**云南省工程建设地方标准**

**建筑消能减震应用技术规程**

Technical specification for application of building seismic energy dissipation

**（征求意见稿）**

二○二〇年十一月

前 言

本标准是根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省2018年工程建设地方标准编制计划的通知》要求，由昆明理工大学、震安科技股份有限公司、云南省设计院集团有限公司会同有关单位编制而成。编制组开展了专题调查和研究，总结了我国、我省近年来建筑工程应用建筑消能器的实践经验并借鉴现行的有关规范标准和相关技术资料，在广泛征求意见的基础上，制订了本标准。

本标准共有8章，主要内容有：总则，术语，基本规定，地震作用和抗震验算，消能部件的连接与构造，消能器的技术性能，消能器的试验方法和检验规则，消能减震工程的施工、验收和维护。

本标准由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。在执行本标准的过程中，请各单位结合工程实践，注意总结经验，收集资料，并将有关的意见和建议反馈给主编单位，以供再次修订时参考。

本标准主编单位：昆明理工大学

震安科技股份有限公司

云南省设计院集团有限公司

本标准参编单位：云南省地震工程研究院

昆明恒基建设工程施工图审查中心

云南省建筑工程设计院

[云南省建设投资控股集团有限公司](http://www.baidu.com/link?url=dG930Wgj8gRWERgRMXzzoMRopscSzL7Unm7b1Yp-Uzq" \t "https://www.baidu.com/_blank)

昆明有色冶金设计研究院股份公司

云南省工程质量监督管理站

北京工业大学

东南大学

云南恒锐建设技术咨询有限公司

本规程主要起草人：

本规程主要审查人：

目 次

[1 总则 1](#_Toc57726184)

[2 术语与符号 2](#_Toc57726185)

[2.1 术语 2](#_Toc57726186)

[2.2 符号 4](#_Toc57726187)

[3 基本规定 5](#_Toc57726188)

[4 地震作用和抗震验算 6](#_Toc57726189)

[4.1一般规定 6](#_Toc57726190)

[4.2 地震影响系数曲线和地震动输入 7](#_Toc57726191)

[4.3 地震作用计算 9](#_Toc57726192)

[4.4 第一类设防目标对应的截面抗震验算和抗震变形验算 12](#_Toc57726193)

[4.5 消能部件设计及附加阻尼计算 13](#_Toc57726194)

[4.6减震结构设计 15](#_Toc57726195)

[5 消能部件的连接与构造 17](#_Toc57726196)

[5.1 一般规定 17](#_Toc57726197)

[5.2 预埋件 17](#_Toc57726198)

[5.3 支撑和支墩、剪力墙计算 17](#_Toc57726199)

[5.4 节点板计算 18](#_Toc57726200)

[5.5 消能器与结构连接构造要求 20](#_Toc57726201)

[5.6 屈曲约束支撑的构造要求 20](#_Toc57726202)

[5.7 金属屈服型消能器构造要求 21](#_Toc57726203)

[5.8 黏滞消能器构造要求 22](#_Toc57726204)

[5.9 其他消能器构造要求 22](#_Toc57726205)

[6 消能器的技术性能 23](#_Toc57726206)

[6.1 一般规定 23](#_Toc57726207)

[6.2 屈曲约束支撑 23](#_Toc57726208)

[6.3 金属屈服型消能器 25](#_Toc57726209)

[6.4 摩擦消能器 26](#_Toc57726210)

[6.5 黏滞消能器 27](#_Toc57726211)

[6.6 黏弹消能器 29](#_Toc57726212)

[6.7 高阻尼橡胶消能器 31](#_Toc57726213)

[6.8 调谐质量消能器 32](#_Toc57726214)

[6.9 其他消能器 33](#_Toc57726215)

[7 消能器的试验方法和检验规则 34](#_Toc57726216)

[7.1 一般规定 34](#_Toc57726217)

[7.2 试验方法 34](#_Toc57726218)

[7.3 检验规则及判定 40](#_Toc57726219)

[8 消能减震工程的施工、验收和维护 45](#_Toc57726220)

[8.1 一般规定 45](#_Toc57726221)

[8.2 消能部件进场验收 46](#_Toc57726222)

[8.3 消能部件安装顺序 48](#_Toc57726223)

[8.4 消能部件安装 49](#_Toc57726224)

[8.5 消能减震工程验收 50](#_Toc57726225)

[8.6 子分部工程验收 53](#_Toc57726226)

[8.7 消能部件的维护 54](#_Toc57726227)

[附录A 复振型影响系数计算公式 56](#_Toc57726228)

[附录B 材料进场验收记录 58](#_Toc57726229)

[附录C 消能器安装分项工程检验批质量验收记录 60](#_Toc57726230)

[附录D 建议标准化产品规格及性能参数 61](#_Toc57726231)

[本规范用词说明 66](#_Toc57726232)

[引用标准名录 67](#_Toc57726233)

附：[条文说明 68](#_Toc57726234)

# 1 总则

**1.0.1**为了贯彻执行国家和云南省的有关法规和技术政策，确保消能器检测、检验和消能减震建筑设计、施工、验收和维护过程中的质量，制定本规程。

**1.0.2**本规程适用于云南省抗震设防烈度为6~9度地区新建建筑结构的消能减震设计、消能器性能与检验、施工、验收和维护。

**1.0.3**按本规程设计与施工的消能减震结构，其抗震设防目标分为两类：

第一类：国家相关法律法规明确要求在发生本区域设防地震时不丧失建筑基本功能的建筑结构，采用消能减震技术时：当遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时，主体结构基本不受损坏或不需修理即可继续使用，且保障建筑功能不丧失；当遭受罕遇地震时，消能部件正常工作，结构可能发生损坏，经修复后可继续使用；当遭受极罕遇地震时，特殊设防类建筑不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

第二类：《云南省隔震减震建筑工程促进规定》第三条规定范围内的建筑工程，采用消能减震技术时：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。其他新建、改建和扩建建筑，采用消能减震技术时的设计、消能器性能与检验、施工、验收和维护可参照本条款执行。

**1.0.4**消能减震设计、施工、验收和维护，以及消能器性能、检验、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语与符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 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。

**2.1.2** 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

**2.1.3** 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。

**2.1.4** 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。

**2.1.5** 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。

**2.1.6** 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、黏弹消能器等。

**2.1.7** 金属屈服型消能器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。

**2.1.8** 摩擦消能器friction energy dissipation device

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

**2.1.9** 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。

**2.1.10** 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。

**2.1.11** 黏滞阻尼墙 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消能器。

**2.1.12** 黏弹消能器 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。

**2.1.13** 调谐质量消能器Tune Mass Damper

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。

**2.1.14** 高阻尼橡胶消能器 High Damping Rubber Damper

由具有较高阻尼的橡胶材料制成的消能器。

**2.1.15** 设计使用年限

 在正常使用和维护情况下，不丧失有效使用功能的期限。

**2.1.16** 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。

**2.1.17** 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。

**2.1.18** 消能器设计荷载 design load of energy dissipation device

对应于设计位移或设计速度下的荷载。

**2.1.19** 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达到的位移值。

**2.1.20** 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达到的速度值。

**2.1.21** 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。其值应大于消能器设计位移的120%。

**2.1.22** 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。其值应大于消能器设计速度的120%。

**2.1.23** 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。

**2.1.24** 出厂检验delivery testing

消能器由具有相应消能器检测资质的检测机构进行的检验。

**2.1.25** 见证检验evidential testing

在见证单位的见证下，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。

## 2.2 符号

**2.2.1** 结构参数

—消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN·m）。

—消能减震结构的附加有效阻尼比；

—消能减震结构的基本自振周期（s）；

―消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

―设置消能部件的主体结构层间屈服位移（m）。

—支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）。

**2.2.2** 消能器参数

—第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）；

—第个消能器由试验确定的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

—第个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

—第个消能器两端的相对水平位移（m）；

—消能器的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

—阻尼指数的函数；

—第个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力（kN）；

—消能器60圈疲劳滞回面积平均值（kN·m）。

# 3 基本规定

**3.0.1** 新建消能减震结构的抗震设防目标应符合本规程第1.0.3条的规定。

**3.0.2** 当消能减震结构采用抗震性能化设计时，应根据其抗震设防类别、设防烈度、场地条件、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，对选定的抗震性能目标提出技术和经济可行性综合分析和论证。

**3.0.3** 减震设计应充分考虑结构体系与消能器有机组合协同工作，有效发挥结构体系承载和消能器的耗能作用。

**3.0.4** 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等因素，根据结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。

**3.0.5** 消能器的性能应满足本规程和国家行业相关规范的要求。

**3.0.6** 工程应用的消能器应有型式检验、出厂检验、见证检验。

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

**3.0.8** 当消能减震结构遭遇地震后，应对消能器进行检查和维护，必要时应进行更换。

**3.0.9** 抗震设防烈度为7、8、9度时，高度分别超过160m、120m、80m的大型消能减震公共建筑，应按照规定设置建筑结构的地震反应监测系统，建筑设计应预留监测仪器和线路的位置和空间。

# 4 地震作用和抗震验算

## 4.1一般规定

**4.1.1** 第一类设防目标对应的消能减震结构的设计可分为两个阶段进行。第一阶段在不考虑附加阻尼比的情况下应满足现行《建筑抗震设计规范》GB50011的截面抗震验算和抗震变形验算以及抗震措施的要求，第二阶段应满足本规程第4.4节的要求，罕遇地震下消能器总耗能不低于地震总输入能的25%。

**4.1.2** 第二类设防目标对应的消能减震结构的设计，应通过设置消能减震装置有效消耗地震能量，使建筑抗震性能明显提高，罕遇地震作用下减震结构与非减震结构的水平位移之比应小于0.75，罕遇地震下消能器总耗能不低于地震总输入能的20%。一般情况下，与《建筑抗震设计规范》GB50011的位移角限值相比，结构最大层间位移角减小的比例在多遇地震作用下不低于10%，钢筋混凝土框架结构和钢结构在罕遇地震作用下不低于50%，其他结构在在罕遇地震作用下不低于40%。结构在多遇地震作用下的弹性层间位移角应采用振型分解反应谱法计算的结果。此外，在不考虑附加阻尼比的情况下，结构仍应能满足现行抗震设计标准的多遇地震作用下弹性层间位移角限值和罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值。

**4.1.3** 减震结构的地震作用应符合下列规定：

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

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

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

**4** 8度及8度以上的长悬臂或大跨结构，及9度时的高层建筑结构，应计算竖向地震作用。

**4.1.4** 减震结构地震作用计算，除特殊要求外，可采用下列方法：

**1** 一般情况下构件截面验算可采用振型分解反应谱法，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法计算，非线性可用等效线性化方法考虑。

**2** 减震结构变形验算可采用时程分析法。采用时程分析法进行验算时，每条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的95%。

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

**4.1.5** 消能减震设计时，应根据预期减震效果及罕遇地震下的预期结构位移控制要求，适当布置消能部件。消能部件可由消能器及斜撑、墙体、梁或节点等支承构件组成。

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

**4.1.7** 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。

**4.1.8** 消能器在结构中的布置应遵循 “均匀、分散、对称、周边”的原则，且应具有足够的数量。消能部件的布置应符合下列规定：

**1** 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近，形成均匀合理的结构体系。

**2** 消能部件设置在相对变形或速度较大的位置。当采用中间柱型连接时，位移型消能器宜布置在靠近柱边位置，速度型消能器宜布置在跨中位置。

**3** 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层，同时保证结构沿高度方向刚度均匀。

**4** 消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明消能器使用的环境、检查和维护要求。主要力学性能指标检测满足消能器使用环境下规范的相关要求。

**5** 采用层间支撑型、悬臂墙型、连梁式设置消能器的结构，布置消能器楼层的数量，多层建筑不少于总层数的二分之一、高层建筑不少于三分之一。且在布置消能器的楼层中，消能器实际最大出力之和不低于楼层总剪力15%的楼层不少于一半。消能器的最大间距宜按剪力墙最大间距的相关要求确定。

**6** 采用伸臂或悬臂式阻尼桁架的结构，宜结合结构加强层数量设置。

【条文说明】消能部件宜布置在层间相对位移较大的楼层，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。

## 4.2 地震影响系数曲线和地震动输入

**4.2.1** 当减震结构的阻尼比为0.05时，地震影响系数应根据烈度、场地类别、特征周期和减震结构自振周期按图4.2.1确定，其水平地震影响系数最大值应按表4.2.1采用。场地特征周期应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定执行，计算罕遇地震和极罕遇地震作用时，场地特征周期应分别增加0.05s和0.10s。

|  |
| --- |
| GFT1 |
|  *α—* | 地震影响系数； | *αmax—* | 地震影响系数最大值； | *η1—* | 直线下降段的下降斜率调整系数； |
| *γ—* | 衰减指数； | *Tg—* | 特征周期； | *η2—* | 阻尼调整系数； |
| *T—* | 减震结构自振周期。 |  |  |  |  |

**图4.2.1 地震影响系数曲线**

 **表4.2.1 水平地震影响系数最大值*α*max**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地震影响 | 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| 多遇地震 | 0.04 | 0.08（0.12） | 0.16（0.24） | 0.32 |
| 设防地震 | 0.12 | 0.23（0.34） | 0.45（0.68） | 0.90 |
| 罕遇地震 | 0.28 | 0.50（0.72） | 0.90（1.20） | 1.40 |
| 极罕遇地震 | 0.36 | 0.72（1.00） | 1.35（2.00） | 2.43 |

**1** 当消能减震结构的阻尼比等于0.05时，其水平地震影响系数α曲线应按图4.2.1确定；但形状参数和阻尼调整系数应按下列规定调整：

1. 直线上升段，周期小于0.1s的区段；
2. 水平段，自0.1s至特征周期区段，应取最大值(αmax)；

3）曲线下降段，自特征周期至5倍特征周期区段，衰减指数应取0.9；

4）直线下降段，自5倍特征周期至6s区段，下降斜率调整系数应取0.02。

**2** 当消能减震结构的阻尼比不等于0.05时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状系数应符合下列规定：

1）曲线下降段的衰减指数应按下式确定：

 (4.2.3-1)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | γ— | 曲线下降段的衰减指数； |
|  | ζ— | 阻尼比。 |

