

主动公开

佛 山 市 地 震 局 文 件 佛 山 市 住 房 和 城 乡 建 设 局

佛震〔2020〕14号

佛山市地震局 佛山市住房和城乡建设局 关于印发《佛山市建筑工程隔震应用 技术规程》、《佛山市建筑消能减震 应用技术规程》的通知

各区住房和城乡建设和水利局,南海区应急管理局,各有关单位:

为做好我市建筑减震隔震技术工程应用的技术指导工作,现将《佛山市建筑工程隔震应用技术规程》、《佛山市建筑消能减震应用技术规程》印发给你们,请在工作中参照使用。在使用过程中,如果有任何问题和建议,请及时反馈给佛山市地

震局或佛山市勘察设计协会。



佛山市地震局



佛山市住房和城乡建设局

2020年4月3日

(联系人: 市地震局 邓卓琳, 83139760 市勘察设计协会 张彩虹, 82069223)

抄送: 广东省地震局, 省住房和城乡建设厅。

佛山市地震局办公室

2020年4月3日印发

佛山市
建筑消能减震应用技术规程
(印发稿)

二〇一九年十二月

目 录

1 总则.....	3
2 术语.....	4
3 基本规定.....	6
3.1 一般规定.....	6
3.2 消能器要求.....	6
4 地震作用.....	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 设计反应谱和地震动输入.....	7
4.3 地震作用计算.....	9
5 减震设计.....	13
5.1 一般规定.....	13
5.2 消能部件布置原则.....	13
5.3 消能部件设计及附加阻尼比.....	14
5.4 主体结构设计及减震分析方法.....	16
5.5 消能减震结构抗震性能化设计.....	18
6 消能器技术性能.....	20
6.1 一般要求.....	20
6.2 屈曲约束支撑.....	20
6.3 金属屈服型阻尼器.....	21
6.4 摩擦阻尼器.....	23
6.5 黏滞阻尼器.....	24
6.6 黏弹性阻尼器.....	25
6.7 调谐质量阻尼器.....	27
6.8 其他阻尼器.....	28
7 消能器检验要求.....	29
7.1 屈曲约束耗能支撑.....	29
7.2 金属屈服型阻尼器.....	30
7.3 摩擦阻尼器.....	30
7.4 黏滞阻尼器.....	31
7.5 黏弹性阻尼器.....	33
7.6 调谐质量阻尼器.....	34
7.7 其他阻尼器.....	35
8 检验规则.....	36
8.1 检验分类.....	36
8.2 检验项目.....	36
8.3 型式检验.....	38
8.4 出厂检验.....	38
8.5 见证检验.....	39
9 消能部件的连接与构造.....	40
9.1 一般规定.....	40
9.2 消能器与结构连接构造要求.....	40
9.3 屈曲约束支撑.....	40
9.4 金属屈服型阻尼器和摩擦阻尼器.....	41
9.5 黏滞阻尼器.....	42
10 消能部件的施工与验收.....	43
10.1 一般规定.....	43
10.2 消能部件进场验收.....	43
10.3 施工安装.....	44
10.4 分项工程验收.....	45
10.5 子分部工程验收.....	49
11 维护.....	50
11.1 维护要求.....	50
11.2 维护责任.....	50
12 附表.....	51

1 总则

1.0.1 为了贯彻执行国家、广东省和佛山市的技术经济政策，在消能减震工程中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于佛山地区抗震设防烈度为 6~7 度地区的新建建筑结构和既有建筑结构抗震加固的消能减震设计、消能减震装置检验、施工、验收和维护。

1.0.3 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。一般情况下，采用中国地震动参数区划图的地震基本烈度。业主有特别要求时可提高抗震设防标准，但不得降低抗震设防烈度。

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

1.0.5 抗震设计的建筑分甲、乙、丙三个抗震设防类别。

甲类建筑为重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑。乙类建筑为地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑。丙类建筑为甲、乙类以外的一般高层建筑。抗震设防类别的划分应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

注：本规程中甲、乙、丙类建筑分别为现行《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中特殊设防类、重点设防类、标准设防类的简称。

1.0.6 消能减震结构设计、消能减震装置检验、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。

1.0.7 减震建筑宜采用性能化设计。

2 术语

2.1 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。

2.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置阻尼器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.3 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。

2.4 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。

2.5 位移相关型阻尼器 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。

2.6 速度相关型阻尼器 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。

2.8 金属屈服型阻尼器 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。

2.9 摩擦阻尼器 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。

2.10 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。

2.11 黏滞阻尼器 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。（增加墙式黏滞消能器）

2.12 黏弹性阻尼器 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。

2.13 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。

2.14 TMD 弹性元件

安装在 TMD 中，由弹簧、弹性材料等组成，为 TMD 提供刚度，用于结构传递振动载荷的装置。

2.15 TMD 阻尼单元

安装在 TMD 中用于耗散结构振动能量的装置。

2.16 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。

2.17 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。

2.18 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。

2.19 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。

2.20 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。

2.21 消能器设计荷载（最大承载力或最大阻尼力）

对应于设计位移或设计速度下的荷载。

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

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.24 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。

2.25 屈服位移 Yield displacement

消能器首次进入屈服时所对应的轴向位移。

2.26 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。

2.27 型式检验 type test

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。

2.28 出厂检验

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。

2.29 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。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 消能减震结构设计可分为新建消能减震结构设计和既有建筑结构消能减震加固设计。

3.1.2 新建消能减震结构的抗震设防目标应符合本规程第 1.0.2 条的规定，既有建筑结构采用消能减震加固时，抗震设防目标不应低于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 规定。

3.1.3 消能减震结构的抗震性能化设计，应根据建筑结构的实际需求，分别整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。

3.1.4 确定消能减震结构设计方案时，消能部件的布置应符合下列规定：

1. 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系。
2. 消能部件设置在相对变形或速度较大的位置。
3. 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。

3.1.5 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。

3.1.6 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。

3.1.7 抗震设防烈度为 7 度，高度分别超过 160m 消能减震公共建筑，应设置建筑结构的震害反应监测系统，建筑设计应预留监测仪器和线路的位置。

3.2 消能器要求

3.2.1 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，消能器的极限位移应大于消能器设计位移的 120%。速度相关型消能器极限速度应大于消能器设计速度的 120%。

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，金属屈服型消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服。

3 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

3.2.2 应用于消能减震结构中的消能器应符合下列规定：

1 消能器应具有型式检验报告和产品合格证。

2 消能器的性能参数、数量和检验要求应在设计文件中注明。

3.2.3 消能器的检验应符合下列规定：

1 应用于工程的消能器，应有出厂检验和见证检验。

2 出厂检验和见证检验应按照本规程和相关规范进行。

4 地震作用

4.1 一般规定

4.1.1 地震作用

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

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

3 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 度和 9 度时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。

4.1.2 减震结构分析模型，应符合下列规定：

1 所选取的分析模型应能合理反映结构中构件的实际受力状况。

2 上部结构和下部结构可选多质点系、空间杆系、空间杆—墙板元（壳元）、连续体及其它组合有限元等计算模型。

3 隔震层的隔震支座和阻尼器应选择能正确反映其特性的计算模型。

4.1.3 减震结构地震作用计算，除特殊要求外，可采用下列方法：

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

2 除 1 款外的减震结构应采用振型分解反应谱法。

3 对于房屋高度大于 60 米的减震建筑，应采用时程分析法进行补充计算。每条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%

4.2 设计反应谱和地震动输入

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

表 4.2.1-1 水平地震影响系数最大值 α_{max}

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

注：设计地震加速度峰值相当于《中国地震动参数区划图》中的地震动峰值加速度。

表 4.2.1-2 特征周期 T_g (s)

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

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

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

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

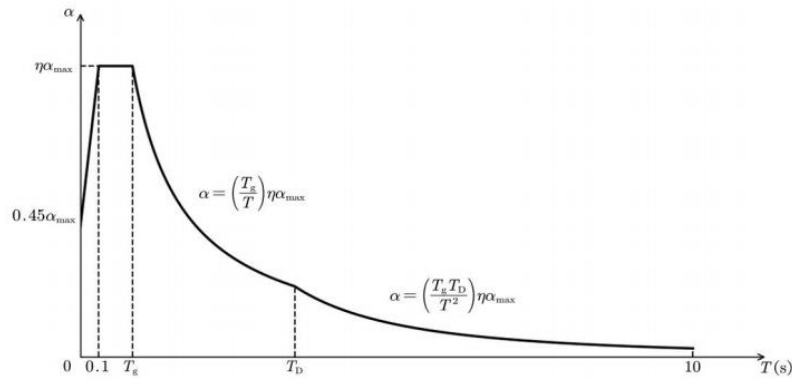


图 4.2.2 地震影响系数曲线

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

T_g ---特征周期, η --阻尼调整系数。

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

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

β_{\max} ——结构动力反应系数的最大值, 场地类别 I_0 、 I_1 类取 2.00, II 类取 2.25, III 类取 2.50, IV 类取 2.75;

A ——地震加速度峰值, 按照 4.2.2 取值。

g ——重力加速度。

b) 特征周期 T_g 按照 4.2.1-1 取值。

c) 曲线下降段拐点 TD 取值 3.5s。

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

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

式中： η —曲线下降段的衰减指数；

ζ —阻尼比，取隔震结构振型阻尼比。

4.3 地震作用计算

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

1 结构总水平地震作用标准值，应按下列式确定：

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \quad (4.3.1-1)$$

式中： F_{Ek} —结构总水平地震作用标准值；

α_1 —相应于减震结构基本周期设防地震时的水平地震影响系数；应按本标准第 4.2.1 条、第 4.2.2 条计算确定；

G_{eq} —上部结构总重力荷载代表值，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定计算。

2 质点 i 的水平地震作用标准值，可按下列式确定：

$$F_i = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n G_j} F_{Ek} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.3.1-2)$$

式中： F_i —质点 i 的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j —分别集中于第 i 、 j 质点重力荷载代表值。

4.3.2 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：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.3.2-1)$$

式中： F_{ji} — j 振型 i 质点的水平地震作用标准值；

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

X_{ji} — j 振型 i 质点的水平相对位移，应按本标准附录 B 中式 (B.0.1-1) 计算；

γ_j — j 振型的参与系数，应按本标准附录 B 中式 (B.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）可按下列公式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum (1+t_j^2) S_j^2} \quad (4.3.2-2)$$

