

云南省工程建设地方标准

建筑消能减震应用技术规程

Technical Specification for Application of
Building Seismic Energy Dissipation

DBJ 53/T—125—2021

主编单位：昆明理工大学

震安科技股份有限公司

云南省设计院集团有限公司

批准单位：云南省住房和城乡建设厅

施行日期：2022年01月01日

云南出版集团

云南科技出版社

2021 昆明

云南省工程建设地方标准

建筑消能减震应用技术规程

Technical Specification for Application of
Building Seismic Energy Dissipation

DBJ 53/T—125—2021

*

云南出版集团

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

昆明理焯印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 4.5 字数: 110 千字

2022 年 1 月第 1 版 2022 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1~3000 册 定价: 38.00 元

统一书号: 175587 ·

版权所有 翻印必究

云南省住房和城乡建设厅文件

云建科〔2021〕168号

云南省住房和城乡建设厅关于 发布建筑消能减震应用技术规程的通知

各州、市住房和城乡建设局，滇中新区规划建设管理部，有关单位：

《建筑消能减震应用技术规程》已经省住房和城乡建设厅审查通过，现批准为云南省工程建设地方标准，编号为 DBJ53/T—125—2021，自 2022 年 1 月 1 日起实施。

本规程由省住房和城乡建设厅负责管理，昆明理工大学负责解释。



前 言

根据云南省住房和城乡建设厅《关于印发云南省 2018 年工程建设地方标准编制计划的通知》要求，规程编制组开展了专题调查和研究，总结了我国、我省近年来建筑工程应用消能减震技术的实践经验并借鉴现行的有关规范标准和相关技术资料，在广泛征求意见的基础上，制订了本规程。

本规程共有 9 章，主要内容有：总则，术语与符号，基本规定，地震作用与作用效应计算，消能减震结构设计，消能部件的连接与构造，消能器的技术性能，消能器的试验方法和检验规则，消能减震工程的施工、验收和维护等。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，由昆明理工大学、震安科技股份有限公司、云南省设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行本规程的过程中，请各单位结合工程实践，注意总结经验，收集资料，并将有关的意见和建议反馈给主编单位，以供修订时参考。

主编单位：昆明理工大学

震安科技股份有限公司

云南省设计院集团有限公司

参编单位：昆明恒基建设工程施工图审查中心

云南省建筑工程设计院有限公司

云南省地震工程研究院

云南省建设投资控股集团有限公司

昆明有色冶金设计研究院股份公司

昆明市建筑设计研究院股份有限公司

云南省工程质量监督管理站

云南兴滇建筑设计咨询有限公司

北京工业大学

东南大学

云南恒锐建设技术咨询有限公司

主要起草人：潘文 安晓文 梁 佶 刘 建 管庆松
李 昆 赖正聪 何 喜 唐 均 王广宇
许卫宏 王剑非 杨晓东 白 羽 陈云丰
褚青青 曾 建 苏 涛 刘 涛 张岩岩
彭凌云 徐赵东 李翰翀 张远喜 苏仕琪
张志宇 温文露 孙柏锋 马振霄 苏何先
李 超 贺世伟 李天余 左正发 陈明源
师 思 李奕生 龚 琦 杨 荔 张多修
王 博 宋进平 赵 耀 李佳伟 李 志
余文正

主要审查人：周福霖 叶燎原 关世敏 张 建 束伟农
薛彦涛 曾德民 潘 鹏 许卫强 吴爱武
和嘉吉

目 次

1	总则	1
2	术语与符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	6
3	基本规定	8
4	地震作用与作用效应计算	10
4.1	一般规定	10
4.2	设计反应谱和地震动输入	11
4.3	地震作用计算	13
5	消能减震结构设计	18
5.1	一般规定	18
5.2	消能部件设计及附加阻尼比	20
5.3	结构设计	23
6	消能部件的连接与构造	33
6.1	一般规定	33
6.2	预埋件	34
6.3	支撑和墙计算	34
6.4	节点板计算	34
6.5	消能器与结构连接构造要求	38
7	消能器的技术性能	40

7.1	一般规定	40
7.2	屈曲约束支撑	41
7.3	金属屈服型消能器	43
7.4	摩擦消能器	45
7.5	黏滞消能器	47
7.6	黏弹性消能器	51
7.7	高阻尼橡胶消能器	54
7.8	调谐质量阻尼器	56
8	消能器的试验方法和检验规则	58
8.1	一般规定	58
8.2	试验方法	58
8.3	检验规则及判定	70
9	消能减震工程的施工、验收和维护	78
9.1	一般规定	78
9.2	消能部件进场验收	80
9.3	施工	82
9.4	质量验收	86
9.5	维护	92
附录 A	复振型影响系数计算公式	95
附录 B	建议标准化产品规格及性能参数	97
附录 C	材料进场验收记录	105
附录 D	消能器安装分项工程检验批质量验收记录	107
	本规程用词说明	108
	引用标准名录	109
	附:条文说明	111

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	3
2.1	Terms	3
2.2	Symbols	6
3	Basic Requirements	8
4	Earthquake Action and Seismic Effects	10
4.1	General Requirements	10
4.2	Design Response Spectrum and Ground Motion Input	11
4.3	Earthquake Action	13
5	Design of Energy Dissipation Buildings	18
5.1	General Requirements	18
5.2	Design of Energy Dissipation Parts and Additional Damping Ratio	20
5.3	Design of Structure	23
6	Connecting and Details of Energy Dissipation Parts	33
6.1	General Requirements	33
6.2	Embedded Parts	34
6.3	Calculation of Brace and Wall	34
6.4	Calculation of Gusset Plate	34
6.5	Connecting Details between Energy Dissipation Devices and Main Structures	38
7	Technical Characteristics of Energy Dissipation Devices	40
7.1	General Requirements	40