2）直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定：

 (4.2.3-2)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *η*1— | 直线下降段的下降斜率调整系数，小于0时取0。 |

3）阻尼调整系数应按下式确定：

  (4.2.3-3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *η*2— | 阻尼调整系数，当小于0.55时，应取0.55。 |

**4.2.2** 减震结构采用时程分析方法时，地震动加速度时程曲线的选择合成，应符合下列规定：

**1** 地震动加速度时程曲线应满足设计反应谱和设计加速度峰值的基本要求，设计地震加速度峰值按表4.2.2采用。

**2** 实际强震记录地震动加速度时程曲线，应根据烈度、设计地震分组和场地类别进行选择，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。人工模拟地震动加速度时程曲线，应考虑阻尼比和相位信息的影响。

**表4.2.2 分析用地震加速度的最大值（cm/s2）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地震影响 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 多遇地震 | 18 | 35 （55） | 70 （110） | 140 |
| 设防地震 | 50 | 100（150） | 200（300） | 400 |
| 罕遇地震 | 125 | 220（310） | 400（510） | 620 |
| 极罕遇地震 | 160 | 320（460） | 600（840） | 1080 |

注：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。

## 4.3 地震作用计算

**4.3.1** 采用振型分解反应谱法时，应计算其地震作用和作用效应，应符合下列规定：

**1** 对不进行扭转耦联计算的减震结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

1）结构*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

 (*i*=1,2,…,*n*,*j*=1,2,…,*m*) （4.3.1-1）

式中：**──*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值；

**──*j*振型周期的地震影响系数，应按本标准第4.2.1条、第4.2.2条确定；

**──*j*振型*i*质点的水平相对位移，应按本标准附录A中式（A.0.1-1）计算；

**── *j*振型的参与系数，应按本标准附录A中式（A.0.1-2）计算。

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

 （4.3.1-2）

式中：—水平地震作用标准值的效应；

**—第*j*振型水平地震作用标准值的效应；

**—第*j*振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数，按本标准附录A中公式(A.0.2-1)计算。

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

1）结构*j*振型*i*质点的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

(*i*=1,2,…,*n*,*j*=1,2,…,*m*) （4.3.1-3）

式中：**、**、**—分别为*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；

*、*—分别为*j*振型*i*层质心在*x、y*方向的水平相对位移；

—*j*振型*i*层的相对扭转转角；

**—*i*层的转动半径，可取*i* 层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根；

**—计入扭转的*j*振型的参与系数。

2）单向水平地震作用下的效应，可按下列公式确定：

 （4.3.1-4）

（4.3.1-5）

式中：**—地震作用标准值的组合效应；

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

**——*j*振型与*k*振型的耦联系数；

**、——分别为*j*、*k*振型的阻尼比；

**——*k*振型与*j*振型的自振周期比。

3）双向水平地震作用下的效应，可按下列公式中的较大值确定：

 （4.3.1-6）

或 （4.3.1-7）

式中：、—分别为x向、y向单向水平地震作用按式（4.3.1-4）计算的地震效应。

**4.3.2** 当采用时程分析法时，消能减震结构的恢复力模型应包括结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型。

**4.3.3**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取7组或以上的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，不宜均采用同一地震事件，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。宜优先选用在云南省或西南地区取得的实际强震记录。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80%，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谱法计算结果的95%；弹塑性时程分析时，各条时程曲线计算所得主体结构的底部剪力、上部结构最大层间位移角等主要指标的最大值与最小值之比不宜大于3。同一场地上动力特性接近的结构单元，宜采用同一组时程曲线。

**4.3.4** 采用振型分解反应谱法和时程分析法同时计算时，地震作用结果应取时程分析法与振型分解反应谱法的包络值。

**4.3.5** 对特殊设防类和房屋高度超过60m的重点设防类减震建筑，宜采用不少于两种程序对地震作用计算结果进行比较分析。

**4.3.6** 对于抗震设防烈度为9度的高层建筑，竖向地震作用标准值的计算应符合下列要求：

**1** 采用振型分解反应谱法计算竖向地震作用时，其竖向地震影响系数最大值可采用本标准第4.2.1条规定的水平地震影响系数最大值的65%，但特征周期可均按设计第一组采用。

**2** 一般情况下，计算竖向地震作用标准值时，各楼层可视为质点；设防地震作用下楼层的竖向地震作用标准值可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，按下列公式确定：

 (4.3.6-1)

（*i=*1*,∙∙∙,n*） (4.3.6-2)

式中： **──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；

**—竖向地震影响系数的最大值；

**—结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的75％；

*、*——结构质点*i*、*j*的计算高度；

## 4.4 第一类设防目标对应的截面抗震验算和抗震变形验算

**4.4.1** 在设防地震作用下，主体结构构件的承载力应按下式验算，考虑消能器的耗能作用。

仅考虑水平地震作用： (4.4.1-1)

仅考虑竖向地震作用： (4.4.1-2)

同时考虑水平和竖向地震作用：

 (4.4.1-3)

 (4.4.1-4)

式中：——按材料强度标准值计算的承载力。

**4.4.2** 在设防地震作用下，消能减震结构楼层内最大的层间位移（平均位移），应符合式（4.4.2）的要求：

 （4.4.2）

式中：——设防地震作用标准值产生的楼层内*最大的层间位移*（平均位移？），主体结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；宜采用非线性时程分析方法考虑消能器的耗能作用，对规则建筑可采用静力弹塑性、等效线性化等简化方法计算；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；

——弹性层间位移角限值，应符合表4.4.2-1的要求；

**——计算楼层层高。

**表4.4.2-1 设防地震作用下弹性层间位移角限值**

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 |  |
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/400 |
| 底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒 | 1/500 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/600 |
| 钢结构 | 1/250 |

**4.4.3** 在罕遇地震作用下，结构楼层内最大的弹塑性层间位移，应符合下式要求：

 (4.4.3)

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

——弹塑性位移角限值，罕遇地震作用下应符合表4.4.3-1的规定。

**表4.4.3-1 罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值**

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 |  |
| 钢筋混凝土框架结构 | 1/120 |
| 底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构 | 1/200 |
| 钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构 | 1/250 |
| 钢结构 | 1/100 |

**4.4.4** 特殊设防类减震建筑结构楼层内最大弹塑性层间位移，且应符合表4.4.4-1的规定

**表4.4.4-1 极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值**

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

## 4.5 消能部件设计及附加阻尼计算

**4.5.1** 消能部件的设计参数应符合下列规定：

**1** 位移相关型消能器与斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时，消能部件的恢复力模型参数应符合下式规定：

 （4.5.1-1）

式中： ―消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

―设置消能部件的主体结构层间屈服位移（m）。

**2** 粘弹性消能器的粘弹性材料总厚度应符合下式规定：

 （4.5.1-2）

式中： —粘弹性消能器的粘弹性材料总厚度（m）；

—沿消能方向消能器的最大可能的位移（m）；

—粘弹性材料允许的最大剪切应变。

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

 （4.5.1-3）

式中：—支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

—消能器的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

—消能减震结构的基本自振周期（s）。

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

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

**2** 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式估算：

 （4.5.2-1）

式中，—消能减震结构的附加有效阻尼比；

—第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）。

**3** 不计及扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式计算：

 （4.5.2-2）

式中：—质点的水平地震作用标准值（一般取相应于第一阵型的水平地震作用即可，kN）；

—质点对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

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

 （4.5.2-3）

式中：—消能减震结构的基本自振周期（s）；

—第个消能器由试验确定的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

—第个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

—第个消能器两端的相对水平位移（m）。

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

**5** 非线性粘滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

 （4.5.2-4）

式中：—阻尼指数的函数，可按表4.5.2取值；

—第个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力（kN）。

**表4.5.2 值**

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

注：其他阻尼指数对应的值可线性差值。

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

 （4.5.2-5）

式中：—第个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移时的面积（kN·m）。

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

 （4.5.3-1）

式中：—消能器60圈疲劳滞回面积平均值（kN·m）。

—第个消能部件在设计位移下往复循环一周所消耗的能量（kN·m）。

## 4.6减震结构设计

**4.6.1** 减震结构包括主体结构、消能子结构、消能部件（包含消能器）等单元组成。

**1** 在减震设计时，采用有间隙连接的消能器附加阻尼比不宜高于计算值的80%，采用无间隙连接的消能器附加阻尼比直接用于实际计算。对于采用有间隙连接构造的消能部件时，消能器计算使用的屈服位移不宜小于0.5mm。

**2** 在温度或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。即其屈服承载力应高于其按标准组合所得的内力。

**3** 当多遇地震下摩擦消能器按不进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑按不屈服设计时，其屈服承载力应高于其按基本组合所得的内力。

**4.6.2** 主体结构设计宜符合下列规定：

**1** 主体结构截面和变形抗震验算，应按本规程4.4节和4.5节执行。

**2** 其他验算内容可按《建筑抗震设计规范》GB50011或其他相关规范执行。

**3** 抗震设防烈度为6~8度且房屋高度超过钢筋混凝土框架结构最大适用高度但小于钢筋混凝土框架结构和框架抗震墙结构二者最大适用高度的平均值，底层的支撑框架按刚度分配的多遇地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的50%。当结构中含有在罕遇地震下可能屈服的普通钢支撑时，宜采用屈曲约束支撑代替普通钢支撑。

**4.6.3** 消能子结构设计宜符合下列规定：

**1** 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力。在罕遇地震作用下材料强度可采用《建筑抗震设计规范》GB50011附录M-1.2.4的规定的极限值。

**2** 消能子结构中的梁、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。消能器宜避免与大墙肢相连，当剪力墙设有边框柱时，可仅将边框柱视为消能子结构的竖向构件。

**3** 消能子结构的节点和构件应进行消能器极限位移和极限速度下的消能器引起的阻尼力作用下的截面验算。

**4.6.4** 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侧；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它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。

# 5 消能部件的连接与构造

## 5.1 一般规定

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

**5.1.2** 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。

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

**5.1.4** 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。

**5.1.5** 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。

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

## 5.2 预埋件

**5.2.1** 应根据消能器受力特征进行预埋件截面计算，确定预埋件总截面面积。

**5.2.2** 预埋件的锚筋和锚板设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145和《钢筋混凝土结构预埋件》16G362的规定，并根据实际受力情况适当加强。当多于四排，应充分考虑锚筋。

**5.2.3** 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。

**5.2.4** 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。

## 5.3 支撑和支墩、剪力墙计算

**5.3.1** 消能器相连的支墩、剪力墙应按本规程第4.7.4条第6款消能器附加的水平剪力进行截面验算。

**5.3.2** 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。

**5.3.3** 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4.6.1条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的2倍。

## 5.4 节点板计算

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

**5.4.2** 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

 （5.4.2-1）

 （5.4.2-2）

式中：*N* — 作用于节点板上消能器作用力，按本规程第4.6.4条的规定取值(kN)；

      *Ai* — 第*i*段破坏面的截面积*，* *Ai ＝tli*；当为螺栓连接时，应取净截面面积(㎡)；

     *ηi* — 第*i*段的拉剪折算系数；

      *ƒ* — 钢材的抗拉和抗剪强度设计值(N/mm²)；

     *αi* — 第*i*段破坏线与拉力轴线的夹角；

      *t* — 板件厚度(mm)；

     *li* — 第*i*段破坏段的长度(mm)，应取板件中最危险的破坏线的长度(图5.4.2)。



（a）焊接 （b）螺栓连接

**图5.4.2 节点板的拉、剪撕裂**

**5.4.3** 节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

**1** 对梁柱相交处有斜向支撑或消能器的节点，其节点板c/t不得大于。当c/t不大于时，可不进行稳定验算。否则，按本条第3款进行计算。

**2** 对框架梁上的节点，其节点板c/t不得大于。当c/t不大于时，节点板的稳定承载力可取为0.8betƒ；当c/t大于时，按本条第3款进行计算。

**3** 设有斜向支撑或消能器的节点板，在其轴向压力作用下，节点板BA、AC和CD的稳定性应满足下列要求，如图5.4.3-1、5.4.3-2：

区：

  （5.4.3-1）

区：

  （5.4.3-2）

区：  （5.4.3-3）



**图5.4.3-1 单斜撑节点板**



**图5.4.4-2 双斜撑节点板**

式中：N—作用于节点板上的轴力(一般为消能器的极限承载力，kN)；

ts—节点板厚度(mm)；

*l1*、*l2*、*l3*—分别为屈折线BA、AC、CD的长度(mm)；

*φ1*、*φ2*、*φ3*—各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017中b类截面查取；其相应的长细比分别为：，，;式中、、为、、三区受压板件的中线长度；其中=c；*b1*、*b2*、*b3*为各屈折线段在有效宽度线上的投影长度，*b1*、*b2*、*b3*分为、、的长度。

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

## 5.5 消能器与结构连接构造要求

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

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

**5.5.3** 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。

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

## 5.6 屈曲约束支撑的构造要求

**5.6.1** 屈曲约束支撑的连接计算应取1.2倍设计轴向力，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。

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

**5.6.2** 屈曲约束支撑的形心线与梁柱形心线三者宜相交于一点。

**5.6.3** 屈曲约束支撑采用人字形或V字形的布置形式时，应加强支撑节点设计。。当与屈曲约束支撑相连的梁的侧向变形和扭转变形得不到限制时，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。

**5.6.4** 屈曲约束支撑连接示意如图5.6.4-1、5.6.4-2：

![C:\Users\Administrator\AppData\Roaming\Tencent\Users\617464773\QQ\WinTemp\RichOle\K5``]4EH0VZCG6K0ZFN[SUS.png]()

**图5.6.4-1 混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意**



**图5.6.4-2 钢构件与屈曲约束支撑连接示意**

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

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

**5.6.6** 屈曲约束支撑的极限承载力应大于相连构件的屈服承载力。



**图5.6.7-1 螺栓连接和焊接连接示意**

## 5.7 金属屈服型消能器构造要求

**5.7.1** 金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，宜结合建筑隔墙位置布置，通常采用支撑式和墙式连接。支撑式可根据需要采用V形或人字形布置，墙式可根据需要设置混凝土墙式和钢桁架墙式连接，墙式连接可根据建筑平面的特点调整位置，如图5.7.2-1。