式中： S_{Ek} —水平地震作用标准值的效应；

S_j —第 j 振型水平地震作用标准值的效应；

t_j —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 B 中式(B.0.2-1)计算。

2 考虑扭转耦联影响时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并按下列要求计算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：

$$\begin{aligned} F_{xji} &= \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} \cdot G_i \\ F_{yji} &= \alpha_j \gamma_{ij} Y_{ji} \cdot G_i \quad (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m) \\ F_{rji} &= \alpha_j \gamma_{ij} r^2 \varphi_{ji} \cdot G_i \end{aligned} \quad (4.3.2-3)$$

式中： F_{xji} 、 F_{yji} 、 F_{rji} —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；

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

φ_{ji} — j 振型 i 层的相对扭转转角；

r_i — i 层的转动半径，可取 i 层绕质心的转动惯量除以该层质量的

商的正二次方根；

γ_{ij} —计入扭转的 j 振型的参与系数。

2) 单向水平地震作用下的效应，可按下列公式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{i=k}^n \rho_{jk} S_j S_k} \quad (4.3.2-4)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1-\lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1+\lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \left(1 + \frac{-1+\lambda_T^2}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} t_j + \frac{\zeta_k + \zeta_j \lambda_T}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} t_k t_j \right) \quad (4.3.2-5)$$

式中： S_{Ek} —地震作用标准值的组合效应；

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

ρ_{jk} — j 振型与 k 振型的耦联系数；

ζ_j 、 ζ_k —分别为 j 、 k 振型的阻尼比；

λ_T — k 振型与 j 振型的自振周期比。

3)双向水平地震作用下的效应，可按下列公式中的较大值确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad (4.3.2-6)$$

$$\text{或 } S_{Ek} = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2} \quad (4.3.2-7)$$

式中： S_x 、 S_y —分别为 x 向、 y 向单向水平地震作用按式（4.3.2-4）计算的地震效应。

4.3.3当采用时程分析法时，计算模型的确定应满足下列条件：

1 对特殊设防类、重点设防类减震建筑及标准设防类不规则减震建筑，减震体系的计算模型宜考虑结构杆件的空间分布、弹性楼板假定、减震建筑的质量偏心、在两个水平方向的平移和扭转等。

2 对标准设防类规则减震建筑，可采用刚性楼板假定模型。

3 在设防地震作用下，减震建筑上部和下部结构的荷载—位移关系特性可采用线弹性力学模型。在罕遇地震或极罕遇地震作用下，减震建筑上部结构和下部结构宜采用弹塑性分析模型。

4 阻尼器单元应能够合理模拟隔震支座非线性特性，计算分析时，按实际荷载工况顺序合理加载。

4.3.4采用时程分析法时，应选用足够数量的实际强震记录加速度时程曲线和人工模拟地震动加速度时程曲线进行输入。宜选取不少于2组人工模拟加速度时程曲线和不少于5组实际强震记录或修正的加速度时程曲线。地震作用取7组加速度时程曲线计算结果的峰值平均值。

4.3.5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。

4.3.6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。

4.3.7对于抗震设防烈度为9度的隔震高层建筑，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 α_{vmax} 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，计算上部结构的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：

$$F_{\text{Evk}} = \alpha_{\text{vmax}} G_{\text{eq}} \quad (4.3.7-1)$$

$$F_{\text{vi}} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{\text{Evk}} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.3.7-2)$$

式中： F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值；

F_{vi} ——质点*i*的竖向地震作用标准值；

α_{vmax} ——竖向地震影响系数的最大值；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的75%；

H_i 、 H_j ——结构质点*i*、*j*的计算高度；

5 减震设计

5.1 一般规定

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

5.1.2 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。

5.1.3 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。在计算等效阻尼比时，结构总应变能和消能器耗能应按地震输入方向与垂直方向的总和计算。

5.1.4 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。

5.1.5 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。

5.2 消能部件布置原则

5.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

- 1 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近。
- 2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。
- 3 消能部件宜布置在层间相对位移较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率。
- 4 可通过抗震墙的连接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 消能减震结构中设置的消能器在楼层平面内的布置应遵循“均匀、分散、对称、周边”的原则，且应具有足够的数量。消能器的最大间距宜按剪力墙最大间距的相关要求确定。

5.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构设计参数符合下列规定：

1 采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近。

2 采用黏滞消能器时，各楼层的消能部件的最大水平阻尼力与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积之比的比值宜接近。

3 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%。

5.3 消能部件设计及附加阻尼比

5.3.1 消能部件的设计参数应符合下列规定：

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

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2 / 3 \quad (9.3.1-1)$$

式中： Δu_{py} —消能部件在水平方向的屈服位移（m）；

Δu_{sy} —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：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad (9.3.1-2)$$

式中： t_v —粘弹性消能器的粘弹性材料总厚度（m）；

Δu_{dmax} —沿消能方向消能器的最大可能的位移（m）；

$[\gamma]$ —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：

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad (9.3.1-3)$$

式中： K_b —支撑构件沿消能器消能方向的刚度（kN/m）；

C_D —消能器的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

T_1 —消能减震结构的基本自振周期（s）。

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

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

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下列式估算：

$$\zeta_d \geq \sum_{j=1}^n W_{cj} / 4\pi W_s \quad (9.3.2-1)$$

式中， ζ_d —消能减震结构的附加有效阻尼比；

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

W_s —消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN·m）。

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，可按下列式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (9.3.2-2)$$

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

u_i —质点*i*对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

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

$$W_{cj} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (9.3.2-3)$$

式中： T_1 —消能减震结构的基本自振周期（s）；

C_j —第*J*个消能器由试验确定的线性阻尼系数[kN/（m·s）]；

θ_j —第*J*个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j —第*J*个消能器两端的相对水平位移（m）。

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

5 非线性粘滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下列式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \quad (9.3.2-4)$$

式中： λ_1 —阻尼指数的函数，可按表9.3.2取值；

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

表9.3.2 λ_1 值

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

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性差值。

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

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (9.3.2-5)$$

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

5.3.3 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。

5.3.4 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包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合本规程的规定。

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

5.3.6 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。在进行主结构设计时，实际采用的附加阻尼比不宜高于计算值的80%。

5.3.7 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。

5.3.8 当消能器在多遇地震作用下不屈服时，其屈服承载力应高于其按基本组合所得的内力。

5.3.9 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。

5.4 主体结构设计及减震分析方法

5.4.1 主体结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 主体结构的截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行。

2 振型分解反应谱法计算地震作用效应时，宜按多遇地震作用下消能器的附加阻尼比取值。

5.4.2 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。（导则）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，按表4.5.2确定。

2 消能子结构的框架柱在两个方向都应满足上述强度要求。

3 消能子结构下方至少一层的对应竖向构件也应满足上述强度要求。

4 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。消能器应避免与大墙肢相连，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。

5 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。

6 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。

7 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。

5.4.3 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

1 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。

2 一般情况下，消能减震结构弹性层间位移角限值与《建筑抗震设计规范》GB50011的位移角限值相比，减小的比例在多遇地震作用下不低于10%。

3 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值与《建筑抗震设计规范》GB50011的位移角限值相比，钢筋混凝土框架结构和钢结构在罕遇地震作用下减小比例不低于50%，其他结构在在罕遇地震作用下减小比例不低于40%。

3 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。

5.4.4 主体结构的构造措施应符合下列规定：

1 主体结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值。

2 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据消能减震主体结构地震剪力与不设置消能部件的结构的的地震剪力之比确定，最大降低程度应控制在1度以内。

5.4.5 消能部件子结构的构造措施应符合下列规定：

1 消能部件子结构的抗震构造措施要求应按设防烈度要求执行。

2 消能部件子结构为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《高

层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3的要求；消能部件子结构为剪力墙时，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，不应低于国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3中框架柱的要求。

3 消能部件子结构为钢结构构件时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按国家现行标准《钢结构设计规范》GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中中心支撑的要求确定。

4 消能子结构的设计应着重加强节点、构件的延性，可采用沿构件全长提高配箍率、增设型钢等方法。

5.4.6 减震分析方法

1 当采用不同的计算软件对消能减震结构进行设计时，各计算模型应保持一致。在弹性模型条件下，各软件计算所得的质量、周期相对误差不大于5%；振型分解反应谱法所得的层间剪力，除顶部个别楼层外，相对误差不大于10%。

2 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。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。

3 附加阻尼比和附加刚度可采用合理的方法进行初步估算，但用于抗震专项审查和施工图设计的数值，应采用能够实际模拟消能器非线性性能的计算模型，利用非线性时程分析进行校核。

4 当采用多遇地震作用下处于非线性工作状态的消能器时，消能减震结构可利用近似计算模型进行初步的构件配筋设计，但应采用能够实际模拟消能器非线性性能的计算模型，利用非线性时程分析进行各构件的配筋校核。

6 在进行设防地震或罕遇地震作用下的结构分析时，应采用实际截面尺寸和配筋。

5.4.7 减震设计要点

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 位移相关型消能部件附加给结构的有效阻尼比可按《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013中式(6.3.2-1)计算。在计算结构总应变能时，宜采用楼层水平地震作用标准值与对应楼层平均总位移(楼层质心位移)的乘积的一半，但应同时给出层间位移供校核；楼层中未屈服的消能器的剪力应计入楼层水平地震作用标准值。可采用累计能量比较法等其他可靠的方法进行校核。

3 设计文件应明确给出消能器的设计指标和检验要求。对于金属消能器，设计指标包括：屈服荷载、屈服位移、屈服后刚度、设计荷载、设计位移等；对于摩擦消能器，设计指标包括：起滑阻力、起滑位移、初始刚度、设计荷载、设计位移等。于黏滞消能器，设计指标包括：设计位移、最大阻力、设计速度、阻尼指数、阻尼系数；对于黏弹性消能器，设计指标包括：设计应变、最大阻力、表观剪切模量、损耗因子等。对于屈曲约束支撑，设计指标包括：屈服荷载、屈服位移、屈服后刚度、设计荷载、设计位移等。其中，设计荷载、设计位移、设计速度、设计应变、最大阻力应根据罕遇地震作用下弹塑性时程分析的结果确定。

