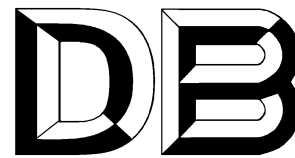


北京市地方标准



编号：DB11/ xxxx—20xx

备案号：

建筑工程减隔震技术规程

Technical specification for energy dissipation and seismic isolation
in buildings engineering

(征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布

北京市规划和自然资源委员会
北京市市场监督管理局

20xx-xx-xx 实施

联合发布

北京市地方标准

建筑工程减隔震技术规程

Technical specification for energy dissipation and seismic isolation
in buildings engineering

DB11/ xxxx—20xx

主编单位：北京市建筑设计研究院有限公司
北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司
北京建筑大学
批准部门：北京市规划和自然资源委员会
北京市市场监督管理局
实施日期：20xx年xx月xx日

20xx 北京

前 言

为贯彻落实党的十九大精神，推动《北京城市总体规划（2016年-2035年）》实施，按照《北京市“十三五”时期城乡规划标准化工作规划》和北京市市场监督管理局关于印发《〈2021年北京市地方标准制修订项目计划（第一批）〉的通知》（京市监发〔2021〕19号）的要求，编制组在广泛调查研究、认真总结实践经验、吸取科研成果以及广泛征求意见的基础上，完成本标准的编制工作。

本标准共分17章，主要内容包括：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 地震作用与作用效应计算；5. 震后正常使用建筑的性能目标及设计；6. 消能减震结构一般规定；7. 消能器的技术性能；8. 消能减震结构设计；9. 消能器和结构的连接与构造；10. 消能部件的施工、验收和维护；11. 隔震一般规定；12. 隔震支座的技术性能；13. 隔震结构设计；14. 隔震支座连接与构造；15. 建筑与机电隔震构造；16. 隔震部件的施工、验收和维护；17. 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统。

本规程中第3.1.2条、第3.1.3条、第3.2.1条、第3.2.3条、第4.1.1条、第4.1.2条、第4.2.3条、第4.4.1条、第4.5.3条、5.1.1条及5.3.2条为强制性条文，必须严格执行。

本标准由北京市规划和自然资源委员会归口管理，北京市城乡规划标准化办公室负责日常管理，北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。（地址：北京市西城区南礼士路60号；联系电话：XXXXXXXXX）

本标准执行过程中如有意见和建议，请寄送至北京市城乡规划标准化办公室，以供今后修订时参考。（电话：55595000，邮箱：bjbb@ghzrzyw.beijing.gov.cn）

本标准主编单位：北京市建筑设计研究院有限公司

北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司

北京建筑大学

本标准参编单位：清华大学

中国地震局工程力学研究所

北京市地震局

震安科技股份有限公司

北京工业大学

北京城建设计发展集团股份有限公司

中国建筑设计研究院

北京城建亚泰建设集团有限公司

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

目 次

1 总 则	1
2 术语、符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	6
3 基本规定	13
3.1 一般规定	13
3.2 场地与地基	13
3.3 试验与观测	14
4 地震作用和作用效应计算	15
4.1 一般规定	15
4.2 水平地震作用计算	18
4.3 竖向地震作用计算	21
4.4 截面抗震验算	22
4.5 抗震变形基本要求	23
5 震后正常使用建筑的性能目标及设计	25
5.1 一般规定	25
5.2 震后正常使用建筑的性能目标	25
5.3 截面抗震验算	26
5.4 结构层间变形和楼面加速度基本要求	26
5.5 非结构构件、设备和管线的性能要求	27
6 消能减震结构一般规定	31
6.1 一般规定	31
6.2 消能器要求	31
6.3 结构分析	31
6.4 连接与节点	33
6.5 消能部件材料与施工	33
6.6 耐久性规定	33
7 消能器的技术性能	35
7.1 一般规定	35
7.2 金属屈服型消能器	36
7.3 屈曲约束支撑	37
7.4 摩擦消能器	38

7.5	黏滞消能器	40
7.6	黏弹消能器	42
7.7	高阻尼橡胶消能器	44
7.8	消能器性能检验与性能参数确定	46
8	消能减震结构设计	51
8.1	一般规定	51
8.2	消能部件布置原则	52
8.3	消能部件设计与减震效果评价	52
8.4	主体结构设计	56
8.5	消能减震结构抗震性能化设计	58
9	消能器和结构的连接与构造	60
9.1	一般规定	60
9.2	预埋件	62
9.3	支撑和支墩、剪力墙计算	62
9.4	节点板计算	63
9.5	消能器与结构连接构造要求	65
9.6	屈曲约束支撑的构造要求	65
9.7	金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求	66
9.8	黏滞消能器构造要求	67
10	消能部件的施工、验收和维护	68
10.1	一般规定	68
10.2	消能部件进场及验收	68
10.3	消能部件质量验收	68
10.4	消能部件的维护	69
11	隔震结构一般规定	71
11.1	一般要求	71
11.2	隔震支座要求	72
11.3	结构分析	72
11.4	隔震部件材料与施工	74
11.5	耐久性规定	75
12	隔震支座的技术性能	76
12.1	一般要求	76

12.2 天然橡胶支座.....	77
12.3 弹性滑板支座.....	79
12.4 摩擦摆隔震支座.....	79
12.5 三维隔震（振）支座.....	80
12.6 隔震支座产品检验与性能参数确定.....	81
13 隔震结构设计.....	82
13.1 一般规定.....	82
13.2 隔震层布置.....	82
13.3 隔震结构计算分析.....	87
13.4 隔震层上部结构设计.....	87
13.5 隔震层下部结构.....	89
14 隔震支座连接与构造.....	90
14.1 一般规定.....	90
14.2 预埋件计算.....	90
14.3 隔震部件与结构连接的构造要求.....	91
15. 建筑与机电隔震构造.....	92
15.1 一般规定.....	92
15.2 隔离缝与变形缝装置构造.....	92
15.3 楼梯、电梯等隔震构造.....	93
15.4 外墙与屋面隔震构造.....	94
15.5 室内装修隔震构造.....	97
15.6 隔震层机电设备与管线.....	98
15.7 隔震工程专用标识.....	99
16 隔震部件的施工、验收和维护.....	101
16.1 一般规定.....	101
16.2 隔震部件进场及施工.....	101
16.3 隔震结构质量验收.....	101
16.4 隔震部件的维护.....	102
17 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统.....	104
17.1 建筑物地震反应观测系统.....	104
17.2 隔震建筑监测系统.....	104
附录 A 隔震建筑抗震性能设计.....	106

附录 B 复振型影响系数计算公式	109
附录 C 隔震支座连接设计	110
附录 D 隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求	114
附录 E 校核地震动	117
附录 F 建议标准化消能器产品规格型号及性能参数	118
附录 G 建议标准化隔震橡胶支座产品规格型号及性能参数	124
附录 H 建议标准化摩擦摆隔震支座产品规格型号及性能参数	130

用词说明

引用标准名录

附：条文说明

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，使建筑物采用隔震、消能减震技术后，提高建筑安全性，减轻建筑的地震破坏，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，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于北京地区采用隔震、消能减震技术的新建、改建及扩建建筑工程的结构设计、施工、验收和维护。隔震层的上部结构及下部结构、消能减震的主体结构抗震设计应符合现行国家和北京市的其他现行标准。

1.0.3 隔震、消能减震建筑的结构构件、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。

1.0.4 隔震、消能减震建筑结构设计、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家及北京市现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 消能器 energy dissipation device

通过内部材料或构件的弹塑性或黏性滞回变形等方式来耗散或吸收能量的装置。根据其耗能特点可划分为位移相关型和速度相关型。

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3 位移相关型消能器 displacement dependent damper

消能器的耗能能力与消能器两端的相对位移相关,主要包括金属消能器和摩擦型消能器和屈曲约束支撑等。

2.1.4 速度相关型消能器 velocity dependence damper

消能器的耗能能力与消能器两端的相对速度有关,如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.5 金属消能器 metal energy dissipation device (metal damper)

由各种不同特性金属材料元件或构件制成,利用金属元件或构件发生弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

2.1.6 摩擦消能器 friction energy dissipation device

由钢元件或构件、摩擦片和预压螺栓等组成,利用两个或两个以上元件或构件间相对位移时产生摩擦做功而耗散能量的减震装置。

2.1.7 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

由核心单元、外约束单元等组成,利用核心单元抵抗地震作用中发生拉、压弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

2.1.8 黏滞消能器 viscous energy dissipation device (viscous damper)

由缸体、活塞杆、活塞、黏滞材料等部分组成,利用活塞在黏滞介质中运动,产生与活塞运动速度相关的阻尼力,耗散地震输入结构中能量的减震装置。

2.1.9 黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device

由黏弹性材料和约束钢板或圆(方形或矩形)钢筒等组成,利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置,其耗能能力与速度相关。

2.1.10 消能部件 energy dissipation part

由消能器与连接消能器的支撑或连接件组成的组合体。

2.1.11 消能减震层 energy dissipation layer

布置消能部件的楼层。

2.1.12 附加有效阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器耗能减小结构响应效果的等效阻尼估计,是考虑了各种不确定因素的有效阻尼比理论计算结果的折算值。

2.1.13 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件抗力附加给结构的刚度。

2.1.14 初始屈服位移 initial yield displacement of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑抗力与消能器两端相对位移关系的试验骨架曲线斜率初次改变点对应位移。

2.1.15 初始屈服力 initial yield force of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑抗力与消能器两端相对位移关系的试验骨架曲线斜率初次改变点对应抗力。

2.1.16 初始刚度 initial stiffness of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑的初始屈服力与初始屈服位移的比值，通常取滞回曲线的卸载刚度。

速度型消能器的阻尼力与活塞位移构成的最大滞回曲线上阻尼力为零处的切线斜率。

2.1.17 设计位移 design displacement of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器两端的任意两个参考点发生的最大相对位移值。

2.1.18 设计速度 design velocity of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下速度型消能器两端的任意两个参考点发生的最大相对速度值。

2.1.19 计算屈服位移 design yield displacement of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑抗力与消能器两端相对位移滞回曲线族中的过原点初始刚度斜线，与对应设计位移滞回曲线的屈服后刚度斜线相交点对应的位移。

2.1.20 计算屈服力 design yield force of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑抗力与消能器两端相对位移滞回曲线族中对应于计算屈服位移点的屈服力。

2.1.21 屈服后刚度比 design post-yield stiffness ratio of energy dissipation device

金属消能器、屈曲约束支撑抗力与消能器两端相对位移滞回曲线族中，对应设计位移滞回曲线的屈服后刚度与初始刚度的比值；当采用三线性模型时，应是第 3 刚度与第 1 刚度（初始刚度）的比值。

2.1.22 消能器极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.23 消能器极限速度 ultimate velocity of energy dissipation device

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.24 设计延性系数 design ductility factor

金属消能器、屈曲约束支撑设计位移与计算屈服位移的比值。

2.1.25 设计阻尼力 design damping force

消能器在设计位移或设计速度时产生的最大计算输出抗力或试验加载力；也称最大阻尼力。

2.1.26 消能子结构 energy dissipation substructure

消能子结构是结构中耗能器和与耗能器相关联的结构。其中，子结构中的竖向构件应往下延伸一层。

2.1.27 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与耗能两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.28 极限延性系数 ultimate ductility factor

位移型耗能器极限位移与计算屈服位移的比值。

2.1.29 高阻尼橡胶耗能器 high damping rubber damper

由高阻尼橡胶材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒等组成，利用高阻尼橡胶材料产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置，其耗能能力与位移相关。

2.1.30 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。

2.1.31 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。

2.1.32 上部结构 superstructure above the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以上的主体结构。

2.1.33 下部结构 sub-structure below the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以下的主体结构，不包括基础。

2.1.34 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。对于橡胶支座，特定水平位移一般取为与橡胶层厚度 100%和 250%对应的水平剪切变形。

2.1.35 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。

2.1.35 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。

2.1.36 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。

2.1.37 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。

2.1.38 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。

2.1.39 摩阻力 frictional resistance

弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座的摩擦阻力。

2.1.40 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）。

2.1.41 弹性滑板支座（ESB） elastic slide bearing

由弹性材料与摩擦滑板组成的隔震支座。

2.1.42 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。

2.1.43 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。

2.1.44 减震系数 factor of response reduction

对于多层建筑，为按弹性计算所得隔震与非隔震各层层间剪力的最大比值；对于高层建筑结构，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。

2.1.45 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。

2.1.46 天然橡胶支座 (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。

2.1.47 铅芯橡胶支座 (LRB) lead rubber bearing

支座中含有铅芯的橡胶隔震支座。

2.1.48 高阻尼橡胶支座 (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。

2.1.49 层间隔震 middle storey isolation

隔震层设置在建筑物底部以上某层间位置的隔震体系

2.1.50 基底隔震 base isolation

隔震层设置在建筑物底部的隔震体系

2.1.51 阻尼装置 damping device

通过吸收并耗散地震输入能量而使隔震层地震响应衰减的装置

2.1.52 关键构件 key component

失效即可能使结构发生连续破坏或危及生命安全的严重破坏的结构构件

2.1.53 普通竖向构件 normal vertical component

除关键构件之外的结构柱、抗震墙等竖向结构构件

2.1.54 重要水平构件 important horizontal component

对结构整体性有较大影响的水平结构构件、承受较大集中荷载的梁及抗震墙连梁等

2.1.55 普通水平构件 normal horizontal component

除重要水平构件之外的水平结构构件

2.1.56 隔震楼层 isolation storey

在建筑物中，隔震层所在的楼层空间。可以是专用夹层空间，也可以是与建筑日常功能空间合用的楼层空间。

2.1.57 隔离缝 isolation seam

隔震层相关部位预留的结构变形缝，将隔震层上部结构与下部结构分离。在地震时，允许上部结构能够自由水平运动。竖向隔离缝（也称隔震沟），其宽度需要满足设计要求的相对水平位移。水平隔离缝缝宽需要满足构造设计及施工要求。

2.1.58 水平隔震距离 horizontal isolation distance

隔震建筑与非隔震建筑周圈均需脱开，保持一定的水平距离，确保地震时不碰撞，称之为水平隔震距离，一般通过设置竖向隔离缝或隔震沟实现该距离。

2.1.59 柔性连接 flexible joint

对穿越隔震层位置的设备管线、管道采用柔性接头、柔性连接段等处理措施，使得地震时管线、管道不阻碍隔震层的水平位移，同时避免或减少管线、管道损坏。

2.1.60 隔震工程专用标识 special signs for isolation building

对隔震建筑、隔震装置、相关构件和构造进行说明的专用标识，用以指导隔震建筑工程的使用、维护和宣传。

2.1.61 三维隔震（振） three-dimensional isolation

在结构中设置三维隔震（振）装置，以减小地震引起的水平震动和环境激振引起的竖向振动。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

- G ——上部结构总重力荷载代表值；
- G_{eq} 、 G_i ——结构等效总重力荷载、集中于 i 质点的重力荷载代表值；
- S ——地震作用效应与其它荷载效应的基本组合；
- S_E ——地震作用效应（弯矩、轴向力、剪力、应力和变形）；
- S_K ——作用、荷载标准值的效应；
- S_{EK} ——地震作用标准值的组合效应；
- 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_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；
- S_{Ehk}^* 、 S_{Evk}^* ——分别为水平、竖向地震作用标准值的效应；
- V ——底部加强部位剪力墙截面剪力设计值；
- 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_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；
- V_{Eki} ——结构第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力；
- 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；
 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 ——水平地震作用标准值；
 F_{ek} ——结构总水平地震作用标准值；
 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；
 F_{ik} ——质点*i*（或第*i*层）的水平地震作用标准值；
 F_{ji} ——*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值；
 F_{xji} 、 F_{yji} 、
 ——分别为*j*振型*i*质点*x*方向、*y*方向及转角方向水平地震作用标准值；
 N ——轴向压力；
 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；
 $\sum M_c$ ——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^l 、 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；
 D ——永久荷载；
 L ——活荷载；
 E ——极限安全地震作用；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{spk} ——剪力墙端部暗柱中型钢或墙内钢板的强度标准值。
 f_{spk} ——混凝土轴心抗压强度标准值。

2.2.2 结构参数

- F_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服剪力；
 T_i ——消能减震结构的第*i*阶振型周期；

- ζ ——消能减震结构总阻尼比；
 ζ_1 ——主体结构阻尼比；
 ζ_d ——消能减震建筑的附加有效阻尼比；
 ξ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；
 ω ——结构自振频率；
 Δu_{SY} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；
 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 ——罕遇地震作用下弹塑性层间位移；
 T ——结构自振周期；
 T_g ——特征周期；
 X_{ji} ——位移振型坐标（ j 振型 i 质点的 x 方向相对位移）；
 Y_{ij} ——位移振型坐标（ j 振型 i 质点的 y 方向相对位移）；
 φ_{ij} ——转角振型坐标（ j 振型 i 质点的转角方向相对位移）；
 n ——总数，如楼层数、质点数等；
 W_s ——结构在水平地震作用下的总应变能；
 R ——结构构件承载力；
 R_k ——结构构件承载力标准值；
 $[\theta]$ ——楼层位移角限值。
 $[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值；
 μ ——钢筋混凝土柱考虑设防地震组合作用的轴压比；
 K_{eq} ——隔震层水平等效刚度；
 F_h ——隔震层的水平剪力；
 t_0 ——修正前温度；
 t ——修正后温度。

2.2.3 隔震支座参数

- S_1 ——橡胶隔震支座第一形状系数；

- S_2 ——橡胶隔震支座第二形状系数；
- K_v ——隔震支座竖向压缩刚度；
- K_h ——隔震支座水平等效刚度；
- K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平等效刚度；
- K_j ——第 j 隔震支座(含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度；
- K_0 ——隔震支座屈服前水平刚度设计值；
- K_r ——天然隔震橡胶支座水平刚度设计值；
- G_r ——橡胶剪切模量；
- K_y ——铅芯隔震橡胶支座屈服后水平刚度设计值；
- K_p ——由铅芯部分提供的水平刚度；
- K_{eq} ——铅芯隔震橡胶支座等效水平刚度；
- ξ_{eq} ——铅芯隔震橡胶支座等效阻尼比。
- 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；
- t_r ——隔震支座内部橡胶总厚度；
- Q ——隔震支座水平剪力；
- Q_d ——隔震支座屈服力；
- Q_y ——隔震支座水平屈服力设计值；
- W ——支座承受的竖向荷载；
- W_d ——隔震支座每加载循环消耗能量；
- σ_0 ——隔震支座设计压应力；
- γ_0 ——隔震支座设计剪应变；
- 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；
- 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；

- u ——隔震支座在地震作用下位移。
- ξ_j ——第 j 隔震支座由试验确定的等效阻尼比；
- 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。
- K_m 三维隔震（振）支座竖向单调刚度
- K_c 三维隔震（振）支座竖向循环等效刚度

2.2.4 消能器参数

- C_j ——第 j 个消能器由试验确定的阻尼系数；
- C_D ——消能器的线性阻尼系数；
- K_{d0} ——消能器初始刚度；
- F_d ——消能器在相应位移下的抗力（阻尼力）；
- K_d ——沿消能方向消能器刚度；
- K_b ——支撑构件沿消能方向的刚度；
- W_{cj} ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移下往复循环一周所消耗的能量；
- ζ_d ——消能部件附加给结构的有效阻尼比；
- u ——沿消能方向消能器两端相对位移；
- Δu_{py} ——位移型消能部件在水平方向的屈服位移；
- μ_d ——延性系数，即位移型消能器屈服位移与计算屈服位移之比。

2.2.5 计算系数

- α ——水平地震影响系数；
- α_{\max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值；
- $\alpha_{\max 1}$ ——隔震后的水平地震影响系数最大值；
- $\alpha_{v\max}$ ——竖向地震影响系数最大值；
- γ_E ——作用分项系数；
- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
- ψ ——组合值系数；

- 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；
- γ_0 ——结构重要性系数；
- 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；
- ξ ——轴压比调整系数；
- β ——水平向减震系数；
- 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值；
- μ_s ——滑移面摩擦系数；

2.2.6 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。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 所有隔震建筑和消能建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 确定其抗震设防类别。

3.1.2 建筑结构的隔震设计和消能减震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、建筑结构方案和使用要求，综合考虑技术、经济和使用条件来确定。

条文说明：方案设计要通过综合分析，采用合理而经济的结构方案，这是一个综合的技术经济问题，应周密加以考虑。该条与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 2.4.1 条相对应。

3.1.3 隔震、减震建筑应符合下列要求：

1 应根据抗震设防类别按多遇地震、设防地震、罕遇地震三水准进行设计，基本的设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震时，主体结构不受损坏可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受罕遇地震时，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

2 隔震装置和消能器的性能参数应经试验确定。

3 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度、水平恢复力和阻尼。

4 隔震装置及消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明装置使用的环境。

5 隔震建筑应具有抗倾覆的安全富裕度，高层建筑尚应进行罕遇地震下整体倾覆承载力验算。

6 设计文件上应注明对隔震装置和消能器的性能要求，安装前应按规定进行抽样检测，确保性能符合要求。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016年版）1.01条、12.1.5条类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 2.1.1条、5.1.5条及 5.1.6条相对应。

3.1.4 隔震、消能减震建筑的设计使用寿命按主体结构确定，隔震装置和消能部件的设计使用年限到期后应抽样检测其组件材质的物理性能，并按检测结果确定后续使用年限或置换。

3.1.5 对有震后正常使用要求的建筑或楼层，相关设计标准及性能要求按照第 5 章要求执行。

3.2 场地与地基

3.2.1 宜选择对抗震有利地段作为隔震建筑和消能减震建筑的场地，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。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016年版）3.3.1条类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 3.1.2条相对应。

3.2.2 隔震建筑的地基应稳定可靠，所在的场地宜为 I、II、III 类，当场地为 IV 类时，应采取有效的措施。

3.2.3 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理应按设防地震进行。甲、乙类建筑的地基抗液化措施，应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016年版）12.2.9条第 3款类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 5.1.10条相对应。

3.3 试验与观测

3.3.1 对特殊设防类隔震建筑、或体型复杂或有特殊要求的隔震建筑，可采用结构模型的模拟地震振动台试验对隔震方案进行补充验证。

3.3.2 对较重要或有特殊要求的隔震建筑以及大型消能减震公共建筑，应设置地震反应观(监)测系统。

4 地震作用和作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 隔震、消能减震结构的地震作用，应符合下列规定：

- 1 一般情况下，应至少在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和消能部件共同承担。
- 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 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；其它情况，可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。
- 4 8 度时的大跨度和长悬臂结构应计算竖向地震作用。
- 5 对平面投影尺度很大的空间结构和长线型结构，地震作用计算时应考虑地震地面运动的空间和时间变化。
- 6 对地下建筑和埋地管道，应考虑地震地面运动的位移向量影响进行地震作用效应计算。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016 年版）5.1.1 条类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 4.1.2 条相对应。

4.1.2 计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按表 4.1.2 采用。

表 4.1.2 可变荷载的组合值系数

可变荷载种类		组合值系数
雪荷载		0.5
屋面积灰荷载		0.5
屋面活荷载		不计入
按实际情况计算的楼面活荷载		1.0
按等效均布荷载计算的楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
	其它民用建筑	0.5
起重机悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	软钩吊车	不计入

注：硬钩吊车的吊重较大时，组合值系数应按实际情况采用。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016 年版）5.1.3 条类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 4.1.3 条相对应。

4.1.3 隔震、消能减震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：

1 计算模型应包括隔震支座、消能部件的力学参数，宜采用空间结构有限元模型。

2 当主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、线性时程分析法。

3 当结构主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、消能器处于非线性工作状态时，可将隔震支座、消能器进行等效线性化，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、线性时程分析法；也可采用非线性时程分析法。

4 当主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或非线形时程分析方法。

4.1.4 采用振型分解反应谱法分析时，宜采用时程分析法进行地震下的补充计算。当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程分析法包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取 7 组及以上的时程曲线时，计算结果可取时程分析法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。

4.1.5 采用时程分析法分析时，应按建筑场地类别和设计地震分组选实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，基底剪力要求应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定执行；应对隔震前后的主要周期处进行反应谱幅值适配，每条记录在计算周期处适配谱值的相对误差应控制在 $\pm 20\%$ 以内，同时应采用附录 E 列出的校核地震动时程曲线进行复核。其加速度时程的最大值可按表 4.1.5 采用。

表 4.1.5 时程分析所用地震加速度时程的最大值 (cm/s^2)

地震影响	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
多遇地震	70	110
设防地震	200	300
罕遇地震	400	510

4.1.6 根据主体结构的工作状态，隔震与消能减震结构的计算分析方法应符合下列规定：

1 隔震结构：一般情况下，宜采用振型分解反应谱法或时程分析法在设防烈度地震作用下计算结构的减震系数，隔震支座力学模型以试验所得滞回曲线作为计算依据。

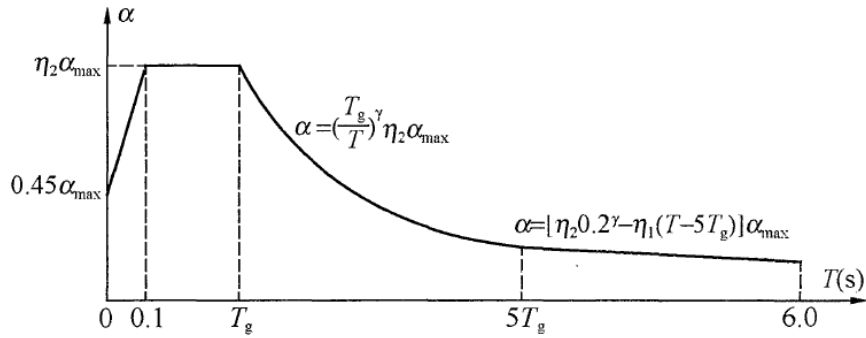
2 消能减震结构：当主体结构基本处于弹性工作阶段时，可采用线性分析方法作简化估算，并根据结构的变形特征和高度等，分别采用底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。

3 对隔震、消能减震主体结构进入弹塑性阶段的情况，应根据主体结构体系特征，采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.1.7 地震作用计算的地震影响系数曲线应按图 4.1.7 采用，并应满足下列规定：

1 除有专门规定外，建筑结构的阻尼比应取 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 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.9。
- 4) 直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，下降斜率调整系数应取 0.02。



α ——地震影响系数； α_{\max} ——地震影响系数最大值； γ ——衰减指数； η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数； T_g ——设计特征周期； η_2 直线下降段的下降斜率调整系数； T ——结构自振周期

图 4.1.7 地震影响系数曲线

2 当建筑结构阻尼比按有关规定不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

1) 曲线下降段的衰减指数应按下列公式确定：

$$\gamma = 0.9 + (0.05 - \zeta) / (0.3 + 6\zeta) \quad (4.1.7-1)$$

式中： γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——阻尼比。

2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下列公式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + (0.05 - \zeta) / (4 + 32\zeta) \quad (4.1.7-2)$$

式中： η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

4.1.8 地震影响系数应根据烈度、场地类别、结构自振周期以及阻尼比确定。阻尼比 5% 的水平地震影响系数最大值应按表 4.1.8 采用。

表 4.1.8 水平地震影响系数最大值

地震影响	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
多遇地震	0.16	0.24
设防地震	0.45	0.68
罕遇地震	0.90	1.20

4.1.9 在时程分析中，恢复力模型应包括结构、隔震支座和消能部件的恢复力模型。

4.1.10 除特殊规定外，应对隔震、减震结构按规定进行多遇地震作用下的截面抗震承载力验算，尚应进行多遇地震、设防地震和罕遇地震下的变形验算：

1 计算罕遇地震下结构的变形，应采用弹塑性时程分析法、简化的弹塑性分析方法或静力弹塑性分析方法。

2 平面投影尺度很大的空间结构，应根据结构形式和支承条件，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。

4.1.11 消能减震结构采用静力弹塑性分析方法分析时应满足下列要求：

1 消能部件中消能器和支撑根据连接形式不同，可采用串联模型或并联模型，将消能器

刚度和支撑的刚度进行串联等效，在计算中消能部件可采用等刚度的连接杆代替。

2 结构目标位移的确定应根据结构的不同性能来选择，宜采用结构总高度的 1.5%作为顶点位移的界限值。

3 结构的阻尼比由主体结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比组成，两种阻尼比应按结构弹塑性相应变形状态计算得到。

其中第 2 点顶点位移界限值建议根据不同的结构形式确定。

4.1.12 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 宜采用包含上部结构、隔震层及下部结构的整体模型，且隔震装置采用等效线性化模拟的隔震一体化模型进行隔震层以上的地震作用计算，并应考虑调整系数的不利影响调整水平地震作用。

2 等效线性化参数可根据迭代计算确定。

3 隔震层以上结构的水平地震相关构造宜根据底部剪力比确定。

4 隔震后的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{\max 1} = \beta \alpha_{\max} / \psi \quad (4.1.12)$$

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：①弹性计算时，简化计算和反应谱分析时宜按隔震支座水平剪切应变为 100%时的性能参数进行计算；当采用时程分析法时，应按设计基本地震加速度输入进行计算；

②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。

条文说明：隔震一体化模型应考虑调整系数 ψ 的不利影响，可采用对上部楼层地震剪力放大 $1/\psi$ 系数实现。

4.1.13 当处于发震断层 10km 以内时，隔震结构地震作用计算应考虑近场影响，乘以增大系数，5km 及以内宜取 1.5，5km 以外可取不小于 1.25。

4.1.14 三维隔震（振）结构的竖向地震作用计算，应考虑三维隔震（振）层对竖向地震作用的调整效应。

4.2 水平地震作用计算

4.2.1 采用振型分解反应谱法时，不进行扭转耦联计算的结构，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：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.1-1)$$

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i \quad (4.2.1-2)$$

式中： F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

α_j ——相应于 j 振型自振周期的地震影响系数

X_{ji} —— j 振型 i 质点的水平相对位移；

γ_j —— j 振型的参与系数。

2 水平地震作用效应(弯矩、剪力、轴向力和变形)，当相邻周期之比小于 0.85 时，可按下列式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum S_j^2} \quad (4.2.1-3)$$

式中： S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应；

S_j —— j 振型水平地震作用标准值的效应，可只取前 2~3 个振型，当基本自振周期大于 1.5s 或房屋高宽比大于 5 时，振型个数应适当增加。

4.2.2 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震效应应符合下列要求：

1 规则结构不进行扭转耦联计算时，平行于地震作用方向的两个边榀各构件，其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况下，短边可按 1.15、长边可按 1.05 采用；当扭转刚度较小时，周边各构件宜按不小于 1.3 采用。角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数。

2 按扭转耦联振型分解法计算时，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，并按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。确有依据时，尚可采用简化计算方法确定地震作用效应。

1) j 振型 i 层的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{xji} = \alpha_j \gamma_{xi} X_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.2-1)$$

$$F_{yji} = \alpha_j \gamma_{yj} Y_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.2-2)$$

$$F_{\varphi ji} = \alpha_j \gamma_{\varphi} r_i^2 \varphi_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.2.2-3)$$

式中： F_{xji} 、 F_{yji} ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向的地震作用标准值；

$F_{\varphi ji}$ —— j 振型 i 层的转角方向的地震作用标准值；

X_{ji} 、 Y_{ji} ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向的水平相对位移；

φ_{ji} —— j 振型 i 层的相对扭转角；

r_i —— i 层转动半径，可取 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_y ——计入扭转的 j 振型的参与系数，可按下列公式确定：

当仅取 x 方向地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i \quad (4.2.2-4)$$

当仅取 y 方向地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i \quad (4.2.2-5)$$

当取与 x 方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \gamma_{xj} \cos \theta + \gamma_{yj} \sin \theta \quad (4.2.2-6)$$

式中： γ_{xj} 、 γ_{yj} 分别由式(4.2.2-2)、(4.2.2-3)求得的参与系数；

θ 地震作用方向与 x 方向的夹角。

2) 单向水平地震作用下的扭转耦联效应，可按下列公式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad (4.2.2-7)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 - \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (4.2.2-8)$$

式中： S_{Ek} ——地震作用标准值的扭转效应；

S_j 、 S_k ——分别为 j 、 k 振型地震作用标准值的效应，可取前 9~15 个振型；

ζ_j 、 ζ_k ——分别为 j 、 k 振型的阻尼比；

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦系数；

λ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

3) 双向水平地震作用的扭转耦联效应，可按下列公式中的较大值确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85 S_y)^2} \quad (4.2.2-9)$$

$$S_{Ek} = \sqrt{S_y^2 + (0.85 S_x)^2} \quad (4.2.2-10)$$

式中， S_x 、 S_y 分别为 x 向、 y 向单向水平地震作用按式 (4.2.2-7) 计算的扭转效应。

4.2.3 抗震验算时，当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响下结构任一楼层的最小水平剪力应符合下式要求：

$$V_{Eki} > \lambda \sum_{j=1}^n G_j \quad (4.2.3)$$

式中： V_{Eki} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力；

λ ——剪力系数，不应小于表 4.2.3 规定的楼层最小地震剪力系数值，对竖向不规

则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数；

G_j ——第 j 层的重力荷载代表值。

表 4.2.3 楼层最小地震剪力系数值

类别	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
扭转效应明显或基本周期小于 3.5s 的结构	0.032	0.048
基本周期大于 5.0s 的结构	0.024	0.036

注：基本周期介于 3.5s 和 5s 之间的结构，按插入法取值。

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016 年版）5.2.5 条类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中 4.2.3 条相对应。

4.2.4 楼层水平地震剪力，应按下列原则分配：

1 现浇和装配整体式楼（屋）盖建筑，宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配。

2 普通的预制装配式楼（屋）盖建筑，可按抗侧力构件等效刚度的比例分配与抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配结果的平均值。

3 结构计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形和扭转的影响时，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定对条第 1、2 款的分配结果作适当调整。

4.3 竖向地震作用计算

4.3.1 9 度时的高层建筑，其竖向地震作用标准值应按下列公式确定（图 4.3.1）。楼层的竖向地震作用效应可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，并宜乘以增大系数 1.5。

$$F_{Evk} = \alpha_{vmax} G_{eq} \quad (4.3.1-1)$$

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum G_i H_i} F_{Evk} \quad (4.3.1-2)$$

式中： F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值（kN）；

F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值（kN）；

α_{vmax} ——竖向地震影响系数的最大值，可取水平地震影响系数最大值的 65%；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的 75%（kN）。

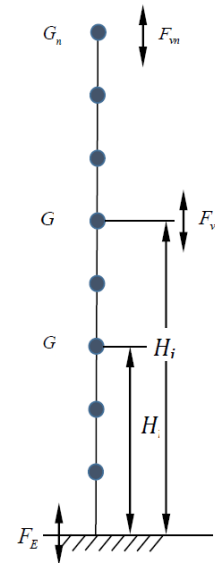


图 4.3.1 竖向地震作用计算简图

4.3.2 平板型网架屋盖和跨度大于 24m 屋架结构的竖向多遇地震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按表 4.3.2 采用。