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

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



1. **墙式（混凝土、钢桁架） (b) X字支撑式**

****

**(c) 人字支撑式 (d) V字支撑式**

**图5.7.2-1 消能器布置型式**

## 5.8 黏滞消能器构造要求

**5.8.1** 黏滞消能器与主体的连接方式，其布置方式有墙式、斜撑式、K字型等多种型式。可结合建筑隔墙位置放置，宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。采用中间柱型连接时，应设置暗梁暗柱，且锚筋应在暗柱的内侧。



**(a)支撑型 (b)中间柱型 (c)剪切连接**

**图5.8.1-1 消能器布置型式**

## 5.9 其他消能器构造要求

* + 1. 其他类型消能器的连接可以参照以上连接方式。

# 消能器的技术性能

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 消能器的设计使用年限应不低于50年。当消能器达到设计使用年限时应及时检测，重新确定消能器使用年限或更换。

**6.1.2** 消能器应具有良好的耐久性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能消能器》JG/T 209的要求，不满足时应作保温、除湿等相应处理。

**6.1.3** 位移型消能器的疲劳性能，在设计位移或要求位移下往复加载不少于60圈。

**6.1.4** 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** 消能器的尺寸偏差应符合本规程有关规定。

**4** 消能器外观应符合本规程有关规定。

**6.1.5**消能器的性能应符合下列规定：

**1** 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍极限阻尼力选取，应保证消能器及附属构件在罕遇地震作用下都能正常工作。

**2** 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、无异常。

**6.1.6** 消能器应经过消能减震结构或子结构动力试验，验证消能器的性能和减震效果。

**6.1.7**消能器标准化产品规格及力学性能参数可参照本规程附录D。

## 6.2 屈曲约束支撑

**6.2.1** 屈曲约束支撑产品外观应标记清晰，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。耗能段和非耗能段应光滑过渡，不应出现缺陷。与其他节点对接应采用等强对接焊缝，焊缝等级一级。

**6.2.2** 屈曲约束支撑的钢材应根据设计需要进行选择，核心单元宜采用高延性钢材。核心单元采用其它钢材时，质量指标应符合国家标准GB/T 700、GB/T 1591或GB/T 28905的要求，且屈曲约束支撑的核心单元钢材伸长率不应小于30%，屈强比应小于80%，冲击功韧性应大于27J。约束单元一般采用碳素结构钢或合金结构钢，钢材质量指标应符合GB/T 700或GB/T 1591的要求。芯材应符合《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314的规定。填充材料抗压强度不宜低于20MPa。

**6.2.3** 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表6.2.3规定。

**表6.2.3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 检验项目 | 允许偏差 |
| 支撑长度 | 不超过产品设计值的±3mm |
| 支撑横截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 支撑侧弯矢量 | L/1000，且≤10mm |
| 支撑扭曲 | h(d)/250，且≤5mm |
| 注：L——支撑长度；h——支撑高度；d——支撑外径 |

**6.2.4** 屈曲约束支撑基本力学性能包括表6.2.4所列的各项指标。

**表6.2.4 基本力学性能**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 基本力学性能 | 1 | 屈服承载力 | 每个产品的实测值允许偏差应为设计值的±15%以内 |
| 2 | 屈服位移 | 每个产品的实测值允许偏差应为设计值的±15%以内 |
| 3 | 最大承载力 | 极限位移时对应的荷载，每个产品的实测值允许偏差应为设计值的±15%以内 |
| 4 | 极限位移 | 1.2倍设计位移 |
| 5 | 滞回曲线 | 任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的±15%以内。 |
| 6 | 拉压不平衡系数 | 设计位移下滞回曲线的拉压不平衡系数应小于1.1 |

**6.2.5** 屈曲约束支撑的耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能。其抗疲劳性能应符合表6.2.5的规定。

**表6.2.5 屈曲约束支撑耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 当设计位移小于等于5倍屈服位移时，以5倍屈服位移作为疲劳工况的加载位移；当设计位移大于5倍屈服位移时，以设计位移作为疲劳工况的加载位移。在规定位移下连续往复加载不少于60圈。 |
| 2 | 最大阻尼力 | 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±15%以内 |
| 3 | 滞回曲线 | 1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%以内2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%以内 |
| 4 | 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±15%以内 |
| 耐腐蚀性能 | 无锈蚀 |

**6.2.6** 火灾时应具有阻燃性，火灾后应对屈曲约束支撑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。

## 6.3 金属屈服型消能器

**6.3.1** 金属屈服型消能器外观应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤。外表采用防锈措施，涂层均匀。消能器安装宜采用螺栓连接、销轴连接和焊接连接。

**6.3.2** 用于制作金属屈服型消能器常用的金属材料有钢材、铅、合金等。钢屈服型消能器耗能段宜采用高延性钢制作，其伸长率不应小于40%，屈强比应小于80%，0℃时的冲击韧性应大于27J。金属屈服型消能器采用其它钢材，质量指标应符合国家标准GB/T700、GB/T3077或GB/T 28905等相关标准要求。核心单元原材料除提供材料合格证明外，还需提供第三方材性复检报告。

**6.3.3** 金属屈服型消能器尺寸偏差应符合表6.6.3的规定。

**表6.3.3 金属屈服型消能器各部件尺寸偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 检验项目 | 允许偏差 |
| 消能器长度 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 消能器宽度 | 不超过产品设计值的±2mm |
| 消能器高度 | 不超过产品设计值的±2mm |

**6.3.4** 金属屈服型消能器基本力学性能应符合表6.3.4的规定。

**表6.3.4 金属屈服型消能器基本力学性能要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 常规性能 | 1 | 屈服承载力 | 每个产品实测值允许偏差应为屈服荷载设计值的±15%以内 |
| 2 | 屈服位移 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%以内 |
| 3 | 最大承载力 | 极限位移下对应的承载力，每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%以内 |
| 4 | 极限位移 | 1.2倍设计位移 |
| 5 | 滞回曲线 | 任一循环的实测滞回曲线应稳定饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的±15%以内。 |

**6.3.5** 金属屈服型消能器的耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能，应符合表6.3.5的规定。

**表6.3.5 金属屈服型消能器耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 产品在要求位移下连续往复加载不少于60圈。要求位移按以下参数进行选取（以Dy来表示屈服位移）：1）Dy≤1.0mm时，消能器要求位移不应低于30Dy且不小于设计位移；2）1.0＜Dy＜2.0mm时，消能器要求位移不应低于25Dy且不小于30mm，不小于设计位移；3）2.0mm≤Dy时，消能器要求位移不应低于20Dy+10mm且不小于设计位移。 |
| 2 | 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% |
| 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% |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一个循环的滞回曲线面积应与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差不应超过±15% |
| 耐腐蚀性能 | 无锈蚀 |

**6.3.6** 火灾时应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行基本力学性能和疲劳性能检测，其指标与设计值偏差超过15%时应更换。

## 6.4 摩擦消能器

**6.4.1** 摩擦消能器产品外观应标记清晰，表面平整，无机械损伤，外表采用防锈措施，涂层均匀。

**6.4.2** 用于制作摩擦消能器的钢材质量指标应符合GB/T 700或GB/T 3077的要求。应选用不低于Q235B的钢材。摩擦消能器所用摩擦材料的静摩擦系数、动摩擦系数和磨损率根据摩擦材料与对偶材料的组合试验数据所得到。摩擦材料的抗压强度不低于60MPa。

**6.4.3** 摩擦消能器各部件尺寸偏差应符合表6.4.3规定。

**表6.4.3 摩擦消能器各部件尺寸偏差**

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

**6.4.4** 摩擦消能器基本力学性能应符合表6.4.4的规定。

**表6.4.4 基本力学性能要求**

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

**6.4.5** 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6.4.5的规定。

**表6.4.5 摩擦消能器耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 老化性能 | 1 | 摩擦荷载 | 老化前后摩擦荷载的变化率应为±15%以内 |
| 2 | 外观 | 目视无变化 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 产品在设计位移下连续加载不低于60圈 |
| 2 | 摩擦荷载 | 任一个循环的最大、最小阻尼力为所有循环最大、最小阻尼力平均值的±15% |
| 3 | 滞回曲线 | 1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%。 |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一个循环的滞回曲线面积应与所有循环的滞回曲线面积平均值的±15% |
| 耐腐蚀性能 | 无锈蚀 |

**6.4.6** 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%时应更换。

## 6.5 黏滞消能器

**6.5.1** 黏滞消能器产品外观应标记清晰，表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏。

**6.5.2** 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。热空气老化140℃\*10W，粘度变化率±5%内。挥发分230℃\*2h，挥发份不超过0.75% 。

**6.5.3** 用于黏滞消能器的钢材应根据设计需要选用，缸体和活塞杆一般可采用优质碳素结构钢、合金结构钢或不锈钢。优质碳素结构钢应符合GB/T 699的要求；合金结构钢应符合GB/T 3077的要求；结构用无缝钢管应符合GB/T 8162的要求；不锈钢棒应符合GB/T 1220的要求，不锈钢管应符合GB/T 14796的要求；锻轧钢棒超声波检验方法应符合GB/T4162的要求；无缝钢管超声波探伤检验方法应符合GB/T 5777的要求。活塞杆表面采用镀硬铬处理，最小镀层总厚度为70μm。当材料基底为不锈钢时,镀层的最小总厚度可下降到40μm。

**6.5.4** 黏滞消能器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。

**6.5.5** 黏滞消能器各部件尺寸偏差应符合表6.5.5规定。

**表6.5.5 黏滞消能器各部件尺寸偏差**

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

**6.5.6**黏滞消能器的基本力学性能应符合表6.5.6的规定。

**表6.5.6 黏滞消能器基本力学性能要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 1 | 极限位移 | 每个产品实测值不应小于消能器容许位移的150%，当最大位移不小于100mm时实测值应不小于设计容许位移的120% |
| 2 | 最大阻尼力 | 每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%，实测值的平均值应在设计值10%以内 |
| 3 | 极限速度 | 每个产品极限速度实测值不应小于极限速度设计值 |
| 4 | 阻尼系数 | 每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%，实测值的平均值应在设计值10%以内 |
| 5 | 速度指数 | 每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%，实测值的平均值应在设计值10%以内 |
| 6 | 滞回曲线 | 产品在设计位移下连续加载5圈，第3圈滞回曲线面积实测值偏差应为设计值的±15%。 |

【说明】目前粘滞消能器的寿命主要受阻尼介质、密封圈影响，硅油的寿命预测，即把硅油置于老化箱中，待老化后将硅油灌装与同一规格的消能器中，进行力学性能测试，检测力学性能变化及密封情况。

**6.5.7** 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、耐腐蚀性能，且要求消能器在试验后无渗漏，无裂纹，其相关性能应符合表6.5.7的规定。

**表6.5.7 黏滞消能器耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 产品在设计位移大于100mm按照结构基频连续加载10圈，产品在设计位移不大于100mm按照结构基频连续加载45圈，不允许采用外部降温和散热措施。 |
| 2 | 最大阻尼力 | 任一个循环的最大、最小阻尼力应为设计值的±15%，实测值的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 3 | 滞回曲线 | 1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%。 |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一个循环的滞回曲线面积应为设计值的±15%，，实测值的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 风荷载测试 | 1 | 最大阻尼力 | 所有循环中的最大、最小阻尼力变化率应为±15% |
| 2 | 滞回曲线面积 | 任一循环实测的滞回曲线稳定饱满、光滑无异常，所有循环中的滞回曲线面积实测值应为设计值的±15% |
| 耐腐蚀性能 | 无锈蚀 |

**6.5.8** 黏滞消能器的其它相关性能应符合表6.5.8的规定。

**表6.5.8 黏滞消能器其它相关性能要求**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 项目 | 指标 | 性能要求 |
| 黏滞消能器 | 加载频率相关性能 | 最大阻尼力 | 变化不大于±15% |
| 温度相关性能 | 最大阻尼力 | 变化不大于±15% |
| 黏滞阻尼墙 | 加载频率相关性能 | 最大阻尼力 | 变化不大于-15%～+25% |

注：对于粘滞阻尼墙，阻尼介质的材料相关性测试。

**6.5.9** 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。

## 6.6 黏弹消能器

**6.6.1** 钢板平整、无锈蚀、无毛刺，标记清晰。钢板坡口焊接，焊接一级、平整。黏弹性阻尼材料表面密实、相对平整。

**6.6.2** 黏弹性材料质量指标应符合表6.6.2的要求。

**表6.6.2 黏弹性材料性能指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 拉伸强度 | ≥5MPa |
| 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 | ≤(-25~+25)% |
| 扯断伸长变化率 | ≤(-25~+25)% |
| (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 | ≥2.5MPa |

**6.6.3**钢材质量指标应符合GB/T 700中碳素结构钢Q235或低合金钢的要求。

**6.6.4** 黏弹性消能器各部件尺寸偏差应符合表6.6.4的规定。

**表6.6.4 黏弹性消能器各部件尺寸偏差**

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

**6.6.5** 黏弹性消能器的力学性能应符合表6.6.5的规定。

**表6.6.5 黏弹性消能器基本力学性能要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 1 | 阻尼系数 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 2 | 速度指数 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 3 | 刚度 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 4 | 最大阻尼力 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 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为对应工况理论计算值的±15% |

**6.6.6** 黏弹性消能器极限应变实测值不小于250%，且不小于设计剪应变的1.2倍

**6.6.7** 黏弹性消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能，耐久性应符合表6.6.7的规定。

**表6.6.7 黏弹性消能器耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 老化性能 | 1 | 变形 | 无异常 |
| 2 | 阻尼系数、速度指数、最大阻尼力 | 老化前后的变化率应为±15%以内 |
| 3 | 外观 | 目视无变化 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 产品在设计位移下连续加载60圈 |
| 2 | 阻尼系数、速度指数、最大阻尼力 | 实测值应为平均值的±25% |
| 3 | 滞回曲线 | 1. 位移在零时的最大、最小阻尼力应位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±25%。
2. 阻尼力在零时的最大、最小位移应阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±25%。
 |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一循环的滞回曲线面积应为平均值的±15% |

