### 

### 

山 西 省 工 程 建 设 地 方 标 准

建筑结构隔震及消能减震技术标准

### Technical standard for seismic isolation and energy dissipation of building structures

XXXXXXXXXXXXXXXXX

### 批准部门：山西省住房和城乡建设厅

### 主编单位：太原理工大学建筑设计研究院有限公司

山西省建筑设计研究院有限公司

### 施行日期： 2024 年 xx 月 xx 日

前言

根据山西省住房和城乡建设厅《关于印发2022年山西省工程建设地方标准（修）订计划的通知》（晋建科字[2022]第152号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.地震作用和作用效应计算；5.隔震建筑一般要求；6.隔震支座及隔震构造；7.隔震支座力学性能与检测；8.隔震部件安装施工、验收；9.后期维护；10.消能减震结构设计；11.消能器与结构的连接与构造；12.消能器的技术性能和检测；13.消能器施工、验收；14.消能器的维护。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，由太原理工大学建筑设计研究院有限公司负责技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送太原理工大学建筑设计研究院有限公司（地址：太原市迎泽西大街79号；邮编：032200）。

本标准主编单位：太原理工大学建筑设计研究院有限公司

山西省建筑设计研究院有限公司

本标准参编单位：华林中创建筑规划设计有限公司

太原市建筑设计研究院

浙江天铁实业股份有限公司

本标准主要起草人员：xxx

本标准主要审查人员：xxx

**目录**

[前言 2](#_Toc482)

[1 总则 4](#_Toc12481)

[2 术语和符号 5](#_Toc28430)

[2.1术语 5](#_Toc10145)

[2.2 符号 9](#_Toc26345)

[3 基本规定 12](#_Toc25531)

[4 地震作用和作用效应计算 14](#_Toc29507)

[4.1一般规定 14](#_Toc7042)

[4.2 水平地震作用计算 17](#_Toc20552)

[4.3竖向地震作用计算 18](#_Toc22393)

[4.4截面抗震验算 19](#_Toc17896)

[4.5抗震变形验算及水平加速度基本要求 19](#_Toc16323)

[5 隔震结构设计 21](#_Toc20265)

[5.1一般规定 21](#_Toc1219)

[5.2 隔震层上部结构设计 22](#_Toc24522)

[5.3 隔震层设计 23](#_Toc16853)

[5.4 隔震层下部结构设计 29](#_Toc10179)

[6 隔震支座及隔震构造 30](#_Toc3066)

[6.1 一般规定 30](#_Toc12269)

[6.2 隔离缝 30](#_Toc16892)

[6.3 穿越隔震层的固定设施和管线 32](#_Toc18275)

[6.4 伸缩缝 32](#_Toc23613)

[7 隔震支座力学性能与检测 34](#_Toc20143)

[7.1 一般规定 34](#_Toc8269)

[7.2 支座力学性能 35](#_Toc20196)

[7.3 检验规则 37](#_Toc20399)

[7.4 检验判定 38](#_Toc9080)

[8 隔震部件安装施工、验收 39](#_Toc19661)

[8.1一般规定 39](#_Toc5886)

[8.2 施工 39](#_Toc16394)

[8.3 验收 42](#_Toc9991)

[9 后期维护 45](#_Toc27244)

[9.1 一般规定 45](#_Toc32079)

[9.2 维护 45](#_Toc4604)

[10消能减震结构设计 47](#_Toc21412)

[10.1 一般规定 47](#_Toc6293)

[10.2 消能器选择和布置原则 47](#_Toc20794)

[10.3 消能部件设计与减震效果评价 49](#_Toc20916)

[10.4 主体结构设计 51](#_Toc23792)

[11 消能器与结构的连接与构造 53](#_Toc4231)

[11.1 一般规定 53](#_Toc7265)

[11.2 预埋件计算 53](#_Toc20904)

[11.3 支撑和支墩、剪力墙计算 53](#_Toc19203)

[11.4 构造要求 54](#_Toc26705)

[12 消能器的技术性能和检测 58](#_Toc23344)

[12.1 一般规定 58](#_Toc3368)

[12.2 消能器技术性能 58](#_Toc666)

[12.3 检验规则及判定 73](#_Toc9573)

[13 消能器施工、验收 76](#_Toc4870)

[13.1 一般规定 76](#_Toc27773)

[13.2 进场验收及施工 76](#_Toc4324)

[13.3 质量验收 80](#_Toc5611)

[14 消能器的维护 85](#_Toc23821)

[14.1 一般规定 85](#_Toc23715)

[14.2 维护 85](#_Toc21212)

[15 设防烈度地震设计要求 87](#_Toc26357)

[附录 A 消能构件减震设计要点 91](#_Toc1787)

[附录B 粘滞消能器性能检测 91](#_Toc3829)

[附录C 金属消能器、BRB与消能构件性能检验 94](#_Toc20420)

[附录 D 安装金属消能器结构等效 98](#_Toc31815)

[附录E 建议标准化消能器产品规格型号及性能参数 103](#_Toc6618)

[附录F 检验项目 112](#_Toc300)

[附录 G 隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求 119](#_Toc20608)

[附录 H 复振型影响系数计算公式 123](#_Toc28403)

[附录 J 隔震支座连接设计 125](#_Toc19532)

[附录K 检验项目 130](#_Toc31854)

[附录 L 隔震支座规格及性能参数 134](#_Toc23426)

[附录 M 摩擦摆隔震支座规格及性能参数 137](#_Toc8859)

[附录N 隔震工程专用标识 139](#_Toc26754)

[条文说明 149](#_Toc21110)

# 1 总则

**1.0.1** 为了贯彻执行国家的技术经济政策及有关建筑工程防震减灾的法律法规，提高山西省建设工程抗震防灾能力，使建筑物采用减隔震技术后，提高建筑安全性、防灾韧性及经济合理性，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于山西省采用减隔震技术的建筑工程，抗震设防烈度为 6～8 度地区新建、扩建、改建建筑减隔震的设计、施工、验收和维护。

**1.0.3** 消能减震、隔震建筑结构设计、施工、验收和维护除应符合本标准要求外，尚应符合国家、行业和本省现行有关标准的规定。

1.0.4 当位于高烈度设防地区和地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。其基本设防目标是：当遭受相当于本地区基本烈度的设防地震时，主体结构基本不受损坏或不需修理即可继续使用；当遭受罕遇地震时，结构可能发生损坏，经修复后可继续使用；特殊设防类建筑遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

当其他房屋建筑采用隔震减震等技术时，该类建筑的基本设防目标应满足下列要求：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；当遭遇高于本地区设防烈度的罕遇地震时，建筑物不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

# 2 术语和符号

## 2.1术语

### **2.1.1** 隔震建筑 isolated building

为降低地震响应，在结构中设置隔震层而实现隔震功能的建筑，包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

### **2.1.2** 隔震层 seismic isolation interface

隔震建筑设置在基础、底部或下部结构与上部结构之间的全部部件的总称，包括隔震支座、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等。

### **2.1.3** 隔震层下部结构 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。

### **2.1.4** 基底隔震 base isolation

隔震层设置在建筑物底部的隔震体系。

### **2.1.5** 层间隔震 inter-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。

### **2.1.6** 屋盖隔震 roof isolation

隔震层设置在建筑物柱顶或墙顶与顶层屋盖之间的隔震体系。

### **2.1.7** 隔震支座 seismic isolator

隔震层用于承载上部结构，并具有隔震变形能力的支座。

### **2.1.8** 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人能量而使隔震层振动位移反应衰减的装置。

### **2.1.9** 隔震结构抗风装置 wind-resistant device of the isolated structure

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。

### **2.1.10** 隔震结构抗拉装置 tension-resistant device of the isolated structure

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。

### **2.1.11** 隔震结构限位装置 stopperoftheisoIatedstructure

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。

### **2.1.12** 底部剪力比 base shear ratio

设防地震作用下建筑结构隔震后与隔震前上部结构底部剪力之比值。

### **2.1.13** 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。

### **2.1.14**隔震结构等效阻尼比 equivalent damping ratio of the isolated structure

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

### **2.1.15**极罕遇地震 very rare earthquake

在设计基准期内年超越概率为10-4的地震动。

### **2.1.16**天然橡胶隔震支座（LNR）linear natural rubber bearing

支座中的弹性材料为天然橡胶的橡胶隔震支座。

### **2.1.17**铅芯橡胶隔震支座（LRB）lead rubber bearing

支座中含有铅芯的橡胶隔震支座。

### **2.1.18**高阻尼橡胶隔震支座（HDR）high damping rubber bearing

支座中的弹性材料为高阻尼橡胶的橡胶隔震支座。

### **2.1.19**弹性滑板隔震支座（ESB）elastic slide bearing

由弹性材料与摩擦滑板组成的隔震支座。

### **2.1.20**支座摩阻力 frictional resistance

弹性滑板隔震支座和摩擦摆隔震支座的摩擦阻力。

### **2.1.21**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。

### **2.1.22**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。

### **2.1.23** 消能器 energy dissipation device

消能器是通过内部材料或构件的摩擦、弹塑性滞回变形或黏（弹）性滞回变形来耗散或吸收能量的装置。包括位移相关型消能器、速度相关型消能器和复合型消能器。

### **2.1.24** 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。

### **2.1.25** 消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

### **2.1.26** 消能子结构 energy dissipation sub-structure

与消能部件直接相连的构件组成的子结构，包括梁、柱、抗震墙及节点。

### **2.1.27** 位移相关型消能器 displacement dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移相关的消能器，如金属消能器、摩擦消能器和屈曲约束支撑等。

### **2.1.28** 速度相关型消能器 velocity dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

### **2.1.29** 复合型消能器 composite energy dissipator

耗能能力与消能器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。

### **2.1.30** 金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料元件或构件制成，利用金属元件或构件屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

### **2.1.31** 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产生相对位移时摩擦做功而耗散能量的减震装置。

### **2.1.32** 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

由核心单元、外约束单元等组成，利用核心单元产生弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

### **2.1.33** 黏滞消能器 viscous energy dissipation device

由缸体、活塞、黏滞材料等部分组成，利用黏滞材料运动时产生黏滞阻尼耗散能量的减震装置。

### **2.1.34** 黏滞消能墙 viscous damping wall

黏滞阻尼墙是一种由钢板在封闭的高黏度阻尼液（高分子聚合物）中运动，使阻尼液产生剪切变形而产生黏滞阻尼力的阻尼器。

### **2.1.35** 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。

### **2.1.36**调谐质量阻尼器 Tune Mass Damper（TMD）

由质量块、弹性元件等组成，可配置阻尼单元，将其振动频率调整至主结构频率附近，工作时与主结构形成反向振动，从而达到减震（振）作用。

### **2.1.37** 设计工作年限 design service life

在正常使用和维护情况下，不丧失有效使用功能的期限。

### **2.1.38** 附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

### **2.1.39** 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

### **2.1.40** 消能器设计位移 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，对于需要进行极罕遇地震验算的结构，应取极罕遇地震作用计算结果。

### **2.1.41** 消能器设计速度 design velocity 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速度值，对于需要进行极罕遇地震验算的结构，应取极罕遇地震作用计算结果。

### **2.1.42** 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。

### **2.1.43** 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。

### **2.1.44**近似计算模型 approximate calculation model

采用等效阻尼比、等效刚度进行线性计算的模型。

### **2.1.45**屈服位移Yield displacement

消能器首次进入屈服时所对应的轴向位移。

### **2.1.46**极限承载力Ultimate bearing capacity

消能器能够承受的最大轴向力，当消能器承受的轴力超过该值后认为消能器失效。对应于消能器极限位移的承载力。

### **2.1.47**型式检验 type testing

制造厂为了取得特定规格和型号消能器产品的生产资格，委托具有相应资质的第三方检测机构进行的产品性能及相关性的检验。

### **2.1.48** 出厂检验 delivery testing

消能器制造厂的质检部门或具有相应消能器检测资质的检测机构进行的检验。

### **2.1.49** 见证检验 evidential testing

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

## 2.2 符号

### **2.2.1** 作用和作用效应

 ——j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

、、 ——j 振型 i 层的 x 方向、y 方向和转角方向的水平地震作用标准值；

——结构总竖向地震作用标准值；

——质点 i 的竖向地震作用标准值；

——第 j 层的重力荷载代表值；

R ——构件承载力设计值；

S ——作用组合的效应设计值；

——地震组合的效应标准值；

、——第 i、j 振型水平地震作用的效应；

、——x 向、y 向单向水平地震作用的效应；

——永久荷载标准值的效应；

——楼面活荷载标准值的效应；

——风荷载标准值的效应；

、 ——水平、竖向地震作用标准值的效应；

——重力荷载代表值的效应。

### **2.2.2** 结构参数

### T ——减震结构自振周期；

### 、 ——弹性、弹塑性层间位移角限值；

### ——标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；

### ——标准值产生的楼层内最大的弹塑性层间位移；

### ——消能减震主体结构的固有模态阻尼比；

### ——地震总输入能；

### ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能；

### ——消能减震结构的附加有效阻尼比；

### ——消能减震结构附加有效阻力比时程的最大值；

### ζ ——消能减震结构总阻尼比；

### 、——j 振型 i 层在 x 方向、y 方向的水平相对位移；

### ——j 振型与 k 振型的自振周期比；

### ——j 振型 i 层的相对扭转转角；

### ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力。

### **2.2.3** 计算系数

### ——地震影响系数；

### ——水平地震影响系数最大值；

### ——竖向地震影响系数最大值；

### ——j 振型周期的地震影响系数；

### ——直线下降段的下降斜率调整系数；

### ——阻尼调整系数

### ——第 j 振型水平地震作用效应的非比例阻尼影响参数；

### ——i 层的转动半径；

### γ ——曲线下降段衰减指数；

### ——j 振型的参与系数；

### ——水平地震作用分项系数；

### ——计入扭转的 j 振型的参与系数；

### ——构件承载力抗震调整系数；

### ——永久荷载分项系数；

### ——楼面活荷载分项系数；

### ——风荷载的分项系数；

### ——考虑结构设计工作年限荷载调整系数；

### ——结构重要性系数；

### ——j 振型与 k 振型的耦联系数；

### ——水平地震剪力系数；

### ——楼面活荷载组合值系数；

### ——风荷载组合值系数。

### **2.2.4** 消能器参数

### ——第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力；

### ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度；

### ——阻尼指数的函数；

### ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角；

### ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；

### ——第 j 个消能器两端的相对水平位移；

### ——第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移Δuj时的面积；

### ——第 j 个由试验确定的线性阻尼系数；

### ——消能器的线性阻尼系数；

### ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度；

### ——黏弹性材料允许的最大剪切应变；

### ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

### ——沿消能方向消能器的最大可能的位移；

### ——消能器的线性阻尼系数；

### ——消能减震结构消能器累积耗能时程；

### ——消能减震结构附加有效阻力比时程的最大值；

### ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移下循环一周消耗的能量；

### ——消能器总耗能。

# 3 基本规定

**3.1.1** 减隔震建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223和《建筑与市政工程抗震通用规范》GB55002-2021确定其抗震设防类别。

**3.1.2** 建筑结构的减隔震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、设防烈度、工程空间尺度、场地条件、地基条件、结构类型和不规则性、建筑使用功能和附属设施功能的要求、投资大小、震后损失和修复难易程度等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

**3.1.3** 减隔震建筑结构适用的最大高度和高宽比与同类型的抗震结构要求一致。当高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 规定时，应专门研究和论证，并采取有效安全措施。

**3.1.4** 减震隔震装置的设计工作年限不应低于建筑结构的设计工作年限。

**3.1.5** 减隔震建筑应符合下列规定：

1 隔震装置和消能器的性能参数应经试验确定；

2 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，保证隔震层在罕遇地震作用下的弹性复位能力；

3 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；

4 隔震建筑应具有足够的抗倾覆能力，高层建筑尚应进行罕遇地震下整体抗倾覆承载力验算；

5 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，确保性能满足要求；

6 隔震支座的力学分析模型宜符合本规程附录 F 的规定。

**3.1.6** 减隔震建筑的场地宜选择对抗震有利地段，避开不利地段，当无法避开时应采取有效的措施。不应选择危险地段。当场地为IV类时，应采取有效措施。减隔震建筑的地基应稳定可靠。

**3.1.7** 隔震建筑地基基础的抗震措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定。对重点设防类建筑的地基抗液化措施，应按提高一个液化等级确定；对特殊设防类建筑的地基抗液化措施应进行专门研究，且不应低于重点设防类建筑的相应要求，直至全部消除液化沉陷。

**3.1.8** 对特殊设防类建筑、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验证。大型和高层隔减震建筑，宜按规定设置建筑结构的地震反应观测系统，建筑设计应预留观测仪器和线路的位置及空间。

**3.1.9**  建筑减隔震工程施工应结合设计图纸，建立健全质量管理制度以及各环节的检验要求。

**3.1.10**  减隔震结构采用抗震性能化设计时，性能目标可以根据需要选定针对整个结构、结构的局部部位或关键部位、重要构件和消能部件等的性能目标。减隔震建筑的非结构构件和附属设备的使用功能有专门要求时，除满足结构构件抗震设防目标外，尚应满足非结构构件和附属设备的抗震性能设防要求。

3.1.11 对处于发震断裂两侧10km以内的结构，地震动参数应计入近场影响，5km以内宜乘以增大系数1.5，5km以外宜乘以不小于1.25的增大系数。

# 4 地震作用和作用效应计算

## 4.1一般规定

**4.1.1** 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，应采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

4 大跨度、长悬臂结构，7度（0.15g）、8度抗震设计时应计入竖向地震作用。

5 对平面投影尺寸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。

**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配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 |
| 其他民用建筑 | 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。

**4.1.3** 根据主体结构的工作状态，减隔震结构的地震作用效应计算应采用下列方法：

1 计算模型宜采用空间结构有限元模型，应包括消能部件、隔震支座的力学参数，力学模型应与产品试验结果相符；

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

3 当主体结构处于弹性工作状态，且消能器、隔震支座处于非线性工作状态时，可将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，应采用静力非线性分析方法或非线性时程分析方法。

**4.1.4**  结构采用振型分解反应谱法分析时，宜采用时程分析法进行多遇地震下的补充计算。当取三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；当取七组及其以上的时程曲线时，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** 结构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，其中实际强震记录数量不应少于总数的2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，其地震加速度时程的最大值可按表4.1.5采用。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算主体结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应普法计算结果的80%。

表 4.1.5 时程分析所用地震加速度时程曲线的最大值（cm/s2)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地震影响 | 6度 | 7度 | | 8度 | |
| 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g |
| 多遇地震 | 18 | 35 | 55 | 70 | 110 |
| 设防地震 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| 罕遇地震 | 125 | 220 | 310 | 400 | 510 |

4.1.6 地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数，按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (2016版）第5.1.5的规定执行。

**4.1.7** 地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定，阻尼比5%的水平地震影响系数最大值应按表4.1.7-1采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表4.1.7-2采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加0.05s，周期大于6.0s的结构所采用的地震影响系数应专门研究。

表4.1.7-1 水平地震影响系数最大值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地震影响 | 6度 | 7度 | | 8度 | |
| 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g |
| 多遇地震 | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.24 |
| 设防地震 | 0.12 | 0.23 | 0.34 | 0.45 | 0.68 |
| 罕遇地震 | 0.28 | 0.50 | 0.72 | 0.90 | 1.20 |

表4.1.7-2 特征周期（s）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计地震分组 | 场地类别 | | | | |
| Ⅰ0 | Ⅰ1 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 第一组 | 0.20 | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 0.65 |
| 第二组 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.55 | 0.75 |
| 第三组 | 0.30 | 0.35 | 0.45 | 0.65 | 0.90 |

**4.1.8** 结构的变形验算应符合下列规定：

1 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。

2 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。

**4.1.9** 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减震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。

**4.1.10** 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隔震一体化模型进行隔震层以上的多遇地 震作用计算；分析时应采用振型分解反应谱法或时程分析法，当隔震层阻尼比较大时，也可按照附录 G 采用复振型分解反应谱法。橡胶隔震支座性能参数取水平剪切应变为 100%时的性能参数，其他隔震装置的性能参数可采用等效线性化方法迭代确定；

2 隔震后的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

α max1 = α max / Ψ

（4. 1.10）

式中：α 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，按本规程 4.1.7 条取值；

Ψ ——考虑隔震支座剪切性能偏差的调整系数。一般橡胶隔震支座取 0.80；当橡胶 隔震支座剪切性能2偏差为 S-A 类时， 取 0.85；橡胶隔震支座带有阻尼器时， 相应减少 0.05。

**4.1.11**建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备等要求详相关资料。

## 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，按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (2016版）第5.2..2条的规定计算地震作用和作用效应。

4.2.2 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震效应按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (2016版）第5.2..3条的规定执行。

**4.2.3**  抗震验算时，当遭受不低于本地区抗震设防烈度的多遇地震和设防地震作用计算时结构任一楼层的水平剪力应满足下式要求：

（4.2.3）

式中：——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力；

——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；

Gj ——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 | 6度 | 7度 | 8度 |
| 扭转效应明显或基本周期小于3.5s的结构 | 0.008 | 0.016（0.024） | 0.032（0.048） |
| 基本周期大于 5.0s的结构 | 0.006 | 0.012（0.018） | 0.024（0.036） |

注: 1 基本周期介于3.5s和5s之间的结构，按插入法取值。

2 括号内数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.3g的地区。

**4.2.4** 结构的楼层水平地震剪力，应按下列原则分配：

1 现浇和装配整体式混凝土楼（屋）盖等刚性楼（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）盖等半刚性楼（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 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的有关规定对本条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**  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4.3.1采用。

表 4.3.1 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: 括号内数值用于设计基本地震加速度为0.3g的地区。特殊类型的大跨结构竖向地震作用取值应专门研究。

**4.3.2** 长悬臂和不属于本规范4.3.1条的大跨度结构的竖向地震作用标准值，8度时可分别取该结构、构件重力荷表值的10%，设计基本地震加速度为0.3g时可取该结构、重力荷载代表值的15%。

**4.3.3** 隔震结构隔震层以上结构的竖向地震作用标准值，8 度（0.2g）及 8 度（0.3g）时分别不应小于隔震层以上结构总重力代表值的20%和30%。

**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法计算。其竖向地震影响系数最大值可按水平地震影响系数最大值的65%采用，但特征周期可按设计第一组采用。

**4.3.5**  大跨度、长悬臂结构或构件的竖向地震作用标准值，不宜小于结构或构件承受的重力荷载代表值与表4.3.5所规定的竖向地震作用系数的乘积。

表 4.3.5 竖向地震作用系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 设防烈度 | 7度 | 8度 | |
| 设计基本地震加速度 | 0.15g | 0.20g | 0.30g |
| 竖向地震作用系数 | 0.08 | 0.10 | 0.15 |