4 采用屈曲约束支撑和普通钢支撑—混凝土框架组成抗侧力体系的结构时，如果房屋高度不超过《建筑抗震设计规范》第6.1.1条规定的钢筋混凝土框架结构最大适用高度，

支撑框架按刚度分配的多遇地震倾覆力矩可按设计需要确定；如果抗震设防烈度为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，则应按含与不含该部分普通钢支撑两种模型进行多遇地震作用的计算，并宜取二者的较大值。

- 5 屈曲约束支撑在多遇地震作用下不宜屈服耗能。
- 6 消能子结构的强度和刚度应满足《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的相关要求。
- 7 消能子结构的材料强度严禁超过其极限值，应符合下表的规定。

表5.4.7消能子结构材料强度极限值

材料	强度等级	极限值(N/mm ²)
钢筋	HRB400	500
	HRB500	625
混凝土	C30	26.4
	C35	30.8
	C40	35.2
	C45	39.6
	C50	44.0
	C55	48.4
	C60	52.8
钢材	Q235	370
	Q345	470
	Q390	490
	Q420	520
	Q345GJ	490

8 外墙处的消能器及其支承构件应置于围护墙体内侧；当消能器及其支承构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。

5.5 消能减震结构抗震性能化设计

*5.5.1 消能减震结构的设计结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。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。

5.5.2 消能减震结构的性能水准的判别可按表 5.5.2 确定。

表5.5.2 消能减震结构的性能水准的判别

破坏级别	损坏部位描述			继续使用的可能性	变形参考值
	竖向构件	关键构件	消能部件		
基本完好 (含完好)	无损坏	无损坏	无损坏	一般不需要修理即可继续使用	$< [\Delta u_e]$
轻微损坏	个别轻微裂缝 (或残余变形)	无损坏	无损坏	不需要修理或稍加修理仍可使用	$1.5[\Delta u_e] \sim 2[\Delta u_e]$

中等破坏	多数轻微裂缝 (或残余变形), 部分明显裂缝 (或残余变形)	轻微损坏	无损坏	需要一般修理, 采 取安全措施后可适 当使用, 检修 消能部件	$3[\Delta u_e] \sim 4[\Delta u_e]$
严重破坏	多数严重破坏 或部分倒塌	明显裂缝(或残 余变形)	轻微损坏	应排险大修, 局部 拆除, 位移相关型 消能器应更换、速 度相关型消能器根 据检查情况确定是 否更换	$< 0.9[\Delta u_p]$
倒塌	多数倒塌	严重破坏	破坏	需拆除	$> [\Delta u_p]$

注: 个别指 5% 以下, 部分指 30% 以下, 多数指 50% 以上。

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

5.5.3 消能减震结构的抗震性能目标宏观判别可按表 5.5.3 确定。

表9.5.3 消能减震结构的抗震性能目标宏观判别

地震水准	性能1	性能2	性能3	性能4
多遇地震	完好	完好	完好	完好
设防地震	完好, 正常使用	基本完好, 结构构 件检修后继续使 用, 无需更换消能 器	轻微损坏, 结构构 件简修理后继续使 用, 无需更换消能 器	轻微至接近中等损 坏, 结构构件需加 固后才能使用, 根 据检修情况确定是 否更换消能器
罕遇地震	基本完好, 结构构 件检修后继续使 用, 无需更换消能 器	轻微至中等破坏, 结构构件修复后继 续使用, 根据检修 情况确定是否更换 消能器	中等破坏, 结构构 件需加固后继续使 用, 根据检修情况 确定是否更换消能 器	接近严重破坏、大 修, 结构构件局部 拆除, 位移相关型 消能器应更换、速 度相关型消能器根 据检查情况确定是 否更换

5.5.4 不同性能目标的消能减震结构设计及模型计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

6 消能器技术性能

6.1 一般要求

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《建筑消能阻尼器》JG/T209的要求，不满足时应作保温、除湿等相应处理。

6.1.3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。

6.1.4消能器的性能应符合下列规定：

1)消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍极限阻力选取，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。

6.1.5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。

6.2 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，焊缝等级不低于二级。

6.2.2屈曲约束耗能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/T700或GB/T3077的要求，且应满足伸长率应大于25%，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/T700或GB/T3077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/T228.1和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T7314的规定。填充材料抗压强度不宜低于20MPa。

6.2.3 屈曲约束耗能支撑各部件尺寸偏差应符合表 1 规定。

表 1 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	

定义侧弯矢量测量方法。

6.2.4 屈曲约束耗能支撑基本力学性能应符合表 2 的规定。

表 2 基本力学性能要求

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	弹性刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%以内
	4	屈服后刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%以内
	5	设计极限承载力	每个实测产品极限荷载的实测值不应小于1.2倍设计承载力
	6	极限位移	每个产品的实测值不应小于设计值的1.2倍
	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
	8	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载不少于3圈, 第3圈滞回曲线面积的实测值偏差应为设计值的±15%

6.2.5 屈曲约束耗能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 3 的规定。

*表 3 屈曲约束耗能支撑耐久性要求

序号	项目	性能要求	
*疲劳性能	1	疲劳循环次数	实测产品在要求位移下连续加载不少于40次。 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。
	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 金属屈服型阻尼器

6.3.1 金属屈服型阻尼器外观应标记清晰, 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。阻尼器安装宜采用螺栓连接、销轴连接。

6.3.2 用于制作金属屈服型阻尼器常用的金属材料有钢材、铅、合金等。钢屈服型阻尼器耗能段宜采用高延性钢制作，其伸长率应不小于 40%，屈强比应小于 80%，0℃时冲击韧性应大于 27J。金属屈服型阻尼器采用其它钢材，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 各部件尺寸偏差应符合表 5 规定。

表 5 金属屈服型阻尼器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
阻尼器长度	不超过产品设计值的±2mm
阻尼器宽度	不超过产品设计值的±2mm
阻尼器高度	不超过产品设计值的±2mm

6.3.4 金属屈服型阻尼器基本力学性能应符合表 6 的规定。

表 6 金属屈服型阻尼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	弹性刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%以内
	4	屈服后刚度	每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%以内
	5	设计极限承载力	每个实测产品极限荷载的实测值不应小于1.2倍设计承载力
	6	极限位移	每个产品的实测值不应小于设计值的1.2倍
	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。
	8	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载不少于3圈，第3圈滞回曲线面积的实测值偏差应为设计值的±15%。

6.3.5 金属屈服型阻尼器耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能。金属屈服型阻尼器耐久性应符合表 7 的规定。

*表 7 金属屈服型阻尼器耐久性要求

序号	项目	性能要求	
*疲劳性能	1	疲劳循环次数	实测产品在设计位移下连续加载不少于40个循环。阻尼器设计位移的取值应按以下参数进行选取（以Dy来表示屈服位移）： 1) $Dy \leq 1.0\text{mm}$ 时，阻尼器设计位移不应低于 $30Dy$ ； 2) $1.0 < Dy < 2.0\text{mm}$ 时，阻尼器设计位移不应低于 $25Dy$ 和 30mm ； 3) $2.0\text{mm} \leq Dy$ 时，阻尼器设计位移不应低于 $20Dy+10\text{mm}$ 。
	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；火灾后应对阻尼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 摩擦阻尼器

6.4.1 摩擦阻尼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 用于制作摩擦阻尼器的钢材应根据设计需要进行选择，钢材质量指标应符合 GB/T700 或 GB/T3077 的要求。应选用不低于 Q235B 的钢材。摩擦阻尼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。摩擦材料的抗压强度不低于 60MPa。

6.4.3 摩擦阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 8 规定。

表 8 摩擦阻尼器各部件尺寸偏差

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

6.4.4 摩擦阻尼器基本力学性能应符合表 9 的规定。

表 9 基本力学性能要求

序号	项目	性能要求	
1	动摩擦力	每个产品动摩擦力的实测值偏差应为设计值的±15%	
常规性能	2	最大静摩擦力	最大静摩擦力与动摩擦力的偏差±10%以内
	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	弹性刚度	每个产品初始刚度的实测值偏差应为设计值的±15%
	4	设计极限承载力	每个实测产品极限荷载的实测值不应小于1.2倍设计承载力
	5	极限位移	每个产品的实测值不应小于设计值的1.2倍
7	滞回曲线	实测产品在设计位移下连续加载5圈，第3圈滞回曲线面积的实测值偏差应为设计值的±15%。	

6.4.5 摩擦阻尼器的耐久性包括老化性能、疲劳性能。摩擦阻尼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 10 的规定。

*表 10 摩擦阻尼器耐久性要求

序号	项目	性能要求
----	----	------

老化性能	1	摩擦荷载	老化前后的变化率应为 $\pm 15\%$ 以内，实测值的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内
	2	外观	目视无变化
*疲劳性能	1	疲劳循环次数	实测产品在设计位移下连续加载次数不低于40次
	2	摩擦荷载	任一个循环的最大、最小阻尼力应为设计值的 $\pm 15\%$ 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 $\pm 15\%$ 。 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 $\pm 15\%$ 。
	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 $\pm 15\%$
耐腐蚀性能		无锈蚀	

6.4.6 火灾时应具有阻燃性；火灾后应对阻尼器进行力学性能检测，其指标下降超过 15% 时应更换。

6.5 黏滞阻尼器

6.5.1 黏滞阻尼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。热空气老化 $150^{\circ}\text{C} \times 10\text{W}$ ，粘度变化率 $\pm 5\%$ 内。挥发分 $230^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ ，挥发份不超过 0.75%。

6.5.3 用于黏滞阻尼器的钢材应根据设计需要选用，缸体和活塞杆一般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/T699 的要求；合金结构钢应符合 GB/T3077 的要求；结构用无缝钢管应符合 GB/T8162 的要求；不锈钢棒应符合 GB/T1220 的要求，不锈钢管应符合 GB/T14796 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/T5777 的要求。活塞杆表面采用镀硬铬处理，最小镀层总厚度为 $70\mu\text{m}$ 。当材料基底为不锈钢时，镀层的最小总厚度可下降到 $40\mu\text{m}$ 。

6.5.4 黏滞阻尼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 黏滞阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 11 规定。

表 11 黏滞阻尼器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏滞阻尼器长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
黏滞阻尼器截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$

6.5.6 黏滞阻尼器的基本力学性能应符合表 12 的规定。

表 12 黏滞阻尼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阻尼器容许位移的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%以内
3	阻尼系数	每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%以内
4	阻尼指数	每个产品实测值偏差不应超过设计值的±15%以内
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
6	滞回曲线面积	实测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%。
7	阻尼器间隙	任一工况下阻尼器实测间隙不应大于1.0mm