**6.6.8** 相关性能符合表6.6.8的规定。

**表6.6.8 黏弹性消能器相关性要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性能要求 |
| 频率相关性 | 最大阻尼力 | 3.0Hz/0.2Hz变化率＞50% |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | 20℃~40℃变化率±15%；10℃~20℃变化率±25%；0℃~10℃变化率±50%； |
| 变形相关性 | 最大阻尼力 | 具有规律性 |
| 基准温度23℃。 |

**6.6.9** 火灾应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行力学检测，其指标下降超过15%时应进行更换。

## 6.7 高阻尼橡胶消能器

**6.7.1** 钢板平整、无锈蚀、无毛刺，标记清晰。高阻尼材料表面密实、平整。

**6.7.2** 橡胶阻尼材料质量指标应符合表6.7.2要求，钢材应符合GB/T 700中碳素结构钢或GB/T 1591低合金钢的要求。

**表6.7.2 高阻尼材料性能指标**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 指标 |
| 拉伸强度 | ≥10MPa |
| 扯断伸长率 | ≥550% |
| 扯断永久变形 | ≤60% |
| 热空气老化70℃\*168h | 拉伸强度变化率 | ±15% |
| 扯断伸长变化率 | -25% |
| 钢板与阻尼材料之间的黏合强度 | ≥8MPa |

**6.7.3** 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差应符合表6.7.3的规定。

**表6.7.3 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差**

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

**6.7.4** 高阻尼橡胶消能器的力学性能应符合表6.7.4的规定。

**表6.7.4 高阻尼橡胶消能器基本力学性能要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 1 | 屈服承载力 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 2 | 屈服后刚度 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 3 | 等效阻尼比 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 4 | 等效水平刚度 | 每个产品的实测值偏差应为设计值的±15% |
| 5 | 滞回曲线 | 每个产品实测的滞回曲线稳定饱满、光滑、无异常。产品在各要求工况下分别连续加载5圈，任一工况第3圈滞回曲线面积的实测值偏差应为对应工况理论计算值的±15% |

**6.7.5** 高阻尼橡胶消能器极限应变实测值不小于250%，且不小于设计剪应变的1.2倍

**6.7.6** 高阻尼橡胶消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能，耐久性应符合表6.7.6的规定。

**表6.7.6 高阻尼橡胶消能器耐久性要求**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 性能要求 |
| 老化性能 | 1 | 变形 | 无异常 |
| 2 | 屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度 | 老化前后的变化率应为±15%以内 |
| 3 | 外观 | 目视无变化 |
| 疲劳性能 | 1 | 疲劳加载 | 产品在设计位移下连续加载60圈 |
| 2 | 屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度 | 实测值应为平均值的±15% |
| 3 | 滞回曲线 | 位移在零时的最大、最小阻尼力应位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%。阻尼力在零时的最大、最小位移应阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15% |
| 4 | 滞回曲线面积 | 任一循环的滞回曲线面积应为平均值的±15% |

**6.7.7** 相关性能应符合表6.7.7的规定。设计文件中应明确提出消能器的使用环境要求及与之相适应的检验要求，产品检测和竣工验收时应核查是否满足设计提出的使用环境要求。

**表6.7.7 高阻尼橡胶消能器相关性要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性能要求 |
| 变形相关性 | 阻尼力 | 具有规律性 |
| 温度相关性 | 阻尼力、等效阻尼比 | -10℃~40℃变化率±15%；  |

**6.7.8** 火灾应具有阻燃性；火灾后应对消能器进行力学检测，其指标下降超过15%时应进行更换。

## 6.8 调谐质量消能器

**6.8.1** 调谐质量消能器产品外观应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤，外表采用防锈措施，涂层均匀。

**6.8.2** 钢材应根据设计需要进行选择，优质碳素结构钢应符合GB/T 700；合金结构钢应符合国家标准或GB/T 3077的规定；结构用无缝钢管应符合GB/T 8162的规定；不锈钢棒应符合GB/T8162，不锈钢管应符合GB/T 14976的规定。拉伸弹簧应符合GB/T 1239.1的规定，压缩弹簧应符合GB/T 1239.2的规定；弹簧材料应符合GB/T1222的规定；弹簧使用寿命应符合GB/T 16947的规定，黏滞消能器应符合本标准中的黏滞消能器的相关要求，烧结铷铁硼永磁铁应符合GB/T 13560的规定，纯铜应符合GB/T 5231的规定。

**6.8.3** 调谐质量消能器各部件尺寸偏差应符合表6.8.3规定。

**表6.8.3 调谐质量消能器各部件尺寸偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 检验项目 | 允许偏差 |
| 消能器长度 | 不超过产品设计值的±3% |
| 消能器宽度 | 不超过产品设计值的±3% |
| 安装孔 | 孔位置偏差±2mm，孔径偏差±1mm |

**6.8.4** 调谐质量消能器力学性能应符合表6.8.4的规定。

**表6.8.4 力学性能要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 调谐频率 | 实测值偏差应在产品设计值的±5%以内；  |
| 阻尼比 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内； |
| 极限位移 | 实测值不应小于设计位移的120% |

**6.8.5** 调谐质量消能器具有良好的耐腐蚀性能。

**6.8.6** 火灾时应具有阻燃性，火灾后应对调谐质量消能器进行结构安全性和减振效果进行检测，其指标下降超过15%时应进行更换。

## 6.9 其他消能器

**6.9.1** 其他类型消能器根据实际情况可以参考以上的性能要求具体选择。

# 7 消能器的试验方法和检验规则

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 消能器的试验方法基本力学性能试验方法、疲劳性能试验方法、耐久性能试验方法、相关性能试验方法。

**7.1.2** 根据消能器的试验检测方法，规定了检验分类、检验项目、检验比例和判别标准。

## 7.2 试验方法

**7.2.1** 屈曲约束支撑：

**1** 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤；

**2** 钢材的性能试验应符合GB/T 228和GB/T 7314的规定；

**3** 用常规量具测量评定；

**4** 产品力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验方法如表7.2.1-1所示。

**表7.2.1-1 屈曲约束支撑力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 屈服承载力屈服位移最大承载力极限位移滞回曲线面积拉压不平衡系数 | 1. 试验采用力-位移混合控制加载制度，试件屈服前采用力控制并分级加载。试件屈服后采用位移控制，每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法。
2. 试件屈服前，按照0.5屈服承载力进行加载，加载3个循环。
3. 试件屈服后，按照位移加载，位移幅值*u*1分别取0.5*u0*、0.8*u0*、1.0*u0、*1.2*u0*共4个工况，各工况连续加载3个循环。
4. 分析首次进入屈服的工况，取第1次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值；
5. 取位移幅值为1.0*u0*工况的第3次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并计算得到最大承载力。
 |
| 注：*u0*为消能器设计位移。 |

 **5** 屈曲约束支撑疲劳性能试验方法应按表7.2.1-2的规定进行。

**表7.2.1-2 屈曲约束支撑疲劳性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 疲劳性能 | 采用三角波或正弦激励法进行加载，连续加载60个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线。 |
| 耐腐蚀性能 | 产品整体按GB/T10125-2012《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》方法试验，试验应连续进行不少于1000小时，试验后产品上所有电镀层按GB/T6461-2002《金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的式样和试件的评级》给出评级，产品上所有有机涂层按GB/T1766-2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》保护性漆膜综合老化性能等级给出评级。（条文说明解释一下） |
| 注：*u*0为消能器设计位移。 |

**6** 屈曲约束支撑遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.2** 金属屈服型消能器：

**1** 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤。

**2** 钢材的性能试验应符合GB/T 228和GB/T 7314的规定。

**3** 用常规量具测量评定。

**4** 基本力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验模拟使用环境并考虑其变化范围，试验方法如表7.2.2-1所示。

**表7.2.2-1 金属屈服型消能器力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 屈服承载力屈服位移最大承载力极限位移滞回曲线 | 1. 试验采用力-位移混合控制加载制度，试件屈服前采用力控制并分级加载。试件屈服后采用位移控制，每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法。
2. 试件屈服前，按照0.5屈服承载力进行加载，加载3个循环。
3. 试件屈服后，按照位移加载，位移幅值*u*1分别取0.5*u0*、0.8*u0*、1.0*u0*、1.2*u0*共4个工况，各个工况连续加载3个循环；
4. 分析首次进入屈服的工况，取第1次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值；
5. 取位移幅值为1.0*u0*工况的第3次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并计算得到最大承载力。
 |
| 注：*u0*为消能器设计位移。 |

**5** 金属屈服型消能器疲劳性能试验方法应按表7.2.2-2的规定进行。

**表7.2.2-2 金属屈服型消能器疲劳性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 疲劳性能 | 采用三角波或正弦激励法进行加载，连续加载60个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线。 |
| 耐腐蚀性能 | 产品整体按GB/T10125-2012《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》方法试验，试验应连续进行不少于1000小时，试验后产品上所有电镀层按GB/T6461-2002《金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的式样和试件的评级》给出评级，产品上所有有机涂层按GB/T1766-2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》保护性漆膜综合老化性能等级给出评级 |
| 注：u0为消能器设计位移，。 |

**6** 金属屈服型消能器遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.3** 摩擦消能器：

**1** 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，应无机械划伤。

**2** 钢材的性能试验应符合GB/T 228和GB/T 7314的规定。

**3** 用常规量具测量评定。

**4** 摩擦消能器产品力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验模拟使用环境并考虑其变化范围，试验方法如表7.2.3-1所示。

**表7.2.3-1 摩擦消能器力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 起滑阻尼力起滑位移摩擦荷载极限位移滞回曲线面积 | 1. 采用三角波或正弦激励法进行加载，设计位移下连续加载3个循环；
2. 取第3次循环时滞回曲线的零位移对应的荷载作为摩擦荷载的实测值；
3. 取第1次循环时滞回曲线的起滑位移和起滑阻尼力作为起滑位移和起滑荷载的实测值；
4. 取第1次循环时滞回曲线从零位移到起滑位移的斜率作为弹性刚度的实测值；
5. 取第3次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值。
 |
| 注：*u*0为消能器设计位移， |

**5** 摩擦消能器疲劳性能试验方法应按表7.2.3-2的规定进行。

**表7.2.3-2 摩擦消能器耐久性试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 老化性能 | 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 |
| 疲劳性能 | 采用三角波或正弦激励法进行加载，连续加载60个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线 |
| 耐腐蚀性能 | 产品整体按GB/T10125-2012《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》方法试验，试验应连续进行不少于1000小时，试验后产品上所有电镀层按GB/T6461-2002《金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的式样和试件的评级》给出评级，产品上所有有机涂层按GB/T1766-2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》保护性漆膜综合老化性能等级给出评级 |
| 注：*u*0为消能器设计位移。 |

**6** 金属屈服型消能器遭受火灾后必须对取样件进行检测。取样件合格后消能器可继续使用，取样件检测不合格应对消能器进行批量更换。

**7.2.3** 黏滞消能器：

**1** 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，试验过程中应无外渗漏及机械划伤。

**2** 黏滞消能器材料性能测定：外观以目视测定。取约50ml样品倒入清洁、干燥、无色透明的100ml烧杯中，待气泡全部消除后置于室内自然光下观察。每批材料的黏度、黏温系数、闪点必须由材料生产厂家的质量检验部门出具质量检验报告单，并保证材料达到规定的各项技术要求。钢材的性能试验应符合GB/T 228和GB/T 7314的规定。

**3** 尺寸偏差用常规量具测量评定。

**4** 基本力学性能试验，黏滞消能器的力学性能试验在伺服加载试验机上进行。黏滞消能器的力学性能试验方法如表7.2.4-1所示。

**表7.2.4-1 黏滞消能器力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 极限位移 | 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。 |
| 最大阻尼力 | 采用正弦激励法，输入位移，加载频率为*f1*，连续进行5个循环，取第3次循环时滞回曲线的最大阻尼力作为最大阻尼力的实测值； |
| 阻尼系数速度指数滞回曲线面积 | 1. 采用正弦激励法，输入位移，加载频率为*f1*，控制试验机加载系统；
2. 位移幅值*u*1分别取0.1*u*0、0.2*u*0、0.5*u*0、0.7*u*0、1.0*u*0、1.2*u*0共6个工况，不间歇连续加载5个循环，取每个工况的第3次循环时滞回曲线的最大阻尼力、最大速度，通过曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；
3. 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。
 |
| 注：*ω*为圆频率*ω*=2*πf*，*u*0为消能器设计位移。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。 |

**5** 黏滞消能器的耐久性能应按表7.2.4-2的规定进行。

**表7.2.4-2 黏滞消能器耐久性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 疲劳性能 | 用正弦激励法，当主要用于地震控制时，输入位移u=u0sin(ωt)，工作频率为f1，当设计位移大于100mm时，连续加载10个循环；当设计位移不大于100mm时，连续加载60个循环；当需要进行风荷载测试时，输入位移u=uwsin(ωt)，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。 |
| 密封性能 | 输入位移u=uTsin(ωt)，工作频率为f1，进行10000次循环试验，消能器内流体可部分移除或移除活塞阻尼结构。要求本试验完成后进行地震疲劳试验，性能仍满足疲劳性能要求。消能器密封良好，无漏油。 |
| 耐腐蚀性能 | 产品整体按GB/T10125-2012《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》方法试验，试验应连续进行不少于1000小时，试验后产品上所有电镀层按GB/T6461-2002《金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的式样和试件的评级》给出评级，产品上所有有机涂层按GB/T1766-2008《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》保护性漆膜综合老化性能等级给出评级。 |
| 低速试验 | 采用三角波加载，以频率0.002Hz完成一个极限位移循环，阻尼力≤设计最大阻尼力的5% |
| 注：*ω*为圆频率*ω=2πf1*，*u*0为消能器设计位移，*f1*为结构基频，uw为风荷载下黏滞消能器可能达到的最大位移的1.2倍，uT为温度作用下黏滞消能器可能达到的最大位移的1.2倍。 |

**6** 黏滞消能器其它相关性能试验应按表7.2.4-3的规定进行。

**表7.2.4-3 黏滞消能器其它相关性能的试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 最大阻尼力加载频率相关性 | 用正弦激励法，测定产品在常温，加载频率f分别为0.417 f1、0.7 f1、1.0f1、1.3f1、1.6f1，对应分别输入位移幅值1.2,,,0.77和0.63下的最大阻尼力，并分别与f1下位移幅值的0.5,0.7,,和 的阻尼力比值进行比较 |
| 最大阻尼力温度相关性 | 测定产品在输入位移*u=u0sin(ωt)*，工作频率*f1*，试验温度为-20℃~+40℃，每隔10℃记录其最大阻尼力作为的实测值。 |
| 注：*u*0为消能器设计位移，*f1*为测试频率。 |

