

ICS xx.xxx.xx

CCS Pxx

DB21

辽宁省地方标准

DB21/TXXXX-2025

JXXXXX-2025

建筑消能减震应用技术规程

(征求意见稿)

Application Technical Specification for
Seismic Energy Dissipation of Buildings

2025-××-××发布

2025-××-××实施

辽宁省住房和城乡建设厅
辽宁省市场监督管理局

联合发布

辽宁省地方标准

建筑消能减震应用技术规程

Application technical specification for
seismic energy dissipation of buildings

征求意见稿

2025 年 08 月

前 言

根据辽宁省住房和城乡建设厅《关于印发2022年度辽宁省工程建设地方标准制修订计划的通知》（辽住建科〔2022〕11号）的要求，由中国建筑东北设计研究院有限公司等单位对辽宁省工程建设标准《建筑消能减震应用技术规程》进行编制。

本规程是在总结近年国内外消能减震技术工程应用和最新科研成果基础上，贯彻落实《建设工程抗震管理条例》，广泛征求业内人员意见，并结合现行国家标准、行业标准等编制而成。

本规程主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、消能减震结构设计、消能部件与结构的连接构造、消能器的技术性能、消能部件的施工、验收和维护。

本规程由辽宁省住房和城乡建设厅负责管理，由中国建筑东北设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在征询意见过程中，如有意见或建议，请寄送中国建筑东北设计研究院有限公司（地址：沈阳市和平区文化路2甲号，邮政编码：110000）。

本规程主编单位：中国建筑东北设计研究院有限公司

本规程参编单位：同济大学

广州大学

辽宁省建筑设计研究院有限责任公司

本规程主要起草人员： 吴一红 高 嵩 胜 利 孙飞飞 张 超 孙 强

本规程主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	4
3	基本规定	6
3.1	一般要求	6
3.2	地震作用	7
3.3	结构分析	8
3.4	结构性能目标	9
3.5	层间变形和楼面水平加速度	11
3.6	耐久性规定	12
3.7	场地、地基和基础	13
4	消能减震结构设计	14
4.1	一般规定	14
4.2	消能部件布置原则	14
4.3	消能部件设计及附加阻尼比计算	15
4.4	主体结构设计	19
4.5	消能子结构设计	21
4.6	抗震构造措施	24
5	消能部件与结构的连接构造	26
5.1	一般规定	26
5.2	连接形式	27
5.3	连接元件与节点板	29
5.4	预埋件	30
5.5	支撑和支墩、剪力墙	32
6	消能器的技术性能	34
6.1	一般规定	34
6.2	金属屈服型消能器	36
6.3	屈曲约束支撑	38
6.4	摩擦消能器	40
6.5	黏滞消能器	42

6.6	黏弹性消能器	45
6.7	复合型消能器	48
6.8	产品检验与力学性能参数确定	48
7	消能部件的施工、验收和维护	51
7.1	一般规定	51
7.2	消能部件进场验收	51
7.3	消能部件的施工安装顺序	52
7.4	施工测量和消能部件的安装、校正	53
7.5	消能部件安装的焊接和紧固件连接	53
7.6	施工安全和施工质量验收	54
7.7	维护	55
附录A	混凝土框架-屈曲约束支撑结构	57
A.1	一般规定	57
A.2	结构设计	58
A.3	屈曲约束支撑的布置要求	60
附录B	建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的性能要求	63
B.1	一般规定	63
B.2	建筑非结构构件的性能要求	64
B.3	建筑附属机电设备和功能性仪器设备的性能要求	65
附录C	位移敏感型建筑非结构构件	66
附录D	加速度敏感型建筑非结构构件	68
附录E	抗震性能化设计评价准则	69
附录F	不同地震水准作用下结构设计参数	72
附录G	金属屈服型消能器与屈曲约束支撑性能参数取值	73
附录H	摩擦消能器性能参数取值方式	75
附录 J	消能器检验项目要求	77

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirements	6
3.1	General Requirements	6
3.2	Earthquake Action	7
3.3	Structural Analysis	8
3.4	Structural Performance Objectives	9
3.5	Floor Deformation and Floor Horizontal Acceleration	11
3.6	Durability Requirements	12
3.7	Site, Soils and Foundation	13
4	Design of Energy Dissipation Structure	14
4.1	General Requirements	14
4.2	Distribution Principle of Energy Dissipation Devices	14
4.3	Design of Energy Dissipation Parts and Additional Damping Ratio	15
4.4	Design of Main Structure	19
4.5	Design of Energy Dissipation Substructure	21
4.6	Details for Structures	24
5	Connecting Details of Energy Dissipation Parts	26
5.1	General Requirements	26
5.2	Connecting Form	27
5.3	Calculation of Connecting Elements and Gusset Plates	29
5.4	Calculation of Embedded Parts	30
5.5	Calculation of Brace and Pier, Shearwall	32
6	Technical Characteristics of Energy Dissipation Devices	34
6.1	General Requirements	34
6.2	Metal Yielding Energy Dissipation Devices	36
6.3	Buckling-Restrained Braces	38
6.4	Friction Energy Dissipation Devices	40
6.5	Viscous Energy Dissipation Devices	42
6.6	Viscoelastic Energy Dissipation Devices	45
6.7	Composite Energy Dissipation Devices	48
6.8	Test and Determination of Performance Parameters of Energy Dissipation Devices	48
7	Construction, Quality Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Parts	51
7.1	General Requirements	51
7.2	Site Acceptance of Energy Dissipation Parts	51
7.3	Installation Sequence of Energy Dissipation Parts	52

7.4	Construction Survey, Installation and Correction of Energy Dissipation Parts	53
7.5	Weld and fasten Connection for Energy Dissipation Parts	53
7.6	Construction Safety and Acceptance of Construction Quality	54
7.7	Maintenance of Energy Dissipation Parts	55
Appendix A	Reinforced Concrete Frame Structures with Buckling-Restrained Braces	57
A.1	General Requirements	57
A.2	Structural Analysis	58
A.3	Distribution Principle of Buckling-Restrained Braces	60
Appendix B	Performance Requirements of Architectural Non-Structural Members, Architectural attached Mechanical and Electrical Equipment, Functional Equipment Facilities	63
B.1	General Requirements	63
B.2	Performance Requirements of Architectural Non-Structural Members	64
B.3	Performance Requirements of Architectural attached Mechanical and Electrical Equipments, Functional Equipment Facilities	65
Appendix C	Requirements of Displacement Sensitive Architectural Non-Structural Members	66
Appendix D	Requirements of Acceleration Sensitive Architectural Non-Structural Members	68
Appendix E	Performance-Based Seismic Design Evaluation Criteria	69
Appendix F	Elastic or Equivalent Elastic Method of Components Load-Bearing Verification	72
Appendix G	Performance Parameters of Metal Yielding Energy Dissipation Devices and Buckling-Restrained Braces	73
Appendix H	Performance Parameters of Friction Energy Dissipation Devices	75
Appendix J	Items of Energy Dissipation Device Test	77

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家有关建筑工程防震减灾的法律法规，提高辽宁省建设工程抗震防灾能力，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 本规程适用于辽宁省抗震设防烈度为6~8度地区新建建筑结构的消能减震设计、施工、检验、验收和维护。

1.0.3 按本规程设计与施工的消能减震结构，其抗震设防目标如下：

基于设防地震时保持正常使用功能I类、II类建筑的抗震设防目标：当遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时，建筑能够满足正常使用要求，消能部件正常工作，主体结构基本不受损坏可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防的罕遇地震时，消能部件应发挥最大消能功能，主体结构可能发生损坏，I类建筑经简单修复可继续使用，II类建筑经适度修复后可继续使用。

基于多遇地震时保持正常使用功能III类建筑的抗震设防目标：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。

1.0.4 消能减震结构设计、施工、检验、验收和维护，除应符合本规程要求外，尚应符合国家及辽宁省现行相关标准的有关规定。

2 术语和符号

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。位移相关型消能器主要有金属屈服型消能器、屈曲约束支撑（BRB）和摩擦消能器等。速度相关型消能器有黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3 位移相关型消能器 displacement dependent 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。

2.1.4 速度相关型消能器 velocity dependent energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.5 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.6 金属屈服型消能器 metal yielding device (MYD)

由各种不同金属材料（软钢、铅等）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。

2.1.7 摩擦消能器 friction energy dissipation device (FRD)

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。

2.1.8 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace (BRB)

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。

2.1.9 耗能型屈曲约束支撑 energy-dissipated buckling-restrained brace

可以提高结构的抗侧刚度和水平承载能力，作为结构的主要耗能构件使用，先于主体结构构件屈服。不作为承受结构竖向荷载构件使用的屈曲约束支撑。

2.1.10 承载型屈曲约束支撑 bearing buckling-restrained brace

可以提高结构的抗侧刚度和水平承载能力，作为结构主要受力构件使用，先于主体结构构件屈服，屈服后具备一定耗能能力的屈曲约束支撑。

2.1.11 黏滞消能器 viscous energy dissipation device

利用黏滞材料运动时产生黏滞阻尼耗散能量的减震装置。包括黏滞阻尼器、黏滞阻尼墙。

2.1.12 黏滞阻尼器 viscous fluid damper (VFD)

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。

2.1.13 黏滞阻尼墙 viscous damping wall (viscous fluid wall VFW)

以黏滞流体为阻尼介质的速度相关型减震（振）装置，一般由墙形状的非封闭金属箱型容器、活动板块及黏滞流体介质等部分组成，利用板块在黏滞介质中运动，产生与活动板块速度相关的阻尼力，耗散地震输入结构中能量的减震（振）装置，其阻尼力与板块运动速度一般呈非线性关系。

2.1.14 黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device (viscoelastic damper VED)

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。

2.1.15 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。

2.1.16 消能子结构 energy dissipation substructure

消能子结构是与消能部件直接相连的主体结构构件的集合。

2.1.17 消能减震层 energy dissipation layer

布置消能部件的楼层。

2.1.18 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。

2.1.19 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。

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

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.22 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最大位移值。

2.1.23 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最大速度值。

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

金属屈服型消能器、屈曲约束支撑承载力与消能器两端相对位移滞回曲线中，屈服后刚度与初始刚度的比值。

2.1.25 设计延性系数 design ductility factor of MYD or BRB

金属消能器或屈曲约束支撑的设计位移与屈服位移的比值，用 μ_d 表示。

2.2 符 号

2.2.1 结构参数

F_{sy} —— 设置消能部件的主体结构层间屈服剪力；

K_t —— 结构抗扭刚度；

T_i —— 消能减震结构的第 i 阶振型周期；

ξ —— 消能减震结构总阻尼比；

ξ_1 —— 主体结构阻尼比；

ω —— 结构自振频率；

Δu_{py} —— 消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} —— 设置消部件的主体结构层间屈服位移。

2.2.2 消能器参数

C_D —— 消能器的线性阻尼系数；

C_j —— 第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；

F_d —— 消能器在相应位移或相应速度下的阻尼力；

G' —— 黏弹性材料剪切模量；

G'' —— 黏弹性材料储存模量；

K_b —— 支撑构件沿消能方向的刚度；

t_V —— 黏弹性消能器的黏弹性材料的总厚度；

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；

$[\gamma]$ —— 黏弹性材料允许的最大剪切应变；

ξ_d —— 消能部件附加给结构的有效阻尼比；

Δu_{dmax} —— 沿消能方向消能器最大可能的位移；

Δu —— 沿消能方向消能器的位移；

D_d —— 消能器设计位移。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 消能减震建筑应根据地震时保持正常使用功能的要求不同，按照表3.1.1进行分类。

表 3.1.1 消能减震建筑分类

分类	建 筑
I 类	基于设防地震时保持正常使用功能的应急指挥中心建筑、 医院主要建筑、应急避难场所建筑、广播电视建筑等
II 类	基于设防地震时保持正常使用功能的学校建筑、幼儿园建筑、 医院附属用房、养老机构建筑、儿童福利机构建筑等
III 类	基于多遇地震时保持正常使用功能的采用减震技术建筑

3.1.2 消能减震结构的适用高度，应符合现行国家标准相关规定。当主体结构高度超过相关规定时，应进行专项研究。混凝土框架-屈曲约束支撑结构适用高度及结构设计要求参考附录A。

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，分别选定针对整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。

3.1.4 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、建筑使用要求、安装方便、结构控制参数等因素，根据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。

3.1.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备应满足附录B。有特殊要求时应采取专门技术措施。

3.2 地震作用

3.2.1 消能减震结构的地震作用和作用效应组合，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的相关规定。

3.2.2 消能减震结构的地震作用，应符合下列规定：

1 应在消能减震结构的各个主轴方向分别计算水平地震作用并进行抗震验算，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 质量和刚度分布明显不对称的消能减震结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

4 8度的大跨度与长悬臂消能减震结构应计算竖向地震作用。

5 对处于发震断层两侧10km以内的结构，地震动参数应计入近场效应影响，5km以内宜乘以增大系数1.25，5km以外宜乘以不小于1.15的增大系数。重要建筑宜进行地震安全性评价。

3.2.3 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实际强震记录 and 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 $2/3$ ，且同一次地震不同测点或者同一台站的强震记录不应超过总数量的 $1/3$ 。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，其地震加速度时程的最大值可按表3.2.3采用。

表 3.2.3 时程分析用的地震加速度曲线的最大值 (cm/s^2)

设防烈度	6度 (0.05g)	7度 (0.10g)	7度 (0.15g)	8度 (0.20g)
多遇地震	18	35	55	70
设防地震	50	100	150	200
罕遇地震	125	220	310	400

3.3 结构分析

3.3.1 消能减震结构分析模型应正确地反映不同荷载工况的传递途径、在不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态。

3.3.2 消能减震结构应根据不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态选择合适的分析方法：

1 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法。

2 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于非线性工作状态时，可将消能器进行等效线性化，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法；也可采用弹塑性时程分析法。

3 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

3.3.3 消能减震结构阻尼比计算应符合下述要求：

1 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构固有阻尼比和消能器工作消能附加给主体结构的有效阻尼比的总和。

2 消能器附加给主体结构的有效阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态及不同水准地震作用分别确定。

3 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分别计算。当地震力作用主方向或者斜交抗侧力构件与结构主方向角度大于 15° 时，尚应补充计算相关角度的附加等效阻尼比。

3.3.4 消能减震结构的总刚度应为结构刚度和消能部件附加给结构的有效刚度之和。

3.3.5 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。消能器的恢复力模型宜按下列规定选取：

- 1 金属屈服型消能器和屈曲约束支撑可采用双线性模型、三线性模型、双线性等强硬化模型或Wen模型；
- 2 摩擦消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型；
- 3 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型；
- 4 黏弹性消能器可采用开尔文模型；
- 5 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联来具体确定。

消能器的恢复力模型参数宜通过足尺试验确定。设计文件中明确消能器所选用的恢复力模型，并描述滞回特性曲线相关参数。

3.3.6 大型、复杂消能减震结构在地震作用下的内力和变形分析，宜采用不少于两个不同软件进行对比分析。

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

3.4 结构性能目标

3.4.1 设防地震时保持正常使用功能的建筑，各类构件的抗震性能水准应满足表3.4.1-1和3.4.1-2的规定。

表 3.4.1-1 I 类建筑正常使用的抗震性能水准

构件类型	设防地震	罕遇地震
主结构构件	完好或基本完好	轻微或轻度损坏
子结构构件	完好	轻微损坏
减震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	轻度损坏

建筑附属机电设备	正常工作	轻度损坏
功能性仪器设备	正常工作	轻度损坏

表 3.4.1-2 II类建筑正常使用的抗震性能水准

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

注：1 正常工作，即减震部件、附属机电设备、功能性仪器设备正常运行，发挥设计预期的作用或功能。

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

3 位移敏感型建筑非结构构件可按附录C选用；加速度敏感型建筑非结构构件可按附录D选用。

3.4.2 结构构件根据功能、作用、位置及重要性等可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。结构构件应按照第4.4节、4.5节进行抗震承载力验算。

关键构件是指构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏，例如框支柱、转换柱、框支梁、转换梁等重要构件；

普通竖向构件是指关键构件之外的竖向构件；

重要水平构件是指关键构件之外不宜提早屈服的水平构件，包括对结构整体性有较大影响的水平构件，承受较大集中荷载的框架梁、承受较大集中荷载的抗震墙连梁，承受竖向地震的悬臂梁；

普通水平构件包括一般的框架梁、抗震墙连梁等。

消能子结构的框架梁宜定义为重要水平构件，消能子结构的框架柱宜定义为关键构件。

3.5 层间变形和楼面水平加速度

3.5.1 消能减震结构在地震作用下的结构变形验算，应满足下述规定。

1 I 类建筑的最大层间位移角限值应符合表3.5.1-1的规定。

表 3.5.1-1 I 类建筑的最大层间位移角限值

地震水平	设防地震	罕遇地震
钢筋混凝土框架、 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构	1/400	1/150
钢筋混凝土框架-抗震墙、 框架-核心筒结构	1/500	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、 筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/600	1/250
多层、高层钢结构	1/250	1/100

2 II 类建筑的最大层间位移角限值应符合表3.5.1-2的规定。

表 3.5.1-2 II 类建筑的最大层间位移角限值

地震水平	设防地震	罕遇地震
钢筋混凝土框架、 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构	1/300	1/100
钢筋混凝土框架-抗震墙、 框架-核心筒结构	1/400	1/150
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、 筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/500	1/200
多层、高层钢结构	1/200	1/80