表 4.3.2 竖向多遇地震作用系数

结构类型	烈度	场地类别		
		I	II	III、IV
平板型网架、钢屋架	8	可不计算 (0.10)	0.08 (0.12)	0.10 (0.15)
钢筋混凝土屋架	8	0.10 (0.15)	0.13 (0.19)	0.13 (0.19)

注：括号中数值用于设计基本地震加速度为 0.3g 的地区。

4.3.3 长悬臂和不属于本规范 4.3.2 条的大跨度结构的竖向地震作用标准值，8 度及 8 度半时可分别取该结构重力荷载代表值的 10%及 15%。

4.3.4 大跨度空间结构的竖向地震作用，尚可按竖向振型分解反应谱方法计算。其竖向地震影响系数可采用水平地震影响系数的 65%。

4.4 截面抗震验算

4.4.1 结构构件的多遇地震作用效应和其它荷载效应的基本组合，应按下列式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (4.4.1)$$

式中：S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

R——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表 4.4.1-1 采用；

γ_G ——重力荷载分项系数，一般情况应采用 1.3，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表 4.4.1-2 采用；

γ_W ——风荷载分项系数，应采用 1.5；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应，可按本章 4.1.2 条采用，但有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{Wk} ——风荷载标准值的效应；

ψ_W ——风荷载组合值系数，一般结构取 0.0，风荷载起控制作用的高层建筑应采用 0.2。

表 4.4.1-1 主体结构承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	RE
钢	柱、梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80
砌体	两端均有构造柱、芯柱的抗震	受剪	0.9
	其它抗震墙	受剪	1.0
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	抗震墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

表 4.4.1-2 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Eh}
仅计算水平地震作用	1.4	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.4
同时计算水平与竖向地震作用（水平地震为主）	1.4	0.5
同时计算水平与竖向地震作用（竖向地震为主）	0.5	1.4

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016年版）5.4.1条类似，但部分分项系数与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中4.3.2条相对应。

4.4.2 当仅计算竖向地震作用时，各类结构构件承载力抗震调整系数均采用1.0。

4.5 抗震变形基本要求

4.5.1 1 减震结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，其楼层内最大的弹性层间位移应符合下式要求：

$$\Delta\mu_e \leq [\theta_e]h \quad (4.5.1)$$

式中： $\Delta\mu_e$ ——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；计算时，除以弯曲变形为主的高层建筑外，可不扣除结构整体弯曲变形；应计入扭转变形，各作用分项系数均采用1.0；钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；

h ——计算楼层层高。

2 消能减震结构在多遇地震作用下的弹性层间位移角限值，宜符合以下规定：

- 1 高度不大于150m的建筑，宜按表4.5.1采用；
- 2 高度不小于250m的建筑，不宜大于1/500；
- 3 高度在150~250m之间的建筑，可按本条第1款和第2款的限值线性插入取用。

表 4.5.1 消能减震结构和隔震层上部结构弹性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架	1/550
钢筋混凝土框架—抗震墙、框架—核心筒、板—柱—抗震墙	1/800
以下结构的嵌固端上一层：钢筋混凝土框架—抗震墙、框架—核心筒、板—柱—抗震墙	1/2000
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/1000
以下结构的嵌固端上一层：钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/2500
多、高层钢结构	1/250

4.5.2 隔震、减震结构在罕遇地震下，结构楼层内最大弹塑性层间位移，应符合4.5.2式要求，其弹塑性位移角限值宜按表4.5.2采用。

$$\Delta\mu_p \leq [\theta_p]h \quad (4.5.2)$$

式中： $[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值，可按表 4.5.2 采用；

h ——薄弱层楼层高度。

表 4.5.2 消能减震结构罕遇地震下弹塑性层间位移角限值

结构类型	罕遇地震
钢筋混凝土框架	1/80
钢筋混凝土框架-抗震墙、板-柱-抗震墙、框架-核心筒	1/120
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/150
多、高层钢结构	1/50

4.5.3 隔震层下部结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值，应符合表 4.5.3 的要求。

表 4.5.3 罕遇地震下隔震层下部结构弹塑性层间位移角限值

结构类型	罕遇地震 $[\theta_p]$
钢筋混凝土框架	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	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙	1/250
多、高层钢结构	1/120

条文说明：该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（2016年版）12.2.9条第二款类似，并与将要实施的强制性工程建设规范《建筑与市政工程抗震通用规范》中5.1.8条相对应。

5 震后正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

5.1.1 震后正常使用建筑分类应按照表 5.1.1 进行。

表 5.1.1 震后正常使用建筑分类

震后正常使用建筑	建筑物
I 类	应急指挥中心；应急避难场所；消防指挥中心；医院的门诊、医技、住院用房
II 类	医院附属用房；学校；幼儿园；养老机构；儿童福利机构；广播电视等

条文说明：震后正常使用指在设防地震下建筑保持正常使用功能，包括地震时功能不中断或功能可尽快恢复的建筑，正常使用功能包括结构安全、空间正常使用和设备正常运转。其中 I 类为地震时功能不中断的建筑；II 类为地震后功能需要尽快恢复的建筑。

5.1.2 震后正常使用建筑应基于设防地震进行设计，并进行设防地震和罕遇地震下的变形验算。

5.1.3 震后正常使用建筑进行消能减震或隔震设计时，消能减震结构的主体结构和隔震结构的上部结构应按本规程第 5.3 节进行抗震承载力验算。

5.1.4 震后正常使用建筑应进行结构弹塑性分析，计算设防地震作用和罕遇地震作用下的结构层间位移，结构层间位移应满足 5.4.1 的规定。

5.1.5 震后正常使用建筑应进行结构弹塑性时程分析，计算设防地震作用和罕遇地震作用下的结构楼层加速度，结构楼层加速度宜满足 5.4.2 的规定。

5.1.6 非结构构件、管线和设备的选型应满足 5.5 的要求。

5.1.7 震后正常使用建筑的设计文件应提供相关楼层在设防地震水准作用下的层间位移和加速度响应，便于业主参照相应指标选择非结构构件、设备和管线。

5.1.8 震后正常使用建筑设计完成后宜根据《建筑抗震韧性评价标准》进行抗震韧性评价，其中震后正常使用 I 类建筑应达到韧性二星级及以上水平；震后正常使用 II 类建筑应达到韧性一星级及以上水平。

5.2 震后正常使用建筑的性能目标

5.2.1 震后正常使用建筑的性能水准可按表 5.2.1 划分。

表 5.2.1 震后正常使用建筑的性能水准划分

建筑性能水准		完好	轻微损伤	中等损伤
构件损伤情况	结构构件	完好	轻微损伤	中等损伤
	减震部件	完好	轻微损伤	中等损伤
	隔震部件	完好	轻微损伤	中等损伤
	非结构构件	完好	轻微损伤	中等损伤
	设备	完好	轻微损伤	中等损伤
	管线	完好	轻微损伤	中等损伤

继续使用的可能性	无需修理可继续使用	简单修理可继续使用	适度修理可继续使用
----------	-----------	-----------	-----------

5.2.2 震后正常使用建筑的抗震性能目标应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 震后正常使用建筑的性能目标

地震水平	设防地震	罕遇地震
I 类建筑性能目标	完好	轻微损伤
II 类建筑性能目标	轻微损伤	中等损伤

5.3 截面抗震验算

5.3.1 震后正常使用隔震建筑的结构构件应按照 4.4.6 进行设计。

5.3.2 震后正常使用消能减震建筑的结构构件应按照设防地震作用进行设计，并满足下列规定：

1. 关键构件的抗震承载力，应符合下式规定：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.3.2-1)$$

2. 竖向构件和消能子框架中水平构件的受剪承载力应符合 (5.3.2-1) 的规定，正截面承载力应符合式 (5.3.2-2)、(5.3.2-3) 的规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4 S_{Evk} \leq R_k \quad (5.3.2-2)$$

$$S_{GE} + 0.4 S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k \quad (5.3.2-3)$$

3. 其它水平构件的抗剪承载力符合式 (5.3.2-2)、(5.3.2-3) 的规定，正截面承载力应符合下式规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4 S_{Evk} \leq R_k^* \quad (5.3.2-4)$$

式中： R_k^* ——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算，对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑钢筋的超强系数 1.25。

条文说明：震后正常使用对结构的性能指标要求相对较高，对 I 类、II 类建筑结构构件的承载力均需提高至按设防地震进行设计。

5.4 结构层间变形和楼面加速度基本要求

5.4.1 震后正常使用建筑的最大层间位移角限值应按表 5.4.1 确定。

表 5.4.1 震后正常使用建筑在设防地震和罕遇地震下的弹塑性层间位移角限值

地震水平		设防地震	罕遇地震
I 类建筑性能目标	钢筋混凝土框架	1/550	1/250
	钢筋混凝土框架-抗震墙、板-柱抗震墙、框架-核心筒	1/800	1/400
	钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/1000	1/500
	多、高层钢结构	1/250	1/150
II 类建筑性能目标	钢筋混凝土框架	1/250	1/150
	钢筋混凝土框架-抗震墙、板-柱抗震墙、框架-核心筒	1/400	1/300

	钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混 凝土框支层	1/500	1/300
	多、高层钢结构	1/150	1/100

条文说明：以主要结构构件和位移相关性非结构构件的地震易损性为基础，通过限制设防地震和罕遇地震作用下结构的层间变形，控制上述构件在一定保证率条件下处于完好、轻微损伤和轻度损伤的状态，从而确保实现表 5.2.2 所列的震后正常使用建筑的性能目标。

参考《建筑抗震设计规范》5.5 节，震后正常使用建筑按 4 类结构类型规定其层间位移角限值，其中，钢筋混凝土框支层与钢筋混凝土抗震墙、筒中筒并为一类。

为了确保 I 类建筑在设防地震作用下保持正常使用功能完好，参考《建筑抗震设计规范》表 5.5.1 给出 4 类结构的层间位移角限值，确保 I 类建筑的主体结构在设防地震水准下不进入屈服。对于钢筋混凝土框架结构，《建筑抗震韧性评价标准》附录 D 提供的钢筋混凝土框架柱和梁构件处于完好状态且具有 95% 保证率的层间变形限值分别为 1/483 和 1/552，与本标准 1/550 的限值非常接近。

对于轻微损伤和中等损伤的震后正常使用性能目标，本标准参考《建筑抗震韧性评价标准》附录 D，采用具有 84% 保证率的层间位移角限值。其中，框架柱处于轻微损伤和中等损伤的变形限值分别为 1/213 和 1/149，框架梁处于轻微损伤和中等损伤的变形限值分别为 1/221 和 1/149，因此，钢筋混凝土框架结构取 1/250 和 1/150 分别作为轻微损伤和中等损伤的层间位移角限值；剪力墙处于轻微损伤和中等损伤的变形限值分别为 1/414 和 1/270，连梁处于轻微损伤和中等损伤的变形限值分别为 1/311 和 1/166，因此，钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构取 1/500 的层间位移角作为轻微损伤状态限值，取 1/300 层间位移角作为中等损伤状态限值，均具有一定冗余度；这是因为综合考虑钢筋混凝土框架-抗震墙、板-柱抗震墙、框架-核心筒结构，综合考虑框架梁、柱，剪力墙和连梁构件的修复难度后，适当提高了轻微损伤对应的变形控制要求。

5.4.2 震后正常使用建筑的最大楼层加速度限值宜按表 5.4.2 确定。

表 5.4.2 震后正常使用建筑的最大楼层加速度限值 (g)

地震水平	设防地震	罕遇地震
I 类建筑性能目标	0.2	0.4
II 类建筑性能目标	0.4	0.6

条文说明：基于《建筑抗震韧性评价标准》的算例分析显示，采用常规非结构构件和机电设备的框架、框架-剪力墙和剪力墙等结构在设防地震和罕遇地震下加速度不超过 0.21 g 和 0.43 g 时，地震韧性等级可达到 2 星；同时，它们在设防地震和罕遇地震下加速度不超过 0.42 g 和 0.625 g 时，抗震韧性等级可达到 1 星。因此，将结构的层间位移角和楼层加速度响应峰值控制在 5.4.1 条和 5.4.2 的对应限值以内，可以大概率保证震后正常使用建筑的抗震韧性评估结果满足本标准 5.1.8 条。

5.5 非结构构件、设备和管线的性能要求

5.5.1 震后正常使用建筑宜根据其结构在设防地震作用下的层间位移角和楼面加速度响应选择符合性能目标要求的非结构构件、设备和管线。

5.5.2 常见位移敏感型非结构构件、设备和管线等满足建筑震后正常使用要求时，其所能承受的楼层最大层间位移角限值按表 5.5.2 采用。

表 5.5.2 位移敏感型非结构构件的弹性层间位移角限值			
构件类型	分组	弹性层间位移角限值 (rad)	
		I 类	II 类
填充墙	轻钢龙骨石膏板，到顶，上、下端固定	0.0035	0.005

	轻钢龙骨石膏板，不到顶，下端固定、上端侧向支撑	0.0075	0.010
	轻钢龙骨石膏板，到顶，下端固定，上端滑槽	0.0025	0.004
	木龙骨石膏板，到顶，上、下端固定	0.0015	0.002
楼梯	非抗震节点	0.0025	0.005
玻璃幕墙	框架式	0.02	0.026

条文说明：II类指标参考《建筑抗震韧性评价》表F.1，一级损伤状态的中位值；I类指标在II类指标基础上，将完好保证率提高到84%。设表F.1中不同损伤状态等级对应的对数标准差为 σ ，不同损伤状态等级对应的中位值为 $median$ ，则具有84%完好保证率的限值 Z_1 按照式5.5.2-1计算，具有95%保证率的限值 Z_2 按照式5.5.2-2计算。

$$Z_1 = e^{\ln(median) - \sigma} \quad (5.5.2-1)$$

$$Z_2 = e^{\ln(median) - 1.645\sigma} \quad (5.5.2-2)$$

5.5.3 常见加速度敏感型非结构构件、设备和管线等满足建筑震后正常使用要求时，其所能承受的最大楼面加速度限值按照表5.5.3采用。

构件类型	分组	楼面加速度限值(g)	
		I类	II类
吊顶	面积 $\leq 25m^2$ ；仅纵向支撑	0.91	1.17
	面积 $\leq 25m^2$ ；纵向支撑与侧向支撑	1.19	1.60
	面积 $> 25m^2 \sim 95m^2$ ；仅纵向支撑	0.55	0.80
	面积 $> 25m^2 \sim 95m^2$ ；纵向支撑与侧向支撑	1.09	1.47
	面积 $> 95m^2 \sim 230m^2$ ；仅纵向支撑	0.55	0.70
	面积 $> 95m^2 \sim 230m^2$ ；纵向支撑与侧向支撑	0.90	1.21
	面积 $> 230m^2$ ；仅纵向支撑	0.44	0.56
	面积 $> 230m^2$ ；纵向支撑与侧向支撑	0.81	1.09
电梯	曳引电梯	0.19	0.25
	液压电梯	0.31	0.37
冷水管	管径 $> 80mm$ ；仅纵向支撑，管道破坏	0.78	1.01
	管径 $> 80mm$ ；纵向与侧向支撑	0.99	1.36
热水管	管径 $< 80mm$ ；仅纵向支撑	0.24	0.33
	管径 $< 80mm$ ；纵向与侧向支撑	0.99	1.36
	管径 $\geq 80mm$ ；仅纵向支撑	0.66	0.91
	管径 $\geq 80mm$ ；纵向与侧向支撑	0.99	1.36
污水管	铸铁管，柔性连接，仅纵向支撑	0.53	0.73
	铸铁管，柔性连接，纵向与侧向支撑	0.99	1.36
	铸铁管，插接，仅纵向支撑	0.99	1.36
	铸铁管，插接，纵向与侧向支撑	0.53	0.73
蒸汽管道	管径 $< 80mm$	0.24	0.33
	管径 $\geq 80mm$	0.78	1.01
消防喷淋水管	水平支管，无支撑	0.57	0.74

	水平支管，有支撑	0.78	1.01
喷头立管	嵌入无支撑柔性可拆卸吊顶，长度不超过 2m	0.39	0.50
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶，长度不超过 2m	0.28	0.37
	嵌入有支撑柔性可拆卸吊顶，长度不超过 2m	0.78	1.01
	无吊顶、长度不超过 2m	0.78	1.01
冷却水管	管径<80mm	0.24	0.33
	管径≥80mm，仅纵向支撑	0.66	0.91
	管径≥80mm，纵向与侧向支撑	0.99	1.36
冷水机组	无锚固，无隔振	0.10	0.13
	有锚固或隔振	0.52	0.59
冷却塔	无锚固，无隔振	0.26	0.34
	有锚固或隔振	0.36	0.53
空气压缩机	无锚固，无隔振	0.12	0.16
	有锚固或隔振	0.34	0.38
暖通空调管道风 机	隔振+水平支撑	0.84	1.16
	隔振+水平及纵向支撑	1.17	1.51
	未隔振+水平支撑	0.98	1.27
	未隔振+水平及纵向支撑	1.17	1.51
暖通空调风管	截面积<0.6m ² ，水平支撑	0.78	1.01
	截面积<0.6m ² ，水平+纵向支撑	0.78	1.01
	截面积≥0.6m ² ，水平支撑	0.78	1.01
	截面积≥0.6m ² ，水平+纵向支撑	1.94	2.51
支管及风口	位于吊顶内	0.67	0.87
	无吊顶，水平支撑	0.78	1.01
	无吊顶，水平+纵向支撑	0.78	1.01
VAV 箱带卷盘	水平或纵向支撑	0.98	1.27
空调系统风机	无隔振，无锚固	0.26	0.34
	隔振，无限位措施	0.37	0.55
	刚性锚固或隔振且采取限位措施	1.79	2.63
空气处理机组	无锚固，无隔振	0.13	0.17
	有锚固	0.57	0.85
变压器	无锚固，无隔振	0.38	0.55
	有锚固或隔振	1.34	1.85
电机控制箱	无锚固，无隔振	0.35	0.47
	有锚固或隔振	1.24	1.61
配电盘/低压开 关设备	无锚固，无隔振	1.03	1.38
	有锚固或隔振	1.58	2.04

条文说明：II 类建筑的指标参考《建筑抗震韧性评价》表 F1，存在 1 级损伤指标的，按照 1 级损伤指标确定。不存在 1 级指标的，按照最严格指标取 84% 保证率确定。I 类建筑的指标按照 1 级损伤指标确定时，取 84% 保证率；其他情况，按照最严格指标取 95% 保证率确定。

5.5.4 震后正常使用建筑采用本规程未涉及的非结构构件和设备等时，应采用经试验验证有效的非结构构件、设备、管线或抗震构造措施，并提供相关试验报告，以满足 5.2 规定的性能目标。

6 消能减震结构一般规定

6.1 一般规定

- 6.1.1** 消能减震结构设计可分为新建消能减震设计和既有建筑结构消能减震加固设计。
- 6.1.2** 消能减震结构设计应采用抗震性能化设计方法，应根据其抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构类型和体型特征，建筑使用功能和附属设施功能的要求、震后损失和修复难易程度等，合理选择和布置消能部件，分别选定针对整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。
- 6.1.3** 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等因素，根据结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。设计文件中应注明消能器使用环境、检查和维护要求。
- 6.1.4** 消能部件的布置应符合下列规定：
- 1 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系。
 - 2 消能部件宜根据类型设置在相对变形或相对速度较大的位置。
 - 3 消能部件的设置位置及连接构造，应便于检查、维护和替换。
- 6.1.5** 当消能减震结构遭遇地震后，应对消能器进行检查和维护，必要时应进行更换。

6.2 消能器要求

- 6.2.1** 消能器的选择应符合下列规定：
- 1 消能器的极限位移应大于消能器设计位移的 1.2 倍。速度相关型消能器极限速度应大于消能器设计速度的 1.2 倍。
 - 2 在 10 年一遇标准风荷载作用下，摩擦消能器不应进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服。
 - 3 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。
- 6.2.2** 消能器的性能及检测方法应满足本规程及国家行业相关规范的要求。
- 6.2.3** 工程应用的消能器应有型式检验、出厂检验、见证检验。
- 6.2.4** 工程应用的消能器应在设计文件中注明本规程要求的全部力学性能参数和数量。
- 条文说明：消能器的设计要求。国内一些厂家经过多年的工程实践，积累了多年的消能器生产、安装经验。为了保证消能器性能的可靠性和稳定性，消能器生产厂家宜把消能器按力学性能指标不同需求进行标准化、规格化，设计单位在消能器配置过程中宜选用标准化产品，以减少消能器加工制作成本和保证产品质量。

6.3 结构分析

- 6.3.1** 消能减震结构分析模型应正确地反映不同荷载工况的传力途径、在不同水准地震动下主体结构和消能器所处的工作状态。
- 6.3.2** 消能减震结构的分析方法应根据主体结构、消能器的工作状态选择，可采用振型分解反应谱法、弹性（线性、非线性）时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法。
- 条文说明：不同类型消能器对消能减震结构的动力特性和动力反应会产生比较大的影响，消能器工作时表现的强非线性特性使消能减震结构的分析复杂化：在多遇地震作用时，主体结构保持弹性状态，消能器进入工作状态，此时一般位移相关型消能部件主要为主体结构提供刚度，而黏滞消能器主要为结构提供附加阻尼。在设防地震，消能器在主体结构进入弹塑性变形之前进入耗能阶段，消能器将表现出较强的非线性

特征；在罕遇地震作用下，主体结构将产生较大的弹塑性变形，消能器也进入强烈的非线性工作状态。因此，消能减震结构分析必须考虑主体结构和消能部件在不同工作状态下的性能特征。多遇地震和基本烈度情况下，当根据结构层间变形情况可假定主体结构构件基本处于弹性工作阶段时，可建立用非线性连接单元模拟消能器力学行为且包含连接构件的空间有限元模型，采用时程分析法估计消能支撑的减震效果。罕遇地震下宜根据主体结构层间变形情况，采用静力弹塑性分析、弹塑性时程分析方法或用等效线性结构（用主体结构刚度折减考虑弹塑性影响）而消能支撑非线性的时程分析法估算消能减震结构的变形情况。

表6.3.2 主体结构和消能器所处的状态及适合的分析方法

主体结构状态	消能器状态	分析方法	
线性	线性	振型分解反应谱法目的：获得构件内力、层间剪力、层间位移角等	弹性线性时程分析方法目的：获得层间剪力、层间位移角、消能器耗能情况器耗能情况等
线性	非线性	振型分解反应谱法（计及消能器非线性特性）目的：获得构件内力、层间剪力、层间位移角等	非线性时程分析方法目的：获得层间剪力、层间位移角、消能器耗能情况等
弹塑性	非线性	静力弹塑性分析方法（计及消能器非线性特性）目的：获得最大层间位移角	非线性时程分析方法目的：获得层间剪力、层间位移角、塑性铰分布、消能器耗能情况等
等效线性	非线性		非线性时程分析方法目的：获得层间剪力、层间位移角，消能器耗能情况等

6.3.3 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器工作消能效果附加给主体结构的有效阻尼比的总和，结构总阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态及不同水准地震动激励状态分别确定。

条文说明：结构由于消能器的存在，增加了结构的总阻尼比 ζ 。因此，消能部件附加给结构的有效阻尼比的计算是消能减震结构体系设计中的一个关键问题。当 ζ 计算过高，会高估消能器的耗能能力，使结构设计偏于不安全；当 ζ 计算过小时，消能器作用未能有效计入其减震效果，将增加建造成本。因此，需合理地计算消能器附加给结构的阻尼比，使结构设计既安全又经济。

消能减震结构的阻尼比由主体结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比组成，当结构处于弹性状态时，主体结构阻尼比为一定值（混凝土结构可取为 0.05、钢结构可取为 0.02-0.04）；当主体结构进入塑性状态后，部分结构构件发生塑性变形，总阻尼比相对于弹性状态有所提高，主体结构阻尼比应重新计算，并考虑结构构件塑性变形的影响。按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求，当消能减震结构总阻尼比超过 30% 时，应取 30%。消能减震结构中的消能器会给结构提供附加（动力）刚度，对于位移相关型消能器附加刚度大小与消能器的相对位移有关，而速度相关型消能器的附加刚度与消能器的相对速度有关。因此，在计算结构地震反应和振动周期时应考虑附加刚度的影响，消能器为结构提高的附加刚度一般采用有效刚度。

6.3.4 消能减震结构的总刚度应为主体结构刚度和消能部件附加给主体结构的有效刚度之和，且应考虑不同变形状态导致的刚度差异。

6.3.5 消能器的恢复力模型应采用成熟的模型并经试验验证。

6.3.6 大型复杂消能减震结构在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，宜采用不少于两个合适和成熟的不同软件进行对比分析，计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

条文说明：当消能减震结构采用成熟和广泛使用的软件建立三维空间模型，且把消能部件的支撑、连接件刚度用合适单元模拟，对于一般多层结构则不硬性规定使用两个不同的软件分析消能部件的减震效果。

6.3.7 罕遇地震作用下消能器的设计位移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定。

条文说明：对消能器设计位移计算方法的要求。罕遇地震下消能减震结构分析，一般应该考虑结构弹塑性变形对消能器实际可能遇到的最大行程的影响，且应给予余量，从而保证消能部件正常工作。

6.4 连接与节点

6.4.1 消能器与支撑、支承构件连接，应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。

条文说明：日本《被动减震结构设计及施工手册》JSSI 中指出，当屈曲约束支撑加固的钢筋混凝土支撑截面设置成 K 字型时，由于其与上层大梁连接节点处采用钢板焊接，使得钢板部分发生互不相同的平面外失稳，并导致大梁发生大的扭转变形和钢筋混凝土加固部分的混凝土剥落。由于屈曲约束支撑端部的十字型节点板或连接板，即使其区间很短，但往往仍以单独的板单元出现，故必须考虑该节点处屈曲失稳的可能性。因此，对节点所连接杆件部分的应力分析不能简单地采用构件模型进行评估，必须建立节点区域局部的详细模型用以分析塑性变形的集中程度。在设计消能器时必须考虑到在结构总体达到极限承载力前不产生上述的局部损伤。

由于水平地震作用集中在支撑上，作为力传递路径的楼板将产生平面内剪力，单独的组合大梁有可能发生楼板剪切破坏的情况。尤其是采用墙式连接时，梁端很容易出现剪切破坏；当大梁中间部分设置有“人”字型支撑剪切板时，消能器的水平抗力将对大梁跨中产生附加弯矩，进而在梁端产生弯、压（拉）、剪的复杂应力状态。

为了避免上述情况在消能部件中出现，消能部件设计过程中必须考虑支撑的连接部位在消能器最大阻尼力作用下的受力性能及整体稳定性，其连接构造措施应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010、《钢结构设计规范》GB50017、《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ138 的要求。

6.4.2 消能器与支撑、连接件之间宜采用高强螺栓连接或销轴连接，也可采用焊接。

条文说明：消能器的检测要求。消能器与支撑构件和主体结构连接，考虑到施工制作方便和易于更换，一般采用螺栓连接或销轴连接。实践中黏滞消能器大多是销轴连接，而位移相关型消能器大多采用焊接连接。焊接连接件的现场施工应注意避免焊接高温对混凝土构件强度的损伤。对于屈曲约束支撑应充分考虑刚性连接附近弯曲效应对支撑受力的影响，减小这种不利影响的有效措施是采用销轴连接。

6.4.3 在消能器极限位移或极限速度对应的阻尼力作用下，与消能器连接的支撑、墙、支墩应处于弹性工作状态；消能部件与主体结构相连的预埋件、节点板等应处于弹性工作状态，且不应出现滑移或拔出等破坏。

条文说明：消能器的设计要求。通过对经历过实际地震考验的消能减震结构调研分析，发现消能部件存在一定的侧向失稳现象，其原因在于建筑结构的复杂性及不规则性，使得按照平面框架理论分析设计的消能部件与实际情况可能存在较大偏差，而侧向失稳与否直接关系到消能器的减震效果。因此，在消能减震设计中，需保证在地震作用下，消能部件及其与结构构件相连的节点不发生侧向失稳或破坏，以保证消能器正常工作。

6.4.4 消能器所用支撑及支墩的详细构造和力学性能应在设计说明中注明。

6.5 消能部件材料与施工

6.5.1 支撑及连接件一般采用钢构件，也可采用钢管混凝土或钢筋混凝土构件。对支撑材料和施工有特殊规定时，应在设计文件中注明。

6.5.2 钢筋混凝土构件作为消能器的支撑构件时，其混凝土强度等级不应低于 C30。

6.5.3 消能部件的安装可在主体结构完成后进行或在主体结构施工时进行，消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形，且计算分析应考虑消能部件安装次序的影响。

6.6 耐久性规定

6.6.1 消能部件的混凝土部分的耐久性应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010

的规定，钢构件的防护应满足国家现行标准《钢结构设计规范》GB50017 的规定。承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理，不承受竖向荷载的消能器可不进行防火处理。

条文说明：消能器的防火要求。钢结构在高温条件下材料强度会明显降低，并发生蠕变，从而使其失去承载能力，对于消能减震结构，为了避免消能器在建筑自重下出现明显的变形，一般情况下布置于建筑中的消能器不承受建筑的竖向荷载，为此，消能器在发生火灾后即使出现失效，也不会导致结构失去竖向承载能力，从而不需要进行防火处理。对于承受竖向荷载的屈曲约束支撑需要按主体结构要求进行防火处理。

6.6.2 消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验，以判定继续使用或更换。

条文说明：消能器在遭受火灾后的检查要求。对于金属消能器和屈曲约束支撑，其消能材料或消能元件可能都是钢材，由于钢材在高温情况下力学性能会发生明显的改变，可能会使消能器的力学性能发生变化，达不到原设计要求，导致结构偏于不安全。黏滞消能器中的黏滞材料的消能性能对温度剧烈变化较为敏感。为此，消能器在过火或高温之后应进行检查和性能检测，重新判定消能器是否能继续使用或更换。

6.6.3 当消能减震建筑遭遇不低于设防烈度的地震后，应对消能器以及消能子结构进行检查和维护。设计文件应注明使用期间对生产厂家的回访检验和业主的定期检验要求。

条文说明：消能器的设计要求。消能器在使用过程中如遇变形缝被外物堵塞或消能器本身出现性能问题将会影响消能器对结构地震反应的控制效果，为避免该现象发生，设计文件中应注明可由生产厂家在消能器正常使用期间和地震发生后对消能器进行回访检查，以确保消能器的正常使用；或设计文件中注明由业主在建筑正常使用期间定期检查消能器外部情况，如发现黏滞消能器漏油、位移型消能器锈蚀，应通知专业人员维护；地震发生后应委托专业技术人员对消能子结构受损情况进行检查。

7 消能器的技术性能

7.1 一般规定

7.1.1 消能器的设计使用年限不宜小于建筑物的设计使用年限，消能器达到使用年限应及时按一定比例数量抽检其性能，重新确定消能器后续使用年限或更换。

条文说明：建筑物使用年限是设计规定在既定的时间内，建筑只需进行正常的维护而不需进行大修就能按预期目的使用，完成预定的功能，即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限。消能减震结构设计中，消能器的设计至关重要，消能器一旦失效，不仅原有减震设计目标很难达到，而且在地震作用下还可能产生负面效果，如导致结构动力特性改变、增强地震作用等不利效应等。

目前，还无法对地震的发生做出合理的预测，无法判断其发生的时间、地点和强度。消能器作为结构中消耗地震能量的主要构件之一，设计使用年限内应时刻处于有效工作状态，从而保证地震作用时起减震作用。至今消能减震技术在实际结构中应用的时间还没有超过现有规范规定的建筑物使用年限，无法对每类消能器实际使用年限范围内的可靠性作出明确限定，只能通过消能器某些元件的耐久性特性推算消能器的使用年限。为此，各种消能器产品上应标注出厂时间和使用年限。为了保证消能减震结构在使用年限内的安全性，消能器应和使用消能器的建筑具有相同的使用年限，不满足要求时，消能器从生产日期算起的寿命达到其使用年限时应按一定比例数量拆下消能器到具有检测资质的试验室抽检性能，确定消能器新的使用年限；不满足使用要求时应更换新的消能器，或置换消能器部分元件，使其满足设计要求。一般认为金属消能器在使用期内防腐有保证时，其使用寿命应该与其材质使用寿命一致。对于黏滞消能器的性能保证使用寿命通常认为是30年，生产厂家另有质量保证说明的除外。

7.1.2 消能器应具有良好的抗疲劳和抗老化性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的要求，不满足时应作保温、除湿、防紫外线、定期防锈等相应处理。黏弹消能器仅适用于0℃~40℃温度的工作环境。

条文说明：研究表明，影响黏滞类消能器耐久性能的主要因素是温度变化、应变幅值和频率、紫外线等；金属类消能器耐久性影响主要包括锈蚀和钢材在高温下的软化和低温下的脆性断裂等。为此，消能器的耗能性能和使用寿命很大程度上受温度、腐蚀等环境因素的影响，在设计和使用消能器期间要考虑到这些因素，应有抗老化、防腐蚀的可靠措施。

7.1.3 消能器的外观应符合下列规定：

- 1 消能器外表应光滑，无明显缺陷；
- 2 消能器需要考虑防锈和防火时，应外涂防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，但不能影响消能器的正常工作；
- 3 消能器的尺寸偏差应符合本规程有关规定；
- 4 消能器外观应符合本规程有关规定。

7.1.4 消能器的性能应符合下列规定：

- 1 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍极限阻力力选取，应保证消能器及附属构件在罕遇地震作用下都能正常工作。
- 2 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑，稳定。

7.1.5 本规程未包含的消能器类型和连接做法均应经过消能减震结构或子结构试验，验证消能器的性能和减震效果。

7.1.6 消能器标准化产品规格及力学性能参数可参照本规程附录F。

7.1.7 消能器若采用销轴连接，其连接缝隙不应大于0.1mm。

7.1.8 消能器产品性能指标文件中应给出本规程规定的所有力学性能参数值。

7.2 金属屈服型消能器

7.2.1 金属屈服型消能器外观应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤。外表采用防锈措施，涂层均匀。
- 2 消能段和非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- 3 金属屈服型消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

7.2.2 金属屈服型消能器的材料应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器可采用钢材、铅、合金等材料制作。
- 2 采用钢材制作的金属屈服消能器的消能部分应采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板厚度不宜超过 80mm 。钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能。
- 3 金属屈服型消能器中所用各种材料性能应符合国家相应的材性标准。金属屈服型消能器采用其他钢材，质量指标应符合国家标准《碳素结构钢》GB/T700、《合金结构钢》GB/T3077或《建筑用低屈服点钢》GB/T 28905等相关标准要求。核心单元原材料除提供材料合格证证明外，还需提供第三方材性复检报告。

7.2.3 金属屈服型消能器基本力学性能，疲劳性能及测试方法应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 金属屈服型消能器基本力学性能，疲劳性能要求及测试方法

