

佛山市

建筑工程隔震应用技术规程

(印发稿)

二〇一九年十二月

目 录

1 总则.....	1
2 术语、符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 主要符号.....	3
3 基本规定.....	9
3.1 一般要求.....	9
3.2 场地、地基和基础.....	9
3.3 试验与观测.....	9
4 地震作用与结构验算.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 设计反应谱和地震动输入.....	10
4.3 地震作用计算及结构验算.....	14
4.4 隔震层设计.....	17
5 隔震支座性能参数.....	20
5.1 一般要求.....	20
5.2 支座设计压应力和设计剪应变.....	20
5.3 支座形状系数.....	21
5.4 支座压缩性能.....	22
5.5 支座水平性能.....	22
5.6 支座极限性能.....	23
6 隔震支座力学性能试验项目和要求.....	26
6.1 一般要求.....	26
6.2 一般力学性能试验项目和要求.....	27
6.3 剪切性能相关性.....	30
6.4 压缩性能相关性.....	30
6.5 相关性能要求.....	31
6.5 耐久性性能要求.....	33
7 检验规则.....	38
7.1 一般要求.....	38
7.2 型式检验.....	38
7.3 出厂检验.....	38
7.4 见证检验.....	39
7.5 进场验收.....	39
7.6 支座外观质量和尺寸偏差检查.....	40
8 施工.....	42
8.1 一般规定.....	42
8.2 支座安装.....	44
8.3 阻尼器安装.....	46
8.4 柔性连接安装.....	46
8.5 隔震缝.....	46
9 工程验收.....	48
9.1 一般规定.....	48
9.2 支座安装.....	48
9.3 阻尼器安装.....	49
9.4 柔性连接安装.....	50
9.5 隔震缝.....	50
9.6 建筑隔震子分部工程验收.....	51
10 隔震建筑维护.....	52
10.1 维护要求.....	52
10.2 维护责任.....	52
10.3 标识设置.....	52

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，实行以预防为主防震减灾方针，使建筑物采用隔震技术后，提高建筑安全性，保障震后设防烈度下建筑使用功能基本不中断，避免人员伤亡和次生灾害，减小地震灾害产生的社会影响和经济损失，制定本规范。

1.0.2 本规程适用于佛山地区抗震设防烈度为 6 度及以上地区新建和既有建筑抗震加固工程采用隔震结构的设计、施工、验收和维护。

1.0.3 按本规程设计与施工的隔震建筑，除有特殊要求外，其基本抗震设防目标是：当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震时，隔震建筑基本完好；当遭受罕遇地震时，可能发生损坏，经修复后可继续使用；当遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.4 隔震建筑的结构构件、非结构构件和附属设备的使用功能有专门要求时，除满足基本设防目标外，尚应满足结构构件、非结构构件和附属设备的抗震性能设防要求。

*1.0.5 重点设防类、特殊设防类建筑或其他有特殊要求的建筑，根据功能要求，可采用高于 1.0.3 条的基本设防目标。既有建筑采用隔震技术加固时，主体结构抗震设防目标应高于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定，重点设防类、特殊设防类建筑加固目标应符合 1.0.3 条的基本设防目标。

1.0.6 一般情况下，建筑的抗震设防烈度或地震动参数，应采用《中国地震动参数区划图》确定的地震基本烈度或地震动参数。按照国家规定开展了地震安全性评价的建设工程（含区域性地震区划、地震小区划），可按相关成果进行抗震设防。

1.0.7 隔震建筑宜采用性能化设计。

1.0.8 隔震建筑结构设计、施工、验收和维护，除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行相关标准的有关规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 隔震建筑 isolated building

在建筑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。隔震房屋和隔震结构的定义与此相同。

2.1.2 隔震层 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、附属装置及相关的支承或连接构件。

2.1.3 上部结构 superstructure above the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以上的部分。

2.1.4 下部结构 sub-structure 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 隔震结构等效阻尼比 equivalent damping ratio of the isolated structure

隔震结构往复运动时，相对于隔震层（或隔震支座）某特定水平位移，与隔震层（或隔震支座）所耗散的能量相对应的阻尼比。

2.1.6 隔震结构等效刚度 equivalent stiffness of the isolated structure

隔震结构往复运动时，相对于隔震层（或隔震支座）某特定水平位移，隔震层（或隔震支座）所承受的荷载与相应位移的比值。其值可取荷载—位移曲线在对应位移点的割线刚度。

2.1.7 隔震结构阻尼装置 damping device of the isolated structure

设置在隔震层的吸收并耗散地震输入能量而使隔震层振动位移反应衰减的装置。

2.1.8 抗风装置 wind-resistant device

隔震结构中抵抗风荷载的装置。可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.9 抗拉装置 tension-resistant device

隔震结构中抵抗拉应力的装置。隔震支座出现拉应力时采用。

2.1.10 限位装置 stopper

限制隔震层在最不利状态下产生超过水平容许位移的装置。

2.1.11 摩阻力 frictional resistance

弹性滑板隔震支座和摩擦摆隔震支座的摩擦阻力。

2.1.12 橡胶隔震支座 laminated rubber isolation bearing

在地震区，用于房屋、桥梁或其他结构隔震的橡胶支座，包括天然橡胶支座（LNR）、铅芯橡胶支座（LRB）、高阻尼橡胶支座（HDR）。

2.1.13 弹性滑板隔震支座（ESB） elastic slide bearing

由弹性材料与摩擦滑板组成的隔震支座。

2.1.14 摩擦摆隔震支座（FPS） friction pendulum system

具有特定形状的固体块在弧面板中摩擦摆动的隔震支座，通过滑动界面摩擦消耗地震能量。

2.1.15 弹簧隔震支座（SI） spring isolator

具有隔离并衰减震动功能的钢制弹簧支撑元件。

2.1.16 底部剪力比 base shear ratio

设防烈度地震作用下，建筑结构隔震后与隔震前隔震层上部结构底部剪力之比。

2.1.17 屋盖隔震 roof isolation

隔震层设置在建筑物顶层屋盖与柱顶之间的隔震形式。

2.1.18 天然橡胶隔震支座（LNR） linear natural rubber bearing

支座中的弹性材料为天然橡胶的橡胶隔震支座

2.1.19 铅芯橡胶隔震支座（LRB） lead rubber bearing

支座中含有铅芯的橡胶隔震支座

2.1.20 高阻尼橡胶隔震支座（HDR） high damping rubber bearing

支座中的弹性材料为高阻尼橡胶的橡胶隔震支座

2.2 主要符号

2.2.1 作用和作用效应

F_{ck} ——结构总水平地震作用标准值；

F_{ik} ——质点*i*（或第*i*层）的水平地震作用标准值；
 G ——上部结构总重力荷载代表值；
 G_i 、 G_j ——分别集中于第*i*、*j*质点（楼层）重力荷载代表值；
 F_{ji} ——*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值；
 X_{ji} 、 Y_{ji} ——分别为*j*振型*i*质层在*x*方向、*y*方向的水平相对位移；
 S_{EK} ——地震作用标准值的组合效应；
 S_i 、 S_j ——第*i*、*j*振型水平地震作用效应；
 S_x 、 S_y ——分别为*x*向、*y*向单向水平地震作用效应；
 F_{xji} 、 F_{yji} 、 F_{rji} ——分别为*j*振型*i*质点*x*方向、*y*方向及转角方向的水平地震作用标准值；
 φ_{ji} ——*j*振型*i*层的相对扭转转角；
 F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值；
 F_{vi} ——质点*i*的竖向地震作用标准值；
 G_{eq} ——结构等效总重力荷载；
 S ——荷载组合的效应设计值；
 S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应；
 S_{Qk} ——楼面活荷载标准值的效应；
 S_{Wk} ——风荷载标准值的效应；
 S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
 S_{Ehk}^* ——水平地震作用标准值的效应；
 S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的效应；
 R ——构件承载力设计值；
 R_k ——构件承载力标准值；
 V_{Eki} ——第*i*层对应于水平地震作用标准值的剪力；
 V_{Rw} ——抗风装置的水平承载力设计值；
 V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值；
 V_c ——隔震层在罕遇地震作用下的水平剪力；

Q ——隔震支座水平剪力；
 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；
 Δu_p ——罕遇地震、极罕遇地震作用下弹塑性层间位移；
 $[\theta_c]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值；
 u_{hi} ——第 i 个隔震支座的水平位移；
 u_h ——隔震层的水平位移；
 $[u_{hi}]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；
 u_{hci} ——罕遇地震、极罕遇地震下第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；
 u_{hc} ——罕遇地震作用下隔震层水平位移；
 F_h ——隔震层的水平剪力；
 $\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或逆时针方向组合弯矩设计值之和；
 $\sum M_b$ ——节点左、右梁端截面逆时针或顺时针方向组合弯矩设计值之和；
 M_c^t 、 M_c^b ——分别为柱上、下端顺时针或逆时针方向截面组合的弯矩设计值；
 M_b^l 、 M_b^r ——分别为梁左、右端逆时针或顺时针方向截面组合的弯矩设计值；
 V_{Gb} ——在重力荷载代表值作用下按简支梁计算的梁端截面剪力设计值；
 V ——底部加强部位剪力墙截面剪力设计值；
 V_w ——底部加强部位剪力墙截面考虑地震作用组合的剪力计算值；
 N ——钢筋混凝土柱考虑设防地震作用组合的轴压力设计值；
 N_{GE} ——钢筋混凝土柱在重力荷载代表值作用下的轴压力设计值；
 N_E ——钢筋混凝土柱在设防地震作用下的轴压力设计值；
 D ——永久荷载；
 L ——活荷载；
 E ——极限安全地震作用；
 V_{GE} ——重力荷载代表值作用下的构件剪力；
 V_{Ek}^* ——地震作用标准值的构件剪力；

f_{spk} —— 混凝土轴心抗压强度标准值；

f_{spk} —— 剪力墙端部暗柱中型钢或墙内钢板的强度标准值。

2.2.2 材料性能

ξ_{eq} —— 隔震层等效阻尼比；

K_{eq} —— 隔震层水平等效刚度；

ξ_j —— 第 j 隔震支座由试验确定的等效阻尼比；

K_j —— 第 j 隔震支座(含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度；

f_c —— 混凝土轴心抗压强度设计值；

K_r —— 天然橡胶隔震支座水平刚度设计值；

G_r —— 橡胶剪切模量；

K_y —— 铅芯橡胶隔震支座屈服后水平刚度设计值；

K_r —— 由橡胶部分提供的水平刚度；

K_p —— 由铅芯部分提供的水平刚度；

G_p —— 铅芯剪切模量；

γ_h —— 叠层橡胶支座水平剪切应变；

σ_p —— 隔震支座中铅芯剪切屈服应力；

C_{Qy} —— 隔震支座中水平屈服剪力调整系数；

K_0 —— 隔震支座屈服前水平刚度设计值；

K_{eq} —— 铅芯橡胶隔震支座等效水平刚度；

Q_y —— 隔震支座水平屈服力设计值；

W —— 支座承受的竖向荷载；

v —— 滑移速度；

σ —— 压应力；

K_y —— 摩擦摆隔震支座屈服后水平刚度设计值。

2.2.3 几何参数

r_i —— i 层的转动半径；

h —— 计算楼层层高；

e —— 偏心距；

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；

H_n ——柱的净高；

H_i ——房屋第 i 层距室外地面的高度；

l_n ——梁的净跨；

A ——钢筋混凝土柱全截面面积；

A_r ——叠层橡胶横截面积（不含橡胶层中间开孔面积）；

t_r ——橡胶层总厚度；

A_p ——铅芯横截面积；

R_s ——摩擦摆隔震支座滑移面球半径；

A_a ——剪力墙端部暗柱中型钢或墙内钢板的截面面积；

A_{sp} ——剪力墙墙内钢板的横截面面积。

2.2.4 计算系数

α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值；

γ ——曲线下降段的衰减指数；

η ——阻尼调整系数；

ζ ——阻尼比；

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；

α_j —— j 振型周期的地震影响系数；

γ_j —— j 振型的参与系数；

γ_{ij} ——计入扭转的 j 振型的参与系数；

ρ_{ji} —— j 振型与 i 振型的耦联系数；

$\alpha_{v,\max}$ ——竖向地震影响系数的最大值；

γ_0 ——结构重要性系数；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_Q ——楼面活荷载分项系数；