3 III类建筑的最大层间位移角限值应符合表3.5.1-3的规定。

表 3.5.1-3 III类建筑的最大层间位移角限值

地震水平	多遇地震	罕遇地震
钢筋混凝土框架、 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构	1/550	1/50
钢筋混凝土框架-抗震墙、 框架-核心筒结构	1/800	1/100
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、 筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/1000	1/120
多层、高层钢结构	1/250	1/50

3.5.2 地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面绝对水平加速度限值宜符合表3.5.2的规定。当楼面水平加速度不满足本条的规定时，应对建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备采取专门措施并进行专门研究和论证。

表 3.5.2 地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面绝对水平加速度限值 (g)

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

3.6 耐久性规定

3.6.1 消能部件的混凝土部分耐久性应符合现行有关国家标准的规定。承受竖向荷载作用，或虽然不承受竖向荷载作用但显著提高结构抗侧刚度的消能部件，应按主体结构的要求进行防火处理。

3.6.2 当消能减震结构遭遇烈度6度及以上的地震作用、强（台）风或者火灾后，应对消能器进行检查和维护。设计文件应注明使用期间业主对产品定期检验要求。

3.7 场地、地基和基础

3.7.1 地震时保持正常使用功能建筑的场地宜选择对抗震有利地段，应避免不利地段；当无法避开时，应采取有效措施。

3.7.2 地面下存在饱和砂土或饱和粉土时，应进行液化判别；存在液化土层的地基，应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级，结合具体情况采取相应的措施。

3.7.3 地震时保持正常使用功能建筑的地基基础的设计和抗震验算，应满足本地区设防地震作用的要求。

3.7.4 地震时保持正常使用功能建筑地基基础的抗震构造措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定。

4 消能减震结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震结构设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002和《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定。

4.1.2 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。

4.2 消能部件布置原则

4.2.1 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 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近。

2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。

3 消能部件宜布置在层间相对位移或相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度的技术措施，提高消能器的减震效率。并应同时考虑整体弯曲的竖向变形与水平变形的相互影响。

4 可通过抗震墙的连接梁位置设置位移相关型消能部件，把抗震墙设计成双肢或多肢消能抗震墙。

5 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

6 消能部件与非结构构件之间应采用柔性连接，保证消能部件的有效变形空间。

7 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。外墙处的消能器宜设置在围护墙体内侧。

4.2.2 消能部件的布置数量应符合下列规定：

1 采用位移相关型消能器时，各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近，各楼层的消能部件水平剪力耗能与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积的弹性能的比值宜接近。

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

3 设置消能器的楼层，消能器数量不应少于4个。罕遇地震作用下，消能减震结构消能器附加阻尼比不宜低于1%。

4 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层屈服剪力的60%。

4.3 消能部件设计及附加阻尼比计算

4.3.1 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：

$$\Delta u_{py}/\Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad (4.3.1-1)$$

式中： Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移（m）；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移（m）。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax}/[\gamma] \quad (4.3.1-2)$$

式中：——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（m）；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移（m）；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

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

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad (4.3.1-3)$$

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）]；

$$C_D = \frac{2^{\alpha+2}}{\pi} \cdot \frac{\Gamma^2(1+\alpha/2)}{(1+\alpha)\Gamma(1+\alpha)} \cdot \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^{\alpha-1} \cdot U_0^{\alpha-1} C \quad (4.3.1-4)$$

T_1 ——消能减震结构的基本自振周期（s）；

U_0 ——阻尼器振幅（m）；

α ——速度相关型消能器的阻尼指数；

C ——速度相关型消能器的阻尼系数[kN/（m/s） $^\alpha$]；

Γ ——伽马函数。

$$\frac{u_{d0}}{u_0} = \frac{1}{\left[1 + \left(C\omega^\alpha / u_{d0}^{1-\alpha} K_b\right)^{1+\alpha}\right]^{1-0.5\alpha}} \geq 95\% \quad (4.3.1-5)$$

4.3.2 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采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采用如下方法计算：

方法一：

消能器提供的附加阻尼比可按下式计算。

$$\xi_d = \eta_1 \sum_{j=1}^n W_{cj} / (4\pi W_s) \quad (4.3.2-1)$$

式中： ξ_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 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）。

η_1 ——有效阻尼比折减系数，一般取0.80。

1) 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：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (4.3.2-2)$$

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

u_i ——质点*i*对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

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

$$W_{cj} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (4.3.2-3)$$

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。

3) 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按
下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{djmax} \Delta u_j \quad (4.3.2-4)$$

式中： λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表4.3.2取值；

F_{djmax} ——第*j*个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力（kN）。

表 4.3.2 λ_1 值

阻尼指数 α	λ_1 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 值可线性插值。

4) 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循环一周所消耗的能量，可按式计算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (4.3.2-5)$$

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 时的面积（kN·m）。应考虑消能部件刚度对实际有效位移的影响。

5) 采用振型分解反应谱法分析时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法计算。

6) 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 Δu_j 、质点 i 的水平地震作用标准值 F_i 、质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 u_i ，应采用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相关的规定。

方法二：

消能器提供的附加阻尼比可按式计算。

$$\xi_d = \xi_d(t)_{\max} = \eta_2 \left(\xi_0 \times \frac{E_d(t)}{E_c(t)} \right)_{\max} \quad (4.3.2-6)$$

式中： ξ_d ——消能减震主体结构的固有模态阻尼比；

$E_d(t)$ ——消能减震结构消能器累积耗能时程；

$E_c(t)$ ——消能减震主体结构固有模态阻尼累积耗能时程；

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

η_2 ——有效阻尼比折减系数，一般取0.90。

4.3.3 采用振型分解反应谱法和静力弹塑性分析时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比的迭代方法按方法一计算。采用能考虑消能器非线性特征的逐步积分法时，结构有效阻尼比可采用方法二计算。

4.3.4 采用静力弹塑性分析方法时，计算模型中消能器宜采用第6章给出的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器附加给结构的有效阻尼比，不能采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

4.3.5 消能减震结构在多遇、设防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。

4.4 主体结构设计

4.4.1 消能减震结构应结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。消能减震结构的抗震设计应符合下列规定：

1 采用基于设防地震时保持正常使用功能建筑设防目标时，结构应完成设防地震作用下的承载力设计和变形验算，罕遇地震作用下的损伤评价和变形验算。

2 采用基于多遇地震时保持正常使用功能建筑设防目标时，结构应完成多遇地震作用下的承载力设计和变形验算，罕遇地震作用下的变形验算。

4.4.2 多遇地震、设防地震和罕遇地震下的荷载分项系数、构件内力调整、承载力抗震调整系数等相关设计参数，可参考附录F执行。

4.4.3 采用弹性或等效弹性计算方法计算不同抗震性能水准下的抗震设计时，构

件的正截面和斜截面承载力设计可按下列公式进行：

1 多遇地震作用下，构件弹性承载力应符合式

(4.4.3-1)的规定。

$$\gamma_d S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (4.4.3-1)$$

式中： R ——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，取值应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011；

γ_d 、 γ_{Eh} 、 γ_{Ev} 、 γ_w ——分别为重力荷载、水平地震作用、竖向地震作用、风荷载分项系数，取值应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

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

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

S_w ——风荷载标准值的效应；

ψ_w ——风荷载组合值系数，应取0.2。

2 设防地震作用下，关键构件的弹性承载力应符合式

(4.4.3-2)的规定。

$$\gamma_d S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}^* + \gamma_{Ev} S_{Evk}^* \leq R / \gamma_{RE} \quad (4.4.3-2)$$

式中： S_{Ehk}^* ——水平地震作用标准值的效应，不考虑与抗震等级有关的增大系数；

S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的效应，不考虑与抗震等级有关的增大系数。

3 设防地震作用下，普通竖向混凝土构件及重要水平混凝土构件的弹性受剪承载力应符合式(4.4.3-2)的规定，正截面不屈服承载力应符合式(4.4.3-3)、式(4.4.3-4)的规定。普通竖向钢构件及重要水平钢构件的不屈服受剪承载力和弹性正截面承载力应符合式(4.4.3-3)、式(4.4.3-4)的规定。

$$S_{GE} + S_{Eh} + 0.4 S_{Ev} \leq R_k \quad (4.4.3-3)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Eh} + S_{Ev} \leq R_k \quad (4.4.3-4)$$

式中： R_k ——普通竖向构件及重要水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

4 设防地震作用下，普通水平混凝土构件的不屈服受剪承载力应符合式(4.4.3-3)、式(4.4.3-4)的规定，极限正截面承载力应符合式(4.4.3-5)、式(4.4.3-6)的规定。普通水平钢构件的极限受剪承载力应符合式(4.4.3-5)、式(4.4.3-6)的规定，不屈服正截面承载力应符合式(4.4.3-3)、式(4.4.3-4)的规定。

$$S_{GE} + S_{Eh} + 0.4S_{Ev} \leq R_k^* \quad (4.4.3-5)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Eh} + S_{Ev} \leq R_k^* \quad (4.4.3-6)$$

式中： R_k^* ——普通水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算，对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑将钢筋的强度标准值提高25%进行计算，对钢梁支座或节点边缘截面可考虑将钢材屈服强度标准值提高25%进行计算。

4.4.4 在罕遇地震下，主结构的损坏程度可采用抗震性能化设计评价标准来检验，损伤水准详见附录E。其宏观损坏程度I类建筑不应高于轻度损坏（水准3），II类建筑不应高于中度损坏（水准4）。

4.5 消能子结构设计

4.5.1 消能子结构的范围应按下述要求确定：

- 1 速度相关型阻尼器位于本跨内的框架梁、柱；
- 2 位移相关型阻尼器除了本跨内框架梁、柱外，尚应向下延续一层框架柱设定为消能子结构。

4.5.2 消能子结构的抗震承载力验算应符合下列规定：

- 1 子结构设计时，应考虑消能部件引起的柱、墙、梁的附加轴力、剪力、弯矩和扭矩作用。当子结构框架柱在垂直相交的两个平面内布置消能器时，应考虑双向地震作用下的受力。

2 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内、外弯曲的影响。

3 消能子结构中的混凝土梁、柱和墙最小抗剪截面验算应组合消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用。

4 I、II类建筑消能子结构在设防地震作用下,框架梁应按重要水平构件设计,竖向构件宜按关键水平构件设计,并应满足4.4.3条的相关规定;罕遇地震作用下的宏观损坏程度I类建筑不应高于轻微损坏(水准2),II类建筑不应高于轻度损坏(水准3)。

5 III类建筑消能子结构在多遇地震作用下应保持弹性,并应满足第4.4.3条的相关规定;在罕遇地震作用下不应先于消能器屈服,满足第4.5.4条规定的极限承载力要求,或者控制其宏观损坏等级不超过水准4(中度损坏),。

4.5.3 消能子结构罕遇地震作用下钢筋混凝土或型钢混凝土构件最小抗剪截面验算,并应符合以下规定。

1 钢筋混凝土构件的最小抗剪截面验算应符合如下要求:

跨高比大于2.5的梁及剪跨比大于2的柱。

$$V \leq 0.2\beta_c f_{ck} b h_0 \quad (4.5.3-1)$$

跨高比不大于2.5的梁及剪跨比不大于2的柱。

$$V \leq 0.15\beta_c f_{ck} b h_0 \quad (4.5.3-2)$$

2 型钢混凝土构件的最小抗剪截面验算应符合如下要求:

$$V \leq 0.36\beta_c f_{ck} b h_0 \quad (4.5.3-3)$$

3 钢-混凝土组合剪力墙的最小抗剪截面验算应符合如下要求:

跨高比大于2.5时

$$V - 0.5(f_{ak} A_a + f_{spk} A_{sp}) \leq 0.2f_{ck} b h_0 \quad (4.5.3-4)$$

跨高比不大于2.5时

$$V - 0.5(f_{ak}A_a + f_{spk}A_{sp}) \leq 0.15f_{ck}bh_0 \quad (4.5.3-5)$$

式中： V ——为混凝土构件考虑地震作用组合下的剪力标准值，子结构尚应考虑消能器极限阻尼力；

β_c ——为混凝土强度影响系数，当混凝土强度等级不超过C50时， β_c 取1.0，当混凝土强度等级为C80时， β_c 取0.8，其间接线性内插法确定；

f_{ck} ——分别为混凝土轴心抗压强度标准值；

b 、 h_0 ——分别为构件的截面宽度和有效高度；

f_{ak} ——剪力墙端部暗柱中型钢的强度标准值；

A_a ——剪力墙端部暗柱中型钢在受剪方向的截面面积；

f_{spk} ——剪力墙墙内钢板的强度标准值；

A_{sp} ——剪力墙墙内钢板的横截面面积。

4.5.4 罕遇地震作用下，消能子结构极限承载力验算应符合式(4.5.4-1)、式(4.5.4-2)规定：

$$S_{GE} + S_{Eh} + 0.4S_{Ev} \leq R_L^* \quad (4.5.4-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Eh} + S_{Ev} \leq R_L^* \quad (4.5.4-2)$$

式中： R_L^* ——构件承载力极限值，计算时材料强度可取最小极限强度；钢材可取各牌号极限强度的最小值，钢筋可取屈服强度的1.25倍，混凝土强度可取立方体强度的0.88倍，可参考表4.5.4进行取值。

表 4.5.4 材料强度极限值

材料	强度等级	极限值 (N/mm ²)	材料	强度等级	极限值 (N/mm ²)
钢筋	HRB400	500	混凝土	C30	26.4
	HRB500	625		C35	30.8
钢材	Q235	370		C40	35.2

	Q355	470		C45	39.6
	Q390	490		C50	44.0
	Q420	520		C55	48.4
	Q345GJ	490		C60	52.8

4.6 抗震构造措施

4.6.1 消能减震结构主体结构的抗震等级应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定。

4.6.2 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主结构的抗震构造措施要求可适当降低。

1 在罕遇地震作用下，结构抗震性能水准可以提高两个性能水准等级时，抗震构造措施可降低一个等级；但抗震构造措施等级降低后不应低于四级。

2 结构抗震性能水准2时，抗震构造措施不应低于四级；抗震性能水准3时，抗震构造措施不宜低于三级。

3 构件降低后的抗震构造措施应采用弹塑性分析进行变形能力复核。

4.6.3 消能子结构抗震构造措施应按高于本地区抗震设防烈度1度的要求加强；当抗震设防烈度为9度时，应采用比9度更高的抗震构造措施，乙类建筑不再重复提高。III类建筑中的丙类建筑，当子结构在罕遇地震作用下的宏观损坏程度不高于轻度损坏（水准3）时，允许其抗震构造措施不提高。

4.6.4 采用设防烈度地震组合作用的轴压比应按式(4.6.4-1)计算。

$$\mu_N = \xi N / (f_c A) \quad (4.6.4-1)$$

$$\xi = (N_{GE} + 0.36N_E) / (N_{GE} + N_E) \quad (4.6.4-2)$$

式中： μ_N ——钢筋混凝土柱考虑设防烈度地震组合作用的轴压比；

ξ ——轴压比调整系数；

N ——钢筋混凝土柱考虑设防地震作用组合的轴压力设计值；

N_{GE} ——钢筋混凝土柱在重力荷载代表值作用下的轴压力设计值；

N_E ——钢筋混凝土柱在设防地震作用下的轴压力设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A ——钢筋混凝土柱全截面面积。

对于型钢混凝土柱，轴压比可按下式计算：

$$\mu_N = \xi N / (f_c A_c + f_a A_a) \quad (4.6.4-3)$$

式中： μ_N ——型钢混凝土柱考虑设防地震组合作用的轴压比；

A_c ——扣除型钢后的混凝土截面面积；

f_a ——型钢的抗压强度设计值；

A_a ——型钢的截面面积。

4.6.5 消能减震子结构的抗震构造措施尚应满足下述要求：

1 消能子结构为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度应延伸至节点板外1.5倍构件高度；消能子结构非消能部件的构件为剪力墙时，其端部应设暗柱。

2 消能子结构为钢结构时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99中的中心支撑要求确定。

3 消能部件采用支撑式连接，当消能子结构为混凝土框架柱，且为小偏心受拉时，柱内纵筋总截面面积应比计算值增加25%。

5 消能部件与结构的连接构造

5.1 一般规定

5.1.1 消能器通过节点板与主体结构连接，消能器与节点板的连接可采用螺栓连接、销轴连接、焊接连接。节点板与主体结构的连接可采用螺栓连接、焊接连接。消能器、节点板以及连接部位构造较复杂时，宜进行精细化结构设计建模，并结合试验确定连接构造的可靠性。

5.1.2 预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板等连接部件应具有足够的刚度、强度和稳定性。

5.1.3 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。屈曲约束支撑在 1.2 倍设计承载力的作用下，核心单元的过渡段及连接段不应发生局部失稳。

5.1.4 高强度螺栓、焊接或销轴的计算、构造要求应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661、和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。连接部件对接焊缝的质量等级应为一级。

5.1.5 连接元件、节点板的承载力验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

5.1.6 消能器采用人字形或 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侧向和扭转变形。当人字形或 V 字形支撑通过水平消能器与框架节点连接时，支撑端部应设置侧向限位装置。当悬臂支墩、剪力墙在层间布置阻尼器时，