7.2	Buckling-restrained Brace	41
7.3	Metal Yield Damper	43
7.4	Friction Damper	45
7.5	Viscous Fluid Damper	47
7.6	Viscous Elastic Damper	51
7.7	High Damping Rubber Damper	54
7.8	Tuned Mass Damper	56
8	Test Methods and Rules of Energy Dissipation Devices	58
8.1	General Requirements	58
8.2	Test Methods	58
8.3	Test Rules and Judgments	70
9	Construction, Quality Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Parts	78
9.1	General Requirements	78
9.2	Site Acceptance of Energy Dissipation Parts	80
9.3	Construction	82
9.4	Acceptance of Construction Quality	86
9.5	Maintenance	92
Appendix A	Formula for The Influence Coefficient of Complex Mode	95
Appendix B	Recommend Standardizing Products and Performance Parameters	97
Appendix C	Material Acceptance Records on Site	105
Appendix D	Records of Inspection Lots for Quality Acceptance	107
	Explanation of Wording in This Specification	108
	List of Quoted Standards	109
	Addition; Explanation of Provisions	111

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家和云南省的有关建筑工程防震减灾的法规，实行以预防为主方针，使建筑采用消能减震技术后，地震安全性得到进一步提高，减轻建筑的地震破坏，避免人员伤亡，减少社会影响和经济损失，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于云南省抗震设防烈度为（6~9）度地区新建建筑结构的消能减震设计、施工、验收、维护及消能器性能要求与检验。

1.0.3 按本规程进行减震设计的建筑，其基本抗震设防是：

第一类：抗震设防烈度 8 度及以上地区、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、广播电视等采用消能减震技术的建筑，当遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时，主体结构基本不受损坏或不需修理即可继续使用，且非结构构件和附属设备满足正常使用要求；当遭受罕遇地震时，消能部件正常工作，结构可能发生损坏，经修复后可继续使用。特殊设防类建筑遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

第二类：除前款规定以外，按云南省有关规定应采用消能减震技术的建筑，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修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消

能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

其他新建建筑的消能减震设计、施工、验收、维护及消能器性能要求与检验可参照本标准执行。

1.0.4 减震建筑的结构构件、非结构构件和附属设备的使用功能有专门要求时，除应符合本标准基本抗震设防目标外，尚应符合结构构件、非结构构件和附属设备抗震性能有关标准的规定。

1.0.5 消能减震设计、施工、验收、维护及消能器性能要求与检验，除应符合本规程外，尚应符合国家和云南省现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 消能器 energy dissipation device

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

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3 消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

2.1.4 消能子结构 energy dissipation sub-structure

指与消能部件直接连接的主体结构单元，包括梁、柱、抗震墙及其节点。

2.1.5 位移相关型消能器 displacement dependent energy dissipation devices

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

2.1.6 速度相关型消能器 velocity dependent energy dissipation devices

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。

2.1.7 金属屈服型消能器 metal yield damper

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

2.1.8 摩擦消能器 friction damper

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

2.1.9 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

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

2.1.10 黏滞消能器 viscous fluid damper

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

2.1.11 黏滞阻尼墙 viscous damping wall

黏滞阻尼墙是一种由钢板在高黏度阻尼液（高分子聚合物）中运动而产生黏滞阻尼力的减震装置。

2.1.12 黏弹性消能器 viscous elastic damper

由黏弹性阻尼材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒约束层组成的减震装置。

2.1.13 高阻尼橡胶消能器 high damping rubber damper

由高阻尼橡胶材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒约束层组成的减震装置。

2.1.14 调谐质量阻尼器 tuned mass damper

由质量块、弹性元件等组成，可配置阻尼单元，工作时与主体结构形成反向振动，从而达到减震（振）作用。

2.1.15 设计使用年限 design service life

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可完成预定目的使用的年限。

2.1.16 附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2.1.17 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

2.1.18 消能器设计阻尼力 design force of energy dissipation device

对应于设计位移或设计速度下的阻尼力。

2.1.19 消能器设计位移 design displacement of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的位移值。

2.1.20 消能器设计速度 design velocity of energy dissipation device

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的速度值。

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

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

2.1.23 型式检验 type testing

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

2.1.24 见证检验 evidential testing

在见证单位见证下，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第三方检测机构进行的检验。

2.1.25 极罕遇地震 very rare earthquake

在设计基准期内年超越概率为 10^{-4} 的地震动。

2.1.26 地震总输入能量 total input energy

一次地震过程中，地震作用对结构所做的功，等于结构动能、结构应变能、结构固有模态阻尼耗能、消能器耗能和结构滞回耗能的总和。

2.2 符 号

2.2.1 结构参数

- W_s —— 消能减震结构在水平地震作用下的总应变能；
- ζ_d —— 消能减震结构的附加阻尼比；
- T_1 —— 消能减震结构的基本自振周期；
- Δu_{py} —— 消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；
- Δu_{sy} —— 设置消能部件的主体结构层间屈服位移；
- K_b —— 支撑构件沿消能器消能方向的刚度。

2.2.2 消能器参数

- W_{qj} —— 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；

- C_j —— 第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；
- 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；
- C_D —— 消能器的线性阻尼系数；
- λ_1 —— 阻尼指数的函数；
- $F_{d_{j\max}}$ —— 第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力。