γ_w ——风荷载的分项系数；
 γ_L ——考虑结构设计使用年限的荷载调整系数；
 ψ_Q 、 ψ_w ——分别为楼面活荷载组合值系数和风荷载组合值系数；
 γ_{Eh} ——为水平地震作用分项系数；
 γ_{Ev} ——为竖向地震作用分项系数；
 λ ——水平地震剪力系数；
 η_i ——第 i 个隔震支座的扭转影响系数；
 C ——既有建筑水平地震作用调整系数；
 β ——隔震结构底部剪力比；
 ξ ——轴压比调整系数；
 η_c ——柱端弯矩增大系数；
 $\alpha_1(\zeta_{eq})$ ——罕遇地震作用下的地震影响系数值；
 C_{Ky} ——屈服后隔震支座水平刚度调整系数；
 α ——隔震支座屈服前与屈服后水平刚度设计值之比；
 μ_s ——滑移面摩擦系数；
 ζ_{eq} ——铅芯橡胶隔震支座等效阻尼比。

2.2.5 其他

T ——隔震结构自振周期；
 T_g ——特征周期；
 n ——结构计算总层数；
 μ ——钢筋混凝土柱考虑设防地震组合作用的轴压比；
 λ_s ——近场系数；
 t_0 ——修正前温度；
 t ——修正后温度；
 S_1 ——隔震支座第一形状系数；
 S_2 ——隔震支座第二形状系数。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 隔震建筑的抗震设防类别应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的规定确定。特殊设防类建筑宜按本地区设防烈度提高一度的要求进行设计。

3.1.2 隔震建筑结构适用的高宽比和最大高度宜满足相应抗震结构类型的要求；对有特殊要求的结构应进行专门研究和论证，并采取有效安全措施。

3.1.3 风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力不宜超过结构总重力荷载代表值的 10%；

3.1.4 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；

*3.1.5 建筑隔震结构，应按多遇地震、设防地震、罕遇地震三水准进行设计。除本规范特别规定外，在多遇地震下应进行上部结构截面抗震验算和变形验收；在设防地震作用下，应进行隔震支座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支座的变形验算，并对隔震支座的承载力进行验算；在极罕遇地震作用下，对重点设防类、特殊设防类建筑应进行隔震支座的变形验算。

3.2 场地、地基和基础

3.2.1 隔震建筑的场地宜选择对抗震有利地段，避开不利地段，当无法避开时应采取有效的措施。不应选择危险地段。

3.2.2 建筑场地宜为 I、II、III 类，当场地为 IV 类时，应采取有效措施。

3.2.3 隔震建筑的地基应稳定可靠，对不满足要求的地基，应进行详细的结构分析并采取可靠的措施。

3.2.4 隔震建筑地基基础的设计和抗震验算，应满足本地区抗震设防烈度按隔震结构地震作用计算的要求。

3.2.5 隔震建筑地基基础的抗震措施，应满足本地区抗震设防烈度相应的抗震措施要求。对特殊设防类建筑、重点设防类建筑的抗液化措施，应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

3.3 试验与观测

3.3.1 对甲类建筑，体型复杂或有特殊要求的隔震建筑，宜采用结构模型的模拟地震振动台试验对隔震方案进行验证。

3.3.2 对较重要及有特殊要求的隔震建筑以及大型消能减震公共建筑，宜设置地震反应观测系统。

4 地震作用与隔震设计

4.1 一般规定

4.1.1 隔震结构的地震作用，应符合下列规定：

- 1 一般情况下，应在至少包含两个主轴方向的多个方向上分别计算建筑结构的水平地震作用，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 对平面不规则建筑，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

4.1.2 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 隔震层上部和下部结构可选多质点系、空间杆系、空间杆—墙板元（壳元）、连续体及其它组合有限元等计算模型。
- 3 隔震层的隔震支座和阻尼器应选择能正确反映其特性的计算模型。

4.1.3 隔震结构的地震作用计算，宜采用下列方法：

- 1 底部剪力法：高度不超过 24m、上部结构以剪切变形为主、质量和刚度沿高度分布比较均匀且隔震支座类型单一的隔震建筑，可采用底部剪力法。
- 2 振型分解反应谱法：除第 1 款之外的隔震结构，宜采用振型分解反应谱法。
- 3 时程分析法：对于高度大于 60 米，体型不规则，隔震层隔震支座、阻尼装置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多遇地震作用的补充计算；当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取 7 组及 7 组以上的时程曲线时，计算结果可取时程法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。计算罕遇地震下结构变形时，建议采用弹塑性时程分析法。

4.2 设计反应谱和地震动输入

4.2.1 隔震结构的地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定。其水平地震影响系数最大值应按表 4.2.1-1 采用；特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 4.2.1-2 采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加 0.05s。

表 4.2.1-1 水平地震影响系数最大值 α_{\max}

地震影响	6	7	8
多遇地震	0.04	0.08	0.16
设防地震	0.12	0.23 (0.34)	0.45 (0.68)
罕遇地震	0.28	0.50 (0.72)	0.90 (1.20)

极罕遇地震	0.36	0.70 (1.00)	1.35 (2.00)
-------	------	-------------	-------------

注：设计地震加速度峰值相当于《中国地震动参数区划图》中的地震动峰值加速度。

表 4.2.1-2 特征周期 T_g (s)

设计地震分组 场地类别	I_0	I_1	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.35	0.50	0.65	0.85
第三组	0.35	0.50	0.70	0.90	1.10

方案一：（广东省标准：建筑工程混凝土结构抗震性能设计规程）

4.2.2 隔震结构地震影响系数曲线(图 4.2.2)的阻尼调整和形状参数应符合下列要求：

1 当隔震结构的阻尼比为 0.05，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

- 1) 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。
- 2) 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值 (α_{max})。
- 3) 第一下降段，自特征周期至 T_D 区段。
- 4) 第二下降段，自 T_D 区段至 10s 区段。

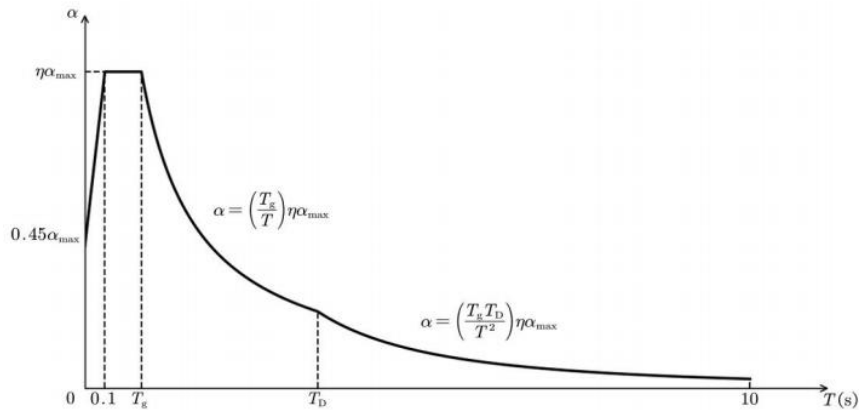


图 4.2.2 地震影响系数曲线

图中： α ---地震影响系数； α_{max} ---地震影响系数最大值； T ---隔震结构自振周期；

T_g ---特征周期， η --阻尼调整系数。

a) 水平地震影响系数最大值 α_{max} 应考虑场地类别的影响，按照下式计算：

$$\alpha_{max} = \beta_{max} A / g$$

β_{max} ——结构动力反应系数的最大值，场地类别 I_0 、 I_1 类取 2.00，II 类取 2.25，III 类取

2.50, IV类取2.75;

A ——地震加速度峰值, 按照4.2.2取值。

g ——重力加速度。

b) 特征周期 T_g 按照4.2.1-1取值。

c) 曲线下降段拐点TD取值3.5s。

4.2.3 当隔震结构的阻尼比不等于0.05时, 地震影响系数曲线的分段情况与本款第一条相同, 其阻尼调整系数应符合下列规定:

$$\eta = \begin{cases} 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.1 + 1.2\zeta} (0.1 \leq T \leq 3.5s) \\ 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.1 + [1.2 + 1.25(T - 3.5)]\zeta} (3.5 \leq T \leq 3.7s) \\ 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.1 + 1.45\zeta} (3.7 \leq T \leq 10.0s) \end{cases}$$

式中: η —曲线下降段的衰减指数;

ζ —阻尼比, 取隔震结构振型阻尼比。

方案二 (在编国标: 建筑隔震设计标准)

4.2.2 隔震结构地震影响系数曲线(图4.2.2)的阻尼调整和形状参数应符合下列要求:

1 当隔震结构的阻尼比为0.05, 地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按1.0采用, 形状参数应符合下列规定:

- 1) 直线上升段, 周期小于0.1s的区段。
- 2) 水平段, 自0.1s至特征周期区段, 应取最大值(α_{\max})。
- 3) 曲线下降段, 自特征周期至6s区段, 衰减指数应取0.9。

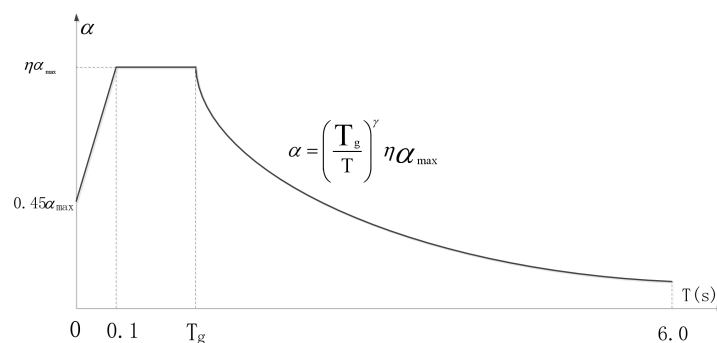


图4.2.2 地震影响系数曲线

图中： α ---地震影响系数； α_{\max} ---地震影响系数最大值； T ---隔震结构自振周期；

T_g ---特征周期， γ ---曲线下降段的衰减指数， η ---阻尼调整系数。

4.2.3 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 曲线应按图 4.2.2 确定；但形状参数，应按下列规定调整：

1 曲线下降段的衰减指数，按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta}$$

(4.2.3-1)

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，按下式确定：

$$\eta = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta}$$

(4.2.3-2)