序号	项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	1 屈服承载力	每个产品实测值允许偏差应为屈服荷载设计值的 $\pm 15\%$ 以内	a) 试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 $0.1u_0$ 、 $0.3u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.8u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ ，每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法。 b) 分析首次进入屈服的工况，取第1次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值；取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第3次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并得到最大承载力。
	2 屈服位移	每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 以内	
	3 最大承载力	极限位移下对应的承载力，每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 以内	
	4 极限位移	1.2倍设计位移	
	5 滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 $\pm 15\%$ 以内。	
疲劳性能	1 最大阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力，与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h，绘制阻尼力-位移滞回曲线。
	2 滞回曲线	1) 任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$ 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$	
	3 滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面	

			积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%。
--	--	--	-------------------------

7.2.6 金属屈服型消能器整体稳定和局部稳定应满足现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 的规定，消能器在消能方向运动时，平面外应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

7.2.7 金属屈服型消能器力学行为可采用双线性、三线性模型或 Wen 模型或其他可准确描述阻尼器力学性能模型描述。产品性能指标中应给出初始刚度、初始屈服位移及相应的初始屈服力、计算屈服位移及相应的计算屈服力、计算屈服后刚度比、设计位移及相应的设计屈服力。

7.3 屈曲约束支撑

7.3.1 屈曲约束支撑根据需求可采用外包钢管混凝土型屈曲约束支撑、外包钢筋混凝土型屈曲约束支撑和全钢型屈曲约束支撑等。

7.3.2 屈曲约束支撑外观应符合下列规定：

- 1 屈曲约束支撑外观应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。
- 2 耗能段和非耗能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- 3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表 7.3.2 规定

表 7.3.2 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
支撑长度	不超过产品设计值的±3mm
支撑横截面有效尺寸	不超过产品设计值的±2mm

7.3.3 屈曲约束支撑核心单元应符合下列规定：

- 1 核心单元的材料宜采用屈服点低和高延伸率的钢材。
- 2 核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等，宽厚比或径厚比限值应符合下列规定：
 - 1) 一字形板截面宽厚比取10~20；
 - 2) 十字形截面宽厚比取5~10；
 - 3) 环形截面径厚比不宜超过22；
 - 4) 其他截面形式，取现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中心支撑的径厚比或宽厚比的限值。
- 3 核心单元截面采用“一”字形、“十”、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为10mm~80mm。

7.3.4 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

7.3.5 屈曲约束支撑连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

7.3.6 屈曲约束支撑的材料应符合下列规定：

- 1 核心单元宜采用高延性钢材。核心单元采用其他钢材时，质量指标应符合国家标准 GB/T 700、GB/T 1591 或 GB/T 28905 的要求。芯材应符合《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314 的规定。
- 2 约束单元一般采用碳素结构钢或合金结构钢，钢材质量指标应符合 GB/T 700 或 GB/T 1591 的要求。填充材料抗压强度不宜低于 20MPa。

7.3.7 屈曲约束支撑基本力学性能、疲劳性能和测试方法应符合表 7.3.7 的相关规定。

表 7.3.7 基本力学性能、疲劳性能和测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
基本	1	屈服承载力	每个产品的实测值允许偏差应为设计值 ^{a)} 试验采用位移控制加载制度，加

力学性能			的±15%以内	载位移分别为 $0.1u_0$, $0.3u_0$, $0.5u_0$, $0.8u_0$, $1.0u_0$, $1.2u_0$, 每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法。 b) 分析首次进入屈服的工况, 取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值, 屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值; 取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值。
	2	屈服位移	每个产品的实测值允许偏差应为设计值的±15%以内	
	3	最大承载力	极限位移时对应的荷载, 每个产品的实测值允许偏差应为设计值的±15%以内	
	4	极限位移	1.2倍设计位移	
	5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈, 任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的±15%以内。	
	6	拉压不对称系数	设计位移下滞回曲线的拉压不对称系数应小于1.2	
疲劳性能	1	最大阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力, 与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过±15%	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行两次连续往复加载, 每次加载不少于30圈, 两次加载间隔不超过24h, 绘制阻尼力-位移滞回曲线。
	2	滞回曲线	1) 任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过±15% 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过±15%	
	3	滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%。	

7.4 摩擦消能器

7.4.1 摩擦消能器产品外观应符合下列规定:

- 1 摩擦消能器外观应标记清晰, 表面平整, 无机械损伤, 外表采用防锈措施, 涂层均匀。
- 2 摩擦消能器尺寸偏差应按表 7.4.1 要求。

表 7.4.1 摩擦消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
消能器总高度	不超过产品设计值的±2mm
消能器总宽度	不超过产品设计值的±2mm
消能器总厚度	不超过产品设计值的±2mm

7.4.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定:

- 1 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等, 不宜生锈, 并应满足消能器预压力作用下的强度要求。
- 2 用于制作摩擦消能器的钢材质量指标应符合 GB/T 700 或 GB/T 3077 的要求。应选用不低于 Q235B 的钢材。

7.4.3 摩擦消能器基本力学性能和测试方法应符合表 7.4.3 的规定。

表 7.4.3 基本力学性能和测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	起滑阻尼力	每个产品的起滑阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%	
2	起滑位移	每个产品起滑位移的实测值偏差应为设计值的±15%	
3	摩擦荷载	每个产品摩擦荷载的实测值偏差应为设计值的±15%	
4	极限位移	每个产品极限位移的实测值不应小于设计值的1.2倍	
5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应为实测平均值的±15%以内	
6	起滑阻尼力与摩擦荷载偏差	起滑阻尼力不超过摩擦荷载的±15%	

7.4.4 摩擦消能器的耐久性包括老化性能、疲劳性能。摩擦消能器的老化是指摩擦材料特性的老化以及摩擦面的氧化或生锈导致摩擦系数变化引起滞回特性的变化。应符合表 7.4.4 的规定。

表 7.4.4 摩擦消能器耐久性要求

序号	项目	性能要求	测试方法	
老化性能	1	摩擦荷载	试件放入恒温干燥箱中，保持温度80°C，保持192h后取出完成测试。	
	2	外观		目视无变化
疲劳性能	1	摩擦荷载	采用三角波或正弦激励法进行加载，在设计位移下进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h，绘制阻尼力-位移滞回曲线。	
	2	滞回曲线		1) 任一循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。 2) 任一循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%。
	3	滞回曲线面积		任一循环的滞回曲线面积应与所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%

7.4.5 摩擦消能器中的受力单元应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

7.5 黏滞消能器

7.5.1 黏滞消能器是黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙的统称，其外观应符合下列表 7.5.1 规定：

表 7.5.1 黏滞消能器外观要求

序号	黏滞阻尼器	黏滞阻尼墙
1	外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀。	
2	密封处制作应精细、无渗漏。	
3	尺寸允许偏差应为产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$ 。	长度误差应为设计值 $\pm 3\text{mm}$ ；截面有效尺寸偏差应为产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$ 。

7.5.2 黏滞消能器的材料应符合下列规定：

- 1 黏滞阻尼材料的黏温关系稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强。
- 2 用于黏滞消能器的钢材应根据设计需要选用，应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。
- 3 密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的泛塞封密封或金属密封材料，主密封不宜使用 O 型密封圈。

7.5.3 黏滞消能器的基本力学性能和测试方法应符合表 7.5.3 的规定。

表 7.5.3 黏滞消能器基本力学性能及测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	极限位移	每个产品极限位移实测值不应小于消能器极限位移设计值。	采用静力加载试验，控制试验机的加载系统使消能器匀速缓慢运动，记录其运动的极限位移值。
2	最大阻尼力	每个产品实测值偏差不应超过设计值的 $\pm 15\%$ ，实测值的平均值应在设计值 10% 以内	采用正弦激励法，输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$ ，加载频率为 f_1 ，连续进行5个循环，记录第3个循环所对应的最大阻尼力作为实测值
3	极限速度	每个产品极限速度实测值不应小于极限速度设计值	a) 采用正弦激励法，输入位移 $u=u_1\sin(2\pi f_1 t)$ 来控制试验机的加载系统； b) 阻尼器的加载频率为 f_1 ，位移幅值 u_1 分别取 $0.1u_0$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ ，连续加载 5 个循环，取每个工况的第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力、最大速度，通过曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数、初始刚度作为实测值；取每个工况第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值。
4	阻尼系数	每个产品实测值偏差不应超过设计值的 $\pm 15\%$ ，实测值的平均值应在设计值 10% 以内	
5	阻尼指数	每个产品实测值偏差不应超过设计值的 $\pm 15\%$ ，实测值的平均值应在设计值 10% 以内	
6	初始刚度	每个产品实测值偏差不应超过设计值的 $\pm 15\%$ ，实测值的平均值应在设计值 10% 以内	
7	滞回曲线	产品在设计位移下连续加载5圈，第3圈滞回曲线面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 。	

注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。采用无间隙连接黏滞消能器，实验时应采用无间隙连接装置和黏滞消能器整体试验。

7.5.4 黏滞消能器的耐久性主要考虑疲劳性能、风荷载测试、密封性能，且要求消能器在试验后无渗漏，无裂纹，其相关性能和测试方法应符合表 7.5.4 的规定。

表 7.5.4 黏滞消能器耐久性和测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
疲劳性能	1	阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应为设计值的±15%
	2	最大阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力应为设计值的±15%，实测值的平均值应在产品设计值的±10%以内
	3	滞回曲线	1) 任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%。
	4	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积应为设计值的±15%，实测值的平均值应在产品设计值的±10%以内
风荷载测试	1	最大阻尼力	所有循环中的最大、最小阻尼力变化率应为±15%
	2	滞回曲线面积	任一循环实测的滞回曲线稳定饱满、光滑无异常，所有循环中的滞回曲线面积实测值应为设计值的±15%
密闭性能		实测产品在极限位移及过载作用下不应出现渗漏、屈服或破损等现象	慢速试验和1.5倍最大阻尼力的静力过载试验。
注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率， u_w 为风荷载下黏滞消能器可能达到的最大位移的1.2倍。			

7.5.5 黏滞消能器的其他相关性能及测试方法应符合表 7.5.5 的规定。

表 7.5.5 黏滞消能器其他相关性能及测试方法要求

项目	指标	性能要求	测试方法
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化不大于±15%	输入位移 $u=u_1\sin(2\pi ft)$ ，测定产品为常温条件下，测试频率为 $0.4f_1, 0.7f_1, 1.0f_1, 1.3f_1, 1.6f_1$ ，输入位移幅值按公式 $u_1=u_0f_1/f$ 计算。
温度相关性能	最大阻尼力	变化不大于±15%	测定产品在输入位移 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频率 f_1 ，试验温度为 $-20^\circ\text{C}\sim+40^\circ\text{C}$ ，每隔 10°C 记录其最大阻尼力作为的实测值。
注： f_1 为消能减震结构的第一阶自振频率， f 为加载频率， u_0 为黏滞消能器设计位移。			

7.5.6 黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦（Maxwell）模型描述。

条文说明：本规程所述黏滞消能器包含目前使用较广泛的两种类型，一种为带有内压的密封圆筒式，另一种为无内压的开口墙式。前者通常称为黏滞阻尼器，一般是由钢材制作的缸体和活塞、黏滞流体等部分组成，两端通常采用销轴与连接件连接。后者通常称为黏滞阻尼墙，一般由钢板制作而成的箱体、滑移钢板、黏滞流体等组成，两端采用焊接或螺栓锚固方式与连接件连接。二者均是利用黏滞材料剪切运动时产生黏滞阻尼力来耗散能量的减震装

置,其力学性能受黏滞材料和加载频率的影响大,需要对材料和不同频率的加载情况进行限定。黏滞消能器宜采用Maxwell模型(麦克斯韦模型)。Maxwell模型中阻尼单元与“弹簧单元”串联,当模拟黏滞消能器时应该考虑消能器的活塞杆柔度和黏滞流体的可压缩性,根据产品提供的滞回曲线适当选取滞回曲线的初始刚度,当建立空间杆系有限元模型时应该把支承刚度按等效刚度或实际支承杆件建入模型中。一般情况下黏滞消能器至少有一端是铰接,当消能器的计算相对位移较小时应该考虑连接间隙存在导致消能器计算耗能能力与实际耗能能力差异。

7.6 黏弹消能器

7.6.1 黏弹消能器的外观及内部应符合下列规定:

- 1 黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺,涂刷防锈料两次,钢板坡口焊接,焊缝一级、平整。
- 2 黏弹性材料表面应密实、无裂缝,剖切后内部应连续、均匀、密实、无孔洞。
- 3 黏弹性材料与约束钢构件(一般为钢板或钢管)之间应密实、无裂缝。
- 4 黏弹性消能器的尺寸偏差应满足表 7.6.1 要求:

表 7.6.1 黏弹性消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏弹性消能器长度	不超过产品设计值的±3mm
黏弹性消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值的±2mm

7.6.2 黏弹性材料应满足表 7.6.2 的要求。

表 7.6.2 黏弹性材料性能指标

项目	指标	
拉伸强度/MPa	≥5	
扯断伸长率%	≥500	
扯断永久变形/%	≤80	
热空气老化 70°C*72h	拉伸强度变化率/%	≥-20 或≤20
	扯断伸长变化率/%	≥-20 或≤20
(0~40)°C工作频率材料损耗因子 β	≥0.5	
钢板与阻尼材料之间的黏合强度/MPa	≥2.5	

7.6.3 黏弹消能器的力学性能应符合表 7.6.3 的规定。

表 7.6.3 黏弹消能器基本力学性能及测试方法要求

项目	性能要求	测试方法
阻尼系数	实测值偏差在产品设计值的±15%以内	采用正弦激励法,输入位移 $u=u_1\sin(2\pi ft)$ 来控制试验机的加载系统;消能器的加载频率为 f_1 , 位移幅值 u_1 分别取 0.1 u_0 、0.2 u_0 、0.5 u_0 、0.7 u_0 、1.0 u_0 、1.2 u_0 , 每个
阻尼指数		
有效刚度		
最大阻尼力		
滞回曲线	产品在各要求工况下分别连续加载 5 圈,任一工况第 3 圈滞回曲线面积的实测值偏差应为对应工况	工况连续加载 5 个循环,取第 3 次循环时滞回曲线,根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力;

	理论计算值的±15%	输入位移 $u=u_0\sin(2\pi ft)$ ，检测频率 f 为 f_1 、 $2.0f_1$ 、 $3.0f_1$ ，每个工况连续加载 5 个循环；取第三个循环时的滞回曲线，根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力； 取每个工况第 3 次循环时滞回曲线包围的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值。
极限应变	每个产品极限应变实测值不应小于极限应变设计值，且不应小于 1.2 倍设计位移对应的应变。	控制位移 $u=u_1\sin(2\pi ft)$ ； u_1 依次取 1.1 u_0 ，1.2 u_0 ，1.3 u_0 ，1.4 u_0 ，1.5 u_0 ，工作频率 f_1 ，连续加载 3 个循环；加载过程中黏弹性材料和约束钢板或钢管件不应出现剥离现象，如果出现剥离现象，应停止实验，并取此时加载位移 u_1 作为计算极限应变的依据。
注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。		

7.6.4 黏弹性消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能，耐久性及测试方法应符合表 7.6.4 的规定。

表 7.6.4 黏弹性消能器耐久性和测试方法要求

试验内容	项目	性能要求	测试方法
老化性能	最大阻尼力	变化率在±15%以内	把试件放入鼓风电热恒温干燥箱中，保持温度 80℃，经 192h 后取出，按表 7.6.3 的规定进行力学性能试验
	阻尼系数、阻尼指数	变化率在±15%以内	
	外观	目视无变化	
疲劳性能	变形	变化率在±15%以内	输入位移采用 $u=u_0\sin(2\pi ft)$ ，采用位移控制进行两次连续往复加载，每次加载不少于 30 圈，两次加载间隔不超过 24h。
	外观	目视无变化	
	最大阻尼力	每次连续加载，第 30 圈相比第 3 圈，性能下降不超过 15%	
	滞回曲线	1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。 2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%。	
	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积应为所有循环的滞回曲线面积平均值的±15%。	
注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。			

7.6.5 相关性能符合表 7.6.5 的规定。

表 7.6.5 黏弹性消能器相关性测试方法要求

项目	性能要求		测试方法
温度相关性	等效刚度、 阻尼系数、 阻尼指数	变化率不超过±15%	输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$ ，试验温度为 0°C~40°C，每隔 10°C 作为一个测试工况；每个工况连续加载 5 个循环，取第三圈的滞回曲线，根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数和阻尼指数。每个温度下放入恒温箱 24h 后 30min 内完成检测。
频率相关性	零位移对应阻尼力	3.0Hz/0.2Hz 变化率 > 50%	
注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率，基准温度 23°C。			

7.6.6 黏弹消能器在火灾时应具有阻燃性，火灾后应对黏弹消能器进行基本力学性能和耐久性能检测，其指标与设计值偏差超过 15%时应进行更换。

7.7 高阻尼橡胶消能器

7.7.1 高阻尼橡胶消能器的外观应符合下列规定：

- 1 钢板平整、无锈蚀、无毛刺，标记清晰。
- 2 高阻尼橡胶材料表面密实、平整。
- 3 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.7.1 的规定。

表 7.7.1 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
高阻尼橡胶消能器长度	不超过产品设计值的±3mm
高阻尼橡胶消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值的±2mm

7.7.2 高阻尼橡胶消能器的材料应符合下列规定：

- 1 高阻尼橡胶材料质量指标应符合表 7.7.2 要求，
- 2 钢材应符合 GB/T 700 中碳素结构钢或 GB/T 1591 低合金钢的要求。

表 7.7.2 高阻尼橡胶材料性能指标

项目		指标
拉伸强度/MPa		≥10
扯断伸长率/%		≥550
扯断永久变形/%		≤60
热空气老化 70°C*168h	拉伸强度变化率/%	≥-15 或 ≤15
	扯断伸长变化率/%	≥-25 或 ≤25
钢板与阻尼材料之间的黏合强度/MPa		≥4.3

7.7.3 高阻尼橡胶消能器的力学性能及测试方法应符合表 7.7.3 的规定。

表 7.7.3 高阻尼橡胶消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	屈服承载力	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%	a) 控制位移加载 $u=u_0\sin(\omega t)$, 连续加载 3 个循环, 均绘制阻尼力-位移滞回曲线。 b) 取第 3 次循环时滞回曲线的计算屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度。
2	屈服后刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%	
3	等效阻尼比	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%	
4	等效水平刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%	
5	滞回曲线	每个产品实测的滞回曲线稳定饱满、光滑、无异常。滞回曲线面积的实测值偏差应在理论计算值的±15%以内	
6	极限应变	不小于 250%, 且不小于设计剪应变的 1.2 倍	控制位移 $u=u_1\sin(2\pi f_1 t)$; u_1 依次取 1.1 u_0 , 1.2 u_0 , 1.3 u_0 , 1.4 u_0 , 1.5 u_0 , 工作频率 f_1 , 连续加载 3 个循环; 加载过程中黏弹性材料和约束钢板或钢管件不应出现剥离现象, 如果出现剥离现象, 应停止实验, 并取此时加载位移 u_1 作为计算极限应变的依据。
注: u_0 为消能器设计位移, f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。			

7.7.4 高阻尼橡胶消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能, 耐久性应符合表 7.7.4 的规定。

表 7.7.4 高阻尼橡胶消能器耐久性测试方法及测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
老化性能	1	变形	无异常
	2	屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度	老化前后的变化率应为±15%以内
	3	外观	目视无变化
疲劳	屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度	实测值应为平均值的±15%	输入位移采用 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$, 采

性能	2	滞回曲线	位移在零时的最大、最小阻尼力应位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。阻尼力在零时的最大、最小位移应阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%	用位移控制进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h。
	3	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积应为平均值的±15%	

7.7.5 高阻尼橡胶消能器相关性能应符合表 7.7.5 的规定。设计文件中应明确提出消能器的使用环境要求及与之相适应的检验要求，产品检测和竣工验收时应核查是否满足设计提出的使用环境要求。

表 7.7.5 高阻尼橡胶消能器相关性要求

项目	性能要求		测试方法
温度相关性	阻尼力、等效阻尼比	-10°C~40°C 变化率不超过±15%；	测定产品在输入位移 $u=u_0\sin(2\pi f_1 t)$ ，试验温度为 -10°C~40°C，每隔10°C 记录其最大阻尼力作为的实测值与20°C 时进行比较。每个温度下放入恒温箱24h后30min 内完成检测。
注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为结构基频。			

7.7.6 高阻尼橡胶消能器在火灾下应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行力学检测，其力学性能下降超过 15%时应进行更换。

7.8 消能器性能检验与性能参数确定

7.8.1 型式检验应由具有检测资质的第三方进行检验，型式检验抽样试件数目不得少于 3 件，型式检验项目应为本标准的所有项目，各项指标应全部符合本标准的要求，否则为不合格。当有以下情况之一时应当进行型式检验：

- 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，每五年检验一次；
- 4 停产一年以上恢复生产时；
- 5 国家质量监督机构提出型式检验要求时；
- 6 因特殊需要而必须进行型式检验时；
- 7 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

7.8.2 出厂检验宜由具有资质的第三方检测机构进行的检验，有检测能力的厂家也可自检，出厂产品应经检验合格并附检测报告。出场检验的抽检数量不应低于 7.8.4 中规定的见证检验数量。若产品检测合格率未达到 100%，应对同批产品按原抽样数量加倍抽检，并重新进行所有项目的检测；如加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%，则该批次消能器不得在工程中使用。

7.8.3 见证检验的样品应当在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，并应由具有检测资

质的第三方进行检验。

7.8.4 见证检验的抽检数量，应符合下列规定：

1) 对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类消能器中抽检总数的3%，但不应少于2件，检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不得用于主体结构。

2) 对黏滞消能器，标准设防类、重点设防类、特殊设防类工程，试件抽样比例分别不应少于同一工程同一类型同一规格总数的20%、50%、100%，且不应少于2件。检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测合格后，消能器若无任何损伤、基本力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构，否则不得用于主体结构。

3) 对黏弹性消能器和高阻尼橡胶消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数的3%，但不应少于2件，检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。常规力学检验，检验后可以继续使用。疲劳和极限应变检测后的消能器不得用于主体结构。

7.8.5 检验项目

表7.8.5 消能器检验项目

产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
屈曲约束支撑	基本力学性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
		拉压不平衡系数	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
金属屈服型消能器	基本力学性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
摩擦消能器	基本力学性能	起滑阻尼力	√	√	√
		起滑位移	√	√	√
		摩擦荷载	√	√	√
		极限位移	√	√	√

		滞回曲线	√	√	√
		起滑阻尼力与摩擦荷载偏差	√	√	√
	老化性能	摩擦荷载	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	摩擦荷载	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	耐腐蚀性能	中性盐雾试验	√	×	×
	黏滞消能器 (黏滞阻尼墙)	基本力学性能	极限位移	√	√
最大阻尼力			√	√	√
极限速度			√	×	√
阻尼系数			√	√	√
速度指数			√	√	√
滞回曲线			√	√	√
疲劳性能		最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
风振测试		最大阻尼力	√	×	×
		滞回曲线	√	×	×
频率相关性		最大阻尼力	√	×	×
温度相关性		最大阻尼力	√	×	×
黏弹消能器	基本力学性能	最大阻尼力	√	√	√
		阻尼系数	√	√	√
		速度指数	√	√	√
		刚度	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	极限性能	极限应变	√	×	×
	老化性能	变形	√	×	×
		阻尼系数、速度指数、最大阻尼力	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	阻尼系数、速度指数、最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
滞回曲线面积		√	×	√	

	频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×
	变形相关性	最大阻尼力	√	×	×
高阻尼橡胶消能器	基本性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服后刚度	√	√	√
		等效阻尼比	√	√	√
		等效水平刚度	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	老化性能	变形	√	×	×
		屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√

7.8.6 根据试验数据确定消能器的性能参数应符合下列规定：

1 位移相关型消能器及屈曲约束支撑的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_{\text{eff}} \Delta u \quad (7.7.6-1)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (7.7.6-2)$$

式中： K_{eff} ——消能器有效刚度（kN/m）；

F_d ——消能器在相应位移下阻尼力（kN）；

F_d^+ 、 F_d^- ——分别为消能器在相应位移时的正向阻尼力和负向阻尼力（kN）；

Δu ——沿消能方向消能器的位移（m）；

Δu^+ 、 Δu^- ——分别为沿消能方向消能器的正向位移和负向位移值（m）。

2 黏滞消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = C \left| \Delta u \right|^{\square} \text{sgn}(\Delta u)^{\square} \quad (7.7.6-3)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi\omega_1(|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (7.7.6-4)$$

式中： α ——黏滞消能器阻尼指数；

C ——消能器阻尼系数[kN/(m·s)]；

ω_1 ——试验加载圆频率；

W_c ——消能器在相应加载位移时滞回曲线所围的面积(N·m)；

Δu^+ 、 Δu^- ——分别为沿消能方向消能器的正向位移和负向位移值(m)。

$\dot{\Delta u}$ ——沿消能方向消能器的相对速度(m/s)。

3 黏弹性消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_{\text{eff}}\Delta u + C\dot{\Delta u} \quad (7.7.6-5)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (7.7.6-6)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi\omega_1(|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (7.7.6-7)$$

式中： K_{eff} ——消能器有效刚度(kN/m)。

8 消能减震结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 消能减震结构设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定；楼（屋）盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼（屋）盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼（屋）盖平面内的弹性变形，并建立符合实际情况的力学分析模型。抗震计算分析模型应同时包括主体结构与消能部件。

条文说明：对于平面规则并且无大开洞的楼板消能减震结构，可采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011中规定的刚性隔板假定。但对于复杂的结构，采用刚性隔板假定时，可能会使消能器消能力超过实际能力，从而高估了消能器的作用，为此，需考虑采用弹性楼板模型对消能减震结构进行分析。当采用FNA方法时，金属屈服型消能器等效刚度取值应该与相应消能器变形状态相一致，组合模态数量应保证模态质量系数 $>99\%$ 。

8.1.2 当在垂直相交的两个平面内布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑相交处的柱在双向地震作用下的受力。

条文说明：在双向地震作用时，消能器都要发挥作用，通过支撑同时向双向交叉布置消能部件的柱附加荷载，为此，双向交叉布置消能部件相连的柱，交叉支撑对柱产生的外荷载要重点考虑。

8.1.3 消能减震结构的高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011规定时，应进行专项研究。

条文说明：在结构中设置消能部件可以增加结构有效阻尼，能减小结构地震反应是公认的事实。随着消能减震技术的发展，为了适应我国经济发展的需要，可利用消能减震技术来减轻结构的地震灾害，从而也推动高烈度区高层建筑的发展。结构中布置消能器后形成消能减震支撑结构体系，当消能器在结构中的布置满足钢支撑在不同结构中的要求时，其形成的消能减震高层建筑结构的最大适用高度，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011中钢支撑结构体系要求取值。如果消能减震结构与满足抗震设防烈度要求设计的非消能减震结构水平地震影响系数之比接近于0.5，其最大适用高度可按降一度要求考虑，但还应进行专门的研究。消能减震结构采用屈曲约束支撑时，当屈曲约束支撑的布置满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011中钢支撑布置的要求时，其建筑适用的最大高度可采用钢支撑建筑要求取值。

8.1.4 消能减震结构构件设计时，应考虑消能部件引起的柱、墙、梁的附加轴力、剪力和弯矩作用。

条文说明：已有的研究成果表明，消能减震结构中，与消能部件相连的柱（墙）和梁所承受的作用不仅包括地震作用部分，还包括与该柱（墙）和梁相连的消能部件传至连接节点的作用。这样，在地震作用下，虽然消能减震结构能减小结构地震作用下反应，但是消能子结构由于消能部件产生附加作用可能比较大，从而增加与消能部件相连的柱（墙）和梁的作用，设计时应考虑与消能部件相连的主体结构构件（主要是消能子结构构件）由于消能部件附加作用的影响。

8.1.5 消能减震结构应合理设置消能器，形成以消能器为主的消能机制。在罕遇地震作用下，通过设置消能器而减少的结构最大弹塑性层间位移响应，不应小于对应的未设置消能器但符合基本抗震要求的常规抗震结构最大层间位移响应的30%。

8.2 消能部件布置原则

8.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

- 1 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近。
- 2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。
- 3 消能部件宜布置在层间相对位移和相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率。
- 4 可通过抗震墙的连接梁位置设置位移相关型消能部件，把抗震墙设计成双肢或多肢消能抗震墙。
- 5 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

8.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构设计参数符合下列规定：

- 1 采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近。
- 2 采用黏滞消能器时，各楼层的消能部件的最大水平阻尼力与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积之比的比值宜接近。
- 3 采用黏弹消能器时，各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近，各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近。
- 4 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大水平阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的 60%。

条文说明：消能器一般是和支撑（支承构件）一起布置在结构中，支撑（支承构件）和消能器构成消能部件。常见的布置形式有单斜撑、“V”字形撑、“人”字形等，概念设计阶段应根据消能器的类型、构造及原结构空间使用、建筑设计、施工和检修要求选择消能部件的类型。抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连续，消能部件的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特性相近或沿竖向刚度均匀为原则；对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。对于结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置，也可以只在较弱的一个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。对于结构沿竖向存在薄弱层可优先在薄弱层布置，然后再考虑沿竖向布置。层间布置的消能器一般通过水平向层间位移消能，当结构变形中弯曲变形所占比重很大时，用层间变形量大小来控制层间消能器抗力大小，往往计算的减震效果不理想，这时应该通过比较各层有害位移量大小来控制层间消能器抗力分布。对于存在抗震墙的结构，可以在连梁位置布置通过竖向变形消能的金属剪切板类型消能器，往往能取得较好减震效果。消能减震结构中主体结构永远都应该在抵抗地震作用中起主导作用，应该避免超量配置消能部件。当需求附加有效阻尼比超过25%，或是大震下消能部件承担的地震作用超过主体结构的层间屈服剪力的60%时，减震的效率就不理想，这时应该考虑采用常规方法加强主体结构，增强主体结构本身的抗震能力。一般考虑消能作用减轻地震作用的效果不应超过一度。

8.3 消能部件设计与减震效果评价

8.3.1 消能部件的设计参数应符合下列规定：

- 1 位移相关型消能器与斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型

参数应符合下式规定：

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad (8.3.1-1)$$

式中： Δu_{py} —消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

Δu_{sy} —设置消能部件的主体结构层间屈服位移（m）。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad (8.3.1-2)$$

式中： t_v —黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（m）；

Δu_{dmax} —沿消能方向消能器的最大可能的位移（m）；

$[\gamma]$ —黏弹性材料允许的最大剪切应变。

3 速度线性相关型消能器与斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件组成消能部件时，支承构件沿消能器消能方向的刚度应符合下式规定：

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad (8.3.1-3)$$

式中： K_b —支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

C_D —消能器的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

T_1 —消能减震结构的基本自振周期（s）。

8.3.2 消能部件附加给结构的实际有效刚度和有效阻尼比，可按下列方法确定：

1 位移相关型消能部件和非线性速度相关型消能部件附加给结构的有效刚度可用等价线性化方法确定。

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按式估算：

方法一：

$$\zeta_d \geq \sum_{j=1}^n W_{cj} / 4\pi W_s \quad (8.3.2-1)$$

式中： ζ_d —消能减震结构的附加有效阻尼比；

W_{cj} —第j个消能部件在结构预期层间位移下往复循环一周所消耗的能量（kN·m）；

W_s —消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN·m）。

n—消能部件的总个数。

3 不计及扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (8.3.2-2)$$

式中： F_i —质点 i 的水平地震作用标准值（一般取相应于第一振型的水平地震作用即可，kN）；

u_i —质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

4 速度线性相关型消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (8.3.2-3)$$

式中： T_1 —消能减震结构的基本自振周期（s）；

C_j —第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

θ_j —第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j —第 j 个消能器两端的相对水平位移（m）。

当消能器的阻尼系数和有效刚度与结构振动周期有关时，可取相应于消能减震结构基本自振周期的值。

5 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \quad (8.3.2-4)$$

式中： λ_1 —阻尼指数的函数，可按表8.3.2取值；

$F_{dj\max}$ —第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力（kN）。

表8.3.2 λ_1 值

阻尼指数 α	值
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1	3.1

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性差值。

6 位移相关型和速度非线性相关型消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (8.3.2-5)$$

式中： A_j —第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积（kN·m）。

8.3.3 消能部件在设计位移下往复循环一周耗能应小于本标准规定圈数下的消能部件疲劳滞回面积的平均值：

$$W_{cj} \leq W_j \quad (8.3.3-1)$$

式中： W_j —消能器60圈疲劳滞回面积平均值（kN·m）。

W_{gj} —第 j 个消能部件在设计位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量（kN·m）。

8.3.4 采用振型分解反应谱分析时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法计算。附加黏滞消能器消能减震结构的有效阻尼比亦可采用等效对比的方法近似确定作为补充验证。

8.3.5 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时，消能器两端的相对水平位移、质点的水平地震作用标准值、质点对应于水平地震作用标准值的位移，应采用符合本规程第4.1.4条规定的时程分析结果的包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合本规程第4.1.4条的规定。

条文说明：消能减震结构的计算分析可根据主体结构所处的状态采用不同的分析方法，当主体结构基本处于弹性工作阶段时，可采用线性分析方法作简化计算，并根据结构的变形特征和高度等采用振型分解反应谱法和时程分析法。当主体结构进入弹塑性阶段时应采用静力弹塑性分析方法或非线性的时程分析方法。振型分解反应谱法是目前国内结构设计时采用较多的分析方法，但是为了较精确模拟消能器非线性特征，对于消能减震结构还是时程分析方法较为可靠和准确。鉴于不同地震波输入进行时程分析的结果存在一定的差异，现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中规定一般可以根据小样本容量下（不小于2组实际记录和1组人工模拟的加速度时程曲线作为输入）的计算结果来估计结构地震作用效应值，也可以采用较大样本容量（不少地5组实际记录和2组人工模拟时程曲线作为输入）的计算结果来估计。如果3条地震记录能满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中规定的“在统计意义上相符”要求，则3条地震记录输入计算出结构的地震作用效应不会偏差太大，为了使设计出的结构更为安全则选用3条地震记录时程曲线输入计算出结构地震反应的包络值反算消能器附加阻尼比。当取7组及7组以上的地震记录时程曲线输入时，计算出结构的地震作用效应的保证率更高，选用7组及7组以上的地震记录时程作输入，计算出每组时程下附加有效阻尼比，然后取其平均值作为最后的附加有效阻尼比估计值。

8.3.6 采用静力非线性分析方法时，计算模型中消能器宜采用第7章给出的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器附加给结构的有效阻尼比，不能采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

条文说明：静力弹塑性分析方法是一种静力的分析方法，是在结构计算模型上施加按某种规则分布的水平侧向力，单调加载并逐级加大；一旦有构件开裂（或屈服）即修改其刚度（或使其退出工作），进而修改结构总刚度矩阵，进行下一步计算，依次循环直到结构达到预定的状态（成为机构、位移超限或达到目标位移），从而判断是否满足相应的抗震能力要求。