6.5.7 黏滞阻尼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，且要求阻尼器在试验后无渗漏，无裂纹，其相关性能应符合表 13 的规定。

*表 13 黏滞阻尼器耐久性要求

序号	项目	性能要求	
*疲劳性能	1	疲劳循环次数	实测产品在设计位移下连续加载15次或30次，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%
密封性能		无渗漏、破损等现象；且最大、最小阻尼力和滞回曲线面积变化率应为±15%	
耐腐蚀性能	中性盐雾试验	无锈蚀	

6.5.8 黏滞阻尼器的其它相关性能应符合表 14 的规定。

表 14 黏滞阻尼器其它相关性能要求

项目	指标	性能要求
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%

6.5.9 火灾时应具有阻燃性；火灾后应对阻尼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 黏弹性阻尼器

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 橡胶类黏弹性材料质量指标应符合表 15 的要求。

表 15 黏弹性材料性能指标

项目		指标
拉伸强度		≥6MPa
扯断伸长率		≥380%
扯断永久变形		≤50%
热空气老化 70°C*72h	拉伸强度变化率	≤(-20~+20)%
	扯断伸长变化率	≤(-20~+20)%
(0~40)°C工作频率材料损耗因子 β		≥0.5
钢板与阻尼材料之间的黏合强度		≥4.3MPa

钢材质量指标应符合 GB/T700 中碳素结构钢 Q235 或低合金钢的要求。

6.6.3 黏弹性阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 16 的规定。

表 16 黏弹性阻尼器各部件尺寸偏差

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

6.6.4 黏弹性阻尼器的力学性能应符合表 17 的规定。

表 17 黏弹性阻尼器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	最大阻尼力	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%
2	表观剪切模量	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%
3	损耗因子	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%
4	等效刚度	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%
5	阻尼系数	每个产品的实测值偏差应为设计值的±15%
6	滞回曲线	每个产品实测的滞回曲线稳定饱满、光滑、无异常
7	滞回曲线面积	实测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%

6.6.5 黏弹性阻尼器的极限剪应变大于等于 350%。

6.6.6 黏弹性阻尼器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能，耐久性、相关性应符合表 18 和 19 的规定。

***表 18 黏弹性阻尼器耐久性要求**

序号	项目	性能要求
老化性能	1 变形	老化前后的变化率应为±15%以内
	2 最大阻尼力、表观剪切模量、等效阻尼比	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 疲劳循环次数	实测产品在设计位移下连续加载次数不少于40次
	2 表观剪切模量、等效阻尼比	表观剪切模量、等效阻尼比应为平均值的±15%。
	3 最大阻尼力	最大、最小阻尼力应平均值的±15%。
	4 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±15%。 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±15%
	5 滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积应为设计值的±15%

表 19 黏弹性阻尼器相关性要求

项目	性能要求	
频率相关性性能	阻尼力、等效阻尼比	具有规律性
温度相关性	阻尼力、等效阻尼比	10°C~40°C变化率±15%； 0°C~10°C变化率±20%； -10°C~0°C变化率±30%； -20°C~-10°C变化率±50%
变形相关性	阻尼力	具有规律性

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。

6.6.7 火灾应具有阻燃性；火灾后应对阻尼器进行力学检测，其指标下降超过 15%时应进行更换。

6.7 调谐质量阻尼器

6.7.1 调谐质量阻尼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。

6.7.2 钢材应根据设计需要进行选择，优质碳素结构钢应符合 GB/T700；合金结构钢应符合国家标准或 GB/T3077 的规定；结构用无缝钢管应符合 GB/T8162 的规定；不锈钢棒应符合 GB/T8162，不锈钢管应符合 GB/T14976 的规定，拉伸弹簧应符合 GB/T1239.1 的规定，压缩弹簧应符合 GB/T1239.2 的规定；弹簧材料应符合 GB/T1222 的规定；使用寿命应符合 GB/T16947 的规定，黏滞阻尼器应符合本标准中的黏滞阻尼器的相关要求，烧结钕铁硼永磁铁应符合 GB/T13560 的规定，纯铜应符合 GB/T5231 的规定。

6.7.3 调谐质量阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 20 规定。

表 20 调谐质量阻尼器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
阻尼器长度	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
阻尼器宽度	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
阻尼器高度	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
安装孔	孔位置偏差 $\pm 2\text{mm}$ ，孔径偏差 $\pm 1\text{mm}$

6.7.4 调谐质量阻尼器基本力学性能应符合表 21 的规定。

表 21 基本力学性能要求

序号	项目	性能要求	
基本力学性能	1	极限位移	极限位移的实测值不应小于设计位移的120%。
	2	调谐频率	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 5\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 5\%$ 以内。
	3	阻尼比	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内。
	4	调频范围	在不改变主体结构或者更换零部件的情况下，通过微调质量或弹性元件来调节TMD的设计基准频率，产品可调频率范围不应小于设计基准频率值的 $\pm 15\%$

6.7.5 调谐质量阻尼器的应具有良好的耐腐蚀性能。

6.7.6 火灾时应具有阻燃性，火灾后应对调谐质量阻尼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。

6.8 其他阻尼器

其他类型阻尼器根据实际情况可以参考以上的性能要求具体选择。

7 消能器检验要求

7.1 屈曲约束耗能支撑

7.1.1 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。

7.1.2 钢材的性能试验应符合 GB/T228 和 GB/T7314 的规定。

7.1.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.1.4 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 22 所示。

表 22 屈曲约束耗能支撑力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服荷载 屈服位移 屈服前刚度 屈服后刚度 滞回曲线面积	a) 采用正弦或三角波激励法，输入位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ，加载频率为 f_i ，位移幅值 u_1 分别取 $0.5u_0$ 、 $0.6u_0$ 、 $0.8u_0$ 、 $1.0u_0$ 共 4 个工况，不间断各连续加载 3 个循环； b) 分析首次进入屈服的工况，取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为屈服前刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值； c) 取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，再根据双线性模型拟合得出屈服后刚度作为屈服后刚度实测值。
极限位移 极限荷载	控制位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ； u_1 不小于设计极限位移，工作频率为 f_i ，连续加载 3 次循环，取第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力和最大位移作为极限荷载和极限位移的实测值。
滞回曲线	每个工况均绘制具有稳定饱满的阻尼力-位移滞回曲线。
注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为 0.03Hz。	

7.1.5 屈曲约束耗能支撑疲劳性能试验方法应按表 23 的规定进行。

*表 23 屈曲约束耗能支撑疲劳性能试验方法

项目	试验方法
*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 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_i ，连续加载 40 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线。
*耐腐蚀性能	产防腐按 GB/T10125-2012《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》方法试验，应连续进行不少于 1000 小时，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：圆频率 $\omega = 2\pi f_i$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为 0.03Hz。	

7.1.6 屈曲约束耗能支撑遭受火灾后必须进行检测。

7.1.7 当屈曲约束支撑的长度、最大承载力等超出试验机的检测范围，导致无法进行足尺试验时，满足以下要求可进行缩尺试验：缩尺设计应满足相似理论。

1 缩尺试件核心单元的截面形式、材质应与足尺试件一致。

2 缩尺试件的缩尺比不超过 5。

3 缩尺试件核心单元与外约束单元之间无粘结材料的选材以及设计方法应与足尺试件一致。

7.2 金属屈服型阻尼器

7.2.1 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。

7.2.2 钢材的性能试验应符合 GB/T228 和 GB/T7314 的规定。

7.2.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.2.4 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 24 所示。

表 24 金属屈服型阻尼器力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服荷载 屈服位移 屈服前刚度 屈服后刚度 滞回曲线面积	a) 采用正弦激励法或三角波进行加载，输入位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ，加载频率为 f_1 ，位移幅值 u_1 分别取 $0.5u_0$ 、 $0.6u_0$ 、 $0.8u_0$ 、 $1.0u_0$ 共 4 个工况，不间断各连续加载 3 个循环； b) 分析首次进入屈服的工况，取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为屈服前刚度的实测值，屈服荷载与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值； c) 取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，再根据双线性模型拟合得出屈服后刚度作为屈服后刚度实测值。
极限位移 极限荷载	控制位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ； u_1 不小于设计极限位移，工作频率为 f_1 ，连续加载 3 次循环，取第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力和最大位移作为极限荷载和极限位移的实测值。
滞回曲线	每个工况均绘制具有稳定饱满的阻尼力-位移滞回曲线。
注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_1 为 0.03Hz。	

7.2.5 金属屈服型阻尼器疲劳性能试验方法应按表 25 的规定进行。

*表 25 金属屈服型阻尼器疲劳性能试验方法

项目	试验方法
*疲劳性能	采用固定位移循环加载试验，采用正弦激励法，当主要用于地震控制时，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，连续加载 40 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线。
*耐腐蚀	防腐按 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，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： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_1 为 0.03Hz。	

7.2.6 金属屈服型阻尼器遭受火灾后必须进行检测。

7.3 摩擦阻尼器

7.3.1 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。

7.3.2 钢材的性能试验应符合 GB/T228 和 GB/T7314 的规定。

7.3.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.3.4 摩擦阻尼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 26 所示。

表 26 摩擦阻尼器力学性能试验方法

项目	试验方法
起滑位移 起滑阻尼力 弹性刚度 摩擦荷载 滞回曲线面积	a) 采用正弦激励或三角波激励, 输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$, 加载频率为 f_i , 连续加载 5 个循环; b) 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; c) 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; d) 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; e) 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。
极限位移 极限荷载	控制位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$; u_1 不小于设计极限位移, 工作频率为 f_i , 连续加载 5 次循环, 取第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力和最大位移作为极限荷载和极限位移的实测值。
注: ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_i$, u_0 为阻尼器设计位移, f_i 为结构基频。	

7.3.5 摩擦阻尼器疲劳性能试验方法应按表 27 的规定进行。

*表 27 摩擦阻尼器耐久性试验方法

项目	试验方法
老化性能	把试件放入鼓风电热恒温干燥箱中, 保持温度 80°C, 经 192h 后取出, 按表 24 做力学性能试验
*疲劳性能	采用正弦激励法, 输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$, 工作频率为 f_i , 连续加载 40 个循环
*耐腐蚀性能	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, 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: ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_i$, u_0 为阻尼器设计位移, f_i 为结构基频。	