式中： η ---阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

4.2.4 隔震结构计算分析方法：一般情况下，宜采用时程分析法在设防烈度地震作用下计算隔震结构水平向减震系数，隔震支座力学模型以试验所得滞回曲线作为计算依据；输入加速度时程曲线应根据场地类别和设计地震分组选取实际强震记录和人工模拟加速度时程曲线，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。实际强震记录地震动加速度时程曲线在对应于隔震结构主要振型对应周期点附近时，每条实际强震记录对应的反应谱与设计反应谱的谱值最大偏差不超过 20%；所合成的人工模拟加速度时程曲线对应的反应谱与设计反应谱在对应于隔震结构各周期点的偏差平均值不宜大于 5%，最大偏差不宜大于 10%。在人工模拟地震动加速度合成时，宜考虑不同阻尼比对反应谱的影响和天然相位信息的非平稳特征对结构响应的影响。设计地震加速度峰值按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 地震加速度最大值 (cm/s^2)

地震影响	6	7	8
多遇地震	18	35 (55)	70
设防地震	50	100 (150)	200
罕遇地震	125	220 (310)	400
极罕遇地震	0.16g	0.32g (0.46g)	0.60g (0.84g)

注：设计地震加速度峰值相当于《中国地震动参数区划图》中的地震动峰值加速度。

4.3 地震作用计算及结构验算

4.3.1 隔震结构自振周期，应根据隔震层中隔震装置及阻尼装置经试验所得滞回曲线，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、等效阻尼比和隔震结构自振周期：

1 对采用底部剪力法计算并仅采用橡胶隔震支座的建筑隔震结构，隔震层橡胶隔震支座水平剪切位移可按下述取值：设防地震作用时可取 100%，罕遇地震作用时可取 250%；

2 除 1 款以外的建筑隔震结构，可按对应不同地震烈度作用时的设计反应谱进行迭代确定，也可采用时程分析法计算取值。

4.3.2 建筑结构进行隔震设计时，隔震层以上结构的地震作用计算，应符合下列规定：

- 1 对多层结构，水平地震作用可沿高度按重力荷载代表值分布。
- 2 隔震层以上结构的水平地震作用应根据水平向减震系数确定。
- 3 隔震后的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{\max 1} = \beta \alpha_{\max} / \psi \quad (4.3.2)$$

式中： $\alpha_{\max 1}$ ——隔震后的水平地震影响系数最大值；

α_{\max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值；

β ——水平向减震系数，对于多层建筑，为按弹性计算所得的隔震与非隔震各层层间剪力的最大比值。对高层建筑结构，尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并与层间剪力的最大比值相比较，取二者的较大值；

ψ ——调整系数，一般橡胶支座，取 0.80；支座剪切性能偏差为 S-A 类时，取 0.85；隔震装置带有阻尼器时，相应减少 0.05。

注：支座剪切性能偏差按现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 确定。

4 隔震层以上结构的总水平地震作用不得低于非隔震结构在六度设防时的总水平地震作用，并应进行抗震验算；各楼层的水平地震剪力尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定。

4.3.3 建筑结构进行隔震设计时，应根据预期的竖向承载力、水平向减震系数和位移控制要求，选择适当的隔震装置及抗风装置组成结构的隔震层。隔震层的侧向刚度和阻尼应符合下列规定：

$$K_h = \sum K_j \quad (4.3.3-1)$$

$$\xi_{eq} = \sum K_j \xi_j / K_h \quad (4.3.3-2)$$

式中： K_h ——隔震层水平等效刚度；

K_j ——第 j 隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

ξ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

ξ_j ——第 j 隔震支座由试验确定的等效黏滞阻尼比，设置阻尼装置时，应包括相应的阻尼比；

4.3.4 隔震支座的水平剪力应根据隔震层在罕遇地震下的水平剪力按各隔震支座的水平等效刚度分配；当按扭转耦联计算时，尚应考虑隔震层的扭转刚度。隔震支座对应于罕遇地震水平剪力的水平位移，应符合下列要求：

$$u_i \leq [u_i] \quad (4.3.4-1)$$

$$u_i = \eta_i u_c \quad (4.3.4-2)$$

式中： u_i ——罕遇地震作用下，第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；

$[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；对隔震橡胶支座，不应超过该支座有效直径的 0.55 倍和支座内部橡胶总厚度 3.0 倍二者的较小值；

u_c ——罕遇地震下隔震层质心处水平位移或不考虑扭转的水平位移；

η_i ——第 i 个隔震支座的扭转影响系数，应取考虑扭转和不考虑扭转时 i 支座计算位移的比值；当隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心在两个主轴方向均无偏心时，边支座的扭转影响系数不应小于 1.15。

4.3.5 抗风装置应按下式要求进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (4.3.5)$$

式中： V_{Rw} ——抗风装置的水平承载力设计值。当抗风装置是隔震支座的组成部分时，取隔震支座的水平屈服荷载设计值；当抗风装置单独设置时，取抗风装置的水平承载力，可按材料屈服强度设计值确定；

γ_w ——风荷载分项系数，采用 1.4；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

4.3.6 隔震支座的弹性恢复力应符合下列要求：

$$K_{100} t_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad (4.3.6)$$

式中： K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平等效刚度；

t_r ——隔震支座内部橡胶总厚度。

4.3.7 隔震橡胶支座验算罕遇地震作用下最大压应力和最小压应力时，宜按下列荷载组合计算，也可考虑三向地震作用产生的最不利轴力。

最大压应力组合： $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} \pm 1.0 \times \text{罕遇水平地震作用产生的最大轴压力} + 0.4 \times \text{竖向地震作用产生的轴压力}$ (4.3.7-1)

最大拉应力组合： $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} \pm 1.0 \times \text{罕遇水平地震作用产生的最大轴拉力} - 0.4 \times \text{竖向地震作用产生的轴拉力}$ (4.3.7-2)

4.3.8 隔震房屋抗倾覆验算应符合下列要求：

- 1 隔震房屋抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座拉压承载能力验算。
- 2 进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并按上部结构重力荷载代表值计算抗倾覆力矩，抗倾覆安全系数应大于 1.2。
- 3 上部结构传递到隔震支座的重力荷载代表值应考虑倾覆力矩所引起的增加值。
- 4 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不宜出现不可恢复的变形；其橡胶支座在罕遇地震的水平和竖向地震同时作用下，最大压应力不超过表 4.4.3-1 和表 4.4.3-2 的规定；最大拉应力，对于甲类建筑不应大于 0MPa，对于乙、丙类建筑不应大于 1MPa。当隔震支座拉应力超过规定限值时，应采取有效措施。

5 当隔震层隔震支座出现拉应力时，受拉隔震支座数量应小于隔震支座总数量 30%，或选择用于抗拉的隔震支座。

4.3.9 当房屋内放置有特殊要求的仪器设备而需限制楼层绝对加速度反应时，楼层加速度不应大于在罕遇地震作用下楼层的容许加速度。

4.3.10 上部结构的抗震变形验算应按下列要求进行：

- 1 隔震层以上结构应进行多遇地震的层间位移验算，结构弹性层间位移角限值应符合表 4.3.10-1 的要求；

表 4.3.10-1 隔震层以上结构层间弹性位移角限值

结构类型	多遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/550
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/800
钢筋混凝土剪力墙结构	1/1000
钢结构	1/250

- 2 隔震层以上结构在罕遇地震下的弹塑性层间位移角限值应符合表 4.3.10-2 的要

求。

表 4.3.10-2 隔震层以上结构层间弹塑性位移角限值

结构类型	罕遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/50
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/100
钢筋混凝土剪力墙结构	1/120
钢结构	1/50

4.3.11 隔震层以下的结构和基础应符合下列要求：

1 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行承载力验算。

2 隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层以上结构的相关构件，应满足嵌固的刚度比和隔震后设防烈度下的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。隔震层以下地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值应满足要求表 4.3.11 规定。

表 4.3.11 隔震层以下地面以上结构罕遇地震作用下层间弹塑性位移角限值

下部结构类型	层间弹塑性位移角限值
钢筋混凝土框架结构和钢结构	1/100
钢筋混凝土框架-剪力墙结构	1/200
钢筋混凝土剪力墙结构	1/250

3 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理仍应按本地区抗震设防烈度进行，甲、乙类建筑的抗液化措施应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

4.3.12 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用隔震结构罕遇地震下隔震支座底部的最大剪力、最大轴力和力矩进行承载力验算（图 4.3.12）；其最大轴力 P、最大剪力 V_x 和 V_y（X 和 Y 向）可按以下组合采用：

$$1.2 \times (1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载}) \pm 1.3 \times \text{水平罕遇地震作用} + 0.5 \times \text{竖向地震作用} \quad (4.3.12)$$

隔震支座下支墩顶部产生的弯矩： $M_x = (P \times U_x + V_x \times h) / 2$ ， $M_y = (P \times U_y + V_y \times h) / 2$ ，用于支座连接件的承载力设计；

隔震支座下支墩底部产生的弯矩： $M_x = P \times U_x / 2 + V_x \times (H + h / 2)$ ， $M_y = P \times U_y / 2 + V_y \times (H + h / 2)$ ，用于下支墩的设计；

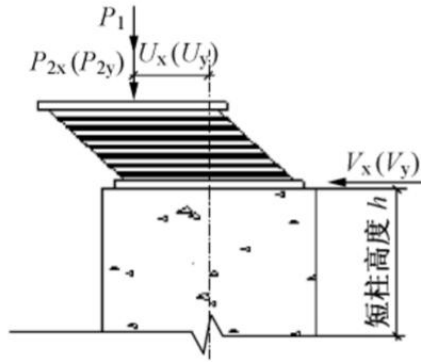


图 4.3.12 隔震层柱墩等承载力验算简图

U_x 、 U_y 为罕遇地震作用下隔震支座产生的水平位移； h 为隔震支座高度， H 为隔震支墩的高度。

4.4 隔震层设计

4.4.1 隔震层设计应符合下列要求：

1 阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体，亦可单独设置。必要时可设置限位装置。

2 同一建筑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应能充分发挥。所有隔震装置的竖向变形应保持基本一致，在重力荷载代表值作用下的竖向变形值与平均变形值的偏差不宜大于 30%。

3 当隔震层采用隔震支座和阻尼器时，应确保隔震层在地震后基本恢复原位，在罕遇地震作用下其总水平弹性恢复力与总水平摩阻力之比不应小于 1.2。

4.4.2 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，其隔震支座应设置在受力较大的位置，隔震支座的规格、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 隔震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 隔震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共同工作，在罕遇地震作用下，不同标高的相邻隔震层的层间剪切位移角不应大于 $1/2000$ 。

5 同一支承处采用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距不应小于安装和更换所需的尺寸。

6 隔震层的阻尼装置或抗风装置宜在建筑中合理布置。

4.4.3 隔震层的橡胶隔震支座的压应力和水平位移，应符合下列要求：

1 橡胶隔震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 4.4.3-1 的规定；滑板隔震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 4.4.3-2 所规定限值。

2 橡胶隔震支座在表 4.6.3-1 所列的压应力下的设计极限水平位移，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；其破坏极限水平位移不应大于支座内部橡胶总厚度 4.0 倍。在罕遇地震下，若有必要，宜采用限位措施。

3 在经历相应设计基准期的耐久性试验后，橡胶隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的±20%；徐变量不应超过支座内部橡胶总厚度的 5%。

表 4.4.3-1 橡胶隔震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：1 竖向压应力设计值应按永久荷载和可变荷载的组合计算，楼面活荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定乘以折减系数；

