进行后续工程施工。

2 高阻尼橡胶支座上连接板安装后,将锚定螺栓就位,应校核其位置、高程等,并应保留记录。

3 上部结构施工过程中,应采取有效措施保护高阻尼橡胶支座;拆除模板后,应对连接板破损漆面进行修补。

4 对单层面积较大或长度超过 100m 的高阻尼橡胶支座相邻上部混凝土结构、大跨度的钢结构或设计有特殊要求的,应制定专项施工方案,且应采取有效措施减小因混凝土干缩引起的支座水平变形。

5 当高阻尼橡胶支座相邻上部结构为钢结构和钢骨结构时,应对全部支座采取临时固定措施。

6 在上部结构的施工过程中, D 、 a 和 b 小于等于 600mm 时,侧向不均匀变形不宜大于 3mm; D 、 a 和 b 大于 600mm 时,侧向不均匀变形不宜大于 4mm; D 、 a 和 b 大于 1000mm 时,侧向不均匀变形不宜大于 5mm;超过以上数值应由相关方进行分析处理。

6.3 柔性连接

6.3.1 对穿过隔震层的设备配管、配线,应采用柔性连接或其他有效措施。

6.3.2 对可能泄漏有害介质或可燃介质的重要管道,在穿越隔震层位置时应采用柔性连接,其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度的 1.4 倍。

6.3.3 穿过隔震层的柔性管线,应在隔震缝处预留足够的伸展长度。

6.3.4 利用构件钢筋作避雷线时,应采用柔性导线连通隔震层上下部分的钢筋,其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度的 1.4 倍。

6.4 隔离缝

6.4.1 上部结构与下部结构之间的水平隔震缝的高度应满足设计要求,且缝高不宜小于 20mm,并应采用柔性材料填塞,进行密封处理。

6.4.2 上部结构周边设置的竖向隔震缝宽度应满足设计要求,且缝宽不应小于各支座在罕遇地震下的最大水平位移值的 1.2 倍,且不应小于 300mm;对两相邻隔震结构,其竖向隔震缝宽度应取两侧结构的支座在罕遇地震下的最大水平位移值之和,且不应小于 600mm。对特殊设防类建筑,隔离缝宽度尚不应小于隔震支座在极罕遇地震下最大水平位移。

6.4.3 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、楼梯扶手、电梯井道、地下室坡道、车道人口处等穿越隔震层时,应采取隔震脱离措施,并应符合设计要求。

6.4.4 对水平隔震缝封闭处理，宜采用柔性材料或者脆性材料填充；对竖向隔震缝的封闭处理，宜采用柔性材料覆盖，且均不应阻碍隔震缝发生自由水平位移。

7 隔震工程验收

7.1 一般规定

7.1.1 高阻尼橡胶支座进场应提供以下质量证明文件：橡胶材料检测报告、连接件检测报告、产品合格证、产品出厂检验报告、型式检验报告和其他必要证明文件。

7.1.2 高阻尼橡胶支座搬运时应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等措施。

7.1.3 高阻尼橡胶支座应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，摆放应整齐牢固，不得混放、散放。严禁与酸碱、油类、有机溶剂或腐蚀性化学品等共同摆放；开封验货后，应进行包装防护。

7.1.4 应对建筑隔震工程的高阻尼橡胶支座及其连接件等进行进场验收，可按本规范附录 F 记录。

7.1.5 建筑隔震工程验收程序应符合下列规定：

1 建筑隔震工程的检验批及分项工程应由专业技术及质量负责人和设计人员进行验收。

2 建筑隔震工程完工后，应提交子分部工程验收报告，并应组织相关单位进行验收。

7.1.6 建筑隔震工程施工质量验收应在自检合格基础上，按检验批、分项工程、子分部工程验收，可按本规范附录 G 记录，应符合下列规定：

1 工程施工质量应符合相应施工质量规范 and 设计要求，质量控制资料应完备。

2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格。

3 建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时，均应对连接构造和高阻尼橡胶支座进行验收检查。

4 隐蔽工程在隐蔽前，应由监理单位组织相关单位进行隐蔽工程验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件。

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

7.1.7 建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时，均应对隔震缝和柔性连接进行验收检查。

7.2 检验批

7.2.1 高阻尼橡胶支座应进行见证检验，进行水平极限变形能力检测的支座不得再用于工程。

见证检验技术要求应符合下列规定，检验结果应符合设计要求：

1 压缩性能：应按本规程第 4 章要求进行检验。

2 剪切性能：应按本规程第 4 章要求进行检验；同时试验加载频率宜为设计频率，除设

计特殊要求外不得低于 0.02Hz。

3 水平极限变形能力：应按本规程第 4 章要求进行检验。对直径大于 800mm 的高阻尼橡胶支座，水平极限剪切变形可取支座在罕遇地震下的最大水平位移值进行检验。

检测数量：同一生产厂家、同一类型、同一规格的产品，取总数量的 2%且不少于 3 个进行支座力学性能试验，当该规格支座的数量少于 3 个时，全数进行力学性能测试。其中检测总数的每 3 个支座中，取一个进行水平大变形剪切试验。

检验方法：检验报告。

7.2.2 高阻尼橡胶支座外观质量要求应符合本规程第 4 章的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，游标卡尺测量，钢尺测量。

7.2.3 高阻尼橡胶支座尺寸偏差应符合本规程第 4 章的规定。

检查数量：支座总数量的 10%，且不少于 5 个。

检验方法：对圆形支座，应在 2 个不同位置测量直径值；对矩形支座，应在每边的 2 个不同位置测量边长值。对圆形支座，应在圆周上的 4 个不同位置测量高度值，此 4 点的 2 条连线应互相垂直并通过圆心；对矩形支座，应在截面的 4 个角点位置测量高度值。支座高度值为 4 个测量值的平均值。

7.2.4 高阻尼橡胶支座连接件尺寸偏差应符合下列规定：

- 1 连接板平面尺寸允许偏差应符合本规程第 4 章的规定。
- 2 连接板厚度允许偏差应符合本规程第 4 章的规定。
- 3 连接板螺栓孔位置允许偏差应符合表 7.2.4-3 的规定。

表 7.2.4-3 连接板螺栓孔位置允许偏差（mm）

连接板直径或边长	允许偏差
400~1000	±0.80
1000~2500	±1.20

4 地脚螺栓外径尺寸允许偏差应符合表 7.2.4-4 的规定。

表 7.2.4-4 地脚螺栓外径尺寸允许偏差（mm）

公称直径	尺寸允许偏差	不圆度允许偏差
≤20	±0.40	公称直径公差 的 50%
20~30	±0.50	公称直径公差 的 50%

30~50	±0.60	公称直径公差的 50%
50~80	±0.80	公称直径公差的 65%
80~110	±1.10	公称直径公差的 70%

5 地脚螺栓长度尺寸允许偏差应符合表 7.2.4-5 的规定。

表 7.2.4-5 地脚螺栓长度尺寸允许偏差 (mm)

长度	≤50	50~80	80~120	120~150	150~180	180~220	220
尺寸允许偏差	±1.25	±1.50	±1.75	±2.00	±4.00	±4.60	±5.00

检查数量：全数的 10%。

检验方法：对矩形支座连接板应在四边上测量长短边尺寸，还应测量对角线尺寸，厚度应在四边中点测量；对圆形支座连接板，其直径、厚度应至少测量 4 次，测定应垂直交叉。外形尺寸和厚度取实测值的平均值。地脚螺栓外形尺寸和长度用游标卡尺测量，至少测 3 次，取实测值的平均值。

7.2.5 高阻尼橡胶支座连接板的平整度偏差应小于 1/300。

检查数量：全数的 10%。

检验方法：将连接板自由放在平台上，除连接板本身的重量外不施加任何压力，测量连接板下表面与平台间的最大距离。当受检测平台长度限制时，对长度大于 2000mm 的连接板，可任意截取 2000mm 进行不平度的测量来替代全长不平度的测量。

7.3 分项工程验收

7.3.1 高阻尼橡胶支座的验收

1 高阻尼橡胶支座安装前，支座的种类、规格、数量和性能应符合设计要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工记录。

2 高阻尼橡胶支座下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：试件强度试验报告。

3 高阻尼橡胶支座安装时，应对支墩（或柱）顶面、支座顶面的水平度、高阻尼橡胶支座中心的平面位置和标高进行观测并记录，并应满足表 6.2.3 要求：

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查和检查隐蔽工程验收记录。

4 连接板漆面完整性和橡胶保护胶完整性应符合设计规定。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

5 高阻尼橡胶支座不应出现较大倾斜。当出现倾斜时，单个支座的倾斜度不宜大于支座直径的 1/300。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、实测检查和检查施工记录。

6 高阻尼橡胶支座不应出现较大侧鼓。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、实测检查和检查施工记录。

7 当高阻尼橡胶支座表面出现破损、锈蚀，不影响使用性能时，应及时修复；影响使用性能时，应及时更换。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察和检查施工记录。

8 高阻尼橡胶支座下支墩（柱）不应有蜂窝、麻面。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9 高阻尼橡胶支座防火封闭应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察和检查施工记录。

7.3.2 隔震层构（配）件及隔离缝的验收

1 配管、配线在穿越隔离缝处的构造应符合设计要求。设计无要求时，隔离缝处可采用挠曲或柔性接头等构造措施，使管线、线槽在隔离缝处的自由错动量不应小于相关规范要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

2 当利用构件钢筋作避雷引下线时，在隔离缝处应采用柔性导线连接，并应对该处的高阻尼橡胶支座进行专门的防火处理；当专设避雷线时，应在隔震层处留足多余的长度；柔性导线的预留可伸展长度应大于设计位移要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

3 可能泄漏有害介质或可燃介质管道的柔性接头或柔性连接段，应确认其具有满足设计要求的水平变形能力，应严格按设计要求进行施工。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察和实测检查。

4 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝的宽度应均匀并符合本规范 6.4 的要求，隔震缝内及周边不得有影响隔震层发生相对水平位移的阻碍物，隔震缝的密封构造措施不得阻碍隔震层发生相对水平位移。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察和实测检查。

5 对穿越隔震层的竖向通道，包括楼梯、电梯井道、管井等，应采取隔震脱离措施并符合设计要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察和实测检查。

6 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、地下室坡道、车道入口、楼梯扶手等与隔离缝相邻时，其构造应符合设计要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察和实测检查。