## 4.4截面抗震验算

4.4.1 结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合应按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (2016版）第5.4.1条的规定执行。

4.4.2 结构中的截面抗震验算应按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (2016版）第5.4.2条的规定执行。

**4.4.3** 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应采用 1.0。

## 4.5抗震变形验算及水平加速度基本要求

**4.5.1**  表4.5.1所列各类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式下要求:

Δue < [θe ]h (4.5.1)



式中:—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，各作用分项系数均应采用1.0；钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度。

[θe ]—— 弹性层间位移角限值。

—— 计算楼层层高。

消能减震结构和隔震上部结构，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150m～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 多遇地震下消能减震结构和隔震上部结构弹性层间位移角限值

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | [θe] |
| 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 |
| 钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层 | 1/1000 |
| 多、高层钢结构 | 1/250 |

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

Δup < [θp ]h （4.5.2）

式中：[θp ] ——弹塑性层间位移角限值，可按表 4.5.2 采用；

h——计算楼层层高。

表4.5.2 消能减震及隔震上部结构罕遇地震下弹塑性层间位移角限值[θp ]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构类型 | 隔震层上部结构 | 消能减震结构 |
| 钢筋混凝土框架 | 1/ 120 | 1/80 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、板柱-抗震墙、框架-核心筒 | 1/200 | 1/ 120 |
| 钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层 | 1/250 | 1/ 150 |
| 多、高层钢结构 | 1/ 100 | 1/50 |

**4.5.3** 隔震结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值，除应符合本规程第 4.5.2 条的 规定外，对于隔震层下部结构尚应符合表 4.5.3 的规定。

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 | [θp] |
| 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-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/ 100 |

# 5 隔震结构设计

## 5.1一般规定

**5.1.1** 体型复杂的建筑应选用符合实际的结构计算模型进行计算分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取相应的加强措施。

**5.1.2** 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，为保护隔震支座避免因竖向变形而发生损伤破坏，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。

**5.1.3** 大底盘顶隔震时， 应采用带底盘模型进行整体隔震分析和构件设计。

**5.1.4** 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。

**5.1.5** 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。

**5.1.6**  橡胶隔震支座受拉刚度宜取其受压刚度的 1/ 10~ 1/ 15。

**5.1.7** 结构隔震设计的计算分析，应符合下列规定：

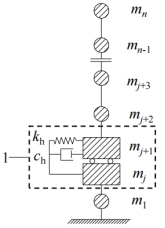
1 隔震体系的计算力学模型，由隔震支座及其顶部梁板组成的隔震层应作为独立质点； 对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型（图 5.1.7）。隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心的偏心率不宜大于 3%，当偏心率大于 3%时，应计入扭转效应的影响。隔震层顶部的梁板结构，应作为其上部结构的一部分进行计算；

2 除砌体隔震结构外，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、 不规则的隔震建筑或隔震层包含隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合隔震建筑，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，且满足本规程第 3.1.6 条相关要求时，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》GB 50011 对砌体结构的要求采取抗震构造措施。



**图 5.1.7 隔震结构计算简图**

1— 隔震层

## 5.2 隔震层上部结构设计

**5.2.1** 上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 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；

2 计算托墙梁的地震组合弯矩时，由竖向荷载产生的弯矩 可按下列方法确定:

1）当上部砖墙不超过 4层时，墙体自重及其承担的重力全部计入。

2）当上部砖墙超过 4层且在跨中 1/2区段的墙体仅有一个洞口时，墙体自重及其承担的重力可仅取 4层计入。

3）8度且水平剪力比不大于0.25时，上部结构应考虑竖向地震作用进行抗震验算；8度且水平剪力比大于0.25并小于0.5时，宜考虑竖向地震作用进行抗震验算。

3 考虑竖向地震作用时，结构总竖向地震作用标准值，8度时可取上部结构总重力荷载代表值的 20%。

4 对砌体结构，在墙体截面抗震验算时，其砌体抗震抗剪强 度的正应力影响系数可按减去竖向地震作用效应后的平均压应力取值。

**5.2.2**  上部结构的抗震措施， 可按水平向剪力比及相应的抗震设防烈度确定； 除应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应设防烈度的规定外，尚应符合下列规定：

1 隔震结构水平向剪力比大于 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》GB 50011 的规定；

2 隔震结构水平向剪力比不大于 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。

注：对于多层结构，水平向剪力比为设防地震作用下计算所得的隔震与非隔震各层层剪力的最大比值。对高层结构，尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并与层剪力的最大比值相比较，取二者的较大值。

**5.2.3** 隔震结构各楼层的水平地震剪力应满足本规程 4.2 节的相关要求。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以满足最小剪力系数的要求。

**5.2.4** 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，对应不同烈度地震作用时的隔震层水平位移值计算，可按对应不同烈度地震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。

## 5.3 隔震层设计

**5.3.1**  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，宜保持受压状态；

3 隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比可分别按式（5.3.1-1）和式（5.3.1-2）计算：

*K*h=Σ*Kj* （5.3.1-1）

ζeq=Σ*Kj*ζ*j* ***/*** *K*h （5.3.1-2）

式中：ζeq —— 隔震层等效黏滞阻尼比；

*K*h —— 隔震层水平等效刚度；

ζ*j* ——第*j*  个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；

*Kj* ——第*j* 个隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

4 隔震支座由试验确定设计参数时， 竖向荷载应保持本规程表 5.3.4-1 和 5.3.4-2 的压应力限值；对水平向剪力比计算，应取剪切变形 100％的等效刚度和等效黏滞阻尼比；对罕遇地震验算，宜采用剪切变形 250％时的等效刚度和等效黏滞阻尼比，当隔震支座直径较大时可采用剪切变形 100％时的等效刚度和等效黏滞阻尼比。当采用弹塑性时程分析时， 应以试验所得滞回曲线作为计算依据；

**5.3.2** 隔震层的布置应符合下列规定：

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支座共同工作，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消能器时，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。

**5.3.3** 隔震层的受压承载力验算应符合下列规定：

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。

**5.3.4** 隔震支座的压应力和徐变性能应符合下列规定：

1 橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下，竖向压应力限值应满足表5.3.4-1 的要求；

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 5.3.4-2 的要求，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 5.3.4-2的要求；

4 在建筑设计工作年限内，隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的±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 5.3.4- 3 所规定的限值。

表5.3.4-1 橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下

不同S1值的压应力限值（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 |
| S1≥30 | 10 | 12 | 15 |
| 30＞S1≥25 | 8 | 10 | 12.5 |
| 25＞S1≥20 | 6 | 8 | 10 |

注：1 对于橡胶隔震支座，当第二形状系数大于 5 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 5.3.4-1 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 对于橡胶隔震支座，当第二形状系数（有效直径与橡胶层总厚度之比）小于 5 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5.3.4-2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 |
| 弹性滑板支座 | 12 | 15 | 20 |
| 摩擦摆隔震支座 | 20 | 25 | 30 |

表5.3.4-3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 |

**5.3.5**  罕遇地震作用下隔震支座的水平位移，宜采用振型分解反应谱法结合迭代的方法或时程分析法，对隔震体系进行整体分析，确定不同设防地震作用下隔震层位移幅值。

**5.3.6** 隔震支座在地震作用下的水平位移，应符合下式规定：

*ui <* [*ui*] （5.3.6）

式中：*ui* ——第*i* 个隔震支座考虑扭转的水平位移（mm）；

[*ui* ] ——第i 个隔震支座的水平位移限值（mm），除特殊规定外，在罕遇地震作用下，橡胶隔震支座的[*ui* ]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[*ui* ] 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[ui] 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.85 倍。

**5.3.7** 抗风装置应按下式进行验算：

*γ*w *V*wk < *V*Rw （5.3.7）

式中： *VRw* —— 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。

**5.3.8** 隔震结构抗倾覆验算应满足下列要求：

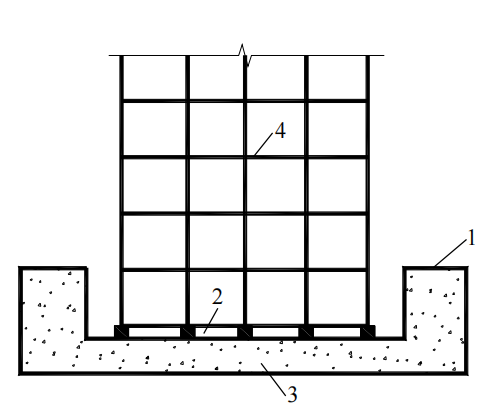
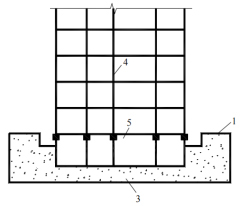
1 隔震结构抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座抗压承载力验算；

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，并应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；

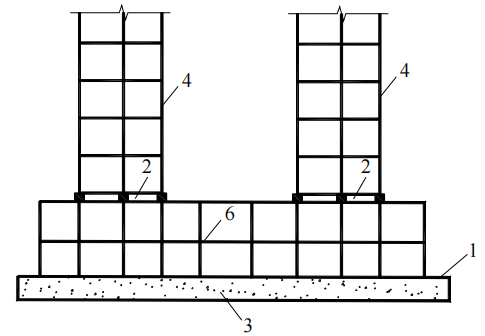
3 隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，最大拉、压应力应符合本规程第 5.3.1和 5.3.4 条的规定。

4 上部结构传递到隔震支座的重力代表值应考虑倾覆力矩所引起的增加值。

**5.3.9** 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（图 5.3.9）。



（a）基础隔震示意图 （b）地下室顶板隔震示意图



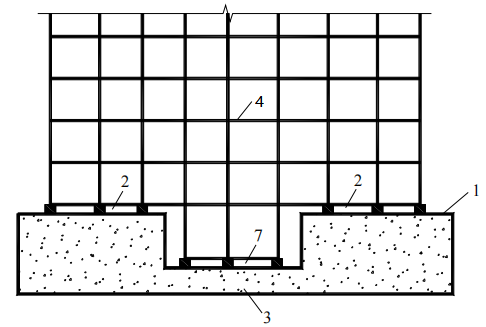
（c）层间隔震示意图 （d）跨层隔震示意图

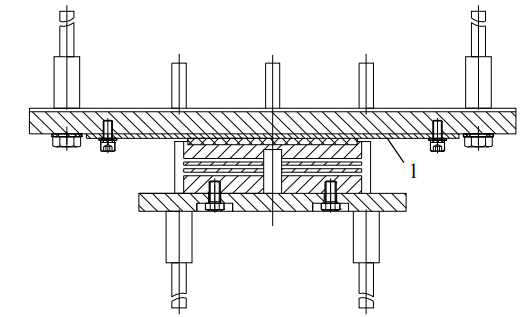
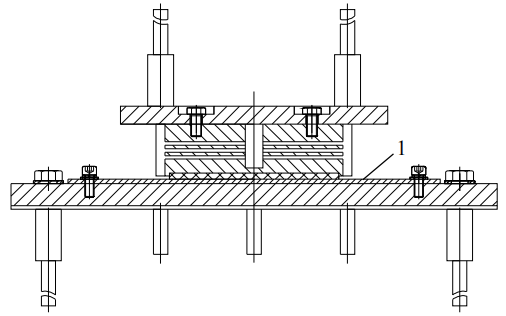
图5.3.9 隔震层位置示意

1—室外地坪；2—隔震层；3—基础； 4—上部结构；

5—地下室兼隔震层；6—隔震层下部结构； 7—局部下沉隔震层

5.3.10 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沿正交方向双向设置，且宜采用速度指数较大的消能器。

5.3.11 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（图 5.3.12）。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。



（a）滑动面上置式 （b）滑动面下置式

图5.3.12 弹性滑板支座滑动面示意

1—滑动面

**5.3.12**  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。

**5.3.13** 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，应满足本标准的相关要求。

**5.3.14**  隔震层的顶部应设置梁板式楼盖，且符合下列规定：

1 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；

2 应采用现浇或装配整体式混凝土板，现浇板的厚度不应小于160mm；整体装配式混凝土板，总厚度不应小于180mm，配筋现浇面层不应小于 100mm；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%；

3 隔震支座附近的梁、柱应计算剪切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

**5.3.15** 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，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中钢筋锚固的相关规定。

**5.3.16** 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接，宜按本规程附录 H进行设计；应使隔震支座在达到极限破坏状态时仍不产生连接的破坏。

**5.3.17** 连接螺栓和预埋件的详细计算应符合本规程附录 H.0.3 和 H.0.4的规定。

**5.3.18** 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。

## 5.4 隔震层下部结构设计

**5.4.1** 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。

**5.4.2** 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，并应按抗剪弹性、抗弯不屈服进行计算，宜按本规程附录 H 进行验算。

# 6 隔震支座及隔震构造

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 隔震结构宜采用的隔震支座类型，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）、建筑隔震弹性滑板支座（ESB）、建筑摩擦摆隔震支座（FPS）以及其他隔震支座。隔震支座标准化产品规格和参数可参照附录 K 和附录 L 采用。

**6.1.2**  隔震层设计时，隔震支座应符合下列要求：

1 隔震支座的力学分析模型宜按附录F确定。

2 隔震支座的性能参数及滞回曲线应由所用产品的试验确定。

3 隔震支座的设置部位，除按计算确定外，尚应考虑便于检查和替换，并设置必要的照明、通风等设施。

4 设计文件上应注明对支座的性能要求，支座安装前应具有符合设计要求的型式检验报告、出厂检验报告及见证检验报告。

**6.1.3** 隔震支座整体设计工作年限不应低于隔震结构的设计工作年限，且不宜低于50年。

**6.1.4** 隔震层设置在有耐火要求的使用空间时，隔震支座及其连接应根据使用空间的耐火等级采取相应的防火措施，且耐火极限不应低于与其连接的竖向构件的耐火极限。

**6.1.5**  隔震层设计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。特殊设防类隔震建筑考虑极罕遇地震作用时，可采用相应的限位措施进行限位保护。

**6.1.6** 除特殊规定外，各类型隔震支座及隔震构造尚应符合现行国家标准《橡胶支座第1部分:隔震橡胶支座试验方法》（GB 20688.1）、《橡胶支座第3部分:建筑隔震橡胶支座》（GB 20688.3）、《橡胶支座第5部分:建筑隔震弹性滑板支座》（GB 2068.5）、《建筑摩擦摆隔震支座》（GB/T 37358）的相关规定。

**6.1.7** 隔震层位于地下室和半地下室时，其防水等级应根据使用功能确定，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它防水措施。

## 6.2 隔离缝

**6.2.1** 上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的竖向隔离缝， 隔离缝宽度不应小于隔震支座在罕遇地震下最大水平位移的1.2倍，且不应小于 300mm。对相邻隔震结构之间的隔离缝，缝宽取最大水平位移值之和，且不小于600mm。对特殊设防类建筑，隔离缝宽度尚不应小于隔震支座在极罕遇地震下的最大水平位移。

**6.2.2** 上部结构与下部结构或室外地面之间应设置完全贯通的水平隔离缝，水平隔离缝高度不宜小于50mm，并应采用柔性材料填塞，进行密封处理。

**6.2.3**  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，有防水要求的水平隔离缝，防水材料应采用柔性材料，并预留伸缩量。有防火要求时，其封堵材料应满足相应部位的耐火极限要求。

**6.2.4** 采用悬吊式方案穿越隔震层的电梯井，在电梯井底部可设置隔震支座，也可直接悬空，电梯井与下部结构之间的隔离缝宽度不应小于所在结构与周围固定物的隔离缝宽度，且不宜小于800mm。支承式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于1000mm。

**6.2.5** 一般情况下，隔离缝顶部、悬吊式电梯井出入口与下部结构之间，应设置滑动盖板，滑动盖板的设计滑动距离应满足罕遇地震作用下的滑动要求。

**6.2.6** 隔震建筑周圈的隔离缝应采取可靠措施防止雨水侵入隔震层。

**6.2.7** 隔离缝不应存在任何阻碍上部结构自由运动的杂物，对隔离缝进行遮挡和覆盖时，隔离缝盖板不应阻碍隔震建筑在地震时发生水平位移。隔离缝盖板应采用坚固耐用、防滑材料制作，并满足相关通行要求。

**6.2.8**  隔离缝盖板构造细部应满足以下要求：

1 地震工况下移动变形要求。特殊部位（如转角、隔离缝侧壁变标高部位）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承载力和温度变形要求。

**6.2.9** 隔震建筑的人员和车辆主要出入口部位，如设置可移动隔离缝盖板，应采取防滑落和复位措施，保证通行功能不中断。

**6.2.10** 对高度大于 24m 的相邻隔震结构，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（图 5.2.5）。当结构外侧沿竖向平齐时， 上部结构 缝宽度不小于 d1+d2+c1+c2。

*d*1 *c*1 *c*2 *d*2

图**5.2.5** 相邻隔震结构缝宽示意

*d*1(*d*2)—相邻两结构隔震层最大水平位移

*c*1(*c*2)—相邻两结构上部对应标高的最大水平位移

## 6.3 穿越隔震层的固定设施和管线

6.3.1 穿越隔震层的管道和管线，在隔震层处应采用柔性措施，其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度的 1.4 倍。

**6.3.2** 隔震建筑的机电工程柔性连接应满足下列要求：

1 对地震时要求正常使用的建筑，机电工程柔性连接的设计应满足建筑的罕遇地震标准；

2 对其他建筑中在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柔性连接的设计应满足建筑的罕遇地震标准；其余机电系统柔性连接的设计应满足建筑的设防地震标准。

**6.3.3** 设备管道穿越隔震层时应设置能满足隔震层相应水平位移要求的柔性管材，柔性连接部件应采用成熟产品，且应满足正常使用要求，设置位置应考虑方便检修与更换。建筑隔震柔性管道的具体要求、试验方法、检验规则等应满足《建筑隔震柔性管道》JG/T 541的相关要求。

**6.3.4** 穿越隔震层的楼梯、扶手、门厅入口、踏步、电梯、地下室坡道、车道入口及其他固定设施，应避免地震作用下可能的阻挡和碰撞，在适当部位采取断开或可变形的构造措施。

**6.3.5** 基底隔震时，隔震层内应预留集水坑，其数量不应少于两处，其间距不宜大于200m。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。

## 6.4 伸缩缝

**6.4.1** 隔震建筑上部结构设置的伸缩缝，其间距可比现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 或现行《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定适当延长，但必须经过详细计算确定；缝宽应符合现行国家标准的相关规定，且不应小于罕遇地震或极罕遇地震作用下缝两侧结构最大相对位移的 1.2 倍。

**6.4.2** 当伸缩缝贯穿隔震层顶板及上部结构各层楼板，使上部结构分为多个独立的隔震结构时，伸缩缝应按相邻隔震结构的隔离缝考虑；当采用大底盘隔震，伸缩缝不贯穿隔震层顶板时，上部结构可按《建筑抗震设计规范》GB 50011相关要求设置结构缝。

# 7 隔震支座力学性能与检测

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 隔震支座的技术性能和试验应符合本章的相关规定，并应符合国家现行相关标准的规定。

**7.1.2** 各类隔震支座的产品性能必须经检验合格，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和竖向变形性能。

2 竖向极限压应力和竖向极限拉应力。

3 水平位移为 0.55 倍有效直径时的极限压应力应满足以下要求， 当 S2＞5 时， 不应小于 30MPa；当 4＜S2≤5 时， 不应小于 25MPa；当 3＜S2≤4 时， 不应小于 20MPa。

4 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为100%和250%时的等效水平刚度和等效阻尼比。

5 在轴压应力设计值作用下的水平极限变形能力。

6 耐久性能，包括老化性能、徐变性能和疲劳性能。

7 其他相关性能，包括在不同竖向轴压应力、水平剪切应变、水平加载频率、环境温度下的水平刚度和阻尼比的变化率。

8 耐火性能以及有特殊要求的性能，如抗腐蚀性、耐水性等。

**7.1.3**  对铅芯橡胶支座、 高阻尼橡胶支座，除应满足本规程第 7.1.1 和 7.1.2 条的要求外， 尚应提供在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。

**7.1.4**  对于橡胶隔震支座，支座的压应力破坏极限值不应 小于 90Mpa，隔震支座的拉应力屈服极限值不应小于 1.5Mpa，极限轴拉应力不应小于 4.0MPa。

**7.1.5** 隔震支座的产品性能型式检验和产品性能出厂检验不能互相代替。

**7.1.6**  检验不合格的产品及检验后性能发生变化不能满足正常使用要求的产品，不得在工程中使用。

**7.1.7** 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、 出厂检验及见证检验， 应符合国家现行相关标准的规定，检验确定的产品性能应满足设计要求。

## 7.2 支座力学性能

橡胶隔震支座

**7.2.1**  第一形状系数分为无开孔支座和开孔支座两种情况，别按下列公式计算：

1）无开孔支座的按式（7.2.1-1）和式（7.2.1-2）计算：

圆形支座： （7.2.1-1）

方形支座： （7.2.1-2）

式中：——内部钢板的外部直径（mm）；

——单层橡胶层的厚度（mm）；

——方形支座内部橡胶的边长（mm）。

2）开孔支座的按式（7.2.1-3）和式（7.2.1-4）计算：

圆形支座： 7.2.1-3）

方形支座： （7.2.1-4）

式中：——内部钢板的开孔直径（mm）。

若孔洞灌满橡胶或铅，则按无开孔支座考虑。

**7.2.2** 第二形状系数按式（7.2.2-1）和式（7.2.2-2）计算：

圆形支座： （7.2.2-1）

方形支座： （7.2.2-2）

式中：——内部橡胶总厚度（mm）。

**7.2.3** 橡胶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、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国家现行标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。

**7.2.4** 橡胶隔震支座的外观要求、允许偏差和检验规则等应符合国家现行标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118 的规定。

弹性滑板隔震支座

**7.2.5** 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》GB 20688.5的规定。

**7.2.6** 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。

**7.2.7** 滑板支座设计要求应符合下列规定：

1 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%。

2 在重力荷载代表值作用下滑板支座设计压应力应不超过25MPa。罕遇地震荷载作用下瞬时面压应不超过50MPa。

3 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，第一形状系数不宜小于30，第二形状系数不应小于7。

**7.2.8**  弹性滑板支座的外观要求，允许偏差和检验规则等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。

摩擦摆隔震支座

**7.2.9**  摩擦摆隔震支座按滑动摩擦面结构形式，可分为单主滑动摩擦面型、双主滑动摩擦面型两类。

**7.2.10** 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。

**7.2.11**  摩擦摆隔震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符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的规定。

**7.2.12** 摩擦摆隔震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参数的计算方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 附录A的规定。