2 当橡胶隔震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%；

3 外径小于 300mm 的橡胶隔震支座，标准设防类建筑的压应力限值为 10MPa。

表 4.4.3-2 弹性滑板隔震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)	12	15	20

注：1 弹性滑板隔震支座中的橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足该表。

2 隔震支座部外径不宜小于 300mm。

4.4.4 隔震层的隔震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 4.4.4-1 所规定限值，弹性滑板隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力不应超过表 4.4.4-2 所规定限值。弹性滑板隔震支座必须保持受压状态。

表 4.4.4-1 隔震橡胶支座在罕遇地震下的压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
压应力限值 (MPa)	20	25	30

表 4.4.4-2 弹性滑板隔震支座在罕遇地震下的压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
压应力限值 (MPa)	25	30	40

注：弹性滑板隔震支座中的橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足该表。

4.4.5 上部结构的截面抗震验算可依据水平向减震系数，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。

4.4.6 隔震层以上结构的抗震措施，当水平向减震系数大于 0.40 时（设置阻尼器时为 0.38）不应降低非隔震时的有关要求；水平向减震系数不大于 0.40 时（设置阻尼器时为 0.38），可适当降低，但烈度降低不得超过一度，与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

4.4.7 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 隔震层上部首层楼面梁板体系的刚度和承载力宜大于一般楼面的刚度和承载力。

3 隔震支座附近的梁、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。

4 隔震装置（隔震支座和阻尼器）与上部结构之间的连接件，应能传递罕遇地震下支座的最大水平剪力和弯矩。

4.4.8 隔震装置的技术性能和试验方法应符合本规程相关要求。

4.4.9 隔震装置的构造应符合本规程相关要求。

5 隔震支座性能参数

5.1 一般要求

5.1.1 确定支座性能的标准温度为 23℃，确定支座工作温度的范围应考虑支座的实际使用环境。

5.1.2 支座的形状系数、压缩性能和剪切性能、极限性能、钢板、法兰板等，应分别符合本规范的规定。

5.1.3 建筑隔震橡胶支座第一形状系数 S1 不应小于 15，第二形状系数 S2 不应小于 3、不宜小于 5，且 3Tr 不应小于 0.55D。当 S2 小于 5.0 时应降低支座压应力限值：S2 小于 5 且不小于 4 时降低 20%，当 S2 小于 4 且不小于 3 时降低 40%；

5.2 支座设计压应力和设计剪应变

5.2.1 支座的设计压应力和设计剪应变应按下列公式计算：

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{A} \quad (\uparrow 5.2.1-1)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A_c} \quad (\uparrow 5.2.1-2)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P_{\min}}{A} \quad (\text{† 5.2.1-3})$$

$$\gamma_0 = \frac{X_0}{T_r} \quad (\text{† 5.2.1-4})$$

$$\gamma_{\max} = \frac{X_{\max}}{T_r} \quad (\text{† 5.2.1-5})$$

式中：

σ_0 ——设计压应力（N/mm²）；

σ_{\max} ——最大设计压应力（N/mm²）；

σ_{\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；

γ_{\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）。

5.3 支座形状系数

5.3.1 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

$$\text{圆形支座: } S_1 = \frac{d_0}{4t_r} \quad (\text{† 5.3.1-1})$$

$$\text{方形支座: } S_1 = \frac{a}{4t_r} \quad (\text{† 5.3.1-2})$$

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

$$\text{圆形支座: } S_1 = \frac{d_0 - d_i}{4t_r} \quad (\text{式 5.3.1-3})$$

$$\text{方形支座: } S_1 = \frac{4a^2 - \pi d_i^2}{4t_r(4a + \pi d_i)} \quad (\text{式 5.3.1-4})$$

式中： d_i ——内部钢板的开孔直径（mm）。

若孔洞灌满橡胶或铅，则按无开孔支座考虑。

5.3.1 支座的第二形状系数 S_2 应按下列公式计算。

$$\text{圆形支座: } S_2 = \frac{d_0}{T_r} \quad (\text{式 5.3.2-1})$$

$$\text{方形支座: } S_2 = \frac{a}{T_r} \quad (\text{式 5.3.2-2})$$

5.4 支座压缩性能

5.4.1 支座竖向压缩刚度 K_v 可按下式计算：

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} \quad (\text{式 5.4.1})$$

式中： E_c ——修正压缩弹性模量（N/mm²），见 GB20688.3 附录 C。

5.4.2 支座压缩位移 Y 和压应变 ε_c 可按下式计算：

$$Y = \frac{P}{K_v} \quad (\text{式 5.4.2-1})$$

$$\varepsilon_c = \frac{Y}{T_r} \quad (\text{式 5.4.2-2})$$

式中： P ——压力（N）。

5.5 支座水平性能

5.5.1 对天然橡胶支座水平等效刚度 K_h 可按下式计算：

$$K_h = G \frac{A}{T_r} \quad (\text{式 5.5.1-1})$$

式中： G ——橡胶的剪切模量（N/mm²）。 G 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。

1 若考虑剪应变对橡胶剪切模量的影响， G 可按 GB 20688.3 附录 D 计算；

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 还应考虑压应力的影响，

$$G = G_1 \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 \right] \quad (\uparrow 5.5.1-2)$$

式中： σ ——支座压应力（N/mm²）；

G_1 ——在实际压应力 σ 下，测得的剪切模量；

σ_{cr} ——支座临界应力（N/mm²），由式(5.6.1-2)计算。

对于铅芯橡胶支座，水平等效刚度 K_h 可按下式计算：

$$K_h = \frac{K_d X + Q_d}{X} \quad (\uparrow 5.5.1-3)$$

式中： K_d ——铅芯橡胶支座的屈服后刚度（N/mm）；

Q_d ——屈服力（N）；

X ——剪切位移（mm）。

5.5.2 支座剪应变 γ 可按下式计算：

$$\gamma = \frac{X}{T_r} \quad (\uparrow 5.5.2)$$

5.5.3 支座等效阻尼比 h_{eq} 可按下式计算：

$$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \frac{W_d}{K_h X^2} \quad (\uparrow 5.5.3)$$

式中： W_d ——为剪力-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。

5.5.4 高阻尼橡胶支座的剪切性能

5.5.4.1 高阻尼橡胶支座水平等效刚度 K_h 可按下式计算：

$$K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A}{T_r} \quad (\uparrow 5.5.4.1-1)$$

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

5.5.4.2 高阻尼橡胶支座剪应变 γ 可按下式计算：

$$\gamma = \frac{X}{T_r} \quad (\uparrow 5.5.4.2-1)$$

5.5.4.3 高阻尼橡胶支座等效阻尼比 $h_{eq}(\gamma)$ 可按下式计算：

$$h_{eq}(\gamma) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{W_d}{2K_h (T_r \gamma)^2} \quad (\uparrow 5.5.4.3-1)$$

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

5.6 支座极限性能

5.6.1 支座无剪应变时的稳定性验算应满足下列要求:

$$\sigma_0 \leq \frac{1}{\rho_c} \sigma_{cr} \quad (5.6.1-1)$$

式中: σ_0 —— 支座考虑受压稳定的设计压应力 (N/mm^2);

ρ_c —— 安全系数, 按设计要求确定;

σ_{cr} —— 剪应变为零时, 支座失稳的临界应力, 按下式计算并不应小于 $90\text{N}/\text{mm}^2$:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi}{4} \xi S_2 \sqrt{E_b G} \quad (5.6.1-2)$$

G —— 对应于 100% 剪应变时的橡胶剪切模量 (N/mm^2)。对铅芯橡胶支座, G 不考虑铅芯的影响;

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/mm^2), 可按下式计算:

$$\frac{1}{E_b} = \frac{1}{E_0(1 + \frac{2}{3} \kappa S_1^2)} + \frac{1}{E_\infty} \quad (5.6.1-3)$$

κ —— 修正系数, 参见 GB 20688.3 附录 C;

E_0 —— 橡胶的弹性模量 (N/mm^2);

E_∞ —— 橡胶的体积弹性模量 (N/mm^2)。

5.6.2 支座拉伸性能应满足下式要求:

$$F_u \leq P_{Ty} \frac{1}{\rho_T} \quad (5.6.2)$$

式中: F_u —— 支座承受的提离拉力 (N);

P_{Ty} —— 支座的屈服拉力 (N, 见图 5.6.2), 可按 GB/T 20688.1-2007 第 6.6 节中的方法确定。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);

ρ_T —— 安全系数, 按设计要求确定。

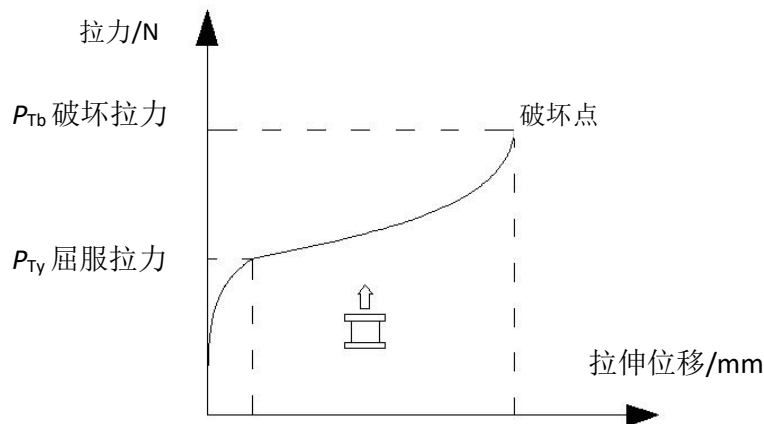


图 5.6.2 支座的拉伸性能关系曲线

5.6.3 大剪应变时支座稳定性验算应符合 GB 20688.3 附录 E 和附录 F 的规定。

5.6.4 III型支座的滚翻性能验算应符合 GB 20688.3 第 7.4.3 条的规定。

6 隔震支座检验要求

6.1 一般要求

6.1.1 支座力学性能试验项目包括压缩性能、剪切性能、拉伸性能、极限剪切性能、剪切性能相关性、压缩性能相关性和耐久性能。

6.1.2 支座力学性能试验各项目的试验方法和条件、试件尺寸、试验结果合格判据按本章规定；支座型式检验、出厂检验、进场验收所需进行的试验项目和数量按第 7 章规定。

6.2 一般力学性能试验项目和要求

6.2.1 支座一般力学性能试验项目和要求如表6.2.1所示。

表6.2.1 支座一般力学性能试验项目和要求

性能	试验项目	试验方法和条件	出厂检验	型式检验	见证检验	试件	合格判据或需测试的项目
压缩性能	竖向压缩刚度 K_v	1 加载方法采用GB/T 20688.1的 6.3.1.3款方法2加载3次, 竖向压缩刚度 K_v 应按第3次加载循环测试值计算。 2 试验标准温度为 23℃, 否则应对试验结果进行温度修正。 3 侧向变形在两相互垂直的直径(或两对称轴)上测量, 取不利值。	√	√	√	足尺支座	单一支座竖向压缩刚度 K_v 允许偏差为 ±30%, 平均值为 ±20%。
	竖向压缩变形		√	√	√	足尺支座	直径或边长不大于 600mm 支座, 侧向不均匀变形不大于 3mm; 直径或边长不大于 1000mm 支座, 侧向不均匀变形不大于 5mm; 直径或边长不大于 1500mm 支座, 侧向不均匀变形不大于 7mm
	侧向不均匀变形		√	√	√		
	竖向极限压应力 /MPa	1 加载方法采用 GB/T 20688.1 的 6.3.1.3 款方法 2 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。	×	√	△	足尺或缩尺模型 A	当 $3 \leq S_2 \leq 4$ 时, 应不小于 60MPa; 当 $4 \leq S_2 \leq 5$ 时, 应不小于 75MPa; 当 $S_2 > 5$ 时, 应不小于 90MPa。
	水平位移为支座内部橡胶直径 55% 状态时的极限压应力 /MPa	1、竖向压力 15Mpa, 将支座推剪到水平位移 0.55D; 2、缓慢或分级施加竖向载荷, 记录竖向载荷和水平刚度, 往复循环加载各一次; 3、支座外观发生明显异常或水平刚度趋于 0 时, 视为破坏。	×	√	△	足尺或缩尺模型 B	当 $3 \leq S_2 \leq 4$ 时, 应不小于 20MPa; 当 $4 \leq S_2 \leq 5$ 时, 应不小于 25MPa; 当 $S_2 > 5$ 时, 应不小于 30MPa。
剪切性能	水平等效刚度 水平等效阻尼比	1 加载方法采用GB/T 20688.1的 6.3.2.2条的3次加载循环法, 加载3次, 剪切性能应按第3次加载循环测试值计算。剪应变 $\gamma = 100\%$ 或 γ_0 。	√	√	√	足尺支座	1 单个试件测试值偏差允许值为 ±15%, 一批试件平均测试值 ±10%; 2 高阻尼橡胶支座水平性能, 等效阻尼比