7 检查是否设置进入检查口；进入检查口用来在使用过程中，进入隔震层检查、维护所用。可通过联系隔震层的楼梯来实现或直接在隔震层顶板上开洞实现，楼梯或洞口尺寸应便于施工人员进入；考虑到建筑使用过程中存在更换支座的可能，楼梯或洞口尺寸应满足运输高阻尼橡胶支座、连接板以及其他施工器械的要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察和实测检查。

7.4 子分部工程验收

7.4.1 建筑隔震工程施工质量验收时，应提供下列文件和记录：

- 1** 工程相关设计文件及设计变更文件。
- 2** 支座及相关材料质量合格证明文件、中文标识、性能检测报告和复验报告。
- 3** 施工现场质量管理检查记录。

4 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录。

5 有关观感质量检验项目检查记录。

6 分项工程所含各检验批质量验收记录。

7 工程重大质量问题的处理方案和验收记录。

8 隔震装置使用维护手册、维修管理及计划。

9 其他必要的文件和记录。

7.4.2 当建筑隔震工程施工质量不符合本规范要求时，可按下列规定进行处理：

1 经返工重做或更换构（配）件的检验批，应重新进行验收。

2 经有资质的检测单位检测鉴定能达到设计要求的检验批，应予以验收。

3 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求的，但经原设计单位核算认可能满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收。

4 经返修或加固处理的分项、子分部工程，对改变外形尺寸尚能满足安全使用要求时，可按处理技术方案和协商文件进行验收。

7.4.3 通过返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的建筑隔震工程，严禁验收。

7.4.4 建筑隔震子分部工程施工质量验收合格后，应将所有的验收文件存档备案。

8 监测、标识和维护

8.1 监测

8.1.1 监测结构类型

除设计文件要求或其他规定应进行监测的隔震结构以外，满足下列条件之一时，隔震结构应进行施工及使用期间监测：

- 1 结构高度大于 80m 或高宽比大于 4 的高层隔震建筑；
- 2 结构跨度大于 80m 的大跨空间隔震结构；
- 3 单体面积大于 80000m² 的隔震结构。

8.1.2 监测位置

1 隔震层测点应设置在隔震层关键部位。可在建筑物角部，不同地基或基础的分界处，建筑物不同结构的分界处，变形缝或抗震缝的两侧，新、旧建筑物或高、低建筑物交接处的两侧，支座的位置设置监测测点。

- 2 对于设置后浇带的建筑，每一后浇带分区应在中心点和至少一个角点设置测点。

8.1.3 监测内容

- 1 施工期间，应对隔震支座的竖向压缩变形进行监测；
- 2 使用期间，应监测隔震支座的水平剪切变形和竖向压缩变形，以及隔震层和结构顶层的加速度；
- 3 施工和使用期间巡视检查中，应确保隔震缝的完整隔离。

8.1.4 监测系统

1 监测系统施工前，应进行深化设计。建筑监测系统宜与建筑地震观测系统和机电智能化系统统筹设置。宜选用带有监测功能的隔震装置组建监测系统。

- 2 隔震建筑监测系统宜包括以下内容：

- 1) 传感器系统；
- 2) 数据采集和处理系统；
- 3) 数据管理系统；
- 4) 建筑健康评价系统。

3 监测数据应保存在相对独立的物理存储空间中，存留时间不应小于 5 年。监测系统宜设置监测数据备份系统。

4 监测系统宜能够及时将监测过程中分析和判断的监测结果进行反馈,监测系统宜内置报警系统供。监测系统发出预警时,应及时进行检查,必要时由专业人员进行检查,根据实际情况采取处理措施并形成书面报告。

5 监测设备应布置在不易碰撞和损坏的位置;隔震结构监测系统应采取一定的保护措施并做定期检查,检查周期同隔震支座维护要求。

8.2 标识

8.2.1 标识分类

1 隔震建筑工程专用标识分为隔震工程主标识和隔震专项标识。

2 隔震专项标识包括:隔震支座标识、水平隔离缝(隔震沟)标识、竖向隔离缝标识、隔震管线标识、隔震楼(电)梯标识、隔震层标识、隔震检修口部标识、地面警示标识。

8.2.2 标识内容

1 建筑隔震工程专用标识由专用标志和文字信息两部分组成。

2 隔震工程主标识内容应包括:建筑隔震工程标志、项目名称、建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、隔震支座生产厂家、支座数量、隔震工程专项验收时间。

3 隔震支座标识内容应包括:隔震支座标志、支座规格、支座数量、生产厂家、执行产品标准号、生产时间。

4 水平隔离缝(隔震沟)标识内容应包括:水平隔离缝标志、缝宽、盖板种类。

5 隔震层标识内容应包括:隔震层标志、层高、最低净高。

6 隔震管线标识内容应包括:隔震管线标志、管线功能、柔性连接方式、允许变形量。

7 隔震检修口部标识内容应包括:隔震检修口部标志、检修口部尺寸、最低净高。

8.2.3 标识文字、材料及形式

1 建筑隔震工程专用标识文字的标题宜采用 80 号字;正文宜采用 42 号字。

2 建筑隔震工程专用标识的材料应采用耐久性好,易于清洁,不易腐蚀、生锈、变质、燃烧、损坏的不燃烧或难燃烧体,如铜、铝、不锈钢、亚克力、钢化玻璃等,同一项目应采用统一标识材料。隔震管线标识可采用不易燃烧的软质标签。

3 建筑隔震工程专用标识宜为矩形,并采用标牌或标签形式,文字信息应便于识读,颜色应醒目,图形标志部分宜为黄底蓝图,文字信息部分宜为蓝底白字。地面警示标示可采用黄色油漆喷涂于地面相应区域。建筑隔震工程主标识也可采用平面展示板形式。

8.2.4 标识位置

- 1 建筑隔震工程主标识宜设置于建筑主要入口明显位置。
- 2 建筑隔震工程专项标识的位置应便于识读及维护，宜设置于墙面、柱面或地面，并注意与建筑装饰装修相协调。隔震专用标识靠近楼地面设置时，其底边距楼地面应大于 0.3 米。
- 3 隔震专项标识应设置于隔震装置或专项构造的邻近位置，如隔震支座支墩、隔震楼梯设缝处、隔震层入口等。
- 4 建筑首层外围水平隔离缝（隔震沟）标识宜沿外墙均匀布置，间距不大于 30 米，每方向不少于一处，当外墙有多处转折时应适当增加，设置高度宜在建筑勒脚上方。
- 5 隔震管线标识可贴、挂在隔震层相应管线的柔性接头位置。
- 6 在隔震构造影响区域内可能存在人员活动时，应配合其他专用标识设置地面警示标识。

8.2.5 管理与维护

- 1 隔震工程专用标识在安装前应由设计方确认内容正确无误，安装后应形成标识数量清单，纳入隔震工程专项验收资料，并提供给物业管理单位。
- 2 隔震工程专用标识在竣工验收后，一般情况应每半年进行一次巡检，保证标识安装稳固、字迹清楚、未受污损；发生地震、火灾等特殊情况的，应结合隔震工程的专项检查一并进行巡检。
- 3 隔震工程专用标识在建筑物使用期内，如出现污染、损坏、缺失，应及时进行更新。
- 4 在隔震工程的改建、扩建、装修等过程中，如对原有标识造成破坏、遮挡时，应按本规程有关要求重新设置。

8.3 维护

8.3.1 隔震建筑工程竣工验收前，应提交由支座生产厂家、设计等单位编写的使用维护手册及维护管理计划，维护手册中应阐述隔震原理、房屋使用者注意的问题。

8.3.2 隔震建筑的维护检查分为定期检查和应急检查。

- 1 定期检查应为竣工后的 3 年、5 年、10 年，10 年以后每 10 年进行一次。
- 2 地震或火灾等灾害后应及时进行检查。
- 3 检查项目详见表 8.3.2。

表 8.3.2 检查项目

位置		检查项目		检查方法	管理目标
隔震构件	隔震支座	橡胶保护层外	变色	目测	无异常、无异物

		观	损伤	目测	无损伤
		钢材部位	锈蚀	目测	无浮锈、无锈迹
		状况	安装部位	目测	螺栓、铆钉无松动
隔震层、 建筑物外围	建筑物	周边环境	确保 净空间距	目测、确认	移动范围内无障碍物
	隔震构件 管线	周边状况	障碍物	目测、确认	移动范围内无障碍物
			可燃物	目测、确认	无可燃物
			排水状况	目测、确认	排水状况良好
			液体泄漏	目测	无异常
设备配管管线 及柔性连接	设备管线	柔性连接	液体渗漏 增加、更换	确认	不增加、更换
	电气线路	变形吸收 部位	增加、更换	确认	不增加、更换

附录 A 高阻尼橡胶支座形状系数计算公式

A.0.1 第一形状系数

高阻尼橡胶支座的第一形状系数 S_1 应按下列公式计算：

1) 无开孔支座

$$\text{圆形支座： } S_1 = \frac{d_0}{4t_r} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\text{方形支座： } S_1 = \frac{a}{4t_r} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： d_0 ——内部钢板的外部直径（mm）；

t_r ——单层内部橡胶的厚度（mm）；

a ——方形支座内部橡胶的边长（mm）。

2) 开孔支座

$$\text{圆形支座： } S_1 = \frac{d_0 - d_i}{4t_r} \quad (\text{A.0.1-3})$$

$$\text{方形支座： } S_1 = \frac{4a^2 - \pi d_i^2}{4t_r (4a + \pi d_i)} \quad (\text{A.0.1-4})$$

式中： d_i ——内部钢板的开孔直径（mm）。

A.0.2 第二形状系数

高阻尼橡胶支座的第二形状系数 S_2 应按下列公式计算：

$$\text{圆形支座： } S_2 = \frac{d_0}{t_r} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$\text{方形支座： } S_2 = \frac{a}{t_r} \quad (\text{A.0.2-2})$$

附录 B 高阻尼橡胶支座水平及竖向性能计算

B.0.1 高阻尼橡胶支座的设计压应力和设计剪应变应按下列公式计算：

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A_e} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{\min}}{A} \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$\gamma_0 = \frac{x_0}{T_r} \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$\gamma_{\max} = \frac{x_{\max}}{T_r} \quad (\text{B.0.1-5})$$