应计入侧向和扭转变形对消能器性能的影响。

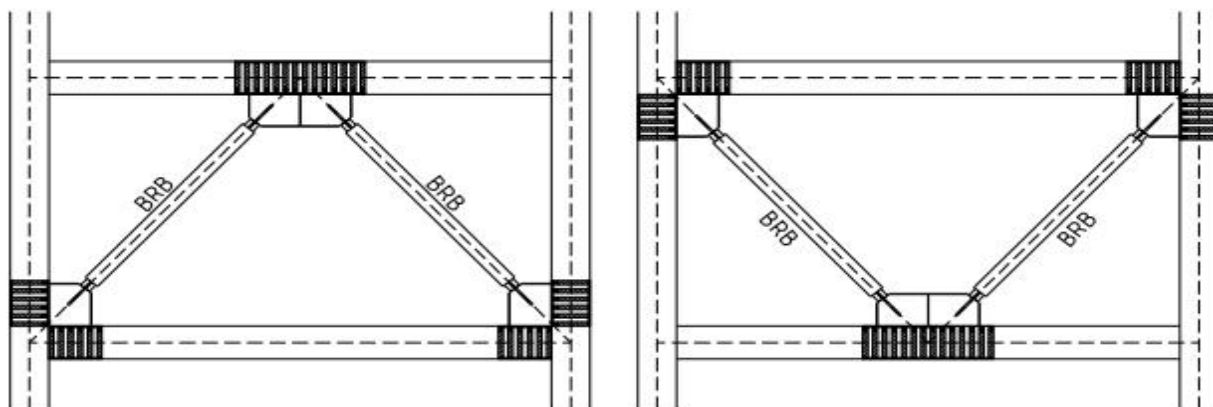
5.1.7 消能器与连接部件的长度应与设计文件中要求的刚度相匹配。

5.2 连接形式

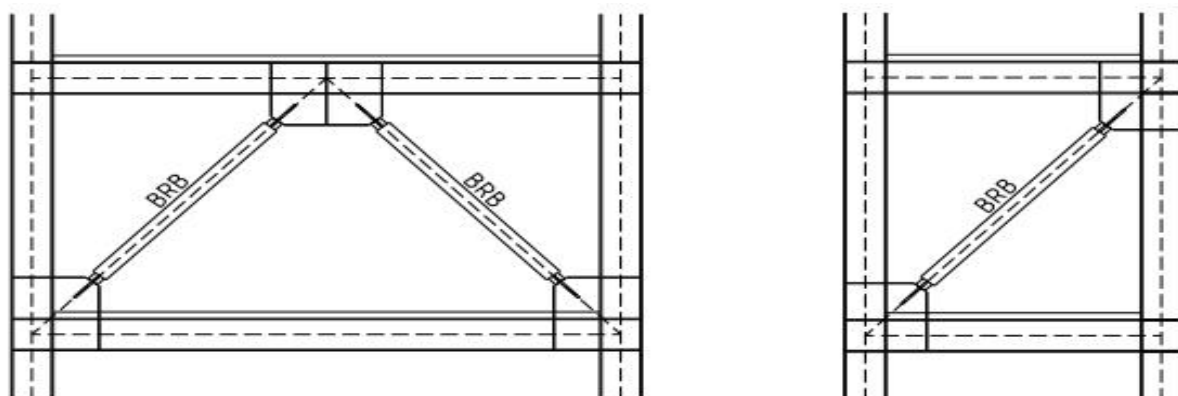
5.2.1 消能器与主体结构的连接一般分为支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等，设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式。

5.2.2 消能器支撑的轴线宜交汇于梁柱构件轴线的交点，偏离交点时的偏心距不宜超过支撑杆件宽度，并应计入由此产生的附加弯矩。

5.2.3 屈曲约束支撑与主体的连接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，不应采用X字形式。



(a) 屈曲约束支撑与混凝土构件连接



(b) 屈曲约束支撑与钢构件连接

图 5.2.3 屈曲约束支撑布置型式

5.2.4 金属屈服型、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，也可采用连梁式。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。

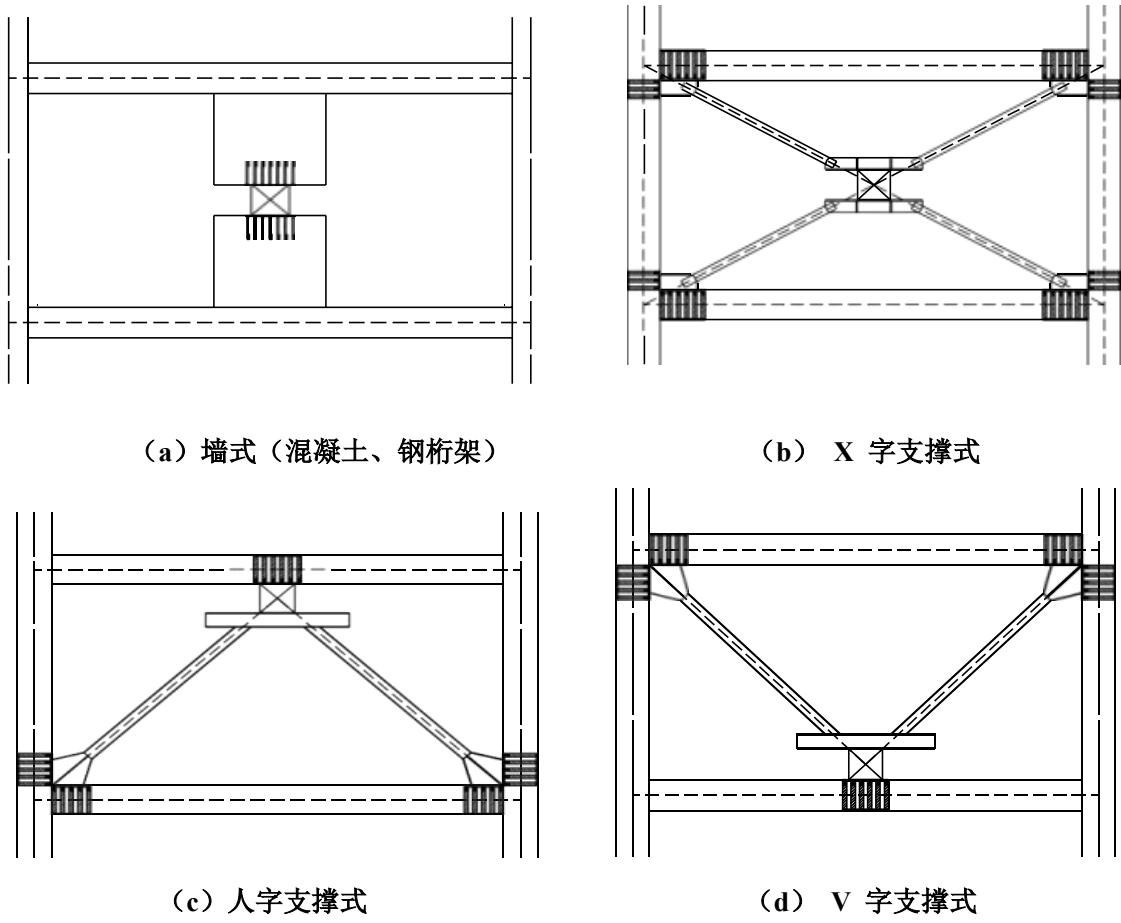
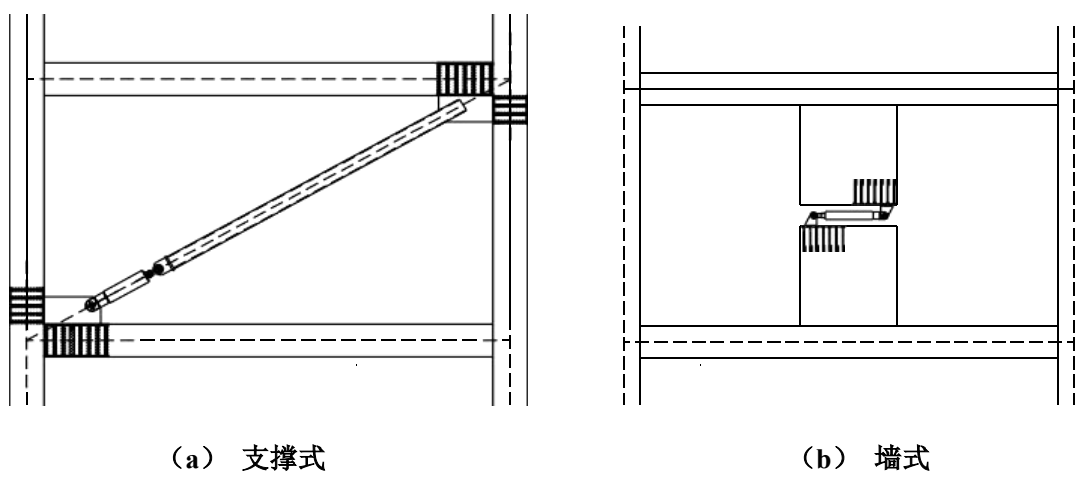
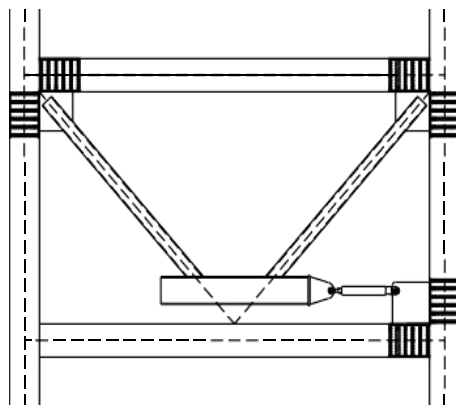


图 5.2.4 金属屈服型、摩擦消能器布置型式

5.2.5 黏滞消能器与主体的连接方式有支撑式、墙式、剪切连接型等多种型式。





(a) 剪切连接式

图 5.2.5 黏滞消能器布置型式

5.3 连接元件与节点板

5.3.1 消能器与节点板采用焊接连接时，应采用剖口对接焊。采用螺栓连接时，应采用摩擦型高强螺栓。焊接与螺栓的承载力验算，应考虑消能部件整体变形对节点弯矩的影响。销轴与连接耳板、节点板间的间隙不应大于0.3mm。

5.3.2 节点板宜在自由边设置边肋。

5.3.3 当屈曲约束支撑与节点板采用焊接连接或螺栓连时，节点板的屈服力计算，节点板的平面内轴向刚度计算，节点板的中心加劲肋长度等应满足现行行业标准《屈曲约束支撑应用技术规程》T/CECS 817的相关规定。

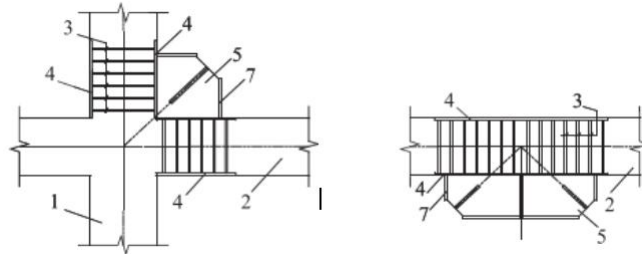
5.3.4 对于采用屈曲约束支撑的钢结构，当屈曲约束支撑设计承载力的水平分力与对应消能子结构钢梁的轴向屈服承载力（按标准值计算）之比不超过0.3，且节点板未设置边肋时，宜在验算该支撑角部节点板与梁柱连接焊缝的强度时计入梁柱开合效应的影响。当节点板设置边肋或结构类型为钢筋混凝土结构、组合结构时，在验算该类节点焊缝承载力时可忽略开合效应的影响，仅按照支撑力进行单独设计。

5.3.5 屈曲约束支撑连接节点应能够承担 V 型、人字形支撑产生的竖向不平衡力。

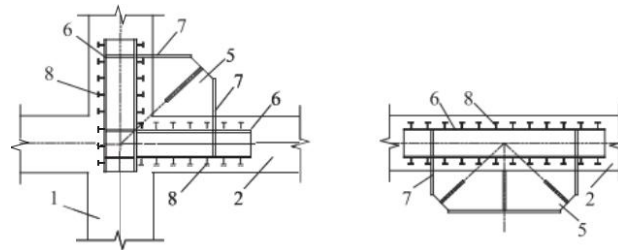
5.4 预埋件

5.4.1 预埋件的锚筋和锚板设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的规定。

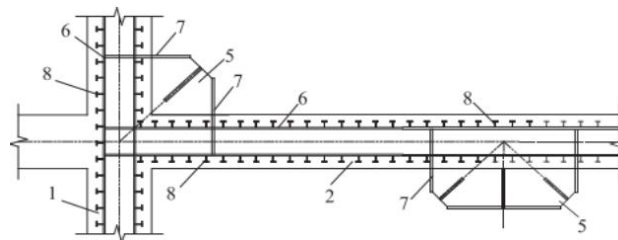
5.4.2 消能器节点板与混凝土框架的连接预埋件可采用下述形式：



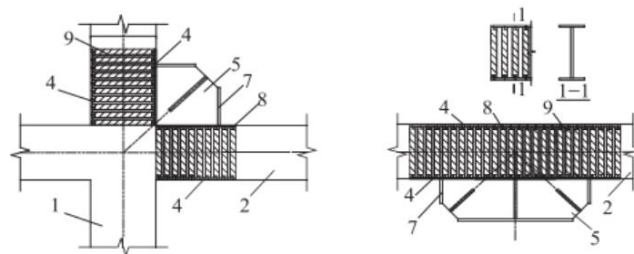
(a) 预埋板和锚筋的连接形式



(b) 局部预埋型钢连接形式



(c) 整体预埋型钢连接形式



(d) 预埋腹板开孔H型钢

图 5.4.2 消能器节点板与混凝土框架连接形式示意图

1—柱；2—梁；3—锚筋；4—锚板；5—节点板；6—型钢；7—加劲肋；

8—栓钉；9—腹板

5.4.3 预埋件采用预埋锚板和锚筋的形式时，应符合以下要求：

- 1 预埋件的锚筋应按拉力和剪力共同作用计算总截面积；
- 2 宜采用夹板式双面锚固的形式；
- 3 锚筋与锚板采用穿孔塞焊进行焊接；
- 4 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。

5.4.4 预埋件采用型钢形式时，应符合以下要求：

- 1 型钢在节点板的位置处应设置加劲肋板。
- 2 型钢应在上下翼缘部位设置栓钉。
- 3 节点板在混凝土梁的箍筋位置应预留穿筋孔，节点板强度验算时应考虑孔洞部位截面削弱的影响。

5.4.5 预埋件采用腹板开孔H型钢的形式时，应符合以下要求：

- 1 钢腹板应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017进行强度验算。
- 2 钢腹板与混凝土的接触面在靠近节点范围应按现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010进行局部承压验算。

5.4.6 梁柱节点部位的连接板预埋件进行承载力验算时，可将消能器的轴力分解到柱上埋件和梁上埋件的中心，按下列公式计算。

$$F = F_1 + F_2 \quad (5.4.6-1)$$

$$F_1 a \cos \theta = F_2 b \sin \theta \quad (5.4.6-2)$$

式中： F ——屈曲约束支撑的轴力；

F_1 ——柱上埋件的拉（压）力；

F_2 ——梁上埋件的拉（压）力。

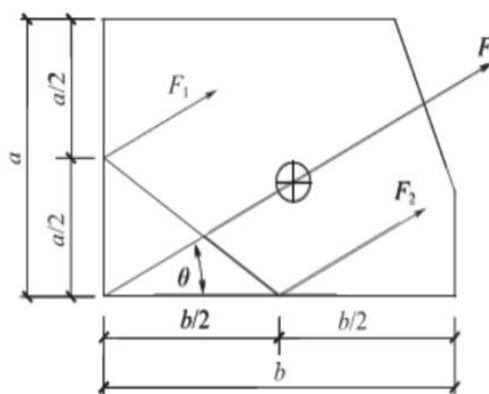


图 5.4.6 梁柱节点部位的连接板预埋件受力分解示意图

5.4.7 预埋件破坏面不应出现在混凝土基材上。当预埋件受拉剪复合作用时，锚筋承载力尚应按下式验算：

$$\left(\frac{N}{N_d}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_d}\right)^2 \leq 1 \quad (5.4.7-1)$$

式中： N ——预埋件拉力设计值；

N_d ——锚筋受拉承载力设计值；

V ——预埋件剪力设计值；

V_d ——锚筋受剪承载力设计值。

5.5 支撑和支墩、剪力墙

5.5.1 与速度相关型消能器连接支撑的整体刚度应满足本规程第4.3.1条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的2倍。罕遇地震作用下，应考虑混凝土开裂刚度对消能器的影响。

5.5.2 支撑和支墩、剪力墙稳定验算时的计算长度应符合下列规定：

1 采用单斜消能部件时，应取支撑与消能器连接处到主体结构连接板中心处的距离；

2 采用人字形支撑时，应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构连接板中心处的距离；

3 采用柱型支撑时，应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面

的距离。

5.5.3 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有关中心支撑的规定。

5.5.4 消能部件中的支墩沿长度方向全截面箍筋应加密，剪力墙沿长度方向应设置暗梁暗柱、并配置网状钢筋。预埋件锚筋应在暗柱的内侧。

6 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不宜小于建筑物的设计工作年限，当消能器设计使用年限小于建筑物的设计使用年限时消能器达到使用年限应及时检测，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抗疲劳、抗老化性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的要求，不满足时应作保温、除湿等相应处理。

6.1.3 消能器的设计性能应符合下列规定：

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 在温度应力和10年一遇标准风荷载作用下，摩擦消能器不应进入滑动状态，金属消能器和屈曲约束支撑不应产生屈服。