3 基本规定

3.0.1 消能减震结构应根据抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构类型、不规则性、建筑使用功能和附属设施功能的要求、震后损失和修复难易程度等因素，经技术、经济综合比较，确定合理的设计方案。

3.0.2 消能器在结构中的布置应遵循“均匀、分散、对称、周边”的原则，且应具有足够的数量。消能减震结构在罕遇地震作用下消能器耗能与地震总输入能量的比值不应小于表 3.0.2 的限值要求。

表 3.0.2 罕遇地震作用下消能器的耗能占比限值 (%)

结构类型	房屋高度 H (m)	耗能占比 (%)	
		第一类抗震设防目标	第二类抗震设防目标
框架结构	/	25.0	20.0
框架-剪力墙结构 或剪力墙结构	$H \leq 60$	10.0	8.0
	$60 < H \leq 80$	8.0	6.0
	$H > 80$	应进行专门研究和论证	

注：房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）。

3.0.3 用于建筑工程中的消能器，应进行型式检验、出厂检验、见证检验。

3.0.4 消能减震工程施工应建立健全质量管理制度。

3.0.5 在消能减震结构正常使用过程中，应进行常规检查和定期检查；当消能减震结构遭遇地震或其他灾害后，应对消能器进行应急检查。

3.0.6 抗震设防烈度为 7、8、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的重要消能减震公共建筑，应按照规定设置建筑结构的反应监测系统。

3.0.7 消能减震结构的地基基础可按现行《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003、《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 等相关规范进行设计，必要时对与消能子结构直接相连的地基基础进行适当加强。

4 地震作用与作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震结构的地震作用应符合下列规定：

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

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

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。计算各抗侧力构件的水平地震作用效应时，应计入扭转效应的影响；

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

5 平面投影尺度很大的空间结构和长线型结构，地震作用计算时应考虑地震地面运动的空间和时间变化。

4.1.2 消能减震结构地震作用计算，除特殊要求外，应采用下列方法：

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；

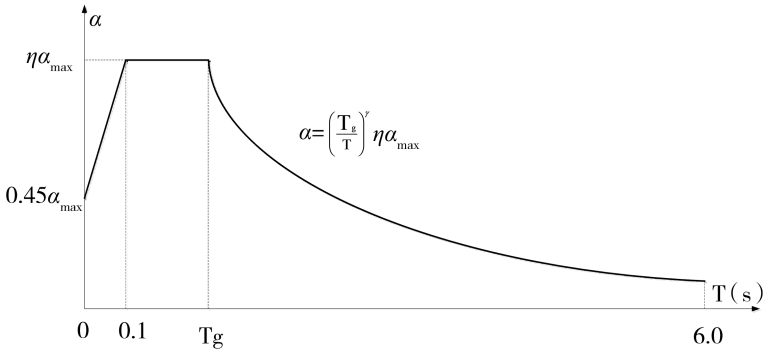
3 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.1.3 采用时程分析法时，消能减震结构的恢复力模型应包括主体结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型。

4.1.4 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。

4.2 设计反应谱和地震动输入

4.2.1 当减震结构的阻尼比为 0.05 时，地震影响系数应根据烈度、场地类别、特征周期和减震结构自振周期按图 4.2.1 确定，其水平地震影响系数最大值 α_{\max} 应按表 4.2.1 采用。场地特征周期应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行，计算罕遇地震和极罕遇地震作用时，场地特征周期应分别增加 0.05s 和 0.10s。



α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值； η —阻尼调整系数；
 γ —曲线下降段的衰减指数； T_g —特征周期； T —结构自振周期

图 4.2.1 地震影响系数曲线

表 4.2.1 水平地震影响系数最大值 α_{\max}

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

1 当消能减震结构的阻尼比等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按 1.0 采用，形状参数应符合下列规定：

- 1) 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段；
- 2) 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值 (α_{\max})；
- 3) 曲线下降段，自特征周期至 6.0s 区段，衰减指数应取 0.9。

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

1) 曲线下降段的衰减指数应按下式确定:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (4.2.1-1)$$

式中: γ ——曲线下降段的衰减指数;

ζ ——阻尼比, 取减震结构振型阻尼比。

2) 阻尼调整系数, 应按下式确定:

$$\eta = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (4.2.1-2)$$

式中: η ——阻尼调整系数, 当小于 0.55 时, 应取 0.55。

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

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

2 实际强震记录地震动加速度时程曲线, 应根据烈度、设计地震分组和场地类别进行选择。人工模拟地震动加速度时程曲线, 应考虑阻尼比和相位信息的影响。

表 4.2.2 分析用地震加速度的最大值 (cm/s²)

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

注: 括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.3g 的地区。

4.3 地震作用计算

4.3.1 采用振型分解反应谱法时, 应计算其地震作用和作用效

应，应符合下列规定：

1 对不进行扭转耦联计算的减震结构，应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

1) 结构 j 振型 i 质点的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.3.1-1)$$

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，应按本规程第 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，应按本规程附录 A 中式 (A.0.1-1) 计算；

γ_j —— j 振型的参与系数，应按本规程附录 A 中式 (A.0.1-2) 计算；

G_i ——集中于第 i 质点重力荷载代表值。

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）可按下列式确定：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum (1 + \iota_j^2) S_j^2} \quad (4.3.1-2)$$