	<p>或 水平等效刚度 屈服后刚度 屈服力</p>	<p>2 若加载频率和设计频率不同，应对试验结果进行修正。基准频率为设计频率或0.5Hz。 3 试验标准温度为23℃，否则应对试验结果进行温度修正。 4 可采用单、双剪试验装置，试验方法见GB/T 20688.1的6.3.2条。</p>				<p>h_{eq} 单一试件测试值偏差允许值为±25%，一批试件平均测试值±15%； 3 测试项目 天然橡胶支座：水平等效刚度 K_h 高阻尼橡胶支座：水平等效刚度 K_h、等效阻尼比 h_{eq} 铅芯橡胶支座：水平等效刚度 K_h、等效阻尼比 h_{eq}；或者，水平等效刚度 K_h、屈服后刚度 K_d、屈服力 Q_d</p>
<p>注：1、侧向均匀变形指隔震支座在竖向压力作用下，支座的侧面均匀对称向外鼓出，剖面呈灯笼状或葫芦串状。除均匀变形以外的其他变形均是不均匀变形。 2、在设计竖向压应力下，采用直角尺和塞尺测量支座侧面的最大鼓出位置的鼓出量。 3、测量侧向不均匀变形时的竖向压应力，当 S_2 不小于 5 时，型式检验取 15MPa，出厂检验取设计压应力，当 S_2 小于 5 不小于 4 时竖向压应力降低 20%，当 S_2 小于 4 不小于 3 时竖向压应力降低 40%。 4、√—要进行试验；△—可选择进行试验或按设计要求试验；×—不进行试验； 5、缩尺模型 A:直径或边长尺寸≥500mm；缩尺模型 B:直径或边长尺寸≥1000mm；</p>						

续表6.2.1 支座一般力学性能试验项目和要求

项目	试验项目	试验方法和条件	出厂检验	型式检验	见证检验	试件	合格判据或需测试的项目
*拉伸性能	竖向拉伸刚度	1 试件在指定剪应变作用下，进行指定拉力下的拉伸性能试验。	△	√	△	足尺或缩尺模型 B	剪应变为 0 时的破坏拉应力不应小于 2.0N/mm ² 。
	竖向极限拉应力	2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.6。	×	√	√		
极限剪切性能	水平极限能力	可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.5。	×	√	√	足尺支座	1 支座在最大和最小竖向荷载作用下，剪切位移达到设计最大值之前，不应出现破坏、屈曲或滚翻； 2 基准压应力下，极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的 400%和 0.55D 的较大值，剪切往复 1 周。 3 测试极限剪切性能时采用的竖向应力：I 型、II 型支座： σ_{\max} 、 σ_{\min} （可受拉）；III 型支座： σ_{\max} 、 σ_{\min} （不可受拉）。

注：

- 2、测量水平极限变形能力的竖向压应力，当 S_2 不小于 5 时，型式检验取 15MPa，出厂检验取设计压应力，当 S_2 小于 5 不小于 4 时竖向压应力降低 20%，当 S_2 小于 4 不小于 3 时竖向压应力降低 40%。
- 3、√—要进行试验；△—可选择进行试验或按设计要求试验；×—不进行试验；
- 4、缩尺模型 A:直径或边长尺寸 $\geq 500\text{mm}$ ；缩尺模型 B:直径或边长尺寸 $\geq 1000\text{mm}$ ；

6.3 剪切性能相关性

6.3.1 支座剪切性能相关性试验项目和要求如表6.3.1所示。

表 6.3.1 支座剪切性能相关性试验项目和要求

性能	试验项目	试验方法和条件	出厂检验	型式检验	试件	合格判据或需测试的项目
剪切性能相关性	剪应变相关性	1 剪应变取值范围为50%至 γ_{max} ，间隔增量可为50%，最后两个剪应变增量至少为50%。必要时可增加剪应变值10%和20%。 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.4.1 条。	×	√	足尺支座或缩尺模型 A	基准剪应变为设计剪应变 γ_0
	压应力相关性	1 压应力取值为0、 $0.5\sigma_0$ 、 $1.0\sigma_0$ 、 $1.5\sigma_0$ 、 $2.0\sigma_0$ ，必要时可包括最大拉应力。 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见GB/T 20688.1的6.4.2条。	×	√	足尺支座或缩尺模型 A	基准压应力为设计压应力 σ_0
	加载频率相关性	1 加载频率取值见GB/T 20688.1的6.4.3条。 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.4.3 条。	×	√	足尺、缩尺模型 A、标准试件或剪切型橡胶试件	加载频率为 0.02,0.05,0.1,0.2 时的水平等效刚度、等效阻尼比，并计算与 f = 0.2Hz 时的相应比值
	反复加载次数相关性	1 反复加载次数为50次。 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.4.4 条。	×	√	足尺支座或缩尺模型 A	基准反复加载次数为第 3 次
	温度相关性	1 温度取值范围为-20℃~40℃，必要时可增加温度取值。 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T20688.1 的 6.4.5 条。	×	√	足尺、缩尺模型、标准试件或剪切型橡胶试件	基准温度为23℃

注：缩尺模型 A:直径或边长尺寸 $\geq 500\text{mm}$

标准试件：见 GB/T20688.1 的 6.1 节。对 LRB，标准试件仅允许用于老化试验。

剪切型橡胶试件：见 GB/T20688.1 的 5.8.3 条。对 LRB，剪切型橡胶试件仅允许用于老化试验。

6.4 压缩性能相关性

6.4.1 支座压缩性能相关性试验项目和要求如表6.4.1所示。

表 6.4.1 支座压缩性能相关性试验项目和要求

项目	试验项目	试验方法和条件	出厂检验	型式检验	试件	合格判据或需测试的项目
压缩性能相关性	剪应变相关性	1 剪应变取值见 GB/T 20688.1 的 6.4.6 条。 2 应符合 GB/T20688.1 的 6.4.6 的规定。	×	√	足尺、 缩尺模型	基准剪应变为 0
	压应力相关性	1 压应力取值范围为 $\sigma_0 \pm 0.3 \sigma_0$ ， $\sigma_0 \pm 0.5 \sigma_0$ ， $\sigma_0 \pm 1.0 \sigma_0$ ； 2 应符合 GB/T 20688.1 中 6.4.7 条的规定。	×	√	足尺、 缩尺模型	基准压应力为 $\sigma_0 \pm 0.3 \sigma_0$

6.5 相关性能要求

6.5.1 天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求应符合表 6.5.1 的规定。

表 6.5.1 天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求

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

6.5.2 高阻尼橡胶支座相关性能要求应符合表 6.5.2 的规定。

表 6.5.2 高阻尼橡胶支座相关性能要求

项目	性能要求
----	------

竖向应力相关性	水平等效刚度变化率	±25%
	等效阻尼比变化率	
大变形相关性	水平等效刚度变化率	±25%
	等效阻尼比变化率	
加载频率相关性	水平等效刚度变化率	±25%
	等效阻尼比变化率	
温度相关性	水平等效刚度变化率	0°C~40°C: ±25%
	等效阻尼比变化率	-10°C~0°C: ±40%

6.5 耐久性性能要求

6.5.1 老化性能不应低于 60 年。

1 耐老化 60 年试验方法：先测定被试支座的竖向刚度、水平刚度、等效黏滞阻尼比；再将支座置于 80℃ 的恒温箱内 962h（40 天）或 100℃ 的恒温箱内 185h（相当于 20℃×60 年的等效温度和等效时间）后取出，冷却至自然室温，再重新测定支座的竖向刚度、水平刚度、等效黏滞阻尼比。

2 测试该支座老化前后支座一般力学性能，并与未老化前支座性能进行比较。

3 试验方法，试件可为足尺支座、缩尺模型支座或剪切型橡胶支座。试件应为同型（批）号产品，数目应不少于 3 对，每对包含试件 A 和试件 B，老化步骤如下：

- a. 测定试件 A 的剪切性能和极限剪切性能；
- b. 对试件 B 按规定的温度和时间完成老化时间；
- c. 试件 B 冷却不少于 24h 后，使其达到环境温度；
- d. 测定试件 B 的剪切性能和极限剪切性能；
- e. 确定试件 A 和试件 B 老化前后的性能变化率。

老化试验温度允许偏差为 ±2℃。

剪切性能和极限剪切性能的变化率可由下式计算：

$$A_c = (B_1 - B_0) / B_0 \times 100$$

式中：

A_c ——老化前后的性能变化率（%）；

B_1 ——老化后的性能；

B_0 ——老化前的性能。

6.5.2 徐变性能

1 徐变量的加速老化测量方式

- a. 隔震支座徐变性能检测方式需与支座耐老化性能相一致，不低于 60 年。
- b. 徐变 60 年试验方法：被试支座在设计压应力作用下，置于 80℃ 的恒温箱内 962h（40 天）或 100℃ 的恒温箱内 185h（相当于 20℃×60 年的等效温度和等效时间）后，取出测其徐变量；

2 徐变量的推算测量方式

- a. 试验温度（23±2）℃，测量时间不少于 1000h，按照 0h 到 10h，10h 到 100h，100h 到 1000h 分为 3 个时间段，每时间段的测量值应不少于 10 个；

b. 施加的压应力应为设计压应力 σ_0 ，加载时间应不小于 1min，将压力达到指定值 1min 后的压缩取为零点，压缩位移的测量应均匀布置位移测量仪器，且不少于 3 个，压缩位移值应为各测点测量值的平均值；

c. 当试验温度不是 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时，竖向压缩位移值应按照下式换算为相当于 23°C 时的值。

$$\Delta H_{23} = \Delta H_T + nt_r(T - 23)\alpha$$

式中：

ΔH_{23} —— 23°C 时竖向压缩位移的变化值；

ΔH_T —— 温度 T 时竖向压缩位移的变化值

T —— 试件的表面温度 ($^\circ\text{C}$)；

α —— 线性热膨胀系数 (T 到 23°C)。

每时间段的徐变应变按下列公式计算：

$$\varepsilon_{ct} = \frac{\Delta H_{23}}{nt_r} \times 100$$

式中：

ε_{cr} —— 23°C 时的徐变应变 (%)