3 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。当消能器的消能部件使用环境温度低于零下20度时，消能器的材料除满足本规程规定外，应补充明确材料在低温下的性能要求。

6.1.4 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或产品合格证。检验项目应符合附录G的相关要求。

2 消能器的性能参数和数量应在设计文件中注明。

金属屈服型消能器、屈曲约束支撑应注明屈服荷载、屈服位移、屈服后

刚度、设计荷载、设计位移、极限荷载、极限位移；

摩擦消能器应注明起滑阻尼力、起滑位移、设计位移、极限位移；

黏滞消能器应注明阻尼系数、阻尼指数、设计阻尼力、设计位移、设计速度、极限阻尼力、极限位移、极限速度；

黏弹性消能器应注明结构基频、表观剪切模量、损耗因子、设计阻尼力、设计位移、极限位移。

6.1.5 消能器的抽样和检测应符合下列规定：

- 1 消能器的抽样应由监理单位根据设计文件和本规程的有关规定进行。
- 2 消能器的检测应由具备资质的第三方进行。
- 3 消能器的检验数据与报告应经设计单位确认后实施。

6.1.6 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 产品的尺寸偏差应符合本标准有关规定。
- 4 产品外观应符合本标准有关规定。

6.1.7 消能器的工作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，应保证消能器中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。

6.1.8 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 金属屈服型消能器

6.2.1 金属屈服型消能器的外观应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。
- 2 消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- 3 金属屈服型消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

6.2.2 金属屈服型消能器的材料应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器所用材料应根据设计需要进行选择，可采用钢材、铅、合金等材料制作。
- 2 采用钢材制作的金属屈服型消能器的消能部分宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板厚度不宜超过80mm，钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能和疲劳性能。材料伸长率不应小于40%，0℃和常温下的冲击功韧性应大于27J，2%的应变幅往复低周疲劳加载时，疲劳寿命不少于30圈。
- 3 金属屈服型消能器中所用各种材料的材质化学成分及力学性能应符合国家相应的材性标准。

6.2.3 金属屈服型消能器当采用双线性模型时，性能参数取值方法参考附录G。

6.2.4 金属屈服型消能器的力学性能要求，应符合表6.2.4规定。

表 6.2.4 金属消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	屈服荷载	每个产品的屈服荷载实测值允许偏差应为屈服荷载设计值的 $\pm 15\%$ ； 实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	2	屈服位移	每个实测产品屈服位移的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

	3	屈服后刚度	每个实测产品屈服后刚度的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	4	极限荷载	每个实测产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	5	极限位移	每个检测产品按位移幅值大于等于 $1.2D_d$ 连续加载3圈，任一个循环中位移测试值与设计值偏差应在 $\pm 5\%$ 内；位移为零处第3圈比第1圈阻尼力衰减小于15%
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为产品设计值的 $\pm 15\%$ ；产品实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
疲劳性能	1	阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载30圈，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) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$

6.2.5 金属屈服型消能器的力学性能测试方法，应符合表6.2.5规定。

表 6.2.5 金属消能器力学性能测试方法

	序号	项目	测试方法
常规性能	1	屈服荷载	按照 $0.2D_d$ 、 $0.4D_d$ 、 $0.6D_d$ 、 $0.8D_d$ 、 $1.0D_d$ 位移幅值的正弦波或三角波逐级加载，每级位移加载3圈。取每次加载的第3个循环的数据绘制力-位移曲线，即滞回曲线
	2	屈服位移	
	3	屈服后刚度	
	4	极限荷载	
	5	极限位移	
	6	滞回曲线面积	

疲劳性能	1	阻尼力	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于30圈。
	2	滞回曲线	
	3	滞回曲线面积	

注： D_d 为设计位移。

6.2.6 金属屈服型消能器整体稳定和局部稳定应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定，消能器在消能方向运动时，平面外应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

6.3 屈曲约束支撑

6.3.1 屈曲约束支撑可根据使用需求采用外包钢管混凝土型、外包钢筋混凝土型和全钢型屈曲约束支撑。屈曲约束支撑应由核心单元、约束单元和两者之间的无粘结构造层三部分组成。核心单元由耗能段、过渡段和连接段组成。

6.3.2 屈曲约束支撑核心单元的设计应符合下列规定：

- 1 核心单元的材料宜采用屈服点低、高延伸率和屈服稳定的钢材。
- 2 核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等双轴对称的截面形式，宽厚比或径厚比限值宜符合下列规定：
 - 1) 一字形板截面宽厚比取10~20；
 - 2) 十字形截面宽厚比取5~10；
 - 3) 环形截面径厚比不宜超过22；
 - 4) 其他截面形式，按照考虑塑性设计时，钢构件截面宽厚比限值要求。
- 3 核心单元截面采用“一”字形、“十”、“H”字形和环形时，钢板厚度宜为10mm~80mm。
- 4 核心单元截面变化处应采取减小应力集中的措施。

6.3.3 核心单元的耗能段长度不应小于屈曲约束支撑总长度的60%；核心单元耗

能段在设计位移下的轴向应变不宜超过3%。

6.3.4 屈曲约束支撑约束单元的设计应符合下列规定：

- 1 约束单元应具有合理的限位措施，在自重作用下不应沿轴线方向产生滑动。
- 2 核心单元与约束单元之间沿横向应留置1mm~2mm的间隙并填充软质无粘结材料。
- 3 屈曲约束支撑应在核心单元与约束单元之间沿横向预留足够压缩空间。
- 4 核心单元的过渡段宜延伸至约束单元内部，屈曲约束支撑受拉时，核心单元的耗能段不应露出于约束单元的约束范围之外。当屈曲约束支撑与节点板采用螺栓连接或焊接时，核心单元过渡段在可变形端的约束长度宜大于压缩空间的轴向长度；当支撑与节点板采用销轴连接时，核心单元过渡段在可变形端的约束长度不宜小于支撑两销轴孔孔心间距的1/20。

6.3.5 屈曲约束支撑产品外观应符合下列规定：

- 1 屈曲约束支撑产品外观应标志清晰、表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤，外表应采用防锈措施、涂层应均匀。
- 2 耗能段与非耗能段应光滑过渡，不应出现缺陷。
- 3 屈曲约束支撑长度、横截面有效尺寸的偏差不应大于2mm。

6.3.6 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

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

6.3.8 制作屈曲约束支撑核心单元的钢材可选用普通碳素结构钢或建筑用低屈服强度钢，普通碳素结构钢的性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700的有关规定，建筑用低屈服强度钢的性能应符合现行国家标准《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 的有关规定。制作屈曲约束支撑核心单元钢材伸长率不应小于25%，屈强比应小于0.80，在工作温度下冲击韧性应大于34J。

6.3.9 制作屈曲约束支撑约束单元的钢材可选用普通碳素结构钢或低合金高强度结构钢，普通碳素结构钢的性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》CB/T 700的有关规定，低合金高强度结构钢的性能应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定。约束单元如需采用混凝土材料，混凝土强度等级不应低于C30。

6.3.10 制作屈曲约束支撑的钢材的材性抽检试验应符合现行国家标准《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的有关规定。

6.3.11 屈曲约束支撑的力学行为与金属屈服型消能器相似，当采用双线性模型时，性能参数取值方法参考附录G。

6.3.12 耗能型屈曲约束支撑的基本力学性能，疲劳性能要求及测试方法应符合表6.2.4、6.2.5的规定。

6.4 摩擦消能器

6.4.1 摩擦消能器的外观应符合下列规定：

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

2 摩擦消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

6.4.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

1 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等。

2 摩擦消能器的性能主要由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定，摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的10%。

3 摩擦消能器中采用的摩擦材料应具有稳定的摩擦系数，不应生锈，并应满足消能器预压力作用下的强度要求。

4 摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

5 用于制作摩擦消能器的钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700或《合金结构钢》GB/T 3077的要求。

6.4.3 摩擦消能器力学性能要求，应符合表6.4.3规定。性能参数取值方法参考附录H。

表 6.4.3 摩擦消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	起滑阻尼力	每个产品起滑阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	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 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	3	初始刚度	每个产品初始刚度的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	4	极限荷载	每个产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于极限位移设计值
	6	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
疲劳性能	1	摩擦荷载	实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$
	2	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载30圈，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) 实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$ 。
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$

老化性能	1	摩擦荷载	老化前后摩擦荷载的变化率应在±15%以内
	2	外观	目视无变化

6.4.4 摩擦消能器力学性能测试方法，应符合表6.4.4规定。

表 6.4.4 摩擦消能器力学性能测试方法

	序号	项目	测试方法
常规性能	1	起滑阻力	采用三角波或正弦激励法进行加载，设计位移 D_d 下连续加载3个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线
	2	起滑位移	
	3	初始刚度	
	4	极限荷载	
	5	极限位移	
	6	滞回曲线面积	
疲劳性能	1	摩擦荷载	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于30圈，绘制阻尼力-位移滞回曲线
	2	滞回曲线	
	3	滞回曲线面积	
老化性能	1	摩擦荷载	试件放入恒温干燥箱中，保持温度80℃，保持192h后取出完成测试
	2	外观	目视无变化

6.4.5 摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、耗和锈蚀。

6.5 黏滞消能器

6.5.1 黏滞消能器是黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙统称，其外观应符合下列规定：

1 黏滞消能器产品外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀。

2 黏滞消能器密封处制作精细、无渗漏。

3 黏滞消能器各构件尺寸允许偏差应为产品设计值的±2%。

6.5.2 黏滞消能器的材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的规

定。

6.5.3 黏滞消能器的力学性能要求应符合表6.5.3的规定。

表 6.5.3 黏滞消能器常规力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限位移	每个产品极限位移实测值不应小于极限位移设计值
2	最大 阻尼力	每个产品最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
3	极限速度	每个产品极限速度的实测值不应小于极限速度设计值
4	阻尼指数 阻尼系数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
5	滞回曲线 面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%

6.5.4 黏滞消能器的力学性能试验测试方法，应符合表6.5.4的规定。

表 6.5.4 黏滞消能器常规力学性能测试方法

序号	项目	测试方法
1	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
2	最大 阻尼力	采用正弦波激励，输入位移 $D = D_d\sin(2\pi f_1t)$ ，加载频率为 f_1 ，连续加载5个循环，记录第3个循环所对应的最大阻尼力作为实测值。
3	极限速度	1) 采用正弦波激励，控制位移加载函数 $D = A\sin(2\pi f_1t)$ ； 2)对消能器分别施加位移幅值A为 $0.2D_d$ 、 $0.4D_d$ 、 $0.6D_d$ 、 $0.8D_d$ 、 $1.0D_d$ 、 $1.2D_d$ ，每个位移幅值下连续进行5个循环，取每个工况的第3次循环时滞回曲线的最大阻尼力、极限速度，通过滞回曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值； 取每个工况第3次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值。
4	阻尼指数 阻尼系数	
5	滞回曲线 面积	
注：t为时间，单位为s； f_1 为减震结构基频； D_d 为黏滞消能器设计位移。		

6.5.5 黏滞消能器的疲劳性能要求，应符合表6.5.5的规定，并且消能器在试验后应无渗漏、无裂纹。

表 6.5.5 黏滞消能器疲劳性能要求

序号	项目	性能要求
1	阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应为设计值的±15%
2	最大阻尼力	实测产品在设计速度下连续加载30圈，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%
3	滞回曲线	1) 实测产品在设计速度下连续加载30圈，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) 实测产品在设计速度下连续加载30圈，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	实测产品在设计速度下连续加载30圈，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%

6.5.6 黏滞消能器的疲劳性能测试方法，应符合表6.5.6的规定。

表 6.5.6 黏滞消能器疲劳性能要求

序号	项目	测试方法
1	阻尼指数	对于地震控制为主时，采用正弦波激励法，输入位移，加载不少于30个循环。
2	最大阻尼力	
3	滞回曲线、滞回曲线面积	

6.5.7 黏滞消能器的其他性能要求，应符合下列规定：

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

2 黏滞消能器在-20℃~40℃下，在1.0*f_i*测试频率下，输入位移采用公式（7.5.7-1），每隔10℃记录消能器的最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%。

$$\Delta u = \Delta u_0 \sin(2\pi f_1 t) \quad (6.5.7-1)$$

式中：*f_i*—消能减震结构的第一自振频率（Hz）；

Δu_0 —黏滞消能器设计位移（m）。

3 黏滞消能器在 $0.4f_1$ 、 $0.7f_1$ 、 $1.0f_1$ 、 $1.3f_1$ 、 $1.6f_1$ 测试频率，输入位移采用公式(6.5.7-2)，其最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 。

$$\Delta u = \Delta u_0 f_1 / f \quad (6.5.7-2)$$

式中： f —加载频率（Hz）；

6.5.8 当黏滞消能器需考虑初始刚度影响时，应对消能器初始刚度进行测试，初始刚度应满足每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 。实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$ 。

6.5.9 当黏滞消能器需考虑加载频率和温度变化影响时，应对消能器加载频率相关性能和温度相关性能进行测试，应满足每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 。

6.6 黏弹性消能器

6.6.1 黏弹性消能器的外观应符合下列规定：

1 要求黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺，涂刷防锈涂料两次，钢板坡口焊接，焊缝质量等级一级、平整。

2 黏弹性材料表面应密实、平整。

3 黏弹性材料与薄钢板之间应密实、无裂缝。

4 黏弹性消能器的尺寸偏差应满足下列要求：

黏弹性消能器钢构件和黏弹性层长宽的尺寸允许偏差应为产品设计值的 $\pm 2\%$ 。黏弹性层厚度允许偏差应为产品设计值的 $\pm 3\%$ ，不同地方厚度允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

6.6.2 黏弹性材料性能要求应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209的规定，钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700中碳素结构钢或低合金钢的规定。

6.6.3 在同种测量频率和温度下黏弹性消能器力学性能要求，应符合表6.6.3的规定。

表 6.6.3 黏弹性消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限应变	每个产品极限位移实测值不应小于极限位移设计值
2	最大阻尼力	每个产品最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
3	表观剪切模量	每个产品表观剪切模量的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
4	损耗因子	每个产品损耗因子的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差平均值应为设计值的 $\pm 10\%$
5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ ；实测值偏差的平均值应为设计值的 $\pm 10\%$

6.6.4 黏弹性消能器力学性能测试方法，应符合表6.6.4的规定。

表 6.6.4 黏弹性消能器力学性能测试方法

序号	项目	测试方法
1	极限应变	输入位移采用 $D = A\sin(2\pi f_1 t)$ ， A 从 $0.5D_d$ 开始，逐次增加 $0.25D_d$ ，每次采用位移控制方法连续加载5圈，直至消能器破坏为止，取破坏时的前次加载 A 值对应的应变值，作为黏弹性消能器极限应变的实测值。
2	最大阻尼力	1) 采用正弦波激励，控制位移加载函数； 2) 消能器的加载频率为 f_1 ，对消能器分别施加位移幅值 A 为 $0.2D_d$ 、 $0.4D_d$ 、 $0.6D_d$ 、 $0.8D_d$ 、 $1.0D_d$ 、 $1.2D_d$ ，每个位移幅值下连续进行5个循环，取每个工况的第 3次循环时滞回曲线的最大阻尼力、极限速度，通过滞回曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；取每个工况第3次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值。
3	表观剪切模量	
4	损耗因子	
5	滞回曲线面积	
注：试验应在标准环境温度($23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)下进行； t 为时间，单位为s， f_1 为减震结构基频， D_d 为消能器设计位移。当消能器工作温度为非标准环境时进行特定环境下的性能测试。		

6.6.5 在同种测量频率和温度下黏弹性消能器耐久性能要求（包括老化性能、疲劳性能），应符合表6.6.5的规定。

表 6.6.5 黏弹性消能器耐久性能要求

	序号	项目	性能要求
老化性能	1	变形	变化率应为 $\pm 15\%$
	2	最大阻尼力 表观剪切模量 损耗因子	变化率应为 $\pm 15\%$
	3	外观	目视无变化
疲劳性能	1	变形	变化率应为 $\pm 15\%$ 、
	2	外观	目视无变化
	3	表观剪切模量 损耗因子	变化率应为 $\pm 15\%$
	4	最大阻尼力	实测产品在设计位移下连续加载30 圈，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 $\pm 15\%$
	5	滞回曲线	1) 实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$ ； 2) 实测产品在设计位移下连续加载30圈，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 $\pm 15\%$ 。
	6	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载30 圈，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 $\pm 15\%$

6.6.6 在同种测量频率和温度下黏弹性消能器耐久性能（包括老化性能、疲劳性能）测试方法，应符合表6.6.6的规定。

表 6.6.6 黏弹性消能器耐久性能测试方法

	序号	项目	测试方法
老化性能	1	变形	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6.5.7的规定进行力学性能试验
	2	最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	
	3	外观	

疲劳性能	1	变形	对于地震控制为主时，采用正弦波激励法，输入位移，加载不少于30个循环。
	2	外观	
	3	表观剪切模量、 损耗因子	
	4	最大阻尼力	
	5	滞回曲线	
	6	滞回曲线面积	

6.6.7 黏弹性消能器在-20℃~40℃下，在 $1.0f_d$ 测试频率下，输入位移采用公式（6.5.7-1），每隔10℃记录消能器的最大阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%。