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；

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

2 考虑扭转耦联影响时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并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 层的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{Xji} = \alpha_j \gamma_{ij} X_{ji} \cdot G_i$$

$$F_{Yji} = \alpha_j \gamma_{ij} Y_{ji} \cdot G_i \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (4.3.1-3)$$

$$F_{\varphi ji} = \alpha_j \gamma_{ij} r_i^2 \varphi_{ji} \cdot G_i$$

式中： F_{Xji} 、 F_{Yji} 、 $F_{\varphi ji}$ ——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：

$$S_{Ek} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \rho_{jk} S_j S_k} \quad (4.3.1-4)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8 \sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4 \zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4 (\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \left(1 + \frac{-1 + \lambda_T^2}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} \nu_j + \frac{\zeta_k + \zeta_j \lambda_T}{\zeta_j + \zeta_k \lambda_T} \nu_k \nu_j \right) \quad (4.3.1-5)$$

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：

$$S_{Ek} = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad (4.3.1-6)$$

$$\text{或 } S_{Ek} = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2} \quad (4.3.1-7)$$

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

4.3.2 采用时程分析法时，应符合下列规定：

1 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；

2 弹性时程分析时，每条地震加速度时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 95%；弹塑性时程分析，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；

3 宜优先选用在云南省或西南地区取得的实际强震记录；

4 同一场地上动力特性接近的结构单元，宜采用相同的时程曲线。

4.3.3 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。

4.3.4 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。

4.3.5 对需考虑竖向地震作用的减震结构，竖向地震作用标准值的计算应符合下列规定：

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} 可采用本规程第 4.2.1 条规定的水平地震影响系数最大值的 65%；

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

$$F_{Evk} = \alpha_{vmax} G_{eq} \quad (4.3.5-1)$$

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{Evk} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.3.5-2)$$

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，可取水平地震影响系数最大值的 65%；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的 75%；

H_i 、 H_j ——结构质点 i 、 j 的计算高度。

4.3.6 对于第二类设防目标对应的需考虑竖向地震作用的消能减震结构，8 度和 9 度可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10% 和 20%，设计基本地震加速度为 0.30g 时，可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

5 消能减震结构设计

5.1 一般规定

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

5.1.2 消能减震结构应采用符合实际情况的力学模型进行分析，模型应同时包括主体结构与消能部件。

5.1.3 消能部件的布置应符合下列规定：

1 消能部件的布置应沿结构两个主轴方向分别设置，并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，不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层；

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；

4 消能减震结构布置消能部件的楼层中，消能器的最大阻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 外墙处的消能部件应设置在围护墙体内侧；当消能部件与内墙处于同一平面时，应采取有效措施确保消能器及其支承构件在地震作用下的变形不受阻碍；

6 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部件使用的环境、检查和维护要求。

5.1.4 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，应考虑布置消能器跨相交处的柱在双向地震作用下的受力。

5.1.5 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。屈曲约束支撑在多遇地震作用下不宜屈服耗能。

5.1.6 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。

5.1.7 在计算屈曲约束支撑（BRB）的刚度时，应考虑相连节点板与 BRB 产品本体的串联刚度。

5.1.8 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》GB 50011—2010（2016 版）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。

屈曲约束支撑和普通钢支撑—混凝土框架结构的设计尚应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（2016 版）附录 G.1 节除 G.1.3 条第 5 款、G.1.4 条第 3 款外的要求。

5.1.9 设计中应考虑消能器性能偏差、连接安装方式等的不利

影响，主体结构设计采用的附加阻尼比宜留有安全储备。在进行多遇地震作用下的设计时，附加阻尼比不宜高于计算值的 80%；在进行设防地震作用下的设计时，附加阻尼比不宜高于计算值的 90%。

5.2 消能部件设计及附加阻尼比

5.2.1 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、墙体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：

$$\Delta u_{py}/\Delta u_{sy} \leq 2/3 \quad (5.2.1-1)$$

式中： Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度或高阻尼橡胶消能器的高阻尼橡胶材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax}/[\gamma] \quad (5.2.1-2)$$

式中： t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度或高阻尼橡胶消能器的高阻尼橡胶材料总厚度；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料或高阻尼橡胶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：

$$K_b \geq 6\pi C_D/T_1 \quad (5.2.1-3)$$

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)。

5.2.2 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效线性化方法确定;

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式估算:

$$\zeta_d \geq \sum_{j=1}^n W_{cj} / 4\pi W_s \quad (5.2.2-1)$$

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;

W_s ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能。

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

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (5.2.2-2)$$

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);

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移。

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

$$W_{cj} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (5.2.2-3)$$

式中: T_1 ——消能减震结构的基本自振周期 (s);

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数 [kN/(m · s)];

θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角 (°);

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移 (m)。

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

5 非线性黏滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量, 可按下式计算:

$$W_{ej} = \lambda_1 F_{djmax} \Delta u_j \quad (5.2.2-4)$$

式中: λ_1 ——阻尼指数的函数, 可按表 5.2.2 取值;

F_{djmax} ——第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力。

表 5.2.2 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 值可线性插值。

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

$$W_{ej} = \sum A_j \quad (5.2.2-5)$$

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。

5.2.3 消能减震结构的总阻尼比应采用能够实际反映消能器非线性性能的计算方法和计算方式进行校核。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 结构设计

5.3.1 主体结构的抗震等级应按《建筑抗震设计规范》GB50011 确定。

5.3.2 消能减震结构构件的承载力应符合下列规定：

1 持久设计状况、短暂设计状况应按下式进行设计：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.3.2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，对特殊设防类建筑和重点设防类建筑的结构构件不应小于 1.1，对标准设防类建筑的结构构件不应小于 1.0；