徐变应变与时间的关系见图 6.5.2-1

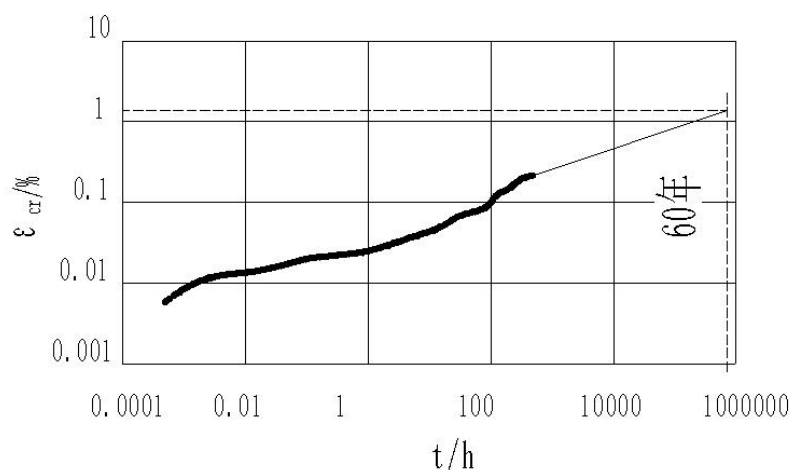


图 6.5.2-1 徐变性能曲线

从 100h 到 1000h 的测量数据，可采用最小二乘法绘制时间与徐变应变的对数图，确定下式中的系数 a 和 b

$$\lg \varepsilon_{cr} = \lg a + b \lg t$$

式中：

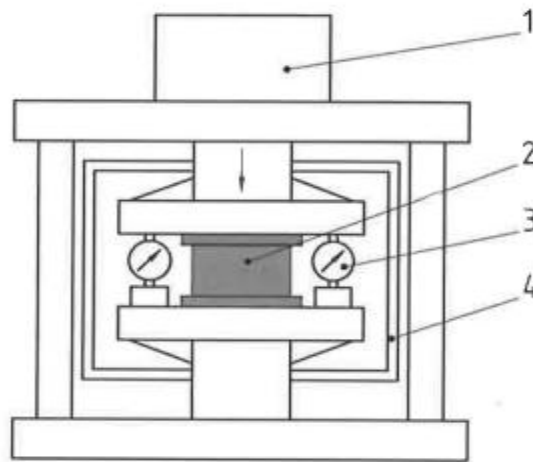
t ——时间。

t 时刻的徐变量可由下式求得：

$$\varepsilon_{cr} = a \cdot t^b$$

d. 试件可为足尺支座、缩尺模型支座或剪切型橡胶支座。试件应在无水平位移的情况下按照指定的时间和温度施加恒定压力，测量其压缩位移，推算出支座使用多年后的徐变量；

3 徐变性能试验装置如图 6.5.2-2，施加的压力允许偏差±5%。试验过程中，压力允许偏差为±2%。位移测量仪器的精度为 0.01mm



1——加载装置；2——试件；3——位移计；4——恒温箱；

图 6.5.2-2 徐变性能试验装置示意图

6.5.3 疲劳性能

1 先测被试支座的竖向刚度、水平刚度、等效阻尼比；被试支座在产品的设计压应力作用下，按剪应变 $r=100\%$ ；频率 $f=0.2\text{Hz}$ 施加水平荷载 50 次，并仔细观察试验过程中试件应无龟裂或出现其他异常现象。再测被试支座的竖向刚度、水平刚度、等效阻尼比。竖向刚度变化率、水平等效刚度变化率、等效阻尼比变化率（LRB、HDR）不大于±15%，支座外观目视无龟裂。

2 剪切位移和竖向压力的允许偏差为±5%；

3 加载波形可为正弦波或三角波。加载频率范围为 2Hz—5Hz，反复加载次数为 200 万次。

4 试验步骤

f. 测出试件的初始外形轮廓尺寸、竖向压缩刚度和剪切性能；

g. 使试件产生的剪切位移，可为 0；

h. 按制定的次数反复施加竖向压力，最大和最小压力应为最大和最小设计压力；

i. 测出外形轮廓尺寸和性能的变化率，以评定其抗疲劳性能；

6.5.3 支座耐久性性能试验项目和要求如表 6.5.4 所示。

表 6.5.4 支座耐久性能试验项目和要求

项目	试验项目		试验方法和条件	出厂检验	型式检验	试件	合格判据或需测试的项目
耐久性能	老化性能	竖向刚度	6.5.1	×	√	足尺支座、缩尺模型 A、标准试件或剪切型橡胶试件。	竖向压缩刚度 K_v 、水平等效刚度 K_h 和等效阻尼比 h_{eq} (LRB、HDR)的变化率为±20%。水平极限变形能力不小于 320%剪应变，支座外观目视无龟裂。
		水平等效刚度		×	√		
		等效阻尼比		×	√		
		水平极限变形能力		×	√		
	徐变性能	徐变量	6.5.2	×	√	足尺支座、缩尺模型支座 C。	60 年徐变量天然橡胶支座和铅芯橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的 5%，高阻尼橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的 10%。
	疲劳性能	竖向刚度	6.5.3	×	√	足尺支座、缩尺模型支座 A。	竖向压缩刚度 K_v 、水平等效刚度 K_h 和等效阻尼比 h_{eq} (LRB、HDR)的变化率为±15%，支座外观目视无龟裂。
		水平等效刚度		×	√		
		等效阻尼比		×	√		
		水平极限变形能力		×	√		
	注：1、√—要进行试验；△—不选择进行试验；×—不进行试验； 2、缩尺模型 A:直径或边长尺寸≥500mm；缩尺模型 B:直径或边长尺寸≥1000mm；缩尺模型 C:直径或边长尺寸≥300mm；						

7 检验规则

7.1 一般要求

7.1.1 应用于建筑工程的隔震支座必须进行型式检验、出厂检验、见证检验和进场验收。

7.1.2 制造厂提供建筑工程应用的隔震支座新产品（包括新种类、新规格、新型号）进行认证鉴定时，或已有支座产品的结构、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。型式检验应由具有专门资质的检测机构进行，应满足本规范 7.2 节的要求。型式检验合格，并取得型式检验报告后方可进入生产。

7.1.3 隔震支座产品在出厂前应由制造厂的检测部门自检或独立的第三方检测机构检验，方可出厂。

7.1.4 隔震支座产品的标识应符合本规范 7.7 节的规定。

7.2 型式检验

7.2.1 型式检验包括支座外观质量和尺寸偏差检查、橡胶材料物理性能检测和支座力学性能试验。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

7.2.2 支座外观质量和尺寸偏差检查应符合本规范 7.6 节的规定。

7.2.3 橡胶材料物理性能检测应符合本规范附录 B 的规定。

7.2.4 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 and 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。

7.2.6 隔震橡胶支座产品有下列情况之一时，应进行型式检验：

1 新产品的试制、定型、鉴定；

2 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；

3 正常生产时，每 4 年检验一次；

4 停产 1 年以上恢复生产时。

7.3 出厂检验

7.3.1 隔震支座的出厂检验包括支座外观质量和尺寸偏差检查、支座力学性能试验。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检测。

7.3.2 在建筑工程中使用的隔震支座出厂检验比例是 100%。每个隔震橡胶支座应进行出厂检验，出厂检验由制造厂质检部门或独立的第三方检测机构检验，检验合格方准出厂。

7.3.3 支座外观质量和尺寸偏差检查应符合本规范 7.6 节的规定。

7.3.4 支座力学性能试验应进行的项目包括：压缩性能、剪切性能。宜进行的项目包括：拉伸性能。

7.4 见证检验

7.4.1 见证检验应在工程监理单位或建设单位的见证下，按照有关规定从施工现场随机抽取试样，送至具备相应资质的检测机构进行检验。

7.4.2 见证检验应在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，并做永久性标识。检测机构应对抽样样品先进行竖向压缩性能和剪切性能检验，合格后进行水平极限性能检测，即设计应力下水平极限剪应变不小于 400%，被检测产品检测后不得再应用于工程项目。

7.2.1 当建筑设计对支座有抗拉要求时，则应进行拉伸性能的试验。

7.4.3 随即抽取样品，当同一项目同一生产厂家的产品总数量不大于 100 件时，选取最大规格产品 1 件。当同一项目同一生产厂家的产品总数量大于 100 件时，应适当增加检测数量并且不少于 2 件，其中 1 件样品从最大规格的产品中随机抽取，另外的样品由剪力单位随机抽取。

7.5 进场验收

7.5.1 隔震支座进场验收包括出厂合格证明文件检查、出厂检验报告检查、外观尺寸检查、见证检验。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检测。

7.5.2 支座外观质量和尺寸偏差检查对每一支座均应进行，应符合本规范 7.6 节的规定。

7.5.3 支座在运输、贮存过程中如遭遇可能影响支座性能的事件时，应再次进行第三方出厂检验。检测项目和抽样数量可由相关各方协商确定。

7.6 支座外观质量和尺寸偏差检查

7.6.1 支座表面应光滑平整，外观质量应符合表 7.6.1 的要求。

表 7.6.1 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 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 2 处，且内部嵌件不得外露
凹凸不平	凹凸不超过 2mm，面积不超过 50mm ² ，不得多于 3 处
胶钢黏结不牢（上、下端 面）	裂纹长度不超过 30mm，深度不超过 3mm，不得多于 3 处
裂纹（表面）	不允许
钢板外露（侧面）	不允许

7.6.2 支座尺寸偏差的测量方法应符合 GB/T 20688.1 第 7 章的规定。

7.6.3 I 型、II 型平面尺寸的偏差应符合表 7.6.3 的规定。

表 7.6.3 支座产品尺寸的允许偏差

项目		尺寸允许偏差
内部	每层橡胶层厚度/%	产品设计值的±10
	橡胶层总厚度/%	产品设计值的±5
	夹层薄钢板厚度/mm	按 GB/T 3247 执行
	封钢板厚度/mm	±0.5
	钢板直径或边长/mm	±1.0
外部	总高度	设计值的±1.5%与 6mm 两者间的较小值
	外直径或边长 D' 、 a' 和 b'	设计值的±1%，且不大于±5.0mm
	中孔直径 d_i /mm	±1.5
	橡胶包覆层厚度/mm	±1.5
	侧面垂直度	支座总高度的 1/100

7.7.4 支座产品平整度的允许偏差为：直径或短边边长不小于 1200mm 时，取直径或测量长度的 1/400 和 3mm 的较小值；直径或短边边长为 1500mm 时，取直径或测量长度的 1/300；直径或短边边长介于 1200mm 和 1500mm 之间，可插值。

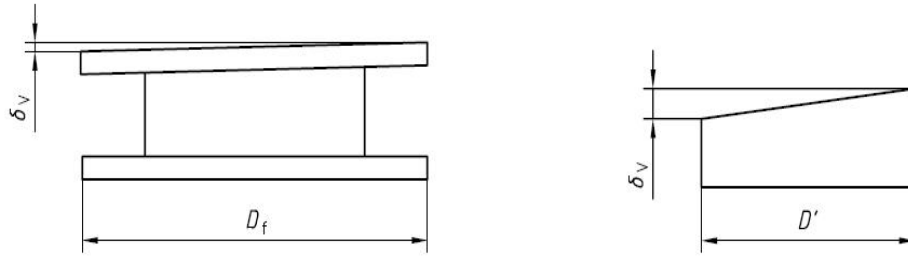
$$\Psi = \left| \frac{\delta_v}{D_f} \right| \quad (7.6.4)$$