**7.2.13** 摩擦摆隔震支座用摩擦材料、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/T 37358的规定。

**7.2.14** 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/T 37358的规定。

**7.2.15**  摩擦摆隔震支座的外观要求，允许偏差和检验规则等应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的规定。

## 7.3 检验规则

**7.3.1** 隔震支座应进行型式检验、出厂检验和见证检验。隔震装置检测机构与所检测建设工程相关的建设、施工、监理单位，以及隔震装置供应单位不得有隶属关系或者其他利害关系。隔震装置检测机构及其工作人员不得推荐或者监制隔震装置。

**7.3.2** 型式检验应符合下列规定：

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

2 满足下列全部条件的，可采用以前相应的型式检验结果：

a）支座用相同的材料配方和工艺方法制作；

b）相应的外部和内部尺寸相差10%以内；

c）第二形状系数相差±0.4以内；

d）第二形状系数小于5，以前的极限性能和压应力相关性试验试件的不大于本次试验试件的；

e）以前的试验条件更严格。

3 隔震支座产品有下列情况之一时，应进行型式检验：

a）新产品的试制、定型、鉴定；

b）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；

c）正常生产时，每4年检验一次；

d）停产1年以上恢复生产时。

**7.3.3**  隔震支座在安装前应进行出厂检验，并符合下列规定：

1 建设单位应委托具备相应资质的第三方检测机构进行隔震减震装置检测，检测项目和数量应符合抽样检验要求。非建设单位委托的检测机构出具的检测报告不得作为工程质量验收依据；

2 特殊设防类、重点设防类建筑，每种规格产品抽样数量应为100%；标准设防类建筑，每种规格产品抽检数量不应少于总数的50%，有不合格试件时，应100%检测；

3 每项工程抽样总数不应少于20件，每种规格的产品抽样数量不应少于4件，当产品少于4件时，应全部进行检测。

**7.3.4** 隔震支座在安装前应进行见证检验，并符合下列规定：

1 同一产品供应商、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检验，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检验；当该类型规格支座数量少于3个时，应全部进行隔震支座压缩性能和剪切性能检验，并取1个先进行0.55D剪切性能检验然后进行水平极限剪切性能检验；

2 对于特殊设防类和重点设防类，不同型号的橡胶隔震支座水平极限剪应变不应小于450%；

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

## 7.4 检验判定

**7.4.1** 当全部型式检验项目均合格时，判定型式检验合格；当检验结果有不合格项目时，则判定型式检验不合格。

**7.4.2** 当全部出厂检验项目均符合要求时，判定该产品合格；出厂检验若有一件抽样试件的一项性能不合格，则该次抽样检验不合格，出厂时应剔除不合格产品，不合格产品不得出厂。

**7.4.3**  检测机构应对抽样样品先进行竖向压缩性能和剪切性能检验，合格后进行水平极限性能检测，产品水平极限性能检测后不得再应用于工程项目。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。

**7.4.4** 橡胶隔震支座的产品性能应符合国家现行标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118规定。

**7.4.5** 弹性滑板支座的产品性能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规定。

**7.4.6** 摩擦摆隔震支座的产品性能应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的规定。

**7.4.7** 检验项目应按附录J执行。

# 8 隔震部件安装施工、验收

## 8.1一般规定

**8.1.1** 施工现场应具有健全的质量管理体系、相应的施工技术标准、施工质量检验制度和综合施工质量水平评定考核制度。施工现场质量管理应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

**8.1.2** 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。

**8.1.3**  隔震建筑施工前应编制专项施工方案，应包括项目概况、施工主要依据、施工方法、施工设备及材料、施工人员组织安排、施工质量保证措施和施工进度计划、隔震支座的变形监测以及应急预案等。

**8.1.4**  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，并应形成记录，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。

## 8.2 施工

**8.2.1** 隔震支座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并具备下列质量证明文件：

1 原材料检测报告；

2 连接件检测报告；

3 产品合格证；

4 出厂检验报告；

5 型式检验报告；

6 其他必要证明文件。

**8.2.2** 隔震支座应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。隔震支座应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，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。

**8.2.3**  应对建筑隔震工程的支座、阻尼器及其连接件等进行进场验收，可按现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ360中的附录B记录。

**8.2.4** 上下支墩预埋锚固套筒外观质量和尺寸偏差检查应符合现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T-163 的有关规定；

**8.2.5** 定位板、下连接件定位与固定符合以下规定：

1 橡胶隔震支座下连接件安装前，应对连接件的位置进行测量定位，定位板上宜画出中心线；

2下支墩（柱）钢筋绑扎过程中应确定连接套筒、锚筋或锚杆的位置，不应相互阻挡；

3 在下支墩（柱）定位板、连接件安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位，连接套筒应紧贴定位板；

4 定位板、下连接件预埋就位后，应校核其标高、平面位置、水平度，并应符合本标准和设计要求；

5 定位板、下连接件应牢靠固定；

6 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。

**8.2.6** 下支墩（柱）混凝土浇筑应符合下列规定：

1下支墩（柱）混凝土浇筑前，应对下支墩（柱）定位板、连接件进行隐蔽工程验收，并应复核标高、平面位置、水平度；

2 浇筑下支墩（柱）混凝土时，应加强施工管理，避免扰动定位板、连接件，确保定位板、连接件位置准确；

3 混凝土初凝前，应对定位板的平面位置、标高、水平度进行复测并记录，且不应发生移动和错位；

4 下支墩（柱）混凝土浇筑时，应采取必要措施保证定位板下混凝土密实；

5 下支墩（柱）浇筑采取灌浆料填充法时，除灌浆料和灌浆工艺应符合现行《水泥基灌浆材料应用技术规范》 GB/T 50448和《水泥基灌浆材料》 JC/T 986 的规定外，应按下列规定进行施工：

1）为使定位板底面与下支墩（柱）混凝土顶面密贴，以均匀传递荷载，宜在定位板与下支墩（柱）混凝土顶面之间留出 30~50mm 的空隙，并宜采用灌浆料填充；

2）灌浆材料宜选用流动性好的高强微膨胀灌浆料，强度等级宜比下支墩（柱）原设计强度等级提高一级；

3）正式灌浆前宜进行填充性确认试验，并对试验结果进行评估，根据试验结果确定灌浆工艺，编写灌浆施工方案。

6 下支墩（柱）浇筑采取混凝土浇筑法时应按下列规定进行施工：

1）下支墩混凝土浇筑时宜使混凝土溢出定位板浇筑孔和排气孔 5mm~10mm，混凝土初凝后、终凝前取出定位板。取板前应将高出下支墩（柱）顶设计标高的多余混凝土铲出，并在混凝土终凝前采用原浆对下支墩（柱）顶混凝土表面进行抹面处理，确保混凝土完成面密实、平整、光滑；

2）用大流动性混凝土进行浇筑时，应保证定位板下不出现集中空隙，且填充率达到90%（空隙总面积与定位板面积之比）以上，浇筑前宜先开展填充性确认试验。大流动性混凝土的浇筑高度不宜超过500mm，否则宜采用灌浆料填充法。

**8.2.7**  隔震支座安装应符合下列规定：

1 隔震支座安装时，下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计强度的75%；

2 隔震支座安装前，下支墩（柱）顶面应清理干净，并测量其顶面水平度、中心标高、平面中心位置，偏差应符合表8.2.7 的要求；

3 安装前应对支座进行检查，确保连接板漆面完整；橡胶隔震支座就位后，应对称拧紧连接螺栓；隔震子分部工程验收前，应对螺栓进行逐个检查，避免出现松动；

4 支座吊装过程中，应注意保护橡胶隔震支座；

5 支座安装完成后，应检查支座平面中心位置、顶面中心标高、顶面水平度，其偏差应符合表 8.2.7 的规定；

表8.2.7 支座安装位置的允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 支座类别 | 检验项目 | | 允许偏差 | 检验方法 |
| 橡胶隔震支座 | 支座中心标高和多支座顶面高差 | | ±3mm | 用水准仪、钢尺测量 |
| 支座水平位置偏差 | | ±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 | 8‰ | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| 弹性滑板支座 | 橡胶支座部分 | 中心标高 | ±5mm | 用全站仪、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 | 用全站仪、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 | 用全站仪、钢尺测量 |
| 摩擦摆隔震支座 | 支座标高 | | ±3mm | 用水准仪、钢尺测量 |
| 支座水平位置偏差 | | ±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 | 8‰ | 用水准仪、千分塞尺测量 |

**8.2.8** 上部结构施工应符合下列规定：

1 支座上连接板安装后，将连接套筒、锚筋或锚杆就位，应校准其位置、标高等。上连接件与隔震支座固定后方可进行上部结构施工；

2 上部结构施工过程中，应采取有效措施以保护隔震支座。模板拆除后，应对连接板破损漆面进行修补；

3 对单层面积较大或长度超过100m的支座相邻上部混凝土结构、大跨度的钢结构或设计有特殊要求的，应制定专项施工方案，不应产生过大的温度变形和混凝土干缩变形；

4 当支座相邻上部结构为钢结构和钢骨结构时，应对全部支座采取临时固定措施。

**8.2.9** 隔震构造措施隔震层构配件及隔离逢施工应符合设计要求。

## 8.3 验收

**8.3.1** 检验批质量验收合格应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验应合格。

2 一般项目的质量经抽样检验应合格；当采用计数检验时，对应于合格质量水平的错判概率不宜超过5%，漏判概率不宜超过10%。

3 应具有完整的施工操作依据、质量检查记录及质量证明文件。

**8.3.2** 橡胶隔震支座安装质量符合下列规定：

Ⅰ 主控项目

1）隔震支座型号﹑数量、安装位置应符合设计要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

2）定位板、下支墩、隔震支座顶面的水平度，连接螺栓处、下支墩顶面中心、隔震支座顶面中心的标高均应符合设计规定。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查和检查隐蔽工程验收记录。

3）支座下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计要求。

抽检数量：全数检查。

检验方法：试件强度试验报告。

Ⅱ 一般项目

1）连接件、下支墩、隔震支座平面中心位置应符合设计规定。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查和检查隐蔽工程验收记录。

2）连接板漆面完整性和橡胶保护胶完整性应符合设计规定。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查﹑检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

**8.3.3**  隔震层构配件及隔离缝施工质量符合规定：

Ⅰ 主控项目

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

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查，检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

2 当利用构件钢筋作避雷引下线时，在隔离缝处应采用柔性导线连接，并应对该处的隔震支座进行专门的防火处理。

抽检数量：全数检查。

检验方法：实测检查，检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

3 有毒、有害，易燃﹑易爆等介质管道穿越隔离缝的构造，应严格按设计要求进行施工。

抽检数量：全数检验。

检验方法：观察和实测检查。

4 穿过隔震层的竖向通道，包括楼梯、电梯、管井等在隔离缝处的构造应符合设计要求。

抽检数量：全数检验。

检验方法：观察和实测检查。

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

抽检数量：全数检验。

检验方法：观察和实测检查。

6 水平隔离缝、竖向隔离缝的封闭处理应符合设计要求。

抽检数量：全数检验。

检验方法：观察和实测检查。

**8.3.4** 隔震子分部工程质量验收时，应提供下列文件和记录：

1 工程相关设计文件及设计变更文件；

2 支座及相关材料质量合格证明文件、中文标识、性能检测报告和复检报告；

3 性能质量检验和抽样检测结果应符合相关规定；

4 观感质量验收应符合规定。

# 9 后期维护

## 9.1 一般规定

**9.1.1** 隔震层应设置进人检查口，进人检查口的尺寸应便于人员进入，且满足运输橡胶隔震支座、连接部件及其它施工器械的要求。

**9.1.2**  隔震建筑应设置标识，并应标明其功能特殊性、使用及维护注意事项。

## 9.2 维护

**9.2.1** 隔震建筑的标识设置范围和内容应符合下列规定：

1 门厅入口处应标明隔震建筑，并应简单阐述隔震原理、房屋使用者注意问题，同时给出主要建筑结构平面图﹑剖面图、隔震层布置图、隔震缝布置图以及隔震产品描述等。

2 水平隔震缝处应标明此处为上部结构与下部结构完全分开的水平缝。

3 建筑物周围的竖向隔震缝（又称隔离缝）处应标明地震时此处为建筑物的移动空间，并应在其范围内设置标线或警示线。

**9.2.2** 隔震建筑工程竣工验收前，应提交由支座和阻尼器生产厂家、设计等单位编写的使用维护手册及维护管理计划；隔震建筑的维护检查可分为常规检查，定期检查，应急检查。

**9.2.3** 隔震建筑工程除对建筑常规维护项目进行检验、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、隔震缝、柔性连接；检查方法应按本标准第8.3节的相关规定执行。

**9.2.4** 常规检查应每年进行1次，可采用观察方式进行检查。

**9.2.5** 定期检查应为竣工后的3年、5年、10年，10年以后每10年进行1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。定期检查项目见表9.2.5。

表9.2.5 定期检查项目

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 检查项目 | | 检查方法 | 管理目标 |
| 隔震层、建筑物外围 | 建筑物 | 周边环境 | 确保净空间距 | 目测、确认 | 移动范围内无障碍物 |
| 隔震构件管线 | 周边状况 | 障碍物 | 目测、确认 | 移动范围内无障碍物 |
| 可燃物 | 目测、确认 | 无可燃物 |
| 排水条件 | 目测、确认 | 排水状况良好 |
| 液体泄漏 | 目测 | 无异常 |
| 隔震部件 | 橡胶隔震支座 | 橡胶保护层外观 | 变色 | 目测 | 无异常、无异物 |
| 损伤 | 目测 | 无损伤 |
| 钢材部位状况 | 锈蚀 | 目测 | 无浮锈、无锈迹 |
| 安装部位 | 目测 | 螺栓、铆钉无松动 |
| 设备管线柔性连接 | 设备管线 | 柔性连接 | 渗漏、更换 | 确认 | 不增加、更换 |
| 电气线路 | 变形吸收部位 | 增加、更换 | 确认 | 不增加、更换 |

**9.2.6** 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。

**9.2.7** 对于文物保护、重点设防类建筑采用隔震技术进行改造提高其抗震性能的工程，隔震设计前宜对既有建筑进行动力特性测试，实测的固有周期和模态阻尼可作为隔震分析的技术参数供参考；竣工后宜在合适部位设立长期的动态观测点。

# 10消能减震结构设计

## 10.1 一般规定

**10.1.1**  消能减震结构设计应保证主体结构符合现行《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。

**10.1.2** 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。

**10.1.3** 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。

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

**10.1.5**  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。

**10.1.6**  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。

**10.1.7**  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。

**10.1.8**  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、结构弹性（消能器线性或非线性）时程分析法、静力弹塑性分析法和弹塑性时程分析法。

## 10.2 消能器选择和布置原则

**10.2.1** 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,根据消能减震结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求、建筑使用要求、方便安装等因素选择合适类型的消能器。

**10.2.2**  设计文件中应注明消能器的性能参数、检查和维护要求。

**10.2.3**  消能器选择应符合下列规定:

1 消能器应具备良好的变形能力和消耗地震能量的能力,位移型消能器的极限位移能力应大于消能器设计位移的120%,速度相关型消能器极限速度能力应大于消能器设计速度的120%。

2 在多遇地震及50年一遇标准风荷载作用下,各类消能器工作状态按表 10.2.3规定控制。

3 消能型屈曲约束支撑和屈曲约束支撑型消能器应满足位移相关型消能器性能要求。

4 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

表10.2.3 各类消能器在多遇地震及50年一遇标准风荷载作用下

工作状态控制

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 消能器类型 | 多遇地震 | 50年一遇标准风荷载 |
| 金属屈服型 A、B、C类 | 可以考虑发挥耗能作用 | 位移不大于初始屈服位移 |
| 金属屈服型 D、E类  （含 BRB） | 位移不大于初始屈服位移 |  |
| 速度相关型 | 可以考虑发挥耗能作用 |  |

**10.2.4**  消能器在结构中的布置应遵循 “均匀、分散、对称、周边”的原则，且数量及分布密度应合理。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或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。

6 消能部件的设置位置及连接构造宜便于检查、维护和更换。

**10.2.5** 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耗能与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积的弹性能的比值宜接近。

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耗能与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积的弹性能的比值宜接近。

3采用黏弹性消能器时，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%。

## 10.3 消能部件设计与减震效果评价

**10.3.1**  消能器与斜撑、支墩等附属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式（10.3.1-1）和式（10.3.1-2） 规定：

**** （10.3.1-1）

**** （10.3.1-2）

式中: —— 支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

—— 消能器的初始刚度；

—— 设计位移对应的损失刚度（有效刚度），即设计阻尼力与设计位移之比。

**10.3.2** 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《建筑消能减震技术规程》式（6.3.1-1）的规定。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合《建筑消能减震技术规程》式（6.3.1-2）的规定。

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《建筑消能减震技术规程》式（6.3.1-3）规定。

**10.3.3** 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以下两种方法估算。

1）方法 l

 (10.3.3-1)

式中: —— 消能减震结构的附加有效阻尼比;

——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);

——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能(kN ·m);

m—— 消能部件的总个数;

——有效阻尼比折减系数，一般取 0.7。

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《建筑消能减震技术规程》式（6.3.2-2）执行。

非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按《建筑消能减震技术规程》式（6.3.2-4）估算。

表 10.3.3 值

|  |  |
| --- | --- |
| 阻尼指数α | 值 |
| 0.25 | 3.7 |
| 0.5 | 3.5 |
| 0.75 | 3.3 |
| l | 3.l |

注:其他阻尼指数对应的值可线性插值。

2）方法 2

 （11.3.3-5）

式中: ——— 消能减震主体结构的固有模态阻尼比；

——— 消能减震结构消能器累积耗能时程；

——— 消能减震主体结构固有模态阻尼累积耗能时程；

———消能减震结构附加有效阻力比时程的最大值，宜在输入时程峰值较大的有效持续时间段内选取，即在时程增长激烈的时段内考察；

———有效阻尼比折减系数，一般取0.9

3 应用式（10.3.3-1）或式（10.3.3-5）估算消能部件附加给结构的有效阻尼比时，宜选用能考虑消能器非线性特征的逐步积分法，瑞利阻尼的质量和刚度比例系数选取涉及的频率区间，应包含对响应有贡献的大部分频率。

**10.3.4**  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。

**10.3.5** 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，应采用符合本标准第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标准第4.1.4条的规定。

**10.3.6** 采用静力非线性分析方法时，计算模型中消能器宜采用本标准第12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较，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

**10.3.7** 消能减震结构在多遇、设防和罕遇地震作用下的附加有效阻尼比应分别计算。采用振型分解反应谱法计算主体结构构件截面验算地震作用效应时，宜取多遇地震作用下的附加有效阻尼比。该计算值超过25%时，宜按25%取用。

## 10.4 主体结构设计

**10.4.1** 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设防地震时的等效刚度，主体结构的附加阻尼比宜选取设防地震激励下有效计算值。非消能子结构构件的截面验算，应依据按本标准第4章的相关内力组合公式计算。**10.4.2** 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。

2 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。

3 消能部件的节点和构件应进行消能器极限抗力作用下的截面验算。

4 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。

**10.4.3** 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不大于本标准表4.5.1的规定。

2 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值应不大于本标准表4.5.3的规定。

**10.4.4** 消能部件设计宜符合下列规定：

1 位移相关型消能部件附加给主体结构的有效刚度可采用等价线性化方法初步确定。

2 屈曲约束支撑参数设计应考虑节点区域变形的影响。

3 设置于外墙的消能部件应在围护墙体内；当消能部件与内墙处于同一平面时，应采取有效措施确保消能器及其支承构件在地震作用下的变形不受阻碍。

4 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，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。

5 当消能器的轴心与结构构件的轴线有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响。

6 与消能器直接相连的预埋件、支撑和支墩及节点板等其他构件的作用力取值应为消能器在设计位移或设计速度下对应阻尼力的1.2倍。

**10.4.5** 主体结构中的构造措施应符合下列规定：

1 抗震等级应按现行《建筑抗震设计规范》（GB 50011－2010）规定取值。

2 当整体抗震性能明显提高时，其抗震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据主体结构罕遇地震下性能水准确定，当其位移角不大于中等损坏限值时，最大降低程度可达1度。

**10.4.6** 消能子结构的构造措施应符合下列要求：

1 按设防烈度提高1度实施。

2 消能部件子结构为混凝土或型钢混凝土构件，构件的箍筋加密区沿全长布置；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，应高于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010和《建筑抗震设计规范》GB 50011中框架柱的要求。

3 消能部件子结构为钢结构时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99中的中心支撑要求确定。

**10.4.7** 消能减震结构进行性能化抗震设计时，应结合建筑实际需求选择合适的性能水准和性能目标，性能目标与层间位移角对应关系见本标准的第4.6.4条。

# 11 消能器与结构的连接与构造

## 11.1 一般规定

**11.1.1**  消能器与主体结构的连接一般分为：支撑型、墙型、柱型、连梁型、门架型和腋撑型等，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。

**11.1.2** 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。

**11.1.3** 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《钢结构设计标准》GB 50017的规定。

**11.1.4** 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。

**11.1.5**  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。

**11.1.6** 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，应为消能器在设计位移或设计速度下对应阻尼力的1.2倍。

## 11.2 预埋件计算

**11.2.1** 应根据阻尼器受力特征进行预埋件截面计算，确定预埋件总截面面积。

**11.2.2** 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和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定，并根据实际受力情况适当加强。

**11.2.3** 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。

**11.2.4** 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。

**11.2.5** 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。

**11.2.6** 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按《建筑消能减震技术规程》第7.4.2条规定进行计算。

**11.2.7** 节点板在压力作用下的稳定性，应符合建筑消能减震技术规程》第7.4.3条规定。

**11.2.8** 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。

## 11.3 支撑和支墩、剪力墙计算

**11.3.1** 与消能器相连的支墩、剪力墙应按本规程第11.1.7条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

**11.3.2**  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预埋连接板连接中心处的距离。

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预埋连接板连接中心处的距离。

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。

**11.3.3** 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10.3.2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。

## 11.4 构造要求

**11.4.1** 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。

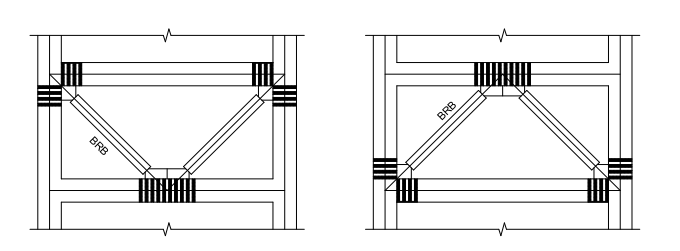
**11.4.2** 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中对中心支撑的规定。