式中： σ_0 ——设计压应力（N/mm²）；

$\sigma_{\max}$ ——最大设计压应力（N/mm²）；

$\sigma_{\min}$ ——最小设计压应力（N/mm²）；

P_0 ——设计压力（N）；

$P_{\max}$ ——最大设计压力（N）；

$P_{\min}$ ——最小设计压力（N）；

A ——有效面积；支座内部橡胶的平面面积（mm²）；

A_e ——支座顶面和底面之间的有效重叠面积（mm²）；

γ_0 ——设计剪应变；

$\gamma_{\max}$ ——最大剪应变；

x_0 ——设计剪切位移（mm）；

$x_{\max}$ ——最大设计剪切位移（mm）；

T_r ——内部橡胶总厚度（mm）。

B.0.2 压缩性能

1 高阻尼橡胶支座竖向压缩刚度 K_v 可按下式计算：

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$E_c = \left[\frac{1}{E_{ap}} + \frac{1}{E_{\infty}} \right]^{-1} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中： E_c ——修正压缩弹性模量（N/mm²）；

E_{∞} ——橡胶体积弹性模量，根据橡胶材性试验实测值取值；

E_{ap} ——橡胶表观弹性模量，可按下列公式计算。

1) 不考虑剪应变影响时:

$$E_{ap} = E_0 \cdot (1 + 2\kappa S_1^2) \quad (\text{B.0.2-3})$$

式中: E_0 ——橡胶弹性模量 (N/mm^2), 根据橡胶材性试验实测值取值;

κ ——与硬度有关的弹性模量修正系数, 根据橡胶材性试验实测值取值;

S_1 ——第一形状系数。

2) 考虑剪应变影响时:

$$E_{ap} = 3G_{eq}(\gamma) \cdot (1 + 2S_1^2) \quad (\text{B.0.2-4})$$

式中: $G_{eq}(\gamma)$ ——由压缩荷载产生的平均剪应变 γ 对应的剪切模量, γ 可按式估算:

$$\gamma = \sqrt{6} S_1 \varepsilon \quad (\text{B.0.2-5})$$

式中: ε ——支座的压应变。

2 支座压缩位移 Y 和压应变 ε_c 可按式计算:

$$Y = \frac{P}{K_v} \quad (\text{B.0.2-6})$$

$$\varepsilon_c = \frac{Y}{T_r} \quad (\text{B.0.2-7})$$

式中: P ——压力 (N)。

B.0.3 水平性能

1 水平等效刚度

对高阻尼橡胶支座, 水平等效刚度 K_h 可按式计算:

$$K_h = G \frac{A}{T_r} \quad (\text{B.0.3-1})$$

式中: G ——橡胶的剪切模量 (N/mm^2), 应在恒定压应力和不同剪应变作用下, 由试验确定。试件应采用足尺或缩尺模型支座。

考虑剪应变对橡胶剪切模量的影响, 水平等效刚度 K_h 可按式计算:

$$K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A}{T_r} \quad (\text{B.0.3-2})$$

式中: $G_{eq}(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效剪切模量 (N/mm^2)。

若试验时的压应力 σ 与设计压应力 σ_0 相差较大, 则橡胶剪切模量 G 应考虑压应力的影响, 水平等效刚度 K_h 可按式计算:

$$K_h = G \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 \right\} \frac{A}{T_r} \quad (\text{B.0.3-3})$$

式中： σ ——支座压应力（N/mm²）；

σ_{cr} ——支座临界应力（N/mm²）。

2 初始水平刚度和屈服后水平刚度

高阻尼橡胶支座采用如图 B.0.3 所示的等效双线性恢复力模型进行分析计算时， K_1 、 K_2 按式 B.0.3-4 进行计算。

$$\begin{cases} K_1 = G_1 \frac{A}{T_r} \\ K_2 = G_2 \frac{A}{T_r} \\ G_1 = a_0 + a_1\gamma + a_2\gamma^2 + a_3\gamma^3 + a_4\gamma^4 \\ G_2 = b_0 + b_1\gamma + b_2\gamma^2 + b_3\gamma^3 + b_4\gamma^4 \end{cases} \quad (\text{B.0.3-4})$$

式中 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 b_0 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 根据所用的橡胶材料从试验中统计得到。

等效双线性恢复力模型的屈服力 Q_y ，和屈服位移 X_y ，根据比例关系按式 B.0.3-5 计算：

$$\begin{cases} Q_y = \frac{G_1}{G_1 - G_2} \\ X_y = \frac{Q_y}{K_1} \end{cases} \quad (\text{B.0.3-5})$$

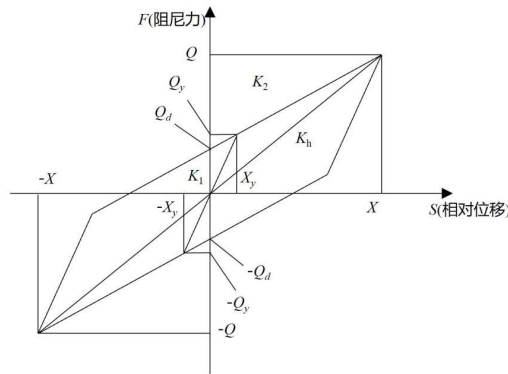


图 B.0.3 等效双线性恢复力模型

3 等效阻尼比

高阻尼橡胶支座等效阻尼比 h_{eq} 可按式计算：

$$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_d}{K_h X^2} \quad (\text{B.0.3-6})$$

式中： W_d ——剪力—剪切位移滞回曲线的包络面积，即每加载循环所消耗的能量（N·mm），由试验确定。

附录 C 高阻尼橡胶支座产品设计方法

C.0.1 支座内部钢板的设计可按式计算：

$$\sigma_s = 2\lambda \frac{Pt_r}{A_e t_s} \leq f_t \quad (\text{C.0.1.1})$$

式中： σ_s ——内部钢板拉应力（MPa）；

f_t ——钢材的抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_e ——支座的顶面和底面之间的有效重叠面积（mm²）；

t_s ——单层内部钢板的厚度（mm）；

λ ——钢板应力修正系数，无开孔， $\lambda=1.0$ ；孔（ $A_p/A = 0.03 \sim 0.1$ ）， $\lambda=1.5$ 。

C.0.2 连接螺栓在剪力和拉力作用下产生的剪应力和拉应力，可按下述步骤进行计算：

1 确定中性轴和螺栓至中性轴的距离

中性轴指支座顶面和底面重叠面的中轴线，见图 C.0.1。

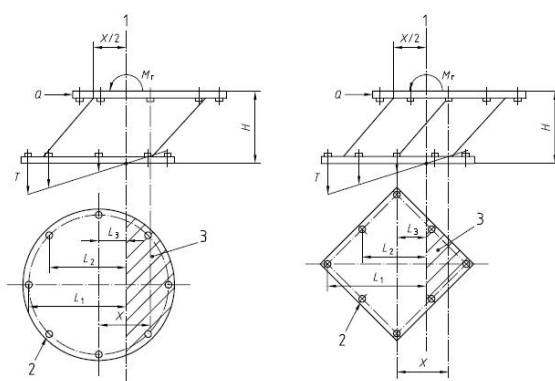


图 C.0.1 连接螺栓受力简图

注：图中1为中性轴；2为螺栓拉力；3为压力。

2 确定荷载作用

水平荷载 Q ，弯矩 M_r 和提离力 F_u 同时作用在支座上。

$$Q = K_h X \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$M_r = \frac{1}{2} QH \quad (\text{C.0.1-3})$$

3 确定螺栓的最大拉应力

假定连接板保持平面，则螺栓拉应变和压应变与到中性轴的距离成正比：

$$T_1 / L_1 = T_2 / L_2 = \cdots = T_i / L_i \quad (\text{C.0.1-4})$$

忽略压应力的影响，1号螺栓由弯矩 M_r 产生的最大拉力 T_1 由下式计算：

$$T_1 = \frac{M_r}{(L_1 + 2L_2^2 / L_1 + 2L_3^2 / L_1 + \cdots)} \quad (\text{C.0.1-5})$$

若支座提离力 F_u 由所有螺栓共同承担，则螺栓最大拉力 $T_{\max}$ 和最大拉应力 σ_B 为：

$$T_{\max} = T_1 + \frac{F_u}{n_b} \quad (\text{C.0.1-6})$$

$$\sigma_B = \frac{T_{\max}}{A_b} \leq f_t^b \quad (4.6.2-7)$$

式中： σ_B ——螺栓拉应力（MPa）；

A_b ——螺栓的有效面积（mm²）；

f_t^b ——螺栓抗拉设计强度（N/mm²）。

4 计算螺栓剪应力

假定所有螺栓承担的剪力相同，其剪应力按下式计算：

$$\tau_B = \frac{Q}{n_b A_b} \leq f_v^b \quad (\text{C.0.1-8})$$

式中： τ_B ——螺栓剪应力（MPa）；

n_b ——螺栓个数；

f_v^b ——螺栓抗剪设计强度（N/mm²）。

5 螺栓强度验算

螺栓最大主拉应力应满足下式：

$$\left(\frac{\sigma_B}{f_t^b} \right)^2 + \left(\frac{\tau_B}{f_v^b} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{C.0.1-9})$$

C.0.3 连接板

连接板由于螺栓拉力产生的弯曲应力 σ_b 可按下式计算并校核：

$$\sigma_b = \frac{M_F}{Z} \leq f_t \quad (\text{C.0.1-10})$$

$$M_F = T \times c \quad (\text{C.0.1-11})$$

$$t_f^2 \times B \quad (\text{C.0.1-12})$$

$$B = 2c + d_k \quad (\text{C.0.1-13})$$

式中: B ——连接板受弯部分的有效宽度 (mm), 见图 C.0.3;
 f_t ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值 (N/mm^2);
 t_f ——连接板的厚度 (mm);
 d_k ——螺栓孔的直径 (mm)。