**7** 黏滞消能器遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.3** 黏弹消能器：

**1** 外观用目视、游标卡尺及卷尺进行测量。

**2** 黏弹性材料的拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形的测定按GB/T 528的规定执行；热空气老化的测定，按GB/T 3512的规定执行；黏合强度的测定，按GB/T 11211的规定执行。粘弹性材料损耗因子的测定，用动态热机械分析仪检测，测量温度范围0℃~40℃，测量频率消能器的工作频率，升温速度2℃/min。钢材按GB/T 700的规定执行。

**3** 尺寸偏差用常规量具测量评定。

**4** 黏弹性消能器的力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验模拟使用环境并考虑其变化范围。黏弹性消能器在环境温度条件下的力学性能试验方法见表7.2.5-1。其中输入位移u0是指与表观剪应变设计值γ0相对应的黏弹性材料剪切位移设计值，u0=γ0t，t为黏弹性材料层厚度。

**表7.2.5-1 黏弹性消能器力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 最大阻尼力速度指数阻尼系数滞回曲线 | 1. 控制位移*u=u1sin(ωt)*；连续加载3个循环，每次均绘制阻尼力-位移滞回曲线；
2. 位移幅值u0，频率分别取0.2Hz、0.5Hz、1.0Hz、2.0Hz、3.0Hz共5个工况，不间歇连续加载3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，通过曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；
3. 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。
 |
| 极限剪应变 | 控制位移*u=u1sin(ωt)*；*u1*不小于设计极限位移，工作频率*f*1，连续加载3个循环；取第3次循环时滞回曲线的最大位移作为极限剪应变的实测值； |
| 注：*u*0为消能器设计位移，*f*1为结构基频。 |

**5** 黏弹性消能器的耐久性试验应按表7.2.5-2的规定进行。

**表7.2.5-2 黏弹性消能器耐久性试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 老化性能 | 试件放入恒温干燥箱中，保持温度80℃，保持192h后取出。 |
| 疲劳性能 | 采用正弦激励法，当主要用于地震控制时，输入位移*u*=*u*0sin(*ωt*)，工作频率为*f1*，连续加载60个循环；当主要用于风振时，输入位移*u*=0.1*u*0sin(*ωt*)，每次连续加载不小于2000次，累计加载10000个循环。 |
| 注：*u*0为消能器设计位移。 |

**6** 黏弹性消能器的其它相关性能试验应按表7.2.5-3的规定进行。

**表7.2.5-3 黏弹性消能器相关性能的试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 变形相关性能 | 基准频率下，测定输入位移*u*=*u*1sin(*ωt*)，剪应变100%最大阻尼力，大变形200%往复3次后，再测试100%时最大阻尼力，二者相比。 |
| 加载频率相关性能 | 测定产品在输入位移*u*=*u*1sin(*ωt*)，检测频率*f*为0.2Hz、0.5Hz、1.0Hz、2.0Hz、3.0Hz时的最大阻尼力，并计算与0.2Hz下的相应值的比值。*u1= u0 f1*/ *f* |
| 温度相关性能 | 测定产品在输入位移*u*=*u*0sin(*ωt*)，试验温度为0℃~40℃，每隔10℃记录其最大阻尼力作为的实测值。每个温度下放入恒温箱24h后30min内完成检测。 |
| 注：*u*0为消能器设计位移 |

**7** 黏弹性消能器遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.6** 高阻尼橡胶消能器：

**1** 外观用目视、游标卡尺及卷尺进行测量。

**2** 高阻尼橡胶材料的测定：拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形的测定按GB/T528的规定执行；热空气老化的测定，按GB/T3512的规定执行；黏合强度的测定，按GB/T11211的规定执行。高阻尼橡胶材料损耗因子的测定，用动态热机械分析仪检测，测量温度范围0℃~40℃，测量频率消能器的工作频率，升温速度2℃/min。钢材按GB/T700的规定执行。

**3** 尺寸偏差用常规量具测量评定。

**4** 高阻尼橡胶消能器的力学性能试验在伺服加载试验机上进行，试验模拟使用环境并考虑其变化范围。高阻尼橡胶消能器在环境温度条件下的力学性能试验方法见表7.2.6-1。其中输入位移u0是指与表观剪应变设计值γ0相对应的高阻尼橡胶性材料剪切位移设计值，u0=γ0t，t为橡胶材料层厚度。

**表7.2.6-1 高阻尼橡胶消能器力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度、滞回曲线 | 1. 控制位移*u=u1sin(ωt)，*连续加载3个循环，每次均绘制阻尼力-位移滞回曲线。
2. 取第3次循环时滞回曲线的计算屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度。
 |
| 极限剪应变 | 控制位移*u=u1sin(ωt)*；*u1*不小于设计极限位移，工作频率*f*1，连续加载5个循环；取第3次循环时滞回曲线的最大位移作为极限剪应变的实测值； |
| 注：*u*0为消能器设计位移，*f*1为结构基频。 |

**5** 高阻尼橡胶消能器的耐久性试验应按表7.2.6-2的规定进行。

**表7.2.6-2 高阻尼橡胶消能器耐久性试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 老化性能 | 试件放入恒温干燥箱中，保持温度80℃保持192h后取出。 |
| 疲劳性能 | 采用正弦激励法，输入位移*u*=*u*0sin(*ωt*)，工作频率为*f1*，连续加载60个循环。 |
| 注：*u*0为消能器设计位移。 |

**6** 高阻尼橡胶消能器相关性能试验应按表7.2.6-3的规定进行。

**表7.2.6-3 高阻尼橡胶消能器相关性能的试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 变形相关性能 | 基准频率下，测定输入位移*u*=*u*1sin(*ωt*)，剪应变100%最大阻尼力，大变形200%往复3次后，再测试100%时最大阻尼力，二者相比。 |
| 温度相关性能 | 测定产品在输入位移*u*=*u*0sin(*ωt*)，试验温度为-10℃~40℃，每隔10℃记录其最大阻尼力作为的实测值与20℃时进行比较。每个温度下放入恒温箱24h后30min内完成检测。 |
| 注：*u*0为消能器设计位移。 |

**7** 高阻尼橡胶消能器遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.7** 调谐质量消能器：

**1** 产品外观质量可用目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤；

**2** 材料性能测定，钢材的性能应符合 GB/T 228 和 GB/T 7314的规定； 锻轧钢棒超声波检验方法应符合GB/T 4162的规定。弹簧材料应符合GB/T 1239. 1、 GB/T 1239. 2、 GB/T 1222、GB/T 16947的规定；

**3** 尺寸偏差用常规量具测量评定；

**4** 基本力学性能试验，调谐质量消能器的力学性能试验采用振动采集系统进行，调谐质量消能器的力学性能试验方法如表7.2.7-1所示。

**表7.2.7-1 调谐质量消能器基本力学性能试验方法**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 试验方法 |
| 极限位移、自振频率、阻尼比 | 通过外部激励使其初始振幅达到极限位移，然后停止激励，并记录振动衰减曲线，确认TMD参数是否在合格范围内，试验重复3次。 |

**5** 调谐质量消能器遭受火灾后必须进行检测。

**7.2.8** 其他消能器：

其他类型消能器根据实际情况可以参考以上的试验方法要求具体选择。

## 7.3 检验规则及判定

**7.3.1** 检验分类：产品检验分为型式检验、出厂检验、见证检验。

**7.3.2** 型式检验

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

**1** 新产品的试制定型鉴定；

**2** 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；

**3** 正常生产时，每五年检验一次；

**4** 停产一年以上恢复生产时；

**5** 国家质量监督机构提出型式检验要求时；

**6** 因特殊需要而必须进行型式检验时；

**7** 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

**7.3.2** 出厂检验

**1** 出厂检验应由具有资质的第三方检测机构进行的检验，检验合格并附检测报告。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。

**2** 出厂检验的检验项目，应包括建筑消能器的外观、尺寸偏差、基本力学性能，还应抽取其中不少于1件进行疲劳性能检验：

1） 对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的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。检测后的消能器不得用于主体结构。检测后的屈曲约束支撑不得用于主体结构。

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

3 ）对黏弹性消能器，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。常规力学检验，检验后可以继续使用。疲劳和极限应变检测后的消能器不得用于主体结构。

4 ）对高阻尼橡胶消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的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。常规力学检验，检验后可以继续使用。疲劳和极限应变检测后的消能器不得用于主体结构。

5）调谐质量消能器，应包括建筑消能器的外观、尺寸偏差、基本力学性能。基本性能检验：按照7.2.7的试验方法进行检验。抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的100%，当同一类型同一规格的TMD数量较少时，可在同一类的TMD中抽检总数量的100%，检测合格率为100%。

**7.3.2** 见证检验

**1** 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。随机抽取的样品，同一项目同一类型同一生产厂家的产品抽检总数量的2%且不少于2件；当同一项目同一类型同一生产厂家的产品总数量较少时，抽检总数量的2%但不应少于1件。

**2** 屈曲约束支撑，所有检测试件应先检测屈服承载力、屈服位移、屈服后刚度、最大承载力、极限位移、滞回曲线、拉压不平衡系数，并抽取其中不少于1件进行60圈疲劳性能检测，被检测后不得用于主体结构。

**3** 金属屈服型消能器，所有抽检试件均应先检测屈服承载力、屈服位移、屈服后刚度、最大承载力、极限位移、滞回曲线，并抽取中不少于1件进行60圈疲劳性能检测，被检测后不得用于主体结构。

**4** 摩擦消能器，所有抽检试件均应先检测起滑阻尼力、起滑位移、摩擦荷载、极限位移、滞回曲线、起滑阻尼力与摩擦荷载偏差，并抽取中不少于1件进行60圈疲劳性能检测。

**5** 黏滞消能器（墙），所有抽检试件均应先检测速度指数、阻尼系数、最大阻尼力、极限位移、极限速度、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行疲劳性能试验，当设计位移大于100mm时连续加载10个循环，当设计位移不大于100mm时连续循环加载45圈。

**6** 黏弹消能器，所有抽检试件均应先检测最大阻尼力、阻尼系数、速度指数、极限应变、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行60圈疲劳性能检测。

**7** 高阻尼橡胶消能器，所有抽检试件均应先检测屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效刚度、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行60圈疲劳性能检测。

**7.3.3** 检验项目

**表7.3.5 消能器检验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 产品名称 | 检验项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 见证检验 |
| 屈曲约束支撑 | 基本力学性能 | 屈服承载力 | √ | √ | √ |
| 屈服位移 | √ | √ | √ |
| 最大承载力 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 拉压不平衡系数 | √ | √ | √ |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 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 | √ | √ | √ |
| 起滑阻尼力与摩擦荷载偏差 | √ | √ | √ |
| 老化性能 | 摩擦荷载 | √ | × | × |
| 外观 | √ | × | × |
| 疲劳性能 | 摩擦荷载 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 耐腐蚀性能 | 中性盐雾试验 | √ | × | × |
| 黏滞消能器（黏滞阻尼墙） | 基本力学性能 | 极限位移 | √ | √ | √ |
| 最大阻尼力 | √ | √ | √ |
| 极限速度 | √ | × | √ |
| 阻尼系数 | √ | √ | √ |
| 速度指数 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 风振测试 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 滞回曲线 | √ | × | × |
| 频率相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 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 | √ | × | × |
| 阻尼系数、速度指数、最大阻尼力 | √ | × | × |
| 外观 | √ | × | × |
| 疲劳性能 | 阻尼系数、速度指数、最大阻尼力 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 频率相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 变形相关性 | 最大阻尼力 | √ | × | × |
| 高阻尼橡胶消能器 | 基本性能 | 屈服承载力 | √ | √ | √ |
| 屈服后刚度 | √ | √ | √ |
| 等效阻尼比 | √ | √ | √ |
| 等效水平刚度 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 老化性能 | 变形 | √ | × | × |
| 屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度 | √ | × | × |
| 外观 | √ | × | × |
| 疲劳性能 | 屈服承载力、屈服后刚度、等效阻尼比、等效水平刚度 | √ | × | √ |
| 滞回曲线 | √ | × | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | × | √ |
| 调谐质量消能器 | 力学性能 | 调谐频率 | √ | √ | √ |
| 阻尼比 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |

# 消能减震工程的施工、验收和维护

## 8.1 一般规定

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

**8.1.2** 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。

**8.1.3** 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** 消能器生产厂家生产及服务能力证明材料；

**4** 项目所使用全部规格消能器型式检验报告；

**5** 其他必要证明文件。

**8.1.4** 消能部件搬运时应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等措施。

**8.1.5** 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。

**8.1.6** 消能减震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** 检验批可按楼层、结构缝或施工段划分。

**8.1.7** 消能减震子分部工程的施工作业，宜划分为消能器进场验收、消能器安装防护两个阶段。

**8.1.8** 消能减震工程施工前，施工单位宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能器类别及施工条件编制专项施工方案，报监理（建设）单位审核，并在消能器安装前进行专项技术交底。

**8.1.9** 消能减震工程施工所采用的各类计量器具，均应经校准或检定合格，且应在有效期内使用。

**8.1.10** 焊工应经考试合格后持证上岗并在认可范围内进行焊接作业，正式焊接前应根据施工条件进行焊接工艺评价，评价合格后再正式施焊。

**8.1.11** 消能部件现场卸货和垂直、水平运输宜采用专用吊装和运输设备进行，且应有防碰撞和防掉落措施。

**8.1.12** 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行《工程测量规范》GB 50026和《建筑变形测量规范》JGJ 8的要求。

**8.1.13** 消能器与主体结构的常规连接方式为焊接连接、螺栓连接和铰接连接，安装接头节点的焊接和螺栓连接应符合设计文件和国家现行标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205、《钢结构焊接规范》GB50661及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82的规定。采用铰接连接时，消能器与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应符合设计文件要求，当设计文件无要求时，间隙不应大于0.3mm。