6.7 复合型消能器

6.7.1 复合型消能器的外观和材料应满足本规程第6.2至6.6节规定。

6.7.2 复合型消能器性能应根据位移相关型消能器和速度相关型消能器的性能综合考虑确定。

6.8 产品检验与力学性能参数确定

6.8.1 消能器产品检验分为型式检验、出厂检验和进场见证检验。消能器的检验项目应满足附录J的要求。

6.8.2 消能器型式检验应符合《建筑消能阻尼器》JG/T 209及本标准的内容和要求；型式检验应由专门认证的具有资质的独立第三方完成。型式检验抽样试件数目不得少于3件，型式检验项目应为本规程要求的所有项目，各项指标应全部符合本规程和国家现行标准的相关规定，否则为不合格。当有以下情况之一时应当进行型式检验：

- 1 新产品的试制定型鉴定；
- 2 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；
- 3 正常生产时，每五年检验一次；

- 4 停产一年以上恢复生产时；
- 5 因特殊需要而必须进行型式检验时；
- 6 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

6.8.3 消能器出厂检验由生产厂家自身完成；出厂检验内容对金属消能器为外观检验；对黏滞消能器除外观检验外尚应包括常规力学性能和密闭性能检验；产品出厂受检率应为100%。

6.8.4 消能器进场见证检验为抽检检验，应由专门认证的具有资质的独立第三方完成，且符合下列规定：

1 黏滞消能器力学性能的进场见证检验抽检数量为：同一生产厂家、同一类型、同一规格的产品，对于重点设防类建筑取总数量的50%，对标准设防类建筑取总数量的20%，且不少于2个；检测项目应包括常规力学性能和疲劳性能检验。在进行疲劳性能检验时，受检验产品中不少于同一厂家、同一类型、同一规格产品总数量的2%且不少于1个，应按设计速度连续加载30个循环进行检测（位移大于100mm时加载5个循环），其余受检产品可允许按设计速度连续加载10个循环进行检测（位移大于100mm时加载5个循环）；检测合格率为100%时，该批次产品可判定为合格。检测合格后，被检消能器若无任何损伤、力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构；对于进行连续加载30个循环（位移大于100mm时加载5个循环）的产品，不宜用于主体结构。

2 金属屈服型消能器、屈曲约束支撑、摩擦消能器和黏弹性消能器的力学性能的进场见证检验应包括常规性能和疲劳性能；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个，检测合格率应为100%，该批次产品可用于主体结构。被检的消能器不能应用于主体结构。

6.8.5 产品检测合格率未达到100%，应在同批次抽检产品数量加抽检；加倍抽检的检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构；加倍抽检的检测合格率仍未达到100%，该批次消能器不能在主体结构中使用。

6.8.6 根据试验数据确定消能器的性能参数应符合下列规定：

试验滞回曲线应基本匀称，根据曲线形状选择合适模型和适当偏差参数控制拟合精度，拟合得到的模型参数即可用作产品的实际参数。

6.8.7 消能器的抽样和检测应符合下列规定：

1 消能器的抽样应由监理单位根据本标准的有关规定进行。

2 消能器的力学性能检测的加载驱动装置应配有伺服系统，消能器受检时的受力状态应与实际工作状态一致。

3 消能器的力学性能检测应由经专门认证的具有资质的独立第三方承担，并由监理单位监督，依据设计文件对消能器的力学性能要求判定消能器的性能是否合格。

7 消能部件的施工、验收和维护

7.1 一般规定

7.1.1 消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。消能减震结构的消能部件工程也可划分成若干个子分部工程。

7.1.2 消能部件子分部工程施工项目的施工，宜根据本标准规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制专项施工方案。

7.1.3 消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为二个阶段：消能部件进场验收和消能部件安装防护。消能器进场验收应提供下列资料：

- 1 消能器力学性能抽检报告；
- 2 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单；
- 3 产品出厂合格证。

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

7.2 消能部件进场验收

7.2.1 消能部件的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件及消能部件的特点确定。

7.2.2 消能器进场验收时，应具有第三方出具的产品抽检力学性能合格报告；消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG / T 209的规定。

7.2.3 消能器所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料，应具有质量合格证书，并应符合设计文件规定。

7.2.4 支撑或连接件等附属支承构件的制作单位应提供原材料、产品的质量合格证书。

7.2.5 消能器装置应具有减震工程专用标识，专用标识不应被遮挡、覆盖。消能器的专用标识应由供应商随产品提供，标识中应体现产品厂家和产品规格型号。

7.3 消能部件的施工安装顺序

7.3.1 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商讨确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工标准》GB 50666和《钢结构工程施工标准》GB 50755的规定。

7.3.2 消能减震结构的施工安装顺序制定，应包括下列内容：

1 划分结构的施工流水段。

2 确定结构的消能部件及主体结构构件的总体施工顺序，并编制总体施工安装顺序表。

3 确定同一部位各消能部件及主体结构构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。

7.3.3 消能器需要抵抗风荷载或竖向变形差敏感时，应进行施工阶段分析，合理确定终固时间，宜待竖向变形稳定后终固。

7.3.4 对于钢结构，消能部件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。

7.3.5 对于现浇混凝土结构，消能部件和主体结构构件总体施工安装顺序宜采用后装法进行。

7.3.6 对于木结构和装配式混凝土结构，各类构件或部件的总施工安装顺序，可按本标准相关内容执行。

7.3.7 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应包括下列内容：

1 确定同一部位各消能部件的现场安装单元、安装连接顺序。

2 编制同一部位各消能部件的局部安装连接顺序，包括消能器、支撑、支墩、连接件的类型、规格和数量。

7.3.8 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序，同一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，应采用现场原位连接。

7.4 施工测量和消能部件的安装、校正

7.4.1 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国家标准《工程测量规范》GB 50026和现行行业标准《建筑变形测量规程》JGJ 8的要求。

7.4.2 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，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。

7.4.3 消能部件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件的要求。

7.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

7.5.1 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661及行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》

JGJ 82的规定。

7.5.2 消能部件采用铰接连接时，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。

7.5.3 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：

- 1 消能器没有形状异常及损害功能的外伤。
- 2 消能器的黏滞材料未泄漏，未出现涂层脱落和生锈。
- 3 消能部件的临时固定件应予撤除。

7.6 施工安全和施工质量验收

7.6.1 消能部件的施工应符合现行国家标准《建筑施工高处作业安全技术规程》JGJ 80和行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33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。

7.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按表7.6.2的规定执行。

表 7.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格标准
1	见证取样送样检验项目： 1) 高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验； 2) 摩擦面抗滑移系数复验	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205及《钢结构工程施工标准》GB 50755的有关规定	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的有关规定
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量规、观察	
3	高强度螺栓施工量： 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标准》GB 50205的规定	
4	消能部件平面外垂直度	随机抽查3个部位的消能部件	

7.6.3 消能部件子分部工程的观感质量检查项目可按表7.6.3的规定执行。

表 7.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目

项次	项目	抽检方法、数量	合格品质标准
1	消能部件的普通涂层表面	随机抽查3个部位的消能部件	均匀、无气泡、无皱纹
2	连接节点	随机抽查10%	连接牢固,无明显外观缺陷
3	工作范围内的障碍物	随机抽查10%	在工作范围内无障碍物

7.6.4 工程验收阶段,应由该项目注册建造师、注册监理工程师、注册结构工程师、消能器产品技术负责人和建设方代表共同参与验收工作。

7.7 维护

7.7.1 消能部件的检查根据检查时间或时机可分为定期检查和应急检查,根据检查方法也可分为目测检查、抽样检验。

7.7.2 消能部件应根据消能器的类型、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定期检查。金属屈服型消能器、屈曲约束支撑和摩擦消能器在正常使用情况下可不进行定期检查,黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下一般10年或二次装修时应进行目测检查,在达到设计工作年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

7.7.3 消能器目测检查时,应观察消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其它问题。目测检查内容及维护方法应符合表7.7.3的规定。

表 7.7.3 目测检查内容及维护方法

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
消能器	黏滞消能器	漏油、阻尼材料泄露、产生明显的损伤、变形	观察	更换消能器
	黏滞阻尼墙		丈量	
	金属屈服型消能器	产生明显的损伤、变形	观察 丈量	更换消能器

	摩擦消能器	摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置松弛，产生明显的损伤、变形；	观察 尺量	更换相关材料、 压力装置更换消 能器
	屈曲约束支撑	芯材外露，产生明显的损伤、变形	观察 拉线 尺量	更换消能器
	黏弹性消能器	黏弹材料老化、龟裂、产生明显的损伤、变形	观察 尺量	更换消能器
消能器与主体结构或消能子结构连接部位	焊缝有裂纹、螺栓、锚栓的螺母松动或出现间隙连接件出现错动移位、松动、销轴变形等		观察 小锤敲击 卡尺测量	拧紧螺栓 补焊 更换销轴
消能器外露金属面、摩擦面；消能器、连接件表面涂装	黏滞消能器导杆、摩擦消能器外露摩擦面出现腐蚀、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

7.7.4 消能部件抽样检验时，应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，测试内容应能反映消能器在使用期间可能发生的性能参数变化，并应能推定可否达到预定的使用年限。

附录A 混凝土框架-屈曲约束支撑结构

A.1 一般规定

A.1.1 混凝土框架-屈曲约束支撑结构房屋适用最大高度应符合表A.1.1的规定。

表 A.1.1 混凝土框架-屈曲约束支撑结构房屋适用最大高度 (m)

框架倾覆力矩比		抗震设防烈度		
		6度	7度	8度 (0.2g)
>50%		60	50	40
≤50%	BRB多遇地震保持弹性	70	60	50
	BRB设防地震保持弹性	90	75	60

注：1 表中框架不含异形柱框架；当房屋高度超过表中数值时，应进行专项论证。

2 框架倾覆力矩比系指在规定水平力作用下，底层框架部分所承担的地震倾覆力矩与结构总倾覆力矩的比值。

A.1.2 混凝土框架-屈曲约束支撑结构的高宽比不宜超过表A.1.2的规定。当结构高宽比超过表中数值时，应采取有效的加强措施。

表 A.1.2 混凝土框架-屈曲约束支撑结构适用的最大高宽比

框架倾覆力矩比	抗震设防烈度		
	6度	7度	8度 (0.2g)
>50%	4	4	3
≤50%	6	6	5

A.1.3 混凝土框架-屈曲约束支撑结构应采用现浇或叠合楼、屋盖，支撑之间无大洞口的楼、屋盖的长宽比宜符合表A.1.3。当超过时，应计入平面内变形的影响。

表 A.1.3 屈曲约束支撑之间的楼屋盖的长宽比

楼、屋盖类型	抗震设防烈度		
	6	7	8度 (0.2g)
现浇或叠合楼、屋盖	4	4	3

A.2 结构设计

A.2.1 地震作用时屈曲约束支撑-混凝土主体结构的阻尼比不宜大于0.045，也可按混凝土部分和屈曲约束支撑部分在结构总变形能所占的比例折算为等效阻尼比。

A.2.2 采用屈曲约束支撑的钢结构或钢筋混凝土框架结构，多遇地震作用下，当屈曲约束支撑承担地震倾覆弯矩大于50%，框架部分按刚度分配计算得到的层剪力不满足式（A.2.2）要求时，框架各层剪力应按 $0.25V_0$ 和 $1.8V_{fmax}$ 二者较小值进行调整。框架各层剪力调整后，应按调整前后总剪力的比值调整每根框架柱和与之相连框架梁的剪力及端部弯矩，框架柱的轴力可不进行调整。

$$V_f \geq 0.25V_0 \quad (\text{A.2.2})$$

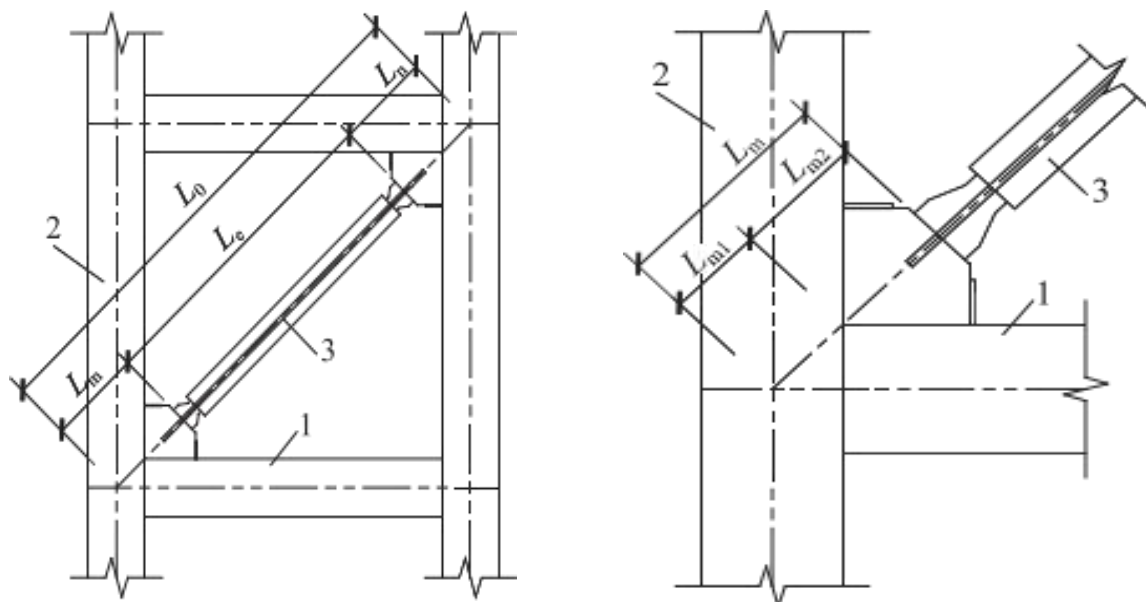
式中： V_f ——框架部分按刚度分配计算得到的层剪力；

V_0 ——对于框架柱从下到上基本不变的规则结构，取地震作用下的结构底部总剪力；对于框架柱从下到上有变化的结构，取地震作用下的每变化段最下一层结构的总剪力。

V_{fmax} ——对于框架柱从下到上基本不变的规则结构，取地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值；对框架柱数量从下至上分段有规律变化的结构，应取每段中对应于地震作用标准值且未经调整的各层框架承担的地震总剪力中的最大值下的结构底部总剪力；对于框架柱从下到上有变化的结构，取地震作用下的每变化段最下一层结构的总剪力。

A.2.3 高层混凝土框架-屈曲约束支撑结构应进行整体屈曲稳定验算。整体屈曲特征值小于20时，应考虑二阶效应，且不应小于10。

A.2.4 屈曲约束支撑在弹性分析模型中采用等效钢支撑单元模拟时，其截面积可按下列公式确定：



(a) 屈曲约束支撑刚度串联示意图

(b) L_m 段（支撑下端）

图 A.2.4 屈曲约束支撑及节点构成示意

1——梁；2——柱；3——屈曲约束支撑；

图中： L_e ——屈曲约束支撑的长度；

L_0 ——计算模型中的支撑长度；

L_m 、 L_n ——支撑长度以外的上下两端节点长度；

L_{m1} ——支撑下端梁柱节点域长度；

L_{m2} ——支撑下端节点板长度。

$$A_e = A_1 / \lambda_1 \quad (\text{A.2.4-1})$$

$$A_0 = A_e / \lambda_2 \quad (\text{A.2.4-2})$$

式中： A_e ——支撑长度 L_e 段对应的等效截面积；

A_1 ——核心单元耗能段的截面面积；

λ_1 ——考虑核心单元过渡段和连接段刚度影响的折算系数，可根据核心单元过渡段和连接段的轴向刚度计算，一般在0.85~0.99之间；

A_0 ——计算模型中的构件轴线交点长度 L_0 段对应的等效面积；

λ_2 ——考虑节点板刚度和梁柱节点域刚度影响的折减系数，可按第A.2.5条

计算，一般在0.70~0.80之间。

A. 2. 5 屈曲约束支撑在弹性分析模型中采用等效弹性连接单元模拟时，其轴向刚度可按下式确定。

$$\frac{1}{k_0} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{k_n} \quad (\text{A.2.5})$$

式中： k_0 ——计算模型中的构件轴线交点长度 L_0 段对应的轴向刚度；

k_e ——支撑长度 L_e 段对应的轴向刚度；

k_m ——节点长度 L_m 段对应的轴向刚度；

k_n ——节点长度 L_n 段对应的轴向刚度。

A. 2. 6 混凝土框架-屈曲约束支撑结构构件的截面抗震验算，应按本规程有关规定执行。

A. 2. 7 当屈曲约束支撑采用V字形或人字形布置时，应计入拉压不平衡作用对横梁的不利影响。

A. 2. 8 屈曲约束支撑结构设计宜计入双向地震作用对屈曲约束支撑性能及稳定性的影响；当通过构造释放屈曲约束支撑平面外刚度约束后，屈曲约束支撑结构设计可仅计入单向地震作用对屈曲约束支撑性能及稳定性的影响。

A. 2. 9 混凝土框架-屈曲约束支撑结构的抗震等级同混凝土框架结构。与屈曲约束支撑相连的梁、柱、剪力墙等结构构件的构造要求宜适当提高。

A. 3 屈曲约束支撑的布置要求

A. 3. 1 屈曲约束支撑的布置应符合下列规定：

1 屈曲约束支撑的布置宜使结构在两个主轴方向动力特性相近、结构刚度和承载力分布对称、均匀。

2 屈曲约束支撑的布置宜增强结构的抗扭转性能。

3 屈曲约束支撑宜布置在结构相对变形较大的位置，并宜采取便于检查和替换的措施。

4 屈曲约束支撑宜上下连续布置，当受建筑方案影响无法连续布置时，宜在邻跨延续布置。采用邻跨布置的时候，其考虑水平力的有效传递。

5 屈曲约束支撑在地下室顶板以上各楼层均应布置，避免各层刚度突变，不应使结构出现薄弱层。当顶部楼层结构在地震作用下损伤较小时，也可在顶部楼层不设置屈曲约束支撑。

6 屈曲约束支撑可采取V字形、人字形或单斜杆等布置形式，不宜采取K字形、不应采取X形布置形式；当采用单斜杆布置形式时，宜在该楼层反向成对布置；屈曲约束支撑的水平夹角宜为30~60度。