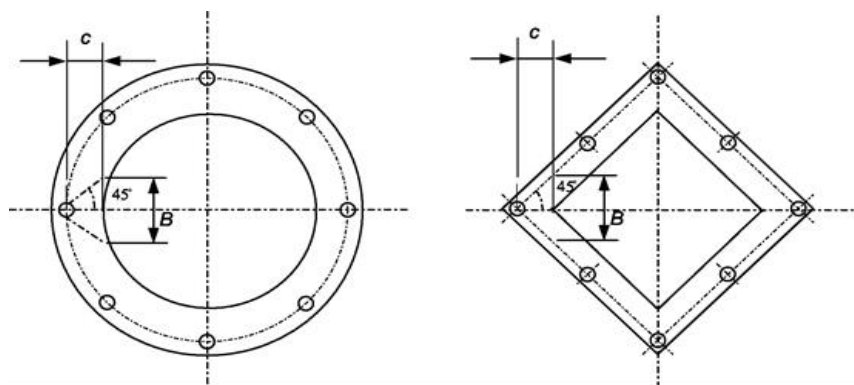


图 C.0.3 连接板的弯曲

附录 D 高阻尼橡胶支座连接设计

D.0.1 高阻尼橡胶支座水平变形后（图 D.0.1），隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下列公式计算：

$$M = \frac{P\delta + Vh}{2} \quad (\text{D.0.1})$$

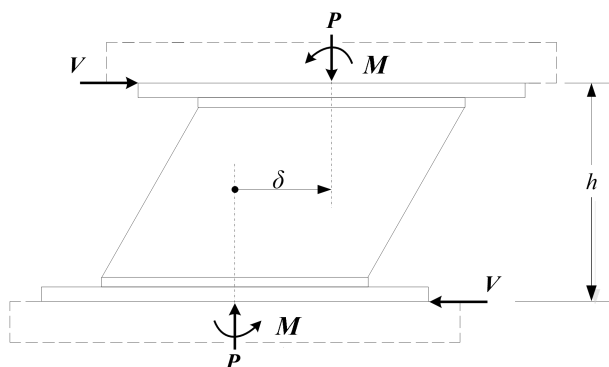


图 D.0.1 隔震支墩及连接部位变形

式中： M ——隔震支墩及连接部位所受弯矩；

P ——上部结构传递的竖向力；

δ ——支座的水平剪切变形；

V ——支座所受水平剪力；

h ——支座的总高度（含连接板）。

D.0.2 隔震支墩混凝土局部受压最大压应力（图 D.0.2）应符合下列公式规定：

$$\sigma_c = P \left[\frac{4(1 - \cos \theta)}{\frac{\sin \theta (2 + \cos^2 \theta)}{3} - \theta \cos \theta - n P_g \pi \cos \theta} \right] D_e^2 \leq 1.35 \beta_e \beta_l f_c \quad (\text{D.0.2})$$

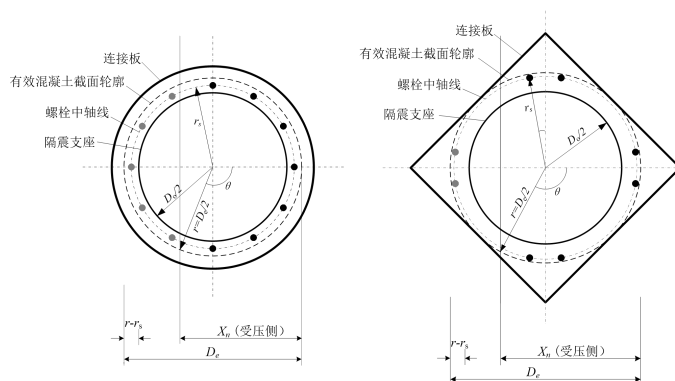


图 D.0.2 隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布

式中： σ_c ——隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值；

θ ——支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半, $\theta=\arccos(\frac{r-X_n}{r})$;

n ——螺栓与混凝土的弹性模量比;

P_g ——螺栓配筋率, 螺栓总面积与支墩有效混凝土柱截面直径的比值, $P_g = \frac{A_s}{\pi D_e^2 / 4}$;

D_e ——上下支墩有效混凝土柱截面直径, $D_e=D_o+4t_f$, D_o 为隔震支座有效直径, t_f 为连接板厚度;

β_c ——混凝土强度影响系数: 当混凝土强度等级不超过 C50 时, 取 1.0; 当混凝土强度等级为 C80 时, 取 0.8; 其间按现行内插法确定;

β_l ——混凝土局部受压时的强度提高系数: 取 $\sqrt{\frac{A_b}{A}}$ 和 1.6 二者的较小值, 其中 A_b 表示

支墩截面面积, A_b 表示局部受压面积 $A_b=\pi r^2$;

f_c ——支墩混凝土轴心抗压强度;

X_n ——中性轴位置, 此处 $X_n = \left(0.5 + \frac{1 + 2nP_g \left(\frac{r_s}{r} \right)^2}{16(1 + nP_g) \frac{\delta}{D_e}} \right) D_e$;

r_s ——螺栓布置的半径;

r ——上下支墩有效混凝土柱截面半径, $r=D_e/2$ 。

D.0.3 高阻尼橡胶支座连接螺栓强度验算 (图 D.0.3) 应符合下列公式规定:

$$\left(\frac{F_B}{A_b f_{yt}^b} \right)^2 + \left(\frac{V}{n_b A_b f_v^b} \right)^2 \leq 1 \quad (D.0.3-1)$$

$$F_B = \frac{M_r L_{\max}}{\sum L_i^2} + \frac{F_u}{n_b} \quad (D.0.3-2)$$

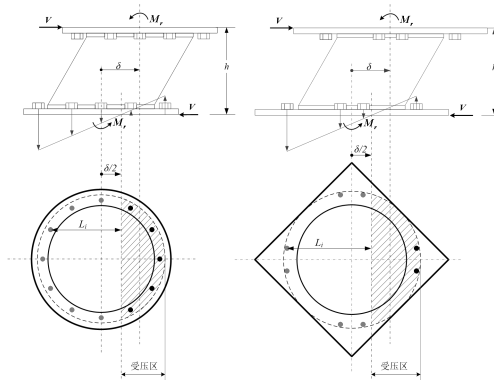


图 D.0.3 连接螺栓受力简图

式中： F_B ——螺栓拉力；

A_b ——单个螺栓截面积；

f_{yt}^b ——螺栓抗拉设计强度；

n_b ——螺栓数量；

f_v^b ——螺栓抗剪设计强度；

M_r ——支座水平剪力产生的附加弯矩， $M_r = \frac{Vh}{2}$ ；

L_{max} ——螺栓到中性轴的最大距离；

L_i ——螺栓到中性轴的距离，其中中性轴距隔震支座中心为 $\frac{\delta}{2}$ ；

F_u ——支座提离力。

D.0.4 高阻尼橡胶支座预埋件设计应符合下列规定：

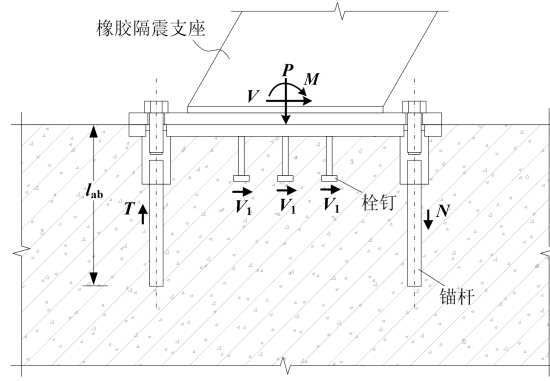


图 D.0.4 预埋件受力情况

1 与连接螺栓相连锚筋强度验算应符合下式规定：

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_{ab}} \leq f_{yt}^{ab} \quad (D.0.4-1)$$

式中： σ_B ——与连接螺栓相连锚杆的受拉应力；

A_{ab} ——单个锚杆截面积；

f_{yt}^{ab} ——锚杆抗拉设计强度。

2 与连接螺栓相连锚筋的锚固长度应符合下式规定，且不小于 250mm：

$$l_{ab} \geq \alpha \frac{\sigma_B}{f_t} d_{ab} \quad (D.0.4-2)$$

式中： l_{ab} ——与螺栓相连锚筋的锚固长度；

α ——锚筋的外形系数，光圆表面取 0.16，带肋表面取 0.14；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

d_{ab} ——锚筋直径。

3 预埋板中部栓钉受剪承载力设计值应由下式确定：

$$V_1 = \frac{V}{n_{st}} \leq N_v^{st} = 0.43 A_{st} \quad (D.0.4-3)$$

$$V_1 \leq 0.7 A_{st} \gamma_c f_{st} \quad (D.0.4-4)$$

式中： V_1 ——单根栓钉所承受的剪力；

n_{st} ——栓钉数量；

N_v^{st} ——单根栓钉受剪承载力设计值；

A_{st} ——单根栓钉截面积；

γ_c ——栓钉材料抗拉强度最小值与屈服强度之比；

f_{st} ——栓钉抗拉强度设计值；当栓钉材料性能等级为 4.6 级时， f_{st} 取 215N/mm²， γ 取 1.67。

附录 E 复振型影响系数计算公式

E.0.1 复振型分解反应谱法中 j 振型和参与系数可按下列公式计算：

$$X_{ji} = \text{Re}(c_{ji}\phi_{ji}) \quad (\text{E.0.1-1})$$

$$\gamma_j = 2 \text{Re}(\eta_j \lambda_j) \quad (\text{E.0.1-2})$$

$$c_{ji} = c_{ji}^0 \frac{\eta_j \lambda_j}{\text{Re}(\eta_j \lambda_j)} \quad (\text{E.0.1-3})$$

$$\eta_j = \frac{-\lambda_j^2 \phi_j^T M r}{-\lambda_j^2 \phi_j^T M \phi_j + \phi_j^T K \phi_j} \quad (\text{E.0.1-4})$$

$$c_{ji}^0 = \begin{cases} -(1 + \mu_b) \omega_b^2 / (\mu_b \lambda_j^2) + (-\lambda_j - a) / (\lambda_j + b \lambda_j^2) \sum_{i=1}^n G_i \phi_{ji} / G_b \phi_{jb} & \text{隔震层} \\ (-\lambda_j - a) / (\lambda_j + b \lambda_j^2) & \text{非隔震层} \end{cases} \quad (\text{E.0.1-5})$$

式中： G_i 、 G_b ——分别表示集中于质点 i 、隔震层的重力荷载代表值；

c_{ji} —— j 复振型 i 质点的水平相对位移非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等 1；

ϕ_{ji} —— j 复振型 i 质点水平相对位移；

η_j —— j 复振型的参与系数；

λ_j —— j 复振型的特征值；

c_{ji}^0 —— j 复振型 i 质点的地震作用非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等 1；

γ ——地震作用影响向量；

ω_b ——隔震层圆频率，等于隔震层刚度除以隔震结构总质量的平方根；

a ——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

b ——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

μ_b ——隔震层质量与上部结构总质量比值；

Re ——表示取复数实部；

E.0.2 j 振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数可按下列公式计算：

$$\iota_j = S_j^v / S_j \quad (\text{E.0.2-1})$$

式中： S_j^v —— j 振型速度相关水平地震作用效应，由相应速度相关水平地震作用确定。

j 振型 i 质点速度相关水平地震作用可按下列公式计算：

$$F_{ji}^v = \alpha_j \gamma_j \text{Re} \left[\left(-\zeta_j + i \sqrt{1 - \zeta_j^2} \right) c_{ji} \phi_{ji} \right] G_i \quad (\text{E.0.2-2})$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