7.3.6 金属屈服型阻尼器遭受火灾后必须对取样件进行检测。取样件合格后阻尼器可继续使用, 取样件检测不合格应对阻尼器进行批量更换。

7.4 黏滞阻尼器

7.4.1 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。

7.4.2 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/T228 和 GB/T7314 的规定。

7.4.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.4.4 黏滞阻尼器的力学性能试验在伺服加载试验机上进行。黏滞阻尼器的力学性能试验方法如表 28 所示。

表 28 黏滞阻尼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阻尼器匀速缓慢运动，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 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，加载频率为 f_i ，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 阻尼指数 滞回曲线面积	a) 采用正弦激励法，输入位移 $u = u_1\sin(\omega t)$ ，加载频率为 f_i ，控制试验机加载系统； b) 位移幅值 u_1 分别取 $\min(0.1u_0, \Delta_F)$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 共 6 个工况，不间断各连续加载 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； c) 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。
阻尼器间隙	取每个工况第 3 次循环时滞回曲线阻尼力为 0 时的正负位移段长度平均值为实测间隙值。
滞回曲线	每个工况均绘制具有稳定饱满的阻尼力-位移滞回曲线。
注： ω 为圆频率 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为结构基频， Δ_F 为多遇地震下层间位移最大楼层中阻尼器最大位移。	

7.4.5 黏滞阻尼器的耐久性能应按表 29 的规定进行。

*表 29 黏滞阻尼器耐久性能试验方法

项目	试验方法
*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 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，当设计位移大于 100mm 时，连续加载 15 个循环；当设计位移不大于 100mm 时，连续加载 30 个循环；当需要进行风荷载测试时，输入位移 $u=0.1u_0\sin(\omega t)$ ，每次连续加载不小于 20000 次，累计加载不应少于 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 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，进行 10000 次循环试验，阻尼器内流体可部分移除。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。阻尼器密封良好，无漏油。
*耐腐蚀性能	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，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试样和试件的评级》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 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为结构基频。	

7.4.6 黏滞阻尼器其它相关性能试验应按表 30 的规定进行。

表 30 黏滞阻尼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	测定产品在输入位移 $u=u_1\sin(\omega t)$ ，加载频率 f 分别取 $0.4f_i$ 、 $0.7f_i$ 、 $1.0f_i$ 、 $1.3f_i$ 、 $1.6f_i$ （且在产品工作的最大位移，最大速度内）时的最大阻尼力，并计算与 f_i 下的相应值的比值。 $u_1 = u_0 f_i / f$
最大阻尼力—温度相关性	测定产品在输入位移 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频 f_i ，试验温度为 $-20^\circ\text{C}\sim+40^\circ\text{C}$ ，每隔 10°C 记录其最大阻尼力作为的实测值。
注： ω 为圆频率 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为结构基频。	

7.4.7 黏滞阻尼器遭受火灾后必须进行检测。

7.5 黏弹性阻尼器

7.5.1 用目视、游标卡尺及卷尺进行测量。

7.5.2 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。粘弹性材料损耗因子的测定，用动态黏弹性自动测量仪检测，测量温度范围 $0^\circ\text{C}\sim40^\circ\text{C}$ ，测量频率阻尼器的工作频率，升温速度 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 。钢材按 GB/T700 的规定执行。

7.5.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.5.4 黏弹性阻尼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。黏弹性阻尼器在环境温度条件下的力学性能试验方法见表 31。其中输入位移 u_0 是指与表观剪应变设计值 γ_0 相对应的黏弹性材料剪切位移设计值， $u_0 = \gamma_0 t$ ， t 为黏弹性材料层厚度。

表 31 黏弹性阻尼器力学性能试验方法

项目	试验方法
最大阻尼力 表观剪切模量 等效刚度 损耗因子 阻尼系数 滞回曲线面积	a) 控制位移 $u=u_1\sin(\omega t)$ ；工作频率为 f_i ，连续加载 5 个循环，每次均绘制阻尼力-位移滞回曲线； b) 取第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力作为最大阻尼力的实测值； c) 取第 3 次循环时滞回曲线的剪应力与表观剪应变的比值作为表观剪切模量的实测值； d) 取第 3 次循环时滞回曲线（椭圆）长轴的斜率作为等效刚度的实测值； e) 取第 3 次循环时滞回曲线的零位移对应的阻尼力与最大位移对应的阻尼力的比值，作为损耗因子的实测值； f) 取第 3 次循环时滞回曲线的零位移对应的阻尼力与零位移对应的速度的比值，作为阻尼系数的实测值； g) 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。
极限位移	控制位移 $u=u_1\sin(\omega t)$ ； u_1 不小于设计极限位移，工作频率 f_i ，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位移的实测值；
滞回曲线	绘制具有稳定饱满的阻尼力-位移滞回曲线。
注： ω 为圆频率 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_i 为结构基频。	

7.5.5 黏弹性阻尼器的耐久性试验应按表 32 的规定进行。

***表 32 黏弹性阻尼器耐久性试验方法**

项目	试验方法
老化性能	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 23 做力学性能试验。
*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 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，连续加载 40 个循环；当主要用于风振时，输入位移 $u=0.1u_0\sin(\omega t)$ ，每次连续加载不小于 2000 次，累计加载 10000 个循环。要求：绘制阻尼力-位移滞回曲线。抗风时应与粘滞相当。
注： ω 为圆频率 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_1 为结构基频。	

7.5.6 黏弹性阻尼器的其它相关性能试验应按表 33 的规定进行。

表 33 黏弹性阻尼器其它相关性能的试验方法

项目	试验方法
最大阻尼力—变形 相关性能	在加载频率 f_1 下，测定输入位移 $u=u_1\sin(\omega t)$ ， $u_1=1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 和 $1.5u_0$ （且在极限位移内）时的最大阻尼力，并计算与 $1.0u_0$ 下的相应值的比值。
最大阻尼力—加载 频率相关性能	测定产品在输入位移 $u=u_1\sin(\omega t)$ ，频率 f 为 0.5Hz、1.0Hz、1.5Hz、2.0Hz 时（且在极限速度内）的最大轴向恢复力，并计算与 1.0Hz 下的相应值的比值。 $u_1=u_0 f_1/f$
最大阻尼力—温度 相关性能	测定产品在输入位移 $u=u_0\sin(\omega t)$ ，工作频率 f_1 ，试验温度为 -20℃~40℃，每隔 10℃ 记录其最大阻尼力作为的实测值。保温时间 24h
注： ω 为圆频率 $\omega=2\pi f$ ， u_0 为阻尼器设计位移， f_1 为结构基频。	

7.5.6 黏弹性阻尼器遭受火灾后必须进行检测。

7.6 调谐质量阻尼器

7.6.1 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。

7.6.2 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。烧结钕铁硼永磁铁应符合 GB/T13560 的规定。纯铜应符合 GB/T5231 的规定。

7.6.3 尺寸偏差用常规量具测量评定。

7.6.4 调谐质量阻尼器的力学性能试验采用振动采集系统进行，调谐质量阻尼器的力学性能试验方法如表 34 所示。

表 34 调谐质量阻尼器基本力学性能试验方法

项目	试验方法
极限位移	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。
自振频率	采用脉冲激励或者初始位移法，使调谐质量阻尼器获得初始振动，采用位移、或速度、或加

	速度传感器采集器振动信号，根据单位时间内振动周期数计算出自振频率，试验重复 3 次
阻尼比	采用合理方法测定

7.6.5 调谐质量阻尼器耐腐蚀性应满足盐雾试验不低于 1000 小时的检验要求。

7.6.7 调谐质量阻尼器遭受火灾后必须进行检测。

7.7 其他阻尼器

其他类型阻尼器根据实际情况可以参考以上的试验方法要求具体选择。

8 检验规则

8.1 检验分类

产品检验分型式检验、出厂检验、见证检验。

8.2 检验项目

表 35 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	检验方法
屈曲约束支撑	基本力学性能	屈服荷载	√	√	√	
		屈服位移	√	√	√	
		弹性刚度	√	√	√	
		屈服后刚度	√	√	√	
		极限承载力	√	√	√	
		极限位移	√	√	√	
		滞回曲线	√	√	√	
		滞回曲线面积	√	√	√	
	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	√	×	×	
	金属屈服型阻尼器	基本力学性能	屈服荷载	√	√	√
屈服位移			√	√	√	
弹性刚度			√	√	√	
屈服后刚度			√	√	√	
极限荷载			√	√	√	
极限位移			√	√	√	
滞回曲线			√	√	√	
滞回曲线面积			√	√	√	
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	√	×	×	
摩擦阻尼器		基本力学性能	起滑荷载	√	√	√
	起滑位移		√	√	√	
	弹性刚度		√	√	√	
	极限荷载		√	√	√	
	极限位移		√	√	√	
	摩擦荷载		√	√	√	
	滞回曲线		√	√	√	
	老化性能	摩擦荷载	√	×	×	

		外观	√	×	×	
	疲劳性能	疲劳循环次数	√	×	√	
		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	√	×	×	
粘滞阻尼器	基本力学性能	极限位移	√	√	√	
		最大阻尼力	√	√	√	
		阻尼系数	√	√	√	
		阻尼指数	√	√	√	
		滞回曲线	√	√	√	
		滞回曲线面积	√	√	√	
		阻尼器间隙	√	√	√	
	疲劳性能	疲劳循环次数	√	×	√	
		最大阻尼力	√	×	√	
		滞回曲线	√	×	√	
		滞回曲线面积	√	×	√	
	风振测试	最大阻尼力	√	×	×	
		滞回曲线面积	√	×	×	
	密封性能		√	×	×	
耐腐蚀性能	中性盐雾试验	√	×	×		
黏弹阻尼器	基本力学性能	最大阻尼力	√	√	√	
		表观剪切模量	√	√	√	
		损耗因子	√	√	√	
		等效刚度	√	√	√	
		阻尼系数	√	√	√	
		滞回曲线	√	√	√	
		滞回曲线面积	√	√	√	
	老化性能	变形	√	×	×	
		最大阻尼力、表观剪切模量、等效阻尼比	√	×	×	
		外观	√	×	×	
	疲劳性能	表观剪切模量、等效阻尼比	√	×	√	
		最大阻尼力	√	×	√	
		滞回曲线	√	×	√	
		滞回曲线面积	√	×	√	
	频率相关性性能	阻尼力、等效阻尼比	√	×	×	
	温度相关性	阻尼力、等效阻尼比	√	×	√	
	变形相关性	阻尼力	√	×	×	
调谐质量阻尼器	基本力学性能	极限位移	√	√	√	
		调谐频率	√	√	√	
		阻尼比	√	√	√	
		调频范围	√	√	√	
	疲劳性能	疲劳循环次数	√	×	√	