8 屈曲约束支撑的平面位置，应便于检查、维护和替换，不易与砌体填充墙等分隔墙位于同一平面，支撑外皮与填充墙外皮的间隙净距不应小于10mm。

A.3.2 地下室顶板以下或地面以下可不设置屈曲约束支撑，但应符合以下规定：

1 有地下室的结构，地下室顶板应按嵌固部位采取抗震构造措施。延伸至地下室的子结构框架柱，其受力应考虑上部支撑的拉、压力作用。地下室宜布置抗震墙传递地震力。

2 无地下室且采用柱下独立基础、条形基础、筏板基础等浅基础的结构，计算模型中应包含地下部分框架。首层应设置地梁，延伸至地梁与基础间的子结构框架柱应采取加强措施，提高其抗剪承载力。独立基础应进行抗震验算，考虑支撑的拉、压力作用，不满足要求时应采取相应的措施。

3 无地下室且采用桩基础的结构，桩顶应设置连系梁，支撑底部节点的框架柱在承台内的锚固应考虑支撑在节点部位的拉力作用。桩基础应进行抗震验算，考虑支撑的拉、压力作用，不满足要求时应采取相应的措施。

4 子结构框架柱为型钢混凝土柱时，其型钢一般应埋入基础进行锚固。当地下室层数较多时，其型钢延伸位置可根据计算确定，但不应少于地下一层。

附录B 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的性能要求

B.1 一般规定

B.1.1 预期地震动水准下需保持正常使用的减震建筑，其非结构构件、建筑附属机电设备以及专门仪器设备应进行抗震设计。

B.1.2 设防地震时保持正常使用功能的建筑，各类非结构构件的抗震性能水准应满足表3.4.1-1和3.4.1-2的规定。

B.1.3 非结构构件的抗震验算，应符合下列规定：

1 各类减震结构均应按规定进行地震作用下的抗震变形和楼面绝对水平加速度验算。

2 I类、II类消能减震建筑应进行抗震承载力验算。

B.1.4 设防地震时保持正常使用功能的建筑，应根据其在地震作用下的层间位移角和楼面绝对水平加速度选择合适的位移敏感型建筑非结构构件、加速度敏感型建筑非结构构件以及附属机电设备、仪器设备，可按《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》（RISN-TG046-2023）进行选用。当所选用的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备不能适应建筑的层间位移角和楼面水平加速度时，应重新选择或对其采取专门措施。

B.1.5 设防地震时保持正常使用功能的建筑，建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的地震作用，应按照《非结构构件抗震设计规范》（JGJ 339-2015）中的等效侧力法或时程分析法计算，并应符合下列规定：

1 非结构构件自身重力产生的地震作用可采用等效侧力法计算。对支承于不

同楼层或防震缝两侧的非结构构件，除自身重力产生的地震作用外，尚应同时计入地震时支承点之间相对位移产生的作用效应。

2 采用时程分析法计算的减震结构，其非结构构件的计算，可采用弹性时程分析法。楼面加速度取时程分析结果，并计入非结构构件的功能系数、构件类别系数和状态系数。

B.1.6 设防地震时保持正常使用功能的建筑，建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备与结构主体的连接的抗震承载力，I类建筑应按式（B.1.6-1）进行验算、II类建筑应按式（B.1.6-2）进行验算：

$$S = \gamma_d S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Eh} \leq R_n / \gamma_{RE} \quad (\text{B.1.6-1})$$

$$S = S_{GE} + S_{Eh} \leq R_{kn} \quad (\text{B.1.6-2})$$

式中：S——与主体连接的构件内力组合设计值；

R_n ——非结构构件和连接的承载力设计值，摩擦力不得作为抵抗地震作用的抗力；

R_{kn} ——非结构构件和连接的承载力设计值，摩擦力不得作为抵抗地震作用的抗力；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，取1.0。

B.2 建筑非结构构件的性能要求

B.2.1 建筑主体结构中，幕墙、围护墙、隔墙、女儿墙、雨篷、商标牌、广告牌及其支架、顶篷支架、大型储物架等建筑非结构构件的安装部位，应根据受力情况采取加强措施，以承受由建筑非结构构件传递的地震作用。

B.2.2 存放重要物品的储物柜、货架等，应采取拉结等加强整体性措施，防止地震时发生倾倒。

B.2.3 建筑装饰构件的设计与构造应符合下列规定：

- 1 各类顶棚的构件及与楼板的连接条件，应能承受顶棚、悬挂重物和有关机电设备的自重和地震附加作用；其锚固的承载力应大于连接件的承载力。
- 2 悬挑构件或一端由柱支承的构件，应与主体结构可靠连接。
- 3 玻璃幕墙、预制墙板、附属于楼屋面的悬臂构件和大型储物架的抗震构造应符合抗震设防类别和烈度的要求。

B.3 建筑附属机电设备和功能性仪器设备的性能要求

- B.3.1** 建筑附属机电设备不应设置在可能致使其功能障碍或易发生二次灾害的部位；设防地震下需要连续工作的附属设备，应设置在建筑结构地震反应较小的部位。
- B.3.2** 建筑附属机电设备的基座或支架，以及相关连接件和锚固件应具有足够的刚度和强度，应能将设备承受的地震作用全部传递到主体结构上。
- B.3.3** 管道、电缆、通风管和设备的洞口位置，应减少对主要承重结构构件的削弱；洞口边缘应有加强措施。管道和设备与建筑结构的连接，应具有足够的变形能力，以满足相对位移的需要。
- B.3.4** 建筑结构中，用以固定建筑附属机电设备预埋件、锚固件的部位，应根据受力情况采取加强措施，以承受附属机电设备传给主体结构的地震作用。

附录C 位移敏感型建筑非结构构件

C.0.1 地震时保持正常使用功能建筑的位移敏感型建筑非结构 构件可按表C.0.1 选用。

表 C.0.1 位移敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

构件 类型	构造特征	层间位移角 容许值	适用的建筑类型
填充墙	轻钢龙骨石膏板，到顶， 上下端固定	1/200	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	轻钢龙骨石膏板，不到顶， 下端固定、上端侧向支撑	1/100	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	轻钢龙骨石膏板，到顶， 下端固定，上端滑槽	1/250	IA、IB、IC、ID、 IIA、IIB、IIC
	木龙骨石膏板，到顶， 上下端固定	1/500	IB、IC IIC
	砌体填充墙，柔性连接	1/400	IA、IB、IC IIB、IIC
	蒸压加气混凝土条板隔墙	1/200	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
楼梯	非滑动楼梯或滑动楼梯	1/200	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
隔墙 饰面	石膏板+墙纸（或瓷砖），不到顶， 下端固定、上端侧向支撑； 大理石或木饰面，不到顶， 下端固定、上端侧向支撑	1/210	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC
玻璃 幕墙	普通框架式单片玻璃幕墙	1/44	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	普通框架式幕墙，	1/75	IA、IB、IC、ID

	双层隔热型玻璃幕墙		IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃，厚度 6mm+13mm或6mm+6mm	1/38	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙、 单片夹胶钢化玻璃厚度6mm	1/90	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙、 单片非夹胶钢化玻璃厚度6mm	1/90	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃， 厚度 6mm+12mm	1/58	IA、IB、IC、ID IIA、IIB、IIC、IID
门窗	塑钢平开门窗	1/345	IA、IB、IC IIB、IIC

注： IA—满足I类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；

IB—满足I类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限值；

IC—满足I类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值；

ID—满足I类建筑中多层、高层钢结构的层间位移角限值；

IIA—满足II类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；

IIB—满足II类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限值；

IIC—满足II类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值；

IID—满足II类建筑中多层、高层钢结构的层间位移角限值。

附录D 加速度敏感型建筑非结构构件

D.0.1 地震时保持正常使用功能建筑的加速度敏感型建筑非结构构件可按表D.0.1选用。

表 D.0.1 加速度敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

构件类型	构造特征	水平加速度容许值	适用的建筑类型
吊顶	仅纵向支撑	0.56g	I、II
	纵向支撑与侧向支撑	1.09g	I、II

注： I—满足I类建筑楼面水平加速度限值；

II—满足II类建筑楼面水平加速度限值。

附录E 抗震性能化设计评价准则

E.0.1 结构抗震性能评价通过结构抗震性能水准评价准则进行，包括结构层次和构件层次。

E.0.2 构件层次的抗震性能水准评价，包括力控制模式的截面承载力验算、以及变形控制模式的构件变形或材料应变评价。力控制模式的构件或其弹性分量均应进行最小抗剪截面验算，并根据第4.5.3条进行校核。

E.0.3 变形控制模式的构件变形验算，可根据其损坏程度从小到大定义为无损坏、轻微损坏、轻度损坏、中度损坏、比较严重损坏和严重损坏等6个等级，并可按表E.0.3进行定义。

表 E.0.3 损坏等级与损坏程度的对应关系

损坏等级	损坏程度描述	力-变形特征描述
L1级	无损坏	构件未屈服或无明显塑性变形
L2级	轻微损坏	构件出现较轻微的塑性变形
L3级	轻度损坏	构件出现一定的塑性变形，并接近极限承载力
L4级	中度损坏	构件超过极限承载力，但承载力无明显退化
L5级	比较严重损坏	构件达到极限变形条件，但无显著的承载力退化
L6级	严重损坏	构件出现显著的承载力退化，并可能引起坍塌

E.0.4 变形控制模式的构件变形评价，其结构抗震性能水准评价准则可依据：

- 1 构件弹塑性位移角、塑性铰转角或曲率。
- 2 材料应变或材料损伤变量。

E.0.5 结构抗震性能目标应综合考虑地震烈度、抗震设防类别、场地条件、结构特殊性、建造费用、震后损失和修复难易程度等各项因素制定，并对关键构件、普通竖向构件、耗能构件分别提出震后性能状态要求。

结构抗震性能目标分为A、B、C、D 四个等级，结构抗震性能水准分为1、2、3、4、5五个级别。当进行抗震性能化设计时，不同结构抗震性能目标对应的最低抗震性能水准见表E.0.5。

表 E.0.5 结构抗震性能目标

性能目标 性能水准	A	B	C	D
多遇地震	1	1	1	1
设防地震	1	2	3	4
罕遇地震	2	3	4	5

E. 0. 6 消能减震结构性能水准可按表E.0.6执行。表中L1~L6表示构件层次的损坏等级，具体详见《建筑结构抗震性能化设计标准》CECA 20024的相关规定。

表 E.0.6 消能减震结构性能水准

宏观损坏程度	损坏部位描述				继续使用的可能性
	关键构件	普通竖向构件 重要水平构件	普通水平构件	消能部件	
水准 1 完好 无损坏	无损坏 (L1)	无损坏 (L1)	无损坏 (L1)	无损坏 (L1)	不需要修理即可继续使用。
水准 2 基本完好 轻微损坏	无损坏 (L1)	无损坏 (L1)	轻微损坏 (L2)	无损坏 (L1)	不需要修理或简单修理仍可使用。
水准 3 轻度损坏	轻微损坏 (L2)	轻微损坏 (L2)	轻度损坏、 部分中度损坏 (L3~L4)	无损坏 (L1)	简单修理后可继续使用， 检修消能部件。

水准 4 中度损坏	轻度 损坏 (L3)	部分构件 中度损坏 (L3~L4)	中度损坏、 部分比较严重损坏 (L4~L5)	无损坏 (L1)	适度修理或加固后可继续使用，位移相关型消能器应更换、速度相关型检查后确定是否更换。
水准 5 比较严重 损坏	中度 损坏 (L4)	部分构件比 较严重损坏 (L4~L5)	比较严重损坏， 部分构件严重损坏 (L5~L6)	轻微损坏 (L2)	需排险大修。

注： 1 简单修理，即建筑修复费用与建造成本的比值小于5%且修复时间小于7d；适度修理，即建筑修复费用与建造成本的比值小于10%且修复时间小于30d。

2 个别指5%以下，部分指30%以下，多数指50%以上。

附录F 不同地震水准作用下结构设计参数

F.0.1 有关多遇地震、设防地震和罕遇地震下的设计参数，可按表F.0.1执行。

表 F.0.1 不同地震水准下弹性或等效弹性设计的参数要求

项 目		小震	中震/大震		
		弹性设计	弹性设计	不屈服验算	极限承载力验算
结构 参数	周期折减	考虑	适当考虑	不考虑	不考虑
	构件刚度折减	考虑 ^①	考虑 ^①	考虑 ^①	考虑 ^①
	附加阻尼比	无	适当考虑 ^②	适当考虑 ^②	适当考虑 ^②
内力 调整	楼层剪力调整	考虑	不考虑	不考虑	不考虑
	构件内力调整	考虑	不考虑	不考虑	不考虑
	抗震承载力调整系数	考虑	考虑	不考虑	不考虑
荷载 参与 组合	竖向荷载	考虑	考虑	考虑	考虑
	风等其他载作用	考虑	不考虑	不考虑	不考虑
	结构重要性系数	不考虑	不考虑	不考虑	不考虑
	荷载分项 系数	基本组合 (竖向 荷载1.3, 地震1.4)	基本组合 (竖向 荷载1.3, 地震1.4)	标准组合 (竖向 荷载1.0, 地震1.0)	标准组合 (竖向 荷载1.0, 地震1.0)
材料强度		设计值	设计值	屈服强度的 标准值	最小极限 强度

注：1 小震设计时，一般指考虑连梁刚度折减。中震和大震设计时一般可根据各构件的开裂、钢筋屈服甚至塑性变形等情况综合考虑构件刚度折减。

2 小震设计时，结构无塑性耗能，其他因非结构构件或地基变形等引起的耗能及阻尼比已在结构阻尼比中考虑。中/大震设计时，当采用弹性或等效弹性分析时，可根据可能的结构耗能情况折算计入附加阻尼比，非结构构件或地基变形等耗能一般不再计入可能增加的附加阻尼比；采用弹塑性分析时，结构塑性耗能已按塑性应变能的方式计入，不再计入附加阻尼比。

3 非地震作用控制的荷载工况，结构重要性系数取值应满足《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068的相关规定。

附录G 金属屈服型消能器与屈曲约束支撑性能参数取值

G.0.1 金属屈服型消能器与屈曲约束支撑的力学性能测试参数取值宜采用图解法。所测力学参数应满足本标准第6.2、6.3节相关性能要求。

G.0.2 金属屈服型消能器与屈曲约束支撑的力学行为可选用的双线性本构模型描述。选用双线性本构模型描述时力学性能参数确定规则如下：

1 弹性刚度

取出设计位移 D_d 加载下阻尼力与相对位移曲线的第3圈数据；以相对位移为横坐标，阻尼力为纵坐标，绘制滞回曲线图，见图 G.0.2-1。首先找出第1象限右上角正向卸载开始角点附近位移较大点的坐标 (D_d^+, F_D^+) ，获取上第1象限力在 $0.2F_D^+ \sim 0.8F_D^+$ 滞回曲线数据点；再找出第3象限左下角反向卸载开始角点附近位移较大点坐标 (D_d^-, F_D^-) ，获取第3象限力在 $0.2F_D^- \sim 0.8F_D^-$ 数据点。

对第1象限力在 $0.2F_D^+ \sim 0.8F_D^+$ 滞回曲线数据点线性拟合，确定拟合所得斜率，为正向卸载刚度 K_1^+ ；对第3象限力在 $0.2F_D^- \sim 0.8F_D^-$ 数据点线性拟合，确定拟合所得斜率，为反向卸载刚度 K_1^- ；取 K_1^+ 、 K_1^- 中的较小值为测试弹性刚度 K_1 。

$$K_1 = \min (K_1^+, K_1^-)$$

(G.0.2-1)

设计位移加载第3圈

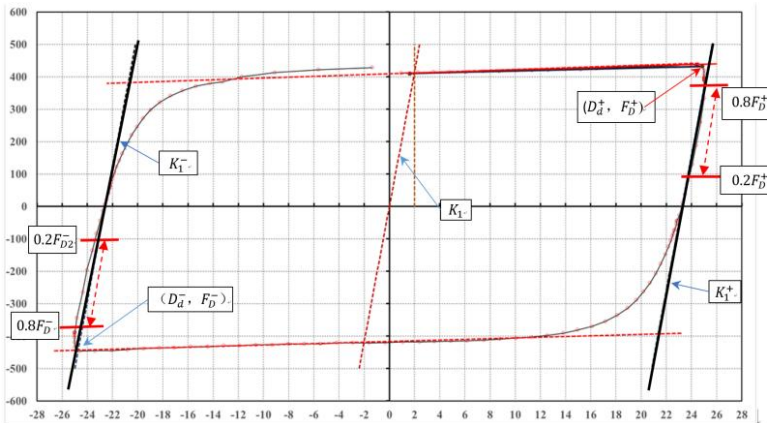


图 G.0.2-1 初始刚度的确定

注： F_D^+ 为正向设计承载力； D_d^+ 为正向设计位移； F_D^- 为反向设计承载力； D_d^- 为反向设计位移； K_1^+ 为正向卸载刚度、 K_1^- 为反向卸载刚度； K_1 为弹性刚度。