E.0.3 采用强迫解耦实振型分解反应谱法进行水平地震作用和作用效应计算时， j 振型 i 质点的水平地震作用应按本标准式 (5.2.6-1) 和式 (5.2.6-3) 计算，水平地震作用效应应按本标准式 (5.2.6-2) 和式 (5.2.6-4) 计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式计算：

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i \quad (\text{E.0.3-1})$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 - \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (\text{E.0.3-2})$$

附录 F 材料进场检验记录

表 F.0.1 材料进场检验记录

工程名称					检验日期		
序号	名称	规格型号	进场数量	生产厂家 合格证号	检验项目	检查结果	备注
1	支座				外观		
2					尺寸偏差		
3					力学性能		
	连接板				平面尺寸 偏差		
					厚度偏差		
					螺栓孔位置 偏差		
					地脚螺栓长 度尺寸偏差		
					平整度偏差		
施工单位 检查结果		项目专业技术负责人： 项目专业质量负责人： 年 月 日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师： 年 月 日					

附录 G 质量验收记录

G.0.1 检验批的质量验收可按表 G.0.1 记录。

表 G.0.1 _____检验批质量验收记录

单位(子单位) 工程名称			分部(子分部)工 程名称			分项工程名称	
施工单位			项目负责人			检验批容量	
分包单位			分包单位项目 负责人			检验批部位	
施工依据					验收依据		
主控项目	验收项目		设计要求及 规范规定	最小/实际 抽样数量	检查记录		检查 结果
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
一般项目	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
施工单位 检查结果		项目专业技术负责人： 项目专业质量负责人： 年 月 日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师： 年 月 日					

G.0.2 分项工程质量验收可按表 G.0.2 记录。

表 G.0.2 分项工程质量验收记录

单位(子单位) 工程名称				分部(子分部) 工程名称		
分项工程数量				检验批数量		
施工单位				项目负责人		项目技术 负责人
分包单位				分包单位 项目负责人		分包内容
序号	检验批 名称	检验批 容量	部位/ 区段	施工单位检查结果		监理单位验收结论
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
说明:						
施工单位 检查结果			项目专业技术负责人： 年 月 日			
设计单位 验收结论			设计单位项目技术负责人： 年 月 日			
监理单位 验收结论			专业监理工程师： 年 月 日			

G.0.3 建筑隔震子分部工程质量验收可按表 G.0.3 记录。

表 G.0.3 建筑隔震子分部工程质量验收记录

单位(子单位) 工程名称			分部(子分部) 工程名称		分项工程 数量		
施工单位			项目负责人		技术(质量) 负责人		
分包单位			分包单位 项目负责人		分包内容		
序号	分项工程 名称	检验批 数量	施工单位检查结果		监理单位验收结论		
1	支座安装						
2	柔性连接						
3	隔震缝						
4							
5							
6							
7							
8							
9							
质量控制资料							
安全和功能检验结果							
观感质量检验结果							
结 论 合 验 收							
施工单位 项目负责人： 年 月 日		分包单位 项目负责人： 年 月 日		设计单位 项目负责人： 年 月 日		监理单位 总监理工程师： 年 月 日	

深圳市工程建设地方标准

建筑工程高阻尼隔震技术规程

SJG XXX – 2023

条文说明

目 录

3	基本规定	1
4	高阻尼橡胶支座	2
4.1	一般规定	2
4.2	分类及表示方法	2
4.4	产品设计规定	4
4.5	检测	4
5	隔震结构设计	6
5.1	一般规定	6
5.2	地震作用和作用效应计算	8
5.3	上部结构	11
5.4	隔震层	11
5.5	下部结构	12
6	隔震工程施工	13
6.1	一般规定	13
6.2	高阻尼橡胶支座	13
6.3	柔性连接	13
6.4	隔离缝	14
7	隔震工程验收	15
7.1	一般规定	15
7.2	检验批	15
7.3	分项工程验收	16
7.4	子分部工程验收	16

3 基本规定

3.0.1 国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010（2016 年版）第 3.1.1 条的条文说明指出：在需要提高设防标准的建筑中，特殊设防类在提高一度的要求，加强其抗震措施的基础上，“地震作用应按高于本地区设防烈度计算，其值应按批准的地震安全性评价结果确定”。地震安全性评价通常包括给定年限内不同超越概率的地震动参数，应由具备资质的单位按相关标准执行，并对其评价报告的质量负责。这意味着，地震作用计算提高的幅度应经专门研究，并需要按规定的权限审批。考虑隔震技术措施的有效性，为便于隔震结构的应用，本标准建议特殊设防类建筑宜提高一度设计。

3.0.4 《建设工程抗震管理条例》（2021 版）规定的强制使用隔震减震技术的结构采用“中震设计”：在设防地震作用下进行截面设计和配筋验算，结构采用线弹性模型；罕遇地震作用下，允许结构进入损伤程度轻微到中度的弹塑性状态，采用弹塑性模型进行分析，验算结构和支座的变形，同时进行支座的承载力验算。对于特殊设防类建筑或有较高要求的建筑，尚应对结构和支座进行极罕遇地震作用下的变形验算。

4 高阻尼橡胶支座

4.1 一般规定

4.1.1 根据深圳市气象局 (台)公布的数据,深圳市年平均气温 23.3,历史极端最高气温 38.7°,历史极端最低气温 0.2°C;一年中 1 月平均气温最低,平均为 15.7,7 月平均气温最高,平均为 29.0°。同时为兼顾与 GB 20688.3 和 GB 20688.1 中相关规定的相适应性,因此本条规定了高阻尼橡胶支座性能测试的基准温度为 23°C。

4.1.2 引起橡胶老化的主要因素有氧气、臭氧、光、热、水分和化学介质(油、试剂、化学药品等)等。橡胶老化是指橡胶的分子结构在化学、物理及生物等因素的作用下发生了反应,导致橡胶性能的变化。为保证高阻尼橡胶支座在建筑结构正常使用期间的隔震效果,高阻尼橡胶支座的整体设计使用年限不应低于隔震结构的设计使用年限。为了解决高阻尼橡胶支座老化问题,一方面可从结构设计上增强支座抗老化,在支座外围增加保护层,使内层橡胶不直接暴露在空气中,隔断阳光、空气和水等老化物质与内层胶的接触;另一方面,可优化内部橡胶和保护层橡胶配方,加入特殊的防老剂。

4.1.3 型式检验和出厂检验为两类不同类型的检验,前者是隔震支座生产厂家在具有生产和出售隔震橡胶支座产品之前而进行的、依照国标对支座进行的一系列的试验,包括各种基本性能、相关性、极限及耐久性的试验,其检测由具有检测资质的第三方完成,只有型式检验合格后,隔震支座生产厂家才能生产和销售使用在具体建筑工程中试验的隔震支座。出厂检验为具体建筑工程中所使用的隔震支座进行的抽样检验,同样由具有检测资质的第三方检测单位完成,出厂检验合格后,产品采用运用且仅能运用该具体的建筑工程,不同的建筑工程的隔震支座出厂检测不可替代。此处的第三方检测,应为独立于生产厂家,且不能与生产厂家为同属一个集团公司或同属一个系统管理部门的第三方检测单位。

4.2 分类及表示方法

4.2.1 根据工程实践和产品标准《橡胶支座第 3 部分:建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3-2006 的执行经验来看,I 型和 II 型的天然橡胶支座和铅芯橡胶支座已成为成熟的建筑隔震橡胶支座类型,高阻尼橡胶支座也采用了同样的产品构造,以保证产品的可靠性。随着隔震技术的不断普及和发展,高阻尼橡胶支座可不限于这 2 种类型,但应有大量的实验数据支撑,并进行专门论证,方可应用到实际工程中。

4.2.2 《公路桥梁高阻尼隔震橡胶支座》JT 842-2012 规定最大阻尼比是 17%,日本国土交通大臣认证企业生产的高阻尼橡胶支座阻尼比为 16%~22.6%。

4.2.3 高阻尼橡胶支座压缩剪切试验的滞回曲线如图 4.2.3-1 所示。各剪应变水准（以下用 γ 表示）重复加载 3 次，图中表示的是第 3 次循环的情况。高阻尼橡胶支座的滞回特性与剪应变相关，在微小应变领域的刚度很大，中等应变领域的刚度会发生软化，在 $\gamma \geq 200\%$ 以上的大变形领域开始硬化。如果橡胶材料、压应力、形状系数等发生变化，滞回曲线的轨迹也会改变。图 4.2.3-2 中表示高阻尼橡胶支座经历了一次 $\gamma=250\%$ 的变形后，再次进行 $\gamma=300\%$ 加载试验的结果，可以看出：经历过大变形后，小应变时的滞回曲线包容在所经历的最大应变的滞回环中，称为经历应变相关性。

为保证高阻尼橡胶支座的隔震效果，在出厂检验时需对高阻尼橡胶支座进行一次 $\gamma=250\%$ 的压剪试验。同时为保有一定的安全余量，故本规程要求高阻尼橡胶支座的极限剪应变不低于 300%。

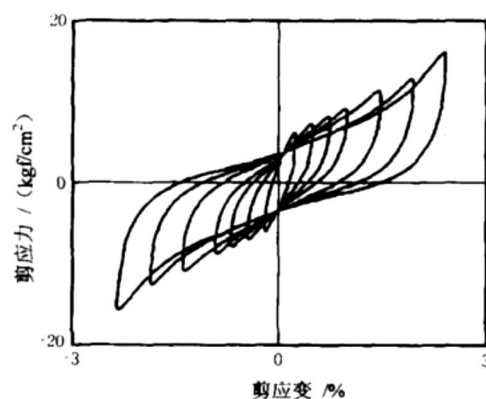


图 4.2.3-1 初期加载时的滞回特性

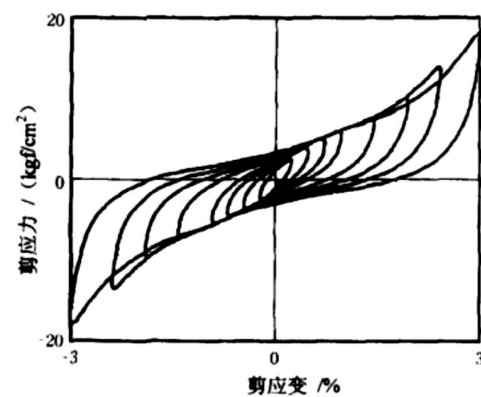


图 4.2.3-2 经历大变形后的滞回特性

4.2.4 受橡胶炼制、硫化等工艺的影响，无法保证生产出来的每一个高阻尼橡胶支座的剪切性能与设计值完全一致，故允许高阻尼橡胶支座的剪切性能有一定偏差。按剪切性能的允许偏差可分为 S-A 和 S-B。特殊设防类和重点设防类建筑隔震设计时，为保证隔震效果，应选用 S-A 类产品。