式中： Ψ ——平整度；

δ_v ——在通过支座中心的直线的两 endpoint 所测的支座高度之差（mm），如图

7.6.4 所示；

D_f ——连接板直径或短边边长长度（mm），如图 7.6.4 所示；



I型和II型（安装连接板后） III型
图 7.6.4 平整度的测量

7.6.5 支座产品的水平偏移 (δ_H) 不应超过 5mm。

7.6.6 连接板平面尺寸的偏差应符合表 7.6.6 的规定。

表 7.6.6 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	$1000 \leq D_f$ (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

7.6.7 连接板厚度的允许偏差应符合表 7.6.7 的规定。

表 7.6.7 I型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

7.6.8 连接板螺栓孔位置（包括封板螺纹孔位置）的允许偏差应符合表 7.6.8 的规定。

表 7.6.8 连接板螺栓孔位置允许偏差(mm)

D_f (或 L_f)	允许偏差
$400 < D_f$ (或 L_f) ≤ 1000	± 0.8
$1000 < D_f$ (或 L_f) ≤ 2000	± 1.2
D_f (或 L_f) > 2000	± 2.0

7.6.9 设计压应力下，支座的侧向不均匀变形应符合表 7.6.9 的规定。

表 7.6.9 支座产品侧向不均匀变形允许值(mm)

D' 、 a' 和 b'	侧向不均匀允许值 mm
D' 、 a' 和 $b' \leq 600$	≤ 3
$600 < D'$ 、 a' 和 $b' \leq 1000$	≤ 4
D' 、 a' 和 $b' > 1000$	≤ 5

*7.6.10 设计压应力下，采用直角尺和塞尺测量支座最大凸出、凹进位置的凸出、凹进量，取最大值。侧向均匀变形指隔震支座在设计压应力下，支座的侧面均匀向外鼓出，剖面呈灯笼状，见图 7.6.10-1。侧向不均匀变形指隔震支座在设计压应力下，支座的侧面不均匀向外鼓出，剖面呈 C 型或 S 形状，见图 7.6.10-2。

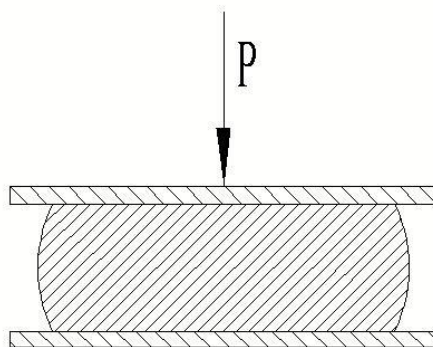


图7.6.10-1 侧向均匀变形示意图

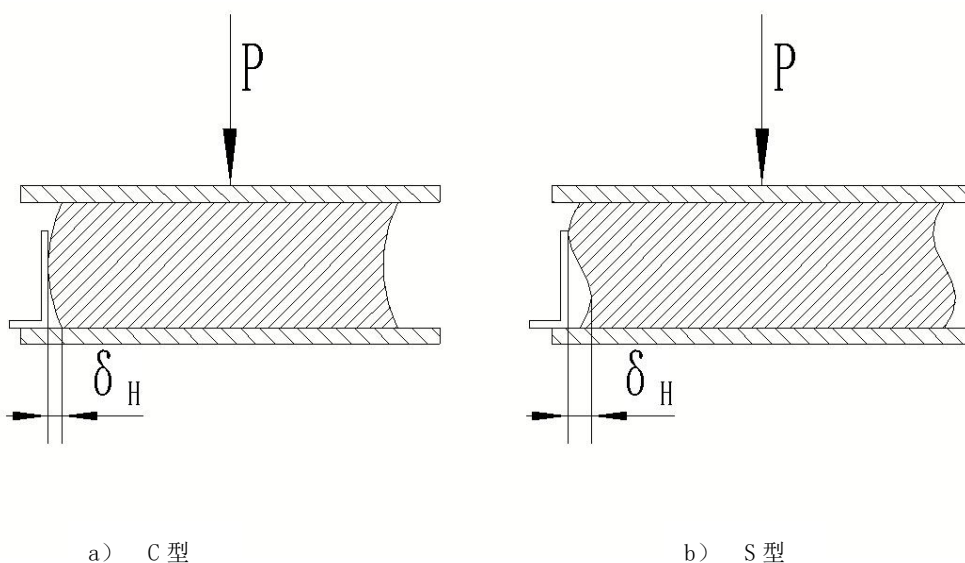


图7.6.10-2 侧向不均匀变形示意图

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 建筑隔震工程施工现场管理，应有健全的质量管理体系与检验制度。

8.1.2 工程施工前设计单位应对设计图纸进行技术交底，建设单位应组织相关单位对施工图纸进行会审，施工单位应编制隔震施工组织设计或施工方案。。

- 8.1.3 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在有效期内使用。
- 8.1.4 各分项工程应按本规范进行质量控制，各分项工程完成后应进行自检、交接检验，并形成文件，经监理工程师检查签认后，方可进行后续工程施工。
- 8.1.5 支座安装相关施工流程宜按图 8.1.5 所示进行施工。上道工序交接检验后，方可进行支座安装工程施工。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。
- 8.1.6 阻尼器安装应在隔震支座安装及上部梁板体系施工验收合格后进行，也可在隔震支座上部结构施工验收合格后进行。
- 8.1.7 支座和阻尼器安装应有监理单位人员和建设单位（技术）负责人员在场。
- 8.1.8 支座和阻尼器安装宜做到专人专岗。测量工作应由专业测量人员施测，并报监理单位复验。

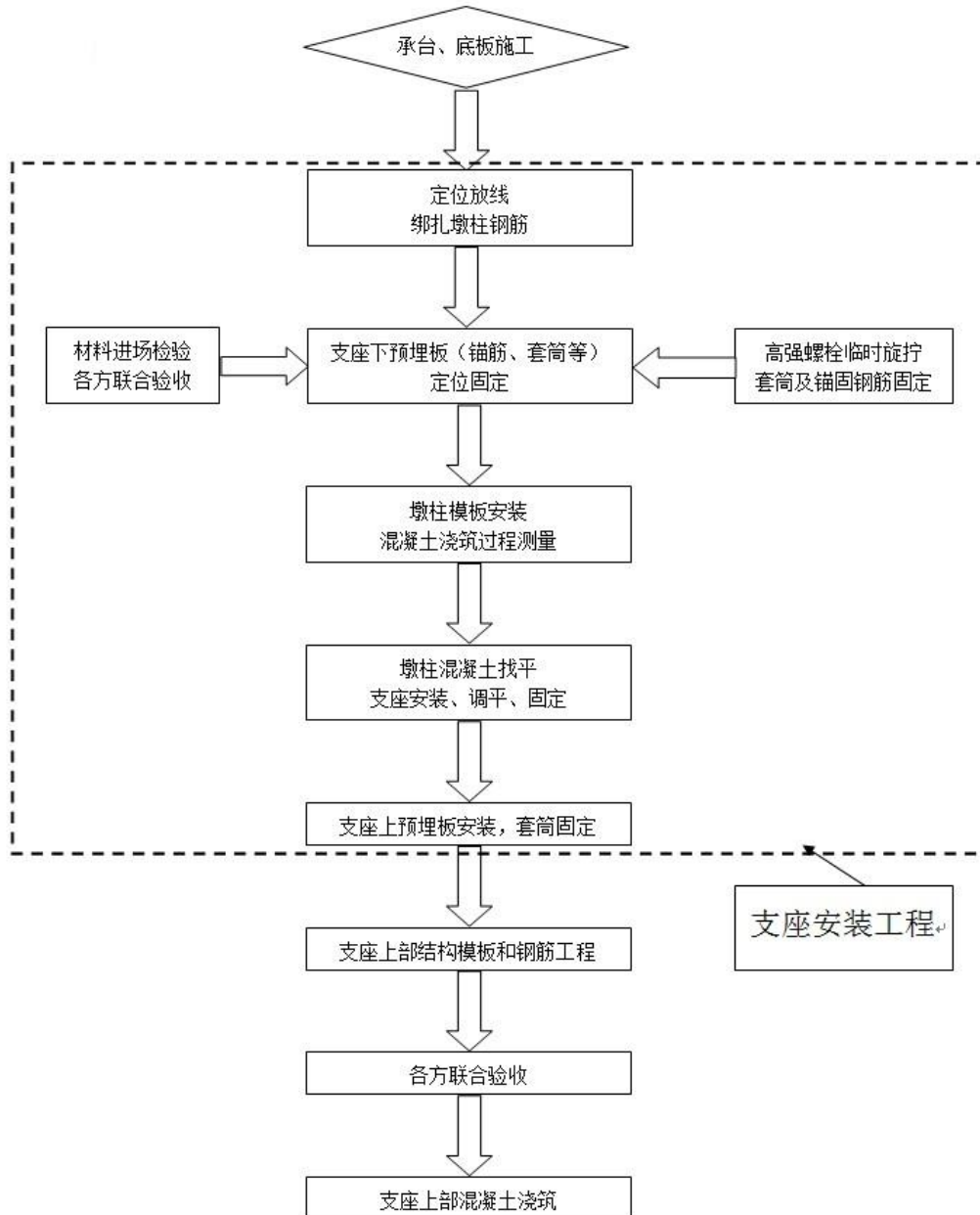


图 5.1.5 隔震层支座安装的施工流程

8.2 支座安装

8.2.1 支座下支墩（柱）施工应符合下列规定：

1 支座下支墩（柱）钢筋安装、绑扎时，应确定支座下预埋套筒或锚筋的位置，避免相互阻挡。施工方案须经设计单位确认。

2 支座下预埋板就位后，应校核其标高、平面位置、水平度，并应符合本规范和设计要求。下支墩（柱）混凝土浇筑前应按隐蔽工程工程要求验收，并现场记录。

3 支座下支墩（柱）的混凝土宜分二次浇筑，应专人负责，浇筑时应有排气措施。第一次宜浇筑至支座下预埋板以下，第二次浇筑前应复核支座下预埋板的平面位置、标高和水平

度。二次浇筑的混凝土宜采用高流动性无收缩混凝土、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。预埋钢板不应有空鼓。

4 混凝土初凝前，应校核下预埋板的平面位置、高程和水平度，发现问题应采取措施以满足要求，并保留相关记录。

5 浇筑混凝土前，应对螺栓孔采取临时封闭措施，避免灌入混凝土。混凝土浇筑完成后应及时将下预埋板表面清洗干净。

8.2.2 支座安装应符合下列规定：

1 下支墩（柱）混凝土强度达到设计强度的 75%以上方可进行支座安装。

2 支座安装前应复核下预埋板的平面位置、标高和水平度，并保留相关记录。

3 支座吊装时，应按厂家提供的吊点安装吊具，应将钢丝绳等穿于螺栓孔内吊装。吊运过程中，应保证支座上、下面水平。

4 支座安装过程中应不使橡胶体发生水平变形。

5 支座就位后，应复核其位置、高程和水平度。

6 螺栓连接前应沾上黄油，对称拧紧后，应用力矩扳手检查所有螺栓。

7 支座安装后，支座与下支墩（柱）顶面的预埋板应密贴。

8 同一支墩（柱）下采用多个支座组合时，必须采用同一厂家产品。

9 连接的高强螺栓应对称拧紧，拧紧过程分为初拧、复拧、终拧三个阶段，并在同一天完成。复拧扭矩等于初拧扭矩，初拧扭矩宜为终拧扭矩的 50%。高强螺栓施拧采用的扭矩扳手和检查采用的扭矩扳手必须经过标定，并在每班作业前，均应进行校正，其扭矩误差应分别为使用扭矩的 5%和 3%。”