**11.4.3** 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。

**11.4.4**  连梁阻尼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中型钢混凝土梁的规定。

**11.4.5** 消能器与结构连接钢构件应有可靠的防腐措施。

**11.4.6**  屈曲约束支撑的形心线与梁、柱形心线三者宜相交于一点。

**11.4.7** 屈曲约束支撑采用人字形或V字形的布置形式时，应采取合理的措施限制与支撑相连的梁的侧向变形和扭转变形。当与屈曲约束支撑相连的梁的侧向变形和扭转变形得不到限制时，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。

**11.4.8** 屈曲约束支撑连接示意如图11.4.8-1和图11.4.8-2所示。

图 11.4.8-1 混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

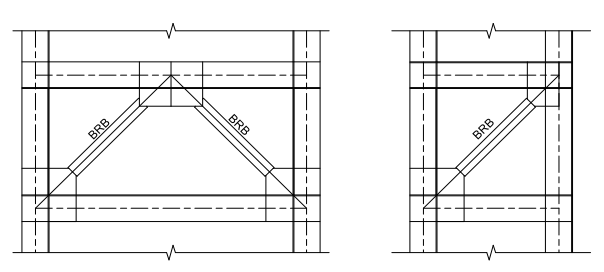
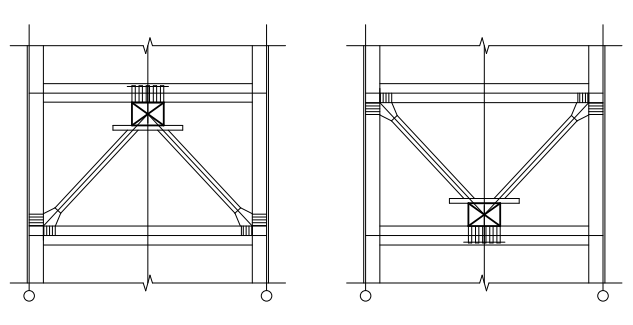


图 11.4.8-2 钢构件与屈曲约束支撑连接示意

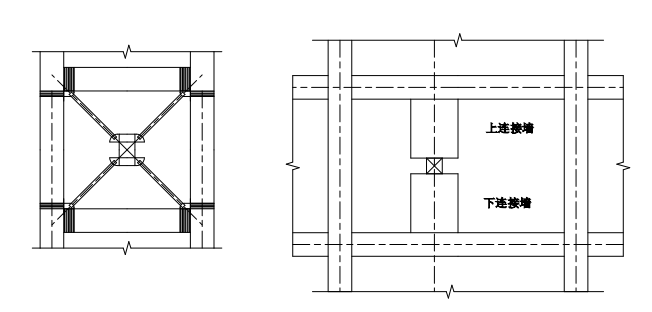
**11.4.9** 屈曲约束支撑的连接计算应取1.2倍设计屈曲约束支撑的极限承载力，核心单元连接段不应发生失稳，节点板和预埋件应处于弹性工作状态。

**11.4.10** 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。

**11.4.11** 金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，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。



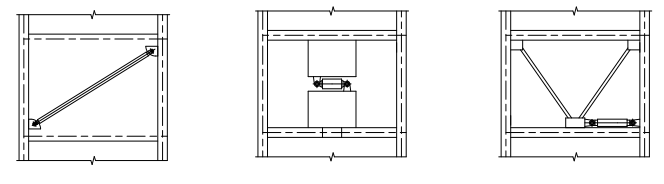
(a) 人字支撑式 (b) V 字支撑式



(c) X 字支撑式 (d) 墙式（混凝土、钢桁架）

图 11.4.14 阻尼器布置型式

**11.4.12**  黏滞消能器与主体的连接方式，其布置方式有支撑型，墙型，剪切连接型等多种型式。宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。采用墙型连接时，连接墙应设置暗梁暗柱，且锚筋宜在暗柱的内侧。



(a)支撑型 (b)墙型 (c)剪切连接型

图 11.4.15 消能器布置型式

**11.4.13** 粘滞阻尼墙与主体结构连接构造可按金属屈服型消能器的墙式连接构造要求。

# 12 消能器的技术性能和检测

## 12.1 一般规定

**12.1.1** 消能器产品说明书应标注产品设计工作年限，消能器的设计工作年限不宜小于建筑物的设计工作年限，当消能器设计工作年限小于建筑物的设计工作年限时，消能器达到工作年限应及时检测，重新确定消能器工作年限或更换。

**12.1.2**  消能器应具有良好的抗疲劳、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，不满足时应有保温、除湿、防紫外线、定期防锈等不影响消能器正常工作的各种措施。黏弹性消能器不得用于低于0 或高于40 温度的工作环境。

**12.1.3** 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、消能器需要考虑防腐、防锈和防火时，应外涂防腐、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、消能器的尺寸偏差及外观应符合本规程有关规定。

**12.1.4** 消能器性能应符合下列规定：

1、消能器在要求的性能检测试验工况下，试验的消能滞回环应平滑、无异常。

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。

**12.1.5** 消能器力学性能参数可参照本规程附录E确定。

**12.1.6** 消能器若采用销轴连接，其连接缝隙不宜大于 0.1mm，超过时应考虑缝隙对消能器性能的影响。

**12.1.7** 应用于消能减震结构中的消能器应符合下列规定：

1、应具有型式检验报告或产品合格证；

2、性能参数和数量应在设计文件中注明；

## 12.2 消能器技术性能

**12.2.1** 金属消能器与消能构件的外观应符合下列规定：

1、产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应有防锈措施，涂层应均匀；

2、消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷；

3、金属消能器尺寸偏差应为±2mm。

**12.2.2**　金属消能器与消能构件的材料应符合下列规定：

1、金属消能器与消能构件所用材料应根据设计需要进行选择，可采用钢材、铅等材料制作；

2、采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服强度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、金属消能器与消能构件中所用各种材料的材质化学成分及力学性能应符合国家相应的材性标准。

**12.2.3**　金属消能器基本力学性能，疲劳性能及测试方法应符合表 12.2.1.3 的规定

表12.2.3 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 | 每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值 的±15%以 内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的± 10%以内 | 试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为 0.1、0.30、0.5、0.8、1.0、1.2 ，每级加载 3 个循环。采用三角波或 正弦激励法。绘制阻尼力-位移滞回曲线 |
| 2 | 屈服位移 | 每个产品的屈服位移实测值偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 3 | 弹性刚度 | 每个产品的弹性刚度实测值偏差应在设计值的±15%以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 4 | 最大承载力 | 设计位移下对应的承载力，每个产品的最大承载力实测值偏差应在设计值的±15%以 内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 5 | 极限位移 | 实测值不应小于不应小于极限位移设计值 |
| 6 | 屈服后刚度 | 每个产品的屈服后刚度实测值偏差应在设计值的±15%以 内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 7 | 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实测值偏差应为产品设计值的士15%以 内 ；产品实测值偏差的平均值应为设计值的士10%以 内 |
| 疲劳 性能 | 1 | 阻尼力 | 任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小 阻尼力平均值的士15%以内 | 采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加 载，加载不少于30圈 ,当应用于地震时正常使用建筑时， 需在设计位移下进行两次连续往复加载，两 次加载均不少于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%以内；  2）实测产品在设计位移下，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、最小位移平均值的士15%以内 |
| 3 | 滞回曲线面积 | 任一个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土15%以内 |
| 注： 为消能器设计位移 | | | | |

**12.2.4** 金属消能器与消能构件的整体稳定和局部稳定应满足现行国家标准《钢结构设计标准》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。

**12.2.5** 屈曲约束支撑（简称“BRB”）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。

**12.2.6**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11.2.6的规定。

表11.2.6 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 | ±3mm |
| 支撑横截面有效尺寸 | ±2mm |

**12.2.7**　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强度低、高延伸率和屈服稳定的钢材。

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”字形、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为10mm～80mm。

**12.2.8** 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

**12.2.9** 屈曲约束支撑工作段、连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

**12.2.10** 屈曲约束支撑的钢材选用应符合现行国家标准《金属材料拉伸试验第部分：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，屈曲约束支撑中的填充材料抗压强度标准值不宜低于20MPa。

**12.2.11**屈曲约束支撑其力学性能应符合表12.2.11 的规定。

表12.2.11 屈曲约束支撑力学性能要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | | 项目 | 性能要求 | 测试方法 |
| 常规性能 | 1 | 屈服承载力 | 每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值的±15%以内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 | 试验采用位移控制加载制度，加载 位 移 分 别为0.1 、0.3、0.5、0.8、1.0、1.2，每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法 |
| 2 | 屈服位移 | 每个产品的屈服位移实测值允许偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 3 | 弹性刚度 | 每个产品的弹性刚度实测值偏差应在设计值的±15%以 内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 4 | 最大承载力 | 设计位移对应的荷载，每个产品的实测值允许偏差应  在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 5 | 极限位移 | 实测值不应小于设计位移的1.2倍 |
| 6 | 屈服后刚度 | 每个产品的屈服后刚度实测值偏差应在设计值的±15%以内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 7 | 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 |
| 8 | 拉压不平衡系数 | 设计位移下滞回曲线的拉压不平衡系数应小于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连续往复加载，加载不少于30圈，当应用于地震时正常使用建筑时,需在设计位 移下进行两次连续往复加载,两次加载均不少于30圈，两次加载间隔 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偏差应在所有循环的滞回曲 线面积平均值的±15%以内 |
| 注：为消能器设计位移 | | | | |

**12.2.12**　摩擦消能器的外观应符合下列规定：

1、摩擦消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀；

2、摩擦消能器尺寸偏差应满足表12.2.12的要求

表12.2.12 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 | ±2mm |
| 消能器总宽度 | ±2mm |
| 消能器总厚度 | ±2mm |

**12.2.13**　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，应具有稳定的摩擦系数，不应生锈，并应满足消能器预压力作用下的强度要求；

2、摩擦消能器的性能主要由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定，摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的10%；起滑摩擦力与滑动摩擦力之比不宜大于1.1。

3、摩擦消能器预压螺栓宜采用高强度螺栓，高强度螺栓的数量n可由式（12.2.3.2）确定，且不应少于2个：（不建议保留，属于产品设计问题，钢结构规范有相关内容）

** (12.2.3.2)

式中：**　　传力摩擦面数；

**　　摩擦面的抗滑移系数,可按表12.2.3.2-1采用；

**　　每个高强度螺栓的预拉力（kN），可按表12.2.3.2-2采用；

**　　摩擦消能器最大阻尼力（kN）。

表12.2.3.2-1 摩擦面的抗滑移系数值



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 连接处构件表面处理方法 | 构件的钢号 | | |
| Q235 | Q355 | Q390 |
| 喷砂（丸) | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| 喷砂（丸)后涂无机富锌漆 | 0.35 | 0.40 | 0.40 |
| 喷砂（丸)后生赤锈 | 0.45 | 0.50 | 0.50 |
| 钢丝刷消除浮锈或未经处理的干净轧制表面 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |

表12.2.3.2-2 每个高强度螺栓预拉力P值(kN)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 螺栓性能等级 | 螺栓规格 | | | | | |
| M16 | M20 | M22 | M24 | M27 | M30 |
| 8.8级 | 80 | 125 | 150 | 175 | 230 | 280 |
| 10.9级 | 100 | 155 | 190 | 225 | 290 | 355 |

4、摩擦消能器中采用的摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，不应生锈，并应满足消能器预压力作用下的强度要求；（合并至第一款）

5、摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

**12.2.14** 摩擦消能器基本力学性能和测试方法应符合表 11.2.14 的规定。

表12.2.3.3 摩擦消能器力学性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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在设计值的±15%以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 | 采用三角波或正 弦 激 励 法进行加载，设计位移u0下连续加载 3个循环，绘制阻尼力- 位移滞回曲线 |
| 2 | 起滑位移 | 每个产品起滑位移的实测值偏差应在设计值的±15%以内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 3 | 摩擦荷载 | 每个产品摩擦荷载的实测值偏差应在设计值的±15%以内； 实测 值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 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 偏差应在实测平均值的±15%以内 |
| 6 | 起滑阻尼力与摩擦荷载偏差 | 起滑阻尼力与摩擦荷载的偏差应在摩擦荷载的±15%以内 |
| 注：为消能器设计位移 | | | |

**12.2.15** 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12.2.15 的规定。

表12.2.15 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 | 老化前后摩擦荷载的变化率应在±15%以内 | 试件放入恒温干燥箱中，保持温度 80，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 | 任一个循环的最大、最小阻尼力 应在所有循环最大、最小阻尼力 平均值的±15%以内 | 采用三角波或正弦激励法在设计位移 下进行连续往复加载，加载不少于30 圈，当应用于地震时正常使用建筑时, 需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于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、最小阻尼力应在所有循环中 位移在零时的最大、最小阻尼力 平均值的±15%以内  2）任一个循环中阻尼力在零时的 最大、最小位移应在所有循环中 阻尼力在零时的最大、最小位移 平均值的±15%以内。 |
| 3 | 滞回曲线面 积 | 任一个循环的滞回曲线面积应在 所有循环的滞回曲线面积平均值 的±15%以内 |

**12.2.16** 摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、磨耗和锈蚀。

**12.2.17** 黏滞消能器是黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙的统称，其外观应符合表12.2.4.1的规定。

表12.2.17 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±2mm | 长度误差应为设计值±3mm；截面有效尺寸偏差应为产品设计值的±2mm |

**12.2.18**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。

12.2.19 黏滞消能器的基本力学性能和测试方法应符合表12.2.4.3的规定。

表12.2.19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 | 每个产品的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 | 每个产品的最大阻尼力实测值偏差 应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以 内 | 采用正弦激励法，输入位移，加载频率为 ，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 | 每个产品的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，输入位移来控制试验机的加载系统  b) 阻尼器的加载频率为 ，位移幅值  分别 取 0.1、0.2、0.5、0.7、1.0、1.2，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、极限速度，通过滞回曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；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 | 每个产品的阻尼系数实测值偏差应 在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内 |
| 5 | 阻尼指数 | 每个产品的阻尼指数实测值偏差应 在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内 |
| 6 | 初始刚度 | 每个产品的初始刚度实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差 的平均值应在设计值的±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在设  计值的±15%以内 |
| 注：为消能器设计位移，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。 | | | |

**12.2.20** 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12.2.4.4的规定。

表12.2.20 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 |
| 疲劳  性能 | 1 | 阻尼指数 | 每个产品阻尼指数的实测值偏差应在设计值的±15%以内 | 用正弦激励法，当主要用于地震响应控制时，输入位移，加载不少于30圈，当应用于地震时正常使用建筑时，需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于30圈，两次加载间隔不超过24h |
| 2 | 最大阻尼力 | 任一个循环的最大阻尼力实测值偏差应在设计值的15%以内，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、最小阻尼力实测值偏差应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%以内  2）任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移实测值偏差应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%以内 |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一个循环的滞回曲线面积偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差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% | 输入位移，连续加载60000个循环。绘制阻尼力-位移滞回曲线。密封良好，无漏油 |
| 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偏差应在设计值的±15%以内 |
| 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：为消能器设计位移，为消能减震结构第一阶自振频率，为风荷载下黏滞消能器可能达到的最大位移的1.2倍。风荷载测试仅适用于控制风荷载的黏滞消能器测试 | | | | |

**12.2.21**  黏滞消能器的其他性能要求应符合下列规定：

表12.2.21 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，测定产品为常温条件下，测试频率为0.4，0.7，1.0，1.3，1.6 |
| 温度相关性能 | 最大阻尼力 | 变化不大于±15% | 输入位移，试验温度为-20℃～40℃，每隔10℃记录消能器的最大阻尼力 |
| 注：为消能减震结构第一阶自振频率，为测试加载频率，为黏滞消能器设计位移 | | | |

1、黏滞消能器应进行慢速试验和1.5倍最大阻尼力的静力过载试验，在极限位移及过载作用下消能器不应出现渗漏、屈服或破损等现象。

2、黏滞消能器位于―20℃～40℃温度间，在1.0测试频率下，输入位移采用公式（11.2.4.5-1），每隔10℃记录消能器的最大阻尼力，其实测值偏差应为理论设计值的±15%以内。



 (12.2.4.5-1)

式中：--消能减震结构的第一自振频率（Hz）:

--黏滞消能器设计位移（mm）。

2、黏滞消能器在 =0.4、0.7、1.0、1.3、1.6测试频率下，输入位移采用公式（11.2.4.5-2），其最大阻尼力的实测值偏差应在理论设计值的±15%以内。



 (12.2.4.5-2)

式中：f --测试加载频率（Hz）。

**12.2.22** 黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦（Maxwe11）模型描述。产品性能指标中应给出初始刚度、阻尼系数、阻尼指数、最大阻尼力 。一般阻尼力的表达宜用式（12.2.22）。

 (12.2.22)

式中：——黏滞阻尼力（kN）；

——黏滞阻尼系数（kN/（mm/s））；

——黏滞消能器的运动杆相对速度（mm/s）；

——速度指数（0.1～1.0）；

——时间（s）。

**12.2.23**黏滞消能器火灾时应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行力学性能检测，其指标下降超过 15%时应进行更换。

**12.2.24**　黏弹性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，涂刷防锈涂料两次，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下列要求：

1）黏弹性消能器钢构件和黏弹性层长宽的尺寸允许偏差应为产品设计值的±2%；

2）黏弹性层厚度允许偏差应为产品设计值的±3%，不同地方厚度允许偏差应为士5%。

**12.2.25**　黏弹性材料性能要求应符合表12.2.25的规定。钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700中碳素结构钢或低合金钢的规定。

表12.2.25黏弹性材料性能要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 70×72h | 拉伸强度变化率/% | ≥-20 且≤20 |
| 扯断伸长变化率/% | ≥-20 且≤20 |
| (0~40)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 |

**12.2.26**黏弹性消能器的力学性能应符合表12.2.5.3 的规定：

表12.2.26 黏弹性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 | 阻尼系数 | 实测值偏差在产品设计值的±15%以内，实 测值 的偏差平 均值应在产品设计值 的±10%以 内 | 采用正弦激励法，输入位移 u=u1sin(2πf1t) 来 控制试验机的加载系统；消能器的加载频率为f1 ，位移幅值 u1 分别取 0.1u0 、0.2u0 、0.5u0 、0.7u0 、1.0u0 、1.2u0 ，每 |
| 2 | 阻尼指数 |
| 3 | 有效刚度 |
| 4 | 最大阻尼力 |
| 5 | 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在 对应工况理论计算值的±15%以内 | 个工况连续加载 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；输入位移 u=u0sin(2πft) ，检测频率f 为f1、2.0f1 、3.0f1 ，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络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值。 |
| 6 | 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=u1sin(2πf1t)；u1 依次取 1.1u0，1.2u0 ，1.3u0 ，1.4u0 ，1.5u0 ，工作频率f1 ，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 u1 作为计算极限应变的依据 |
| 注：u0 为消能器设计位移，f1 为消能减震结构第一阶自振频率 | | | |

**12.2.27**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11.2.27的规定：

表12.2.27黏弹性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 |
| 老 化  性 能 | 1 | 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11.2.5..3的规定进行力学性能试验 |
| 2 | 阻尼系数、阻尼指数 | 变化率在±15%以内 |
| 3 | 外观 | 目视无变化 |
| 疲 劳  性 能 | 4 | 变形 | 变化率在±15%以内 | 输入位移采用u=u0sin(2πf1t)， 采用位移控制进行连续往复 加载，加载不少于 30圈，当应用于地震时正常使用建筑时， 需在设计位移下进行两次连续往复加载，两次加载均不少于 30圈，两次加载间隔不超过 24h ，绘制阻尼力-位移滞回曲线 |
| 5 | 外观 | 目视无变化 |
| 6 | 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% |
| 7 | 滞回曲线 | 1）任一个循环中位移在 零时的最大、最小阻尼 力实测值偏差应在所有 循环中位移在零时的最 大、最小阻尼力平均值 的±15%以内；  2）任一个循环中阻尼力 在零时的最大、最小位 移实测值偏差应在所有 循环中阻尼力在零时的 最大、最小位移平均值 的±15%以内 |
| 8 | 滞回曲线面积 | 任一循环的滞回曲线面  积实测偏差应在所有循 环的滞回曲线面积平均 值的±15%以内 |
| 注：u0 为消能器设计位移，f1 为消能减震结构第一阶自振频率 | | | | |

**12.2.28** 黏弹性消能器的相关性应符合表12.2.5.5的规定

表12.2.28 黏弹性消能器相关性及测试方法要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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=u0sin(2πf1t) ，试验 温度为 0~40，每隔10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 | 变化率不超过±15% | 输入位移u=u1sin(2πft)，测定产品为常温条件下，测试频率为 0.85f1，1.0f1，1.1f1，1.2f1，输入位移幅值按公式 u1=u0f1/f 计算 |
| 注：u0 为消能器设计位移，f1 为消能减震结构第一阶自振频率，基准温度 23 | | | |

**12.2.29**  黏弹性消能器在火灾时应具有阻燃性，火灾后应对黏弹性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。

**12.2.30** 黏弹性消能器力学行为可采用开尔文（Kelvin）模型描述。

## 12.3 检验规则及判定

**12.3.1**  消能器产品检验分为型式检验、出厂检验和进场见证检验。

**12.3.2** 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规程要求的所有项目，各项指标应全部符合本规程和国家现行标准的相 关规定，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 因特殊需要而必须进行型式检验时。

6 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

**12.3.3**  消能器出厂检验由产品供应商自身完成；出厂检验内容对金属消能器为外观检验； 对黏滞消能器除外观检验外尚应包括常规力学性能和密闭性能检验；产品出厂受检率为100%。

**12.3.4** 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，并做永久性标识，并应由具有检测资质的第三方进行检验，尚应符合下列规定：

1、对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器、黏弹性消能器，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量的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。检测后的消能器不应用于主体结构。