4.2.5、4.2.6 当产品极限剪应变大于等于 300%（即极限水平变形 $\geq 3Tr$ ）时，结构计算中高阻尼橡胶支座的最大水平允许变形应小于 3 倍橡胶层总厚度（即 $3Tr$ ）和 0.55 倍有效直径（即 $0.55D$ ）的较小值。当 $S_2 \geq 5$ 时， $0.55D \geq 2.75Tr$ ，故：当 $3Tr \geq 0.55D \geq 2.75Tr$ 时，高阻尼橡胶支座的最大水平允许变形为 $0.55D \leq 3Tr$ （即最大水平允许剪应变 $\leq 300\%$ ），若高阻尼橡胶支座极限剪应变不小于 400%，则有 100%的安全储备；当 $0.55D \geq 3Tr$ 时，高阻尼橡胶支座的最大水平允许变形为 $3Tr$ （即最大水平允许剪应变 $\leq 300\%$ ），则也有 100%的安全储备。当 $4 \leq S_2 < 5$ 时， $2.20Tr \leq 0.55D < 2.75Tr$ ，故高阻尼橡胶支座的最大水平允许变形为 $2.20Tr \sim 2.75Tr$ （即最大水平允许剪应变 220%~275%），若高阻尼橡胶支座极限剪应变不小于 350%，则有 75%~130%的安全储备。当 $3 \leq S_2 < 4$ 时， $1.65Tr \leq 0.55D < 2.20Tr$ ，故高阻尼橡胶支座的最大水平

允许变形为 $1.65Tr \sim 2.20Tr$ （即最大水平允许剪应变 $165\% \sim 220\%$ ），若高阻尼橡胶支座极限剪应变不小于 300% ，则有 $80\% \sim 135\%$ 的安全储备。当产品极限剪应变小于 300% 时，结构计算中高阻尼橡胶支座的最大水平允许变形不超过产品相同压应力下极限变形的 80% ，以保证至少有 20% 的安全储备，且总的安全富余量不小于 $50mm$ 。

4.4 产品设计规定

4.4.1 第一形状系数 S_1 是控制每层橡胶的厚度的形状系数，为 1 层橡胶的约束面积与自由表面积之比。 S_1 越大，相对于橡胶片直径，橡胶片的厚度就越薄，橡胶片的自由表面就越小，受到钢板约束的橡胶片占比就多，在受压时橡胶中心部分为三轴受压状态的占比更多，橡胶片的弹性模量比橡胶本身的弹性模型大的多。所以 S_1 越大，高阻尼橡胶支座的受压承载力越大，竖向刚度也就越大。因此 S_1 不应太小。

第二形状系数 S_2 是控制高阻尼橡胶支座稳定性的形状系数，为多层橡胶直径与橡胶各层总厚度之比。 S_2 越大，相对直径多层橡胶越扁平，高阻尼橡胶支座越矮粗，弯曲变形占总变形的比例就越小，高阻尼橡胶支座越不容易压屈； S_2 越小，高阻尼橡胶支座越细高，水平变形较大时稳定性变差。因此， S_2 的数值也不能太小。同时，多层橡胶受水平力时，中间钢板不能约束剪切变形，高阻尼橡胶支座的剪切变形为橡胶的剪切变形。因此， S_2 越大，高阻尼橡胶支座的水平刚度就越大，太大的水平刚度会限制高阻尼橡胶支座的水平变形能力，从而影响隔震效果。因此， S_2 的数值也不能太大。

4.4.3 当高阻尼橡胶支座水平位移为 0.55 倍有效直径时的极限压应力满足当 $S_2 > 5$ 时，不小于 $30MPa$ ；当 $4 < S_2 \leq 5$ 时，不小于 $25MPa$ ；当 $3 < S_2 \leq 4$ 时，不小于 $20MPa$ 。同时考虑到高阻尼橡胶支座在罕遇地震下的压应力限值为：特殊设防类建筑为 $20MPa$ ，重点设防类建筑为 $25MPa$ ，标准设防类建筑为 $30MPa$ 。对于特殊设防类建筑，安全储备不小于 $0\% \sim 50\%$ ；对于重点设防类建筑，宜采用 $S_2 > 4$ 的高阻尼橡胶支座，若采用 $3 < S_2 \leq 4$ 的高阻尼橡胶支座，此时高阻尼橡胶支座应当不小于 $25MPa$ ，使安全储备不小于 $0\% \sim 20\%$ ；对于标准设防类建筑，宜采用 $S_2 > 5$ 的高阻尼橡胶支座，若采用 $3 < S_2 \leq 5$ 的高阻尼橡胶支座，此时高阻尼橡胶支座应当不小于 $30MPa$ ，使安全储备不小于 0% 。

4.4.5 高阻尼橡胶支座的剪切性能与温度、剪应变、压应力、频率以及重复加载次数有关，为保证隔震效果，对高阻尼橡胶支座的剪切性能允许变化范围做一定限制。

4.5 检测

4.5.4 隔震支座是影响隔震建筑工程安全性的关键部件之一，已有的工程实践表明，控制隔震支座产品出厂检验的数量是隔震工程质量控制的有效手段。因此，高阻尼橡胶支座出厂检验数量均应符合本条规定，且符合相关国家标准和行业标准的规定。

4.5.5 高阻尼橡胶支座连接螺栓、连接板的设计可参考国家标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3-2006 的规定。高阻尼橡胶支座预埋件的设计要求是，保证高阻尼橡胶支座在罕遇地震作用下发挥隔震效果。因此，其荷载取值应取隔震结构在罕遇地震作用下最不利荷载效应的标准值，具体强度设计可参考国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010(2015 年版)的要求。上部结构的底部剪力通过高阻尼橡胶支座传给下部结构。因此，高阻尼橡胶支座的连接螺栓、连接板和相关预埋件在传递罕遇地震作用时应保持在不屈服状态，以实现罕遇地震设防目标。应遵循高阻尼橡胶支座的连接强于高阻尼橡胶支座的设计原则，以充分发挥隔震支座的变形能力,达到最优的安全储备。外露预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接,锚固钢筋的锚固长度宜大于 20 倍锚固钢筋的直径,且不应小于 250mm。高阻尼橡胶支座附近的梁、柱应计算冲切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

5 隔震结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 一般情况下，不管上部结构是否存在扭转不规则，隔震结构的扭转规则性都可以通过隔震层的设计加以解决。当隔震层上部结构规则时，可参考国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)的相关方法计入扭转影响。

5.1.3 不同的结构采用不同的分析方法在各国抗震规范中均有体现，振型分解反应谱法仍是基本方法，时程分析法作为补充计算方法。所谓“补充”，主要指对计算结果的隔震层剪力、位移、上部楼层剪力和层间位移进行比较，当时程分析法大于振型分解反应谱法时，相关部位的部件与构件的内力和配筋作相应的调整。体型不规则，高度超过 60m，或者隔震层装置组合比较复杂，都是可能造成结构地震响应行为更为复杂的因素，因此，只要符合上述条件之一，即要求采用时程分析法进行补充计算。

本标准的振型分解反应谱法，默认是考虑非比例阻尼矩阵的复振型分解反应谱方法，在本规范第 5.2.6 条中加以规定。当隔震层的阻尼比较小，隔震结构体系动力响应受非比例阻尼影响较小时，可采用实振型分解反应谱方法。

平面投影尺度很大的大跨空间结构地震作用的计算要求：

1 平面投影尺度很大的空间结构，指跨度大于 120m、或长度大于 300m、或悬臂大于 40m 的结构。

2 关于结构形式和支承条件

对周边支承空间结构，如：网架，单、双层网壳，索穹顶，弦支穹顶屋盖和下部圈梁-框架结构，当下部支承结构为一个整体、且与上部空间结构侧向刚度比大于等于 2 时，可采用三向(水平两向加竖向)单点一致输入计算地震作用；当下部支承结构由结构缝分开、且每个独立的支承结构单元与上部空间结构侧向刚度比小于 2 时，应采用三向多点输入计算地震作用；

对两线边支承空间结构，如：拱，拱桁架；门式刚架，门式桁架；圆柱面网壳等结构，当支承于独立基础时，应采用三向多点输入计算地震作用；

对长悬臂空间结构，应视其支承结构特点，采用多向单点一致输入、或多向多点输入计算地震作用。

3 关于单点一致输入、多向单点输入、多点输入和多向多点输入

单点一致输入，即仅对基础底部输入一致的加速度反应谱或加速度时程进行结构计算。

多向单点输入，即沿空间结构基础底部，三向同时输入，其地震动参数(加速度峰值或反应谱最大值)比例取：水平主向:水平次向:竖向=1.00:0.85:0.65。

多点输入，即考虑地震行波效应和局部场地效应，对各独立基础或支承结构输入不同的设计反应谱或加速度时程进行计算，估计可能造成的地震效应。对于 6 度和 7 度 I、II 类场地上的大跨空间结构，多点输入下的地震效应不太明显，可以采用简化计算方法，乘以附加地震作用效应系数，跨度越大、场地条件越差，附加地震作用系数越大；对于 7 度 III、IV 场地，多点输入下的地震效应比较明显，应考虑行波和局部场地效应对输入加速度时程进行修正，采用结构时程分析方法进行多点输入下的抗震验算。

多向多点输入，即同时考虑多向和多点输入进行计算。

4 关于行波效应

研究证明，地震传播过程的行波效应、相干效应和局部场地效应对于大跨空间结构的地震效应有不同程度的影响，其中，以行波效应和场地效应的影响较为显著，一般情况下，可不考虑相干效应。对于周边支承空间结构，行波效应影响表现在对大跨屋盖系统和下部支承结构；对于两线边支承空间结构，行波效应通过支座影响到上部结构。

行波效应将使不同点支承结构或支座处的加速度峰值不同，相位也不同，从而使不同点的设计反应谱或加速度时程不同，计算分析应考虑这些差异。由于地震动是一种随机过程，多点输入时，应考虑最不利的组合情况。行波效应与潜在震源、传播路径、场地的地震地质特性有关，当需要进行多点输入计算分析时，应对此作专门研究。

5 关于局部场地效应

当独立基础或支承结构下卧土层剖面地质条件相差较大时，可采用一维或二维模型计算求得基础底部的土层地震反应谱或加速度时程、或按土层等效剪切波速对基岩地震反应谱或加速度时程进行修正后，作为多点输入的地震反应谱或加速度时程。当下卧土层剖面地质条件比较均匀时，可不考虑局部场地效应，不需要对地震反应谱或加速度时程进行修正。