消能器产生减震效果主要体现在消能器的滞回耗能上，消能器需要产生往复位移或速度起作用，然而，静力弹塑性分析过程中对于黏滞消能器无法直接体现出消能器的作用，以直接得出消能器附加结构的阻尼比，为了使静力弹塑性分析方法能够体现出黏滞消能器的作用，对于黏滞消能器的阻尼需要进行多次迭代。位移相关型消能器的模拟，可以直接设置相应的杆端具有屈服铰的等效杆件代替消能器的非线性特征。

消能减震结构中，消能器提供的附加阻尼比是反应消能器减震效果的主要因素。消能减震结构中消能器在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用时提供的阻尼比皆不会相同。为此，消能器附加给结构的阻尼比应由各阶段抗震分析实际计算得到，而不能采用预估值。

其主要步骤为：

- 1 分别确定消能减震结构的主体结构截面、消能部件的非线性恢复模型及消能部件等代单元的塑性铰特性等；
- 2 对消能减震结构进行非线性全过程静力分析，得到结构参考点水平侧移与结构底部总水平剪力的关系曲线；
- 3 根据计算出消能减震结构的位移，计算消能减震结构的有效阻尼比，包括主体结构弹塑性变形耗能附加的有效阻尼比和消能器给主体结构附加的阻尼比；
- 4 将多自由度消能减震结构等效为一个等价的单自由度体系，分别计算等价单自由度体系的能力曲线和反应曲线；
- 5 图解等价单自由度体系的目标位移；
- 6 将此位移转化成多自由度消能减震结构各层的层间位移。

8.3.7 消能减震结构在多遇、基本烈度和罕遇地震作用下的总阻尼比应分别计算，消能部件附加给结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%计算。

8.4 主体结构设计

8.4.1 消能减震结构多遇地震作用效应可按振型分解反应谱法计算，位移相关型消能部件刚度贡献宜取多遇地震时的等效刚度，主体结构的附加有效阻尼比宜选取多遇地震计算得到的附加有效阻尼比。非消能子结构构件的截面验算，应依据按本规程第3章的相关内力组合公式计算。

条文说明：主体结构中的非消能子结构构件的强度和截面验算，应依据第4章求得的内力按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011中对不同类型建筑结构规定的公式计算。由于消能减震结构中附加刚度和附加阻尼相比于主体结构存在一定的变化，为此，计算地震作用效应时应考虑消能器附加刚度和附加阻尼的影响。

8.4.2 消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

- 1 消能子结构中非消能部件的梁、柱和墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力。构件作用效应计算时，应考虑构件的弹塑性。
- 2 消能子结构中非消能部件的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用。
- 3 消能部件采用高强螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值应考虑消能部件端部的附加弯矩。
- 4 消能部件的节点和构件应进行消能器极限位移和极限速度下的消能器引起的阻尼力作用下的截面验算。
- 5 当消能器的轴心与消能子结构非消能部件构件的轴线有偏差时，非消能部件构件应考虑消能器抗力引起附加弯矩或因偏心作用而引起的平面外弯曲的影响。

条文说明：

对于消能器连接板与框架梁连接的情况，当消能器采用平行法安装时，支撑可能会限制框架梁的竖向变形，但其作用很小不能起到明显的约束作用，为此，在确定布置消能部件跨的横梁截面时，不应考虑消能部件在跨中的支承作用；消能器在地震作用下往复作用时，消能器产生的水平阻尼力会通过连接板传递到与其相连的框架梁上，导致框架梁除承受竖向荷载作用外，还要承受消能器在地震作用时消能器附加的水平阻尼力作用。

为了确保消能减震结构在罕遇地震作用下不发生倒塌，消能减震结构需要保证在主体结构达到极限

承载力前，消能部件不能产生失稳或节点板破坏；为了保证消能部件的安全，其连接节点和构件都应进行罕遇地震作用下消能器引起的附加外荷载作用下的截面验算。

8.4.3 消能减震子结构设计方法可按如下流程进行：

- 1 进行小震弹性分析（振型分解反应谱法），取材料设计值进行结构设计，得到消能子框架配筋。消能子结构要满足强柱弱梁要求；
- 2 根据上述配筋，对消能子结构进行罕遇地震下结构弹塑性分析，得到罕遇地震下消能子结构的内力；
- 3 根据弹塑性计算得到的内力，对子结构进行校核，框架柱和梁应满足抗剪弹性，节点连接部位对应节点区域应满足抗剪弹性，当采用支墩连接时，支墩根部对应梁截面应满足抗弯和抗剪弹性。
- 4 消能子结构的抗震等级高于主结构一级，当主结构为特一级时，消能子结构允许不再提高。消能子结构应具备足够的变形能力，应满足罕遇地震对应的变形下承载力不下降。

8.4.4 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

- 1 消能减震结构的弹性层间位移角限值应按本规程表4.5.1规定取值。
- 2 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值应不大于本规程表4.5.3规定的限值要求。
- 3 用于震后正常使用建筑的消能减震结构弹塑性层间位移角限值应按本规程表5.4.1的规定取值。

条文说明：消能减震结构的层间位移角限值应与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011保持一致，但又要体现出消能减震技术提高结构抗震能力的优势，消能减震结构的层间位移角限值宜比不设置消能减震的结构适当减小，从而更容易实现基于性能抗震设计要求。

8.4.5 主体结构的构造措施应符合下列规定：

- 1 主体结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011取值。
- 2 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角与规程规定的弹塑性层间位移角限值之比确定，最大降低程度应控制在1度以内。

条文说明：对于消能减震混凝土建筑中的主体结构由于消能部件附加的阻尼比使得结构的地震反应降低，构件的截面尺寸可能会有所减小，主体结构的抗震等级根据设防烈度、结构类型、房屋高度进行区分，主体结构应采用对应结构体系的计算和构造措施，抗震等级的高低，体现了对结构抗震性能要求的严格程度。为此，对于消能减震混凝土结构的主体结构抗震等级应根据其自身的特点，按相应的规范和规程取值，当消能减震结构的减震效果比较明显时，主体结构的构造措施可适当降低，即当消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角计算值小于规程规定的弹塑性层间位移角限值的50%时，主体结构的构造措施可降低一度执行。

8.4.6 消能子结构的构造措施应符合下列要求：

- 1 消能子结构抗震构造措施要求应按设防烈度要求执行。
- 2 消能子结构为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的要求；消能子结构非消能部件的构件为剪力墙时，其端部宜设暗柱，其箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应高于国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3中框架柱的要求。
- 3 消能子结构为钢结构时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按国家现行标准《钢结构设计规范》

GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中中心支撑的要求确定。

条文说明：消能减震结构中消能部件与结构构件进行连接，并且会传递给结构构件较大的阻尼力时，为了保证结构构件在消能部件附加的外力作用下不至于发生破坏，需要在与消能部件连接的部位进行箍筋加密。

8.5 消能减震结构抗震性能化设计

8.5.1 消能减震结构应结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。

8.5.2 消能减震结构的性能水准的判别可按表8.5.2确定。

表8.5.2 消能减震结构的性能水准的判别

破坏级别	损坏部位描述			继续使用的可能性	变形参考值
	竖向构件	关键构件	消能部件		
基本完好 (含完好)	无损坏	无损坏	无损坏	一般不需要修理即可继续使用	$<[\theta_e]$
轻微损坏	个别轻微裂缝 (或残余变形)	无损坏	无损坏	不需要修理或稍加修理仍可使用	$1.5[\theta_e] \sim 2[\theta_e]$
中等破坏	多数轻微裂缝 (或残余变形)， 部分明显裂缝 (或残余变形)	轻微损坏	无损坏	需要一般修理，采取安全措施后可适当使用，检修消能部件	$3[\theta_e] \sim 4[\theta_e]$
严重破坏	多数严重破坏 或 部分倒塌	明显裂缝 (或残余变形)	轻微损坏	应排险大修，局部拆除位移相关型消能器应更换、速度相关型消能器根据检查情况确定是否更换	$<0.9[\theta_p]$
倒塌	多数倒塌	严重破坏	破坏	需拆除	$>[\theta_p]$

注：1 个别指 5%以下，部分指 30%以下，多数指 50%以上；

2 中等破坏的变形参考值，取规范弹性和弹塑性位移角限值的平均值，轻微损坏取 1/2 平均值

3 $[\theta_e]$ 、 $[\theta_p]$ 分别按照表 4.5.1 和表 4.5.3 取值。

8.5.3 消能减震结构的抗震性能目标宏观判别可按表8.5.3确定；新建乙类建筑宜采用性能设计方法进行抗震设计，性能目标可按不低于性能目标3设定。

表 8.5.3 消能减震结构抗震性能目标宏观判别

地震水平	性能 1	性能 2	性能 3	性能 4
多遇地震	完好	完好	完好	完好
设防地震	完好，正常使用	基本完好，结构构件检修后继续使用，无需更换消能器	轻微损坏，结构构件简单修理后继续使用，无需更换消能器	轻微至接近中等损坏，结构构件需加固后才能使用，根据检修情况确定是否更换消能器

罕遇地震	基本完好，结构构件检修后继续使用，无需更换消能器	轻微至中等破坏，结构构件修复后继续使用，根据检修情况确定是否更换消能器	中等破坏，结构构件需加固后继续使用，根据检修情况确定是否更换消能器	接近严重破坏、大修，结构构件局部拆除，位移相关型消能器应更换、速度相关型消能器根据检查情况确定是否更换
------	--------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---

条文说明：消能减震结构的抗震性能化设计，应根据实际需要确定不同的性能目标和水准，以达到预期的设计要求；多层且较规则的乙类建筑亦可不要求进行性能化设计。

8.5.4 不同性能目标的消能减震结构设计及模型计算应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的要求。

9 消能器和结构的连接与构造

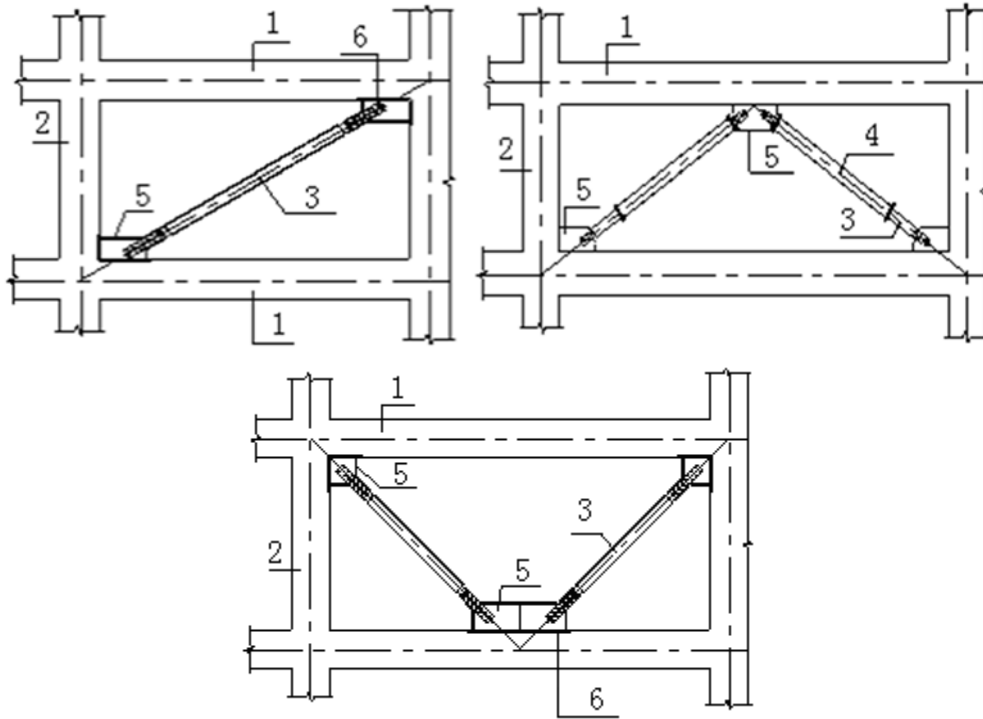
9.1 一般规定

9.1.1 消能器与主体结构的连接一般分为：支撑型、墙柱型等，设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式。

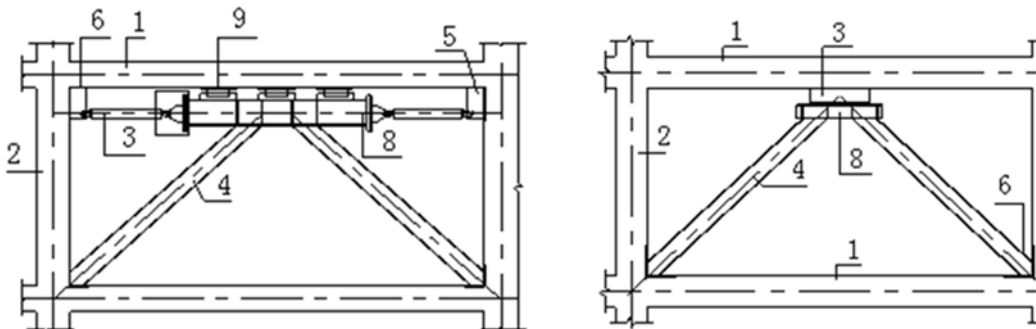
9.1.2 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、“V”字形和人字形等布置，不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比或径厚比应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的要求。

条文说明：消能器与主体结构的连接，根据消能器的不同，可采用不同的连接形式（附图9.1-1）。K形支撑布置时会在框架柱中部交点处给柱带来侧向集中力的不利作用，在地震作用下，可能因受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌，故不宜采用“K”字形布置。

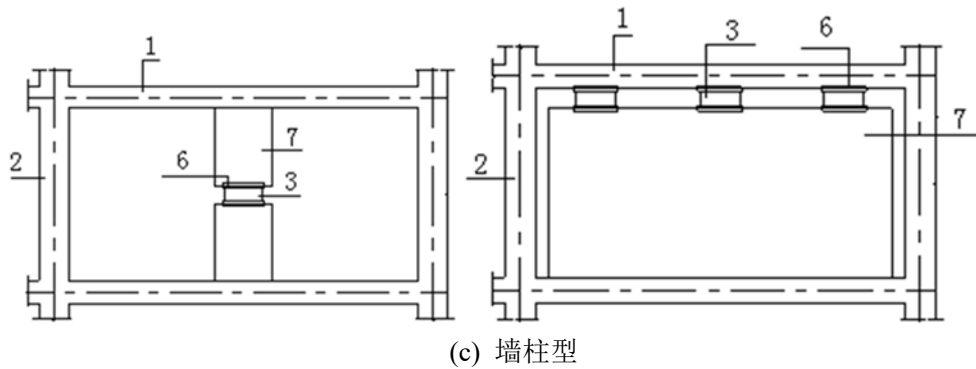
支撑斜杆宜采用双轴对称截面。当采用单轴对称截面（双角钢组合T形截面），应采取防止绕对称轴屈曲的构造措施。板件局部失稳影响支撑斜杆的承载力和消能能力，其宽厚比需要加以限制。



(a) 斜撑型



(b) 门架型



附图 9.1-1 消能器布置形式

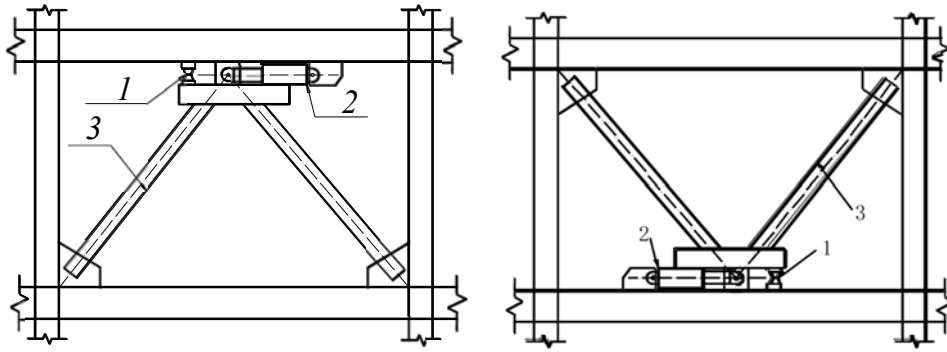
1-梁；2-柱；3-消能器；4-支撑；5-节点板；6-预埋板；7-支墩或剪力墙；8-水平平台；9-平面外限位装置

9.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销栓，高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定。

条文说明：本条内容同现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017有关条文。连接板（或连接件）和结构构件间的连接采用高强螺栓连接或焊接，当采用螺栓连接时，应保证相连节点在罕遇地震下不发生滑移；当消能器的阻尼力较大时，宜采用刚接；与消能器相连的支撑应保证在消能器最大输出阻尼力作用下处于弹性状态，不发生平面内、外整体失稳，同时与主体相连的预埋件、节点板等也应处于弹性状态，不得发生滑移、拔出和局部失稳等破坏。与支撑相连接的节点承载力应大于支撑的极限承载力，以保证节点足以承受罕遇地震下可能产生的最大内力。消能器与连接支撑、主体结构之间的连接节点，应符合钢构件连接、或钢与混凝土构件连接、或钢与钢-混凝土组合构件连接的构造要求。

9.1.4 预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

条文说明：消能部件一般情况属非承重构件，其功能仅在结构变形过程中发挥耗能作用，而不承担结构的竖向承载作用，即增设消能器不改变主体结构的竖向受力体系，为此，无论是新建消能减震结构还是既有建筑的抗震加固主体结构都必须满足竖向承载力的要求。与消能器相连的支撑应具有足够刚度，以保证消能部件中的变形绝大部分发生在消能器上，消能器支撑的刚度应根据计算确定。节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生面外失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋的措施。以前对于消能减震结构分析时，一般将消能器视为单方向的消能，亦即沿着框架的平面方向消能，所以，一些相关研究皆是以平面框架（二维构架）装设消能器来探讨消能减震结构在地震作用下的反应，由于应用平面框架的概念，对于消能器出平面的方向皆视为不受地震力作用而忽视消能器出平面的力学特性。然而，由于建筑结构体系的复杂及不规则以及应用平面框架理论有其条件的限制，建筑结构大部分已经不再适用平面框架的理论，加上近年来结构分析技术的进步，目前皆是以三维空间构架来做结构分析设计。所以，在三维空间结构分析时，消能器不仅需考虑框架平面内的力学特性，亦需考虑消能器在框架平面外的力学特性。并且由于附加支撑在消能器的阻尼力作用下，常产生轴压变形，在设计附加支撑时经常只考虑到附加支撑平面内的刚度，来保证消能器的大变形而忽略了附加支撑的平面外刚度，导致附加支撑在地震作用时平面外屈曲支撑破坏，使消能器不能发挥其应有的耗能效果。为此，需要保证附加支撑在轴力作用下的平面外刚度。当使用无刚度黏滞消能器，且采用人字型支撑时，可同时考虑与橡胶支座的合理组合，通过橡胶支座或其他提供平面刚度装置给支撑提供一定的平面外刚度，以保持支撑平面外的稳定，如附图 9.1-2 所示。而位移相关型消能器都能提供二个方面的水平刚度，为此，可利用消能器自身的性能使其满足支撑平面外稳定性要求。



附图 9.1-2 消能器安装立面图

1—平面外限位装置；2—消能器；3—支撑

9.1.5 消能器与非结构构件之间应采用柔性连接，保证消能器的有效变形空间。

9.1.6 预埋件的锚固方式，抗风设计时可采用锚筋锚固；抗震设计时，宜采用对拉锚固，或采取更加有效的锚固措施。

9.1.7 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板在任何状态下均应保持弹性。

9.1.8 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板的作用力取值应为消能器设计位移或设计速度下对应阻尼力的1.2倍。

9.2 预埋件

9.2.1 应根据消能器受力特征进行预埋件截面设计，确定预埋件总截面面积。

条文说明：预埋件的构造形式应根据受力性能和施工条件确定，力求构造简单，传力直接。预埋件可分为受力预埋件与构造预埋件两种。均由两部分组成：埋设在混凝土中的锚筋和外露在混凝土表面部分的锚板。锚筋和锚板都应采用可焊性良好的结构钢。锚筋常用钢筋，对于受力较大的预埋件常采用角钢。对于L型预埋板相互垂直方向的预埋板承担的内力宜按支撑角度分解轴向力获取。

9.2.2 预埋件的锚筋和锚板设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145和《钢筋混凝土结构预埋件》16G362的规定，并根据实际受力情况适当加强。

9.2.3 配置直锚筋的预埋件其承载力调整系数为0.8，当锚固长度不足或采用角钢锚筋及直锚筋和抗剪钢板组合使用时为0.7。

9.2.4 沿剪力方向锚筋排数不宜多于四排，当多于四排时，应充分考虑锚筋层数的折减或采取其他有效传递剪力的措施。

9.3 支撑和支墩、剪力墙计算

9.3.1 消能器相连的支墩、剪力墙应按本规程第9.1.8条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

9.3.2 支撑和支墩、剪力墙的计算长度应符合下列规定：

- 1 采用单斜消能部件时，应取支撑与消能器连接处到主体结构连接板中心处的距离。
- 2 采用人字形支撑时，应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构连接板中心处的距离。
- 3 采用柱型支撑时，应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

条文说明：支撑的计算长度取值遵循如下原则：计算支撑的轴向刚度时，计算长度取其净长。计算平面内、外失稳时，计算长度应取支撑与消能器的长度总和。用刚性剪力墙做连接支撑，连接剪力墙的梁与柱之间

梁段变成了类似连梁受力特征，应充分考虑其强度和刚度要求对保证剪力墙功能的重要性。

9.3.3 与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足本规程第8.3.1条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的2倍。

9.4 节点板计算

9.4.1 节点板设计时应验算节点板构件的截面、节点板与预埋板间高强度螺栓或焊缝的强度。

9.4.2 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f \quad (9.4.2-1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos^2\alpha_i}} \quad (9.4.2-2)$$

式中： N — 作用于节点板上消能器作用力(kN)；

A_i — 第 i 段破坏面的截面面积，

$A_i = tl_i$ ；当为螺栓连接时，应取净截面面积(m^2)；

η_i — 第 i 段的拉剪折算系数；

f — 钢材的抗拉和抗剪强度设计值(N/mm^2)；

α_i — 第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角；

t — 板件厚度(mm)；

l_i — 第 i 段破坏段的长度(mm)，应取板件中最危险的破坏线的长度(图 9.4.2)。

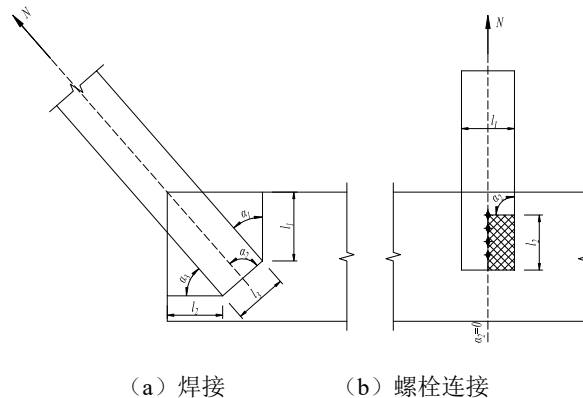


图 9.4.2 节点板的拉、剪撕裂

9.4.3 节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

1 对梁柱相交处有斜向支撑或消能器的节点，其节点板 c/t 不得大于 $22\sqrt{235/f_y}$ 。当 c/t 不大于 $15\sqrt{235/f_y}$ 时，可不进行稳定验算。否则，按本条第 3 款进行计算。

2 对框架梁上的节点，其节点板 c/t 不得大于 $17.5\sqrt{235/f_y}$ 。当 c/t 不大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时，节点板的稳定承载力可取为 $0.8b_c t f$ ；当 c/t 大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时，按本条第 3 款进行计算。

3 设有斜向支撑或消能器的节点板，在其轴向压力作用下，节点板 BA、AC 和 CD 的稳定性应满足下列要求，如图 9.4.3-1、9.4.3-2：

\overline{BA} 区：

$$\frac{b_1}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \sin\theta_1 \leq l_1 t_s \varphi_1 f \quad (9.4.3-1)$$

\overline{AC} 区:

$$\frac{b_2}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \leq l_2 t_s \phi_2 f \quad (9.4.3-2)$$

\overline{CD} 区:

$$\frac{b_3}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \cos \theta_1 \leq l_3 t_s \phi_3 f \quad (9.4.3-3)$$

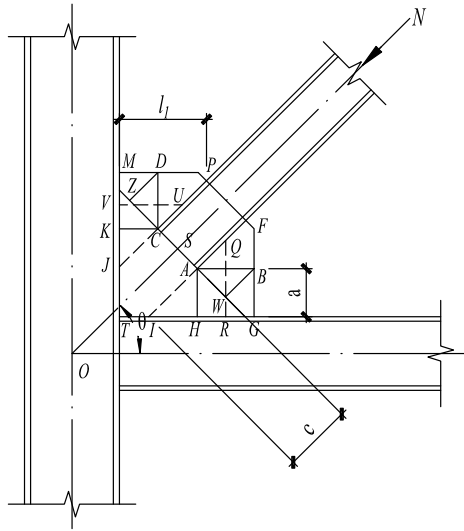


图 9.4.3-1 单斜撑节点板

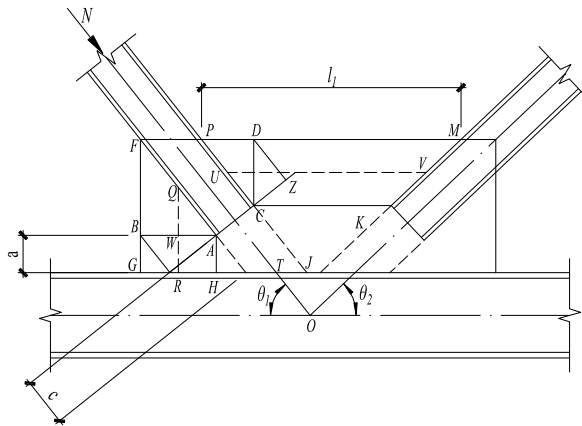


图 9.4.3-2 双斜撑节点板

式中: N —作用于节点板上的轴力(一般为消能器的极限承载力, kN);

t_s —节点板厚度(mm);

l_1 、 l_2 、 l_3 —分别为屈折线 BA 、 AC 、 CD 的长度(mm);

ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 —各受压区板件的轴心受压稳定系数,可按现行国家标准《钢结构设计标准》

GB 50017 中 b 类截面查取;其相应的长细比分别为: $\lambda_1 = 2.77 \frac{\overline{QR}}{t}$, $\lambda_2 =$

$2.77 \frac{\overline{ST}}{t}$, $\lambda_3 = 2.77 \frac{\overline{UV}}{t}$;式中 \overline{QR} 、 \overline{ST} 、 \overline{UV} 为 \overline{BA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CD} 三区受压板件的中

线长度;其中 $\overline{ST} = c$; b_1 、 b_2 、 b_3 为各屈折线段在有效宽度线上的投影长度,

b_1 、 b_2 、 b_3 分别为 \overline{WA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CZ} 的长度。

9.4.4 屈曲约束支撑连接节点应能够承担V形、人字形支撑产生的竖向力差值。

9.5 消能器与结构连接构造要求

9.5.1 预埋件的锚筋应与钢板牢固连接，锚筋的锚固长度宜大于20倍锚筋直径，且不应小于250mm。当无法满足锚固长度的要求时，应采取其他有效的锚固措施。

条文说明：连接阻尼器与结构构件的预埋件是保证可靠传力的重要部件，故提出较高的要求。新建消能减震结构预埋件部位的箍筋必须加密，加密范围一般不小于埋件长度加两侧外延各不小于500mm的范围，加密范围内的箍筋间距不宜小于100mm；当预埋件位于梁柱节点区域时，梁、柱端加密区的长度应外延至自预埋件外侧算起的规定长度处。黏滞阻尼墙作为一种墙式阻尼器，连接节点一般是在上下层的结构梁之间，结构梁可分为：钢筋混凝土梁，组合结构梁和钢结构梁。钢筋混凝土梁的预埋件为锚筋与预埋钢板牢固连接，预埋件的预埋强度、紧固强度应符合国家其他相应标准。

9.5.2 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中中心支撑的规定。

9.5.3 消能部件中的剪力墙、支墩沿长度方向全截面箍筋应加密，并配置网状钢筋。

9.5.4 连梁消能器深入梁端锚固段型钢构件与混凝土的连接应满足《组合结构设计规范》JGJ138 中型钢筋混凝土梁的规定。

9.6 屈曲约束支撑的构造要求

9.6.1 屈曲约束支撑的连接计算应取1.2倍设计屈曲约束支撑的极限承载力，核心单元连接段不应发生失稳，节点板和预埋件应处于弹性工作状态。

条文说明：与屈曲约束支撑相连的主体结构的节点板和预埋件应考虑屈曲约束支撑的极限承载力，从而保证屈曲约束支撑在罕遇地震作用下不丧失功能。

9.6.2 屈曲约束支撑的形心线与梁柱形心线三者宜相交于一点。

9.6.3 屈曲约束支撑采用人字形或V字形的布置形式时，应加强支撑节点设计。当与屈曲约束支撑相连的梁的侧向变形和扭转变形未受到有效限制时，应考虑梁的侧向刚度和扭转刚度对节点平面外稳定性的影响。

9.6.4 屈曲约束支撑连接示意如图9.6.4-1、9.6.4-2：

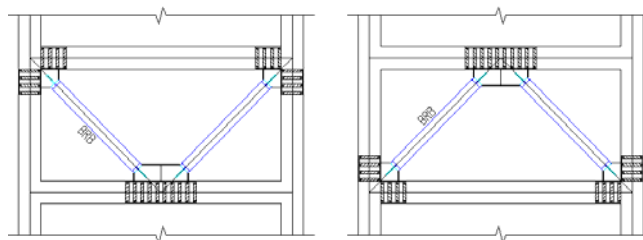


图 9.6.4-1 混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

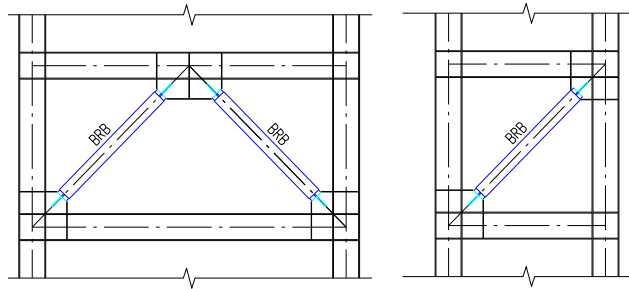


图 9.6.4-2 钢构件与屈曲约束支撑连接示意

9.6.5 预埋件的锚筋和锚板设计应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的要求。

条文说明：屈曲约束支撑的附加内力通过预埋件等传递给主体结构构件，因此，要求预埋件在屈曲约束支撑极限位移时附加的外力作用下不会出现失效，其构造措施比一般预埋件要求更高。

9.6.6 屈曲约束支撑的极限承载力应大于相连构件的屈服承载力。

9.7 金属屈服型消能器、摩擦消能器构造要求

9.7.1 金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，宜结合建筑隔墙位置布置，通常采用支撑式和墙式连接。支撑式可根据需要采用V形或人字形布置，墙式可根据需要设置混凝土墙式和钢桁架墙式连接，墙式连接可根据建筑平面的特点调整位置，如图9.7.1。

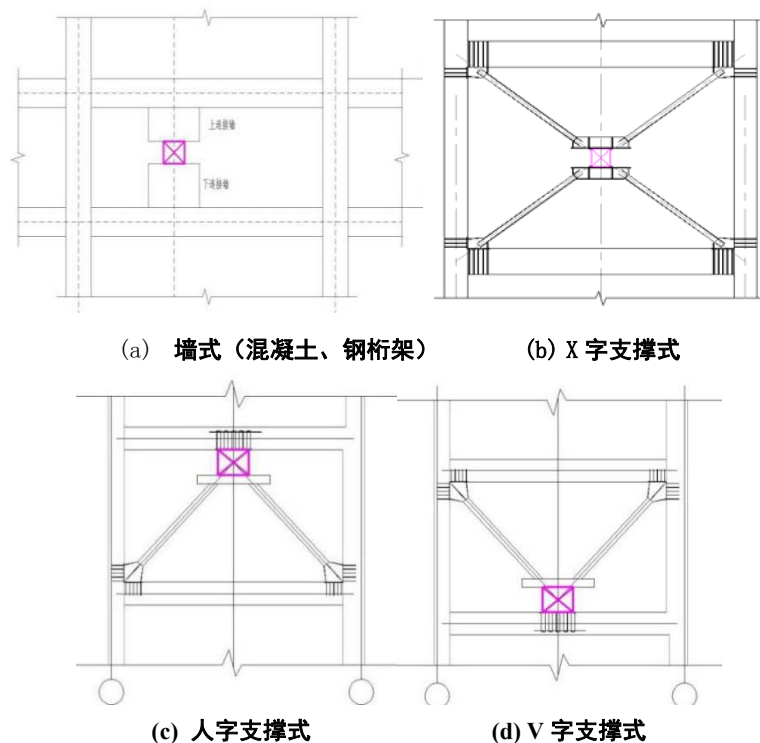


图 9.7.1 消能器布置型式

9.7.2 采用墙式连接时，与消能器连接的锚板和锚筋预埋在悬臂墙中，消能器与预埋板之间采用焊接连接或螺栓连接。

9.7.3 筒式形式消能器或轴向形式消能器与主体结构的连接方式，可参照屈曲约束支撑的连接方式。

9.8 黏滯消能器构造要求

9.8.1 黏滯消能器与主体的连接方式，其布置方式有支撑型，中间柱型，剪切连接型等多种型式。可结合建筑隔墙位置放置，宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。采用中间柱型连接时，应设置暗梁暗柱，且锚筋应在暗柱的内侧。

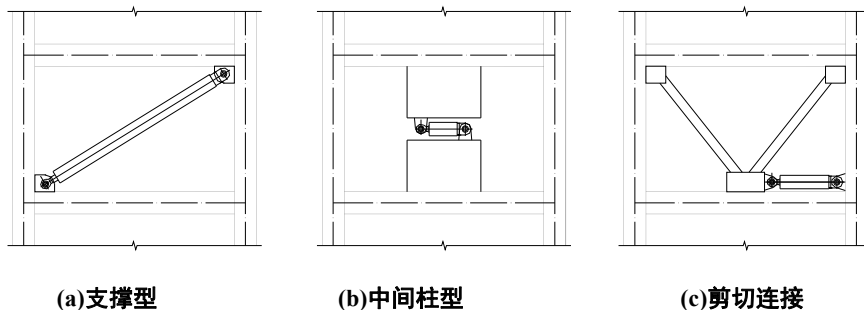


图 9.8.1 消能器布置型式

10 消能部件的施工、验收和维护

10.1 一般规定

10.1.1 消能部件的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件及消能部件的特点确定。消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。

10.1.2 消能部件子分部工程项目的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制专项施工方案。

10.1.3 消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为消能器部件进场验收和消能部件安装防护二个阶段。