2 屈服力、屈服位移

取出0.2 D_d 位移加载下阻尼器阻尼力与相对位移曲线的第3圈数据；以相对位移为横坐标，阻尼力为竖坐标，绘制滞回曲线图，见图 G.0.2-2。过原点作斜率为 K_1 的斜线，取该斜线与滞回曲线相交点坐标为(D_{y1}^+ , F_{y1}^+)、(D_{y1}^- , F_{y1}^-)。按式（G.0.2-2）取试件测试屈服力 F_{y1} ，按式（G.0.2-3）取试件测试屈服位移 D_{y1} 。

$F_{y1} = (F_{y1}^+ + F_{y1}^-) / 2$	(G.0.2-2)
$D_{y1} = F_{y1} / K_1$	(G.0.2-3)

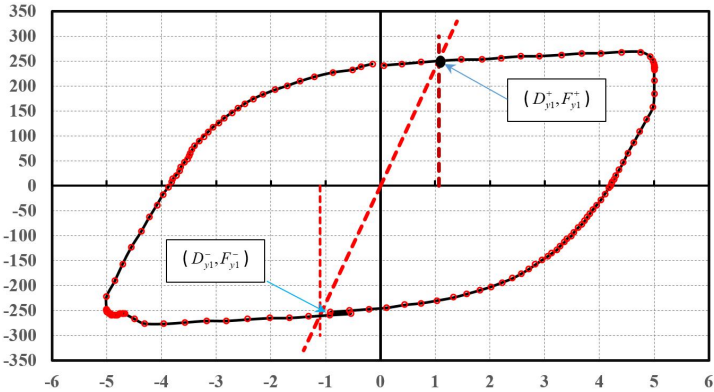


图 G.0.2-2 屈服力、屈服位移的确定

注： F_{y1}^+ 为正向屈服力； D_{y1}^+ 为正向屈服位移； F_{y1}^- 为反向屈服力； D_{y1}^- 为反向屈服位移。

3 屈服后刚度

按式（G.0.2-4）取试件测试正向屈服后刚度 K_{h2}^+ ；按式（G.0.2-5）取试件测试反向屈服后刚度 K_{h2}^- ；取 K_{h2}^+ 、 K_{h2}^- 两者的平均值为测试屈服后刚度。

$K_{h2}^+ = \frac{F_D^+ - F_{y1}^+}{D_d^+ - D_{y1}^+}$	(G.0.2-4)
$K_{h2}^- = \frac{F_D^- - F_{y1}^-}{D_d^- - D_{y1}^-}$	(G.0.2-5)
$K_{h2} = \frac{K_{h2}^+ + K_{h2}^-}{2}$	(G.0.2-6)

附录H 摩擦消能器性能参数取值方式

H.0.1 摩擦消能器的力学性能测试参数取值宜采用图解法。所测力学参数应满足本标准第6.4节相关性能要求。

H.0.2 摩擦消能器的力学行为采用的理想弹塑性模型描述,根据设计位移 D_d 下连续加载3个循环得到滞回曲线,取出阻尼力与相对位移曲线的第3圈数据;以相对位移为横坐标,阻尼力为竖坐标,绘制滞回曲线图(图H.0.2),结合滞回曲线,消能器的力学性能参数确定规则:

- 1 将开始加载到消能器阻尼力出现下降时对应的阻尼力确定为起滑阻尼力 F_{s1} 。
- 2 将滞回曲线第二圈位移为零对应的荷载 F_{s2}^+ 、 F_{s2}^- 两者平均值为摩擦荷载 F_{s2} 。
- 3 对第1象初始加载阶段力在 $0.2F_{s1} \sim 0.8F_{s1}$ 滞回曲线数据点线性拟合,确定拟合所得斜率,为正向初始刚度 K_0 ;对第1象限卸载阶段力在 $0.2F_{s2}^+ \sim 0.8F_{s2}^+$ 滞回曲线数据点线性拟合,确定拟合所得斜率,为正向卸载刚度 K_1^+ ;对第3象限力在 $0.2F_{s2}^- \sim 0.8F_{s2}^-$ 数据点线性拟合,确定拟合所得斜率,为正向卸载刚度 K_1^- ;取 K_0 、 K_1^+ 、 K_1^- 中的较小值为测试弹性刚度。

$K_1 = \min(K_0, K_1^+, K_1^-)$	(H.0 .2)
---------------------------------	-------------

- 4 起滑阻尼力 F_{s1} 与弹性刚度 K_1 的比值定义为起滑位移。

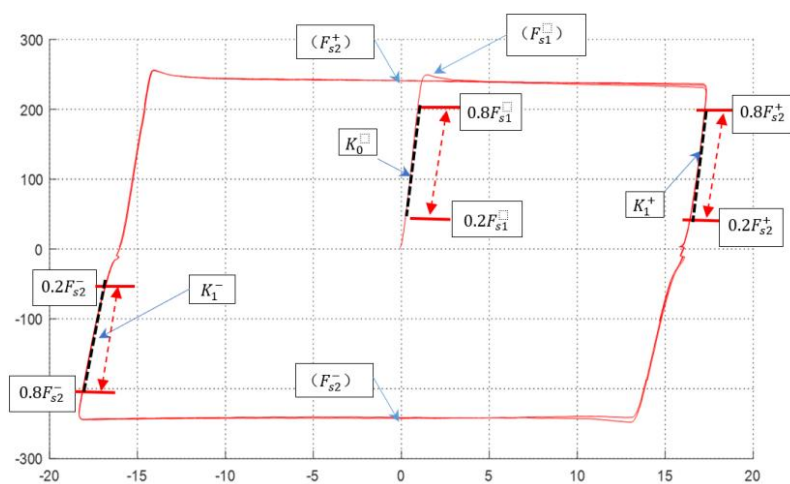


图 H.0.2 摩擦消能器力学性能参数的确定

注： F_{s1} 为起滑阻尼力； F_{s2}^+ 为正向摩擦荷载、 F_{s2}^- 为反向摩擦荷载； K_1^+ 为正向卸载刚度、 K_1^- 为反向卸载刚度； K_0 为正向初始刚度。

附录 J 消能器检验项目要求

J.0.1 消能器检验项目要求应按表J.0.1进行。

表 J.0.1 消能器检验项目

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

续表 J.0.1-1 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
摩擦 消能器	基本力学性能	起始阻尼力	√	√	√
		起滑位移	√	√	√
		摩擦荷载	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
		起始阻尼力与 摩擦荷载偏差	√	√	√
	疲劳性能	摩擦荷载	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	老化性能	摩擦荷载	√	×	×
		外观	√	×	×
黏滞 消能器	基本力学性能	最大阻尼力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		极限速度	√	√	√
		阻尼系数	√	√	√
		阻尼指数	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√

续表 J.0.1-2 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
黏滞消能器	频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×
黏弹性消能器	基本力学性能	最大阻尼力	√	√	√
		阻尼系数	√	√	√
		阻尼指数	√	√	√
		刚度	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	极限性能	极限应变	√	×	×
	疲劳性能	阻尼系数、阻尼指数、最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	老化性能	阻尼系数、阻尼指数、最大阻尼力	√	×	×
		变形	√	×	×
		外观	√	×	×
	频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×

辽宁省地方标准

建筑消能减震应用技术规程
Application technical specification for
seismic energy dissipation of buildings

征求意见稿
条文说明

目 次

1 总则	82
3 基本规定	83
3.1 一般要求	83
3.2 地震作用	83
3.3 结构分析	84
3.5 层间变形和楼面水平加速度	85
3.7 场地、地基和基础	85
4 消能减震结构设计	87
4.1 一般规定	87
4.2 消能部件布置原则	87
4.3 消能部件设计及附加阻尼比计算	88
4.4 主体结构设计	88
4.5 消能子结构设计	89
4.6 抗震措施	89
5 消能部件与结构的连接构造	91
5.1 一般规定	91
5.2 连接形式	91
5.3 连接元件与节点板	91
5.4 预埋件	93
6 消能器的技术性能	95
6.1 一般规定	95
6.2 金属屈服型消能器	96
6.4 摩擦消能器	96
6.5 黏滞消能器	96
6.7 复合型消能器	97
6.8 产品检验与力学性能参数确定	97
7 消能部件的施工、验收和维护	98
7.3 消能部件的施工安装顺序	98
附录A 混凝土框架-屈曲约束支撑结构	99
A.1 一般规定	99
A.2 结构设计	99
A.3 屈曲约束支撑的布置要求	100

1 总则

1.0.1 随着我国国民经济和城市化水平的发展，我国对建筑的防震减灾能力提出了更高的要求，《建设工程抗震管理条例》第十六条明确提出：“位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。”本规程的编制对于贯彻执行《建设工程抗震管理条例》，明确具体要求、落实控制技术指标，具有重要的工程意义。

确定消能减震结构设计方案时，宜综合考虑抗震设防目标、抗震设防烈度、场地条件、使用功能等因素，对不同减震设计方案及传统抗震设计方案进行技术、经济的综合比较分析，确定最优消能减震技术方案，体现消能减震结构设计在提高结构抗震性能和经济性上的优势。

3 基本规定

3.1 一般要求

3.1.1 I类建筑确定原则为在地震发生时和发生后建筑损坏将产生严重次生灾害或严重影响抗震救灾的建筑，II类建筑确定原则为用于保护弱势群体的建筑及某些人员密集建筑，综合考虑震后影响，本规程规定I类建筑的抗震性能目标高于II类建筑。对于包含多个使用功能的建筑，其分类应由设计人员根据实际工程情况确定。

3.1.4 消能器的选择包括消能器类型和规格的选择。在概念设计阶段，消能器类型的选择应综合考虑结构类型、周围环境、设防目标、消能器耗能机理、价格及安装、施工、维修费用等因素。

金属消能器、摩擦消能器和黏弹性消能器能为主体结构提供附加刚度和附加阻尼，黏滞消能器只能为主体结构提供附加阻尼。为此，当结构只需要提供附加阻尼时，可考虑采用黏滞消能器；结构需要提供附加刚度和附加阻尼时，可考虑采用金属消能器、摩擦消能器和黏弹性消能器；当结构侧向刚度较弱时，可考虑采用 BRB 提升抗侧刚度、分担地震剪力，设定 BRB 先于主体结构屈服，利用 BRB 屈服耗能，减少主体结构损伤。

辽宁省处于寒冷地区、冬季平均气温多在 -10°C 至 -20°C ，如果消能器所处环境的温度变化较大，冬季处于寒冷环境，宜选择金属消能器和摩擦消能器，因为黏弹性消能器和黏滞消能器的耗能能力受温度影响较大，金属消能器芯材应满足低温下冲击韧性需求，摩擦消能器摩擦材料在低温下应满足可靠的性能。

3.2 地震作用

3.2.1~3.2.3 消能减震结构的水平地震作用计算考虑消能器的附加阻尼和附加刚度的影响。竖向地震作用计算和普通结构基本相同。作用效应组合和现行国家

标准一致。

正确选择输入的地震加速度时程曲线，要满足地震动三要素的要求，即频谱特性、有效峰值和持续时间均要符合规定。考虑地震的频谱特性的随机性，选取的地震波不宜为同一次地震不同测点或者同一台站的强震记录。

速度相关型粘滞阻尼器的阻尼出力与结构地震剪力的响应存在相位差。因此，在可能遭受脉冲地震动影响的近场区域，应慎重选择粘滞阻尼器作为消能减震装置。

3.3 结构分析

3.3.1 ~3.3.4 不同水准地震作用下，可根据主体结构和消能器所处的状态选择适合的分析方法，可按表 3.3.1 选取。

表 3.3.1 I 类、II 类建筑不同地震水准下建议分析方法

分析项	设防地震	罕遇地震
附加阻尼比 消能器等效刚度 加速度	结构构件指定为弹性、 消能器指定为非线性的 弹塑性时程分析方法	结构构件与消能器均 指定为非线性的 弹塑性时程分析方法
构件承载力	位移型消能器采用等效刚度、 振型阻尼考虑消能器附加阻尼的 振型分解反应谱法	
位移角	位移型消能器采用等效刚度、 振型阻尼考虑消能器附加阻尼的 振型分解反应谱法	

表 3.3.2 III 类建筑不同地震水准下建议分析方法

分析项	多遇地震	罕遇地震
附加阻尼比 消能器等效刚度	结构构件指定为弹性、 消能器指定为非线性的 弹塑性时程分析方法	结构构件与消能器均 指定为非线性的 弹塑性时程分析方法

构件承载力	位移型消能器采用等效刚度、 振型阻尼考虑消能器附加阻尼的 振型分解反应谱法	
位移角	位移型消能器采用等效刚度、 振型阻尼考虑消能器附加阻尼的 振型分解反应谱法	

3.3.5 消能器分析模型参数宜采用足尺试验来确定，通过足尺试验可对消能器结构构造、构件的相互作用，结构破坏阶段的实际工作情况及消能器在不同位移或速度下的力学性能进行全面的了解。虽然足尺试验能较好地反应消能器的实际性能，但试验受到多方面的制约，如实验室规模、试验设备的能力和试验费用等且随着消能器加工和制作技术的不断发展，消能器的最大阻尼力及速度相关型消能器最大速度都有很大提高，如屈曲约束支撑最大阻尼力会超过 1000t，现有的试验设备很难满足足尺试验的要求。为此，对于消能器性能参数超过现有检测机构试验设备要求时，可采用缩尺模型试验确定分析模型参数，但实际消能器的性能参数应考虑尺寸效应影响。

3.5 层间变形和楼面水平加速度

3.5.2 楼面水平加速度应采用时程分析法，对于每组时程结果，地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面水平加速度可取结构各层质心处楼面绝对水平加速度响应时程的最大值。

3.7 场地、地基和基础

3.7.3 地震时保持正常使用功能建筑地基基础的设计和抗震验算，应按照设防地震作用进行验算。地基的抗震验算应采用地震作用效应的标准组合和地基承载力极限值进行，地基承载力极限值可取 2 倍地基承载力特征值。浅基础底部的零应

力区不应大于 25%，深基础应确保抗拔稳定。基础设计正截面承载力应满足不屈服验算，斜截面应满足弹性设计标准。

4 消能减震结构设计

4.1 一般规定

4.1.2 双侧无楼板的楼电梯间，不应布置消能装置。阻尼出力较大的消能器应验算相连楼板的面内承载力。

4.2 消能部件布置原则

4.2.1 由于抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连续，合理的抗震结构能使结构抗震分析更加符合结构在地震时的实际表现，提高结构的抗震性能，是结构选型与布置结构抗侧力体系时首要考虑因素之一，因此，消能部件的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。

消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特性相近或竖向方向刚度均匀为原则；对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。当结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置，也可以只在较弱的一个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。对于结构竖向存在薄弱层可优先在薄弱层布置，然后再考虑沿竖向每层或隔层或跨层布置。

消能减震结构楼层中消能器的布置数量不能无限增加，当布置的消能器的数量较多时，消能器的最大阻尼力之和较大，使得该楼层的层剪力产生突变。

为保证消能器在地震作用下正常发挥工作，消能部件与非结构构件之间柔性连接需满足消能器罕遇地震作用下的工作极限位移。

4.2.2 消能部件为调整结构薄弱部位、改善构件延性或提高结构性能时，消能器

附加阻尼比可不受限制。

4.3 消能部件设计及附加阻尼比计算

4.3.1 C_d 为黏滞阻尼器或黏滞阻尼墙的非线性等效为线性的阻尼系数，通过耗能等效的原理进行换算，换算公式来自于日本的论文。

4.3.2 考虑消能器在检测时容许有10%~15%的性能偏差，同时施工中不可避免地存在位置偏差、间隙等缺陷，为保证主体结构设计采用的附加阻尼比留有安全储备，对计算的有效附加阻尼比进行折减。

方法1（应变能法）：确定结构等效阻尼比是基于单自由度体系稳态简谐振动得到的，而工程结构地震作用下是多自由度体系的非简谐振动，其理论基础与实际情况有一定的出入，这种方法得到的等效阻尼比将高估阻尼器的实际作用，故该法得到的等效阻尼比应进行更多的折减。

方法2（能量时程对比法）：基于结构各部分的耗能与其自身的阻尼呈线性关系，根据结构固有阻尼比、结构固有阻尼比对应的耗能和消能器总耗能，推算消能器附加给结构的阻尼比。该法较精确模拟消能器非线性特征，由此得到的消能减震结构等效阻尼相对较为准确，故折减比方法1相对较少。

4.3.4 显式FNA方法，可以提高计算效率，当结构为弹性或弱非线性时可以采用该方法，消能器进入工作状态后处于强非线性，显式FNA方法计算误差增大，故建议采用逐步积分法进行非线性时程分析。

4.4 主体结构设计

4.4.1 ~4.4.4 消能减震结构的抗震性能化设计，应根据实际需要确定不同的性能目标和水准，以达到预期的设计要求。

4.5 消能子结构设计

4.5.1 本条明确了消能子结构的范围。

4.6 抗震措施

4.6.2 在消能减震结构中，地震剪力响应的降低幅度通常不大，但是，部分的地震剪力是由消能器来承担与消散的，主结构分配的地震剪力往往有所降低，因此，位移型消能减震结构也可将主结构与子结构分开设定抗震构造措施等级。针对风荷载控制的高层建筑在罕遇地震作用下的位移较小，但这是结构充沛的刚度所致，不是消能装置带来的改善，按位移来评估消能结构耐震性能无法区分上述的差别。而结构损坏程度的判别是基于构件残余承载力与延性变形能力的综合表现，体现了滞回能耗散与抗震构造措施的内在联系，要优于单独按照楼层地震剪力或者位移响应来评价和调整的方法。