S ——作用组合的效应设计值；

R ——构件承载力设计值。

2 第一类设防目标对应的结构地震设计状况应按本规程第 5.3.5 条和第 5.3.7 条进行验算。第二类设防目标对应的结构地震设计状况应按本规程第 5.3.6 条进行验算。

5.3.3 持久设计状况和短暂设计状况下，当荷载与荷载效应按线性关系考虑时，荷载基本组合的效应设计值应按下式确定：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_L \psi_Q \gamma_Q S_{Qk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk} \quad (5.3.3)$$

式中： S ——作用组合的效应设计值；

γ_G ——永久荷载分项系数；

γ_Q ——楼面活荷载分项系数；

γ_W ——风荷载分项系数；

γ_L ——考虑结构设计使用年限的荷载调整系数，设计使用年限为 50 年时取 1.0，设计使用年限为 100 年时取 1.1；

S_{Gk} ——永久荷载效应标准值；

S_{Qk} ——楼面活荷载效应标准值；

S_{wk} ——风荷载效应标准值；

ψ_Q 、 ψ_w ——分别为楼面活荷载组合值系数和风荷载组合值系数，
当永久荷载效应起控制作用时应分别取 0.7 和 0.0；
当可变荷载效应起控制作用时应分别取 1.0 和 0.6 或
0.7 和 1.0。

注：对书库、档案库、储藏室、通风机房与电梯机房，本条
楼面活荷载组合值系数取 0.7 的场合应取为 0.9。

5.3.4 持久设计状况和短暂设计状况下，荷载基本组合的分项
系数应按表 5.3.4 采用。

表 5.3.4 荷载基本组合的分项系数

作用分项系数	适用情况	
	当作用效应对承载力不利时	当作用效应对承载力有利时
γ_G	1.3	≤ 1.0
γ_Q	1.5	0
γ_w	1.5	0

5.3.5 第一类设防目标对应的结构，地震设计状况下，应采用
不计入风荷载效应的地震组合，并应根据本规程第 1.0.3 条关于
第一类的基本设防目标进行设防地震作用下的截面抗震验算、抗
震变形验算以及罕遇地震作用下的结构弹塑性变形验算，对于特
殊设防类的消能减震结构，尚应进行极罕遇地震作用下结构弹塑
性变形验算。

第一类设防目标对应的结构的抗震措施除应满足本规程

5.3.8 条~第 5.3.13 条的要求外，尚应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关要求。

5.3.6 第二类设防目标对应的结构，地震设计状况下，应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 进行截面抗震验算和抗震变形验算，但多遇地震作用下的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，应分别按本规程第 5.3.17 条和第 5.3.18 采用。

第二类设防目标对应的结构的抗震措施应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关要求。

5.3.7 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的结构其构件的抗震承载力应符合本规程式 (5.3.7-1) 的要求；水平长悬臂结构和大跨度结构中的关键构件抗震承载力尚应符合本规程式 (5.3.7-2) 的要求：

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk}^* \leq R_k \quad (5.3.7-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k \quad (5.3.7-2)$$

式中： R_k ——按材料强度标准值计算的承载力，对钢筋可考虑超强系数 1.25，不考虑承载力抗震调整系数 γ_{RE} ；

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，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。

5.3.8 在设防地震作用下，除框架顶层和柱轴压比小于 0.15 者及框支梁与框支柱的节点外，第一类设防目标对应的结构的柱端组合弯矩值应符合下式要求：

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b \quad (5.3.8)$$

式中： $\sum M_c$ ——节点上、下柱端截面顺时针或逆时针方向组合的弯矩值之和；上、下柱端的弯矩值可按弹性分析的弯矩比例进行分配；

$\sum M_b$ ——节点左、右梁端截面逆时针或顺时针方向组合弯矩值之和；当抗震等级为一级且节点左、右梁端均为负弯矩时，绝对值较小的弯矩应取零；

η_c ——框架柱端弯矩增大系数；对框架结构，一级取 1.3，二、三、四级均取 1.2；其他结构类型的框架，一、二、三、四级均取 1.1。

5.3.9 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的结构的框架柱和框支柱组合剪力值应按下式调整：

$$V = \eta_{vc} (M_c^b + M_c^t) / H_n \quad (5.3.9)$$

式中： V ——柱端截面组合的剪力值；框支柱的剪力值尚应符合本规程第 5.3.10 条的要求；

H_n ——柱的净高；

M_c^t 、 M_c^b ——分别为柱上、下端顺时针或逆时针方向截面组合的弯矩值，应符合本规程第 5.3.8 条和第 5.3.11 条的规定；框支柱的弯矩值尚应符合本规程 5.3.10 条的要求；

η_{vc} ——柱端剪力增大系数；对框架结构，一级取 1.2，二、三、四级均取 1.1；其他结构类型的框架，一、二、三、四级均取 1.1。

5.3.10 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的结构的部分

框支抗震墙结构的框支柱应符合下列规定：

1 一、二级框支柱的顶层柱上端和底层柱下端，其组合的弯矩值应乘以增大系数 1.2，框支柱的中间节点应符合本规程第 5.3.8 条的规定；

2 一、二级框支柱由地震作用引起的附加轴力应乘以增大系数 1.2。

5.3.11 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的框架结构的底层柱下端截面组合的弯矩值，一级应乘以增大系数 1.3，二、三、四级应乘以增大系数 1.2。底层柱纵向钢筋应按上下端的不利情况配置。