10.1.4 消能部件尺寸、变形、连接件位置与角度、螺栓孔位置与直径、高强度螺栓、焊接质量、表面防锈漆等应符合设计文件规定。

10.2 消能部件进场及验收

10.2.1 消能部件进场时，应进行进场验收，并经监理（建设）单位核准。

10.2.2 消能部件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，尚应进行相应的检验。

10.2.3 消能部件进场应提供下列质量证明文件：

1 消能器、支撑和连接件所用钢材、紧固件、黏滞材料、摩擦材料、黏弹性材料等原材料的质量证明文件；

2 消能器和连接件进场时，应提供产品合格证、外观质量及尺寸偏差出厂检测报告；

3 项目所使用全部规格消能器型式检验报告；

4 其他必要证明文件。

10.2.4 消能部件应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。消能部件进场后，应按种类、规格、批次分开贮存。存储环境应选在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，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接触。

10.2.5 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器生产厂家共同商讨确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

10.2.6 消能器的安装宜由经过专门培训的人员实施。

10.2.7 消能部件安装完成后应对消能器及其连接件在运输、存放和安装过程中损坏的涂层以及安装连接部位的涂层进行现场补漆，并应符合原涂装工艺和设计要求。

10.2.8 消能器预埋件安装完成后应进行隐蔽验收，合格后方可进入下道工序施工，隐蔽验收应形成隐蔽验收记录和必要的图像资料。

10.3 消能部件质量验收

10.3.1 消能减震工程验收程序应符合下列规定：

1 消能减震工程的检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目专业技术负责人等进行验收；

2 消能减震工程完工后,应由总监理工程师组织设计单位专业技术负责人、施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收并提交子分部工程验收报告。

10.3.2 消能减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,并符合下列规定:

- 1 工程施工质量应符合本规程和设计要求。
- 2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应资格。
- 3 隐蔽工程在隐蔽前,应进行隐蔽工程验收,形成隐蔽验收文件。
- 4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行检查,一般项目的合格率应不小于 80%,且不得有超出允许偏差 1.5 倍的尺寸偏差。
- 5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

10.3.3 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目、观感质量检查项目按《建筑消能减震技术规程》JGJ 2107 第 8.6 条规定执行。

10.4 消能部件的维护

10.4.1 减震建筑工程竣工验收前,应提交由设计、消能器厂家、施工等单位共同编写的使用维护手册;消能器的维护检查可分为常规检查、定期检查、应急检查。

1 常规检查应至少每一年进行一次,检查单位为减震建筑使用或管理单位,或委托专业人员检查。

2 定期检查应根据消能器类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行,设计无要求时为竣工验收后的第 3 年、第 5 年、第 10 年,第 10 年以后每 10 年进行一次,定期检查由专业人员进行,并提供相关报告。

3 当发生地震、强风、火灾等可能会损伤消能器及其相关部件的灾害后,应及时进行应急检查,应急检查由专业人员进行,并提供相关报告。

10.4.2 同一工程同一类型的消能器检查数量取对应总数的 2%且不少于 2 个,隐藏在建筑装修内的消能部件按检查数目要求预留检查口。

10.4.3 减震建筑除对建筑一般维护项目进行检验、检查外,还应对减震建筑特有的项目进行检验、检查,检查项目包括消能器、连接件及相关构造措施。检查及维护方法应符合表 10.4.3 的规定。

表 10.4.3 消能器检查内容及维护处理方法

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
消能器	黏滞消能器	漏油、阻尼材料泄露、产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
	金属屈服型消能器	产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
	摩擦消能器	摩擦材料磨损、脱落,接触面施加压力的装置松弛,产生明显的损伤、变形;	观察、尺量	更换相关材料、压力装置,更换消能器

	屈曲约束支撑	芯材外露 产生明显的损伤、变形	观察，拉线、 尺量	更换消能器
	黏弹消能器	黏弹材料老化、龟裂、 产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
消能器与主体结构或消能子结构连接部位	螺栓松动、焊缝损伤、 焊缝开裂、销轴变形		观察、 小锤敲击， 卡尺测量	拧紧螺栓、 补焊， 更换销轴
消能器外露金属面、摩擦面；消能器、连接件表面涂装	黏滞消能器导杆、摩擦消能器外露摩擦界面出现 腐蚀、表面污垢硬化结斑结块；被涂装金属表面 外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装出现裂 纹、起皮、剥落、老化等		观察	及时清除； 重新涂装
消能器周围构造	限制、阻碍消能器正常工作的障碍物		观察	及时清除

11 隔震结构一般规定

11.1 一般要求

11.1.1 本章适用于设置隔震层以隔离水平地震动的建筑隔震设计以及需要减小地震引起的水平震动和减小环境激振引起的竖向振动的建筑三维隔震（振）设计。

【条文说明】本规程的隔震设计指在房屋基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由橡胶隔震支座、摩擦摆隔震支座、弹性滑板支座、高阻尼橡胶支座和阻尼装置等部件组成具有整体复位功能的隔震层，以延长整个结构体系的自振周期，减少输入上部结构的水平地震作用，达到预期防震要求。

11.1.2 建筑结构隔震设计方案应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地和地基条件、结构材料和施工等因素，通过技术、经济和使用条件综合比较，且与非隔震抗震设计方案对比分析后确定。

【条文说明】国内外的大量试验和工程经验表明：隔震技术一般可使结构的水平地震加速度反应降低 60% 甚至更多，确保人员安全，大大减轻结构和非结构的破坏，甚至可以保证正常使用功能不中断。与抗震设计方案进行对比，更准确反映出隔震结构在抗震性能上的优势。

11.1.3 建筑结构采用隔震设计时应符合下列各项要求：

1 结构高宽比宜小于 4，且不应大于相关规范规程对非隔震结构的具体规定，其变形特征接近剪切变形，最大高度应满足相关规范、规程对非隔震结构的要求；高宽比大于 4 或不满足非隔震结构相关规定的结构，应进行专门研究。

2 建筑场地应选用稳定性较好的基础类型。

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上部结构总重力的 10%。

4 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼，侧向刚度应能保证隔震层在罕遇地震作用下的弹性复位能力；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以适应隔震层的罕遇地震水平位移。

5 当不满足上述要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施。特殊设防类建筑、体型复杂或有特殊要求的结构，宜通过结构模型的模拟地震振动台试验对隔震方案进行补充验证。

【条文说明】1 根据橡胶隔震支座抗拉屈服强度低的特点，需限制非地震作用的水平荷载，结构的变形特点需符合剪切变形为主且房屋高宽比小于 4 或有关规范规程对非隔震结构的高宽比限制要求。现行规范规程有关非隔震结构高宽比的规定如下：

1 高宽比大于 4 的结构小震下基础不应出现拉应力；砌体结构，6、7 度不大于 2.5，8 度不大于 2，9 度不大于 1.5；混凝土框架结构，6、7 度不大于 4，8 度不大于 3，9 度不大于 2；混凝土抗震墙结构，6、7 度不大于 6，8 度不大于 5，9 度不大于 4。

高宽比大于 4 的结构，需进行整体倾覆验算，防止支座压屈或出现拉应力超过 1MPa。

2 隔震层防火措施和穿越隔震层的配管、配线，尚需满足本规程其他章节的相关要求。

11.1.4 隔震设计时，隔震装置应符合下列要求：

1 隔震装置的性能参数应经试验确定。

2 隔震装置的设置部位，应采取便于检查和替换的措施。

3 设计文件上应注明隔震装置的安装位置及其性能要求,安装前应对工程中各种类型和规格的隔震装置进行抽检,检验要求应符合本规程相关章节要求。

【条文说明】隔震装置在长期使用过程中需要检查和维护。因此,其安装位置应便于维护人员接近和操作。设计文件中应注明隔震装置的见证检验数量和要求。

11.1.5 隔震建筑房屋高度、规则性、结构类型、隔震层设置等或抗震设防标准等有特殊要求时,宜采用结构抗震性能化设计方法进行设计。性能目标按照本规程第 5 章及附录 A 的相关要求进行确定。

【条文说明】对于有特殊要求的隔震结构,可按照性能化设计方法进行设计,更加具有针对性,以利于推广隔震技术的应用。

11.1.6 三维隔震(振)结构应满足本章中隔震结构的一般规定。

【条文说明】三维隔震(振)结构为特殊的隔震结构,在常规隔震结构的基础上增加竖向隔振层,需要首先满足作为隔震结构的一般规定。

11.2 隔震支座要求

11.2.1 隔震层的隔震支座应符合下列要求:

1 支座在设计压应力值作用下,应具有满足要求的极限水平变形能力。

2 支座应具有一定的耗能能力。若支座提供的耗能能力不足,可设置附加耗能装置。

3 支座应具有合理的水平刚度特性。支座的水平刚度值既应满足延长结构周期要求,也应满足控制极限位移和结构抵御风荷载等要求,并应为隔震层提供自动复位能力。

注:1 压应力设计值应按永久荷载和可变荷载的组合计算;其中,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 结构倾覆验算时应包括水平地震作用效应组合;对需要进行竖向地震作用计算的结构,尚应包括竖向地震作用效应组合。

【条文说明】1 同一个工程中,各类橡胶隔震支座的极限水平变形能力的要求应该是一致的。

2 合理的隔震层耗能能力有助于减小上部结构响应取得良好的隔震效果,同时有效限制隔震层产生过大位移。附加阻尼装置建议采用黏滞阻尼器。

11.2.2 隔震支座应进行竖向承载力验算和罕遇地震作用下水平位移的验算;其水平刚度、竖向刚度、阻尼、荷载-位移关系等特性应根据相应规范规程的要求经试验确定。

11.2.3 三维隔震(振)支座的水平隔震效果和竖向隔震效果宜解耦。

【条文说明】水平隔震效果和竖向隔震效果解耦,指水平位移变化不影响竖向力学性能,竖向荷载变化不影响水平力学性能。

11.3 结构分析

11.3.1 建筑结构隔震设计的计算分析,应符合下列规定:

1 隔震体系的计算简图,由隔震支座及其顶部梁板组成的隔震层应作为独立质点;对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型;隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心的偏心率大于 3%时,应计入扭转效应的影响。隔震层顶部的梁板结构,应作为其上部结构的一部分进行计算。

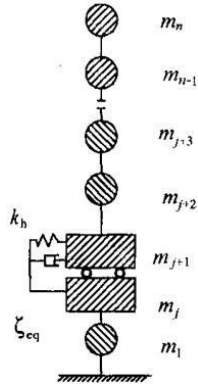


图 11.3.1 隔震结构计算简图

2 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，或隔震层隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合复杂的隔震建筑，尚应采用时程分析法进行补充计算；

4 砌体结构及基本周期与其相当的结构，且满足 11.1.3 条相关规定时，水平地震作用可采用底部剪力法计算，并按现行国家标准《建筑抗震设计规范》附录 L 采取抗震构造措施。对重点设防类建筑、房屋平面或竖向不规则结构，尚应采用振型分解反应谱法或时程分析方法作补充计算。

【条文说明】1 分析模型要能够反映隔震结构的特性，要根据不同的目标来设置合理的分析模型。一般需考虑上部结构的模型化、隔震支座的模型化、阻尼器模型化及下部结构的模型化等。

隔震结构设计时应应对隔震层的偏心率进行合理控制。本规程参照日本标准和我国的国家标准《建筑隔震设计标准》(GB/T51408-2021)，规定隔震结构在设防烈度地震作用下两个主轴方向的偏心率不大于 3%。当偏心率大于 3%时，应计入扭转效应的影响。隔震结构通过设置隔震层，使强震作用下的结构变形集中发生在隔震层，从而减小了上部结构的层间变形，避免了上部结构由于变形能力不足而产生的破坏。合理的隔震设计总是能在实现结构隔震目标的同时将隔震层的变形也控制在建筑设计可接受的范围内。因而，隔震层变形是隔震结构的一个重要控制参数。

2~4 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。

本规程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，在本规程 4.2 节中加以规定。当隔震层的等效阻尼比较小，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。

11.3.2 建筑三维隔震（振）设计的计算分析，应符合 11.3.1 条的规定，且隔震体系的计算简图应增加代表三维隔震（振）层的竖向弹簧和竖向阻尼器。

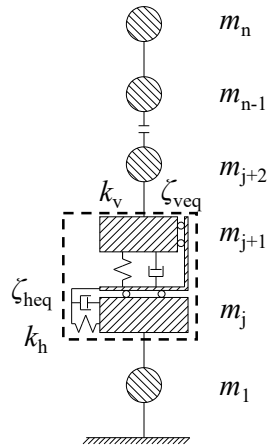


图 11.3.2 三维隔震（振）结构计算简图
（虚线框内为包括上下两块楼板的三维隔震（振）层）

11.4 隔震部件材料与施工

11.4.1 隔震部件应符合下列要求：

1 隔震支座和阻尼器的技术性能应符合有关产品标准的规定，隔震支座和阻尼器产品性能的型式检验和出厂检验不能相互替代。

2 设计文件上应注明对隔震支座和阻尼器的性能要求。安装前应对工程中采用的各种类型和规格的隔震支座和阻尼器进行见证检验，每种类型和每一规格的抽样数量取总数量的2%，且隔震支座不应少于3个，阻尼器不应少于2个，见证检验的合格率应为100%。

11.4.2 隔震建筑的上部结构施工过程中，易在水平方向产生位移，应采取措施。

11.4.3 隔震建筑施工过程中，应计入施工误差，确保水平隔离缝和竖向隔离缝的距离满足设计要求。

11.4.4 隔震支座的相关施工要求应符合下列规定：

1 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 承台、底板混凝土初凝前，应进行测量定位，绑扎支墩（柱）的钢筋及周边钢筋，应预留预埋钢筋或锚杆、套筒的位置；

3 下支墩（柱）上的连接板在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位，并应用连接螺栓对螺栓孔进行临时旋拧封闭；

4 安装下支墩（柱）侧模，应用水准仪测定模板高度，并应在模板上弹出水平线；

5 浇筑下支墩（柱）混凝土时，应减少对预埋件的影响；混凝土浇筑完毕后，应对支座中心的平面位置和标高进行复测并记录，若有移动，应立即校正；

6 模板拆除后，应采用同强度的水泥砂浆进行找平，找平后应对砂浆面进行标高复核；

7 安装支座时，应用全站仪或水准仪复测支座标高及平面位置，并应拧紧螺栓；

8 上支墩（柱）连接件在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位。

11.4.5 隔震结构的施工安装及验收应符合现行行业标准《隔震工程施工与验收规》JGJ360的相关规定。

11.5 耐久性规定

11.5.1 设计文件中应明确隔震装置的耐久性能。隔震层分析，包括下部结构，支座及上部结构都应考虑到支座材料性能在整个工程设计基准周期内的变异情况。

【条文说明】导致材料性能变异的因素包括老化、污染、温度、加载速率等。

11.5.2 橡胶隔震支座的耐久性能要求应满足现行国家标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 和行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T118 的相关要求。

11.5.3 弹性滑板支座的耐久性能要求应满足现行国家标准《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 的相关要求。

11.5.4 摩擦摆隔震支座的耐久性能要求应满足现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358-2019 的相关要求。

11.5.5 隔震层阻尼器的耐久性能要求应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的相关要求。

12 隔震支座的技术性能

12.1 一般要求

12.1.1 隔震结构宜采用成熟的隔震支座类型，主要包括：天然橡胶支座（LNR），铅芯橡胶支座（LRB），高阻尼橡胶支座（HDR），弹性滑板支座（ESB），摩擦摆隔震支座(FPS)及其它隔震支座。

【条文说明】根据产品标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T118-2000/2018 和《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3-2006 的执行经验和工程实践来看，天然橡胶支座（LNR），铅芯橡胶支座（LRB）和高阻尼橡胶支座（HDR）已成为成熟的建筑隔震橡胶支座类型。随着隔震技术的不断普及，隔震支座已不仅仅限于隔震橡胶支座，弹性滑板支座（ESB）和摩擦摆隔震支座（FPS）也逐渐在建筑工程中得到使用，我国已经制定并发行了相应的支座标准—《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5-2014 和《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358-2019。

12.1.2 隔震支座的技术性能和试验应符合本章的相关要求，并应符合相关产品标准的规定。

12.1.3 各类隔震支座的产品性能应经检验合格后提供下列性能指标：

- 1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度；
- 2 在轴压应力设计值作用下的竖向变形性能；
- 3 竖向极限压应力；
- 4 在轴压应力设计值作用下的水平极限变形能力；
- 5 耐久性能，包括老化性能、徐变性能和疲劳性能；
- 6 其它相关性能，包括在不同竖向轴压应力、水平剪切应变、水平加载频率、环境温度下的水平（等效）刚度和等效阻尼比的变化率；
- 7 耐火性能；
- 8 有特殊要求的性能，如抗腐蚀性、耐水性等。

12.1.4 橡胶隔震支座的产品性能除符合 12.1.3 的规定外，尚应提供下列性能指标：

- 1 在水平位移为 0.55 倍有效直径时的竖向极限压应力；
- 2 竖向极限拉应力；
- 3 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%时的水平等效刚度；
- 4 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%时的等效阻尼比；

12.1.5 工程采用的隔震支座的产品性能应符合设计要求并提供下列性能指标：

- 1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度；
- 2 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%、400%时的水平等效刚度；
- 3 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%、400%时的等效阻尼比。

【条文说明】本条第 2、3 款仅对橡胶隔震支座有效。

12.1.6 对铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座或其他含有阻尼器装置的隔震支座，除应满足第 12.1.2、12.1.3 条的规定外，尚应提供在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服剪力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。

12.1.7 对单独设置的位移屈服型阻尼装置或抗风装置，应满足第 12.1.3 条第 4 款和 12.1.4 条

第 2、3、4 款的要求，并应提供在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。

12.1.8 橡胶隔震支座的拉应力屈服极限值不应小于 1.5MPa，极限拉应力不应小于 4.0MPa。

12.1.9 检验不合格的产品不得在工程中使用。

12.1.10 除特殊规定外，隔震支座及隔震层阻尼装置产品的型式检验、见证检验及出厂检验，应符合相关标准的规定，检验确定的产品性能应满足设计要求，极限性能不应低于隔震层各相应设计性能。

12.2 天然橡胶支座

12.2.1 第一形状系数 S_1 分为无开孔支座和开孔支座另种情况，分别按下列公式计算：

1) 无开孔支座的 S_1 按式 (12.2.1-1) 和 (12.2.1-2) 计算：

$$\text{圆形支座: } S_1 = \frac{d_0}{4t_r} \quad (12.2.1-1)$$

$$\text{方形支座: } S_1 = \frac{a}{4t_r} \quad (12.2.1-2)$$

式中： d_0 ——内部钢板的外部直径，单位为毫米 (mm)；

t_r ——单层橡胶层的厚度，单位为毫米 (mm)；

a ——方形支座内部橡胶的边长，单位为毫米 (mm)。

2) 开孔支座的 S_1 按式 (12.2.1-3) 和 (12.2.1-4) 计算：

$$\text{圆形支座: } S_1 = \frac{d_0 - d_i}{4t_r} \quad (12.2.1-3)$$

$$\text{方形支座: } S_1 = \frac{4a^2 - \pi d_i^2}{4t_r(4a + \pi d_i)} \quad (12.2.1-4)$$

12.2.2 第二形状系数 S_2 按式 (12.2.2-1) 和 (12.2.2-2) 计算：

$$\text{圆形支座: } S_2 = \frac{d_0}{T_r} \quad (12.2.2-1)$$

$$\text{方形支座: } S_2 = \frac{a}{T_r} \quad (12.2.2-2)$$

式中： T_r ——内部橡胶总厚度。

【条文说明】第一形状系数 S_1 主要体现薄钢板对橡胶层的约束能力，第二形状系数 S_2 主要反映橡胶支座在受压时的稳定性。

12.2.3 竖向压缩性能刚度、压缩位移和压应变的计算如下：

竖向压缩刚度 K_V 可按式 (12.2.3-1) 计算：

$$K_V = \frac{E_c A}{T_r} \quad (12.2.3-1)$$

式中： E_c ——修正压缩弹性模量，见现行国家标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 附录 C。

A ——有效面积，支座内部橡胶的平面面积。

压缩位移 Y 和压应变 ϵ_c 可按 (12.2.3-2) 和 (12.2.3-3) 计算：

$$Y = \frac{P}{K_V} \quad (12.2.3-2)$$

$$\varepsilon_c = \frac{Y}{T_r} \quad (12.2.3-3)$$

式中：P——压力。

12.2.4 水平等效刚度、剪应变和等效阻尼比

水平等效刚度 K_h 可按式(12.2.4-1)计算：

$$K_h = G \frac{A}{T_r} \quad (12.2.4-1)$$

式中：G——橡胶的剪切模量。

若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(12.2.4-2)计算：

$$K_h = G_{eq}(\gamma) \frac{A}{T_r} \quad (12.2.4-2)$$

式中： $G_{eq}(\gamma)$ ——剪应变为 γ 时的等效剪切模量，见现行国家标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 附录D。

剪切模量G应在恒定压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。

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，水平等效刚度 K_h 可按式(12.2.4-3)计算：

$$K_h = G \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \right)^2 \right] \frac{A}{T_r} \quad (12.2.4-3)$$

式中： σ ——支座压应力，单位为兆帕(MPa)；

σ_{cr} ——支座临界应力，单位为兆帕(MPa)。

对于铅芯橡胶支座，水平等效刚度 K_h 可按(12.2.4-4)计算：

$$K_h = \frac{K_d X + Q_d}{X} \quad (12.2.4-4)$$

式中： K_d ——铅芯橡胶支座的屈服后刚度；

Q_d ——屈服力；

X ——剪切位移。

剪应变 γ 可按式(12.2.4-5)计算：

$$\gamma = \frac{X}{T_r} \quad (12.2.4-5)$$

等效阻尼比 h_{eq} 可按式(12.2.4-6)计算：

$$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \frac{W_d}{K_h X^2} \quad (12.2.4-6)$$

式中： W_d ——为剪力-剪切位移滞回曲线的包围曲线，即每加载循环所消耗的能量，单位为牛顿·毫米(N·mm)，由试验确定。

12.2.5 支座拉伸性能应满足式(12.2.5)要求：

$$F_u \leq P_{Ty} \frac{1}{\rho_T} \quad (12.2.5)$$

式中： F_u ——支座承受的提离拉力；

P_{Ty} ——支座的屈服拉力(见图12.2.5)，可按现行国家标准《橡胶支座第1部分：隔震橡胶支座试验方法》GB/T20688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} ;

ρ_T ——安全系数，按设计要求确定。

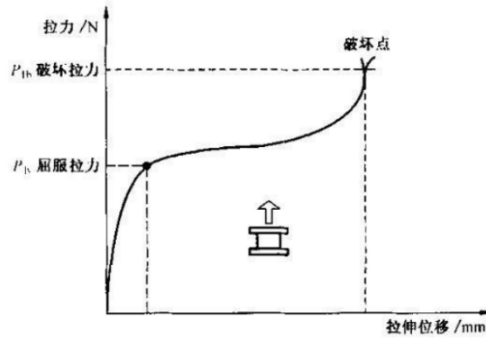


图 12.2.5 支座的拉伸性能关系曲线

12.2.6 支座内部钢板的设计可按式（12.2.6）计算：

$$\sigma_s = 2\lambda \frac{Pt_r}{A_e t_s} \leq f_t \quad (12.2.6)$$

式中： σ_s ——内部钢板拉应力，单位为兆帕（MPa）；

f_t ——钢材的抗拉强度设计值，单位为牛顿每平方米（N/mm²）；

A_e ——支座的顶面和底面之间的有效重叠面积，单位为平方毫米（mm²）；

t_s ——单层内部钢板的厚度，单位为毫米（mm）；

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

12.3 弹性滑板支座

12.3.1 橡胶材料的物理性能包括拉伸性能、老化性能、硬度、粘合性能、压缩性能、剪切性能、脆性性能、抗臭氧性能和低温结晶性能等。上述性能的具体要求和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 的规定。

12.3.2 弹性滑板支座的力学性能包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性、压缩性能相关性、极限性能和耐久性能等。上述性能的具体要求和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 的规定。

12.3.3 弹性滑板支座滑移时橡胶支座部设计水平剪应变不宜大于 50%。

12.3.4 弹性滑板支座的橡胶支座部的最小直径（或边长）尺寸不宜小于 300mm，第 1 形状系数不宜小于 30，第 2 形状系数应不小于 7。

12.3.5 弹性滑板支座的外观要求，允许偏差和检验规则应符合现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 的规定。

12.4 摩擦摆隔震支座

12.4.1 摩擦摆隔震支座按滑动摩擦面结构形式，可分为两类：

1 I 型为单主滑动摩擦面型；

2 II 型为双主滑动摩擦面型。

12.4.2 摩擦摆隔震支座由上下锚固装置、上座板、上滑动摩擦面、球冠体、下滑动摩擦面和下座板等组成。

12.4.3 支座的竖向承载力分级、极限位移量分级和摆动周期分级等应满足现行国家标准《建

筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的规定。

12.4.4 支座的水平等效刚度、等效阻尼比、摆动周期、屈服后刚度、回复力、等效曲率半径和摩擦系数等的计算方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 附录 A 的规定。

12.4.5 支座用摩擦材料、钢材、不锈钢板、黏结剂和防尘橡胶等材料的物理机械性能应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的规定。

12.4.6 摩擦摆隔震支座的力学性能包括压缩性能、剪切性能、剪切性能相关性、水平极限变形能力等。上述性能的具体要求和试验方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的规定。

12.4.7 摩擦摆隔震支座的外观要求，允许偏差和检验规则应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的规定。

12.5 三维隔震（振）支座

12.5.1 三维隔震（振）支座内的各组成单元的外观要求，允许偏差和检测规则应满足本章及有关产品的规定。

【条文说明】三维隔震（振）支座通常为常规隔震支座的变种，如厚肉型橡胶隔震支座，或常规隔震支座与竖向隔振单元的组合，如具有水平隔震效果的摩擦摆与具有竖向隔振效果的弹簧组合。组成单元的差异导致不同类型的三维隔震（振）支座适用于不同的要求和检测规则，例如弹簧的外观要求和允许偏差显然并不适用于厚肉型橡胶隔震支座，应根据各组成单元的构造形式并结合相关规定进行三维隔震（振）支座产品的检验。

12.5.2 三维隔震（振）支座的产品应严格检验其性能格，应提供 12.1.2 要求的性能指标，并提供下列性能指标：

1 水平剪切应变为 0，在三维隔震（振）支座设计压应力 σ_0 的 95%至 105%范围内竖向正弦循环加载得到的竖向循环等效刚度。

2 将竖向压力按 $0-1.3\sigma_0-0.7\sigma_0$ （第 1 次加载）， $0.7\sigma_0-1.3\sigma_0-0.7\sigma_0$ （第 2 次加载）， $0.7\sigma_0-1.3\sigma_0$ （第 3 次加载）依次连续匀速加载，取第 3 次加载过程对应于 $0.7\sigma_0$ 和 $1.3\sigma_0$ 的位移与荷载，计算得到的竖向单调刚度。

【条文说明】三维隔震（振）在竖向隔离正常使用情况下环境激励引起的竖向振动，此振动幅值较小。95%-105%的轴压应力设计值对应于竖向振动加速度 0.5m/s^2 ，和人能显著感受到的环境激励振动加速度幅值处于相同量级。因而小范围的循环加载更加符合正常使用情况下三维隔震（振）支座竖向的工作状态，得到的竖向刚度和阻尼比对于隔振设计更为准确。而建设过程中上部荷载逐渐增加，三维隔震（振）支座的变形过程接近于单调压缩加载，同时罕遇地震下竖向加速度幅值远大于正常使用状态下环境激励引起的加速度，因而施工过程和抗震设计使用的三维隔震（振）支座竖向刚度应按照大幅值的单调加载过程确定。不考虑三维隔震（振）支座的竖向运动阻尼将放大竖向地震与环境振动下的结构响应，结构设计偏安全。竖向单调刚度的测量方法参考了现行国家标准《橡胶支座 第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》GB 20688.1 中 6.3.1.3 中的试验方法 1，也可适用于以弹簧等其他构件为竖向隔振部件的三维隔震（振）支座。

12.5.3 三维隔震（振）支座的压应力、疲劳性能和徐变性能应符合下列规定：

1 三维隔震（振）支座中如采用碟形弹簧作为竖向承力部件，重力荷载代表值下的压应力不应超过碟形弹簧 $0.5H_0$ 变形时的恢复力；三维隔震（振）支座中如采用橡胶作为竖向承

力部件，橡胶在重力荷载代表值下的压应力不应超过其极限承载力的 35%。

2 三维隔震（振）支座中如采用弹簧作为主要竖向承力部件，弹簧的疲劳性能应满足在轴压应力设计值的 80%至 120%间循环 200 万次而弹簧不发生破坏。

3 三维隔震（振）支座中如采用橡胶作为竖向承力部件，在建筑设计工作年限内橡胶部分的徐变量不应超过橡胶总厚度的 10%。

【条文说明】厚肉型橡胶支座是一种已经实际应用的三维隔震（振）支座，其竖向徐变量大于常规橡胶隔震支座，因此此处对三维隔震（振）支座中橡胶徐变量的要求放松至《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 中的要求。

12.6 隔震支座产品检验与性能参数确定

12.6.1 隔震支座产品应进行型式检验。

12.6.2 隔震工程中所使用的隔震支座产品应按照现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG118、现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 和《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的要求进行出厂检验。

12.6.3 隔震工程中所使用的隔震支座产品在安装前应进行见证检验。

1 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 个进行隔震支座压缩性能和剪切性能试验，其中检查总数量的每 3 个支座中，取 1 个进行水平极限剪切性能试验。

2 对于特殊设防类、重点设防类建筑，不同型号的橡胶隔震支座水平极限剪应变均不应小于 450%。

3 对于标准设防类建筑，不同型号的隔震支座水平极限剪应变均不应小于 400%。

【条文说明】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，并做永久性标识，送至具备相应资质的第三方检测机构进行检验。第三方检测机构应对抽样样品先进行竖向压缩性能和水平剪切性能检验，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 450%和 400%。经水平极限性能检测后的产品，不得应用于工程项目。

此外，当建筑结构设计对支座有抗拉要求时，则应进行拉伸性能的试验。

12.6.4 橡胶隔震支座的产品性能应满足现行国家标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T20688.3 和现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 要求。

12.6.5 弹性滑板支座的产品性能应满足现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T20688.5 要求。

12.6.6 摩擦摆隔震支座的产品性能应满足现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358 的规定。

13 隔震结构设计

13.1 一般规定

13.1.1 体型基本规则的隔震结构可不设抗震缝。体型复杂的结构布设抗震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的计算分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

13.1.2 隔震结构仅在上部结构首层以上设置伸缩缝时，缝的宽度应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 对不同结构抗震缝宽度的要求。

13.1.3 三维隔震（振）结构的设计应符合以下规定：

1 三维隔震（振）结构的设计应首先按照一般隔震结构的设计方法进行上部结构设计，确定三维隔震（振）装置的水平性能；应考虑三维隔震（振）装置对结构竖向性能的影响，进行正常使用状态下的结构竖向隔振设计，确定三维隔震（振）装置的竖向性能；尚应考虑三维隔震（振）装置对结构水平和竖向性能的影响，检验竖向地震与水平地震共同作用下结构的安全性。

2 三维隔震（振）结构计算自重荷载下的位移、不均匀沉降以及地震作用下结构响应时，三维隔震（振）支座的竖向刚度应取竖向单调刚度；计算正常使用情况下环境激励引起的结构振动时，三维隔震（振）支座的竖向刚度应取竖向循环等效刚度。

【条文说明】三维隔震（振）支座的竖向单调刚度和竖向循环等效刚度的区别参见 12.5.2 的条文说明。

13.2 隔震层布置

13.2.1 隔震层的布置、竖向承载力、侧向刚度和阻尼应符合下列规定：

1 隔震层宜设置在结构的底部或下部，其隔震支座应设置在受力较大的位置，间距不宜过大，其规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定。

2 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；其中，橡胶隔震支座在罕遇地震的水平和竖向地震作用下，拉应力不应大于 1Mpa，且同一地震动加速度时程曲线作用下出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的 30%。特殊设防类建筑不应出现拉应力。弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座或其它不能承受竖向拉力的支座，应保持受压状态。

3 隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比可分别按式（13.2.1-1）和式（13.2.1-2）计算：

$$K_h = \sum K_j \quad (13.2.1-1)$$

$$\zeta_{eq} = \sum K_j \zeta_j / K_h \quad (13.2.1-2)$$

式中： ζ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

ζ_j —— 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，应包括相应阻尼比；

K_j —— j 隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

4 三维隔震（振）层的竖向等效性能可按式 13.2.1-1 和式 13.2.1-2 计算，式中参数替

换为三维隔震（振）支座与配套的竖向阻尼装置的对应参数。

【条文说明】摩擦摆支座和弹性滑板支座没有竖向受拉能力，不允许出现拉应力。罕遇地震下，按照三向地震动输入，计算隔震支座的最大压应力和最小压应力。

多层尤其是高层建筑隔震设计过程中，应重点关注隔震支座受拉问题。罕遇地震作用下，隔震橡胶支座的最大拉应力应满足本规程规定的数值，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。弹性滑板支座及摩擦摆没有竖向受拉能力，罕遇地震作用下，为防止其脱离，必须保持处于受压状态。

13.2.2 隔震层的布置应符合下列要求：

1 隔震层可由隔震支座、阻尼装置和抗风装置组成，阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体或者单独设置，必要时可设置限位装置；

2 隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合；

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；隔震支座底面宜布置在相同标高位置上，必要时也可布置在不同的标高位置上，但应采取有效措施保证隔震装置共同工作，且罕遇地震作用下，相邻隔震层的层间位移角不应大于 1/1000；

4 同一结构选用多种规格的隔震支座时，应充分发挥每个隔震支座的承载力和水平变形能力，所有隔震装置的竖向变形应基本一致；橡胶类支座不宜与摩擦摆等钢支座在同一隔震层中混合使用；

5 同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距应大于安装和更换时所需的空
间尺寸；

6 设置在隔震层的抗风装置宜对称、分散地布置在建筑物的周边；

7 隔震层采用摩擦摆隔震支座时，应考虑支座水平滑动时产生的竖向位移，及其对隔震层和结构的影响；

8 当隔震层采用隔震支座和阻尼器时，应使隔震层在地震后基本恢复原位，隔震层在罕遇地震作用下的水平最大位移所对应的恢复力，不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和的 1.2 倍。

【条文说明】一般情况下，摩擦摆等钢支座的竖向刚度特性不同于橡胶类支座，考虑变形协调性，这两类支座在同一隔震层中不宜混用。此外，一般摩擦摆隔震支座水平滑动时会产生竖向位移，形成对所支承结构的顶升作用，因此，考虑结构变形协调性，同一隔震层中不应将这类摩擦摆隔震支座与橡胶类隔震支座等混用，应考虑支座滑动时隔震层和结构的整体协调性。隔震层的摩阻力，指隔震层中摩擦摆隔震支座，或弹性滑板支座，或摩擦型阻尼装置等滑动时受到的水平动摩擦力的总和。