		自振频率	√	×	√	
		阻尼比	√	×	√	

8.3 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：

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

8.4 出厂检验

出厂检验应由厂家质检部门或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。

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、摩擦阻尼器，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。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抽样试验检验，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50%至150%（100%±50%）范围内的产品分为同一规格。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.调谐质量阻尼器，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：根据3.2.5的性能要求按照4.1.4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2%，检测合格率为100%。

8.5 见证检验

*8.5.1 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1%但不应少于1件。

屈曲约束耗能支撑，所有检测试件应先检测屈服位移、屈服力、设计位移、最大承载力、第二刚度、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行罕遇地震设计位移下的往复循环40圈的疲劳性能检测，被检测后不得用于主体结构。

*8.5.2 金属屈服型阻尼器，所有抽检试件均应先检测屈服位移、屈服力、设计位移、最大承载力、第二刚度、滞回曲线，并抽取中不少于1件进行罕遇地震设计位移下往复循环40圈的疲劳性能检测，被检测后不得用于主体结构。

摩擦阻尼器，所有抽检试件均应先检测起滑位移、起滑阻尼力、弹性刚度、摩擦荷载、滞回曲线，并抽取中不少于1件进行罕遇地震设计位移下往复循环40圈的疲劳性能检测。

*8.5.3 黏滞阻尼器，所有抽检试件均应先检测阻尼指数、阻尼系数、最大阻尼力、极限位移、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行罕遇地震设计位移和设计速度幅值下，以结构基准频率，当设计位移大于100mm时连续加载15个循环，当设计位移不大于100mm时连续加载30个循环。

*8.5.4 黏弹阻尼器，所有抽检试件均应先检测最大阻尼力、表观剪切模量、等效刚度、损耗因子、阻尼系数、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行罕遇地震设计位移和设计速度幅值下，以结构基准频率往复循环40圈的疲劳性能检测。

8.5.5 不同性能目标的消能减震结构设计及模型计算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

9 消能部件的连接与构造

9.1 一般规定

9.1.1 消能器与主体结构的连接一般分为：支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等，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。

9.1.2 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、“V”字形和人字形等布置，不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比和长细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。

9.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销轴，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》GB50017 的规定。

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

9.1.5 消能器的支撑或连接原件或构件、连接板应保持弹性。

9.1.6 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。

9.2 消能器与结构连接构造要求

9.2.1 预埋件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。

9.2.2 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《钢结构设计规范》GB50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中中心支撑的规定。

9.2.3 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。

9.3 屈曲约束支撑

9.3.1 屈曲约束支撑与主体结构连接可采用螺栓连接、销轴连接、焊接连接。

9.3.2 在 1.2 倍屈曲约束支撑设计轴向力的作用下，核心单元的连接段不应发生失稳。

9.3.3 屈曲约束支撑在 1.2 倍设计轴力作用下，连接屈曲约束支撑与主体结构的节点板和预埋件应处于弹性工作状态。

9.3.4 屈曲约束支撑的形心线与梁柱形心线三者宜相交于一点。

9.3.5 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。

9.3.6 屈曲约束支撑连接示意如下：

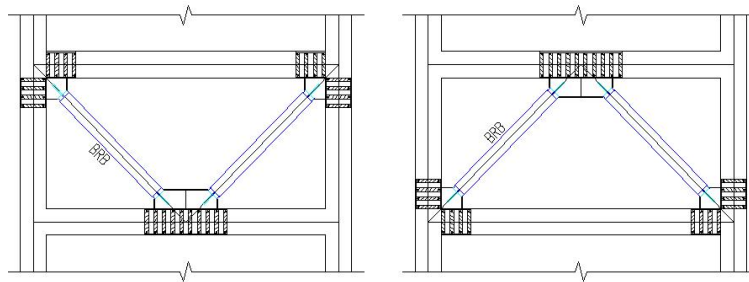


图1 混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

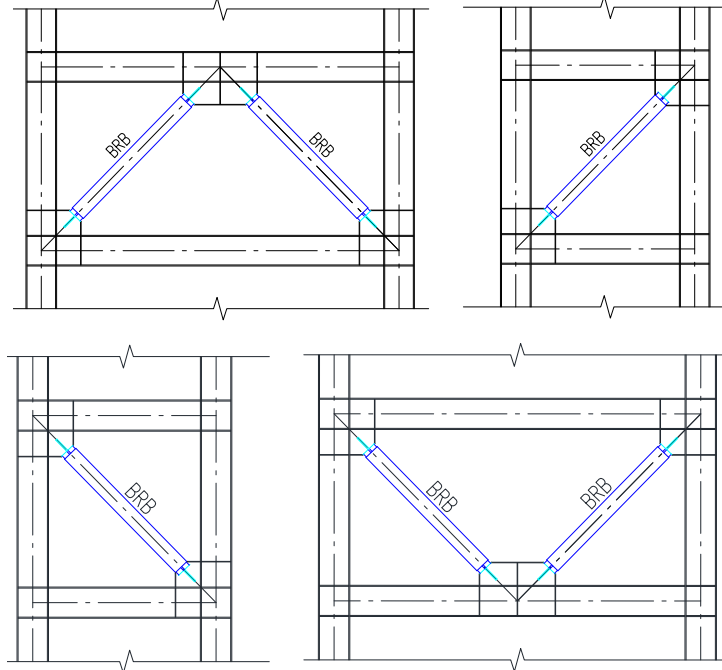
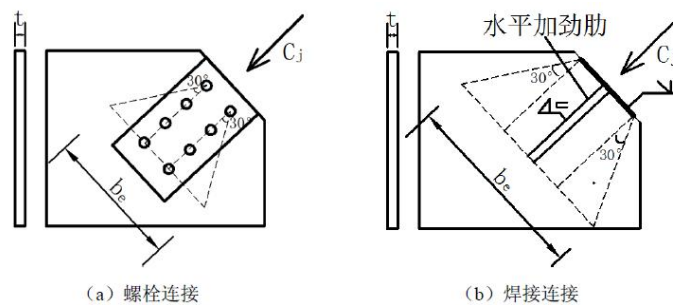


图2 钢构件与屈曲约束支撑连接示意

9.3.7 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》GB50010和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145-2004的要求。

9.3.8 节点板应具有足够的强度，在屈曲约束支撑达到极限承载力之前，节点板不应进入屈服。



(a) 螺栓连接

(b) 焊接连接

9.4 金属屈服型阻尼器和摩擦阻尼器

9.4.1 剪切型软钢阻尼器和弯曲线型软钢阻尼器与主体的连接方式，可尽量结合建筑隔墙位置放置，通常采用支撑式和墙式连接，支撑式可根据平面交通的需要采用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，且不要求布置在跨中位置，一般不会对建筑的使用功能及外立面产生影响。

9.4.2 采用墙式连接时，与阻尼器连接的锚板和锚筋预埋在悬臂墙中，阻尼器与预埋板之间通过焊接连接或螺栓连接。

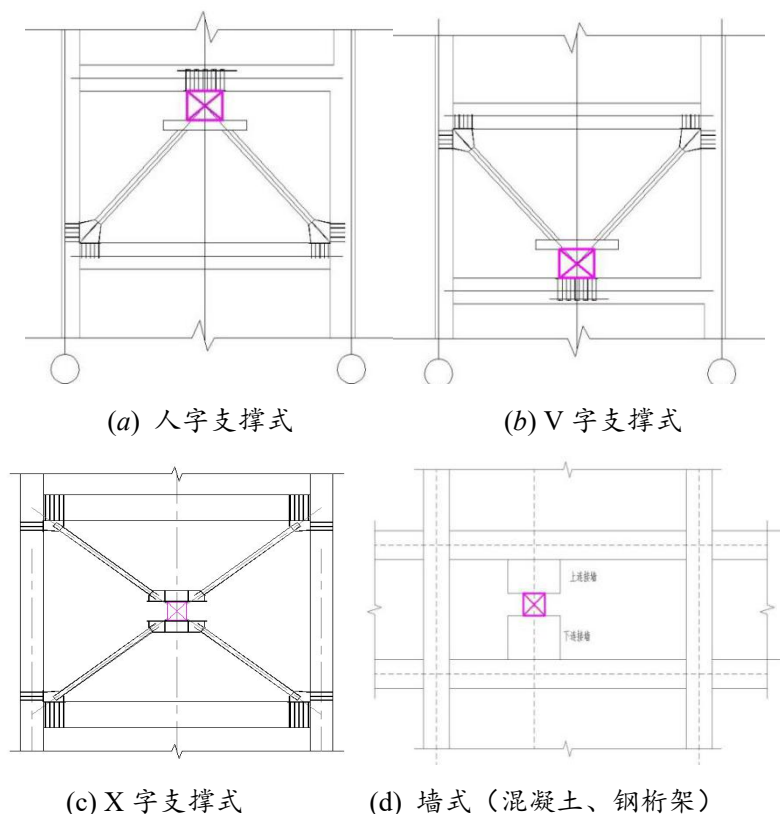
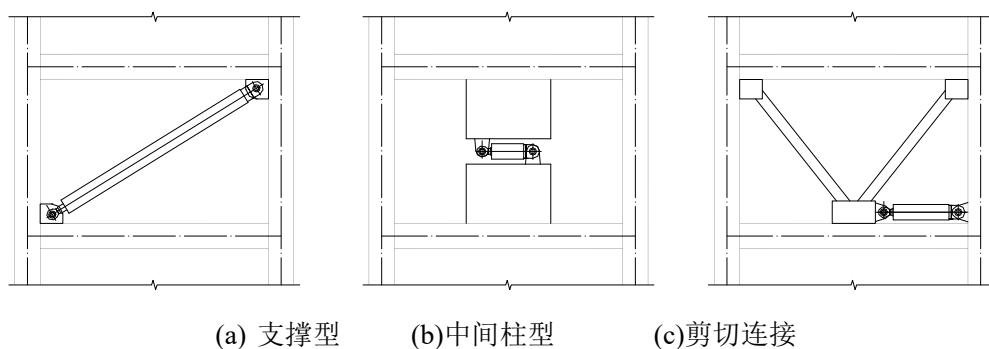