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

**8.1.15** 消能减震工程的施工应符合国家现行标准《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80和《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33的有关规定,并根据消能部件的施工安装特点,在施工组织设计中制定施工安全措施。

**8.1.16** 消能器的安装宜由经过专门培训的人员实施。

**8.1.17** 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。

**8.1.18** 消能部件进场验收记录可按本规程附录B进行。

**8.1.19** 消能减震工程验收程序应符合下列规定：

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

**2** 消能减震工程完工后,应由总监理工程师组织设计单位项目负责人、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。

**8.1.20** 消能减震工程施工质量验收应在自检合格基础上,按检验批、分项工程、子分部工程验收,并符合下列规定:

**1** 工程施工质量应符合本规程和设计要求。

**2** 参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应资格。

**3** 隐蔽工程在隐蔽前,应进行隐蔽工程验收,形成隐蔽验收文件。

**4** 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收,一般项目的合格率应不小于80%,且不得有超出允许偏差1.5倍的尺寸偏差。

1. 工程的外观质量应由验收人员通过现场检査共同确认。

## 8.2 消能部件进场验收

**Ⅰ 主控项目**

**8.2.1** 消能部件的类型、规格和性能参数，应满足本规程、《建筑消能消能器》JG/T 209和设计文件的要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：核对设计文件、产品合格证、质量证明文件和出厂检测报告。

**8.2.2** 消能器应按本规程第7.3.4条规定进行见证检验，见证检验的样品应在见证单位见证下从项目产品中随机抽取，且安装前应提供合格的见证检验报告。

**8.2.3** 高强螺栓连接副应进行复验，并应符合现行《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50755的要求。

检查数量：从施工现场待安装的螺栓批中随机抽取，每批抽取8套连接副。

检查方法：检查复验报告。

**2一般项目**

**8.2.4** 消能器外观质量要求应符合表8.2.4规定。

**表8.2.4 消能器外观质量要求**

|  |  |
| --- | --- |
| 消能器类型 | 质量要求 |
| 黏滞消能器（墙） | 外观标记清晰，表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无渗漏 |
| 金属屈服型消能器 | 外观标记清晰，表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺。消能器连接部位宜采用螺栓连接或焊接，焊缝一级，平整。 |
| 摩擦消能器 | 外观标记清晰，表面平整，无机械损伤，无锈蚀，涂层均匀 |
| 调谐质量消能器 | 外观标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤，无锈蚀，涂层均匀 |
| 屈曲约束支撑 | 外观标记清晰，表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺。有焊接连接部位，焊缝一级，平整。 |
| 黏弹性消能器 | 外观标记清晰，钢板平整、无锈蚀、无毛刺，钢板坡口焊接，焊缝一级、平整。黏弹阻尼材料表面密实，相对平整 |
| 高阻尼橡胶消能器 | 外观标记清晰，钢板平整、无锈蚀、无毛刺。钢板坡口焊接，焊接一级、平整。高阻尼材料表面密实、相对平整。 |

检查数量：全数检查。

检查方法：观察。

**8.2.5** 消能器尺寸偏差应符合表8.2.5规定。

**表8.2.5 消能器尺寸偏差（mm）**

|  |  |
| --- | --- |
| 消能器类型 | 质量指标 |
| 黏滞消能器（墙） |  长度 | 不超过产品设计值的±3 |
| 截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2 |
| 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±2 |
| 摩擦消能器 | 消能器总宽度、总高度、总厚度 | 不超过产品设计值的±2 |
| 调谐质量消能器 | 消能器长度 | 不超过产品设计值的±3% |
| 消能器宽度 | 不超过产品设计值的±3% |
| 安装孔 | 孔位置偏差±2，孔径偏差±1 |
| 屈曲约束支撑 | 支撑长度  | 不超过产品设计值的±3 |
| 支撑横截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2 |
|  支撑侧弯矢量 | L/1000，且≤10 |
| 支撑扭曲 | h（d）/250且≤5 |
| 黏弹性消能器 |  长度 | 不超过产品设计值的±3 |
| 截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2 |
| 高阻尼橡胶消能器 |  长度 | 不超过产品设计值的±3 |
| 截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2 |
| 注：L—支撑长度；h—支撑高度；d—支撑外径 |

检查数量：全数的20%，且不少于2件。

检查方法：观察、拉线、钢尺测量。

## 8.3 消能部件安装顺序

**8.3.1** 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。

**8.3.2**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。

**8.3.3** 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。

**8.3.4** 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。

**8.3.5**木结构、装配式混凝土结构和既有建筑抗震加固采用消能减震技术, 消能器的总体施工安装顺序可按本规程相关结构形式的消能器安装方法进行。

**8.3.6** 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终固；当消能部件既承受水平剪力、又承担竖向压力时，安装后即可终固。

**8.3.7** 同一部位各消能器、支撑及其连接件的局部安装顺序编制应符合下列规定：

**1** 确定同一部位各消能器、支撑及其连接件的现场安装单元、安装连接顺序；

**2** 确定同一部位各消能器、支撑及其连接件的局部安装连接顺序,包括消能器、支撑、支墩、悬臂墙、连接件的类型、规格和数量。

**8.3.8**同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序,同部位消能部件的制作单元超过一个时,宜先将各制作单元及连接件在现场地面拼装为扩大安装单元后，再与主体结构进行连接。消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

**8.3.9** 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。

## 8.4 消能部件安装

**8.4.1** 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》JGJ 82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。

**8.4.2** 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》JGJ 82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。

**8.4.3**其他连接形式

**1** 其他连接形式的消能器安装，可参考本规程墙、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》JGJ 82、《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。

## 8.5 消能减震工程验收

**8.5.1** 墙、柱式连接验收

Ⅰ 主控项目

**1** 消能器的型号、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：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定确定。

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》GB 50205的有关规定。

检查数量：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定确定。

检验方法：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定进行检验。

2一般项目

**1** 墙、柱式连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表8.5.1-1的规定。

**表8.5.1-1 墙柱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（柱） | 轴线 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 尺量 |
| 高度 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 水准仪或拉线、尺量 |
| 垂直度 | H/1000 | H/1000 | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |
| 上、下悬臂墙(柱)轴线相对偏差 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 吊线、尺量 |
| 上、下预埋件间净高 | +5 mm，+2 mm | +5 mm，+2 mm | 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 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 尺量 |
| 标高 | ≤5 mm | ≤2 mm | 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 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 尺量 |
| 垂直度 | H1/1000 | H1/1000 | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |

注：H-悬壁墙（柱）高度；H1-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0.3mm。

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。

**8.5.2** 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》GB 50661和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

检查数量：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定确定。

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》GB 50205的有关规定。

检查数量：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定确定。

检验方法：按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定进行检验。

2 一般项目

**1** 支撑式连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表8.5.2-1的规定。

**表8.5.2-1 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 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 尺量 |
| 标高 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 水准仪或拉线、尺量 |
| 垂直度（柱上） | ≤3‰ | ≤3‰ | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |
| 水平度（梁上） | ≤3‰ | ≤3‰ | 全数 | 水准仪或水平尺、塞尺量测 |
| 节点板 | 轴线 | ≤5 mm | ≤2 mm | 全数 | 尺量 |
| 垂直度 | ≤3‰ | ≤3‰ | 全数 | 经纬仪或吊线、尺量 |
| 上、下节点板平面相对偏移 | ≤2 mm | ≤2 mm | 全数 | 吊线、尺量 |
| 消能器或支撑 | 安装净空 | +8 mm, +3 mm | +8 mm, +3 mm | 全数 | 尺量 |
| 弯曲矢高 | L/1000， 且≤10 mm | L/1000， 且≤10 mm | 全数 | 拉线、尺量 |

注：L-消能器或支撑本体长度。

**2** 支撑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0.3mm。

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** 支撑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。

**8.5.3** 其他连接形式验收

其他连接形式的消能器施工质量验收，可参考本规程墙、柱式连接和支撑式连接的相关验收内容执行。

## 8.6 子分部工程验收

**8.6.1**建筑减震子分部工程施工质量验收合格应符合下列规定：

**1** 消能器见证检验结果应符合本规程第7.3.4条要求。

**2** 所含分项工程质量验收应合格;

**3** 应有完整的质量控制资料;

**4** 观感质量验收应合格;

**8.6.2** 建筑减震子分部工程验收应提供如下资料：

**1** 工程相关设计文件及设计变更文件；

**2** 消能器及相关材料供货企业的合法性证明文件；

**3** 消能器及相关材料质量合格证明文件、标识、性能检测报告和复验报告；

**4** 建筑减震子分部工程有安全及功能的检验和见证检验项目检查记录；

**表8.6.2 建筑减震子分部工程有安全及功能的检验和见证检测项目**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 抽检数量及检验方法 | 合格质量标准 |
| 1 | 见证取样送样试验项目：（1）消能器见证检验；（2）高强度螺栓扭矩系数和预拉力复验；（3）摩擦面抗滑移系数复验 | 消能器见证检验按本规程第7.3.4条规定执行；高强度螺栓扭矩系数和预拉力复验、摩擦面抗滑移系数复验分别按《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205第4.4.2、4.4.3、6.3.1条规定执行 | 符合设计要求和国家现行有关产品标准的规定 |
| 2 | 焊缝质量:（1）焊缝尺寸； （2）内部缺陷；（3）外观缺陷 | 一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检3%，且不应少于3处; 检验采用超声波或射线探伤及放大镜、焊缝量规和钢尺检查 | 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205第5.2.4、5.2.6、5.2.8、5.2.9条规定 |
| 3 | 高强度螺栓施工质量：（1）终拧扭矩；（2）梅花头检查 | 按节点数随机抽检3%，且不应少于3个节点; 检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205第6.3.2、6.3.3条方法执行 | 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205第6.3.2、6.3.3条规定 |
| 4 | 消能部件平面外垂直度 | 随机抽查3个部位的消能部件 | 符合本规程、设计文件、《消能减震技术规程》JGJ 297 |

**5** 施工现场质量管理检查记录；

**6** 有关观感质量检验项目检查记录；

**7** 子分部工程所含各分项工程质量验收记录；

**8** 分项工程所含各检验批质量验收记录；

**9** 隐蔽工程检验项目检查验收记录；

**10** 工程重大质量问题的处理方案和验收记录；

**11** 消能器使用维护手册；

**12** 其他必要的文件和记录。

**8.6.3** 建筑减震工程质量验收记录应符合下列规定：

**1** 分项工程检验批验收记录可按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205中附录J及本规程附录B进行;

**2** 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300中附录F进行;

**3** 子分部工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300中附录G进行。

## 8.7 消能部件的维护

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

**8.7.2** 减震建筑除对建筑常规维护项目进行检验、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、支撑、连接件及相关构造措施。检查及维护方法应符合表**8.7.2**的规定。

**表8.7.2 消能器检查内容及维护处理方法**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检查项目 | 检查内容 | 检查方法 | 维护方法 |
| 消能器 | 黏滞消能器 | 漏油、阻尼材料泄露、弯曲、变形、损伤 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| 金属屈服型消能器 | 弯曲、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，消能器变形、损伤 | 观察、尺量 | 更换相关材料、压力装置，更换消能器 |
| 调谐质量消能器 | 变形、损伤，零部件损坏 | 观察、尺量 | 更换相关零部件、更换消能器 |
| 屈曲约束支撑 | 变形、损伤、芯材外露 | 观察，拉线、尺量 | 更换消能器 |
| 黏弹消能器 | 黏弹材料老化、龟裂、变形、损伤 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| 其他类型消能器 | 弯曲、局部变形 | 观察、尺量 | 更换消能器 |
| 消能器与主体结构或消能子结构连接部位 | 螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形 | 观察、小锤敲击，卡尺测量 | 拧紧螺栓、补焊，更换销轴 |
| 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 |
| 支撑和连接部位被涂装的金属表面、焊缝或紧固件表面出现金属外露、锈蚀或损伤 | 观察 | 重新涂装 |
| 消能器外露金属面、摩擦面；消能器、支撑、连接件表面涂装 | 黏滞消能器导杆、摩擦消能器外露摩界面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块；被涂装金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装出现裂纹、起皮、剥落、老化等 | 观察 | 及时清除；重新涂装 |
| 消能器周围构造 | 限制、阻碍消能器正常工作的障碍物 | 观察 | 及时清除 |

**8.7.3**常规检查应至少每半年进行一次，检查单位为减震建筑使用或管理单位。

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

**8.7.5**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，应急检查宜由专业人员进行。

# 附录A 复振型影响系数计算公式

**A.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：

 （A.0.1-1）

 （A.0.1-2）

 ( A.0.1-3)

 （A.0.1-4）

（A.0.1-5）

式中：、——分别表示集中于质点*i*、隔震层的重力荷载代表值；

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

——*j*复振型*i*质点水平相对位移；

——*j*复振型的参与系数；

——*j*复振型的特征值；

******——*j*复振型*i*质点的地震作用非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等于1；

**——地震作用影响向量；

——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；

——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

**——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

**——隔震层质量与上部结构总质量比值；

——表示取复数实部。

**A.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：

 （A.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：

（A.0.2-2）

**A.0.3** 采用强迫解耦实振型分解反应谱法进行水平地震作用和作用效应计算时，*j*振型*i*质点的水平地震作用应按本标准式（4.3.1-1）和（4.3.1-3）计算，水平地震作用效应按本标准式（4.3.1-2）和（4.3.1-4）计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式计算：

 （A.0.3-1）

 （A.0.3-2）

# 附录B 材料进场验收记录

B.0.1 消能器及相关材料、构配件进场验收应按表B.0.1进行记录。

表B.0.1 消能器材料、构配件进场验收记录

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **消能器材料、构配件进场检验记录** | 资料编号 | 　 |
| 工程名称 | 　 | 检验日期 |  年 月 日 |
| 序号 | 名称 | 规格型号 | 进场数量 | 生产厂家 | 检验项目 | 检验结果 | 备注 |
| 合格证号 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 检验结论： |
| 签字栏 | 施工单位 | 　 | 技术质检员 | 专业工长 | 检验员 |
| 　 | 　 | 　 |
| 监理（建设）单位 | 　 | 专业工程师 | 　 |