5.3.12 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的一、二、三、四级框架的角柱，经本规程第 5.3.8~第 5.3.11 条调整后的弯矩值、剪力值尚应乘以不小于 1.1 的增大系数，并按双向偏心受力构件进行正截面承载力设计。

5.3.13 在设防地震作用下，第一类设防目标对应的结构的框架梁和抗震墙的连接梁，其梁端截面组合的剪力值应按下式调整：

$$V = \eta_{vb}(M_b^l + M_b^r)/l_n + V_{Gb} \quad (5.3.13)$$

式中： V ——梁端截面组合的剪力值；

l_n ——梁的净跨；

V_{Gb} ——梁在重力荷载代表值（9 度时高层建筑还应包括竖向地震作用标准值）作用下，按简支梁分析的梁端截面剪力值；

η_{vb} ——梁端剪力增大系数，取 1.1。

5.3.14 采用第一类设防目标的消能减震结构在设防地震作用下的最大层间位移应符合式（5.3.14）的规定：

$$\Delta u_e < [\theta_e] h \quad (5.3.14)$$

式中： Δu_e ——设防地震作用标准值产生的楼层内最大的层间位移；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，设防地震作用下应符合表 5.3.14 的要求；

h ——计算楼层层高。

表 5.3.14 采用第一类设防目标的消能减震结构在设防地震作用下弹性层间位移角限值

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

5.3.15 采用第一类设防目标的消能减震结构在罕遇地震作用下的最大弹塑性层间位移应符合式 (5.3.15) 的规定：

$$\Delta u_p < [\theta_p] h \quad (5.3.15)$$

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

$[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值，罕遇地震作用下应符合表 5.3.15 的规定。

表 5.3.15 采用第一类设防目标的消能减震结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

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

5.3.16 特殊设防类消能减震结构采用第一类设防目标时，在极罕遇地震作用下的最大弹塑性层间位移角限值应符合表 5.3.16 的规定：

表 5.3.16 特殊设防类消能减震结构采用第一类设防目标时在极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

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

5.3.17 采用第二类设防目标的消能减震结构在多遇地震作用下的最大层间位移应符合式 (5.3.17) 的规定：

$$\Delta u_e < [\theta_e] h \quad (5.3.17)$$

式中： Δu_e ——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的层间位移；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，多遇地震作用下应符合表 5.3.17 的要求。

表 5.3.17 采用第二类设防目标的消能减震结构在多遇地震作用下弹性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架结构	1/620
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒	1/890
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/1120
钢结构	1/280

5.3.18 采用第二类设防目标的消能减震结构在罕遇地震作用下的最大弹塑性层间位移应符合式 (5.3.18) 规定：

$$\Delta u_p < [\theta_p] h \quad (5.3.18)$$

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

$[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值，罕遇地震作用下应符合表 5.3.18 的规定。

表 5.3.18 采用第二类设防目标的消能减震结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒	1/170
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/200
钢结构	1/100

5.3.19 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剪力之比确定，最大降低程度应控制在 1 度以内。

5.3.20 消能子结构设计应符合下列规定：

1 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；

2 消能子结构中梁、柱、墙构件应按重要构件设计，并考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用，其值应小于构件极限承载力。在罕遇地震作用下材料强度可采用《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010（2016 年版）附录 M-1.2.4 规定的极限值；

3 消能子结构的框架柱在两个主轴方向均应满足上述强度要求；

4 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；

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；

8 消能部件的设置宜避开长墙肢，当剪力墙设有边框柱时，可将边框柱视为消能子结构的竖向构件。

5.3.21 消能子结构的构造措施应符合下列规定：

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、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的规定；消能子结构为剪力墙时，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《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中框架柱的规定；

2 消能子结构为钢结构构件时，钢梁、钢柱节点的构造措施应按《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 关于中心支撑的要求确定。

6 消能部件的连接与构造

6.1 一般规定

6.1.1 消能器与主体结构的连接型式应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择，可采用支撑型、墙型、门架型和腋撑型等。

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

6.1.3 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。应优先采用能有效消除连接间隙的连接方式。高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

6.1.4 设计中应对预埋件、支撑和墙及节点板的刚度、强度和稳定性进行验算。

6.1.5 消能器与非结构构件之间应采取合理的构造设计，保证消能部件的有效变形空间。

6.1.6 消能减震结构非结构构件和附属设备与主体结构连接时宜采用柔性连接。

6.1.7 与消能器直接相连的预埋件、支撑和墙及节点板的作用

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。

6.2 预埋件

6.2.1 预埋件的锚筋和锚板的设计应符合《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定，并根据实际受力情况适当加强。

6.2.2 沿剪力方向锚筋排数不宜多于四排。当多于四排时，锚筋层数的影响系数不应大于 0.75，或采取其他有效传递剪力的措施。

6.3 支撑和墙计算

6.3.1 支撑和墙的计算长度应符合下列规定：

1 采用单斜撑消能部件时，应取支撑与消能器连接处到主体结构预埋连接板连接中心处的距离；

2 采用人字形或“V”字形支撑时，应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构预埋连接板连接中心处的距离；

3 采用墙型连接时，应取墙的净高。

6.3.2 与速度线性相关型消能器连接的支撑、墙的刚度应满足本规程第 5.2.1 条的要求，与其他类型消能器连接的支撑、墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的 2 倍。

6.4 节点板计算

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

6.4.2 节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum (\eta_i A_i)} \leq f \quad (6.4.2-1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha_i}} \quad (6.4.2-2)$$