图3 阻尼器布置型式

9.5 黏滞阻尼器

9.5.1 黏滞阻尼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，其不提供结构刚度，宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。9.5.2 黏滞阻尼器尤其内部黏滞流体介质的原因，应作为保温隔热，一般不应放在外墙位置，确实需要时应采取特别措施。

9.5.3 墙式可根据需要设置混凝土墙式和钢桁架墙式连接，也可根据建筑平面的特点调整位置，且不要求布置在跨中位置。



10 消能部件的施工与验收

10.1 一般规定

10.1.1 消能阻尼器应作为上部主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和验收。并符合以下规定：

- 1) 分项工程可按消能阻尼器产品类别、消能阻尼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。

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。

10.1.2 消能阻尼器施工前，应由建设单位组织设计、施工、监理等单位相关人员对设计文件进行技术交底和图纸会审。

10.1.3 消能减震结构施工前，施工单位应根据设计文件和项目实际情况，编制专项施工方案，报监理（建设）单位审批。

10.1.4 消能阻尼器产品本体安装宜在主体结构工程封顶后进行。

10.2 消能部件进场验收

10.2.1 消能阻尼器进场时，应提供产品型式检验报告和出厂检验报告。安装前提供见证检验报告。消能阻尼器的类型、规格、尺寸和性能参数，应满足设计文件和现行标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 的要求。

10.2.2 消能阻尼器和预埋件所用钢材、焊接材料、紧固件、涂料、油、黏滞材料、摩擦材料、弹性材料等各类材料应有产品质量证明文件，并符合设计文件要求。

10.2.3 消能阻尼器进场时应进行外观质量检查，检查内容和质量应符合下表。

表 36 阻尼器外观质量要求

项目	阻尼器类型	质量要求	
外观质量	黏滞阻尼器	表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无渗漏，标记清晰	
	金属屈服型阻尼器	表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺，标记清晰。阻尼器连接部位宜采用螺栓连接或焊接。	
	屈曲约束支撑阻尼器	表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺，标记清晰。	
	黏弹阻尼器	钢板平整、无锈蚀、无毛刺，标记清晰，钢板坡口焊接。 黏弹阻尼材料表面密实，相对平整	
	摩擦阻尼器	标记清晰、表面平整、无机械外伤，外表有防锈措施且涂层均匀	
几何尺寸	黏滞阻尼器	长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
		截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
	金属屈服型阻尼器	截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
		摩擦阻尼器	长度
	屈曲约束支撑阻尼器	截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
		支撑长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
		支撑侧弯矢量	$L/1000$ ，且 $\leq 10\text{mm}$
		支撑扭曲	$h(d)/250$ 且 $\leq 5\text{mm}$
	黏弹阻尼器	长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
		截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$

注：L—支撑长度。h—支撑高度。d—支撑外径。

检查数量：100%全数检查。

检查方法：目测、钢尺、游标卡尺检查。

10.2.4 阻尼器的高强度螺栓连接应进行专项检验，并应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 的要求。

检查数量：全数的 80%

检查方法：检查检测报告。

10.2.5 见证检验抽检数量规定：见证检验抽检数量满足设计要求。当设计无要求时，抽检数量为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。抽样方式为随机抽样。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%且不少于 1 件。

10.2.6 消能阻尼器、连接板、预埋件应按规格分开堆放整齐，并做好防晒、防雨措施，消能阻尼器不宜采用露天堆放。

10.3 施工安装

10.3.1 消能阻尼器的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能阻尼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》GB50204、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 的规定。

10.3.2 消能阻尼器施工安装宜划分为消能阻尼器及配件进场验收、消能阻尼器安装、消能阻尼器验收及消能阻尼器防护等四个阶段。

10.3.3 消能阻尼器施工安装顺序宜符合如下规定：

- 1) 划分主体结构施工流水段。
- 2) 结合主体结构施工流水段确定消能阻尼器的施工顺序。
- 3) 结合主体结构传力体系及消能阻尼器平面的布置，确定同一部位各消能部件的安装顺序。

10.3.4 对于钢结构，可先将消能阻尼器连接板与主体结构构件进行连接固定，阻尼器本体进行后装，也可将消能阻尼器与主体结构构件进行平行安装。

10.3.5 对于现浇混凝土结构，应根据阻尼器类型及阻尼器与主体结构或主体结构子结构的连接方式特点制定适合的安装顺序和安装方案。

10.3.6 阻尼器现场卸货和垂直、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。

10.3.7 现浇混凝土结构中，阻尼器预埋件安装完成后应进行隐蔽验收，合格后方可进入下道工序施工。

10.3.8 消能阻尼器安装应符合下列要求：

- 1) 安装前应打磨、清理预埋件表面的砂浆和其余杂物。

- 2) 测量、复核安装位置的相关尺寸及轴线、标高、水平度、垂直度等指标。
- 3) 制定现场水平、垂直运输和吊装方案, 保证阻尼器安装安全、平稳。
- 4) 焊工应持证上岗并在其允许范围内施焊。
- 5) 正式焊接前应进行试焊接, 检查试焊接的焊接质量, 合格后方可正式焊接。
- 6) 阻尼器安装时应核对阻尼器及连接板的规格、型号、安装位置是否符合设计图纸, 避免安装错误。
- 7) 阻尼器和连接板连接方式应符合设计要求, 安装质量应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661、《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》GB50205、《建筑消能减震技术规程》JGJ297 的规定。

10.4 分项工程验收

10.4.1 检验批验收应符合如下规定:

- 1) 主控项目质量抽样检验应 100% 验收合格。
- 2) 一般项目质量抽样检验合格率不应低于 80%, 其最大偏差不得超过允许偏差的 20%。且不得有严重质量缺陷。
- 3) 有完整的施工操作依据和质量检查、验收记录。
- 4) 由专业监理工程师组织施工单位项目专业质量负责人、班组长进行。

10.4.2 分项工程验收应符合如下规定:

- 1) 所含检验批应全部验收合格。
- 2) 所含检验批的质量验收记录应完整。
- 3) 由专业监理工程师组织施工单位项目技术负责人、质量负责人、班组长进行。
- 4) 外观质量由现场验收人员通过现场检查共同确认。

10.4.3 隐蔽验收应符合如下规定:

- 1) 隐蔽工程验收前, 由相关单位组织进行, 合格后方可进行隐蔽。
- 2) 隐蔽验收应检查规格、型号、轴线、标高、水平度, 符合要求后方可隐蔽。

10.4.4 阻尼器安装验收项目

I 主控项目

1) 阻尼器的种类、规格、型号、数量、位置、性能应符合《减震消能阻尼器》JGT209 相关规定和设计要求。

检查数量: 全数检查。

检查方法: 检查阻尼器制造厂合法性证明文件、型式检验报告、出厂合格证、第三方检验报告。

2) 焊条、焊丝、焊剂、电渣焊熔嘴等焊接材料与母材的匹配应符合设计要求及国家现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ81 的规定。焊条、焊剂、药芯焊丝、熔嘴等在使用前, 应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行烘焙和存放。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查质量证明书和烘焙记录。

3) 焊工必须经考试合格并取得合格证书。持证焊工必须在其考试合格项目及其认可范围内施焊。

检查数量:全数检查。

检查方法:焊工合格证及其认可范围、有效期。

4) 阻尼器安装连接部位的焊缝质量应满足设计要求, 并应进行见证检验。当设计文件无要求时, 焊缝等级不应低于二级。检测质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

检查数量:一级焊缝全数检查;二级焊缝检查全数的 20%。

检验方法:检查超声波或射线探伤见证试验报告。

5) 设计要求全焊透的一、二级焊缝应采用超声波探伤进行内部缺陷的检验, 超声波探伤不能对缺陷作出判断时, 应采用射线探伤, 其内部缺陷分级及探伤方法应符合现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级法》GB11345 或《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》GB3323 的规定。

检查数量:全数检查。

检验方法:检查超声波或射线探伤记录。

6) 焊缝表面不得有裂纹、焊瘤等缺陷。一级、二级焊缝不得有表面气孔、夹渣、弧坑裂纹、电弧擦伤等缺陷。且一级焊缝不得有咬边、未焊满、根部收缩等缺陷。

检查数量:每批同类构件抽查 10%, 且不应少于 3 件;被抽查构件中,每一类型焊缝按条数抽查 5%, 且不应少于 1 条;每条检查 1 处,总抽查数不应少于 10 处。

检验方法:观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查,当存在疑义时,采用渗透或磁粉探伤检查。

7) 高强度大六角头螺栓连接副终拧完成 1h 后、48h 内应进行终拧扭矩检查, 扭矩应符合设计要求, 当设计无要求时, 应符合检查方法的要求。

检查数量:按节点数抽查 10%, 且不应少于 10 个;每个被抽查节点按螺栓数抽查 10%, 且不应少于 2 个。

检查方法:

高强度螺栓连接副扭矩检验含初拧、复拧、终拧扭矩的现场无损检验。检验所用的扭矩扳手其扭矩精度误差应不大于 3%。

高强度螺栓连接副扭矩检验分扭矩法检验和转角法检验两种,原则上检验法与施工法应相同。扭矩检验应在施拧 1h 后, 48h 内完成。

1 扭矩法检验。

检验方法:在螺尾端头和螺母相对位置划线,将螺母退回 60°左右,用扭矩扳手测定拧回至原来位置时的扭矩值。该扭矩值与施工扭矩值的偏差在 10%以内为合格。

高强度螺栓连接副终拧扭矩值按下式计算

$$T_c = K \cdot P_c \cdot d$$

式中 T_c —终拧扭矩值(N·m);

P_c —施工预拉力值标准值(kN), 见下表 37;

d—螺栓公称直径(mm);

K—扭矩系数, 试验确定。

表 37 高强度螺栓连接副施工预拉力标准值(kN)

螺栓的性能等级	螺栓公称直径 (mm)					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8s	75	120	150	170	225	275
10.9s	110	170	210	250	320	390

连接副扭矩系数的复验应将螺栓穿入轴力计, 在测出螺栓预拉力 P 的同时, 应测定施加于螺母上的施拧扭矩值 T, 并按下式计算扭矩系数 K。

$$K = T / P \cdot d$$

P: 螺栓预拉力(kN)。

进行连接副扭矩系数试验时, 螺栓预拉力值应符合表 38 的规定。

表 38 螺栓预拉力值范围(kN)