B.0.2 消能器外观尺寸检查应按表B.0.2进行记录。

**表B.0.2 消能器外观尺寸进场检查记录**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 消能器外观尺寸进场检查记录 | 资料编号 | 　 |
| 工程名称 | 　 |
| 消能器型号 | 　 | 供货厂家 | 　 |
| 消能器数量 | 　 | 检查数量 | 　 | 进场日期 | 　 |
| 验收标准 | 　 |
| 序号 | 消能器类型 | 检验项目 | 质量要求 | 检查记录 | 备注 |
| 1 | 通用 | 外观质量 | 表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺，标记清晰，无渗漏，阻尼材料表面密实，相对平整，外表防锈涂层均匀 | 　 | 　 |
| 2 | 通用 | 长度 | 产品设计值±3.0 mm | 　　　　　　　　　　 | 　 |
| 3 | 通用 | 截面有效尺寸 | 产品设计值±2.0 mm | 　　　　　　　　 　 | 　 |
| 4 | 支撑型或支撑 | 支撑长度 | 产品设计值±3.0 mm | 　　　　　　　　 　 | 　 |
| 5 | 支撑型或支撑 | 支撑侧弯矢量 | L/1000，且≤10mm （L—支撑长度) | 　　　　　　　　 　 | 　 |
| 6 | 支撑型或支撑 | 支撑扭曲（mm） | h（d）/250，且≤5mm (h—支撑高度，d—支撑外径) | 　　　　　　　　 　 | 　 |
| 结论 | 　 |
| 施工单位 | 　 | 技术负责人 | 专业质检员 | 记录人 |
| 　 | 　 | 　 |
| 监理（建设）单位 | 　 | 专业监理工程师 | 　 |

# 附录C 消能器安装分项工程检验批质量验收记录

**表C 消能器安装分项工程检验批质量验收记录**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | 　 | 检验批部位 | 　 |
| 施工单位 | 　 | 项目经理 | 　 |
| 监理单位 | 　 | 总监理工程师 | 　 |
| 施工依据标准 | 　 | 分包单位负责人 | 　 |
| 主控项目 | 合格质量标准 | 施工单位检验评分记录或结果 | 监理(建设)单位验收记录或结果 | 备注 |
| 1 | 消能器 | 消能器或支撑的型号、数量、安装位置应符合设计要求 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 一般项目 | 合格质量标准 | 施工单位检验评分记录或结果 | 监理(建设)单位验收记录或结果 | 备注 |
| 1 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 2 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 3 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 4 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 5 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 6 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 　 | 　 | 　 | 　 | 　 | 　 |
| 施工单位检验评定结果 | 班组长:                         质 检  员:或专业工长:                     或项目技术负责人:年 月 日                              年 月 日 |
| 监理(建设)单位验收结论 | 　监理工程师(建设单位项目技术人员):               年 月 日 |

# 附录D 建议标准化产品规格及性能参数

**表D.0.1 屈曲约束支撑产品规格及性能参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 屈服力F（KN）区间 | 产品长度(mm) | 轴线长度预估（mm） | 屈服位移(mm) | 刚度（KN/mm） |
|
| 500 | 3500 | 5500 | 4.8 | 105.2 |
| 4000 | 6000 | 5.6 | 89.3 |
| 4500 | 6500 | 6.3 | 79.1 |
| 5000 | 7000 | 6.8 | 73.5 |
| 5500 | 7500 | 7.6 | 65.9 |
| 6000 | 8000 | 8.1 | 61.8 |
| 750 | 3500 | 5500 | 4.7 | 158.2 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 136.2 |
| 4500 | 6500 | 6.2 | 121.7 |
| 5000 | 7000 | 6.9 | 109.5 |
| 5500 | 7500 | 7.6 | 98.8 |
| 6000 | 8000 | 8.1 | 92.6 |
| 1000 | 3500 | 5500 | 4.7 | 210.6 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 182.9 |
| 4500 | 6500 | 6.3 | 159.7 |
| 5000 | 7000 | 6.7 | 148.3 |
| 5500 | 7500 | 7.4 | 134.5 |
| 6000 | 8000 | 8.2 | 122.6 |
| 1200 | 3500 | 5500 | 4.8 | 251.7 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 219.6 |
| 4500 | 6500 | 6.2 | 192.7 |
| 5000 | 7000 | 6.9 | 174.5 |
| 5500 | 7500 | 7.6 | 158.5 |
| 6000 | 8000 | 8.3 | 144.8 |
| 1500 | 3500 | 5500 | 4.8 | 310.1 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 271.9 |
| 4500 | 6500 | 6.3 | 239.8 |
| 5000 | 7000 | 6.7 | 222.7 |
| 5500 | 7500 | 7.6 | 198.4 |
| 6000 | 8000 | 8.3 | 181.6 |
| 1800 | 3500 | 5500 | 4.8 | 374.4 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 329.6 |
| 4500 | 6500 | 6.2 | 291.9 |
| 5000 | 7000 | 6.8 | 265.6 |
| 5500 | 7500 | 7.6 | 237.5 |
| 6000 | 8000 | 8.3 | 217.8 |
| 2000 | 3500 | 5500 | 4.8 | 412.9 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 364.2 |
| 4500 | 6500 | 6.2 | 323.3 |
| 5000 | 7000 | 6.8 | 294.2 |
| 5500 | 7500 | 7.4 | 269.2 |
| 6000 | 8000 | 8.3 | 242.3 |
| 2500 | 3500 | 5500 | 4.8 | 521.4 |
| 4000 | 6000 | 5.5 | 454 |
| 4500 | 6500 | 6.2 | 404.6 |
| 5000 | 7000 | 6.8 | 369 |
| 5500 | 7500 | 7.5 | 332.2 |
| 6000 | 8000 | 8.2 | 305.9 |
| 3000 | 3500 | 6000 | 4.8 | 625.7 |
| 4000 | 6500 | 5.5 | 543.8 |
| 4500 | 7000 | 6.2 | 482 |
| 5000 | 7500 | 6.8 | 443 |
| 5500 | 8000 | 7.5 | 402.3 |
| 6000 | 8500 | 8.2 | 366.6 |
| 3500 | 3500 | 6000 | 4.8 | 731.7 |
| 4000 | 6500 | 5.5 | 638.9 |
| 4500 | 7000 | 6.2 | 568.6 |
| 5000 | 7500 | 6.8 | 515.5 |
| 5500 | 8000 | 7.5 | 469.3 |
| 6000 | 8500 | 8.2 | 428.7 |
| 4000 | 3500 | 6000 | 5.0 | 803.7 |
| 4000 | 6500 | 5.7 | 703.6 |
| 4500 | 7000 | 6.4 | 627.2 |
| 5000 | 7500 | 7.1 | 561.6 |
| 5500 | 8000 | 7.9 | 504.6 |
| 6000 | 8500 | 8.5 | 468.2 |

**表D.0.2 摩擦消能器产品规格及性能参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计阻尼力（kN） | 起滑位移（mm) | 起滑阻尼力（mm) | 摩擦载荷（kN) | 设计位移（mm） |
| 200 | 0.5 | 200 | 200 | ≤40 |
| 300 | 0.5 | 300 | 300 | ≤40 |
| 400 | 0.6 | 400 | 400 | ≤40 |
| 600 | 0.8 | 600 | 600 | ≤40 |
| 800 | 1.0 | 800 | 800 | ≤80 |

**表D.0.3 黏滞消能器产品规格及性能参数表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设计阻尼力（kN） | 速度指数 | 位移（mm） |
| ≤150 | 0.2 | ≤60 |
| ≤150 | 0.25 | ≤60 |
| ≤150 | 0.3 | ≤60 |
| 150～300 | 0.2 | ≤60 |
| 150～300 | 0.25 | ≤60 |
| 150～300 | 0.3 | ≤60 |
| 300～400 | 0.2 | ≤60 |
| 300～400 | 0.25 | ≤60 |
| 300～400 | 0.3 | ≤60 |
| 400～500 | 0.2 | ≤60 |
| 400～500 | 0.25 | ≤60 |
| 400～500 | 0.3 | ≤60 |
| 500～600 | 0.2 | ≤60 |
| 500～600 | 0.25 | ≤60 |
| 500～600 | 0.3 | ≤60 |
| 600～700 | 0.2 | ≤60 |
| 600～700 | 0.25 | ≤60 |
| 600～700 | 0.3 | ≤60 |
| 700～800 | 0.2 | ≤60 |
| 700～800 | 0.25 | ≤60 |
| 700～800 | 0.3 | ≤60 |

**表D.0.4 黏滞阻尼墙产品规格及性能参数表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设计阻尼力（KN) | 速度指数α | 位移（mm） |
| 850～2000 | 0.45 | ≤30 |

**表D.0.5 金属屈服型消能器产品规格及性能参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 屈服承载力（KN） | 屈服位移（mm） | 设计位移（mm） | 建议耗能芯材 | 屈服后刚度比 |
| 200 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.02 |
| 22＜Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.02 |
| 30＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |
| 300 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.02 |
| 22＜Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.02 |
| 30＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |
| 400 | 1.0 | Di≤22 | LY225 | 0.02 |
| 22＜Di≤30 | LY160 | 0.035 |
| 30＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤30 | LY225 | 0.02 |
| 30＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |
| 600 | 1.0 | Di≤25 | LY225 | 0.02 |
| 25＜Di≤35 | LY160 | 0.035 |
| 35＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤35 | LY225 | 0.02 |
| 35＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |
| 800 | 1.0 | Di≤25 | LY225 | 0.02 |
| 25＜Di≤35 | LY160 | 0.035 |
| 35＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤35 | LY225 | 0.02 |
| 35＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1000 | 1.0 | Di≤25 | LY225 | 0.02 |
| 25＜Di≤35 | LY160 | 0.035 |
| 35＜Di | LY100 | 0.05 |
| 1.5 | Di≤35 | LY225 | 0.02 |
| 35＜Di≤40 | LY160 | 0.035 |
| 40＜Di | LY100 | 0.05 |

**表 D.0.6 高阻尼橡胶消能器产品规格及性能参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 屈服承载力（kN） | 屈服后刚度（kN/mm） | 等效阻尼比（%） | 等效刚度=100%（kN/mm） | 设计位移（mm） |
| 70 | 8 | 18 | 12.5 | ≤40mm |
| 140 | 15 | 18 | 25 | ≤40mm |
| 150 | 17 | 18 | 31.3 | ≤40mm |
| 200 | 22 | 18 | 37.5 | ≤40mm |

**表D.0.7 黏弹性消能器产品规格及性能参数表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设计阻尼力（kN） | 设计位移（mm） | 阻尼系数（kN（s/mm）） | 速度指数 | 有效刚度(kN/mm) |
| 200 | ≤40mm | 25 | 0.2 | 8 |
| 400 | ≤40mm | 50 | 0.2 | 10 |
| 600 | ≤40mm | 100 | 0.2 | 30 |

# [本规范用词说明](#_Toc185608242)

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合…….的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1. 《建筑抗震设计规范》GB 50011
2. 《钢结构设计规范》GB 50017
3. 《混凝土结构设计规范》GB 50010
4. 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
5. 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
6. 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
7. 《钢结构焊接规范》GB50661
8. 《工程测量规范》GB 50026
9. 《建筑工程监理规范》GB 50319
10. 《建筑消能阻尼器》JG/T 209
11. 《建筑消能减震应用技术规程》JG-297
12. 《云南省建筑消能减震设计与审查技术导则》云建震[2018]337号
13. 《建筑工程抗震性态设计通则》CECS 160
14. 《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360
15. 《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118
16. 《建筑工程叠层橡胶隔震支座性能要求和检验标准》DBJ53/T-47
17. 《建筑工程叠层橡胶隔震支座施工与验收标准》DBJ53/T-48
18. 《云南省建筑工程资料管理规程》DBJ 53/T-44
19. 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
20. 《云南省建筑工程施工质量验收统一规程》DBJ 53/T-23
21. 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33
22. 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
23. 《建筑变形测量规范》JGJ 8
24. 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80

云南省工程建设地方标准

**建筑消能减震应用技术规程**

# 条文说明

**1 总则**

**1.0.2**本规范适用于新建建筑结构，因老旧建筑的情况复杂，需要专门研究，因此对于老旧建筑结构不属于本规范的范围；

**1.0.3**抗震设防目标分为两类，主要基于《建设工程抗震管理条例》（征求意见稿）、《云南省隔震减震建筑工程促进规定》等法律法规的相关规定，第一类是在发生本区域设防地震时不丧失建筑基本功能的建筑结构，第二类是《云南省隔震减震建筑工程促进规定》第三条规定范围内的建筑工程，除此之外属于其他新建、改建和扩建建筑工程。

**3 基本规定**

**3.0.6** 工程应用的消能器检验，分为型式检验、出厂检验、见证检验。这三类检验属于不同阶段的检验。型式检验属于批量生产前全部力学性能和外观的检验，出厂检验属于产品出厂时的检验，见证检验属于消能器施工安装前的抽样检验。通过三类检验，可以有效确保用于工程上的消能器产品质量。型式检验的规定与《建筑消能阻尼器》JG/T 209一致，出厂检验要求参照《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118的相关规定，见证检验要求按照《云南省住房和城乡建设厅关于明确隔震减震建筑工程有关问题的通知》[云建震(2017)294号]的相关规定。

**4 地震作用和抗震验算**

**4.1一般规定**

**4.1.1** 第一类设防目标的消能减震设计，因满足应满足现行《建筑抗震设计规范》GB50011的截面抗震验算和抗震变形验算以及抗震措施的要求，还应满足4.4节的要求。4.4节给出了截面抗震验算公式和抗震变形验算位移角要求，截面抗震验算公式按照“中震不屈”设计给出，抗震变形验算位移角由大量减震消能器试算得到。同时给出了罕遇地震下消能器总耗能不低于地震总输入能的25%要求，该要求经大量试算统计而来，即达到截面抗震验算和抗震变形验算要求时，消能器耗能应达到25%。

**4.6减震结构设计**

**4.6.1**设计中应考虑消能器性能偏差、连接安装缺陷等的不利影响，在附加阻尼比取用时应留有安全储备。

**6 消能器的技术性能**

**6.1 一般规定**

**6.1.3**当建筑物遭遇地震时，通常经受一次主震和若干次余震，或者两次主震和若干次余震，消能器在经受主震后仍能发挥作用不致失效退出工作，考虑到消能器损坏后不可能及时更换，甚至无法更换，日本建筑设计行业针对消能器产品性能要求能经受两次罕遇地震，因此提高消能器的疲劳性能要求。