综上，本标准采用了《建筑结构抗震性能化设计标准》（CECA 20024-2022）中的抗震构造措施的调整方法。满足以下原则要求时，构件的抗震构造措施可适当降低：罕遇地震下的构件承载力有一定的富余而未出现塑性；对于变形控制的耗能构件，罕遇地震下的最大变形小于预期的性能目标要求。

以新建的II类建筑为例，在罕遇地震作用下，主结构的宏观损坏程度不高于中度损坏（水准4）。当设置消能减震装置后，性能目标达到轻微损坏（水准2）时，允许降低一级抗震构造措施（相当于水准3），但不应低于三级。

同理，以改造的II类建筑为例，在罕遇地震作用下，原结构为丙类设防，宏观损坏程度为比较严重损坏（水准5）。当设置消能减震装置后，性能目标达到轻度损坏（水准3）时，允许不再提高抗震构造措施，但不应低于三级。

为了区分“减震”与“抗震”结构的不同，按照本条款调整抗震构造措施等级的效能减震结构，在罕遇地震作用下，位移型消能器及其子结构承担的楼层剪

力不应低于30%，其它类型消能器附加的阻尼比不应小于5%。

另一种方法是采用能量对比法，采用相同的弹塑性模型、相同的时程分析程序、相同的地震波，分别开展有控模型在设防烈度下的罕遇地震弹塑性时程分析(模型A)，和无控模型在低一度设防烈度下的罕遇地震弹塑性时程分析(模型B)。提取主结构吸收的塑性滞回能做对比，模型A滞回能大于模型B的，结构抗震构造措施不调整；模型A滞回能小于模型B的，结构抗震构造措施可按降低一度来确定。该方法采用对比的方式，回避了损伤等级与抗震等级是否是一一对应的量化难题；采用相同的地震波回避了地震波特性对时程分析结果的影响难题；并且采用有控与无控模型的对比来评估消能减震效果，可以直观区分“减震”与“抗震”结构的不同。缺点是设计过程较为繁琐，可供工程参考。

5 消能部件与结构的连接构造

5.1 一般规定

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

消能部件及其与结构构件相连的节点不发生侧向失稳或破坏，以保证消能器正常工作。

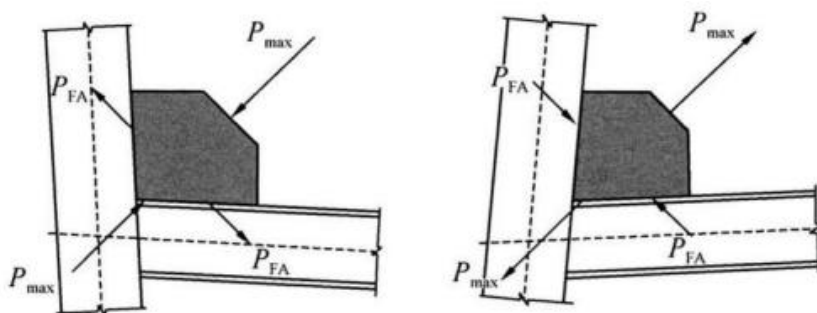
5.2 连接形式

5.2.1~5.2.5 消能器与主体结构的连接形式应考虑结构的合理性与建筑的适用性，宜采用连接刚度较好的连接形式，充分发挥消能器耗能作用。分析模型应能考虑连接部件的影响。

5.3 连接元件与节点板

5.3.4 对位于梁柱节点位置的屈曲约束支撑角部节点，由于节点板相当于梁柱节点间的加劲肋，因此在框架发生侧移过程中，其会受到框架梁柱弯曲变形引起的开合效应作用从而在节点板中产生附加内力，若忽略该内力，可能会导致节点板的焊缝设计偏于不安全。

对于采用耗能型屈曲约束支撑的钢框架结构，当屈曲约束支撑承担子结构的承载力过高，当子结构发生水平位移时节点处会产生开合效应，会对节点板的受力特性产生影响，如图5.3.4-1所示，因此需要考虑梁柱开合效应时的角部节点板焊缝受力。



(a) 斜撑受压而节点板受面内拉力 (b) 斜撑受拉而节点板受面内拉力

图 5.3.4-1 梁柱开合效应示意

节点板采用等效拉压杆来估算节点板在梁柱开合效应下所受到的力。等效拉压杆的两端分别位于自柱面及梁面算起的节点板长度（ L_h ）与高度（ L_v ）的3/5处（图5.3.4-2）。

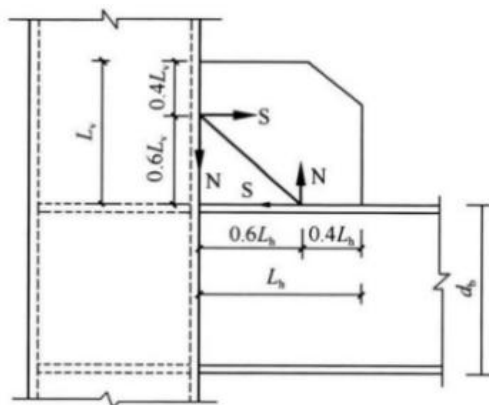


图 5.3.4-2 考虑梁柱开合效应的节点板附加内力计算示意

由梁柱开合效应引起的节点板附加内力根据下式计算：

$$S = \frac{d_b L_h V_{beam} (0.3 L_{beam} - 0.18 L_h)}{4 I_b / t_g + d_b l_h (0.3 d_b + 0.18 L_v)} \quad (5.3.4.1)$$

$$N = \frac{d_b L_v V_{beam} (0.3 L_{beam} - 0.18 L_h)}{4 I_b / t_g + d_b l_h (0.3 d_b + 0.18 L_v)} \quad (5.3.4.2)$$

式中： V_{beam} ——梁产生塑性弯矩所对应的梁剪力（N）；

L_{beam} ——梁跨扣除两侧柱宽与节点板长度后的净长度（mm）；

d_b ——梁的高度（mm）；

I_b ——梁截面强轴的惯性矩（mm⁴）；

t_g ——节点板的厚度（mm）；

L_h ——节点板水平方向的长度（mm）；

L_v ——节点板竖直方向的长度（mm）。

与此同时，实际工程中宜增加边肋构造以降低开合效应对此类节点的不利影响，且边肋与梁柱之间应具有可靠饱满的连接焊缝，此时开合效应将不起控制作用，在验算该类节点焊缝承载力时可忽略开合效应的影响，仅按照支撑力进行单独设计。

节点板与梁柱交界面处的荷载包括BRB作用和框架作用，在进行二者叠加时，考虑屈曲约束支撑受压与受拉性能的差异，分为两种情况，如图5.3.4-3所示。图中 N_b 、 Q_b 、 N_c 、 Q_c 是以屈曲约束支撑受压承载力 $P_{max, c}$ 作为荷载条件，利用泛应力法计算所得的屈曲约束支撑作用结果； N_g 、 Q_g 为框架作用计算结果； β_0 为屈曲约束支撑受压承载力与受拉承载力的比值。

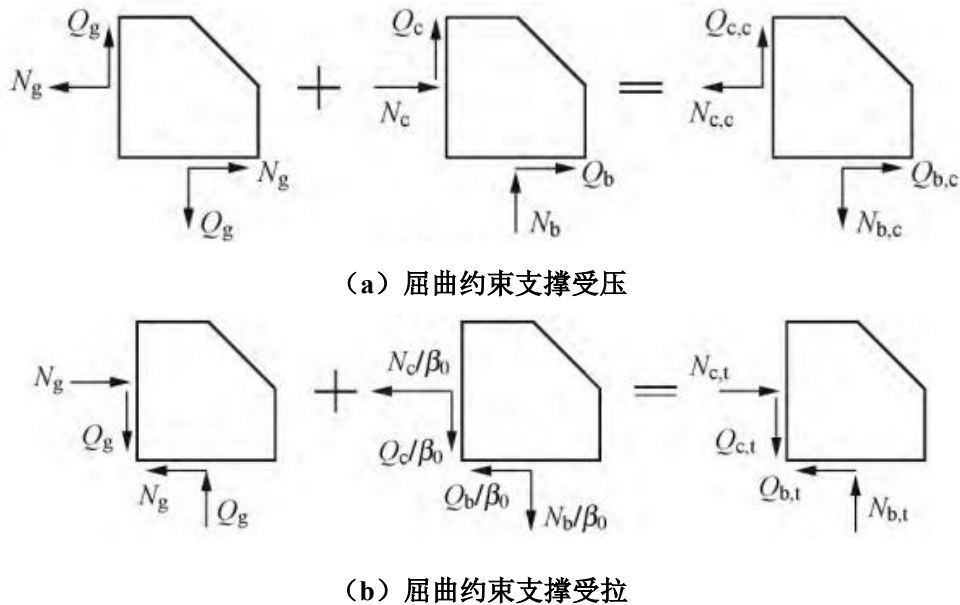


图 5.3.4-3 节点板与梁柱交界面荷载计算简图

5.4 预埋件

5.4.2 节点板与混凝土框架的连接预埋件设计至关重要，如果设计不合理会严重影响消能器在地震作用下的正常工作。采用传统锚筋和锚板的方式经济性较好且施工方便，但如果阻尼力太大，尤其是抗侧刚度大的屈曲约束支撑，会造成埋板

尺寸过大，使锚筋和锚板不能充分发挥作用。屈曲约束支撑承载力较大时，与之相连的混凝土框架梁柱受力宜很大，为可靠的传递地震力，混凝土框架梁柱宜局部或通长配置型钢。

6 消能器的技术性能

6.1 一般规定

6.1.1 国内外众多学者对黏弹性消能器和黏滞消能器进行了试验研究，得出了影响其耗能性能的主要因素是温度、频率和应变幅值。低温环境下钢材容易发生低温脆断，影响位移相关型消能器如金属消能器的性能。

6.1.2 国内外众多学者对黏弹性消能器和黏滞消能器进行了试验研究，得出了影响其耗能性能的主要因素是温度、频率和应变幅值。而影响位移相关型消能器如金属消能器、摩擦消能器等的耐久性影响主要包括腐蚀、磨耗及钢材在高温下的软化和低温下的脆性断裂等。摩擦消能器中的金属摩擦材料虽强度高，不易破裂，但经过多次反复滑动后摩擦系数下降快，胶合趋势增大。为此，消能器的耗能性能很大程度上受温度、徐变、腐蚀、紫外线照射等因素的影响，要求在设计及使用消能器时应考虑到其所处的工作环境因素，必要时须采取特殊的措施消除环境因素的影响。

6.1.5 建筑物使用年限是设计规定在既定的时间内，建筑只需进行正常的维护而不需进行大修就能按预期目的使用，完成预定的功能，即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限。消能减震结构设计中，消能器的设计至关重要，消能器一旦失效，不仅原有减震设计目标很难达到，而且在地震作用下还可能产生负面效果，如结构刚度的改变、周期改变、加大地震作用，引起破坏等。

目前，还无法对地震的发生做出合理的预测，无法判断其发生的时间、地点和强度。消能器作为结构中消耗地震能量的主要构件之一，设计使用年限内应时刻处

于有效工作状态，从而保证地震作用时起到减震作用。至今消能减震技术在实际结构中应用的时间还没有超过现有规范规定的建筑物使用年限，无法对每类消能器实际使用年限范围内的可靠性作出明确限定，只能通过试验推算消能器的使用年限。为此，每类消能器出厂前应由具有资质的第三方进行型式检验，并给出详细的型式检验报告，明确消能器使用年限。为了保证消能减震结构在使用年限内的安全性消能器必须和建筑具有相同的使用年限，不满足建筑设计使用年限要求时，则在消能器达到其使用年限之前应进行重新检测，确定消能器新的使用年限，当不能满足原有设计要求时应进行更换。

6.2 金属屈服型消能器

6.2.1~6.2.2 金属屈服型消能器一般由不同金属（软钢、铅等）材料制成，利用金属材料屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散外界荷载输入能量。金属屈服型消能器从受力形式上可分为剪切型、挤压型、弯曲型等。金属消能器一般需要采用精加工制作成型，在加工过程中如果出现明显的缺陷或机械损伤等，将会导致消能器出现应力集中等问题，不利于消能器发挥良好的耗能效果。

6.4 摩擦消能器

6.4.2 摩擦消能器一般由钢元件或构件、摩擦片和预压螺栓等组成，在地震作用下，钢元件或构件之间发生相对位移产生摩擦做功而耗散能量。由于预压螺栓的预压力在长期作用时会产生松弛，施加的预压力应大于设计值；另一方面，在长期预压力作用下钢元件或构件间、钢元件或构件与摩擦片之间会产生冷粘结或冷凝固，因此，为保证消能器的性能稳定，预压螺栓的预压力不应超过设计值的10%。

6.5 黏滞消能器

6.5.1 应用较为广泛的黏滞消能器主要包含两种类型：一种为带有内压的密封圆

筒式；另一种为无内压的开口墙式。前者通常称为黏滞阻尼器，一般是由钢材制作的缸体和活塞、黏滞流体等部分组成，两端通常采用销轴与连接件连接。后者通常称为黏滞阻尼墙，一般由钢板制作而成的箱体、滑移钢板、黏滞材料等组成，两端采用焊接或螺栓锚固方式与连接件连接。二者均是利用黏滞材料运动时产生黏滞阻尼力来耗散能量的减震装置，其力学性能受黏滞材料和加载频率的影响大，需要对材料和不同频率的加载情况进行限定。

6.7 复合型消能器

6.7.1~6.7.2 复合型消能器是利用二种以上的消能原理或机制进行耗能的消能器，同时具有位移相关型消能器和速度相关型消能器的性能特征，但有可能位移相关型消能器的特征比较明显，有时可能速度相关型消能器的特征比较明显，因此，对其性能的要求要根据其组合的消能机理或机制具体确定。

6.8 产品检验与力学性能参数确定

6.8.4 构造形式和材料相同且屈服承载力在50%至150%范围内的金属屈服型消能器、屈曲约束支撑可划分为同一类型同一规格；构造形式和材料相同且摩擦承载在50%至150%范围内的摩擦消能器可划分为同一类型同一规格；构造形式、材料、阻尼系数和阻尼指数相同且最大阻尼力在50%至150%范围内的黏滞消能器可划分为同一类型同一规格。

7 消能部件的施工、验收和维护

7.3 消能部件的施工安装顺序

7.3.4 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《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；对结构竖向变形差敏感的消能构件，应采取释放竖向荷载措施，待竖向变形稳定后方可终固；

3 进行钢构件的涂装和内外墙板施工。

附录A 混凝土框架-屈曲约束支撑结构

A.1 一般规定

A.1.1 屈曲约束支撑抗侧刚度较大，地震作用下屈曲约束支撑属于消能承载双功能构件，为此其结构设计具有特殊性。根据结构性能要求，屈曲约束支撑可设定为在特定地震作用下进入消能工作状态。屈曲约束支撑设定地震作用较小时进入消能状态，随着地震作用的增加，其分担的地震剪力减少，主体结构部分承担的地震剪力比例增加，屈曲约束支撑耗能作用增强，同时对其位移延性要求高。屈曲约束支撑设定为地震作用较大时进入消能状态，例如位移控制严格的混凝土框架结构，屈曲约束支撑在设防地震作用下保持弹性，其以分担地震剪力、控制构件屈服顺序为主，耗能作用为辅。而在地震作用较大时未能进入消能状态的承载型屈曲约束支撑，仅仅是解决支承构件的屈曲问题，没有耗能作用，不属于消能减震结构，应按普通钢支撑-混凝土框架结构设计。

屈曲约束支撑-混凝土框架结构，当屈曲约束支撑提供抗侧刚度较小时（ $< 50\%$ ），罕遇地震作用下，屈曲约束支撑屈服，分担地震剪力进一步减小，整体结构的性能更为接近混凝土框架，故高度限制同混凝土框架结构。

当屈曲约束支撑提供抗侧刚度较大时（ $\geq 50\%$ ），结构整体刚度增强，延性提高，其适用最大高度可取混凝土框架结构和混凝土框架-剪力墙结构二者适用最大高度的平均值。但屈曲约束支撑设定为地震作用较小时进入消能状态时，其整体刚度有所削弱，故最大适用高度有所限制。

A.2 结构设计

A.2.2 屈曲约束支撑在结构中作为第一道抗震防线，框架作为第二道防线，因此，

对框架部分所能承担的楼层剪力提出最低限值要求。

A. 2. 3 验算钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构的屈曲稳定，是按照表A.1.1提高最大适用刚度的必要前提。考虑钢筋混凝土开裂刚度的折减影响，整体屈曲特征值为20的时候，相当于二阶效应的比例为10%，整体屈曲特征值为10的时候，相当于二阶效应的比例为20%。

A. 2. 4 屈曲约束支撑在弹性分析模型中通长采用等效钢支撑单元模拟，或特殊指定支撑刚度、承载力属性等。等效钢支撑应根据芯材强度等确定合理匹配的刚度和承载力，避免出现耗能段过短等不利情况，影响延性。故根据工程经验给出建议方法。

A. 3 屈曲约束支撑的布置要求

A. 3. 2 对于无地下室的结构，应注意屈曲约束支撑引起的的内力在一层楼面的框架梁以下可靠传递。