式中： N ——作用于节点板上消能器作用力，按本规程第 6.1.6 条的规定取值；

A_i ——第 i 段破坏面的截面积， $A_i = tl_i$ ；当为螺栓连接时，应取净截面面积；

η_i ——第 i 段的拉剪折算系数；

f ——钢材的抗拉和抗剪强度设计值；

α_i ——第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角；

t ——板件厚度；

l_i ——第 i 段破坏段的长度，应取板件中最危险破坏线的长度（图 6.4.2）。

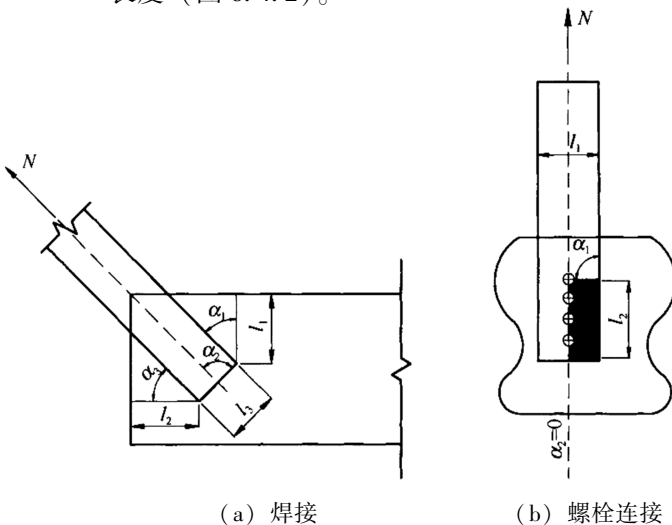


图 6.4.2 节点板的拉、剪撕裂

6.4.3 节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

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

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

3 设有斜向支撑或消能器的节点板，在其轴向压力作用下，节点板 \overline{BA} 、 \overline{AC} 和 \overline{CD} 的稳定性应满足下列要求，如图 6.4.3-1、图 6.4.3-2：

\overline{BA} 区：

$$\frac{b_1}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \sin \theta_1 \leq l_1 t_s \varphi_1 f \quad (6.4.3-1)$$

\overline{AC} 区：

$$\frac{b_2}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \leq l_2 t_s \varphi_2 f \quad (6.4.3-2)$$

\overline{CD} 区：

$$\frac{b_3}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \cos \theta_1 \leq l_3 t_s \varphi_3 f \quad (6.4.3-3)$$

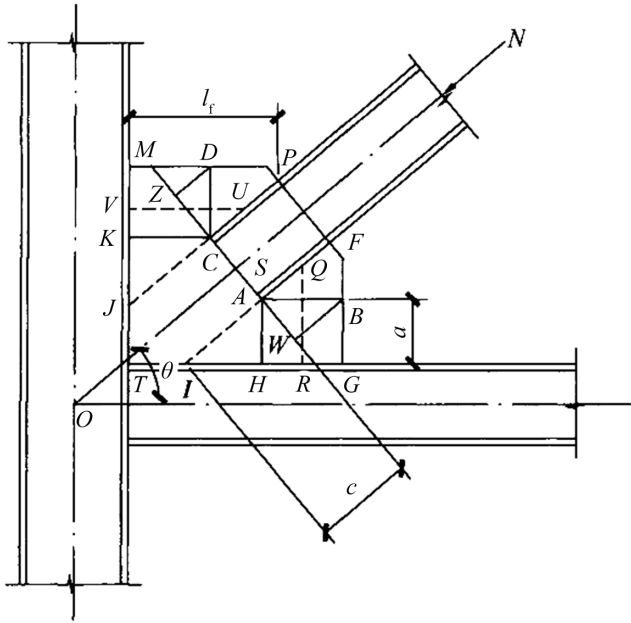


图 6.4.3-1 单斜撑节点板

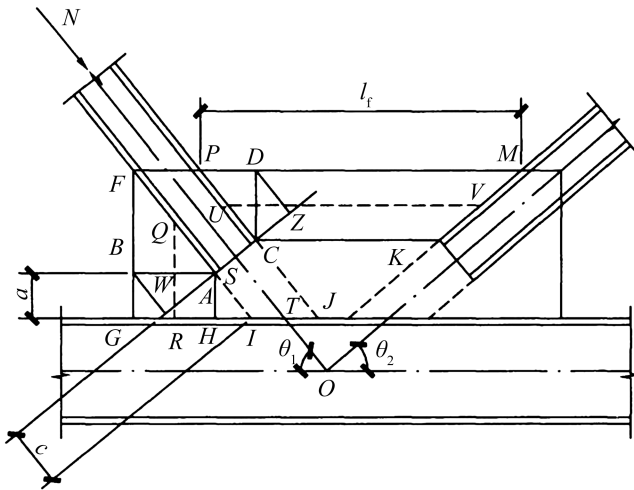


图 6.4.3-2 双斜撑节点板

式中： N ——作用于节点板上的轴力（一般为消能器的极限承载力）；

t_s ——节点板厚度；

l_1 、 l_2 、 l_3 ——分别为屈折线 \overline{BA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CD} 的长度；

φ_1 、 φ_2 、 φ_3 ——各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中 b 类截面查取；其相应的长细比分别为： $\lambda_1 = 2.77 \frac{\overline{QR}}{t}$ ， $\lambda_2 = 2.77 \frac{\overline{ST}}{t}$ ， $\lambda_3 = 2.77 \frac{\overline{UV}}{t}$ ；式中 \overline{QR} 、 \overline{ST} 、 \overline{UV} 为 \overline{BA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CD} 三区受压板件的中线长度；其中 $\overline{ST} = c$ ； b_1 、 b_2 、 b_3 为各屈折线段在有效宽度线上的投影长度， b_1 、 b_2 、 b_3 分为 \overline{WA} 、 \overline{AC} 、 \overline{CZ} 的长度。