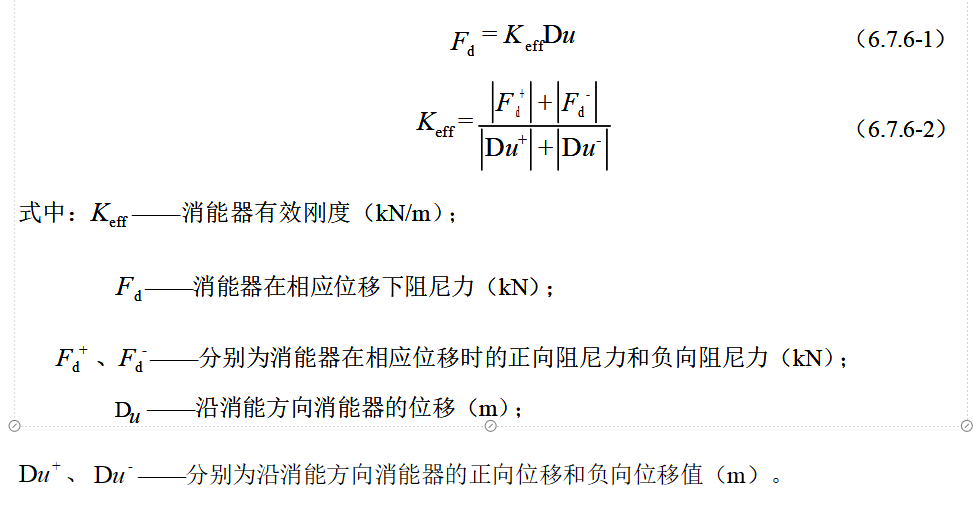
2、对黏滞消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的20％，且不应少于 2个。检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测合格后，消能器若无任何损伤、 基本力学性能仍满足正常使用要求时， 可用于主体结构，否则不得用于主体结构。

3、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主体结构中使用。

**12.3.5**　不同类型的消能器检验项目应按附录F执行.

**12.3.6**　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：



### 

### 

# 13 消能器施工、验收

## 13.1 一般规定

**13.1.1** 消能部件进场时，应进行进场验收，并经监理（建设）单位核准。

**13.1.2**  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。

**13.1.4**  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，并应符合以下规定：

1 分项工程可按消能器产品类别、消能器施工工艺进行划分；

2 检验批可按工程量、楼层、结构缝或施工段进行划分。

**13.1.5** 消能部件子分部工程项目的施工，宜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。

**13.1.6** 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两个阶段。

## 13.2 进场验收及施工

**13.2.1** 消能部件工程施工前，施工单位应根据设计文件和施工组织设计的要求，编制专项施工方案，并按规定进行报批。

**13.2.2** 消能部件进场应有型式检验、出厂检验及相关质量证明文件，并应按规定进行见证检验。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，应由第三方进行检验，见证检验的数量和项目应符合本规程第12.3节的有关规定。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

**13.2.3** 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。

**13.2.4** 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。

**13.2.5**  消能部件观感质量要求应符合表13.2.5规定，检查数量应为全数，检查方法可为观察。

表13.2.5 消能部件观感质量要求

|  |  |
| --- | --- |
| 消能器类型 | 质量要求 |
| 屈曲约束支撑 | 外观标记清晰，应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。 |
| 金属屈服型消能器 | 外观标记清晰，应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。 |
| 摩擦消能器 | 外观标记清晰，应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。 |
| 黏滞消能器（黏滞阻尼墙） | 外观标记清晰，应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。 |
| 黏弹性消能器 | 外观标记清晰，应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。黏弹性材料表面应密实、无裂缝。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定。 |

**13.2.6** 消能器尺寸偏差应符合表13.2.6规定，检查数量应为全数的20%，且不少于2件，检查方法可为观察、拉线、钢尺测量。

表13.2.6 消能部件尺寸偏差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 消能器类型 | 质量指标 | |
| 屈曲约束支撑 | 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 |
| 支撑侧弯矢量 | ≤L/1000，且≤10mm |
| 支撑扭曲 | ≤h(d)/250，且≤5mm |
| 金属屈服型消能器 | 消能器长度、宽度、高度 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 摩擦消能器 | 消能器总长度、总宽度、总高度 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 黏滞消能器（黏滞阻尼墙） | 长度 | 不超过产品设计值的±3mm |
| 有效截面尺寸 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 黏弹性消能器 | 长度 | 不超过产品设计值的±3mm |
| 截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 注：L——支撑长度；h——支撑高度；d——支撑外径 | | |

**13.2.7** 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

1 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查；

2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定；

3 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，应核查安装方法和步骤；

4 对消能部件的制作质量应进行全面复查。

**13.2.8**  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确定，并符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定。

**13.2.9** 消能减震结构及消能器的施工顺序制定，应符合下列规定：

1 划分结构施工流水段和消能器安装流水段；

2 根据结构特点、施工条件确定消能器在消能减震结构中的安装顺序；

3 确定同一部位各消能器及主体结构构件的局部安装顺序。

**13.2.10** 对于钢结构，消能器和主体结构构件的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下向上逐渐进行；对于现浇混凝土结构，消能器和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法进行。

**13.2.11** 当消能部件主要承受水平剪力、不承担竖向压力时，宜待竖向变形稳定后最终固定；当消能部件既承受水平剪力、又承担竖向压力时，安装后即可最终固定。

**13.2.12** 墙、柱式连接

1 混凝土结构，悬臂墙（柱）的施工应符合下列规定：

1）下悬臂墙（柱）钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位置，不应相互阻挡；

2）上、下悬臂墙（柱）平面位置、标高、垂直度偏差应在允许范围内；

3）上、下悬臂墙（柱）两方向轴线相对偏差及墙（柱）间净空高度应在允许范围内；

4）预埋件应与上下悬臂墙（柱）连接牢固，平面位置、标高、水平度应在允许范围内；

5）上、下悬臂墙（柱）混凝土浇筑前应按要求对预埋件或预埋锚筋进行隐蔽验收，合格后方可进行浇筑，浇筑质量应符合相关规范和设计要求。

2 钢结构，悬臂墙（柱）的施工应符合下列规定：

1）上、下悬臂墙（柱）平面位置、标高、垂直度偏差应在允许范围内；

2）上、下悬臂墙（柱)两方向轴线相对偏差及墙(柱)间净空高度应在允许范围内；

3）上、下悬臂墙（柱）与主体结构应连接牢固。

3 消能器与上下悬臂墙（柱)的连接施工应符合下列规定：

1）当连接方式采用高强螺栓连接时，应符合现行《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关要求。

2） 当连接方式采用焊缝连接时，应符合现行《钢结构焊接规范》GB 50661及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关要求。

3）消能器安装完成后平面位置、标高、垂直度应在允许范围内。

**13.2.13** 支撑式连接

1 混凝土结构，消能器或支撑的施工应符合下列规定：

1）安装节点处梁、柱钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位置，不应相互阻挡。

2）预埋件应与安装节点处梁、柱连接牢固，平面位置、标高、水平度、垂直度应在允许范围内。

3）安装节点处梁、柱混凝土浇筑前应按要求对预埋件或预埋锚筋进行隐蔽验收，合格后方可进行浇筑，浇筑质量应符合相关规范和设计要求。

4）消能器或支撑的节点板安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计图的偏位。

5）节点板应与预埋件连接牢固，节点板安装完成后应复核上下节点板的平面偏移。

6）消能器或支撑安装前应对安装净空进行复核。

2 钢结构，消能器或支撑的施工应符合下列规定：

1）消能器或支撑在钢结构中的安装应根据结构特点选择合理顺序进行安装，并应与主体结构形成稳固的空间单元。

2）消能器或支撑的节点板安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计图的偏位。

3）节点板应与安装节点梁、柱连接牢固，节点板安装完成后应复核上下节点板的平面偏移。

4）消能器或支撑安装前应对安装净空进行复核。

3 消能器或支撑的连接施工应符合下列规定：

1）当连接方式采用高强螺栓连接时，应符合现行《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关要求。

2）当连接方式采用焊缝连接时，应符合现行《钢结构焊接规范》GB 50661及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关要求。

3）消能器或支撑安装完成后的平面外垂直度、弯曲矢高应在允许范围内。

**13.2.14** 其他连接形式

1 其他连接形式的消能器安装，可参考本标准墙、柱式连接和支撑式连接相关内容进行安装。

2 对于其他连接形式的消能器安装，消能器与主体结构连接、消能器与支撑连接、消能器与节点板连接、支撑与节点板连接、节点板与主体结构连接的施工均应符合设计和相关规范要求，安装质量应符合设计文件和现行《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204等规范的规定。

**13.2.15** 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，并应满足原涂装工艺和设计要求。

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

## 13.3 质量验收

**13.3.1** 消能部件子分部工程验收程序应符合下列规定：

1 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结构专业技术负责人等进行验收；

2 消能部件子分部工程完工后，应由总监理工程师组织设计单位结构专业技术负责人、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。

**13.3.2** 消能部件子分部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有关规定和设计要求；

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验收，主控项目合格率100%，一般项目的合格率不应小于80%；

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

**13.3.3** 墙型连接的消能部件验收应符合下列规定：

Ⅰ 主控项目

1 消能器的类型、型号、数量应满足设计要求。

检查数量：全数。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 消能部件现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661和《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205的有关规定。

检查数量：全数。

检验方法：外观检查采用观察或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查；内部缺陷检查超声波或射线探伤记录。

3 消能部件现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的有关规定。

检查数量：全数。

检验方法：观察、检查施工记录。

Ⅱ 一般项目

1 墙型连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表13.3.3的规定。

表13.3.3 墙式连接安装位置允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 允许偏差 | | 检查数量 | 检查方法 |
| 混凝土结构 | 钢结构 |
| 悬壁墙 | 轴线 | ±5mm | ±5mm | 全数 | 尺量 |
| 高度 | ±5mm | ±5mm | 全数 | 水准仪、全站仪或拉线、尺量 |
| 垂直度 | /1000 | /1000 | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |
| 上、下悬壁墙（柱）轴线相对偏差 | | ±5mm | ±2mm | 全数 | 吊线、尺量 |
| 上、下预埋件间净高 | | ±5mm  ±2mm | ±5mm  ±2mm | 全数 | 尺量四角（混凝土结构量预埋板四角）及中心，取最大值 |
| 预埋板 | 轴线 | ±5mm | ±2mm | 全数 | 尺量 |
| 标高 | ±5mm | ±2mm | 全数 | 水准仪或拉线、尺量 |
| 水平度 | 3‰ | 3‰ | 全数 | 水准仪或水平尺、塞尺量测 |
| 消能器 | 轴线 | ±5mm | ±2mm | 全数 | 尺量 |
| 垂直度 | /1000 | /1000 | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |
| 注：——悬臂墙高度；——消能器本体净高。 | | | | | |

2 墙、柱式连接采用销栓或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于0.1mm。

检查数量：安装节点总数的50%，且不少于3个。

检查方法：观察，千分塞尺测量，检查施工记录。

3 墙、柱式连接部位漆面应完整均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡；消能器标志、标记和编号应清晰完整。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**13.3.4** 支撑式连接验收

Ⅰ 主控项目

1 消能器或支撑的型号、数量、安装位置应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 消能器或支撑现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：外观检查采用观察或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查;内部缺陷检查超声波或射线探伤记录。

3 消能器或支撑现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82和国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工记录。

1 支撑式连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表13.3.4的规定。

表13.3.4 支撑式连接安装位置允许偏差和检验方法

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | | 允许偏差 | | 检查数量 | 检查方法 |
| 混凝土结构 | 钢结构 |
| 预埋板 | 轴线 | | ±5mm | ±2mm | 全数 | 尺量 |
| 标高 | | ±5mm | ±2mm | 全数 | 水准仪或拉线、尺量 |
| 垂直度 | ≤2m | 3mm | 3mm | 全数 | 经纬仪、全站仪或拉线、尺量 |
| ＞2m | 5mm | 5mm |
| 水平度 | | ±3‰ | ±3‰ |  | 水准仪、全站仪或水平尺、尺量 |
| 节点板 | 轴线 | | ±5mm | ±2mm |  | 尺量 |
| 垂直度 | ≤2m | 3mm | 3mm |  | 经纬仪或吊线、尺量 |
| ＞2m | 5mm | 5mm |
| 上、下节点板平面相对偏差 | | ±2mm | ±2mm | 全数 | 吊线、尺量 |
| 消能器或支撑 | 安装净空 | | +8mm  +3mm | +8mm  +3mm | 全数 | 尺量 |
| 弯曲矢高 | | ≤L/1000，且≤10mm | ≤L/1000，且≤10mm | 全数 | 拉线、尺量 |
| 注：L——消能器或支撑本体长度。 | | | | | | |

2 连接采用销轴或球饺连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于0.1mm。

检查数量：安装节点总数的50%，且不少于3个。

检查方法：观察，千分塞尺测量，检查施工记录。

3 连接部位漆面应完整均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡；消能器标志、标记和编号应清晰完整。

检查数量：全数。

检验方法：观察。

**13.3.5** 其他连接形式的消能部件验收可参考墙型连接和支撑式连接的相关验收内容执行。

**13.3.6** 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方法应按现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ297和本规程的有关规定执行。

# 14 消能器的维护

## 14.1 一般规定

**14.1.1** 消能部件子分部工程竣工验收前，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、定期检查和应急检查。

## 14.2 维护

**14.2.1**  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。

**14.2.2**  定期检查应根据消能器类型、使用期间的具体情况、消能器设计工作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。

**14.2.3** 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。

**14.2.4** 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14.2.4的规定。

表14.2.4 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、黏滞消能墙 | 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 |
| 黏弹性消能器 | 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 |
| 其他类型消能器 | 异常变形 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| 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 |
| 支撑 | 弯曲、扭曲 | | 观察，拉线、尺量 | 更换支撑 |
| 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 |
| 消能部件外露金属面、摩擦面和表面涂装 | 黏滞消能器导杆表面、摩擦消能器外露摩擦面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块；被涂装的金属表面外露、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 |

# 15 设防烈度地震设计要求

**15.1.1** 减隔震建筑的抗震设防目标除应综合考虑抗震设防类别、设防水准、使用功能等因素外，尚应满足下列要求：

1 地震时正常使用建筑分为I类建筑和II类建筑，其分类应按照表**15.1.1**进行。

**表15.1.1** 地震时正常使用建筑分类

|  |  |
| --- | --- |
|  | 建筑种类 |
| I类 | 应急指挥中心建筑；医院的主要建筑；应急避难场所建筑；广播电视建筑 |
| II类 | 学校建筑；幼儿园建筑；医院附属用房；养老机构建筑；儿童福利机构建筑 |

2 特殊类建筑的抗震设防目标应进行专项论证。

**15.1.2**  地震时保持正常使用功能I类建筑的总体性能目标：当遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，无须修理可继续使用；当遭受罕遇地震时，经简单修理可继续使用；Ⅱ类建筑的总体性能目标：当遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，无须修理可继续使用；当遭受罕遇地震时，经适度修理可继续使用。

**15.1.3** 地震时保持正常使用功能建筑各类构件的性能目标不应低于表15.1.3-1、表15.1.3-2的规定。

**表15.1.3-1** I 类建筑正常使用的性能目标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件类型 | 设防地震 | 罕遇地震 |
| 结构构件 | 完好或基本完好 | 轻微或轻度损坏 |
| 减震部件 | 正常工作 | 正常工作 |
| 隔震部件 | 正常工作 | 正常工作 |
| 建筑非结构构件 | 基本完好 | 轻度损坏 |
| 建筑附属机电设备 | 正常工作 | 轻度损坏 |
| 功能性仪器设备 | 正常工作 | 轻度损坏 |

**表15.1.3-2** Ⅱ类建筑正常使用的性能目标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 构件类型 | 设防地震 | 罕遇地震 |
| 结构构件 | 基本完好或轻微损坏 | 轻度或中度损坏 |
| 减震部件 | 正常工作 | 正常工作 |
| 隔震部件 | 正常工作 | 正常工作 |
| 建筑非结构构件 | 基本完好 | 中度损坏 |
| 建筑附属机电设备 | 正常工作 | 中度损坏 |
| 功能性仪器设备 | 正常工作 | 中度损坏 |

**15.1.4** 当地震时正常使用建筑处于发震断层10km以内时，其水平地震作用计算应考虑近场影响，乘以增大系数。5km以内宜取1.25，5km以外宜取可取不小于1.15。

**15.1.5** 在设防地震作用下，应进行结构以及隔震层的承载力、变形验算和楼面水平加速度验算；在罕遇地震作用下，应进行结构以及隔震层的变形验算，并应对隔震层的承载力和楼面水平加速度进行验算；在极罕遇地震作用下，应进行结构和隔震层的变形验算。

**15.1.6** 地震时正常使用建筑应根据其在设防地震作用下的层间位移角和楼面水平加速度选择适合的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备。当所选用的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备不能适应建筑的层间位移角和楼面水平加速度时，应重新选择或对其采取专门措施。

**15.1.7** 当减隔震建筑遭遇设防烈度地震后，应对隔震减震装置进行检查和维护，必要时应进行更换

**15.1.8** 地震时正常使用建筑的结构构件应进行设防地震组合下的承载力验算。

**15.1.9** 在设防地震作用下，隔震建筑的结构构件应按《建筑隔震设计标准》GB/T51408-2021第4.4.6条规定进行设计。

**15.1.10** 地震时正常使用建筑的最大层间位移角限值应符合表 4.5.4 的规定。

表4.5.4 地震时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 | 钢筋混凝土框架 | 1/400 | 1/ 150 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心 筒结构 | 1/500 | 1/200 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、 筒中筒、钢筋混凝土框支层结构 | 1/600 | 1/250 |
| 多、高层钢结构 | 1/250 | 1/ 100 |
| II 类建筑 | 钢筋混凝土框架 | 1/300 | 1/ 100 |
| 钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心 筒结构 | 1/400 | 1/ 150 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、 筒中筒、钢筋混凝土框支层结构 | 1/500 | 1/200 |
| 多、高层钢结构 | 1/200 | 1/80 |

**15.1.11** 地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值宜符合表 4.5.5 的规定。

表 4.5.5 地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值（g）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地震水平 | 设防地震 | 罕遇地震 |
| I 类建筑 | 0.25 | 0.45 |
| II 类建筑 | 0.45 | - |

**15.1.12** 隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层以上结构的相关构件，应满足隔震后设防地震的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。 隔震层以下地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值应满足本规程第 4.5.3 条的要求。

**15.1.13** 消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：消能子结构中非消能部件的梁、柱和墙构件是重要构件，按设防地震下不屈服原则设计，罕遇地震下的性能不低于中度损坏，且高于其他相邻构件。

**15.1.14** 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，弹塑性层间位移角限值应按本规程第3章的规定取值。

**15.1.15** 消能器的支撑、连接元件、构件或连接板正常使用状态和罕遇地震下均应保持弹性。

**15.1.16** 消能器性能应符合下列规定：

1、消能器中非消能元件的材料强度应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍极限阻尼力选取，应保证消能器中元件在罕遇地震作用下能正常工作；

2、应具备良好的变形能力和消耗地震能量的能力。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。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；在此位移下，消能器应满足往复加载3周，承载力变化不超过±15%的要求。

**15.1.17** 当消能减震结构遭遇设防地震和罕遇地震后，应对消能器进行检查和维护。消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验；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。

# 附录 A 消能构件减震设计要点

**A.0.1** 消能构件在50年一遇标准风荷载和多遇地震作用下应满 足式（A.0.1)要求:

S ≤ R （A.0.1)

式中: S—— 消能构件在考虑50年一遇风荷载或多遇地震作用的内力组合设计值;

R —— 消能构件的承载力设计值（按材料强度设计值确定)。

**A.0.2** 消能构件应先于与其相邻的构件和结构中其他重要构件发生屈服。

**A.0.3**  结构采用消能构件减震设计时,消能构件的相关部位应符合下列要求:

1 消能构件与支承构件的连接,应符合本标准和有关规程对相关构件连接的构造要求。

2 在消能构件施加给主体结构最大力作用下,消能构件与主体结构之间的连接部件应在弹性范围内工作。

3 与消能构件相连的结构构件设计时,应计入消能构件传递的附加内力。

**A.0.4** 应按下列要求对结构采用的消能构件的性能进行抽检:

1 由第三方进行抽样检验,抽检数量为同一类型、同一规格数量的3% ;当同一类型、同一规格的承载-消能构件数量较少时 , 可以在同一类型中抽检总数量的3% ,但不应少于2个 ;检测合格率为100% ,检测后的消能构件不能用于主体结构。

2 在1/150、1/100、1/75、1/50的层间位移角相应的消能构件的位移幅值下往复循环各3圈后 ,其承载力衰减量不应超过10% ,且滞回曲线稳定饱满。

# 附录B 粘滞消能器性能检测

### **B.0.1**　黏滞消能器是黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙的统称，其外观应符合表B.0.1的规定。

### 表B.0.1 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±2mm | 长度误差应为设计值±3mm；截面有效尺寸偏差应为产品设计值的±2mm |

### **B.0.2**　黏滞消能器的阻尼材料要求黏温关系稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强。钢材应根据设计需求选择，其余材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的规定。

### **B.0.3**　黏滞消能器的力学性能要求和试验方法应符合表B.0.3-1和表B.0.3-2的规定，实测产品在试验后应无渗漏、无裂纹。

### 表B.0.3-1 黏滞消能器常规力学性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能类别 | 检测项目 | 性能要求 | 检测方法 |
| 常规性能 | 极限位移 | 极限位移实测值应≥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均速缓慢移动，记录其运动的极限位移值 |
| 最大阻尼力 | 实测值与设计值偏差在±15%以内 | 采用正弦波激励，输入位移，连续加载5周，记录第3个滞回曲线所对应的最大阻尼力作为实测值 |
| 阻尼系数 | 实测值与设计值偏差在±15%以内 | 1）采用正弦波激励，控制位移加载函数  2）对消能器分别施加位移幅值*A*为0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2，每个位移幅值下连续进行5周往复加载，每周均绘制阻尼力-位移滞回曲线，并计算各工况下第3个滞回曲线所对应的阻尼系数、阻尼指数、初始刚度作为实测值 |
| 阻尼指数 |
| 初始刚度 |
| 滞回曲线 | 实测值与设计值偏差在±15%以内 | 记录每周加载的抗力与消能器活塞相对位移时程，采用横轴为消能器相对位移坐标，竖轴取抗力坐标，绘制封闭曲线 |

### 注：为时间（s）; 为减震结构基频; 为黏滞消能器设计位移。

### 表B.0.3-2 黏滞消能器疲劳、抗渗漏力学性能要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能类别 | 检测项目 | 性能要求 | 检测方法 |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | 实测值与设计值偏差在±15%以内 | 对阻尼器施加频率为的正弦波加载，当用于抗震为主时，输入位移，连续加载10周，当作动器流量不够连续加载，应立即快速补充流量，连续加载期间暂停补充流量次数不宜超过2次。  当用以风振控制时，输入连续加载60000周，每20000周可暂停休整30min。 |
| 阻尼系数 |
| 阻尼指数 |
| 抗渗性能 | 密闭性能 | 超压下不应出现渗漏、屈服或损坏等现象，且阻尼力衰减值不大于5% | 采用加压装置，对阻尼器腔体内部加压到1.5倍的最大阻尼力对应的腔体压力，保持10分钟 |