**6.2 屈曲约束支撑**

**6.2.1**屈曲约束支撑核心单元一般由钢材制成，利用钢材屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散外界荷载输入能量。屈曲约束支撑核心单元一般宜采用一次成型工艺，不宜出现对接焊缝和螺栓拼接等情况。在加工过程中如果出现明显的缺陷或机械损伤等，将会导致屈曲约束支撑出现应力集中等问题，不利于屈曲约束支撑发挥良好的耗能效果。

**6.3 金属屈服型消能器**

**6.3.2**金属屈服型消能器宜采用上述表格所列材料。若采用其他材料时原材料性能质量指标应符合GB/T 700或GB/T 3077的规定。且伸长率不应小于40%，屈强比应小于80%，0℃时的冲击韧性应大于27J。核心单元原材料除提供材料合格证明外，还需提供第三方材性复检报告。GB/T 700、GB/T 3077、GB/T 28905。

**6.5 黏滞消能器**

**6.5.2**《二甲基硅油》G/T 2366-2015规定，硅油的粘度范围为X±X\*5%。；二甲基硅油》HG/T 2366-2015规定，硅油的挥发份（150℃\*2h）≤1%，考虑到粘滞消能器在疲劳测试过程中最高温度可能达到200℃，建议将挥发份调整为200℃\*2h，挥发份≤0.75%。

**6.5.4**泛塞封主基材是聚四氟乙烯，是当今世界上耐腐蚀性能最佳材料之一，抗老化性能非常好，因此得“塑料王”之美称；泛塞封以PTFE+碳纤维非常耐磨损，相比橡胶O型圈更耐磨，往复运动摩擦中稳定性好，不容易翻卷；泛塞封抗高压，抗挤出性非常好，相比O型圈抗压能力高很多，不容易被压力挤压到间隙里面；泛塞封有非常好的耐温性能，一般可以在-100℃~260℃正常使用，而O型圈只有-40℃~110℃。

**6.6 黏弹消能器**

**6.6.2**黏弹性材料耗能较高时拉伸强度较低，同时受材料类型影响，尤其温度相关性较好的硅橡胶本身拉伸强度更低只有5MPa左右；材料的拉伸强度过高，日本黏弹性消能器材料拉伸强度较低，主要体现黏性。

**6.6.8**设计文件中应明确提出黏弹消能器的使用环境要求及与之相适应的检验要求，产品检测和竣工验收时应核查是否满足设计提出的使用环境要求。

**6.7 高阻尼橡胶消能器**

**6.7.4** 高阻尼橡胶消能器由较高阻尼的橡胶材料制成的消能器，该消能器没有明显的速度相关性，具有明显的位移相关性，属于位移型消能器。本标准制定过程中，为把具有速度相关性的黏弹消能器与没有速度相关性的橡胶消能器区分开来，因此增加了高阻尼橡胶消能器的章节。真正的黏弹阻尼器应具有弹性和黏性性能，其黏性性能类似黏滞消能器，随着速度增大，耗能能力随之提高，弹性刚度也随之变化，是一款速度相关性阻尼器。对于没有弹性和黏性的橡胶消能器，本规程定义为高阻尼橡胶消能器。

**8 消能减震工程的施工、验收和维护**

**8.1 一般规定**

**8.1.3**对金属屈服型消能器、屈曲约束支撑应按照同一工程中的构造形式、屈服耗能材料和屈服承载力分类进行型式检验，产品构造和屈服耗能材料相同视为同一类型，屈服承载力在75%至125%（100%±25%）范围内的产品分为同一规格。实际应用中同一项目中因金属消能器、屈曲约束支撑布置位置、层高、跨度不同，采用的消能器可能均会不同，因消能器种类规格还难以标准系列化，因此本规程将对金属消能器、屈曲约束支撑的型检范围进行归并，以便于实际工程应用执行。

**8.1.6**结合消能减震结构的特点，根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的有关规定，将消能部件作为上部主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工质量管理和竣工验收。

虽然消能部件工程主要是钢部件的制作安装施工，但采用消能减震技术的结构材料类型除钢结构外，还有混凝土结构和木结构等，而且消能器是一种专门技术部件，具有多种类型和不同的构造特点，其设计呈多样化，安装工种和工序较多，施工工艺和施工技术复杂，同时，消能部件又是涉及安全的重要部件。因此，在消能部件的施工质量管理和竣工验收中，若将其视为几个分项工程并分别归结到主体结构的相应分项工程验收批中，是难以适应质量验收要求的。故本规程提出在主体结构分部工程中，不论上部主体结构为钢结构、混凝土结构还是其他结构，均将消能部件作为主体结构分部工程的一个子分部工程，以利于施工质量管理和验收。

消能部件子分部工程，根据结构材料和施工方法可分为:现浇混凝土结构、装配整体式混凝土结构、钢结构和木结构等建筑的消能部件子分部工程，以及抗震加固建筑的消能部件子分部工程。

**8.1.7**根据施工方法和主要工序，将消能部件子分部工程的施工作业内容划分为二个阶段。

消能部件子分部工程可按不同施工阶段划分相应的分项工程，其中，消能部件原材料和成品的进场验收，是指进入消能部件各分项工程实施现场的主要原材料、标准件、成品件或其他特殊定制成品(如消能器等)的进场及验收。

消能部件中附加钢构件的制作，可划分为钢零件及钢组件的加工、钢构件组装、组装的焊接连接、紧固件连接、钢构件预拼装、钢构件防腐涂料涂装等六个分项工程。

消能部件的安装和维护，可划分为消能部件安装、安装和焊接连接、紧固件连接、消能部件防腐防火涂装等四个分项工程其中，安装分项工程的内容包括制定安装次序、吊装就位、测量校正定位及临时固定等工序，涂装分项工程的内容包括安装连接后普通防腐涂料局部补充涂装、防火涂料涂装等工序。

各阶段的施工作业，应根据具体工程设计情况确定其所含的分项工程或工序。

检验批次是分项工程施工质量管理和验收的基本单元，可根据与施工方式一致且便于质量控制的原则划分。消能部件分项工程的检验批，可按主体结构检验批的划分方法确定，例如可按楼层或预制柱节高度范围、施工流水段、变形缝或空间刚单元等划分。

**8.1.8**本规程关于消能减震结构的施工、验收和维护的条文规定，是针对国内外消能减震技术工程应用中发展较为成熟的消能部件，结合混凝土结构、钢结构等类型的新建房屋，总结消能减震结构施工、验收和维护的工程实践经验，吸收日本、美国等国外相关规范和国内有关施工验收标准的先进技术而编制的。

消能减震结构中消能部件是关键部分。由于消能器有多种类型，构造多样，制作和施工安装方法各有特点。因此，消能部件及主体结构的施工安装组织设计或施工安装方案编制是组织消能减震结构施工的重要前期工作，应结合消能部件和主体结构的特点以及结构施工安装组织设计的基本要求编制。当既有建筑抗震加固采用消能减震技术时，可参照本规程的有关规定进行。

**8.1.13**消能部件采用铰接连接时，连接间隙会影响消能部件的消能性能的发挥，为了减小其对结构减震性能的影响，对采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应做出相应的规定。

**8.1.15**消能减震结构的施工是土建、安装等多工种、多单位的交叉混合施工，应严格遵守国家、行业、企业有关施工安全的技术标准和规定，并根据消能减震结构的施工安装特点，在编制施工组织设计文件时应制定安全施工、消防和环保等措施。

**8.3 消能部件的安装顺序及准备工作**

**8.3.1**该条既考虑了已有不同类型及构造特点的消能器安装施工，也有利于新型消能器及相关部件的研制、开发和推广应用。逍能减震结构施工安装前，应确定结构的各类普通构件和消能部件的总体及局部施工安装顺序，这对施工安装质量有重要影响，应遵循本条规定的要求，以确保施工安装质量。

**8.3.3**消能减震钢结构的安装顺序，是根据一般钢结构的安装顺序，并结合消能部件的特点，按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的规定综合制定的。采用本条的安装顺序，便于构件的安装进度和测量校正。

消能减震钢结构的安装顺序可采用以下顺序进行:

1在每层柱所在的高度范围内，应先安装平面内的中部柱，再沿本层柱高从下向上分别进行消能部件、楼层梁吊装连接:然后从中部向四周按上述次序，逐步安装其余柱、消能部件、梁及其他构件，最后安装本层柱高范围内的各层楼梯，并铺设各层楼面板。

2消能减震钢结构一个施工流水段的柱高度范围的全部消能部件和结构构件安装连接完毕，并验收合格后，方可进行该流水段的上一层柱范围或下一流水段的安装。

3进行钢构件的涂装和内外墙板施工。

**8.3.4**消能减震的现浇混凝土结构施工中，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序，应根据结构特点、施工条件等确定，本规程在编制过程中，研究并总结出两种安装方法:消能部件平行安装法和后装法。

消能部件平行安装法便于消能器的吊装进位和测量校正，各层消能部件和混凝土构件一次施工安装齐备，避免后期补装，点是每层施工工种多，存在交叉影响。

消能部件后装法，优点是混凝土构件施工快，不受消能部件安装影响。但混凝土构件浇筑完成后，重量较重或尺寸较长的消能部件吊装会受到楼板、水暖管网、外脚手架、施工安全网等的影响，可能加大安装难度;而且后装法对部件的制作、安装精度要求高，也可能增加难度;后装法的各层消能部件在混凝土构件施工完成后再进行，可能会延长施工工期。

消能减震混凝土结构的后装法可先施工一个或多个结构层的混凝土墙柱和梁板等构件，包括混凝土构件上与消能部件相连的节点预埋件;然后安装消能部件，并与混凝土构件的预埋件连接。当设计中不考虑消能部件的抗风作用时，可在各层混凝土柱墙、梁、板以及节点预理件全部施工完毕后，再安装消能部件。

**8.3.7、8.3.8**同一部位的消能部件，当仅有消能器时直接作为安装单元，当还设有附加支撑，或与结构为销栓铰接、球面铰接时，各制作单元及铵接件在现场地面拼装成扩大安装单元后，再与结构进行安装连接。

安装单元与结构的安装连接，精度要求高，连接施工较难。如何进行安装连接，是消能部件安装中的一个普遍问题，例如黏滞消能器通过专门铰接件与结构连接时要求无间隙连接，经分析研究，总结了有关方法，制定本条款并独立列出。

对于消能减震的钢结构，在消能部件设置部位，柱的安装单元宜采用带悬臂梁段的柱，且在柱与消能部件连接处设置柱上连接件。对于黏滞消能器，其两端与节点连接件为球面铰接、销栓较接或螺栓连接，其同一部位消能部件的局部安装顺序为:将地面拼装后的消能器及附加连接件一起起吊，并将附加连接件在柱或基础的连接板上初步定位、校正和临时固定，再连接牢固。

对于消能减震的现浇混凝土结构:

1采用消能部件平行安装法时，同一部位各消能部件的安装，应在其下层混凝土构件浇筑完毕以及其同层周围柱的钢筋、预埋件和模板安装后进行。黏滞消能器安装时，其两端与附加铰接件在地面拼装连接为扩大安装单元后一起起吊，再将消能器下方位端的附加连接件在已浇筑梁或基础预埋板上定位和临时固定(连接件在柱钢筋骨架中留出错筋)，将上方位端在柱的钢筋骨架上定位和临时固定，两端连接牢固之后，安装上部梁板的钢筋骨架、模板和浇筑混凝土。

2采用消能部件后装法时，在地面或楼面将消能部件进行拼装，检查测量拼装后的总尺寸和错栓孔位置，并与安装部位的相应空当尺于、锚移位置进行对照核查，凡是预拼装尺寸大于安装位置预留尺寸，或锚栓与栓孔错位大于本规程或现行国家有关规范的允许偏差，导致不能就位时，安装前应在地面进行修理。对于黏滞消能器，两端与附加铰接件地面拼装后，安装时在已浇筑的混凝土结构上初步定位、校正、临时固定，最后用焊接或锚栓连接牢固。

**8.6 子分部工程验收**

**8.6.2**在消能部件子分部工程的质量验收中，为便于该子分部工程有关安全及使用功能的见证取样检测和检验的可操作性，本条根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205，结合消能部件子分部工程的施工安装特点，规定了具体检测项目。

**8.7 消能部件的维护**

**8.7.1**为保证消能部件在地震作用下能正常发挥其预定功能，确保建筑结构的安全，并为以后工程应用和标准修订积累经验，业主或房产管理部门等应在建筑结构使用过程中进行维护管理。

本条根据美国《新建房屋抗震设计推荐性规范》FEMA368-2000、日本JSSI《被动减震结构设计与施工手册》等文献关于消能减震结构的规定，经综合整理而制定。

常规检查宜由建筑使用方或管理方人员进行检查，检查可采用观察方式。

定期检查是对消能部件本身及其与建筑物连接的状况进行的正常检查，其目的是力求尽早发现可能的异常以避免消能部件不能正常使用。

应急检查是指在发生强震、强风、火灾等灾害后立即实施的检查，目的是检查确认上述灾害对消能部件性能有无影响。

消能部件的应急检查，包括目测检查和抽样检查，与主体结构的应急检查要求是一致的，即在地震及其他外部扰动发生后(如地震、强风、火灾等灾害后)，同样应对消能部件实施应急检查。通过应急检查，确认消能器是否超过极限能力或是否受到超过预估的损伤，以判断是否需要修理或更换。另外，即使消能器经检查未遭受到损伤，也要检查其附加支撑、连接件是否受到的影响。虽然消能部件一般是根据其设计使用年限内的累积地震损伤要求来设计制造的，但由于国内外消能减震工程应用实践的时间短，几乎没有大震下的实测性能数据及震害破坏经验，因而进行应急检查是必要的。

**8.7.6** 抽样检查是消能部件的检查方法之一。所谓抽样检查，是指在结构中抽取在役的典型消能器，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，目的是反映消能器在使用过程中可能发生的性能参数变化，并推定消能器能否达到设计使用年限等。