螺栓规格 (mm)	M16		M20	M22	M24	M27	M30
预拉力值 P	8.8s	62~78	100~120	125~150	140~170	185~225	230~275
	10.9s	93~113	142~177	175~215	206~250	265~324	325~390

高强度大六角头螺栓连接副初拧扭矩值 T_0 可按 $0.5T_c$ 取值。扭剪型高强度螺栓连接副初拧扭矩值 T_0 可按下式计算:

$$T_0 = 0.065 P_c \cdot d$$

式中 T_0 —初拧扭矩值(N·m);

P_c —施工预拉力标准值(kN);

d—螺栓公称直径(mm)。

2 转角法检验。

检验方法:检查初拧后在螺母与相对位置所画的终拧起始线和终止线所夹的角度是否达到规定值。在螺尾端头和螺母相对位置画线, 然后全部卸松螺母, 在按规定的初拧扭矩和终拧角度重新拧紧螺栓, 观察与原画线是否重合。终拧转角偏差在 10° 以内为合格。

终拧转角与螺栓的直径、长度等因素有关, 应由试验确定。

II 一般项目

1) 二级、三级焊缝外观质量标准应符合本规范表 39 的规定。三级对接焊缝应按二级焊缝标准进行外观质量检验。

检查数量:每批同类构件抽查 10%, 且不应少于 3 件; 被抽查构件中, 每一类型焊缝按条数抽查 5%, 且不应少于 1 条; 每条检查 1 处, 总抽查数不应少于 10 处。

检验方法:观察检查或使用放大镜、焊缝量规和钢尺检查。

表 39 二级、三级焊缝外观质量标准(mm)

项目	允许偏差	
	二级	三级
未焊满 (指不满足设计要求)	$\leq 0.2 + 0.02t$, 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$, 且 ≤ 2.0
根部收缩	$\leq 0.2 + 0.02t$, 且 ≤ 1.0	$\leq 0.2 + 0.04t$, 且 ≤ 2.0

	长度不限	
咬边	$\leq 0.05t$, 且 ≤ 0.5 ; 连续长度 ≤ 100.0 , 且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	$\leq 0.1t$ 且 ≤ 1.0 , 长度不限
弧坑裂纹	—	允许存在个别长度 ≤ 5.0 的弧坑裂纹
电弧擦伤	—	允许存在个别电弧擦伤
接头不良	缺口深度 $0.05t$, 且 ≤ 0.5	缺口深度 $0.1t$, 且 ≤ 1.0
	每 1000.0 焊缝不应超过 1 处	
表面夹渣	—	深 $\leq 0.2t$ 长 $\leq 0.5t$, 且 ≤ 20.0
表面气孔	—	每 50.0 焊缝长度内允许直径 $\leq 0.4t$, 且 ≤ 3.0 的气孔 2 个, 孔距 ≥ 6 倍孔径

注: 表内 t 为连接处较薄的板厚。

2) 焊缝尺寸允许偏差应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205。

检查数量: 每批同类构件抽查 10%, 且不应少于 3 件; 被抽查构件中, 每种焊缝按条数各抽查 5%, 但不应少于 1 条; 每条检查 1 处, 总抽查数不应少于 10 处。

检验方法: 用焊缝量规检查。

3) 焊缝感观应达到: 外形均匀、成型较好, 焊道与焊道、焊道与基本金属间过渡较平滑, 焊渣和飞溅物基本清除干净。

检查数量: 每批同类构件抽查 10%, 且不应少于 3 件; 被抽查构件中, 每种焊缝按数量各抽查 5%, 总抽查处不应少于 5 处。

4) 高强度螺栓连接副的施拧顺序和初拧、复拧扭矩应符合设计要求和国家现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接的设计施工及验收规程》JGJ82 的规定。

检查数量: 全数检查资料。

检验方法: 检查扭矩扳手标定记录和螺栓施工记录。

5) 高强度螺栓连接副终拧后, 螺栓丝扣外露应为 2~3 扣, 其中允许有 10% 的螺栓丝扣外露 1 扣或 4 扣。

检查数量: 按节点数抽查 5%, 且不应少于 10 个。

检验方法: 观察检查。

6) 高强度螺栓应自由穿入螺栓孔。高强度螺栓孔不应采用气割扩孔, 扩孔数量应征得设计同意, 扩孔后的孔径不应超过 $1.2d$ (d 为螺栓直径)。

检查数量: 被扩螺栓孔全数检查。

检验方法: 观察检查及用卡尺检查。

7) 阻尼器安装位置允许偏差和检验方法应符合下表规定:

表 40 安装位置允许偏差和检验方法

项目		允许偏差 (mm)	检查数量	检查方法
轴线	混凝土结构	≤ 5	全数检查	经纬仪、钢尺测量
	钢结构	≤ 2		
标高	混凝土结构	≤ 5		水平仪、钢尺测量
	钢结构	≤ 2		
净高和净宽	混凝土结构	4~8		测距仪、钢尺测量
	钢结构	≤ 2		
水平度		$\leq 3\%$		水平仪、塞尺测量
垂直度		$\leq 3\%$		

8) 阻尼器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，卡尺测量，检查施工记录。

9) 构件表面不应误涂、漏涂，涂层不应脱皮和返锈等。涂层应均匀、无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。涂装完成后，构件的标记、标记和编号应清晰完整。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查。

10.5 子分部工程验收

10.5.1 阻尼器子分部验收应提供如下资料：

- 1、产品及配件供货企业的合法性证明文件。
- 2、产品及配件出厂合格证和质量证明文件。
- 3、阻尼器型式检验报告。
- 4、阻尼器第三方检测报告。
- 5、子分部工程所含的分项工程质量验收记录。
- 6、分项工程所含的检验批质量验收记录。
- 7、隐蔽工程检查验收记录。
- 8、焊条、焊丝质量证明文件。
- 9、高强螺栓的复检报告、扭矩施工记录。
- 10、焊缝探伤检测报告。
- 11、焊工上岗证。
- 12、其他有关文件和记录。

10.5.2 阻尼器子分部工程应由总监理工程师组织验收，设计、监理、施工、建设、产品供货单位相关人员参加。

10.5.3 阻尼器子分部工程质量合格标准如下：

- 1) 所含分项工程、检验批均应合格，符合相关质量验收标准要求。
- 2) 质量控制资料 and 文件应完整。
- 3) 有安全及功能的检验和见证检测报告。
- 4) 有关观感质量应符合本规范相关质量要求。

11 维护

11.1 维护要求

11.1 阻尼器竣工验收前，应提交由阻尼器厂家、施工单位共同编写的使用维护手册；阻尼器使用维护分为常规检查、定期检查、应急检查。

11.2 常规检查应至少每半年进行一次，检查单位为建筑使用单位，检查方式为目测。

11.3 定期检查应为竣工后的 3 年、5 年、10 年，10 年以后每 10 年进行一次。遭遇火灾、地震、强风等灾害后应进行应急检查。定期检查和应急检查宜由专业人员进行。

11.4 检查项目如下表：

表 41 检查项目

检查内容		检查项目	检查方法
粘滞阻尼器	漏油、阻尼材料泄露、弯曲、变形	消能阻尼器本体	目测
金属屈服型阻尼器	弯曲、损伤、变形		
屈曲约束支撑	弯曲、扭曲、开裂、芯材外露		
黏弹阻尼器	黏弹材料老化、龟裂、弯曲、变形		
摩擦阻尼器	弯曲、变形、摩擦面锈蚀		
螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂		连接部位	
阻碍阻尼器变形的障碍物		周围	
油漆脱落、老化、开裂、起皮现象，焊缝漏刷		防锈、防腐	

11.2 维护责任

10.2.1 减震建筑工程竣工验收前，施工单位应向减震建筑的所有者或管理者，提交由其会同消能器生产厂家、设计等单位编写的使用维护手册及维护管理计划，确保减震装置正常发挥功能。

10.2.2 减震建筑的所有者或管理者，除对建筑常规维护项目进行检验、检查外，应对减震建筑物特有的项目进行检验、检查。

10.2.3 当实施相关维护检查时，必要时设计单位应协同检查。

10.2.4 减震建筑应设置标识，标明减震建筑使用及维护注意事项。

12 附表

表 12.1 阻尼器外观及尺寸进场检查记录

阻尼器外观及尺寸进场检查记录			资料编号																			
工程名称																						
阻尼器型号			供货厂家																			
阻尼器数量			检查数量		进场日期																	
验收标准																						
序号	阻尼器类型	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 (mm)	产品设计值±3.0 mm																			
3	通用	截面有效尺寸 (mm)	产品设计值±2.0 mm																			
4	支撑型或支撑	支撑长度 (mm)	产品设计值±3.0 mm																			
5	支撑型或支撑	支撑侧弯矢量 (mm)	$L/1000$, 且 $\leq 10\text{mm}$ (L—支撑长度)																			
6	支撑型或支撑	支撑扭曲 (mm)	$h(d)/250$, 且 $\leq 5\text{mm}$ (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	
----------	--	---------	--

表 12.2 阻尼器安装工程检验批质量验收记录表

单位（子单位）工程名称		分部（子分部）工程名称		分项工程名称		
施工单位		项目负责人		检验批容量		
分包单位		分包单位项目负责人		检验批部位		
施工依据		验收依据				
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	最小/实际抽样数量	检查记录	检查结果
	1	阻尼器规格、型号、数量、安装位置、性能			全/全	
2	焊接材料的匹配、烘焙及存放			全/全		
3	焊工合格证			全/全		
4	阻尼器安装连接部位焊缝质量			全/全		
5	一、二级焊缝检查			全/全		
6	焊缝缺陷			全/全		
7	高强螺栓安装扭矩检查			全/全		
一般项目	1	焊缝外观质量检查		3/		
	2	焊缝尺寸允许偏差		3月3日		
	3	焊缝感观检查		/		
	4	高强度螺栓拧紧检查		/		
	5	高强度螺栓拧紧后外露丝扣检查		5月5日		
	6	高强度螺栓扩孔检查		全/全		
	7	消能阻尼器安装位置允许偏差检查		全/全		
	8	阻尼器采用销栓或球铰连接时的安装间隙		全/全		
	9	阻尼器防护检查		全/全		
施工单位检查结果			专业工长：	项目专业质量检查员：	年 月 日	
专业监理工程师：			年 月 日			

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