### 注：为时间（s）;为减震结构基频；为黏滞消能器设计位移；为风荷载下黏滞消能器可能的最大位移。

### **B.0.4**　黏滞消能器的其他性能要求应符合下列规定：

### 1、黏滞消能器位于―30℃～40℃温度间，在1.0测试频率下，输入位移采用公式（B.0.4-1），每隔10℃记录消能器的最大阻尼力，其实测值偏差应为理论设计值的±10%内。



### (B.0.4-1)

### 式中：——消能减震结构的第一自振频率（Hz）:

### ——黏滞消能器设计位移（mm）。

### 2、黏滞消能器在 =0.7、1.0、1.3、1.6测试频率下，输入位移采用公式（B.0.4-2），其最大阻尼力的实测值偏差应在理论设计值的±10%内。



### (B.0.4-2)

### 式中：f ——测试加载频率（Hz）。

### **B.0.5**　黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦（Maxwe11）模型描述。产品性能指标中应给出初始刚度、阻尼系数、阻尼指数、最大阻尼力 。一般阻尼力的表达宜用式（B.0.5）。

### (B.0.5)

### 式中：——黏滞阻尼力（kN）；

### ——黏滞阻尼系数（kN/（mm/s））；

### ——黏滞消能器的运动杆相对速度（mm/s）；

### ——速度指数（0.1～1.0）；

### ——时间（s）。

# 附录C 金属消能器、BRB与消能构件性能检验

## C.0 金属消能器性能检验

### **C.0.1**　金属消能器与消能构件的外观应符合下列规定：

### **1**、产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应有防锈措施，涂层应均匀；

### **2**、外型安装尺寸偏差应在±2mm内。

### **C.0.2**　金属消能器与消能构件的材料应符合下列规定：

### **1**、金属消能器与消能构件所用材料应根据设计需要进行选择，可采用钢材、铅等材料制作；

### **2**、采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服强度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**、金属消能器与消能构件中所用各种材料的材质化学成分及力学性能应符合国家相应的材性标准。

### **C.0.3**　金属消能器与消能构件的力学性能应在计算书、检测报告中给出，描述消能器耗能滞回特性的全部参数（图C.0.3)。

### 

### 图 C.0.3 双线性等强硬化模型滞回曲线

### (C.0.3-1)



### (C.0.3-2)



### 式中或图中：金属消能器弹性刚度或初始刚度，其刚度斜线由通过设计位移点的卸载刚度斜线平移至坐标原点而成；



### 卸载刚度，其刚度斜线由按设计位移往复加载的滞回曲线上的设计位移点，与该滞回曲线卸载下穿越位移横坐标轴相交点的两点直线构成；



### 金属消能器初始屈服力，即消能器发生初始屈服后的滞回曲线与弹性刚度斜线相交点对应的阻尼力坐标；



### 金属消能器初始屈服位移，即消能器发生初始屈服后的滞回曲线与弹性刚度斜线相交点对应的位移坐标;



### 金属消能器计算屈服力，即消能器发生全截面屈服后的滞回曲线与弹性刚度斜线相交点对应的阻尼力坐标；



### 金属消能器计算屈服位移，即消能器发生全截面屈服后的滞回曲线与弹性刚度斜线相交点对应的位移坐标;



### 设计延性系数,为消能器设计位移与计算屈服位移的比值；



### 消能器设计位移；



### 消能器设计阻尼力，即对应设计位移往复加载滞回曲线上与设计位移坐标相对应的阻尼力。



### **C.0.4**　金属消能器与消能构件力学性能要求主要对其滞回力学性能提出，应符表C.0.4的规定。

### 表 C.0.4　金属消能器与消能构件滞回力学性能要求

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 性能  类别 | 项目 | 每个检验产品加载工况及性能要求 | | | |
| 常规  性能 | 初始刚度 | 按照0.2、0.4、0.6、0.8、位移幅值的正弦波或三角波逐级加载，每级位移加载3周。取每个加载级的第3周的位移-阻尼力数据用作性能参数标定依据 | | 测试值与设计值偏差在±15%内 | |
| 初始屈服点  （， ) |
| 计算屈服点  （ ， ) |
| 设计承载力 |
| 设计（屈服）位移 | 测试值与设计值偏差在±5%内 | |
| 疲劳  性能 | 滞回曲线 | 1）每个检测产品在前述试验工况 位移幅值下继续加载27周，共构成 30周疲劳试验工况 | | | |
| 2）任一周加载位移幅值与30周加载幅值平均值偏差应在±5%内，平均值与设计值偏差在±1.0 mm内 | | | |
| 3）任一个往复加载周对应位移坐标为零处的正、负阻尼力与其30周往复加载正、负阻尼力的平均值偏差应在±10%内 | | | |
| 极限位移  （ ) | 每个检测产品按位移幅值大于等于1.2连续加载3周，任一周中位移幅值测试值与设计值偏差应在±5%内；位移为零处第3周比第1周阻尼力衰减小于15% | | | |
| 设计延性系数 | ≥15 | A级 | | 每个被检产品满足30周疲劳试验要求 |
| 12≤＜15 | B级 | |
| 9≤＜12 | C级 | |
| 6≤＜9 | D级 | |
| 3≤＜6 | E级 | |

### 注：当≤6且不满足30周疲劳试验要求的称为消能构件，其应满足6周循环疲劳试验要求。



### **C.0.5**　金属消能器与消能构件的整体稳定和局部稳定应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定，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。

## C.1 BRB与消能构件性能检验

### **C.1.1**　屈曲约束支撑（简称“BRB”）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。其环向、长度方向外观尺寸与设计尺寸误差应在±5mm与±20mm内。

### **C.1.2**　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强度低、高延伸率和屈服稳定的钢材。

### 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”字形、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为10mm～80mm。

### **C.1.3**　屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

### **C.1.4**　屈曲约束支撑工作段、连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

### **C.1.5**　屈曲约束支撑中的混凝土材料等级不应小于C25。

### **C.1.6**　屈曲约束支撑的耗能滞回特性模拟应满足本标准第C.0.3的相关要求。

### **C.1.7**　作为消能器使用的非承载型屈曲约束支撑的力学性能检测试验，按本标准第C.0.4条的金属消能器的力学性能指标执行，设计延性系数应满足≥6，设计位移等幅30周加载下累积延性系数应满足≥720。

# 附录 D 安装金属消能器结构等效

## 线性化方法迭代步骤

### 参考图 D.1,把第 i个消能器与连接件串联成消能部件,一般可以根据结构层间梁柱布置情况,斜向对角布置于梁柱节点,或垂直连接于上下层梁。假定消能部件的滞回曲线为随动双线性模型,则其任意一个滞回环呈平行四边形特征。初始刚度为,点为原点,A点为全截面屈服点（计算屈服点）,B点为屈服后滞回曲线上任一屈服点,AB线斜率取为屈服后刚度 ,作过原点的直线 ,其斜率称为消能部件屈服后的等效刚度,记为,下标d表达等效含意。取减震结构中任意第i个消能部件考察。



### 

### 图 D.1 第 i 个金属消能部件随动双线性模型滞回模型

### 设A点坐标为; B 点坐标为屈服后刚度斜线上的任意一点。则平行四边形OABC 面积按式（D.1） 计算:



### (D.1)



### （1）第一步迭代

### 参考图D.2所示,设第i个消能部件的初始等效刚度为 ,其中≤1,代人减震结构模型中,全部的消能部件均作以上类同操作。设定减震结构的模态阻尼比为 ,初始附加有效阻尼比为 ,则总阻尼比为。进行中震强度激励下的振型反应谱响应计算,得到第 i 个消能部件的相对位移,这时部件的弹性位移、内力点为。由于第一次设定的附加有效阻尼比、等效刚度是近似值,故点与消能部件的滞回曲线上点可能不重合 ,为此应修正等效刚度为 ,计算平行四边形面积为。 计算减震结构应变能,对于以剪切变形为主的多层结构可按式（D.2）计算 ,第一次迭代后获得的附加有效阻尼比 ,即用于第2次迭代输人的附加有效阻尼比可按式（D.3）计算：



### （D.2）



### （D.3）



### 式中:—第1次迭代得到的第j 层层间剪力 ;



### —— 第1次迭代得到的第j 层层间位移 ;



### —— 第1次迭代获得的减震结构应变能 ;



### —— 第1次迭代获得的第 i 个消能部件的1/4滞回环平行四边形 面积 ;



### — 第1次迭代获得的附加有效阻尼比 ,可作为第2次迭代开始的输人附加有效阻尼比 ;



### n —— 减震结构总层数 ;

### m—— 减震结构中消能部件总数 ;

### —— 取值范围0.7～1.0的折减系数,可根据延性系数大小来确定, 取值3左右时宜取最小值0.7。



### 

### 图 D.2迭代法第一步迭代图示

### （2)第二步迭代

### 参考图 D.3所示,给第i个消能部件赋值、 ,进行中震强度激励下的振型反应谱响应计算,得到第i个消能部件的相对位移 ,这时部件的弹性位移、内力相应点为 ,上一次的延伸到点。可以低于点,也可能高于,这由计算确定。作的直线,得到新的等效刚度,再按式（D.4)、式（D.5)计算减震结构第 2步迭代获得的应变能和附加有效阻尼比：



### （D.4）



### （D.5）



### 式中: —— 第2次迭代得到的第j层层间剪力 ;



### —— 第2次迭代得到的第j层层间位移 ;



### —— 第2次迭代获得的减震结构应变能 ;



### —— 第2次迭代获得的第 i 个消能部件的1/4滞回环平行四边形面积 ;



### —— 第2次迭代获得的附加有效阻尼比 ,可作为第3次迭代开始的输人附加有效阻尼比 ;



### n —— 减震结构总层数 ;

### m—— 减震结构中消能部件总数 。

### 

### 图 D.3 迭代法第二步迭代图示

### （3)第k步迭代

### 参考图 D.4所示 ,给第i个消能部件赋值、,进行中震强度激励下的振型反应谱响应计算,得到第 i 个消能部件的相对位移 ,这时部件的弹性位移、内力相应点为 ,上一次的延伸到点 。可以低于点也可能高于,这 由计算确定 。作 的直线 ,得到新的等效刚度 ,再按式（D.6)、式（D.7)计算减震结构第 k +1步迭代获得的应变能和附加有效阻尼比。第 k +1步迭代开始前 ,应按式（D.8)检查k 步得到的附加有效阻尼比迭代收敛情况 。对第 i 个消能部件用式（D.9)、式（D.10)检查 k 步得到的等效刚度、变形情况的收敛情况：



### （D.6）



### （D.7）



### 式中: —— 第k次迭代得到的第j层层间剪力 ;



### —— 第k次迭代得到的第j层层间位移 ;



### —— 第k次迭代获得的减震结构应变能 ;



### —— 第k次迭代获得的第 i 个消能部件的1/4滞回环平行四边形面积 ;



### —— 第k次迭代获得的附加有效阻尼比 ,可作为第k+1次迭代开始的输人附加有效阻尼比 ;



### （D.8）



### （D.9）



### （D.10）



### α 1、α 2、α 3 一般不应超过士5% 。若满足则停止迭代 。否则重复以上的第 k 步迭代 ,进行 k +1步迭代直到满足需要的精度。

### 

### 图 D.4 迭代法第 k 步迭代图示

# 附录E 建议标准化消能器产品规格型号及性能参数

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **表E.0.1屈曲约束支撑** | | | | | | |
| 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) | 第2刚度比 | |
| 芯材  Q235B | 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×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 | 8500 | 3500 | 5500≤L≤6500 | 5.0 | 0.035 | 0.025 |
| BRB-C×8500×5.7 | 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×1400×5.0 | 14000 | 3500 | 5500≤L≤6500 | 5.0 | 0.035 | 0.025 |
| BRB-C×1400×5.7 | 4000 | 6000≤L≤7000 | 5.7 |
| BRB-C×1400×6.5 | 4500 | 6500≤L≤7500 | 6.5 |
| BRB-C×1400×7.4 | 5000 | 7000≤L≤8000 | 7.4 |
| BRB-C×1400×8.5 | 5500 | 7500≤L≤8500 | 8.5 |
| BRB-C×1400×9.7 | 6000 | 8000≤L≤9000 | 9.7 |
| 注：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E.0.2金属屈服型消能器** | | | | | |
| 规格型号 | 屈服承载力  (kN) | 屈服位移  (mm) | 极限位移  (mm) | 建议耗  能芯材 | 第2刚度  比 |
| MYD-S×200×1.0 | 200 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.025 |
| 22<Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×200×1.5 | 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.025 |
| 30<Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×300×1.0 | 300 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.025 |
| 22<Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×300×1.5 | 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.025 |
| 30<Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×400×1.0 | 400 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.025 |
| 22<Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×400×1.5 | 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.025 |
| 30<Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×600×1.0 | 600 | 1.0 | Di≤25 | LY225 | 0.025 |
| 25<Di≤35 | LY160 | 0.035 |
| 35<Di | LY100 | 0.05 |
| MYD-S×600×1.5 | 600 | 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 | 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：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E.0.3摩擦消能器 | | |
| 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E.0.4黏滞消能器** | | | |
| 设计阻尼力  (kN) | 阻尼系数C  [kN/(s/mm)ª] | 速度指数a | 产品设计位移  (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 | 0.25 |
| 150~300 | 95/80/65/55 |
| 300~400 | 130/110/95/80 |
| 400~500 | 170/140/120/100 | 0.25 | ≤±60 |
| 500~600 | 200/170/140/120 |
| 600~700 | 230/200/170/140 |
| 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 | 0.3 |
| 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 |
| 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：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，本表不做限定。 | | | |
|

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **表E.0.5黏滞阻尼墙** | | | | |
| 规格型号 | 设计阻尼力  (kN) | 阻尼系数C  [kN/(s/mm)ª] | 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：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E.0.6高阻尼橡胶消能器** | | | | | |
| 规格型号 | 设计阻  尼力  (kN) | 屈服承载  力  (kN) | 第2刚度  (kN/mm) | 等效阻尼  比100%  (%) | 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：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E.0.7黏弹性消能器** | | | | |
| 规格型号 | 设计阻尼力(kN) | 阻尼系数C[kN/(s/mm)ª] | 速度指数α | 有效刚度100%(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：VED-200×100，VED表示黏弹性消能器，200表示设计阻尼力，100表示设计剪应变100%。 | | | | |
|

### 

# 附录F 检验项目

### **F.0.1** 橡胶隔震支座检验项目应符合附录B.0.1的规定。

### 附录F.0.1 橡胶隔震支座检验项目

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 气泡 | √ | √ | √ |
| 杂质 | √ | √ | √ |
| 缺胶 | √ | √ | √ |
| 凹凸不平 | √ | √ | √ |
| 胶钢黏结不牢（上、下端面） | √ | √ | √ |
| 裂纹（表面） | √ | √ | √ |
| 钢板外露（侧面） | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 橡胶支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部平整度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部橡胶包覆层厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料与钢材凹槽之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 滑移面板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 滑移面板厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移面板平整度 | √ | √ | √ |
| 上连接板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下连接板边长 | √ | √ | √ |
| 上连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 下连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 压缩刚度 | √ | √ | √ |
| 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 初始刚度 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 加载频率相关性 | √ | × | × |
| 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限性能 | √ | × | × |
| 竖向极限抗压性能 | √ | × | × |

### **F.0.2** 弹性滑板支座检验项目应符合附录F.0.2的规定。

### **附录F.0.2 弹性滑板支座检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 气泡 | √ | √ | √ |
| 杂质 | √ | √ | √ |
| 缺胶 | √ | √ | √ |
| 凹凸不平 | √ | √ | √ |
| 胶钢黏结不牢（上、下端面） | √ | √ | √ |
| 裂纹（表面） | √ | √ | √ |
| 钢板外露（侧面） | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 橡胶支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部平整度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部橡胶包覆层厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料与钢材凹槽之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 滑移面板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 滑移面板厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移面板平整度 | √ | √ | √ |
| 上连接板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下连接板边长 | √ | √ | √ |
| 上连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 下连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 压缩刚度 | √ | √ | √ |
| 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 初始刚度 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 加载频率相关性 | √ | × | × |
| 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限性能 | √ | × | × |
| 竖向极限抗压性能 | √ | × | × |

### **F.0.3** 摩擦摆支座检验项目应符合附录F.0.3的规定。

### **附录F.0.3 摩擦摆支座检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 摩擦材料 | √ | √ | √ |
| 不锈钢板 | √ | √ | √ |
| 粘结剂 | √ | √ | √ |
| 防尘板橡胶 | √ | √ | √ |
| 金属摩擦面 | √ | √ | √ |
| 机加工件 | √ | √ | √ |
| 铸钢件 | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 整体支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 整体支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 整体支座平整度 | √ | √ | √ |
| 整体支座侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 上座板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 上座板厚度 | √ | √ | √ |
| 上座板螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 上座板与球冠体之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 上滑动摩擦面 | √ | √ | √ |
| 球冠体直径 | √ | √ | √ |
| 球冠体高度 | √ | √ | √ |
| 下座板与球冠体之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 下滑动摩擦面 | √ | √ | √ |
| 下座板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下座板厚度 | √ | √ | √ |
| 下座板螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 竖向压缩变形 | √ | √ | √ |
| 竖向承载力 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 静摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 屈服后刚度 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 水平极限变形能力 | 极限剪切变形 | √ | × | × |

### 

### **F.0.4** 消能器检验项目应符合附录F.0.4的规定。

### 附录F.0.4 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 | √ | × | √ |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | × | √ |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | √ | √ |
| 起滑阻尼力和摩擦荷载偏差 | √ | √ | √ |
| 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 | √ | × | × |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | × | × |
| 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 外观 | √ | × | × |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 频率相关性 | 零位移阻尼力 | √ | × | × |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 变形相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 调谐质量消能器 | 力学性能 | 调谐频率 | √ | √ | √ |
| 阻尼比 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |

### 

# 附录 G 隔震支座恢复力模型和基本力学性能要求

**G.0.1** 天然橡胶支座滞回模型（图 G.0.1），水平刚度设计值可按下式进行计算（环境温度为23℃）：

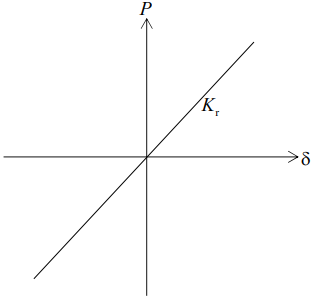
（G.0.1-1）

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G.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：

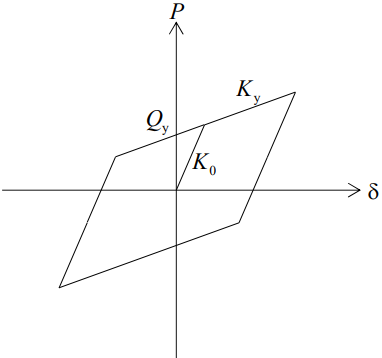
（G.0.1-2）

式中：*t*0 —修正前温度；

*t* —修正后温度；

atk —温度修正系数，由支座相关性试验确定。

G**.0.2** 铅芯橡胶支座滞回模型（图 G.0.2），其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：



**图G.0.2 铅芯橡胶支座滞回模型**

**1** 环境温度为 23℃ 时的屈服后水平刚度设计值可按下式确定：

（G.0.2-1）

（G.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*Ky —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（G.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：

（G.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*Qy —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：

（G.0.2-4）

式中：CtQ —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：

（G.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：

（G.0.2-6）

（G.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。

γh —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。

**G.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℃ 时的屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

（G.0.3-1）

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（G.0.1-2）进行调整。

**2** 水平屈服力设计值可按下式确定：

（G.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：

（G.0.3-3）

**G.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：

（G.0.4-1）

式中：*K*y —摩擦摆隔震支座屈服后水平刚度设计值；

*R*s —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：

（G.0.4-2）

式中：*Q*y —摩擦摆隔震支座水平屈服力设计值；

μ —摩擦面摩擦系数，可由支座试验确定。

# 附录 H 复振型影响系数计算公式

**H.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：

（H.0. 1-1）

（H.0. 1-2）

（H.0. 1-3）

（H.0.1-4）

（H.0.1-5）

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

*cji* —— *j* 复振型 *i* 质点的水平相对位移阻尼影响系数，忽略阻尼时等于 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；

—— *j* 复振型的特征值的共轭；

—— *j* 复振型 *i* 质点的地震作用阻尼影响系数，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；

ω*j* —— 隔震结构第*j* 振型圆频率；

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。

**H.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：

（H.0.2-1）

式中：——*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：

（H.0.2-2）

（H.0.2-3）

式中： ζ *j* —— 隔震结构第*j* 振型阻尼比；

Im ——表示取复数虚部；

**H.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按本规范4.2相关内容进行计算。

# 附录 J 隔震支座连接设计

### **J.0.1** 橡胶隔震支座水平变形后(图 J.0.1)，隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下式计算:

### (J.0.1) 1692859261523

### **图 J.0.1 隔震支墩及连接部位变形示意图**

### 式中:M ——隔震支墩及连接部位所受弯矩 (N·mm)；

### P——上部结构传递的竖向力(N)；

### ——支座的水平剪切变形(mm)；

### V——支座所受水平剪力(N)；

### h— 支座的总高度(含连接板)(mm)。

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

### (J.0.2-1)

### (J.0.2-2)

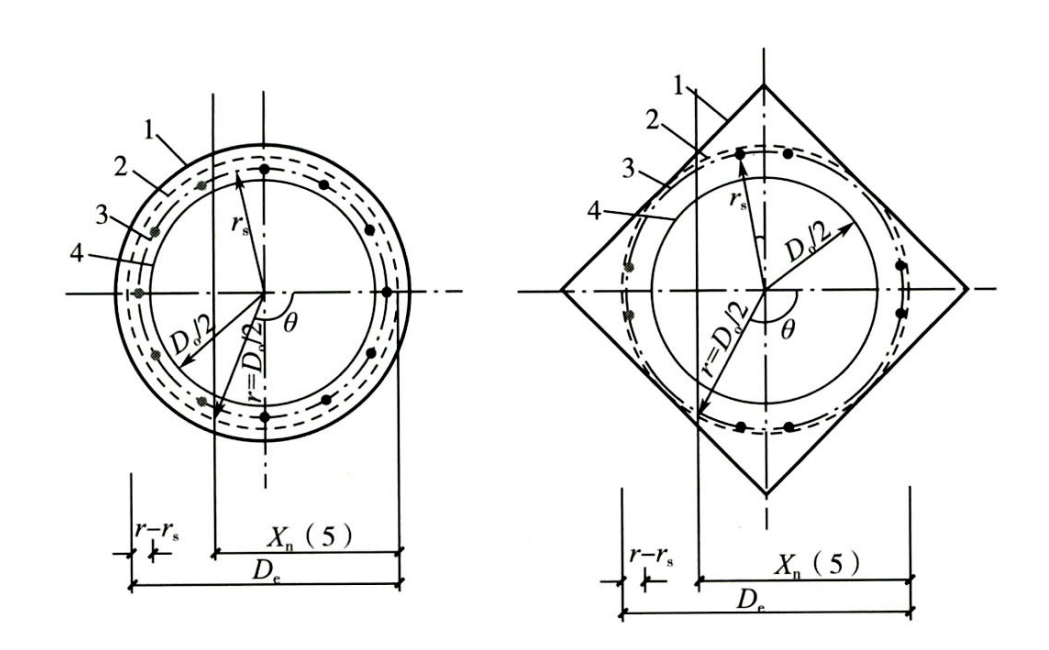
### (J.0.2-3)