13.2.3 隔震层的受压承载力验算应符合下列要求：

1 隔震层总受压承载力设计值应大于上部结构总重力荷载代表值的 1.1 倍；

2 每个隔震支座的受压承载力设计值应大于上部结构传递到隔震支座的
重力荷载代表值；

13.2.4 隔震支座的压应力和徐变性能应符合下列规定：

1 隔震支座在重力荷载代表值作用下，竖向压应力设计值不应超过表 13.2.4-1 的规定。

2 对于弹性滑板支座，橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足表 13.2.4-1，支座部外径不宜小于 300mm。

3 对于摩擦摆隔震支座，摩擦材料的压应力限值也应满足表 13.2.4-1 的规定。

4 在建筑设计使用年限内，隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的 $\pm 20\%$ ；天然橡胶支座和铅芯橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的 5%，高阻尼橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的 10%。

5 橡胶隔震支座、弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座的最大竖向压应力不应超过表 13.2.4-2 所规定的限值。

表 13.2.4-1 隔震支座在重力荷载代表值作用下的压应力限值 (MPa)

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
橡胶隔震支座	10	12	15
弹性滑板支座	12	15	20
摩擦摆隔震支座	20	25	30

注：1 对于橡胶隔震支座，当第二形状系数大于 5.0 且第一形状系数大于 30 时，在重力荷载代表值作用下，竖向压应力设计值不应超过表 13.2.1-1 的规定。当第一形状系数小于 30 时，应降低平均压应力限值。

2 对于隔震橡胶支座，当第二形状系数(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%；标准设防类建筑外径小于 300mm 的支座，其压应力限值为 10MPa。

表 13.2.4-2 隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值 (MPa)

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
橡胶隔震支座	20	25	30
弹性滑板支座	25	30	40
摩擦摆隔震支座	40	50	60

【条文说明】在长期荷载(重力荷载代表值)作用下，隔震橡胶支座和弹性滑板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。隔震橡胶支座第二形状系数小于 5 时，其竖向承载力将降低，此时其压应力限值随之调整。弹性滑板支座采用材料和内部构造不同于隔震橡胶支座，一般不存在水平大变形作用下的橡胶受压失稳问题，其压应力限值比隔震橡胶支座有所提高。对于多层与高层建筑隔震设计，所采用隔震支座外径不宜小于 300mm，以保证上部结构的稳定性并提供足够的安全储备。

在罕遇地震作用下，隔震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隔震橡胶支座和弹性滑板支座的竖向压应力限值。

橡胶隔震支座的第一形状系数(有效直径与中央孔洞直径之差 $D-D_0$ 与单层橡胶 4 倍厚度 $4t_r$ 之比)，在进行 400%和 450%的水平极限变形试验时，应保证支座的稳定性。因此，对于 $S_1 < 30$ 时，建议压应力按照表 1 的规定进行取值。

表 1 橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下不同 S_1 值的压应力限值 (MPa)

支座直径	支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
$D \geq 600$	$S_1 \geq 30$	10	12	15
$D < 600$	$30 > S_1 \geq 25$	8	10	12.5
	$25 > S_1 \geq 20$	6	8	10

13.2.5 罕遇地震作用下隔震支座的水平位移可根据下列原则确定：

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。

13.2.6 隔震支座在地震作用下的水平位移，应符合下式规定：

$$u_{hi} \leq [u_{hi}] \quad (13.2.5)$$

式中： u_{hi} ——第*i*个隔震支座考虑扭转的水平位移(mm)；

$[u_{hi}]$ ——第*i*个隔震支座的水平位移限值(mm)，按如下规定取值：

除特殊规定外，在罕遇地震作用下，隔震橡胶支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于支座直径的 0.55 倍和各层橡胶厚度之和 3.0 倍二者的较小值；弹性滑板支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.75 倍；摩擦摆隔震支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.85 倍。

【条文说明】在罕遇地震作用下，隔震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。弹性滑板支座的水平位移限值为上、下滑动面的短边平面长度。隔震支座的水平位移验算均应考虑隔震层的扭转影响。

13.2.7 抗风装置应按下式进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (13.2.7)$$

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（铅芯橡胶支座取屈服力，弹性滑板支座及摩擦摆隔震支座按起滑后的摩阻力）；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 1.5；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

【条文说明】摩擦摆隔震支座的摩阻力，指其滑动时受到的水平动摩擦力。

13.2.8 隔震结构抗倾覆验算应符合下列要求：

1 隔震结构抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座抗压承载力验算；

2 进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用下计算倾覆力矩，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 隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，最大拉、压应力应符合本规程第 13.2.1 和 13.2.4 条的规定。

【条文说明】抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

13.2.9 隔震层位置需根据结构安全、造价、功能布局等因素确定。隔震层可设置于基础底板、地下室顶板、大底盘裙房顶等位置。对于一些地下室层数少、功能简单的建筑，可取消隔震层下底板，形成柱顶隔震，可有效减小因设置隔震层增加的地下室埋深。当确有必要时，且满足一定条件时隔震支座可布置于不同楼层，形成跨层隔震。详见图 13.2.9。

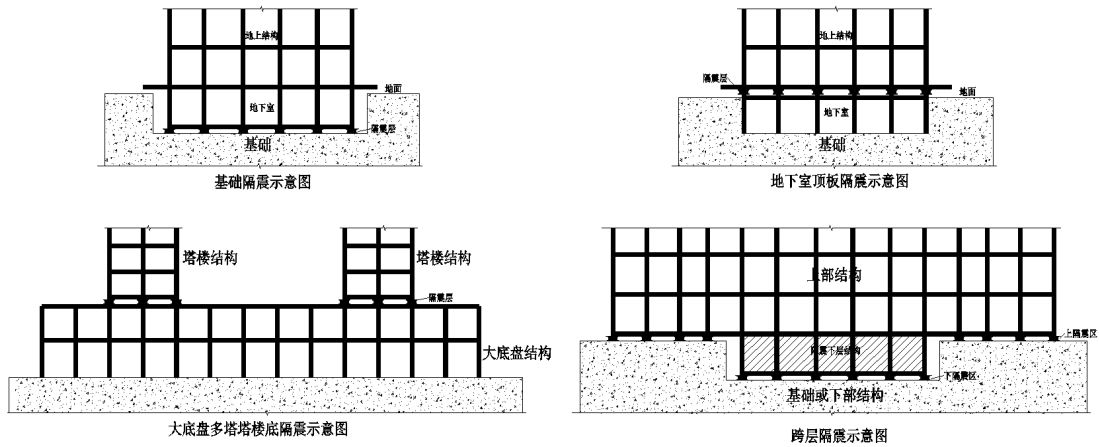


图 13.2.9 隔震层位置示意

13.2.10 跨层隔震结构对所跨越楼层的构件截面抗震承载力及刚度要求较高。跨越楼层的竖向构件的承载力宜满足大震弹性要求。

13.2.11 隔震结构可通过设置消能器来减小隔震层的最大变形，在隔震层设置速度型消能器时宜两正交方向双向设置，且宜采用速度指数较高的消能器。

13.2.12 高烈度区及隔震建筑的高宽比过大时，为保护橡胶隔震支座避免因竖向拉伸变形而发生损伤破坏，可在橡胶隔震支座上部设置提离装置。

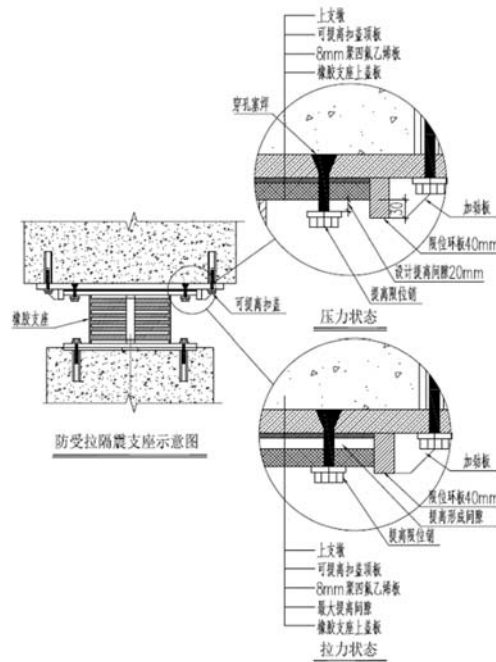


图 13.2.12 一种可提离装置立面示意

13.2.13 弹性滑板支座通常可根据需要采用滑动面上置式和滑动面下置式（详图 13.2.16）。当滑动面尺寸大于 1500mm 时，滑动面下置式方法存在埋板下部的灌浆料填充难以密实的问题，不宜采用。

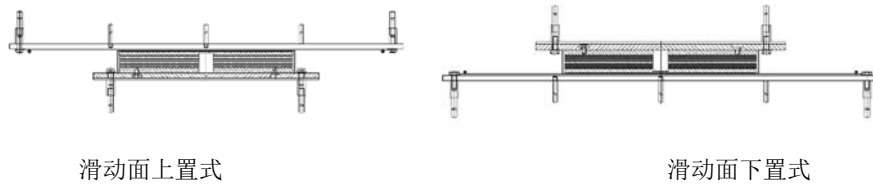


图 13.2.13 弹性滑板支座滑动面示意

13.2.14 隔震支座设置宜与上部竖向构件对中布置。当不可避免需要采取偏心布置时，需沿偏心方向设置平衡梁。

13.2.15 建筑三维隔震（振）竖向隔振设计所用的环境激励，应取建筑场地的实测代表性场地振动，或取周边振源的实测代表性振动，并在设计过程应考虑结构与周边土体共同作用，振源位置，激励类型（点激励，线激励，面激励）等因素的影响。

【条文说明】环境激励受振源类型，振源与结构的相对位置，传递路径，土体性质等多种因素影响，难以给出统一的规律，主要依靠实测结果。对于已有建筑，可以通过地下室底板和地下室外墙确定周边土体对结构的激励，分析过程中直接施加于结构相应位置。新建建筑在开挖基坑前，可实测周边振源的激励，通过结构-土体的模型分析结构在环境激励下的响应。无法直接测量振源振动时，可测量振源周边的振动通过对振源周边局部区域的模拟反推振源激励。

13.3 隔震结构计算分析

13.3.1 罕遇地震下支座拉应力计算时，时程分析的初始条件需考虑支座在结构重力荷载代表值下的初始内力和初始变形。当拉应力很难控制在规范允许范围内时，可采取设置抗拉装置、可提离装置等措施，分析时对抗拉装置和可提离装置的本构关系进行合理模拟，并参与整体分析。

【条文说明】对于拉应力限值超过规定的橡胶支座或者没有抗拉能力的滑板支座和摩擦摆隔震支座，可以考虑附加抗拉装置。抗拉装置的设计应考虑到其能提供有效的竖向抗拉能力，不显著影响结构竖向动力特性，同时不应影响支座的水平方向运动。

13.3.2 采用大底盘顶隔震时，可通过加强隔震层底板厚度的方式加大嵌固相关范围，并采用带底盘模型进行整体隔震分析。应采用隔震一体化设计法进行构件设计。

13.3.3 隔震结构计算分析时，上部结构的阻尼比宜比常规抗震结构降低 0.005~0.01。

13.3.4 隔震层应进行罕遇地震下水平位移验算，并应采用三向地震动输入。

13.3.5 隔震支座受拉刚度宜取其受压刚度的 1/10。

13.4 隔震层上部结构设计

13.4.1 上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 上部结构的截面抗震验算应采用隔震一体化模型进行设计，设计楼层剪力应考虑调整系数的影响。

2 上部结构为框架、框架-抗震墙和抗震墙结构时，隔震层的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算。上部结构为砌体结构时，隔震层顶部各纵、横梁可按受均布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算；当连续梁计算的正弯矩小于按单跨简支梁计算的跨中弯矩的 0.8 倍时，应按 0.8 倍单跨简支梁跨中弯矩取值。当计算出现负弯矩时，应进行双向配筋。对托墙梁顶砌体应进行局部承压验算，并在构造上采取适当加强措施；

3 对于三维隔震（振）建筑，隔震（振）层以上的结构应进行竖向地震作用的计算，并考虑三维隔震（振）层对上部结构竖向运动的影响。

13.4.2 隔震结构的抗震措施，可按水平向减震系数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》GB50011 相应设防烈度的规定外，尚应符合下列规定：

1 隔震结构水平向减震系数大于 0.4 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》GB50011 的规定；

2 隔震结构水平向减震系数不大于 0.4 时，上部结构可按本地区设防烈度降低 1 度确定抗震措施；

3 与竖向地震作用有关的抗震措施，应符合按本地区设防烈度的规定，不得降低。

【条文说明】隔震后上部结构的抗震措施可以适当降低，一般的橡胶支座以水平减震系数 0.4 为界划分，并明确降低的要求不得超过一度，对于不同的设防烈度如表 1 所示：

当 $\beta > 0.40$ 时，上部结构抗震措施不降低。

水平减震系数与隔震后上部结构抗震措施所对应烈度的分档

本地区设防烈度 (设计基本地震加速度)	水平向减震系数	
	$\beta > 0.40$	$\beta \leq 0.40$
8 (0.30g)	8 (0.20g)	7 (0.15g)
8 (0.20g)	7 (0.15g)	7 (0.10g)

13.4.3 隔震结构各楼层的水平地震剪力应满足本规程 4.2 节的相关规定。当隔震后地震剪力不满足原设防烈度的最小剪力系数要求时，可通过放大楼层地震剪力至满足最小剪力系数的要求。

13.4.4 隔震结构自振周期、水平等效刚度和等效阻尼比，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，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：

可按对应不同地震烈度作用时的振型分解反应谱法进行迭代计算确定，也可采用时程分析法计算确定。

13.4.5 采用隔震一体化模型（振型分解反应谱法）或非线性隔震模型（时程分析法）进行上部结构设计时，需考虑【抗规】12.2.5-2 款中调整系数 ψ 的影响。可通过对上部整体结构设置地震力放大系数 $1/\psi$ 近似实现。

13.4.6 对相邻隔震结构，上部结构之间竖向隔离缝宽度需考虑罕遇地震下隔震层变形和上部结构变形的叠加效应（详图 13.4.6）。当结构外侧沿竖向平齐时，上部结构缝宽度 D 不小于 $d_1+d_2+c_1+c_2$ 。

13.4.7 三维隔震（振）住宅建筑在正常使用情况下环境激励引起的楼盖竖向振动应满足《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355 的相关要求。其他类型的三维隔震（振）建筑可根据使用需求确定竖向减振目标。

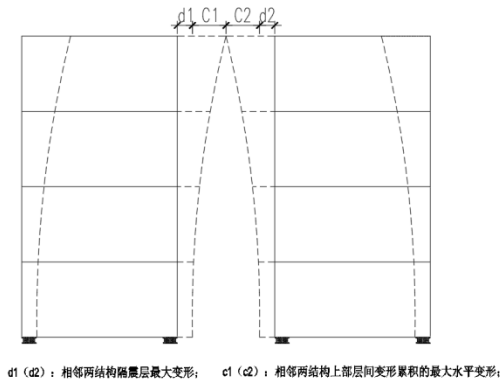


图 13.4.6 相邻隔震结构缝宽示意

13.5 隔震层下部结构

13.5.1 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的影响。

13.5.2 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用在罕遇地震作用下隔震支座底部的竖向力、水平力和弯矩进行承载力验算，并按抗剪弹性、抗弯不屈服进行计算。

14 隔震支座连接与构造

14.1 一般规定

14.1.1 隔震层与上部结构的连接,包括隔震层顶部设置梁板楼盖要求及隔震支座与阻尼装置连接构造要求等,应满足本章的相关规定。

14.1.2 水平隔离缝和竖向隔离缝设置应满足本规程相关要求。

14.1.3 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、车道入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。

14.1.4 对水平隔离缝的封闭处理,宜采用柔性材料或者低强度脆性材料填充;对竖向隔离缝的封闭处理,宜采用柔性材料覆盖,且均不应阻碍隔离缝发生自由水平位移。

14.1.5 隔震层的顶部应设置梁板式楼盖,且符合下列要求:

1 应采用现浇或装配整体式混凝土板,现浇板的厚度不宜小于 160mm;整体装配式混凝土板,总厚度不小于 160mm,配筋现浇面层不应小于 70mm;隔震支座上方的纵、横梁应采用现浇钢筋混凝土结构;楼板上、下部钢筋应双层双向布置,配筋率不应小于 0.25%。

2 隔震层顶部梁板的刚度和承载力,宜大于一般楼面梁板的刚度和承载力;

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。

【条文说明】为了保证隔震层能够整体协调工作,隔震层顶部应设置平面内刚度足够大的梁板体系。当采用装配整体式钢筋混凝土楼盖时,为使纵横梁体系能传递竖向荷载并协调横向剪力在每个隔震支座的分配,支座上方的纵横梁体系应为现浇。为增大隔震层顶部梁板的平面内刚度,需加大梁的截面尺寸和配筋。隔震支座附近的梁、柱受力状态复杂,地震时还会受到冲切,应加密箍筋,必要时配置网状钢筋。

14.1.6 外露的预埋件应有可靠的防锈措施,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 倍锚固钢筋直径,且不应小于 250mm。

14.1.7 隔震支座的设计使用年限不应低于隔震结构的设计使用年限,且不宜低于 50 年。

14.1.8 当隔震层有防火要求时,隔震支座应采取防火措施,耐火等级应按《建筑防火设计规范》GB50016 上部结构承重墙和柱的要求采用。检测方法应符合《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分:柱的特殊要求》(GB/T9978.7)。防火措施应不妨碍隔震支座的变形。

【条文说明】隔震支座使用年限的要求,是保证在建筑的设计使用寿命中支座无需更换,原则上支座使用寿命应与建筑使用寿命相同,对建筑使用年限要求较长时,其相应的耐老化保护层建议适当增厚;隔震支座和其他部件应根据使用空间的耐火等级附加防火材料。

14.1.9 隔震建筑在罕遇地震作用下,应避免上部结构及隔震部件正常的隔震移动或变形受到阻挡或碰撞,可采用相应的限位措施进行限位保护。

【条文说明】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,影响罕遇地震下设防目标的实现。

14.1.10 除特殊规定外,各类型隔震建筑和隔震支座应满足本章条文和现行国家和行业标准的相关规定。

14.2 预埋件计算

14.2.1 隔震支座与上部结构、下部结构之间的连接件,应能传递罕遇地震下支座的最大剪力和弯矩。

14.2.2 隔震层连接部件（如隔震支座或抗风装置的上、下连接件，连接用预埋件等）应按罕遇地震作用进行强度验算。

14.2.3 预埋件的详细计算应符合附录 C.04 的规定。

【条文说明】隔震支座连接螺栓、连接板的设计可参考产品标准《建筑隔震橡胶支座》GB20688.3-2006 的规定。隔震支座预埋件的设计要求是，保证隔震设计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》GB50010-2010（2015 年版）的要求。上部结构的底部剪力通过隔震支座传给下部结构，因此，隔震支座的连接螺栓、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。

14.3 隔震部件与结构连接的构造要求

14.3.1 隔震层的构造应符合下列要求：

1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接；

2 与隔震支座连接的梁、柱、墩等应考虑水平受剪和竖向局部承压，并采取可靠的构造措施，如加密箍筋或配置网状钢筋；

3 利用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋；

【条文说明】1 应遵循隔震支座的连接强于隔震支座的设计原则，以充分发挥隔震支座的变形能力，达到最优的安全储备。

2 隔震支座附近的梁、柱应计算冲切和局部承压，并采取可靠的构造措施，如加密箍筋或配置网状钢筋。

15. 建筑与机电隔震构造

15.1 一般规定

15.1.1 隔震建筑与非隔震建筑、大型固定设备、大型树木之间应按设计要求留出水平隔震间距，在建筑物存续使用期间，隔震建筑竖向隔离缝或周圈隔震沟，不应被无关物品或构筑物占压。应留出竖向隔离缝或隔震沟的日常巡检通道，满足维护修缮需求。

15.1.2 当隔震楼层专门用于安装各类隔震装置时（如基底隔震），该隔震专用层不应用于其他用途，隔震层梁底面到下部结构顶面之间应留有不小于 800mm 的净空，满足检修、更换隔震装置的需要。隔震专用层的结构层高不宜高于 2.20m。一般情况下，无其他用途的隔震专用层不计入建筑面积。

条文说明：隔震专用层应基于经济合理的原则设定结构层高，并满足检修、更换隔震装置的需要。该专用层仅仅用于安装各类隔震装置，而不做其他用途时，不计入建筑面积。

15.1.3 隔震楼层主要结构构件耐火等级应符合下列规定：

- 1 隔震楼层位于地下或半地下时，该楼层主要结构构件耐火等级不应低于一级。
- 2 位于一类高层建筑地面以上的隔震楼层，该楼层主要结构构件耐火等级不应低于一级。
- 3 位于单、多层厂房及重要公共建筑和二类高层建筑地面以上的隔震楼层，该楼层主要结构构件耐火等级不应低于二级。

条文说明：隔震楼层主要结构构件指的是梁、楼板和柱（上下支墩）。

15.1.4 隔震专用层应设置人员检修出入口和隔震装置进出口（吊装口）。人员检修出入口可采用楼梯间或直通式出入口。一般情况下，人员检修出入口不应少于两处；隔震专用层面积不大于 500m²时，其中一个人员检修出入口可利用直通室外的金属竖向梯（隔震专用层位于地下时）；隔震专用层面积不大于 200m²时，可设置一个人员检修出入口。隔震专用层人员检修出入口和隔震装置进出口（吊装口）应设置防止人员误入或坠落的设施。

15.1.5 隔震楼层位于地下室和半地下时，其防水等级应根据使用功能确定，并且不应低于二级。其地下迎水面主体结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级的要求采取其他防水措施。

15.1.6 隔震楼层内装修应采用防火防潮材料，并应满足防腐、抗震、环保要求，其内部装修应符合国家有关建筑内部装修设计防火规范的规定。

15.1.7 当隔震楼层除安装各类隔震装置，也容纳日常建筑使用功能时（如层间隔震），该楼层应满足各类隔震装置相应的防火设计要求。

15.1.8 本规程未涉及的特殊隔震构造措施，应根据具体功能需求和隔震设计要求进行设计。

15.2 隔离缝与变形缝装置构造

15.2.1 隔震建筑中，上部结构与下部结构之间应设置连续贯通的水平隔离缝，缝高宜为 30-50mm。隔震建筑与临近的竖直方向固定物（非隔震建/构筑物）的竖向脱开距离不宜小于 50mm。

条文说明：水平隔离缝在考虑施工方便、悬挑结构变形等因素时，缝高不宜小于 30mm；如果该缝隙有防水要求，缝隙高度大，则防水节点处理难度大，故不宜大于 50mm。

15.2.2 对水平隔离缝封闭处理，宜采用柔性材料或者低强度脆性材料填充，有防水要求的水平隔离缝（如缝隙位于地下或屋面处），其防水材料应采用柔性材料（橡胶止水带、柔性防水卷材，金属防水薄板等），并预留伸缩量。伸缩量应满足上部结构日常工况的温度变形量与多遇地震水平位移值中的较大值。

条文说明：覆盖水平隔离缝的防水材料预留伸缩量如按照上部结构罕遇地震位移预留，可能造成防水节点过于臃肿复杂，难以施工。考虑到该部位的防水材料在罕遇地震后可修复，故要求预留量满足上部结构日常工况的温度变形量与多遇地震水平位移值中的较大值即可。

15.2.3 隔震建筑周围应设置竖向隔离缝（隔震沟）与周围固定物脱开，水平向脱开距离不应小于 13.1.3 条的规定。

15.2.4 隔震建筑周围的竖向隔离缝（隔震沟）可采用散水做法、隔震沟兼雨水沟做法、隔震沟与雨水沟分开做法、悬挑梁隔震沟做法等形式。各种做法均应采取可靠措施防止雨水侵入隔震层。

15.2.5 竖向隔离缝不应存在任何阻碍上部结构自由运动的杂物，对竖向隔离缝（隔震沟）进行遮挡和覆盖时，宜采用隔震沟盖板（隔震变形缝装置），盖板不应阻碍隔震建筑上部结构在地震时发生水平位移。

15.2.6 隔震沟盖板可根据设计要求采取可移动钢筋混凝土盖板、可移动钢盖板和一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板等形式。隔震沟盖板构造细部应满足以下要求：

1 地震工况移动变形要求。特殊部位（如转角、隔震沟侧壁变标高部位）还应注意满足地震工况多方向移动变形要求。

2 上部结构日常工况下的温度变形量要求。

条文说明：隔震沟盖板在地震工况大位移情况下，转角、隔震沟侧壁变标高等部位的变形能力需要在设计中加以注意。盖板与固定结构边缘之间应预留小缝隙填充柔性材料，避免上部结构日常工况下产生温度变形致使盖板凸起影响通行，这一问题在大型隔震建筑中尤应加以注意。

15.2.7 位于地面人员、车辆出入口区域的隔震沟盖板应采用坚固耐用、防火、防滑材料制作，满足人员、车辆通行要求。

15.2.8 隔震建筑的人员和车辆主要出入口部位，如设置可移动隔震沟盖板，应设置防止盖板滑落的措施，地震后建筑主体结构复位，盖板主要构件宜能随之复位，保证通行功能不中断。

15.2.9 隔震沟采用一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板覆盖时，该盖板如同时作为防水地下室顶板的一部分，则应采用防水混凝土，其板厚不应小于 250mm。

15.3 楼梯、电梯等隔震构造

15.3.1 隔震建筑中，当楼梯、电梯、自动扶梯、自动步道、台阶、坡道穿越隔震层时，应采用隔震脱离措施，满足相关设计要求。

15.3.2 楼梯穿越隔震层时，可采用断开式楼梯（间）、端部滑动支撑梯段、悬挂式楼梯间、支撑式楼梯间等形式。

15.3.3 悬挂式及支撑式楼梯间与周围临近非隔震楼板之间竖向隔离缝盖板不应阻碍楼

梯间结构在地震时发生水平位移。

15.3.4 电梯井穿越建筑主体结构隔震层时,可采取悬挂式电梯井或支撑式电梯井等方式。电梯井周圈及底部应留出水平和竖向隔离缝。悬挂式电梯井结构底面与下沉式隔离坑顶面净高不宜小于 800mm。支撑式电梯井结构底面与下沉式隔离坑顶面净高不宜小于 1200mm。

条文说明:考虑施工及清理杂物的空间需要,悬挂式电梯井结构底面与下沉式隔离坑顶面净高不宜小于 800mm。考虑隔震装置施工和更换,支撑式电梯井结构底面与下沉式隔离坑顶面净高不宜小于 1200mm。

15.3.5 隔震建筑中,自动扶梯(或倾斜式自动步道)需要在竖直方向上跨越隔震层时,宜将自动扶梯(或倾斜式自动步道)两端都支撑于下部结构,在上端楼板位置与上部结构脱开,自动扶梯(或倾斜式自动步道)周圈水平脱开距离应满足水平隔震距离的要求。在有通行要求的脱开位置,设置可移动隔离缝盖板,盖板不应阻碍上部结构在地震时发生水平位移。盖板材料应坚固耐用、防火、防滑,满足通行要求。

15.3.6 隔震建筑与非隔震建筑贴临时,水平自动步道不应在水平方向上穿过竖向隔离缝或隔震沟。

条文说明:机场航站楼等大型交通建筑中,出现隔震部分与非隔震部分贴临时(如航站楼的主楼和指廊贴临),水平自动步道不应在水平方向上穿过竖向隔离缝或隔震沟,避免自动步道在地震时受到楼层的剪切破坏。

15.3.7 与隔震建筑上部结构相连的室外出入口台阶、无障碍坡道、及附属栏杆扶手设施,在穿越隔震层位置与室外地面衔接时,应采取隔震脱离措施,如断开设缝、端部滑动支撑梯段(坡道)等方式。台阶、坡道的隔震部分应保持与周圈非隔震固定物的水平隔震距离,不能阻碍上部结构在地震时发生水平位移。

15.3.8 与隔震建筑上部结构相连的地下车库出入口坡道,在穿越隔震层位置与室外地面衔接时,应采取隔震脱离措施,如通过设置隔震沟等方式满足水平隔震距离。地库出入口隔震沟在安装可移动盖板时,应满足 15.2.7, 15.2.8 条的要求。

15.4 外墙与屋面隔震构造

15.4.1 隔震建筑外墙(或幕墙)如与非隔震建筑外墙(或幕墙)贴临设置时,贴临墙体(或幕墙)之间应采取隔震脱离措施,其各类构件水平脱开净距(即外墙竖向隔离缝宽度)不应小于下表规定:

		非隔震建筑		
		钢筋混凝土外墙、砌体外墙(含承托外墙的混凝土楼板)	幕墙金属主龙骨 (如金属板幕墙、玻璃幕墙、陶板幕墙等的主龙骨)	幕墙金属次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土外墙、砌体外墙(含承托外墙的混凝土楼板)	D	M-D1	M-D2
	幕墙金属主龙骨(如金属板幕墙、玻璃幕墙、陶板幕墙等的主龙骨)	M-D1	M-D1	M-D2

	幕墙金属次龙骨	M-D2	M-D2	M-D2
--	---------	------	------	------

注：

- 1、D 为水平隔震距离，即隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。
- 2、M-D1，取值为隔震层在设防地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。
- 3、M-D2，取值为隔震层在多遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。
- 4、贴临的两侧墙体总高度大于 15 米时，脱开距离应计算确定，并且不小于本表规定。

条文说明：本条规定了不同层级的外墙或幕墙构件在隔离缝位置的水平脱开净距，主要结构构件不应该在地震时发生碰撞，较小的次要构件允许在罕遇地震时碰撞，再行修复。15.4.2, 15.4.3, 15.4.4, 15.4.5 条的原则与此相同。

15.4.2 两栋隔震建筑（或幕墙）彼此贴临设置时，贴临墙体（或幕墙）之间应采取隔震脱离措施，其各类构件水平脱开净距（即外墙竖向隔离缝宽度）不应小于下表规定：

		隔震建筑		
		钢筋混凝土外墙、砌体外墙（含承托外墙的混凝土楼板）	幕墙金属主龙骨（如金属板幕墙、玻璃幕墙、陶板幕墙等的主龙骨）	幕墙金属次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土外墙、砌体外墙（含承托外墙的混凝土楼板）	ΣD	$\Sigma M-D1$	$\Sigma M-D2$
	幕墙金属主龙骨（如金属板幕墙、玻璃幕墙、陶板幕墙等的主龙骨）	$\Sigma M-D1$	$\Sigma M-D1$	$\Sigma M-D2$
	幕墙金属次龙骨	$\Sigma M-D2$	$\Sigma M-D2$	$\Sigma M-D2$

注：

- 1、 ΣD 取值为两侧隔震层在罕遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 600mm。
- 2、 $\Sigma M-D1$ ，取值为两侧隔震层在设防地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。
- 3、 $\Sigma M-D2$ ，取值为两侧隔震层在多遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。
- 4、贴临的两侧墙体高度大于 15 米时，脱开距离应计算确定，并且不小于本表规定。

15.4.3 如因功能需要将上述外墙竖向隔离缝进行覆盖，应采用可移动盖板构造或可变形柔性材料。对外墙竖向隔离缝进行覆盖时，还应满足外墙防水、防火的相关要求。

15.4.4 隔震建筑屋面如与非隔震建筑屋面贴临设置时，贴临屋面之间应采取隔震脱离措施，其各类构件水平脱开净距（即屋面竖向隔离缝宽度）不应小于下表规定：

		非隔震建筑		
		钢筋混凝土屋面	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土屋面	D	W-D1	W-D2
	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	W-D1	W-D1	W-D2
	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨	W-D2	W-D2	W-D2

注：

- 1、D 为水平隔震距离，即隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。
- 2、W-D1，取值为隔震层在设防地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。
- 3、W-D2，取值为隔震层在多遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 200mm。
- 4、贴临的两侧屋面总高度大于 15 米时，脱开距离应计算确定，并且不小于本表规定。

15.4.5 两栋隔震建筑屋面贴临设置时，贴临屋面之间应采取隔震脱离措施，其各类构件水平脱开净距（即屋面竖向隔离缝宽度）不应小于下表规定：

		隔震建筑		
		钢筋混凝土屋面	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨
隔震建筑	钢筋混凝土屋面	ΣD	$\Sigma W-D1$	$\Sigma W-D2$
	金属屋面主檩条及次檩条、室外吊顶主龙骨	$\Sigma W-D1$	$\Sigma W-D1$	$\Sigma W-D2$
	金属屋面次龙骨、室外吊顶次龙骨	$\Sigma W-D2$	$\Sigma W-D2$	$\Sigma W-D2$

注：

- 1、 ΣD 取值为两侧隔震层在罕遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 600mm。
- 2、 $\Sigma W-D1$ ，取值为两侧隔震层在设防地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。

3、 $\Sigma W-D2$ ，取值为两侧隔震层在多遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。

4、贴临的两侧屋面高度大于 15 米时，脱开距离应计算确定，并且不小于本表规定。

15.4.6 如因功能需要将上述屋面竖向隔离缝进行覆盖，可采用可移动盖板构造、可变形柔性材料、一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板等方式，各方式均应满足 15.4.4，15.4.5 条脱开距离要求，还应满足屋面防水、防火的相关要求。当采用一侧与上部结构固定的盖板时（整浇的钢筋混凝土盖板，或钢结构盖板），应通过水平隔离缝将彼此贴临的屋面脱开，水平隔离缝应满足 15.2.1，15.2.2 条的规定。

15.5 室内装修隔震构造

15.5.1 隔震专用层内（如基底隔震最底部和中间层隔震的隔震专用层），不宜设置内墙。确有需要设置时，与下部非隔震结构相连的内墙，需要采取措施与上部隔震结构构件脱离，其水平隔离缝宽度和竖向隔离缝宽度应满足 15.2.1，15.2.3 的规定。隔震专用层内不应设置吊顶。

条文说明：隔震专用层内如设置吊顶，可能影响阻尼器等隔震装置的运作、维护和巡检，故规定隔震专用层内不应设置吊顶。

15.5.2 与常规功能楼层共用的隔震楼层，设置内墙时，与下部非隔震结构相连的内墙和上部隔震结构构件之间应采取隔震脱离措施，其水平隔离缝宽度和竖向隔离缝宽度应满足 15.2.1，15.2.3 的规定。

15.5.3 隔震楼层内墙及外墙上的门窗，不应跨越水平隔离缝，该门窗应仅与上部结构或下部结构进行单方固定。

15.5.4 如因功能需要将内墙竖向隔离缝进行覆盖，应采用可移动盖板（夹层活动墙）构造或可变形柔性材料。对内墙竖向隔离缝进行覆盖时，还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙竖向隔离缝可移动盖板（或夹层活动墙）的整体耐火极限应满足相应要求。

15.5.5 如因功能需要将内墙水平隔离缝进行覆盖或填充时，应采用可移动盖板（夹层活动墙）构造或可变形柔性材料。对内墙水平隔离缝进行覆盖时，还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙水平隔离缝可移动盖板（夹层活动墙）或填充物的整体耐火极限应满足相应要求。