5.1.4 我国目前建成的最高隔震建筑高度在 100m 左右，高层隔震建筑的建设有待继续发展，且钢结构隔震建筑应用较少。钢-混凝土混合结构隔震建筑的相关研究目前也有待进一步完善。鉴于此，目前给出的隔震建筑的最大适用高度宜参考国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

隔震建筑高度指室外地面到主要屋面板顶的高度。结构高度取隔震支座标高到上部结构屋面板顶的高度。

高层隔震建筑的地震响应行为与高层抗震建筑明显不同,相同烈度的地震作用下,隔震建筑水平地震作用相对于抗震建筑有显著降低,这是有利于建筑适用高度提高的因素,但是,高层建筑地震响应的倾覆效应可能使隔震支座受拉,目前隔震支座抗拉能力与传统抗震构件比还不够强,这是高层隔震建筑安全性的不利因素。因此,高层建筑隔震设计应当注重控制支座拉应力,必要时,可增加抗倾覆措施。

当隔震建筑的高度或高宽比超过国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016年版)的规定限值时,详尽的论证必须包含对结构抗倾覆设计和支座抗拉设计的论证,抗倾覆措施是指在隔震层设置具有抗拉功能的装置或部件,或通过其他方式来抵抗结构的倾覆效应,使隔震支座的拉应力控制符合本标准第 4.6.9 条和第 6.2.1 条的规定,并预留整体抗倾覆安全裕度。

5.1.6 隔震建筑在罕遇地震作用下,当上部结构与周围固定物,或上部结构相互之间发生碰撞,将产生破坏冲击力,限制隔震效用发挥,甚至危及建筑物安全,影响罕遇地震设防目标的实现。对于特殊设防类建筑,在满足极罕遇地震设防目标的前提下,可通过限位措施帮助实现在极罕遇地震作用下隔震支座不超过极限变形。

5.2 地震作用和作用效应计算

5.2.1 考虑到隔震结构的变形和破坏形态与一般抗震的长周期建筑结构的区别很大,前者的安全性和可靠性高于后者,为促进隔震结构的推广应用,本规范的反应谱曲线依据中国地震局工程力学研究所对近一万组波的统计结果。

5.2.2 采用底部剪力法时或进行隔震方案初步设计时,可用简化方法或近似方法计算隔震层的等效刚度和等效阻尼比。考虑到深圳地震设防烈度和高阻尼橡胶支座极限变形能力,极罕遇地震作用时,隔震层高阻尼橡胶支座水平剪切位移可取支座橡胶总厚度的 250%。

5.2.3 采用简化计算时可仅取隔震层阻尼比计算,由于隔震结构高阶振型的阻尼比受隔震层集中阻尼的影响较小,因而与第一阶振型的阻尼比差别较大,应采用振型分解得到的各阶振型的阻尼比进行反应谱的相关计算。

5.2.4 表 5.2.4 给出的设计地震动加速度峰值指的是加速度时程的有效峰值,以地震影响系数最大值除以放大系数(约 2.25)得到,为兼顾隔震周期附近谱值的要求,放大系数可根据地震波的差异性加以调整。根据《中国地震动参数区划图》GB 18306-2015,极罕遇地震动峰值加速度宜按基本地震动峰值加速度 2.7 倍~3.2 倍确定。

由于地震动的复杂性,在进行地震波的选取时宜兼顾地震环境、场地类别的相似性,不

能仅考察地震波本身与目标反应谱数学意义上的兼容性。由于隔震结构的周期通常是变化的，需注意隔震层的非线性特征，及其在不同地震作用水准下所对应的等效自振周期的不同。应考察地震波反应谱和目标反应谱在设防地震和罕遇地震作用水准下主要振型周期点谱值的兼容性。主要振型周期点指的是地震作用方向上振型质量贡献累计达到 90% 以上的各阶振型所对应的周期点。

人工模拟加速度时程和目标反应谱的差异不应过大。由于隔震结构的特殊性，其阻尼比的变化范围要大于常规结构，根据目前研究分析结果，按照 5% 阻尼比目标规范反应谱生成的人工波在 20% 阻尼比条件下的反应谱值要明显小于相应的目标规范反应谱值，相差幅度超过 20%。以 5% 阻尼比目标规范反应谱生成的人工波基于时程分析方法计算得到的隔震结构的动力响应偏小。在进行隔震结构的时程分析时，应对此问题加以重视。

地震波的持续时间对于考虑累积损伤效应的结构体系具有重要的影响，另外，隔震结构的周期长，地震波持续时间过短会导致分析结果的不安全。输入的地震加速度时程应包含有效持续时间，有效持续时间一般从首次达到该时程曲线最大峰值的 10% 那一点算起，到最后一点达到最大峰值的 10% 为止；不论是实际的强震记录还是人工模拟波形，有效持续时间一般为隔震结构基本周期的(5~10)倍，即结构顶点的位移可按基本周期往复(5~10)次。

选择实际强震记录地震动加速度时程以及合成人工模拟地震动加速度时程时，应满足给定的设计反应谱的相关要求。所选取的多组地震动加速度时程的平均地震影响系数曲线与设计反应谱的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型周期点上的误差不大于 20%。每条地震加速度时程计算所得结构底部剪力，与振型分解反应谱法计算结果相比一般不会小于 65%、大于 135%；多条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值，与振型分解反应谱法计算结果相比一般不会小于 80%、大于 120%。

可采用目标反应谱配合实际强震记录地震动加速度时程的相位谱合成，在可能的条件下尽量考虑不同地震烈度下持续时间的差异。

现有的人工模式地震动加速度合成方法是采用强度包线进行时域的强度调整，忽略了实际强震记录的频率非平稳特征，在考虑结构的非线性力学行为时，输入地震动的频率非平稳特征可能会对计算结果产生较大的影响。

采用大量强震记录加速度时程作为输入，对不同类型结构的时程响应分析结果的统计表明，当选用不少于 2 组强震记录和 1 组人工模拟的加速度时程作为输入，计算的平均地震效应值不小于大样本容量平均值的保证率在 85% 以上，而且一般也不会偏大很多。当选用数量较多的地震波，如 5 组实际记录和 2 组人工模拟时程曲线，则保证率更高。由于实际强震

记录的反应谱很难满足设计反应谱的要求，可以参考日本的做法，采用目标反应谱结合实际强震记录相位加以调整，形成修正的强震记录时程曲线，5组强震记录中可以采用2组此类修正时程曲线。

5.2.5 底部剪力法一般用于分析高度不超过24m，上部结构以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的隔震建筑。质点*i*表示第*i*层。

5.2.6 结构的动力特征理论上应该包括质量矩阵 **M**、阻尼矩阵 **C**、刚度矩阵 **K** 三方面的影响因素，为了简化处理，同时考虑传统结构中阻尼部分影响较小，长期以来采用只考虑质量矩阵 **M**、刚度矩阵 **K** 的振型分解方法，即所谓的实振型分解方法。当 **C** 矩阵的影响不可忽略时——比如隔震结构中隔震层的等效阻尼比通常会在15%以上，大概是上部结构的3倍以上，再采用实振型分解法是不合理的。复振型分解法同时考虑了 **M**、**C**、**K** 矩阵的影响，得到的振型周期、振型阻尼比是结构体系真实的动力特征，在理论上对非比例阻尼问题的处理是精确的；实振型分解法是复振型分解法的一种特例，当 **C** 矩阵满足比例阻尼假定时由复振型分解法可以退化到实振型分解法；另外，从已有的分析结果看，隔震层阻尼比越大、上部结构层数越多的隔震建筑复振型分解法与实振型分解法的计算结果相差越大，最高可达35%以上，强迫解耦的实振型分解反应谱法结果小于复振型反应谱法，这是偏于不安全的；工具方面，现有的计算程序已有实现复振型分解反应谱方法的功能。

本标准的振型分解反应谱法默认是基于考虑阻尼矩阵的复振型分解的反应谱法，基本公式的形式与不考虑阻尼矩阵的振型分解反应谱法是一致的，区别在于振型参与系数和振型耦联系数的计算公式。

当隔震层阻尼比较小时，可采用强迫解耦振型分解反应谱法进行简化计算，其基本公式同本标准式(5.2.6-1)～式(5.2.6-7)，振型参与系数和振型耦合系数参见本标准附录 E。

本条中第1款第2)项给出的是复振型分解反应谱法的平方和开平方组合形式(SRSS)，当不满足相邻振型周期比小于0.85的条件时，应采用完全平方组合形式(CQC)，即本标准式(5.2.6-4)。此外，本标准复振型分解反应谱法组合公式都是针对地震作用效应的标量形式，当为向量形式时，则公式中的乘积、平方对应于各个元素的乘积和平方。

5.2.7 线性组合法：分别计算重力荷载和地震作用下结构的响应，并将计算结果线性叠加。非线性组合法：先采用非线性重力荷载工况加载，保持重力荷载恒定，再施加不同工况地震作用。

5.3 上部结构

5.3.3~5.3.5 层间位移角是控制结构性态的重要指标,层间位移角限值保证结构具有足够刚度和地震安全性,国外在建筑结构抗震标准研究比较成熟且震害经验比较丰富的国家包括日本、美国等。日本的混凝土结构以框架结构为主,日本建筑学会出版的《隔震结构设计指南》(《免震構造設計指針》2008 年版)中,认为混凝土框架结构处于弹性状态的层间位移角限值为 1/300,处于不屈服状态的层间位移角限值为 1/200。美国国际规范委员会(International Code Council)出版的规范 IBC2012(International Building Code 2012)和美国土木工程协会(American Society of Civil Engineers)出版的 ASCE 7-10(Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures),针对结构的层间变形验算也提出了要求,将其与我国现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)的相应规定进行逻辑上的统一后基本可以得出,美国规范 ASCE 7-10 建议的混凝土框架结构的弹性层间位移角限值在 1/400 左右,混凝土的剪力墙、框架-剪力墙结构、框架-核心筒的弹性层间位移角限值在 1/500 左右。近年来,国内外专家学者对建筑结构抗震性态进行了大量研究,有不少研究结果表明,现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)规定的层间位移角限值,与国际上较权威的国家级标准相比偏于保守。