### (J.0.2-4)

### (J.0.2-5)

### (J.0.2-6)

### (J.0.2-7)



### **图 J.0.2 隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布**

### 1一连接板；2一有效混凝土截面轮廓；3一螺栓中轴线；4一隔震支座；5一受压区

### 式中：—— 隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值；

### ——支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半；

### n——螺栓与混凝土的弹性模量比；

### Pg ——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 ；

### De ——上下支墩有效混凝土柱截面直径(mm)；

### Do ——隔震支座有效直径(mm)；

### tf ——连接板厚度(mm)；

### ——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；

### ——混凝土局部受压时的强度提高系数，取和 1.6二者的较小值，其中Al表示支墩截面面积(mm2)，Ab表示局部受压面积(mm2)；

### fck ——支墩混凝土轴心抗压强度标准值；

### Xn ——中性轴位置；

### rs ——螺栓布置的半径(mm)；

### r ——上下支墩有效混凝土柱截面半径(mm)。

### **J.0.3** 隔震支座连接螺栓强度验算（图 J.0.3）应符合下列规定：

### (J.0.3-1)

### (J.0.3-2)

### (J.0.3-3)

### 式中： ——螺栓拉力(N)；

### ——单个螺栓截面积(mm2)；

### ——螺栓抗拉设计强度(N/mm2)；

### *nb* ——螺栓数量；

### ——螺栓抗剪设计强度(N/mm2)；

### *Mr*——支座水平剪力产生的附加弯矩(N • mm) ；

### *Lmax*——螺栓到中性轴的最大距离(mm)；

### *Li* ——螺栓到中性轴的距离，其中中性轴距离隔震支座中心为 ；

### *Fu* ——支座提离力(N)。

### IMG_256

### **图 J.0.3 连接螺栓受力简图**

### 1一受压区

### **J.0.4** 隔震支座预埋件（图 J.0.4）设计应满足下列要求：

### 1 与连接螺栓相连锚筋强度验算

### (J.0.4-1)

### 式中： ——与连接螺栓相连锚筋的受拉应力(MPa)；

### Aab ——单个锚筋截面积(mm2)；

### ——锚筋抗拉设计强度(N/mm2)。

### 2 与连接螺栓相连锚筋的锚固长度应符合下式规定，且不小于250mm；

### (J.0.4-2)

### 式中： ——与螺栓相连锚筋的锚固长度(mm)；

### ——锚筋的外形系数，光圆表面取 0.16,带肋表面取 0.14；

### ft ——混凝土轴心抗拉强度设计值(N/mm2)；

### dab ——锚筋直径(mm)。

### IMG_256

### 图 J.0.4 预埋件受力情况示意图

### 1一橡胶隔震支座；2一栓钉；3一锚筋

### 3 预埋板中部栓钉抗剪承载力设计值由下列公式确定：

### (J.0.4-3)

### (J.0.4-4)

### 式中： *V1* ——单根栓钉所承受的剪力(N)；

### *n*st ——栓钉数量；

### *Nv* ——单根栓钉抗剪承载力设计值(N/mm2)；

### *A*st ——单根栓钉截面积(mm2)；

### *E*c ——混凝土的弹性模量(N/mm2)；

### *f*c ——混凝土轴心抗压强度设计值(N/mm2)；

### g ——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(N/mm2)；当栓钉材料性能等级为4.6级时，fst取215N/mm2，取1.67。

# 附录K 检验项目

**K.0.1** 橡胶隔震支座检验项目应符合附录K.0.1的规定。

**附录K.0.1 橡胶隔震支座检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 气泡 | √ | √ | √ |
| 杂质 | √ | √ | √ |
| 缺胶 | √ | √ | √ |
| 凹凸不平 | √ | √ | √ |
| 胶钢黏结不牢（上、下端面） | √ | √ | √ |
| 裂纹（表面） | √ | √ | √ |
| 钢板外露（侧面） | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 橡胶支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部平整度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部橡胶包覆层厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料与钢材凹槽之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 滑移面板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 滑移面板厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移面板平整度 | √ | √ | √ |
| 上连接板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下连接板边长 | √ | √ | √ |
| 上连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 下连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 压缩刚度 | √ | √ | √ |
| 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 初始刚度 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 加载频率相关性 | √ | × | × |
| 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限性能 | √ | × | × |
| 竖向极限抗压性能 | √ | × | × |

**K.0.2** 弹性滑板支座检验项目应符合附录K.0.2的规定。

**附录K.0.2 弹性滑板支座检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 气泡 | √ | √ | √ |
| 杂质 | √ | √ | √ |
| 缺胶 | √ | √ | √ |
| 凹凸不平 | √ | √ | √ |
| 胶钢黏结不牢（上、下端面） | √ | √ | √ |
| 裂纹（表面） | √ | √ | √ |
| 钢板外露（侧面） | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 橡胶支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部平整度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 橡胶支座部橡胶包覆层厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移材料与钢材凹槽之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 滑移面板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 滑移面板厚度 | √ | √ | √ |
| 滑移面板平整度 | √ | √ | √ |
| 上连接板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下连接板边长 | √ | √ | √ |
| 上连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 下连接板厚度 | √ | √ | √ |
| 螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 压缩刚度 | √ | √ | √ |
| 压缩位移 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 初始刚度 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 加载频率相关性 | √ | × | × |
| 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 压缩性能相关性 | 压应力相关性 | √ | × | × |
| 极限性能 | 水平极限性能 | √ | × | × |
| 竖向极限抗压性能 | √ | × | × |

**K.0.3** 摩擦摆支座检验项目应符合附录K.0.3的规定。

**附录K.0.3 摩擦摆支座检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 外观质量 | 永久标识 | × | √ | √ |
| 摩擦材料 | √ | √ | √ |
| 不锈钢板 | √ | √ | √ |
| 粘结剂 | √ | √ | √ |
| 防尘板橡胶 | √ | √ | √ |
| 金属摩擦面 | √ | √ | √ |
| 机加工件 | √ | √ | √ |
| 铸钢件 | √ | √ | √ |
| 尺寸偏差 | 整体支座部总高度 | √ | √ | √ |
| 整体支座部外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 整体支座平整度 | √ | √ | √ |
| 整体支座侧面垂直度 | √ | √ | √ |
| 上座板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 上座板厚度 | √ | √ | √ |
| 上座板螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 上座板与球冠体之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 上滑动摩擦面 | √ | √ | √ |
| 球冠体直径 | √ | √ | √ |
| 球冠体高度 | √ | √ | √ |
| 下座板与球冠体之间的间隙 | √ | √ | √ |
| 下滑动摩擦面 | √ | √ | √ |
| 下座板外直径或边长 | √ | √ | √ |
| 下座板厚度 | √ | √ | √ |
| 下座板螺栓孔位 | √ | √ | √ |
| 涂装 | 外观质量 | × | √ | √ |
| 涂层厚度 | × | √ | √ |
| 竖向压缩性能 | 竖向压缩变形 | √ | √ | √ |
| 竖向承载力 | √ | √ | √ |
| 剪切性能 | 静摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 动摩擦系数 | √ | √ | √ |
| 屈服后刚度 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 老化性能 | √ | × | × |
| 徐变性能 | √ | × | × |
| 剪切相关性能 | 反复加载次数相关性 | √ | × | × |
| 温度相关性 | √ | × | × |
| 水平极限变形能力 | 极限剪切变形 | √ | × | × |

**K.0.4** 消能器检验项目应符合附录K.0.4的规定。

**附录K.0.4 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 | √ | × | √ |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | × | √ |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | √ | √ |
| 起滑阻尼力和摩擦荷载偏差 | √ | √ | √ |
| 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 | √ | × | × |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 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 | √ | × | × |
| 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 外观 | √ | × | × |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 频率相关性 | 零位移阻尼力 | √ | × | × |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 变形相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 调谐质量消能器 | 力学性能 | 调谐频率 | √ | √ | √ |
| 阻尼比 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |

# 附录 L 隔震支座规格及性能参数

**L.0.1** 建议的天然橡胶支座规格及性能参数可参照表 L..0.1- 1~L.0.1-4 选取。

表L**.0.1-1** 天然橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=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 | 4730 | 4510 | 4290 | 4125 | 3375 | 2875 | 2375 | 2000 | 1500 | 1125 |
| 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L**.0.1-2** 天然橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=5.45,*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） | 8300 | 6900 | 5700 | 5170 | 4620 | 4400 | 4250 | 3500 | 3062.5 | 2500 | 2125 | 1625 | 1250 |
| 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L**.0.1-3** 天然橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=5.45,*G*=0.60MPa**）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 5500 | 4950 | 4730 | 4500 | 3750 | 3375 | 2875 | 2500 | 2000 | 1625 |
| 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L**.0.1-4** 天然橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=5.1,*G*=0.32MPa**）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 规格型号 | LNR1200 | LNR1100 | LNR1000 | LNR900 | LNR800 | LNR700 | LNR600 | LNR500 | LNR400 | LNR300 |
| 有效直径D/mm | 1200 | 1100 | 1000 | 900 | 800 | 700 | 600 | 500 | 400 | 300 |
| 竖向刚度Kv/kN/mm | 4925 | 4519 | 4113 | 3630 | 3227 | 2823 | 2420 | 2017 | 1613 | 1210 |
| 水平等效刚度Kh(100%) /kN/mm | 1.45 | 1.34 | 1.23 | 1.11 | 0.99 | 0.86 | 0.74 | 0.62 | 0.49 | 0.37 |
| 橡胶层总厚度 /mm | 235 | 216 | 197 | 176 | 157 | 137 | 118 | 98 | 78 | 59 |

**L.0.2** 建议的铅芯橡胶支座规格及性能参数可参照表 L .0.2- 1~L.0.2-6 选取。

表L**.0.2-1** 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=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 | 5060 | 4840 | 4620 | 4200 | 3480 | 3120 | 2640 | 2160 | 1680 | 1320 |
| 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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**L.0.2-2** 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=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 | 5500 | 4950 | 4730 | 4320 | 3600 | 3300 | 2760 | 2280 | 1800 | 1440 |
| 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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**L.0.2-3** 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=5.45,*G*=0.60MPa**）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 5830 | 5280 | 5060 | 4680 | 3960 | 3600 | 3120 | 2640 | 2040 | 1740 |
| 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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 **L.0.2-4** 铅芯橡胶支座规格型号及性能参数表（***S*2=5.1** ，***G*=0.32MPa**）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 规格型号 | LRB1200 | LRB1100 | LRB1000 | LRB900 | LRB800 | LRB700 | LRB600 | LRB500 | LRB400 | LRB300 |
| 有效直径D/mm | 1200 | 1100 | 1000 | 900 | 800 | 700 | 600 | 500 | 400 | 300 |
| 竖向刚度Kv/kN/mm | 5940 | 5550 | 4639 | 4168 | 3685 | 3230 | 2778 | 2326 | 1842 | 1335 |
| 水平等效刚度Kh(100%) /kN/mm | 2.6 | 2.45 | 2.3 | 2.07 | 1.84 | 1.61 | 1.38 | 1.15 | 0.92 | 0.7 |
| 等效阻尼比heq( 100%) /% | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 屈服前刚度K1/kN/mm | 23.34 | 21.35 | 18.97 | 17.12 | 15.29 | 13.3 | 11.48 | 9.55 | 7.54 | 5.72 |
| 屈服后刚度Kd (100%)/kN/mm | 1.8 | 1.64 | 1.46 | 1.32 | 1.18 | 1.02 | 0.88 | 0.73 | 0.58 | 0.44 |
| 屈服力Qd /kN | 250 | 227 | 203 | 141 | 106 | 90 | 63 | 40 | 27 | 16 |
| 水平等效刚度Kh(250%) /kN/mm | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.13 | 0.95 | 0.8 | 0.65 | 0.5 |
| 等效阻尼比heq(250%) /% | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 屈服后刚度Kd (250%)/kN/mm | 1.01 | 0.92 | 0.83 | 0.75 | 0.67 | 0.58 | 0.51 | 0.42 | 0.34 | 0.25 |
| 橡胶层总厚度 /mm | 235 | 216 | 197 | 176 | 157 | 137 | 118 | 98 | 78 | 59 |

表**L.0.2-5** 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*1 / （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*d /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**L.0.2-6** 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*1/ （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m | 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 M 摩擦摆隔震支座规格及性能参数

**M.0.1** 建议的单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格及性能参数可参照表M .0.1 选取。 表**M.0.1** 单主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参数表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计竖 向承载 力/kN | 规格型号 | 竖向刚度 （kN/mm） | 动摩擦系 数下限值 （慢） | 动摩擦系 数上限值 （快） | 等效曲率半径/mm | 设计水 平位移 /mm |
| 2000 | FPS- Ⅰ-2000- 100 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-2000- 200 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-2000- 300 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 3000 | FPS- Ⅰ-3000- 100 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-3000- 200 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-3000- 300 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 4000 | FPS- Ⅰ-4000- 100 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-4000- 200 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-4000- 300 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 5000 | FPS- Ⅰ-5000- 100 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-5000- 200 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-5000- 300 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2200/2500/3000 | ±300 |
| 6000 | FPS- Ⅰ-6000- 100 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-6000- 200 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-6000- 300 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 7000 | FPS- Ⅰ-7000- 100 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-7000- 200 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-7000- 300 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2000/2500/3000 | ±300 |
| 8000 | FPS- Ⅰ-8000- 100 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-8000- 200 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-8000- 300 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |
| 9000 | FPS- Ⅰ-9000- 100 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ-9000- 200 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |
| FPS- Ⅰ-9000- 300 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |
| 10000 | FPS- Ⅰ- 10000- 100 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±100 |
| FPS- Ⅰ- 10000- 200 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±200 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | FPS- Ⅰ- 10000- 300 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 2500/3000/4000 | ±300 |

注：FPS- Ⅰ-2000- 100，FPS 表示建筑摩擦摆隔震支座； Ⅰ表示支座结构类型，可选用Ⅰa 或Ⅰb；2000 表示 设计竖向承载力，100 表示极限位移。慢摩擦系数是指在 4mm/s 下测试的结果，快摩擦系数是指在 150mm/s 下测试的结果； 摩擦系数建议以 0.01 为增量进行取值。

**M.0.2** 建议的双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格及性能参数可参照表 M.0.2 选取。 表**M.0.2** 双主滑动摩擦面型摩擦摆隔震支座规格型号及性能参数表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 竖向承  载力  /kN | 规格型号 | 竖向刚度 （kN/mm） | 动摩擦系 数下限值 （慢） | 动摩擦系 数上限值 （快） | 等效曲率半径/mm | 设计  水平  位移  /mm |
| 2000 | FPS- Ⅱ-2000- 100 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-2000-200 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-2000-300 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-2000-400 | 1100~ 1700 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 3000 | FPS- Ⅱ-3000- 100 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-3000-200 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-3000-300 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-3000-400 | 1700~2500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 4000 | FPS- Ⅱ-4000- 100 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-4000-200 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-4000-300 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-4000-400 | 2200~3400 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 5000 | FPS- Ⅱ-5000- 100 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-5000-200 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-5000-300 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-5000-400 | 2700~4200 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 6000 | FPS- Ⅱ-6000- 100 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-6000-200 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-6000-300 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-6000-400 | 3300~5000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 7000 | FPS- Ⅱ-7000- 100 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-7000-200 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-7000-300 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-7000-400 | 3800~5800 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 8000 | FPS- Ⅱ-8000- 100 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-8000-200 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-8000-300 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-8000-400 | 4500~6500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 9000 | FPS- Ⅱ-9000- 100 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ-9000-200 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ-9000-300 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ-9000-400 | 4700~7500 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |
| 10000 | FPS- Ⅱ- 10000- 100 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±100 |
| FPS- Ⅱ- 10000- 200 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±200 |
| FPS- Ⅱ- 10000- 300 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±300 |
| FPS- Ⅱ- 10000- 400 | 5200~8000 | 0.01~0.06 | 0.02~0.08 | 3000/4000/4500 | ±400 |

注：FPS-Ⅱ-2000- 100 ，FPS 表示建筑摩擦摆隔震支座； Ⅱ表示支座结构类型；2000 表示设计竖向承载力， 100 表示极限位移。慢摩擦系数是指在 4mm/s 下测试的结果，快摩擦系数是指在 150mm/s 下测试的结果； 摩擦系数建议以 0.01 为增量进行取值。

# 附录N 隔震工程专用标识

**N.0.1** 隔震工程专用标识形式简明、图文并茂，设置于隔震建筑特定位置，为项目业主、施工方、使用者、物业管理及维护人员提供必要的隔震工程技术信息，避免使用中的不当行为影响隔震功能，促进隔震建筑的正常使用、合理维护，指导人员遇震时正确疏散。

**N.0.2** 隔震工程专用标识分为如下两类:

1隔震建筑工程主标识。

2其他专用标识，包括隔震支座标识、隔离缝（隔离缝)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。

**N.0.3** 建筑隔震工程专用标识为正方形,采用标牌或标签形式,图形和文字信息应便于识读，图形部分为白底蓝图，文字信息部分为蓝底白字。

**N.0.4** 地面隔离缝在某些隐蔽部位可能被占压，可采用黄色警示标线予以标示，并设置禁止占压提示文字。

**N.0.5** 当确有必要时，可根据工程实际需要在标识中增设其他语言文字。

**N.0.6** 标识图样宜符合下列规定:

**1**隔震建筑工程主标识：

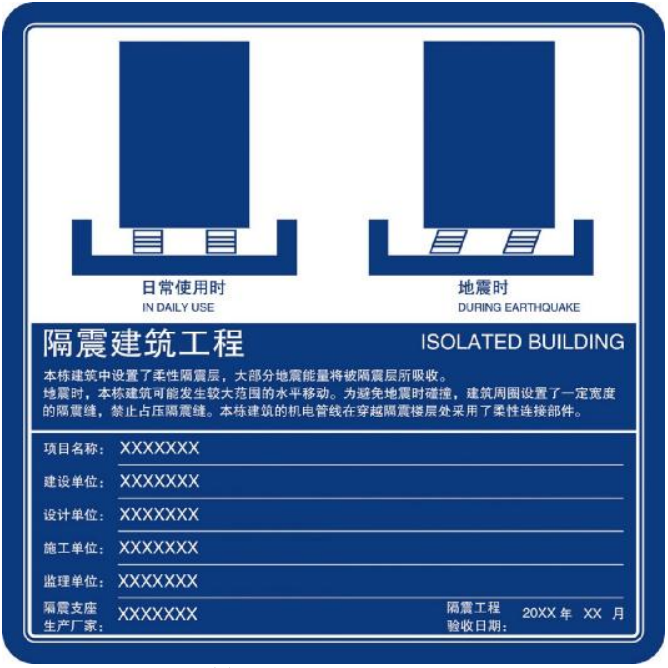
**1）**尺寸可采用600mm×600mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用85号方正大黑简体，英文标题可采用55号方正黑体简体;

**4）**中文说明文字可采用35号方正黑体简体;

**5）**中文正文表头可采用35号方正黑体简体，中文表格正文可采用45号方正黑体简体。



**图N.0.6-1 隔震建筑工程主标识**

**2** 隔震支座标识:

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体;

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体，中文正文表格文字可采用15号方正黑体简体。



**图N.0.6-2 隔震支座标识**

**3** 隔震缝（隔离缝）标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-3 隔震缝（隔离缝）标识**

**4** 隔震层标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-4 隔震层标识**

**5** 隔震管线标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-5 隔震管线标识**

**6** 隔震层检修口标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-6 隔震层检修口标识**

**7** 隔震楼梯标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-7 隔震楼梯标识**

**8** 隔震楼梯标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-8 地面隔震间距标识**

**9** 疏散避让标识：

**1）**尺寸可采用200mm×200mm（宽×高）；

**2）**颜色可采用深蓝色C90 M70 Y0 K35/R17 G57 B125；

**3）**中文标题可采用45号方正大黑简体，英文标题可采用20号方正黑体简体；

**4）**中文注意事项可采用20号方正黑体简体。



**图N.0.6-9 疏散避让标识**

山 西 省 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

### xxxxxxxxxx

# 条文说明

2024 山西

## 4 地震作用和作用效应计算

**4.1** 一般规定

**4.1.1** 该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011 5.1.1 条类似，并与《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中 4.1.2 条相对应。

**4.1.2** 该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011 5.1.3 条类似，并与《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 中 4. 1.3 条相对应。

**4.2** 水平地震作用计算

**4.2.3** 该条内容与《建筑抗震设计规范》GB50011 第 5.2.5 条类似，并与现行《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002中 4.2.3 条相协调。

**4.3** 竖向地震作用计算

**4.3.3** 竖向地震作用计算与结构或构件的质量分布和竖向加速度密切相关，对大跨度和长悬臂结构而言，应特别注意加强对最大变形部位质点质量分布和单元划分的检查，保证计算结 果的可靠性。

**5 隔震建筑一般要求**

**5.1一般规定**

**5.1.2** 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。

**5.2 隔震层上部结构设计**

**5.2.2**隔震后上部结构的抗震措施可以适当降低，一般以水平剪力比 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 11.4.2 所示：

表5.2.2水平剪力比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） | 水平向剪力比 | |
| *β>0.40* | *β≤0.40* |
| 8（0.30g） | 8（0.20g） | 7（0. 15g） |
| 8（0.20g） | 7（0. 15g） | 7（0. 10g） |

**5.3 隔震层设计**

**5.3.1** 摩擦摆支座和弹性滑板支座不宜出现拉应力。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，橡胶隔震支座的最大拉应力应满足限值要求，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，为防止其提离，必须保持处于受压状态。

**5.3.2** 相邻隔震层，即局部隔震支座标高下沉，导致隔震层标高不一致，进而形成两个隔震 层。见图 5.3.9 所示。

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。

**5.3.4** 在长期荷载（重力荷载代表值）作用下，橡胶隔震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。橡胶隔震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橡胶隔震支座，一般不存在水平大变形作用下的橡胶受压失稳问题，其压应力限值比橡胶隔震支座有所提高。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橡胶隔震支座和弹性滑板支座的竖向压应力限值。