8.2.3 支座相邻上部结构施工应符合下列规定：

1 支座安装完成，应按隐蔽工程要求验收合格后，方可进行后续工程施工。

2 支座上预埋板安装后，相应锚定螺栓就位，应校核其位置、高程等，并保留记录。

3 支座安装后应立即采取保护措施，防止后续施工过程中污染、损伤。

4 支座上部结构进行模板和混凝土工程施工时，应对建筑四周的支座设置临时横向支撑，避免发生水平位移。

5 单层面积较大、长度超过 100m 的支座上部混凝土结构、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，避免产生过大的温度变形和混凝土干缩变形。

6 支座相邻上部结构为钢结构或其他必要情况时，应对全部支座采取临时固定措施。

7 支座相邻上部结构施工过程中，应定期观测支座竖向变形，并保留相应记录。

8.3 阻尼器安装

- 8.3.1 阻尼器安装施工单位宜具有钢结构专项施工二级或机电设备安装工程专业承包三级及以上资质。
- 8.3.2 生产厂家应提出阻尼器与主体结构连接方案，并由设计单位完成深化设计。
- 8.3.3 施工前阻尼器安装施工单位应熟悉设计文件和施工详图，其施工安装方案必须经设计单位确认。
- 8.3.4 阻尼器的平面布置、吊装就位应符合设计要求。
- 8.3.5 阻尼器安装接头的高强度螺栓连接，应符合《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定，并应符合设计要求。
- 8.3.6 阻尼器安装接头的焊接连接，应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定，并应符合设计要求。
- 8.3.7 阻尼器与铰接件之间应采用销栓无间隙连接。
- 8.3.8 阻尼器连接的高强螺栓应对称拧紧，拧紧过程分为初拧、复拧、终拧三个阶段，并在同一天完成。复拧扭矩等于初拧扭矩，初拧扭矩宜为终拧扭矩的 50%。高强螺栓施拧采用的扭矩扳手和检查采用的扭矩扳手必须经过标定，并在每班作业前，必须进行校正，其扭矩误差应分别不大于使用扭矩的 5%和 3%。
- 8.3.9 阻尼器安装完成后应撤除临时固定件。

8.4 柔性连接安装

- 8.4.1 穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其它有效措施，并有足够的预留量，以满足隔震层的设计水平位移要求。
- 8.4.2 重要管道、可能泄露有害介质或可燃介质的管道，隔震层处必须采用柔性接头或柔性连接段。柔性接头或柔性连接段安装应符合相关工艺和技术要求。
- 8.4.3 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，保证地震时其水平变形能力满足设计要求。
- 8.4.4 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。

8.5 隔震缝

- 8.5.1 水平隔震缝的高度不应小于设计文件要求。上部结构与下部结构之间，应设置完全贯通的水平隔震缝，缝高可取 20mm，并用柔性材料填充；当设置水平隔震缝却有困难时，应

设置可靠的水平滑移垫层。

8.5.2 竖向隔震缝的宽度不应小于设计文件要求。上部结构的周边应设置竖向隔震缝，缝宽不宜小于各隔震支座在罕遇地震下的最大水平位移值的 1.2 倍且不小于 200mm。对两相邻隔震结构，其缝宽取最大水平位移值之和，且不小于 400mm。

8.5.3 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、电梯井道、地下室坡道、车道入口处等穿越隔震层时，应按照设计要求设置构造措施。

8.5.4 楼梯扶手、下入口穿越隔震层时，应按照设计要求设置构造措施。

8.5.5 水平隔震缝的封闭处理，宜采用适当的柔性材料或者脆性材料填充，竖向隔震缝的封闭处理，宜采用适当的柔性材料覆盖，其处理方案和措施应经设计单位确认。

9 工程验收

9.1 一般规定

9.1.1 隔震结构工程验收程序和组织应符合下列规定：

1 检验批及分项工程应由监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）组织施工单位专业技术人员负责人及专业质量负责人进行验收；

2 隔震结构工程完成后，施工单位应向监理单位（建设单位）提交子分部工程验收报告，监理单位（建设单位）收到验收报告后，应由总监理工程师（建设单位项目专业负责人）组织施工单位（含分包）项目经理和技术、质量负责人、设计单位（包括隔震咨询单位）项目负责人等进行子分部工程验收。

9.1.2 隔震结构工程施工质量验收应在施工单位自检基础上，按照检验批、分项工程、子分部工程验收应符合下列规定：

1 工程施工质量应符合本规范和设计要求；

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 工程质量的验收应在施工单位自行检查评定的基础上进行；

4 隐蔽工程在隐蔽前，应由施工单位通知监理工程师和有关单位进行隐蔽验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件；

5 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行检查；

6 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

9.1.3 通过返修或加固处理仍不能满足安全使用要求，严禁验收。

9.1.4 主体结构验收和竣工验收的各阶段，均应进行对隔震缝、隔震沟和柔性连接的验收检查，且施工单位、监理单位、设计单位（包括隔震设计咨询单位）各方均应参加确认。”

9.2 支座安装

I 主控项目

9.2.1 支座型号、数量、安装位置应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9.2.2 支座应与下支墩（柱）顶面密贴。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

9.2.3 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：观察，检查施工记录，检查试件强度试验报告。

II 一般项目

9.2.4 支座安装位置的偏差应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4 支座安装位置的允许偏差和检验方法

项目		允许偏差（mm）	检查数量	检验方法
支座标高		±5	全数检查	用水准仪、钢尺测量
支座水平位置偏差		±5		用经纬仪、钢尺测量
水平度	下支墩（柱）顶面	5%		用框式水准仪、千分塞尺测量
	支座顶面	8%		用框式水准仪、千分塞尺测量

9.2.5 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。

9.2.6 支座出现不均匀侧鼓，超过范围时，应采取相应处理措施。（主控）

9.2.7 支座表面出现破损、锈蚀，在不影响使用性能时，应及时修复。当影响到使用性能时，应及时更换。

9.3 阻尼器安装

I 主控项目

9.3.1 阻尼器安装时，必须严格按照设计文件确定的型号、数量以及安装位置来执行。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9.3.2 阻尼器活塞杆应干净无污物且无划伤、无侧向变形。

9.3.3 阻尼器安装连接部位的焊缝质量应满足设计要求且焊缝等级不低于二级，并在现场做见证检验，检测质量应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查超声波或射线探伤见证试验报告。

II 一般项目

9.3.4 阻尼器安装连接部位的高强度螺栓的终拧扭矩和梅花头检查应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

检查数量：按安装节点总数的 50%。

检验方法：观察，检查超声波或射线探伤见证试验报告。

9.3.5 阻尼器连接件与混凝土构件连接的锚栓、垫板安装应满足设计要求及《钢结构工程施

工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

检查数量：安装节点总数的 50%且不少于 3 个。

检验方法：观察。

9.3.6 阻尼器连接件与混凝土构件连接需二次灌浆时，其浇筑质量应满足设计要求。

检查数量：按照安装节点总数的 50%且不少于 3 个。

检验方法：观察，检查施工记录和试件试验报告。可根据实际情况选择增加现场回弹法抽检。

9.3.7 阻尼器安装出平面外垂直度要求应满足设计要求。

检查数量：按照安装节点总数的 50%且不少于 3 个。

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

9.3.8 阻尼器表面出现破损、锈蚀，不影响使用性能时，应及时修复。当影响到使用性能时，应及时更换。

9.4 柔性连接安装

I 主控项目

9.4.1 重要管道、可能泄漏有害介质或可燃介质的管道，必须采用柔性接头或柔性连接段，并提供相应的厂家质量和性能保证书，以及相应的试验证明文件，保证地震时满足设计位移要求和不发生泄露、火灾等次生灾害。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，查看性能保证书和相关证明文件。

II 一般项目

9.4.2 构件钢筋作避雷线时，预留的可伸展长度应大于设计水平位移要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，查看性能保证书和相关证明文件。

9.5 隔震缝

I 主控项目

9.5.1 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝的宽度不应小于设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

9.5.2 隔震缝内及周边不得有影响隔震层发生相对水平位移的障碍物。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9.5.3 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。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

II 一般项目

9.5.4 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝宽度应均匀。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测。

9.6 建筑隔震子分部工程验收

9.6.1 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；
- 2 支座、阻尼器及相关材料质量合格证明文件、中文标志、性能检测报告和进场复验报告；
- 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 其他必要的文件和记录。

9.6.2 当隔震结构工程施工质量不符合本规范要求时，应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够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，虽然改变外形尺寸，尚能满足安全使用要求，可按处理技术方案和协商文件进行验收。

9.6.3 隔震结构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。

10 隔震建筑维护

10.1 维护要求

10.1.1 隔震建筑的维护检查可分为定期检查、应急检查。

10.1.2 检查项目可包括以下内容：

- 1 支座和阻尼器的检查；
- 2 隔震缝的检查；
- 3 柔性连接的检查。
- 4 检查项目参考本规范第 6 章执行。

10.1.3 定期检查包括每年进行的常规检查和特定周期的检查。特定周期为竣工后的 3 年、5 年、10 年、10 年以后每 10 年一次。

10.1.4 当发生可能对隔震层相关构件及装置造成损伤的地震或火灾等灾害后，应及时进行应急检查。

10.1.5 每年进行常规检查的方式可采用目测。特定周期的检查时，除支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其他项目均可采用目测。

10.2 维护责任

10.2.1 隔震建筑工程竣工验收前，施工单位应向隔震建筑的所有者或管理者，提交由其会同隔震装置（包括支座和阻尼器，下同）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，确保隔震装置正常发挥功能。

10.2.2 隔震建筑的所有者或管理者，除对建筑常规维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑物特有的项目进行检验、检查。检验、检查除对隔震装置外，还应包括建筑物周边、隔震沟、设备配管等的设置环境。

10.2.3 当实施相关维护检查时，必要时设计单位应协同检查。

10.3 标识设置

10.3.1 隔震建筑应设置标识，标明隔震建筑使用及维护注意事项。

10.3.2 隔震建筑的标识设置范围和应符合下列规定：

- 1 门厅入口处：在标识上注明此建筑物为隔震建筑并简单阐述隔震的基本原理，房屋使用者需注意的问题等，注明此建筑的平面结构图、剖面图等，以及隔震沟与建筑物的大致关系；
- 2 隔震层隔震缝：应注明地震时隔震缝为建筑物的移动空间，严禁在此地堆放物体及杂物以及地震时不要在此处逗留；
- 3 楼梯断缝处：应注明楼梯为断缝楼梯，当地震来临时在断缝处楼梯会发生滑动，请勿在滑动范围内堆放能阻止楼梯滑动的物体，且提醒行人在地震来临时注意；
- 4 建筑物周围隔震沟：应在建筑物周围隔震沟范围内设置标线或警示线，提醒人们此处为隔震

建筑的隔震沟，地震时建筑将在该范围内移动，禁止往隔震沟倾倒垃圾、堆放杂物等，并且周围停放物应该和建筑物保持一定的避让距离，避免地震时发生碰撞；

5 隔震产品描述：应注明隔震产品的型号、规格以及功能、特性等，简要描述特殊使用要求。

注释：文中*号标注部分表示与现有国家相关标准不同的内容：即根据地方或行业规范等新增和技术指标提高的内容。