15.5.6 与常规功能楼层共用的隔震楼层，考虑地震时该楼层功能不中断时，该楼层和上部隔震结构相连的吊顶与临近的非隔震结构构件（或非隔震墙体、吊顶）之间应采取隔震脱离措施，其水平脱开净距不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。

条文说明：本条规定了层间隔震时，室内吊顶在隔震部位的水平脱开净距。如该吊顶或相连设施设备对于建筑物的功能不中断而言是重要的，其水平脱开净距不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。对于一般建筑而言，吊顶龙骨、面板等较小的次要构件允许在罕遇地震时碰撞，再行修复，其水平脱开净距宜不小 200mm。

15.5.7 两栋隔震建筑贴临时，两者的室内吊顶之间应采取隔震脱离措施，其水平脱开净距应不小于两侧隔震层在罕遇地震下最大水平位移值之和，且不应小于 600mm。

15.5.8 隔震建筑与非隔震建筑贴临时，各层楼板室内连通位置，可采用可移动盖板覆盖竖向

隔离缝，盖板不应阻碍隔震结构在地震时发生水平位移，应采用坚固耐用、防火、防滑材料制作，满足上部通行要求。该盖板在罕遇地震时应能保持主要构件的完整性，应设置防止盖板滑落的措施，地震后楼层结构复位，盖板主要构件宜能随之复位，保证通行功能不中断。

15.5.9 上述楼层竖向隔离缝盖板可根据设计要求采取可移动钢筋混凝土盖板、可移动钢盖板和一侧与上部结构整浇的钢筋混凝土盖板等形式。楼层竖向隔离缝盖板构造细部应满足以下要求：

- 1、地震工况移动变形要求。特殊部位（如楼面转角、隔离缝侧壁变标高部位）应注意满足多方向地震工况移动变形要求。
- 2、上部结构日常工况下的温度变形量要求。

15.5.10 当隔震层与常规功能楼层共用楼层空间时（如层间隔震），应对该楼层的隔震装置进行防火保护，如隔震支座防火屏障、防火吊顶等。具体要求如下：

- 1、隔震装置的防火保护措施不应阻碍隔震装置在地震时的自由移动。
- 2、对隔震支座进行保护的防火屏障，其耐火极限不应低于竖向承重构件的耐火极限。
- 3、对其他隔震装置（如阻尼器）进行保护的防火吊顶，其耐火极限根据设计要求确定，且不低于隔震层楼板的耐火极限要求。
- 4、防火屏障或防火吊顶的材质应防腐、防潮，其正常使用耐久性年限不宜低于 15 年。

条文说明：如部分隔震装置不需要防火保护，设计文件中应予以说明，则相应的防护保护措施可取消。

15.6 隔震层机电设备与管线

15.6.1 隔震建筑的机电工程设施进行抗震设计时，应满足建筑的设防地震标准；对地震时可能使用的防排烟、消防给水、消防供配电、消防应急照明和疏散指示、火灾自动报警等系统设施宜满足建筑的罕遇地震标准。

15.6.2 机电管线在穿越隔震楼层处、隔离缝处均采用柔性连接部件或者其他措施，并应在两侧部件均设置抗震支吊架。柔性连接部件或者其他措施应根据机电设备的特点、使用要求、自振周期以及场地类别、环境温度等，选择相适应的隔震连接方式。柔性连接部件的连接方式及设置位置应能方便检修与更换。

15.6.3 制冷机房、锅炉房、消防水泵房、给水泵房、变配电室、发电机房、数据机房等主要机房不应设置在隔震专用层内。机电管线应减少在隔震专用层内敷设。

条文说明：隔震专用层（如基底隔震）用于安装各类隔震装置，不应设置其他功能用房。隔震层与建筑日常功能空间合用楼层空间时（如层间隔震），可根据设计需要安排功能房间，但尚需考虑该楼层的特殊性，遵循本规程相关条文规定。

15.6.4 隔震楼层内布置的机电设备，应在基础四周设置限位器，限位尺寸应经计算确定；地面设备与管道之间应采用柔性连接。

15.6.5 穿越隔震楼层的机电管线边缘与周围非隔震结构（或墙体）的间距不应小于建筑结构主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍。

15.6.6 安装于地下隔震专用楼层内的机电设备应选用防潮性能好的产品，隔震专用楼层内管道及支吊架应加强防腐性能。

15.6.7 密闭的隔震专用楼层宜设置机械通风设施，通风换气量不小于 2 次/h；宜装设二氧化碳传感器，信号纳入建筑物主体楼宇自控系统。

15.6.8 隔震专用层内应预留集水坑，其间距不宜大于 200m，其数量不少于两处；隔震层位于不同标高上时，较低层和楼层低点应设置集水坑。上述集水坑应根据地下水位、隔震层渗水、进水风险等因素，设置排水泵系统或自干型集水坑。

15.6.9 隔震专用层应设置照明设施。出入口、吊装口地面照度不宜低于 100 lx，隔震专用层内地面最低水平照度照度不宜低于 1.0 lx。照明灯具宜选用防水、防尘、防腐型灯具。

15.6.10 隔震专用层人员检修出入口的外部宜安装无关人员禁止进入指示灯，其内部应装设安全出口指示灯。

15.6.11 隔震楼层内机电管线穿越墙体时，在穿越处应设套管或预留洞口，管道与套管或洞口间的缝隙内应填充柔性材料；当穿越防火墙及防火隔墙时，其缝隙应填充柔性防火材料进行封堵。

15.6.12 可能泄露有害介质或可燃介质的管道布置应符合下列要求：

1) 应避免穿越隔震楼层，当必须穿越时，应在室外设置阀门和快速切断阀，并设置与切断阀连锁的地震感应器；管道在隔震层部位的水平位移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.4 倍。

2) 不应穿越隔离缝及临近的可移动构件。

15.6.13 水管柔性连接部件可采用软管、补偿器或其他成熟的管道柔性连接件，材质可采用不锈钢、橡胶等材质；风管柔性部件可采用非金属软接头。产品长度应按满足 15.6.1 条的地震标准进行计算确定。

15.6.14 隔震楼层内与隔震楼层外的用电设备应分回路供电，不应由隔震楼层内部配电装置向隔震楼层外的用电设备供电。

15.6.15 当电缆线穿越隔震层部位分别固定于隔震建筑上部结构和下部结构时，在引进、引出和转弯处，应留有缆线长度余量，余量不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。

15.6.16 隔震楼层内的配电装置至用电设备间连线宜采用软导体，其长度应留有余量；缆线穿管敷设时宜采用弹性和延性较好的管材。

15.6.17 防雷接地引下线跨越隔震楼层位置时，应采取可靠柔性跨接措施，水平移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的 1.2 倍。

15.6.18 机电设备及管线抗震设计相关计算及未提及事宜尚需满足国家标准《建筑机电工程抗震设计规范》GB5981 的有关规定。

15.6.19 管道隔震柔性装置应能满足地震波引起的振动冲击影响，应避免谐振，具体要求、试验方法、检验规则等参照标准《建筑隔震柔性管道》JG/T541 的要求。

15.6.20 穿越隔震层的污水管道隔震柔性装置不应出现渗漏。

15.7 隔震工程专用标识

15.7.1 新建、改建、扩建建筑隔震工程均应设置隔震工程专用标识。专用标识不应被遮挡、覆盖。工程设计文件中应对专用标识的设置提出明确要求。隔震工程专用标识的安装应纳入隔震专项验收范围。竣工验收后，建筑隔震工程专用标识应纳入物业维护和管理范围，使之在隔震建筑全生命周期内持续发挥作用。

15.7.2 隔震装置（如隔震支座、阻尼器等）标识由生产厂商随产品提供，其他隔震专用标识应由建设单位委托制作，施工单位负责安装。更换隔震装置时，应同时更换相应标识。

15.7.3 隔震工程专用标识中，主标识反映工程基本信息，包括隔震工程标志、项目名称、建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、主要隔震装置的生产厂商、隔震专项工程验收日期。其他专用标识，包括隔震支座标识、隔离缝（隔震沟）标识、隔震楼层标识、穿越隔震层部位的可移动管线标识、隔震层检修口（吊装口）标识、疏散避让标识、地面隔震间距标识等。

15.7.4 隔震工程专用主标识应设置于建筑主要入口显著位置。其他隔震专用标识应设置于相关隔震装置或隔震构造的邻近位置。所有隔震工程专用标识应便于识读及维护。

15.7.5 由于隔震建筑上部结构和下部结构在地震时会有相对错动，应在错动构造部位的临近墙面或地面设置疏散避让标识，提示疏散人员进行避让，提示无关物品不得侵占水平隔震间距。应设置明显疏散避让标识的部位如下：

- 1、跨越建筑首层周圈隔震沟的人行出入口、隔震台阶和无障碍坡道部位
- 2、跨越隔震沟的地下车库连通口、地下车库地面出入口部位
- 3、建筑内部各楼层楼板上设置了竖向隔离缝盖板的部位（隔震与非隔震建筑贴临建设时）
- 4、隔震工程中的断开式楼梯、端部滑动支撑式楼梯的可移动部位
- 5、隔震工程中的悬挂式（或支撑式）楼梯间、悬挂式（或支撑式）电梯井、悬挂式（或支撑式）核心筒在楼板处的竖向隔离缝盖板部位
- 6、其他因隔震而可能产生相对位移的部位

15.7.7 在隔震建筑周圈竖向隔离缝（隔震沟）位置，应采用地面隔震间距标识或标线，标明地震时此处为建筑物的移动空间。

15.7.8 隔震工程专用标识应采用耐久性好、易于清洁、不易腐蚀生锈变质的不燃或难燃材料制作，如铜、铝、不锈钢等。同一项目宜采用统一标识材料，隔震管线标识可采用难燃的软质标签。

15.7.9 隔震工程专用标识在安装前应由设计方确认内容正确，安装后应形成标识数量和样式清单，纳入隔震专项工程验收资料，并提供给后续物业管理单位。

15.7.10 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定期检查，保证标识安装牢固、标志和字迹清楚、未受污损。发生地震、火灾等特殊情况，应结合隔震工程应急检查一并进行巡检。在建筑使用期内，如隔震工程专用标识出现污损、缺失，应由物业管理方及时进行更换和安装。

15.7.11 隔震工程专用标识图样见附录（后续补充）。

16 隔震部件的施工、验收和维护

16.1 一般规定

16.1.1 建筑隔震工程施工现场管理，应有健全的质量管理体系、施工质量控制与检验制度。

16.1.2 建筑隔震工程施工前，由建设单位组织设计、施工、监理及其他相关单位对设计文件进行技术交底和图纸会审。

16.1.3 建筑隔震工程施工前，施工单位应根据设计文件编制专项施工组织设计和施工技术方案，并经建设和监理单位审核；

16.1.4 同一支墩有 2 个或 2 个以上隔震支座时，隔震支座应采用同一厂家的产品。

16.1.5 建筑隔震工程施工的每道工序完成后应按隐蔽工程要求检查验收，并形成记录，同时宜留有图像资料。对重要工序需经设计人员确认合格后，方可进行下道工序的施工。

16.2 隔震部件进场及施工

16.2.1 隔震支座、阻尼器及连接件等隔震部件产品进场时，应按相关规定进行进场验收。

16.2.2 隔震支座和阻尼器应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。隔震支座和阻尼器应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，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接触。开封验货后，应进行包装防护。

16.2.3 隔震支座、阻尼器应按照相关规定进行见证检验，对检验判定为不合格的产品不得使用。

16.2.4 隔震支座和阻尼器的施工应按《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 中第 5 章规定执行。

16.2.5 隔震建筑施工过程中，应对隔震支座的变形进行监测。

16.2.6 当隔震支座需进行防火保护时，应按设计文件进行，且耐火等级不低于相连竖向构件的耐火等级。

16.2.7 阻尼器的安装应在支座安装及上部梁板体系施工验收合格后进行，或在隔震层上部结构施工验收合格后进行。

16.2.8 支座和阻尼器安装宜由经过专门培训的人员实施，且安装时应有监理、生产厂家技术人员进行旁站。

16.2.9 对采用新工艺、超长结构、大跨度结构或设计有特殊要求的施工方案，应组织专家进行论证。

16.2.10 建筑隔震工程施工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。

16.3 隔震结构质量验收

16.3.1 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由专业监理工程师组织施工单位项目专业技术负责人等进行验收；

2 建筑隔震工程完工后，应由总监理工程师组织建设单位、设计单位专业技术负责人、

施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收并提交子分部工程验收报告。

16.3.2 建筑隔震工程施工质量验收应在自检合格的基础上，按检验批、分项工程、子分部工程逐级检查验收，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 隐蔽工程在隐蔽前，应由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；
- 4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行检查；
- 5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

16.3.3 橡胶支座、弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 16.3.3 要求；

表 16.3.3 隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法

支座类别	项目		允许偏差	检查数量	检验方法
橡胶支座	支座标高		±3mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
	支座水平位置偏差 (mm)		±5mm		用全站仪、钢尺测量
	水平度	下支墩顶面	3‰		用水准仪、千分塞尺测量
		支座顶面	5‰		用水准仪、千分塞尺测量
弹性滑板支座	橡胶支座部	中心标高	±5mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
		平面中心位置	±5mm		用全站仪、钢尺测量
		顶面水平度	2‰		用水准仪、千分塞尺测量
	滑移面板	中心标高	±5mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
		平面中心位置	±5mm		用全站仪、钢尺测量
		顶面水平度	2‰		用水准仪、千分塞尺测量
	橡胶支座与滑移面板平面中心位置相对偏差		5mm	全数检查	用全站仪、钢尺测量
摩擦摆隔震支座	支座标高		±3mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
	支座水平位置偏差 (mm)		±5mm		用全站仪、钢尺测量
	水平度	下支墩顶面	3‰		用水准仪、千分塞尺测量
		支座顶面	5‰		用水准仪、千分塞尺测量

16.3.4 建筑隔震工程质量验收不合格时，应按下列规定处理：

- 1 经更换构（配）件的检验批，应重新进行验收；
- 2 经有资质的检测机构鉴定并出具相关鉴定报告，且经设计单位复核，能够满足结构安全和使用功能，可予以验收。

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

16.4 隔震部件的维护

16.4.1 建设单位应组织设计单位和隔震构件生产厂家编制隔震工程使用说明书及维护管理

要求，说明书中应阐述隔震原理、房屋使用者注意的问题，同时给出主要建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔离缝布置图以及隔震产品描述等。

16.4.2 隔震建筑工程除对建筑一般维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑特有的项目进行检验、检查。检查项目可包括支座、阻尼器、隔离缝、柔性连接；检查方法应按本规程的 16.3 节相关规定执行。

16.4.3 隔震建筑的维护检查分为常规检查、定期检查和应急检查。

1 常规检查应每年进行一次，检查方式可采用观察方式和丈量；

2 定期检查应为竣工后的第 3 年和第 5 年，第 5 年以后每 5 年进行一次。除支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其他项目均可通过观察方式进行检查；

3 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，检查内容同定期检查。

16.4.4 隔震层部件的改装、更换和加固，宜优先采用原厂家隔震部件，其中部件性能参数应与原部件一致，建设单位应组织施工单位编制专项施工方案，施工前应由有资质的设计单位确认，或由原设计单位确认。

17 建筑物地震反应观测系统和隔震建筑监测系统

17.1 建筑物地震反应观测系统

17.1.1 对于大型公共建筑，高度超过 80m 或高宽比大于 4 的隔震建筑、高度超过 120m 的减震建筑，应按规定设置建筑结构的反应观测系统，建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。其余减隔震建筑工程宜设置建筑物地震反应观测系统。

17.1.2 建筑结构地震反应观测系统的观测点不应少于三处，且观测点位置应满足以下要求：

1. 对隔震建筑，应在建筑物基础顶、隔震层、顶层布置；
2. 对减震建筑，应在建筑物基础顶、顶层布置；
3. 结构刚度突变处应设置一处；
4. 竖向观测点间距不应大于 40m。

17.1.3 地震反应观测系统的观测点应采取一定的保护措施并做定期检查，并满足相关规范要求，保证系统正常运行。

17.1.4 核电站、国家卫星通信等特殊设防类建筑安装反应观测系统时应满足相关规范的要求。

17.2 隔震建筑监测系统

17.2.1 特殊设防类隔震建筑应设置监测系统，其他隔震建筑宜设置监测系统。

17.2.2 建筑监测系统等级根据建筑物复杂程度、建筑规模、功能特点及建筑物破坏后的影响程度分为三级，设计时根据建筑具体情况按表 17.2.2 选用。

表 17.2.2 建筑物监测等级表

监测等级	建筑类型
一级	特殊设防类建筑
二级	防灾减灾类重点设防类建筑、重要的基础设施类及工业类建筑中的重点设防类建筑
三级	除一、二级以外的工业与民用建筑

17.2.3 建筑监测系统宜与建筑地震观测系统和机电智能化系统筹设置。宜选用带有监测功能的减隔震装置组建监测系统。

17.2.4 建筑监测内容包括但不限于以下内容：建筑物位移监测、动力响应监测、构件变形监测，应变监测、易燃、易爆气体传输管道监测、设备运维监测、压力管道泄漏监测等。当设计无特殊要求时，建筑监测项目按下表选用：

表 17.2.4-1 建筑物监测项目表

监测等级	监测项目						
	建筑位移	动力响应	隔震层				
			隔震部件变形	转换梁变形	支墩变形	易燃、易爆气体传输管线柔性连接段	有压管道柔性连接
一级	√	√	√	√	√	√	√
二级	√	√	√	√	√	√	√
三级	√	√	√	√	△	√	△

表 17.2.4-2 建筑物监测项目表

监测等级	监测项目					
	非隔震层					
	重要结构构件变形	屋面重要的天线及信号传输设备	重要机房	易燃、易爆气体传输管线、设备	高放射物品存储设施	剧毒、细菌、病毒存储设施
一级	√	√	√	√	√	√
二级	△	△	△	△	△	△
三级	△	—	—	—	—	—

注：√为应测项目；△为宜测项目；

17.2.5 隔震建筑监测系统至少包括以下内容：

- 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；

17.2.6 隔震建筑设置监测系统时，按照 17.2.4 监测项目布置监测点，布置数目不宜少于表 17.2.6 中的要求。

表 17.2.6 建筑物监测项目表

监测等级	隔震层	非隔震层
	最少监测点布置数（取较大值）	最少监测点布置数（取较大值）
一级	3%，3 个	3%，3 个
二级	2%，2 个	2%，2 个
三级	2 个	2 个

注：1 若同类构件在隔震层或非隔震层中的总数少于表中的最少监测点数时，应按该类构件的实际数量设置监测点；

2 表中 X%为同类构件总数的百分比。

17.2.7 监测系统应内置报警系统；在制定监测方案时，监测数据正常值和预警值应由相关单位提供；系统应将监测过程中分析和判断的监测结果应及时反馈给建筑管理方。

17.2.8 监测系统发出预警时，建筑管理或使用单位应及时进行检查，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。

17.2.9 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，由隔震建筑使用或管理单位进行。

附录 A 隔震建筑抗震性能设计

A.0.1 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。

隔震结构抗震性能目标应综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、隔震层设置和结构的特殊性等各项因素选定。结构抗震性能目标设为 A、B、C、D 四个等级，结构抗震性能分为 1、2、3、4、5、6 六个水准（表 A.0.2），每个性能目标均与一组在指定地震地面运动下的结构抗震性能水准相对应。

表 A.0.1 抗震性能目标表

性能目标 性能水准 地震水准	A	B	C	D
	1	1	2	2
设防地震	1	1	2	2
罕遇地震	1	3	4	5

A.0.2 结构抗震性能水准可按附表 A.0.2 进行宏观判别。

附表 A.0.2 各性能水准结构预期的震后性能状态

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件及重要水平构件	普通水平构件	
1	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	不需修理即可继续使用
2	基本完好	无损坏	无损坏	轻微损坏	不需修理即可继续使用
3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理后可继续使用
4	轻-中度损坏	轻微损坏、部分轻度损坏	轻度损坏	中度损坏	修复后可继续使用
5	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或加固后可继续使用

A.0.3 不同抗震性能水准的结构可按下列规定进行设计：

1 第 1 性能水准的结构，应满足弹性设计要求，在设防地震或预估的罕遇地震作用下，结构构件的抗震承载力应符合下式规定：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}^* + \gamma_{Ev} S_{Evk}^* \leq R \gamma_{RE} \quad (\text{A.0.3-1})$$

式中：

R —— 构件承载力设计值；

γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表 4.4.6-1 采用；

S_{GE} —— 重力荷载代表值的效应；

γ_G —— 重力荷载代表值的分项系数；

S_{Ehk}^* —— 水平地震作用标准值的效应，对设防地震尚需乘以相应的增大系数、调整系

数:

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数;

S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的效应, 对设防地震尚需乘以相应的增大系数、调整系数;

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数。

上式中, 地震作用分项系数应按表 4.4.6-2 采用。

2 第 2 性能水准的结构, 在设防地震作用下, 关键构件抗震承载力应符合式(A.0.3-1)的规定; 普通竖向构件及重要水平构件的受剪承载力应符合式(A.0.3-1)的规定, 其正截面承载力应符合式(A.0.3-2)、(A.0.3-3)的规定; 普通水平构件的受剪承载力应符合式(A.0.3-2)的规定, 其正截面承载力应符合式(A.0.3-4)的规定:

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk}^* \leq R_k \quad (A.0.3-2)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k \quad (A.0.3-3)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k^* \quad (A.0.3-4)$$

R_k ——构件承载力标准值, 按材料强度标准值计算;

R_k^* ——构件承载力标准值, 按材料强度标准值计算, 对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑钢筋的超强系数 1.25;

3 第 3 性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在预估的罕遇地震作用下, 关键构件、普通竖向构件及重要水平构件的受剪承载力应符合式(A.0.3-1)的规定, 其正截面承载力应符合式(A.0.3-2)、(A.0.3-3)的规定; 部分普通水平构件进入屈服阶段, 但其受剪承载力应符合式(A.0.3-2)的规定; 结构薄弱部位的层间位移角应符合本标准的相关要求。

4 第 4 性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在预估的罕遇地震作用下, 关键构件的抗震承载力应符合式(A.0.3-2)、(A.0.3-3)的规定; 普通竖向构件及重要水平构件的受剪承载力应符合式(A.0.3-2)、(A.0.3-3)的规定; 部分普通水平构件进入屈服阶段; 结构薄弱部位的层间位移角应符合本标准的相关要求。

5 第 5 性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在预估的罕遇地震作用下, 关键构件的抗震承载力应符合式(A.0.3-2)、(A.0.3-3)的规定; 部分竖向构件进入屈服阶段, 但钢筋混凝土竖向构件的受剪截面应符合式(A.0.3-5)的规定, 钢-混凝土组合抗震墙的受剪截面应符合式(A.0.3-6)的规定; 大部分水平构件进入屈服阶段; 结构薄弱部位的层间位移角应符合本标准的相关要求。

$$V_{GE} + V_{Ek}^* \leq 0.15f_{ck}bh_0 \quad (A.0.3-5)$$

$$(V_{GE} + V_{Ek}^*) - (0.25f_{ak}A_a + 0.5f_{spk}A_{sp}) \leq 0.15f_{ck}bh_0 \quad (A.0.3-6)$$

V_{GE} ——重力荷载代表值作用下的构件剪力 (N);

V_{Ek}^* ——地震作用标准值的构件剪力 (N), 不需考虑相应的增大系数或调整系数;

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm²);

f_{ak} ——抗震墙端部暗柱中型钢的强度标准值 (N/mm²);

A_a ——抗震墙端部暗柱中型钢的截面面积 (mm²);

f_{spk} ——抗震墙内钢板的强度标准值 (N/mm²);

A_{sp} ——抗震墙内钢板的横截面面积 (mm²)。

附录 B 复振型影响系数计算公式

B.0.1 复振型分解反应谱法中 j 振型和参与系数可按下式计算：

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

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

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

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

$$c_{ji}^0 = \begin{cases} -(1+\mu)\omega_b^2 / (\mu\lambda_j^2) + (-\lambda_j - \alpha) / (\lambda_j + \beta\lambda_j^2) \cdot \sum_{i=1}^n G_i\phi_{ji} / G_b\phi_{jb} & \text{隔震层} \\ (-\lambda_j - \alpha) / (\lambda_j + \beta\lambda_j^2) & \text{非隔震楼层} \end{cases} \quad (\text{B.0.1-5})$$

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，比例阻尼时等于 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，比例阻尼时等于 1；

r ——地震作用影响向量；

ω_b ——隔震层频率，等于隔震层刚度除以隔震结构总质量的平方根；

α ——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

β ——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

μ ——隔震层质量与上部结构总质量比值；

Re ——表示取复数实部。

B.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式计算：

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

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：

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

B.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 (4.3.2-1) 和 (4.3.2-3) 计算，水平地震作用效应按本标准式 (4.3.2-2) 和 (4.3.2-4) 计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式计算：

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

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

附录 C 隔震支座连接设计

C.0.1 隔震橡胶支座水平变形后，隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下列公式计算：

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

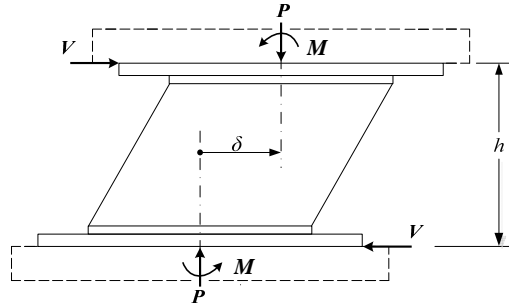


图 C.0.1 隔震支墩及连接部位变形

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）。

C.0.2 隔震支墩混凝土局部受压最大压应力应满足下列要求：

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

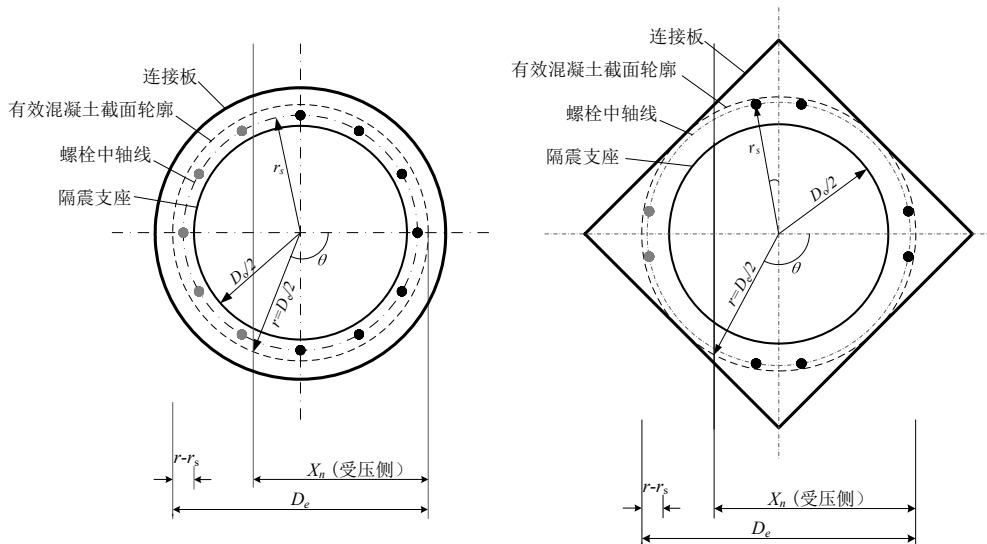


图 C.0.2 隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布

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， $\theta = \arccos\left(\frac{r - X_n}{r}\right)$ ；

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；其间按线性内插法确定；

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

示支墩截面面积， A_b 表示局部受压面积 $A_b = \pi r^2$ ；

f_{ck} ——支墩混凝土轴心抗压强度标准值；

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， $r = D_e / 2$ 。

C.0.3 隔震支座连接螺栓强度验算应符合下列规定：

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

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

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，其中中性轴距离隔震支座中心为 $\frac{\delta}{2}$ ；

F_u ——支座提离力。

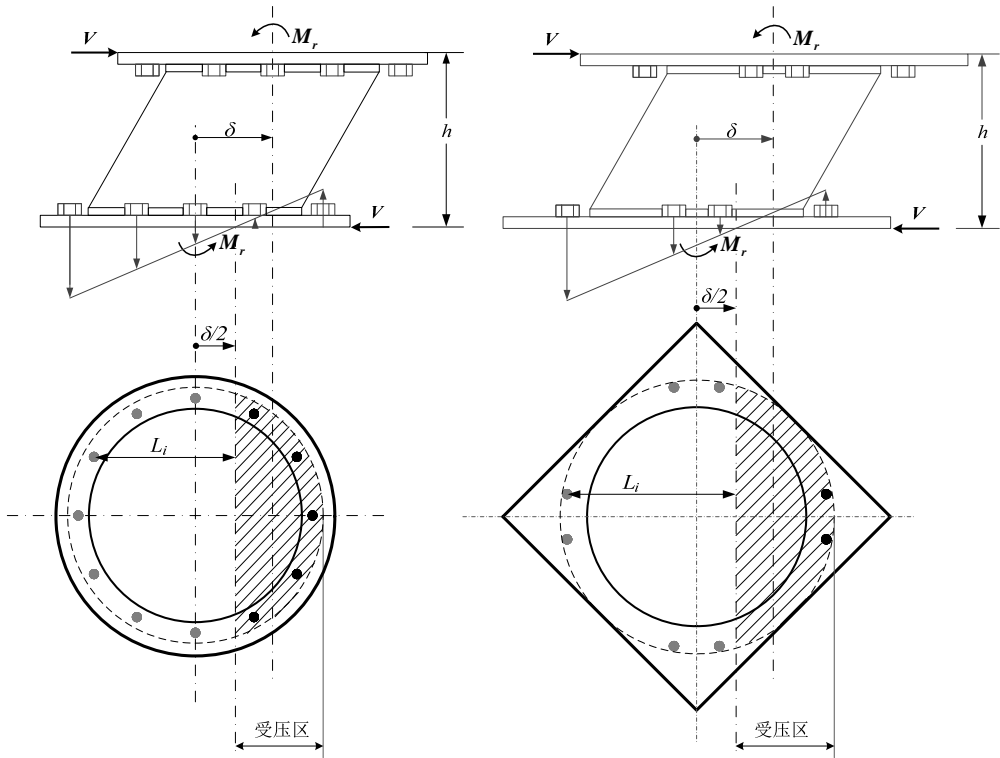


图 C.0.3 连接螺栓受力简图

C.0.4 隔震支座预埋件设计应满足下列要求：

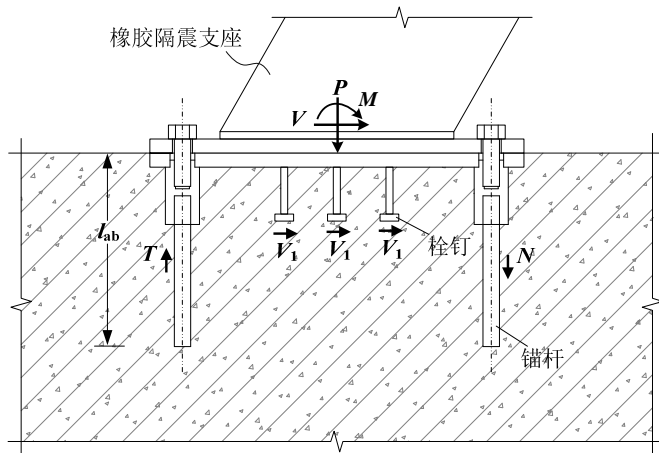


图 C.0.4 预埋件受力情况（图中锚筋的长度标注有误，建议将锚杆改成锚筋）

1 与连接螺栓相连锚筋强度验算

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

式中： σ_B ——与连接螺栓相连锚筋的受拉应力；

A_{ab} ——单个锚筋截面积；

f_{yt}^{ab} ——锚筋抗拉设计强度。

2 与连接螺栓相连锚筋的锚固长度要求：

$$l_{ab} \geq \alpha \frac{\sigma_B}{f_t} d_{ab}, \text{ 且不小于 } 250\text{mm} \quad (\text{C.0.4-1})$$

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由下式确定:

$$V_1 = \frac{V}{n_{st}} \leq N_v^{st} = 0.43 A_{st} \text{ 且}$$

$$V_1 \leq 0.7 A_{st} \gamma f_{st} \quad (\text{C. 0. 4-2})$$

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;

E_c ——混凝土的弹性模量;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值;

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; 当栓钉材料性能等级为 4.6 级时, $f_{st}=215 \text{ N/mm}^2$, $\gamma=1.67$ 。

附录 D 隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求

D.0.1 天然橡胶支座滞回模型 (图 D.0.1), 水平刚度设计值可按下式进行计算 (环境温度为 23° C):

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{D.0.1-1})$$

式中: K_r —天然橡胶支座水平刚度设计值;

G_r —橡胶剪切模量;

A_r —叠层橡胶横截面面积 (不含橡胶层中间开孔面积);

t_r —橡胶层总厚度。

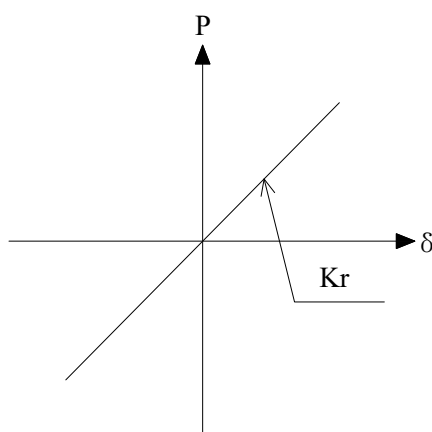


图 D.0.1 天然橡胶支座滞回模型

考虑温度修正的天然橡胶支座水平刚度设计值可按下式进行调整:

$$K_r(t) = K_r(t_0) \exp(\alpha_{tk}(t - t_0)) \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中: t_0 —修正前温度;

t —修正后温度;

α_{tk} —温度修正系数, 由支座相关性试验确定。

D.0.2 铅芯橡胶支座滞回模型 (图 D.0.2), 其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算:

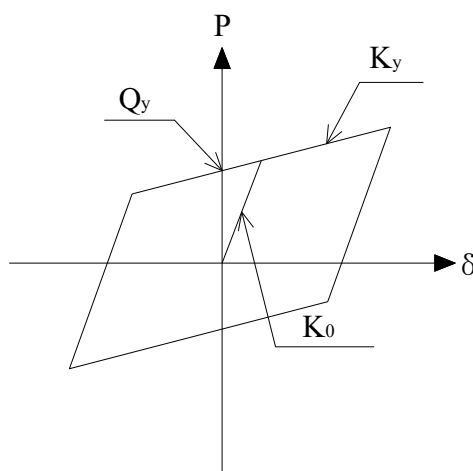


图 D.0.2 铅芯橡胶支座滞回模型

1 环境温度为 23° C 时的屈服后水平刚度设计值可按下式确定:

$$K_y = C_{ky}(K_r + K_p) \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$K_p = G_p \frac{A_p}{t_r} \quad (\text{D. 0. 2-2})$$