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，橡胶隔震支座的第一形状系数S1 主要体现薄钢板对橡胶层的约束能力，因此，对于S1 < 30 时，本规程对于支座的压应力限值给出具体规定。

**5.3.6**在罕遇地震作用下，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。对特殊设防类建筑，在极罕遇地震作用下橡胶隔震支座的[ui ]值可取各层橡胶厚度之和的4.0 倍；弹性滑板支座、 摩擦摆隔震支座的[ui ]值可取产品水平极限位移；隔震层宜设置超过极罕遇地震下位移的限位装置。

**5.3.7** 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。

**5.3.8** 抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

**5.3.14** 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，地震时还会受到剪切，计算冲切和局部承压，应加密箍筋，必要时配置网状钢筋。

**5.3.16** 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。

**5.3.17** 隔震支座连接螺栓、连接板的设计可参考现行国家标准《建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 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现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 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。

**5.3.18** 预留了水平变形量的柔性导线，在地震时能够不阻碍隔震层水平运动，同时不会发生破坏而导致次生灾害的发生。

**5.4 隔震层下部结构设计**

**5.4.1~5.4.2** 对隔震层以下的结构部分，主要设计要求是：保证隔震设计能在罕遇地震下发挥隔震效果。 因此，需进行与设防地震、 罕遇地震有关的验算，并适当提高抗液化措施。

## 6 隔震支座及隔震构造

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 根据产品标准《橡胶支座第3部分:建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3一2006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)已成为成熟的建筑橡胶隔震支座类型。随着隔震技术的不断普及，隔震支座已不仅仅限于橡胶隔震支座，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，特别是前者，我国已经制定并发行了相应的支座标准—产品标准《橡胶支座第5部分:建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5一2014，由于其可承担的面压相对橡胶隔震支座高，现已逐渐与橡胶隔震支座配合应用于高层隔震中。后者在桥梁隔震运用较多。

**6.1.2**隔震支座、阻尼装置在长期使用过程中需要检查或维护，因此，其安装位置应便于维护人员接近和操作;为确保隔震效果，隔震支座及阻尼装置应严格检验。

**6.1.3**隔震工作年限的要求是保证在建筑使用寿命中支座无须更换，原则上支座使用寿命应与建筑使用寿命相同，对建筑工作年限要求较长时，其相应的耐老化保护层建议适当增厚。

**6.1.4**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，应模拟支座的实际使用情况，对被试支座进行lh的燃烧试验后，冷却24h以上再测试其竖向极限压应力和竖向刚度，并与同批型支座的竖向极限压应力和竖向刚度进行比较，竖向极限压应力和竖向刚度的变化率不应大于30%。

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

**6.1.7**足够大的板厚才能确保隔震层中所有装置的水平变形基本一致。隔震层顶板应采用现浇梁板结构，且梁、板的刚度和承载力，宜大于一般楼面梁板的刚度和承载力；隔震层梁板宜满足大震不屈服的性能目标；

**6.1.8**核电厂建筑、砌体建筑、村镇民居建筑、历史建筑、大跨屋盖建筑，以及其他一些建筑类型，对其隔震支座和隔震层要求做了一些特殊规定，除此之外，一般情况下隔震建筑和隔震支座应符合本章条文和现行国家标准《橡胶支座第1一5部分》GB 20688的相关规定。

**6.1.9**隔震层是重要的结构功能层，漏水、潮湿的环境会引起隔震装置的腐蚀，不利于其耐 久性，进而影响隔震装置正常发挥功能。故规定隔震装置所在的地下、半地下隔震层防水等级不低于二级，即不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。如该楼层还容纳其他建筑功能，防水等级需根据建筑使用功能确定。当隔离缝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。

**6.2 隔震支座与结构的连接**

**6.2.2**隔震支座连接螺栓、连接板的设计可参考国家标准《橡胶支座第3部分:建筑隔震橡胶支座》GB 2068.3一2006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》GB 50010一2010(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。

**6.2.3**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

**6.2.4**预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接。外露的预埋件应按现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 进行防锈处理。隔震支座外露的金属部件表面应按现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251进行防腐处理。

条文说明：外露预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接，锚固钢筋的锚固长度宜大于20 倍锚固钢筋的直径，且不应小于25Omm。

**6.2.5**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。

**6.3 隔离缝**

**6.3.1**确保地震时，竖向隔震缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动。设置一定宽度的隔震缝，对于隔震作用发挥至关重要。当缝宽受限时，可在隔震建筑之间设置阻

尼器以减少位移，防止隔震建筑之间发生碰撞。施工过程中，常常发生隔震缝宽度预留不足或空间被填充封死。因此施工过程中必须保证隔离缝宽度和空间清空，并进行重点检查。

**6.3.2**隔震层的上、下部结构之间应按照设计要求设置完全贯通的水平隔离缝，确保地震时，下部结构不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动，才能保证隔震建筑的正常使用功能。在施工过程中，往往忽视水平隔离缝的处理，不能保证连续贯通或出现采用刚性材料封死隔离缝等情况。因此，本条文明确强调水平隔离缝连续贯通。

隔震层水平隔离缝的缝高，除考虑竖向荷载导致的隔震支座竖向变形外，尚应考虑隔震支座水平变形时的竖向变形、徐变、温度变化等影响因素，水平隔离缝的缝高不小于 30mm，确保隔震层的上、下部结构不会相互接触；如果该缝隙有防水要求，缝高也不宜过大，便于防水节点设计。当设置隔离缝确有困难时，应设置可靠的水平滑移垫层。隔离缝应设置措施防水、防潮、防止异物进人。

**6.3.3**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（如橡胶止水带、柔性防水卷材、金属防水薄板等），并预留伸缩量。考虑到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复杂，难以施工，故伸缩量至少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的要求。该部位的防水材料在罕遇地震后可再行修复。

**6.3.4**：采用悬吊式方案穿过隔震层的电梯井，在罕遇地震作用下不应与下部结构发生碰撞，此外，电梯井悬吊部分上下端之间的相对水平位移与悬吊部分的高度之比，对于混凝土结构不宜大于1/400，对于钢结构不宜大于1/200。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部结构顶面净高不宜小于800mm 。考虑狭小空间中隔震装置施工和更换，支承式电梯井结构底面与下部结构顶面 净高不宜小于1000mm。

**6.3.8**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。隔离缝盖板在地震工况大位移情况下，转角、隔离缝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。

**6.3.9**隔离缝盖板在地震时可能发生较大的位移，为了保证震后主要出入口部位的通行功能， 故要求建筑主体结构复位后，隔离缝盖板主要构件能随之复位。

**6.4 穿越隔震层的固定设施和管线**

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

**6.4.2**隔震建筑中，对地震时要求正常使用建筑的所有机电系统，以及其他建筑中的消防 系统，由于其重要性和功能不中断的要求，机电工程管线的柔性连接设施，其变形量应按 罕遇地震标准进行设计。

考虑到机电设备及管线隔震措施占用空间较大，在地震时不要求正常使用的建筑中， 非消防功能的机电工程设施可适当降低标准，其柔性连接设施变形量按设防地震标准进行设计。

**6.4.3**柔性连接部件位移补偿量不宜小于计算最大位移量的 1.2 倍。柔性连接部件应采取成熟产品，水管柔性连接部件可采用隔震软管、低反力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；烟道柔性部件 可采用低反力补偿器或其他成熟的管道柔性连接件。 柔性连接部件应满足正常使用要求， 如重力排水管道等采用柔性连接时管线变形应避免出现局部低点，造成排水不畅，影响日常排水。

**6.4.4**工程实践中，门厅人口、楼梯扶手等的细部措施容易忽略，地震时会导致破坏，影响人员疏散。一般情况下，应考虑罕遇地震作用下可能的阻挡和碰撞;对特殊设防类建筑，尚应考虑极罕遇地震作用下可能的阻挡和碰撞。

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

**6.4.6**预留了水平变形量的柔性导线，在地震时能够不阻碍隔震层水平运动，同时不会发生破坏而导致次生灾害的发生。

**6.5 伸缩缝**

**6.5.1**当结构考虑温度变化的作用时 ，由于隔震层 比抗震结构具有更好的变形协调能力，使隔震层顶板的温度应力相 比抗震结构更容易得到释放；伸缩缝一定程度上会影 响隔震建筑上部结构的整体性，因此，在罕遇地震作用下应使结构在伸缩缝处不致发生不利碰撞。对特殊设防类建筑，尚应考虑在极罕遇地震作用下结构在伸缩缝处不致发生不利碰撞。

当隔震建筑与非隔震建筑相邻时，缝宽取罕遇地震下两侧结构相对位移的1.2倍，且不小于300mm。当隔震建筑与隔震建筑相邻时，缝宽取缝宽取最大水平位移值之和，且不应小于600mm。

## 7 隔震支座力学性能与检测

### **7.2 支座力学性能**

### **橡胶隔震支座**

**7.2.7**中华人民共和国国家标准《橡胶支座 第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5-2014 第6.5.2条规定。

### **摩擦摆隔震支座**

**7.2.9**中华人民共和国国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358-2019 第4.1条规定。

**7.2.10**中华人民共和国国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358-2019 第4.1条有摩擦摆隔震支座类型图，描述隔震摩擦摆隔震支座的组成部分及构造。

**7.3 检验规则**

**7.3.1**中华人民共和国住房和城乡建设部第57号令《建设工程质量检测管理办法》第15条规定

**7.3.2** 2.e) 中华人民共和国建筑工业行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118-2018第8.3.2条规定。

3d）中华人民共和国国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358-2019 第8.3.2条规定和中华人民共和国建筑工业行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118-2018第8.1.3条规定。

**7.3.3** 1**.**中华人民共和国国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408-2021条文说明5.2.1条规定和《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032-2022第3.4.1条规定，本条旨在明确检测机构选取及抽样检验的要求。《关于落实建设单位工程质量首要责任的通知》(建质规[2020]9号)中明确指出，非建设单位委托的检测机构出具的检测报告不得作为工程质量验收依据。

3.中华人民共和国国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408-2021第5.2.2条规定和条文说明5.2.1条规定。

### **7.4 检验判定**

**7.4.1**中华人民共和国建筑工业行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118-2018第8.3.2条规定。

**7.4.2**中华人民共和国建筑工业行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118-2018第8.3.1条规定。

## 8 隔震部件安装施工、验收

### **8.2 施工**

**8.2.1**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第4.1.1条规定。

**8.2.2**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第4.1.2条和第4.1.3条规定。

**8.2.5**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第5.2.1条规定。

**8.2.7**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第5.2.2条规定。

**8.2.8**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第5.2.3条规定。

### **8.3 验收**

**8.3.2**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第6.2.1条、第6.2.2条和第6.2.3条规定。

**8.3.6**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第6.4条柔性连接和第6.5条隔震缝相关规定。

## 9 隔震装置维护

### **9.1 一般规定**

**9.1.1**中华人民共和国国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408-2021第5.7.1条规定。

### **9.2 维护**

**9.2.1**中华人民共和国国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408-2021第5.7.3条规定，隔震建筑应设置标识。标识内容应包括隔震装置的型号、规格和维护要求，以及隔离缝的检查和维护要求。

**9.2.2**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第8.2.1条规定。

**9.2.3**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第8.2.2条规定。

**9.2.4**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第8.2.3条规定。

**9.2.5**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第8.2.4条规定。

**9.2.6**中华人民共和国行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360第8.2.5条规定。

## 10消能减震结构设计

### **10.1 一般规定**

**10.1.1**  对于平面规则并且无大开洞的楼板，可采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011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

**10.1.2～10.1.3**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。

### **10.2 消能器选择和布置原则**

**10.2.6**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 ”字形撑等，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，在连梁位置布置金属剪切板类型消能器，往往能取得较好减震效果。

**10.3 消能部件设计与减震效果评价**

**10.3.2**公式（10.3.2-3）适用于速度线性相关型消能器，不适用于速度非线性相关型消能器，计算时应充分考虑斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件的刚度对消能器耗能效果的影响。

**10.3.4**振型分解反应谱法是目前国内结构减震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（不少于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（不少于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。选用3组地震记录时程曲线输入计算时，附加有效阻尼比取各工况最小值。选用7组及以上的地震记录时程作输入时，附加有效阻尼比取各工况平均值。

**10.3.6**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。

**10.4 主体结构设计**

**10.4.1**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。

**10.4.2**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荷载作用下的截面验算。

**10.4.5** 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，按国家现行相关标准取值，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 小于限值的50%时，主体结构的构造措施可降低一度执行。

## 11 消能器与结构的连接与构造

### **11.1 一般规定**

**11.1.2** 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11.1.2-1）。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

### （c） 墙柱型

附图11.1.2-1 消能器布置形式

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

**11.1.3** 本条内容同现行国家标准《钢结构设计标准》 GB50017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，同时与主体结构相连的预埋件、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。

**11.1.4** 消能部件一般情况下属非承重构件，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 11.1.4-1 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11.1.4-1 消能器安装立面图

1— 平面外限制位支撑；2— 消能器；3— 支撑

**11.1.5** 由于消能支撑常采用连接板与主体结构相连，从现有的混凝土钢支撑结构和钢结构的支撑破坏情况发现，在地震中常出现连接钢板部分发生互不相同平面外的失稳，由此导致梁发生大的扭转变形并使混凝土剥落，使消能器不能产生相对位移，从而不能发挥耗能效果。

### **11.2 预埋件计算**

**11.2.2** 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。预埋件的锚筋应按拉剪构件或纯剪构件计算总截面面积，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。

### **11.3 支撑和支墩、剪力墙计算**

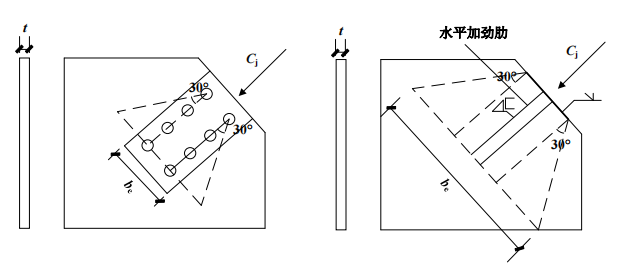
**11.3.2** 支撑的计算长度取值遵循如下原则：计算支撑的轴向刚度时，计算长度取其净长。 计算平面内、外失稳时，计算长度应取支撑与消能器的长度总和。用刚性剪力墙做连接支撑，连接剪力墙的梁与柱之间梁段变成了类似连梁受力特征，应充分考虑其强度和刚度要求对保证剪力墙功能的重要性。

### **11.4 构造要求**

**11.4.1** 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。

**11.4.9** 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。

**11.4.11** 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。

图 11.4.11-1 螺栓连接和焊接连接示意

## 12 消能器的技术性能和检测

### **12.1 一般规定**

**12.1.1**建筑物设计工作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工作年限。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、地震作用增大等不利效应。

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，设计工作年限内应时刻处于有效工作状态， 从而保证地震时起到减震作用。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 规范规定的建筑物设计工作年限，无法对每类消能器实际工作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工作年限。为此，各种消能器产品上应标注出厂时间和工作年限。为了保证消能减震结构在设计工作年限内的安全性，消能器应和使用消能器的建筑具有相同的工作年限，不满足要求时，消能器从生产日期算起的寿命达到其工作年限时应按一定比例数量拆下到具有检测资质的试验室抽检性能，确定消能器新的工作年限；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工作期内防腐有保证时，其工作寿命应该与其材质工作寿命一致。对于黏滞消能器的性能保证使用寿命通常认为是30年，产品供应商另有质量保证说明的除外。

**12.1.2**：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。

**12.1.4**消能器一般由消能元件或构件和非消能构件组成，如金属消能器由连接板和消能板组成、粘滞消能器由消能粘滞材料和非消能的缸体、活塞、密封圈等组成。为避免因材料缺陷、安装偏差、超强地震作用的突增等因素引起的非消能构件失效而导致消能器无法正常工作的情形，消能器中非消能构件必须具有足够的安全储备，为此，在消能器设计时，非消能元件或构件承载能力应大于消能器1.5倍极限阻尼力选取。

**12.1.9**消能器的型式检验应根据现行行业标准《建筑消能阻尼

器》 JG/T 209 的要求对产品各项指标进行的全面检验，报告中应详细注明消能器的各项性能参数指标。

由于消能器的性能试验仅能反应消能器的性能，并不能充分体现出消能器在结构中的真实性能和耗能减震效果。即使是同类型的消能器，不同生产厂家消能器制作工艺的不同，其性能也会有所差异。为此，要求生产厂家对每类消能器至少应进行一次消能器布置于二层及以上的整体结构或子结构中进行动力性能试验或地震模拟振动台试验，验证下列性能：

1 消能减震结构的整体工作性能和消能器的工作性能及减震效果；

2 消能器和主体结构的连接是否可靠；

3 消能部件是否会出现平面外失稳；

4 消能器的连接形式对减震效果的影响

### **12.2 消能器技术性能**

**12.2.1.2**低屈服点钢由于具有良好的消能性能，宜应用于金属屈服型消能器的消能部件

**12.2.1.3**根据等效耗能原则，可采用如下方法确定金属屈服型消能器、 屈曲约束支撑和高阻尼橡胶消能器的力学性能参数，简称能量法。

### 

图12.2.1.3 骨架线示意

1 由金属屈服型消能器或屈曲约束支撑的滞回曲线获取其骨架线，如图 6.2.3 曲线 O-F 所示，F 点纵坐标数值为最大承载力，F 点横坐标数值为设计位移。

2 将消能器的弹性卸载刚度作为该消能器弹性刚度，如图12.2.1.3 直线 O-I 所示。

3 通过调整 Y-F 直线斜率，使得骨架线包络面积SOFF’O 与折线包络面积SOYFF’O 面积保持一致，从而确定Y点坐标，Y点即为设计屈服点，Y点纵轴数值即为设计屈服强度，Y 点横轴数值即为设计屈服位移。

**12.2.2.7**对于屈曲约束支撑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。因此，屈曲约束支撑的设计过程中必须考虑支撑连接部位在屈曲约束支撑最大承载力的受力性能及整体稳定性。

**12.2.3.3**可采用如下方法确定摩擦消能器的力学性能参数：

1 将开始加载到消能器刚度出现下降时对应的阻尼力确定为起滑阻尼力，所对应的位移为起滑位移。

2 摩擦荷载取为第二圈零点对应的荷载。

3 消能器初始刚度取为加载起滑前刚度或第一圈的卸载刚度。

**12.2.4.11**应用较为广泛的黏滞消能器主要包含两种类型：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、黏滞材料等组成，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。

**12.2.4.6**黏滞消能器宜采用Maxwell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。一般情况下黏滞阻尼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导致消能器计算耗能能力与实际耗能能力的差异。

**12.2.5.7**可采用如下方法确定黏弹性消能器的力学性能参数，其典型力学行为可采用开尔文 （Kelvin）模型描述，见图12.2.5.7：

### 

### **图 6.6.7 开尔文模型滞回曲线示意**

### 图中：*u*0——黏弹性消能器的最大位移；

### *F*1——黏弹性消能器的最大阻尼力；

### *F*0——黏弹性消能器对应最大位移 *u*0 的阻尼力；

### 则开尔文模型可表示为：

### *F*d (*t*) *K*1*u*(*t*) *C*d sgn((*t*))(*t*)

### 式中：*F*d(*t*)——黏弹性阻尼器阻尼力（kN）；

### *u*(*t*)——黏弹性阻尼器位移（mm）；

### *K*1——黏弹性消能器有效刚度（kN/mm）；

### *C*d——黏滞阻尼系数（kN/(mm/s)“）；

### ( *t* ) ——黏弹性消能器的运动元件相对速度(mm/s)；

### *“——* 阻尼指数；

### t—— 时间（s）。

### **12.3 检验规则及判定**

**12.3.4**对于采用减震技术的重点设防类和特殊设防类工程，特别是地震时正常使用建筑，消能器试件抽样比例可适当提高。

## 13 消能器施工、验收

### **13.1 一般规定**

**13.1.5**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.1.2条规定。

**13.1.6**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.1.3条规定。

### **13.2 进场验收及施工**

**13.2.3**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.2.4条规定。

**13.2.9**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.3.2条规定。

**13.2.10**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.3.3条和第8.3.4条规定。

## 14 消能器的维护

### **14.2 维护**

**14.2.3**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.7.2条规定。

**14.2.4**中华人民共和国行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013第8.7.4条规定，并做部分补充。

## 15 设防烈度地震设计要求

**15.1.1**根据《建设工程抗震管理条例》，第十六条规定：位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。I 类建筑确定原则为在地震发生时和发生后建筑 损坏将产生严重次生灾害或严重影响抗震救灾的建筑，Ⅱ类建筑 确定原则为用于保护弱势群体的建筑及某些人员密集建筑，综合 考虑震后影响，本导则规定I 类建筑的抗震性能目标高于Ⅱ类建筑。对于包含多个使用功能的建筑，其分类应由设计人员根据实际工程情况确定。

**15.1.3：**结构构件根据功能、作用、位置及重要性等可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。关 键构件是指构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全 的严重破坏，可由结构工程师根据工程实际情况分析确定。普通 竖向构件是指关键构件之外的竖向构件；重要水平构件是指关键 构件之外不宜提早屈服的水平构件，包括对结构整体性有较大影 响的水平构件，承受较大集中荷载的框架梁、承受较大集中荷载 的抗震墙连梁，承受竖向地震的悬臂梁，以及消能减震结构中消 能子结构的框架梁等。普通水平构件包括一般的框架梁、抗震墙 连梁等。结构构件应按照本导则第4.2节进行抗震承载力验算。

消能部件是指由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部 分。隔震部件是指由隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置及相关的支承或连接构件组成的部分。完好，即构件保持弹性状态；基本完好，即构件基本保持弹性状态；轻微损坏，即构件可能出现轻微的塑性变形，但不影响 正常使用；轻度损坏，即构件达到屈服状态，但不出现明显的塑 性变形；中度损坏，即构件出现明显的塑性变形，但控制在适度 修理可继续使用的范围；正常工作，即减震、隔震部件、附属机 电设备、功能性仪器设备正常运行，发挥设计预期的作用或 功能。

建筑非结构构件、建筑附属机电设备及功能性仪器设备轻度 损坏，即外观可能损坏而不影响使用功能和防火能力，安全玻璃 可能产生裂缝但无坠落；中度损坏，即使用功能基本正常或可很 快恢复，耐火时间减少1/4,强化玻璃破碎，其他玻璃无坠落。

简单修理，即建筑修复费用与建造成本的比值小于5%且修 复时间小于7d; 适度修理，即建筑修复费用与建造成本的比值 小于10%且修复时间小于30d。