表 5.3.3 规定的弹性层间位移角限值综合考虑了近年的相关研究结果,在现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)的基础上略有放松。表 5.3.4 规定的弹塑性层间位移角限值参考了近年的相关研究和试算结果,使上部结构在罕遇地震作用下的损坏控制在可修复范围。表 5.3.5 给出的上部结构在极罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值,与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)对罕遇地震下结构的变形的限值规定基本相当。

5.4 隔震层

5.4.3 在长期荷载(重力荷载代表值)作用下,高阻尼橡胶支座按照建筑抗震设防类别的不同,分别设定不同的竖向压应力限值。

在罕遇地震作用下,高阻尼橡胶支座将会在重力荷载代表值产生的竖向压应力基础上叠加较大的竖向拉、压应力,因此,需要分别设定不同的高阻尼橡胶支座的竖向压应力限值,以及高阻尼橡胶支座的竖向拉应力限值。最大压应力和最小压应力的计算参照下列公式:

$$\text{最大压应力组合} = 1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} + 1.0 \times \text{罕遇水平地震作用产生的最大轴力} + 0.4$$

×竖向地震作用产生的轴力

最小压应力组合=1.0×恒载-1.0×罕遇水平地震作用产生的最大轴力-0.5×竖向地震作用产生的轴力

多层尤其是高层建筑隔震设计过程中，应重点关注高阻尼橡胶支座受拉问题。罕遇地震作用下，高阻尼橡胶支座的最大拉应力应满足本标准前文规定的数值，且出现拉应力的支座数量不宜过多，限制在不超过支座总数的 30% 以下。

5.4.6 在罕遇地震作用下，高阻尼橡胶支座的水平位移限值取决于支座直径的 0.55 倍和各层橡胶厚度之和 3.0 倍二者的较小值，考虑极罕遇地震作用时，水平位移限值为橡胶层总厚度的 4.0 倍。

5.4.8 抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

5.5 下部结构

5.5.3 对于隔震结构体系的稳定性来说，隔震层以下的结构应具有较高的刚度。在设防地震和罕遇地震作用下，上部结构一般具有明显的隔震效果，而下部结构的减震效果相对不明显。在罕遇地震作用下，对下部结构的弹塑性层间位移角限值要求与上部结构相当，是一种比较合理的设计思路。在设计条件许可的情况下，下部结构也可采用更加严格的弹塑性层间位移角限值，以提高隔震结构体系的整体稳定性和安全性。

底盘中直接支撑隔震塔楼的结构及其相邻一跨的相关构件应为关键构件，底盘中其他竖向构件可取为普通竖向构件。

地下室无开大洞时，可按整体地下室模型进行层间位移角验算。另外应区分，隔震层以下的地下室，可不受表 5.5.3-2 的限值规定；而隔震层以下地面以上的结构，应符合表 5.5.3-2 的限值规定。

6 隔震工程施工

6.1 一般规定

6.1.2 施工过程和质量验收所使用的计量器具，应按照计量法的要求定期到技术监督局授权的计量检定机构进行检定，以保证所测数据准确性和有效性。每次测量前还应对各类仪器设备进行校验和检查，确保仪器状态正常。

6.1.3 施工单位应制定详细的支座安装的施工流程，并应由设计单位、监理单位、建设单位相关人员确认。

6.2 高阻尼橡胶支座

6.2.1~6.2.2 高阻尼橡胶支座下支墩(柱)和下连接板安装是建筑隔震工程施工的难点和重点。关键是下连接板的定位和板下混凝土浇筑质量。下支墩(柱)的节点处钢筋密集，常与下连接板的套筒或锚筋位置冲突，施工方案须充分研究。必要时与设计人员沟通，根据现场和实际情况，出具设计变更文件。为保证混凝土浇筑质量和支座密贴，建议采用二次浇筑法并且第二次浇筑的支座下混凝土强度宜提高一个等级。

6.2.4 本条规定了高阻尼橡胶支座相邻上部结构施工的基本要求。高阻尼橡胶支座相邻上部结构的模板和混凝土工程施工时，混凝土的振捣可能导致支座发生变形，隔震层发生水平位移，对隔震建筑的施工及使用是不利的。因此，应对隔震层采取临时固定措施，不应发生水平位移。

6.3 柔性连接

6.3.1 采用柔性连接的设备配管、配线，地震时管道的柔性连接部位不发生破坏，避免发生次生灾害和丧失使用功能。

6.3.2 本条为强制性条文。重点强调，燃气、给水等类型管道柔性连接地震时不应发生破坏，避免重要功能丧失或引发火灾等次生灾害。

隔震建筑中穿越隔震层的燃气、有害介质等管道，如果柔性连接措施不到位，地震时发生破坏，将会造成介质泄漏，引发火灾、爆炸等严重的次生灾害，后果严重。因此，对于该类型管道的柔性处理措施进行强制性规定，必须采用柔性接头或柔性连接段等可靠性高的处理措施，保证地震时隔震建筑的管道能够发挥正常使用功能。

6.3.3 具有足够伸展长度的柔性管线在地震时能够不阻碍隔震层水平运动，同时不会发生破

坏而导致次生灾害的发生。

6.4 隔离缝

6.4.1 本条为强制性条文。确保地震时，水平隔震缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动。

隔震层的上、下部结构之间应按照设计要求设置完全贯通的水平隔震缝，并采用柔性材料进行填充。在地震时，才能保证隔震建筑的正常使用功能。在施工过程中，往往忽视水平隔震缝的处理，不能保证完全贯通或密闭采用刚性材料封死等情况。缝高的高度要求是为了防止支座沉降或构件变形导致隔震层的上、下部结构相互接触，而对建筑物的安全带来隐患。因此，必须强调水平隔震缝完全贯通的问题。

6.4.2 本条为强制性条文。确保地震时，竖向隔震缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动。

竖向隔震缝，也称为隔震沟。设置一定宽度的隔震沟，对于隔震作用发挥至关重要。如设置不满足要求，将在地震或罕遇地震时上部结构与周边建筑或阻碍物发生碰撞，产生破坏冲击力，限制隔震效用发挥，甚至危及建筑物安全。施工过程中，常常发生隔震沟宽度预留不足或空间被填充封死。施工过程中必须保证隔震沟宽度和空间清空，并进行重点检查。

6.4.3 工程实践中，门厅入口、楼梯扶手等细部措施容易忽略，地震时会导致破坏，影响人员疏散。

7 隔震工程验收

7.1 一般规定

7.1.1 产品在进场时应具有质量合格证。

支座进场时，应由厂家提供产品的出厂检验报告和型式检验报告，且应符合本规程第4章及设计文件的规定。其他必要证明文件包括业主要求提供的产品认证证书等。

7.1.4 建筑隔震工程的参建各方应联合对支座及其连接件、预埋件等进行进场验收。

7.1.5 由于隔震技术的特殊性，隔震构造与传统抗震构造有较大区别，为保证隔震工程质量，应要求隔震设计、咨询单位全程跟踪。

7.1.7 本条为强制性条文。隔震子分部工程通过验收后，尚可能有上部结构施工、设备安装、室外工程等其他分部（子分部）的后续工程。如果后续工程实施时处理不当，可能会发生如竖向隔震沟填充、水平隔震缝堵塞、柔性连接破坏等情况，导致隔震缝和柔性连接措施不能正常发挥作用，造成较大安全隐患。因此，强调在建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收中，各方尚应对隔震缝和柔性连接等按照相关要求验收检查。

7.2 检验批

7.2.1 支座作为支承建筑物上部结构和地震时发挥隔震作用的关键结构元件，必须严格进行进场检验。其中，剪切性能要求对试验加载最低频率进行了专门规定，以保证试验检测结果具有实用价值。相关标准编制时国内试验条件尚不具备、未对频率作强制性要求或要求过低（仅为0.001Hz），与支座地震时工作状态相差甚远。日本相关规定为不低于0.3Hz，即考虑隔震周期不低于3s。考虑现在国内试验条件和高层建筑隔震应用时，隔震周期常常大于3s，为保证试验具有实际验证作用，特提出压剪试验加载频率的明确规定。另一方面，水平极限变形能力是检测支座在较大地震时能否可靠有效发挥作用的重要指标，同时也是检验支座生产质量控制能力的关键性指标，亦作明确要求，以区别于出厂检验要求，并对支座性能进行高标准复验。支座见证检验技术要求应符合本规程第4章。

7.2.4 相关规范对支座连接件尺寸偏差已有相应规定，本规范结合工程要求和国内产品情况，特对其进行从严要求。

7.3 分项工程验收

7.3.1 高阻尼橡胶隔震支座的验收

1 支座的型号、数量、安装位置涉及隔震建筑日常使用和震时安全，不允许出现任何偏差。

8 支座下支墩（柱）是隔震层的重要构件，不应出现蜂窝、麻面等缺陷。在混凝土浇筑完毕拆模后，当出现蜂窝、麻面时，应及时采取处理措施进行修补。

7.3.2 隔震层构（配）件及隔离缝的验收

3 设计文件应明确要求穿越隔震层的重要管道应采用柔性连接或柔性连接段进行连接。施工前应检查柔性连接或柔性连接段的质量和性能保证书以及必要的试验证明报告，确认其满足设计文件的水平位移要求。

4 设计文件应明确要求设置完全贯通的、具有一定高度的水平隔震缝以及一定宽度的竖向隔震缝。施工时应精心处理，验收时可通过观察、检查施工记录、塞尺测量，米尺量测等手段检查是否满足相关设计要求，确认地震时上部结构的相对水平变形不受阻碍。

7.4 子分部工程验收

7.4.1 本条列出了建筑隔震子分部工程施工质量验收时应提供的主要文件和记录，是确保工程质量的重要证据。反映了从基本的检验批开始，贯彻于整个施工过程的质量控制结果，落实了过程控制的基本原则。

7.4.2 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定，给出了当施工质量不符合要求时的处理方法。这些不同的验收处理方式是为了适应我国目前的经济技术发展水平，在保证结构安全和基本使用功能的条件下，避免造成不必要的经济损失和资源浪费。

7.4.3 建筑隔震工程存在严重缺陷，因为涉及结构安全，经返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的，严禁验收。

建筑隔震子分部工程是建筑隔震工程的重要部分，关系到建筑本身的安全性，必须严格按照设计要求进行施工。支座、管道的柔性连接等产品必须符合本规范的各项要求，如有不符，应及时进行检修；隔震支墩（柱）等部位的施工，如未达到设计要求，也应及时采取措施进行处理以期达到验收要求。否则不能通过验收。

7.4.4 本条提出了对验收文件存档的要求。这不仅是为了落实在设计使用年限内的责任，而

且在有必要进行维护、修理、检测、加固或改变使用功能时，可以提供有效的依据。