式中： K_y —铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值；

K_p —由铅芯部分提供的水平刚度；

A_p —铅芯横截面积；

G_p —铅芯剪切模量；

C_{k_y} —屈服后水平刚度调整系数，可由支座试验确定。

考虑温度修正的铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值可按公式 (D. 0. 1-2) 进行调整。

2 环境温度为 23° C 时的水平屈服剪力设计值可按下式确定：

$$Q_y = C_{Q_y} \sigma_p A_p \quad (\text{D. 0. 2-3})$$

式中： Q_y —铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值；

σ_p —铅芯剪切屈服应力；

C_{Q_y} —水平屈服剪力调整系数，可由支座试验确定。

考虑温度修正的铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值可按下式进行调整：

$$Q_y(t) = Q_y(t_0) \exp(\alpha_{t_0}(t - t_0)) \quad (\text{D. 0. 2-4})$$

式中： α_{t_0} —温度修正系数，由支座相关性试验确定。

3 屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_0 = \alpha K_y \quad (\text{D. 0. 2-5})$$

式中： K_0 —铅芯橡胶支座屈服前水平刚度设计值；

α —屈服前水平刚度设计值与屈服后水平刚度设计值之比值。

4 铅芯橡胶支座等效水平刚度和等效阻尼比可按下式确定：

$$K_{eq} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} + K_y \quad (\text{D. 0. 2-6})$$

$$\zeta_{eq} = \frac{2}{\pi} \frac{Q_y [\gamma_h t_r - \frac{Q_y}{(\beta - 1) K_y}]}{K_{eq} (\gamma_h t_r)^2} \quad (\text{D. 0. 2-7})$$

式中： K_{eq} —铅芯橡胶支座等效水平刚度；

ζ_{eq} —铅芯橡胶支座等效阻尼比。

γ_h —叠层橡胶支座水平剪切应变，其数值为叠层橡胶支座水平位移与橡胶层总厚度之比值。

D. 0. 3 弹性滑板支座其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

1 环境温度为 23° C 时的屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_0 = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{D. 0. 3. 1-1})$$

式中： K_0 —弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值。

考虑温度修正的弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值可按公式 (D. 0. 1-2) 进行调整。

2 水平屈服力设计值可按下式确定：

$$Q_y = \mu_s W \quad (\text{D. 0. 3-2})$$

式中： Q_y —弹性滑板支座水平屈服力设计值；

μ_s —滑移面摩擦系数，可由支座试验确定。

W —支座承受的竖向荷载；

3 弹性滑板支座等效水平刚度可按下式确定：

$$K_{eq} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} \quad (\text{D. 0. 3-3})$$

式中： K_{eq} 一弹性滑板支座等效水平刚度。

D. 0. 4 摩擦摆隔震支座其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

1 屈服后水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_y = \frac{W}{R_s} \quad (\text{D. 0. 4-1})$$

式中： K_y 一摩擦摆隔震支座屈服后水平刚度设计值

R_s 一摩擦摆隔震支座等效曲率半径。

2 水平屈服力设计值可按下式确定：

$$Q_y = \mu W \quad (\text{D. 0. 4-2})$$

式中： Q_y 一摩擦摆隔震支座水平屈服力设计值；

μ 一摩擦面摩擦系数，可由支座试验确定。

附录 E 校核地震动

E.1.1 建筑工程减震、隔震结构设计应采用校核地震动进行罕遇地震作用下的校核计算。

E.1.2 校核地震动分为如下两类：

1 第一类为减隔震设计国内外公认的 El Centro 波、Taft 波和 Hachinohe 波，以及唐山地震中北京饭店记录经过反演得到的自由场地震动时程；

2 第二类为根据北京典型 II 类和 III 类场地地震安全性评价结果得到的人工地震动时程；

【条文说明】

1 1976 年唐山 7.8 级地震中，位于北京市中心的北京饭店东楼获取到了良好的地震动记录，为了将该记录推算到自由场以便于其他建筑结构使用，进一步扣除土结构相互作用影响而得到本记录。在使用时，不区分 II 类、III 类场地，而直接按照罕遇地震 PGA 进行调幅。

2 人造地震动时程是通过对北京地区收集到的部分地震安全性评价成果综合分析，分别拟合 II 类场地和 III 类场地 50 年超越概率 2% 阻尼比为 5% 条件下的地震动时程。

E.1.3 建筑减隔震设计校核应采用第一类 4 组地震动时程，并根据场地类型采用第二类 1 组地震动时程，进行罕遇地震弹塑性。

E.1.4 每组地震动均为三向输入，计算时应取最不利方向分别计算，取包络值。

E.1.5 校核计算结果应取各组地震动计算结果的包络值。

附录 F 建议标准化消能器产品规格型号及性能参数

表 F. 0.1 屈曲约束支撑产品规格型号及性能参数表

型号规格	屈服承载力 (kN)	产品长度(mm)	轴线长度预估 (mm)	屈服位移(mm)	屈服后刚度比 (芯材 Q235B)	屈服后刚度 (芯材为低屈服点钢)
BRB-C×500×4.8	500	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×500×5.6		4000	5500≤L≤6500	5.6		
BRB-C×500×6.3		4500	6000≤L≤7000	6.3		
BRB-C×500×6.8		5000	6500≤L≤7500	6.8		
BRB-C×500×7.6		5500	7000≤L≤8000	7.6		
BRB-C×500×8.1		6000	7500≤L≤8500	8.1		
BRB-C×750×4.7	750	3500	5000≤L≤6000	4.7	0.035	0.025
BRB-C×750×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×750×6.2		4500	6000≤L≤7000	6.2		
BRB-C×750×6.9		5000	6500≤L≤7500	6.9		
BRB-C×750×7.6		5500	7000≤L≤8000	7.6		
BRB-C×750×8.1		6000	7500≤L≤8500	8.1		
BRB-C×1000×4.7	1000	3500	5000≤L≤6000	4.7	0.035	0.025
BRB-C×1000×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×1000×6.3		4500	6000≤L≤7000	6.3		
BRB-C×1000×6.7		5000	6500≤L≤7500	6.7		
BRB-C×1000×7.4		5500	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×1000×8.2		6000	7500≤L≤8500	8.2		
BRB-C×1200×4.8	1200	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×1200×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×1200×6.2		4500	6000≤L≤7000	6.2		
BRB-C×1200×6.9		5000	6500≤L≤7500	6.9		
BRB-C×1200×7.6		5500	7000≤L≤8000	7.6		
BRB-C×1200×8.3		6000	7500≤L≤8500	8.3		
BRB-C×1500×4.8	1500	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×1500×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×1500×6.3		4500	6000≤L≤7000	6.3		
BRB-C×1500×6.7		5000	6500≤L≤7500	6.7		
BRB-C×1500×7.6		5500	7000≤L≤8000	7.6		
BRB-C×1500×8.3		6000	7500≤L≤8500	8.3		
BRB-C×1800×4.8	1800	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×1800×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×1800×6.2		4500	6000≤L≤7000	6.2		
BRB-C×1800×6.8		5000	6500≤L≤7500	6.8		
BRB-C×1800×7.6		5500	7000≤L≤8000	7.6		
BRB-C×1800×8.3		6000	7500≤L≤8500	8.3		

BRB-C×2000×4.8	2000	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×2000×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×2000×6.2		4500	6000≤L≤7000	6.2		
BRB-C×2000×6.8		5000	6500≤L≤7500	6.8		
BRB-C×2000×7.4		5500	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×2000×8.3		6000	7500≤L≤8500	8.3		
BRB-C×2500×4.8	2500	3500	5000≤L≤6000	4.8	0.035	0.025
BRB-C×2500×5.5		4000	5500≤L≤6500	5.5		
BRB-C×2500×6.2		4500	6000≤L≤7000	6.2		
BRB-C×2500×6.8		5000	6500≤L≤7500	6.8		
BRB-C×2500×7.5		5500	7000≤L≤8000	7.5		
BRB-C×2500×8.2		6000	7500≤L≤8500	8.2		
BRB-C×3000×4.8	3000	3500	5500≤L≤6500	4.8	0.035	0.025
BRB-C×3000×5.5		4000	6000≤L≤7000	5.5		
BRB-C×3000×6.2		4500	6500≤L≤7500	6.2		
BRB-C×3000×6.8		5000	7000≤L≤8000	6.8		
BRB-C×3000×7.5		5500	7500≤L≤8500	7.5		
BRB-C×3000×8.2		6000	8000≤L≤9000	8.2		
BRB-C×3500×4.8	3500	3500	5500≤L≤6500	4.8	0.035	0.025
BRB-C×3500×5.5		4000	6000≤L≤7000	5.5		
BRB-C×3500×6.2		4500	6500≤L≤7500	6.2		
BRB-C×3500×6.8		5000	7000≤L≤8000	6.8		
BRB-C×3500×7.5		5500	7500≤L≤8500	7.5		
BRB-C×3500×8.2		6000	8000≤L≤9000	8.2		
BRB-C×4000×5	4000	3500	5500≤L≤6500	5	0.035	0.025
BRB-C×4000×5.7		4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×4000×6.4		4500	6500≤L≤7500	6.4		
BRB-C×4000×7.1		5000	7000≤L≤8000	7.1		
BRB-C×4000×7.9		5500	7500≤L≤8500	7.9		
BRB-C×4000×8.5		6000	8000≤L≤9000	8.5		
BRB-C×5000×5.0	5000	3500	5500≤L≤6500	5.0	0.035	0.025
BRB-C×5000×5.7		4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×5000×6.5		4500	6500≤L≤7500	6.5		
BRB-C×5000×7.4		5000	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×5000×8.5		5500	7500≤L≤8500	8.5		
BRB-C×5000×9.7		6000	8000≤L≤9000	9.7		
BRB-C×6500×5.0	6500	3500	5500≤L≤6500	5.0	0.035	0.025
BRB-C×6500×5.7		4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×6500×6.5		4500	6500≤L≤7500	6.5		
BRB-C×6500×7.4		5000	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×6500×8.5		5500	7500≤L≤8500	8.5		
BRB-C×6500×9.7		6000	8000≤L≤9000	9.7		
BRB-C×8500×5.0		3500	5500≤L≤6500	5.0	0.035	0.025

BRB-C×8500×5.7	8500	4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×8500×6.5		4500	6500≤L≤7500	6.5		
BRB-C×8500×7.4		5000	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×8500×8.5		5500	7500≤L≤8500	8.5		
BRB-C×8500×9.7		6000	8000≤L≤9000	9.7		
BRB-C×11000×5.0	11000	3500	5500≤L≤6500	5.0	0.035	0.025
BRB-C×11000×5.7		4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×11000×6.5		4500	6500≤L≤7500	6.5		
BRB-C×11000×7.4		5000	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×11000×8.5		5500	7500≤L≤8500	8.5		
BRB-C×11000×9.7		6000	8000≤L≤9000	9.7		
BRB-C×14000×5.0	14000	3500	5500≤L≤6500	5.0	0.035	0.025
BRB-C×14000×5.7		4000	6000≤L≤7000	5.7		
BRB-C×14000×6.5		4500	6500≤L≤7500	6.5		
BRB-C×14000×7.4		5000	7000≤L≤8000	7.4		
BRB-C×14000×8.5		5500	7500≤L≤8500	8.5		
BRB-C×14000×9.7		6000	8000≤L≤9000	9.7		

注释：BRB-C×500×4.8，BRB表示屈曲约束支撑，C表示钢套筒与砂浆（或混凝土）组合约束型，500表示屈服承载力，4.8表示屈服位移。低屈服点钢可为LY160等。

表 F.0.2 金属屈服型消能器产品规格型号及性能参数表

规格型号	屈服承载力 (kN)	屈服位移 (mm)	设计位移 (mm)	建议耗能芯材	屈服后刚度比
MYD-S×200×1.0	200	1.0	$D_i \leq 22$	LY225	0.025
			$22 < D_i \leq 30$	LY160	0.035
			$30 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×200×1.5		1.5	$D_i \leq 30$	LY225	0.025
			$30 < D_i \leq 40$	LY160	0.035
			$40 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×300×1.0	300	1.0	$D_i \leq 22$	LY225	0.025
			$22 < D_i \leq 30$	LY160	0.035
			$30 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×300×1.5		1.5	$D_i \leq 30$	LY225	0.025
			$30 < D_i \leq 40$	LY160	0.035
			$40 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×400×1.0	400	1.0	$D_i \leq 22$	LY225	0.025
			$22 < D_i \leq 30$	LY160	0.035
			$30 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×400×1.5		1.5	$D_i \leq 30$	LY225	0.025
			$30 < D_i \leq 40$	LY160	0.035
			$40 < D_i$	LY100	0.05
MYD-S×600×1.0	600	1.0	$D_i \leq 25$	LY225	0.025

			25<Di≤35	LY160	0.035
			35<Di	LY100	0.05
MYD-S×600×1.5		1.5	Di≤35	LY225	0.025
			35<Di≤40	LY160	0.035
			40<Di	LY100	0.05
MYD-S×800×1.0	800	1.0	Di≤25	LY225	0.025
			25<Di≤35	LY160	0.035
			35<Di	LY100	0.05
MYD-S×800×1.5		1.5	Di≤35	LY225	0.025
			35<Di≤40	LY160	0.035
			40<Di	LY100	0.05
MYD-S×1000×1.0	1000	1.0	Di≤25	LY225	0.025
			25<Di≤35	LY160	0.035
			35<Di	LY100	0.05
MYD-S×1000×1.5		1.5	Di≤35	LY225	0.025
			35<Di≤40	LY160	0.035
			40<Di	LY100	0.05
MYD-S×1200×1.0	1200	1.0	Di≤25	LY225	0.025
			25<Di≤35	LY160	0.035
			35<Di	LY100	0.05
MYD-S×1200×1.5		1.5	Di≤35	LY225	0.025
			35<Di≤40	LY160	0.035
			40<Di	LY100	0.05

注释: MYD-S×200×1.0, MYD 表示金属屈服型消能器, S 表示钢材加工而成, 1200 表示屈服承载力, 1.0 表示屈服位移。

表 F.0.3 摩擦消能器产品规格型号及性能参数表

规格型号	起滑位移 (mm)	起滑阻尼力 (kN)
FD-200×0.5	0.5	200
FD-300×0.5	0.5	300
FD-400×0.6	0.6	400
FD-600×0.8	0.8	600
FD-800×1.0	1.0	800

表 F.0.4 黏滞消能器产品规格型号及性能参数表

设计阻尼力 (kN)	阻尼系数 kN(s/mm) ^α	速度指数 α	设计位移 (mm)
≤150	65/55/45/35	0.2	≤±60
150~300	130/115/100/70		
300~400	165/145/130/115		
400~500	205/180/160/140		
500~600	245/215/190/170		
600~700	290/260/230/200		

700~800	330/290/260/230		
800~900	370/330/290/260		
900~1000	410/370/330/290		
1000~1200	480/420/370/330		
1200~1500	620/550/480/420		
≤150	55/45/37/30		
150~300	95/80/65/55		
300~400	130/110/95/80		
400~500	170/140/120/100		
500~600	200/170/140/120		
600~700	230/200/170/140	0.25	
700~800	250/210/180/160		
800~900	300/250/210/180		
900~1000	360/300/250/210		
1000~1200	420/360/300/250		
1200~1500	490/420/360/300		
≤150	40/34/28/23/20		
150~300	80/65/54/46/40		
300~400	105/87/72/60		
400~500	130/110/90/75		
500~600	160/130/110/90		
600~700	190/160/130/110	0.3	
700~800	220/180/150/120		
800~900	250/200/160/130		
900~1000	300/250/200/150		
1000~1200	320/280/230/180		
1200~1500	400/340/280/230		
1000~1200	12/10/8/6/4/2.5	1.0	
1200~1500	15/12/10/8/6/5/4/3		
1000~1200	370/340/320/305	0.2	≤±800
1200~1500	460/430/400/380		
1000~1200	280/250/230/215	0.25	≤±800
1200~1500	350/315/290/270		
1000~1200	210/190/170/155	0.3	≤±800
1200~1500	255/230/210/190		
1000~1200	3.5/3/2.5/2/1.5/1.2	1.0	≤±800
1200~1500	4/3.5/3/2.5/2/1.5		

注释：本表未给出黏滞消能器的速度，速度根据实际减隔震设计计算得到，因此这里不做限定。

表 F. 0. 5 黏滞阻尼墙产品规格型号及性能参数表

规格型号	设计阻尼力 (kN)	阻尼系数 C/kN(s/mm) ^α	阻尼指数 α	速度 (mm/s)
VFW-NL×500×30	500	52.4	0.45	150
VFW-NL×850×30	850	89	0.45	150
VFW-NL×1000×30	1000	105	0.45	150
VFW-NL×1500×30	1500	157	0.45	150
VFW-NL×1700×30	1700	178	0.45	150
VFW-NL×2000×30	2000	210	0.45	150

注释：VFW-NL×500×30，VFW 表示黏滞阻尼墙，NL 表示非线性，500 表示设计阻尼力，30 表示设计容许位移。

表 F. 0. 6 高阻尼橡胶消能器产品规格型号及性能参数表

规格型号	设计阻尼力 (kN)	屈服承载力 100% (kN)	屈服后刚度 100%(kN/mm)	等效阻尼比 100% (%)	水平等效刚度 100% (kN/mm)
HDRD-200×100	200	70	8	18	12.5
HDRD-400×100	400	140	15	18	25
HDRD-600×100	600	150	17	18	31.3
HDRD-800×100	800	200	22	18	37.5
HDRD-1000×100	1000	250	47	18	62.5
HDRD-1200×100	1200	300	56	18	75

注释：HDRD-200×100，HDRD 表示高阻尼橡胶消能器，200 表示设计阻尼力，100 表示设计剪应变 100%。

表 F. 0. 7 黏弹性消能器产品规格型号及性能参数表

规格型号	设计阻尼力 (kN)	阻尼系数 (kN (s/mm))	速度指数	有效刚度(kN/mm)
VED-200×100	200	50	0.2	10
VED-400×100	400	100	0.2	15
VED-600×100	600	150	0.2	30
VED-800×100	800	200	0.2	40

注释：VED-200×100，VED 表示黏弹消能器，200 表示设计阻尼力，100 表示设计剪应变 100%。

附录 G 建议标准化隔震橡胶支座产品规格型号及性能参数

表G.0.1 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5, G=0.392MPa)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /kN/mm	8300	6900	5700	4700	4400	4200	3700	3100	2500	2100	1700	1400	1000
水平等效刚度 K_h (100%) /kN/mm	2.30	2.15	1.99	1.84	1.68	1.51	1.35	1.21	1.05	0.88	0.73	0.58	0.44
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.2 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5.45, G=0.392MPa)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8000	6700	5400	4300	4100	3900	3300	2700	2300	1900	1600	1200	900
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	2.50	2.34	2.17	2.01	1.83	1.67	1.51	1.33	1.17	0.98	0.81	0.66	0.49
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.3 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5, G=0.49MPa)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /kN/mm	8600	7200	6000	5000	4500	4300	3800	3000	2600	2200	1750	1450	1050
水平等效刚度 K_h (100%) /kN/mm	2.88	2.68	2.49	2.30	2.10	1.88	1.69	1.51	1.31	1.10	0.92	0.73	0.55
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.4 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 ($S_2=5.45$, $G=0.49\text{MPa}$)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8300	6900	5700	4700	4200	4000	3400	2800	2450	2000	1700	1300	1000
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	3.13	2.92	2.75	2.51	2.29	2.09	1.88	1.66	1.46	1.22	1.02	0.82	0.61
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.5 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 ($S_2=5$, $G=0.60\text{MPa}$)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8900	7500	6300	5300	4800	4600	4100	3400	2900	2400	2050	1750	1350
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	3.52	3.29	3.05	2.81	2.58	2.30	2.07	1.84	1.61	1.35	1.12	0.89	0.69
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.6 天然橡胶支座规格型号及性能参数表 ($S_2=5.45$, $G=0.60\text{MPa}$)

规格型号	LNR1500	LNR1400	LNR1300	LNR1200	LNR1100	LNR1000	LNR900	LNR800	LNR700	LNR600	LNR500	LNR400	LNR300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8600	7200	5900	5000	4500	4300	3600	3000	2700	2300	2000	1600	1300
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	3.83	3.58	3.32	3.07	2.81	2.55	2.31	2.03	1.78	1.50	1.25	1.01	0.75
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.7 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5, G=0.392MPa)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /kN/mm	8600	7200	6000	5000	4600	4400	3900	3400	2800	2400	2000	1700	1300
水平等效刚度 $K_h(100\%)$ /kN/mm	3.64	3.58	3.28	2.84	2.67	2.46	2.08	1.83	1.66	1.40	1.12	0.90	0.70
等效阻尼比 $h_{eq}(100\%)$ /%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 /kN/mm	29.10	27.04	25.12	23.34	21.35	18.97	17.12	15.29	13.30	11.48	9.55	7.54	5.72
屈服后刚度 K_d /kN/mm	2.24	2.08	1.93	1.80	1.64	1.46	1.32	1.18	1.02	0.88	0.73	0.58	0.44
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.8 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5.45, G=0.392MPa)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8300	7000	5700	4600	4400	4200	3500	2900	2600	2200	1800	1400	1100
水平等效刚度 $K_h(100\%)$ / (kN/mm)	3.95	3.90	3.55	3.09	2.91	2.77	2.37	2.05	1.87	1.58	1.27	1.04	0.76
等效阻尼比 $\zeta_{eq}(100\%)$	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 / (kN/mm)	31.63	29.46	27.16	25.46	23.25	21.67	19.67	17.35	15.19	13.11	10.91	8.79	6.44
屈服后刚度 K_d / (kN/mm)	2.43	2.27	2.09	1.96	1.79	1.67	1.51	1.33	1.17	1.01	0.84	0.68	0.50
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.9 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 (S2=5, G=0.49MPa)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /kN/mm	8900	7500	6300	5300	4800	4600	4100	3600	2900	2500	2050	1750	1350
水平等效刚度 $K_h(100\%)$ /kN/mm	4.20	4.10	3.76	3.29	3.08	2.82	2.41	2.12	1.91	1.62	1.31	1.05	0.81
等效阻尼比 $h_{eq}(100\%)$ /%	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 /kN/mm	36.38	33.80	31.40	29.17	26.68	23.72	21.40	19.12	16.63	14.35	11.96	9.49	7.15
屈服后刚度 K_d /kN/mm	2.80	2.60	2.42	2.24	2.05	1.82	1.65	1.47	1.28	1.10	0.92	0.73	0.55
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.10 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 (S₂=5.45, G=0.49MPa)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8600	7200	6000	5000	4500	4300	3600	3000	2750	2300	1900	1500	1200
水平等效刚度 $K_h(100\%)$ / (kN/mm)	4.56	4.47	4.09	3.58	3.36	3.19	2.75	2.39	2.16	1.83	1.48	1.21	0.89
等效阻尼比 $\zeta_{eq}(100\%)$	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 / (kN/mm)	39.54	36.82	34.19	31.82	29.06	27.08	24.58	21.68	18.99	16.39	13.64	10.66	7.93
屈服后刚度 K_d / (kN/mm)	3.04	2.83	2.63	2.45	2.24	2.08	1.89	1.67	1.46	1.26	1.05	0.82	0.61
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.11 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 ($S_2=5$, $G=0.60\text{MPa}$)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	9200	7800	6600	5600	5100	4900	4400	3800	3300	2700	2350	2000	1600
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	4.83	4.68	4.30	3.79	3.54	3.23	2.78	2.45	2.20	1.87	1.52	1.22	0.95
等效阻尼比 ζ_{eq} (100%)	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 / (kN/mm)	44.54	41.38	38.44	35.72	32.67	29.04	26.21	23.41	20.36	17.57	14.62	11.63	8.97
屈服后刚度 K_d / (kN/mm)	3.43	3.18	2.96	2.75	2.51	2.23	2.02	1.80	1.57	1.35	1.12	0.89	0.69
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	300	280	260	240	220	204	184	163	143	122	102	82	61

表G.0.12 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表 ($S_2=5.45$, $G=0.60\text{MPa}$)

规格型号	LRB1500	LRB1400	LRB1300	LRB1200	LRB1100	LRB1000	LRB900	LRB800	LRB700	LRB600	LRB500	LRB400	LRB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8900	7500	6300	5300	4800	4600	3900	3300	3000	2600	2200	1700	1450
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	5.25	5.10	4.96	4.13	3.86	3.58	3.10	2.70	2.44	2.07	1.68	1.37	1.03
等效阻尼比 ζ_{eq} (100%)	23	24	24	23	23	23	22	23	24	23	22	22	21
屈服前刚度 K_1 / (kN/mm)	48.42	45.09	45.43	38.96	35.58	32.20	29.22	25.78	22.57	19.48	16.21	13.07	9.77
屈服后刚度 K_d / (kN/mm)	3.72	3.47	3.49	3.00	2.74	2.48	2.25	1.98	1.74	1.50	1.25	1.01	0.75
屈服力 Q_d /kN	420	420	350	250	227	203	141	106	90	63	40	27	16
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73	56

表G.0.13 高阻尼橡胶支座规格型号及性能参数表

规格型号	HDR1500	HDR1400	HDR1300	HDR1200	HDR1100	HDR1000	HDR900	HDR800	HDR700	HDR600	HDR500	HDR400
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400
竖向刚度 K_v / (kN/mm)	8700	8100	7500	6900	6300	5700	5100	4500	4000	3400	2900	2500
水平等效刚度 K_h (100%) / (kN/mm)	3.85	3.53	2.96	2.76	2.67	2.47	2.23	1.97	1.73	1.48	1.22	0.98
等效阻尼比 ζ_{eq} (100%) /%	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
屈服前刚度 K_i / (kN/mm)	15.9	13.5	12	11.4	10.8	10	9.07	8	7.01	6.05	5.03	4.08
屈服后刚度 K_d / (kN/mm)	2.65	2.25	2	1.9	1.8	1.67	1.51	1.33	1.17	1.01	0.84	0.68
屈服力 Q_0 /kN	330	330	230	190	177	149	120	95	73	53	36	23
橡胶层总厚度 /mm	276	257	239	220	202	184	165	148	129	110	92	73

表G.0.14 弹性滑板支座规格型号及性能参数表 (G=1.0MPa)

规格型号	ESB1500	ESB1400	ESB1300	ESB1200	ESB1100	ESB1000	ESB900	ESB800	ESB700	ESB600	ESB500	ESB400	ESB300
有效直径 D /mm	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300
竖向刚度 K_v /kN/mm	30000	27000	23000	20000	17000	16000	14000	13000	12000	10000	8000	5500	3500
初始刚度 K_i /kN/mm	35.00	32.00	28.00	26.00	22.00	20.00	21.00	20.00	16.50	15.00	11.25	8.80	3.60
动摩擦系数 μ	0.02~0.05	0.02~0.05	0.02~0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05	0.02~ 0.05
橡胶层总厚度 /mm	48	48	48	44	44	40	30	25	20	19	19	12	17

附录 H 建议标准化摩擦摆隔震支座产品规格型号及性能参数

表H.0.1 单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座产品规格型号及性能参数表

规格型号	竖向承载力 /kN	设计水平位移 /mm	摩擦系数 数	球冠直径 /mm	等效半径/mm
FPS-I-1000-10 0	1000	±100	0.02~0.0 6	200	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-1000-20 0		±200	0.02~0.0 6	200	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-1000-30 0		±300	0.02~0.0 6	200	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-2000-10 0	2000	±100	0.02~0.0 6	270	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-2000-20 0		±200	0.02~0.0 6	270	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-2000-30 0		±300	0.02~0.0 6	270	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-3000-10 0	3000	±100	0.02~0.0 6	330	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-3000-20 0		±200	0.02~0.0 6	330	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-3000-30 0		±300	0.02~0.0 6	330	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-4000-10 0	4000	±100	0.02~0.0 6	370	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-4000-20 0		±200	0.02~0.0 6	370	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-4000-30 0		±300	0.02~0.0 6	370	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-5000-10 0	5000	±100	0.02~0.0 6	410	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-5000-20 0		±200	0.02~0.0 6	410	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-5000-30 0		±300	0.02~0.0 6	410	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-6000-10 0	6000	±100	0.02~0.0 6	440	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-6000-20 0		±200	0.02~0.0 6	440	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-6000-30 0		±300	0.02~0.0 6	440	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-7000-10 0	7000	±100	0.02~0.0 6	480	2500/3000/4000/5000/60 00

FPS-I-7000-20 0		±200	0.02~0.0 6	480	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-7000-30 0		±300	0.02~0.0 6	480	2500/3000/4000/5000/60 00
FPS-I-8000-10 0	8000	±100	0.02~0.0 6	510	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-8000-20 0		±200	0.02~0.0 6	510	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-8000-30 0		±300	0.02~0.0 6	510	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-9000-10 0	9000	±100	0.02~0.0 6	540	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-9000-20 0		±200	0.02~0.0 6	540	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-9000-30 0		±300	0.02~0.0 6	540	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-10000-1 00	10000	±100	0.02~0.0 6	560	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-10000-2 00		±200	0.02~0.0 6	560	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-10000-3 00		±300	0.02~0.0 6	560	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-12500-1 00	12500	±100	0.02~0.0 6	630	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-12500-2 00		±200	0.02~0.0 6	630	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-12500-3 00		±300	0.02~0.0 6	630	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-15000-1 00	15000	±100	0.02~0.0 6	680	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-15000-2 00		±200	0.02~0.0 6	680	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-15000-3 00		±300	0.02~0.0 6	680	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-17500-1 00	17500	±100	0.02~0.0 6	730	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-17500-2 00		±200	0.02~0.0 6	730	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-17500-3 00		±300	0.02~0.0 6	730	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-20000-1 00	20000	±100	0.02~0.0 6	780	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-20000-2 00		±200	0.02~0.0 6	780	3000/4000/5000/6500/75 00

FPS-I-20000-3 00		±300	0.02~0.0 6	780	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-25000-1 00	25000	±100	0.02~0.0 6	880	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-25000-2 00		±200	0.02~0.0 6	880	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-25000-3 00		±300	0.02~0.0 6	880	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-30000-1 00	30000	±100	0.02~0.0 6	950	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-30000-2 00		±200	0.02~0.0 6	950	3000/4000/5000/6500/75 00
FPS-I-30000-3 00		±300	0.02~0.0 6	950	3000/4000/5000/6500/75 00

注释：以上摩擦系数是指在慢速 4mm/s 下测试的结果，150mm/s 时摩擦系数比 4mm/s 时摩擦系数约高出 25%以上。

表H.0.2 双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座产品规格型号及性能参数表

规格型号	竖向承载力 /kN	设计水平位移 /mm	摩擦系 数	球冠直径 /mm	等效半径/mm
FPS-II-1000-10 0	1000	±100	0.02~0.0 6	190	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-1000-20 0		±200	0.02~0.0 6	190	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-1000-30 0		±300	0.02~0.0 6	190	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-1000-40 0		±400	0.02~0.0 6	190	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-2000-10 0	2000	±100	0.02~0.0 6	260	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-2000-20 0		±200	0.02~0.0 6	260	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-2000-30 0		±300	0.02~0.0 6	260	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-2000-40 0		±400	0.02~0.0 6	260	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-3000-10 0	3000	±100	0.02~0.0 6	320	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-3000-20 0		±200	0.02~0.0 6	320	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-3000-30 0		±300	0.02~0.0 6	320	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-3000-40 0		±400	0.02~0.0 6	320	3000/4000/4500/5000/6000/75 00

0			6		00
FPS-II-4000-10 0	4000	±100	0.02~0.0 6	360	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-4000-20 0		±200	0.02~0.0 6	360	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-4000-30 0		±300	0.02~0.0 6	360	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-4000-40 0		±400	0.02~0.0 6	360	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-5000-10 0	5000	±100	0.02~0.0 6	400	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-5000-20 0		±200	0.02~0.0 6	400	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-5000-30 0		±300	0.02~0.0 6	400	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-5000-40 0		±400	0.02~0.0 6	400	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-6000-10 0	6000	±100	0.02~0.0 6	430	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-6000-20 0		±200	0.02~0.0 6	430	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-6000-30 0		±300	0.02~0.0 6	430	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-6000-40 0		±400	0.02~0.0 6	430	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-7000-10 0	7000	±100	0.02~0.0 6	470	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-7000-20 0		±200	0.02~0.0 6	470	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-7000-30 0		±300	0.02~0.0 6	470	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-7000-40 0		±400	0.02~0.0 6	470	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-8000-10 0	8000	±100	0.02~0.0 6	500	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-8000-20 0		±200	0.02~0.0 6	500	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-8000-30 0		±300	0.02~0.0 6	500	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-8000-40 0		±400	0.02~0.0 6	500	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-9000-10 0	9000	±100	0.02~0.0 6	530	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-9000-20		±200	0.02~0.0	530	3000/4000/4500/5000/6000/75

0			6		00
FPS-II-9000-30 0		±300	0.02~0.0 6	530	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-9000-40 0		±400	0.02~0.0 6	530	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-10000-1 00	10000	±100	0.02~0.0 6	550	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-10000-2 00		±200	0.02~0.0 6	550	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-10000-3 00		±300	0.02~0.0 6	550	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-10000-4 00		±400	0.02~0.0 6	550	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-12500-1 00	12500	±100	0.02~0.0 6	620	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-12500-2 00		±200	0.02~0.0 6	620	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-12500-3 00		±300	0.02~0.0 6	620	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-12500-4 00		±400	0.02~0.0 6	620	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-15000-1 00	15000	±100	0.02~0.0 6	670	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-15000-2 00		±200	0.02~0.0 6	670	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-15000-3 00		±300	0.02~0.0 6	670	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-15000-4 00		±400	0.02~0.0 6	670	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-17500-1 00	17500	±100	0.02~0.0 6	720	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-17500-2 00		±200	0.02~0.0 6	720	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-17500-3 00		±300	0.02~0.0 6	720	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-17500-4 00		±400	0.02~0.0 6	720	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-20000-1 00	20000	±100	0.02~0.0 6	770	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-20000-2 00		±200	0.02~0.0 6	770	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-20000-3 00		±300	0.02~0.0 6	770	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-20000-4 00		±400	0.02~0.0 6	770	3000/4000/4500/5000/6000/75 00

00			6		00
FPS-II-25000-1 00	25000	±100	0.02~0.0 6	870	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-25000-2 00		±200	0.02~0.0 6	870	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-25000-3 00		±300	0.02~0.0 6	870	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-25000-4 00		±400	0.02~0.0 6	870	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-30000-1 00	30000	±100	0.02~0.0 6	940	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-30000-2 00		±200	0.02~0.0 6	940	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-30000-3 00		±300	0.02~0.0 6	940	3000/4000/4500/5000/6000/75 00
FPS-II-30000-4 00		±400	0.02~0.0 6	940	3000/4000/4500/5000/6000/75 00

注释：以上摩擦系数是指在慢速 4mm/s 下测试的结果，150mm/s 时摩擦系数比 4mm/s 时摩擦系数约高出 25%以上。