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

6.5 消能器与结构连接构造要求

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

6.5.2 支撑长细比、宽厚比应符合《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 关于中心支撑的规定。

6.5.3 墙全高度的箍筋均应加密，并在预埋板的端面配置网状钢筋。

6.5.4 与消能器相连的连梁中设置型钢时，应按《组合结构设计规范》JGJ 138 中的型钢混凝土梁进行设计。

6.5.5 屈曲约束支撑的形心线宜通过梁、柱形心线交点；采用人字形或 V 字形的布置形式时，支撑形心线的交点宜在梁的中线上。

7 消能器的技术性能

7.1 一般规定

7.1.1 消能器的设计使用年限不应低于 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。

7.1.2 消能器应具有良好的耐久性能，消能器工作环境应满足设计要求，不满足时应采取相应措施。

7.1.3 消能器的外观应符合下列规定：

- 1 消能器外表应光滑，无明显缺陷；
- 2 消能器需要考虑防腐、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。

7.1.4 消能器的性能应符合下列规定：

- 1 消能器中非消能构件在不低于消能器 1.5 倍极限阻尼力作用下，应满足强度及稳定性要求；

- 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；

- 3 消能器的屈服位移或起滑位移不宜小于 0.5mm；

- 4 消能器应具有阻燃性，火灾后应对消能器进行基本力学性能和耐久性能检测，其指标下降超过 15%时应进行更换。

7.1.5 消能器标准化产品规格及力学性能参数可参照本规程附录 B。

7.2 屈曲约束支撑

7.2.1 屈曲约束支撑应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，耗能段和非耗能段应光滑过渡，不应出现缺陷。约束套管焊缝不宜低于二级，其他焊缝应为一级。

7.2.2 屈曲约束支撑的核心单元宜采用低屈服点钢材，钢材质量指标应符合国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 的规定，且伸长率应大于 30%，屈强比不应大于 0.8，常温下冲击功韧性应大于 27J。约束单元宜采用碳素结构钢或合金结构钢，钢材质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。选用的钢材应符合《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1 和《金属材料 室温压缩试验方法》GB/T 7314 的规定。填充材料抗压强度标准值不宜低于 20MPa。

7.2.3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表 7.2.3 规定。

表 7.2.3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
支撑长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
支撑横截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$
支撑侧弯矢量	$\leq L/1000$ ，且 $\leq 10\text{mm}$
支撑扭曲	$\leq h(d)/250$ ，且 $\leq 5\text{mm}$

注：L—支撑长度；h—支撑高度；d—支撑外径

7.2.4 屈曲约束支撑基本力学性能应包括表 7.2.4 所列的各项指标，其试验方法应按第 8.2.1 条的规定进行。

表 7.2.4 屈曲约束支撑基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	屈服承载力	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
2	屈服位移	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
3	最大承载力	设计位移对应的承载力，每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
4	极限位移	实测值不应小于消能器设计位移的 120%
5	屈服后刚度	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
6	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应光滑、无异常，产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
7	拉压不平衡系数	设计位移下滞回曲线的拉压不平衡系数应小于 1.1

7.2.5 屈曲约束支撑的耐久性应包括表 7.2.5 所列的各项指标，其试验方法应按第 8.2.1 条的规定进行。

表 7.2.5 屈曲约束支撑耐久性要求

序号	项目	性能要求
疲劳性能	1	疲劳加载 加载位移为设计位移且不应小于 5 倍屈服位移，连续往复加载不应少于 60 圈
	2	阻尼力 任一个循环的最大、最小阻尼力，与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	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 $\pm 15\%$ 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移，与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	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，无可见破坏，无可察觉的变化	

7.3 金属屈服型消能器

7.3.1 金属屈服型消能器应表面平整，无锈蚀，无机械损伤。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。消能器安装宜采用螺栓连接、销轴连接和焊接连接。

7.3.2 金属屈服型消能器耗能段宜采用低屈服点钢材，其伸长率不应小于 40%，屈强比应小于 80%，冲击韧性应大于 27J。当金属屈服型消能器采用其他钢材时，质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905 等相关标准规定。

7.3.3 金属屈服型消能器各部位尺寸偏差不应超过产品设计值 $\pm 2\text{mm}$ 。

7.3.4 金属屈服型消能器基本力学性能包括表 7.3.4 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.2 条的规定进行。

表 7.3.4 金属屈服型消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	屈服承载力	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
2	屈服位移	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内
3	最大承载力	设计位移下对应的承载力，每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内
4	极限位移	实测值不应小于消能器设计位移的 120%
5	屈服后刚度	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
6	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应光滑、无异常，产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内

7.3.5 金属屈服型消能器的耐久性应包括表 7.3.5 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.2 条的规定进行。

表 7.3.5 金属屈服型消能器耐久性要求

序号	项目	性能要求
疲劳性能	1 疲劳加载	产品在要求位移下连续往复加载不应少于 60 圈。要求位移按以下参数进行选取（ D_y 为屈服位移）： 1) $D_y \leq 1.0\text{mm}$ 时，消能器要求位移不应小于 $30D_y$ 且不应小于设计位移； 2) $1.0 < D_y < 2.0\text{mm}$ 时，消能器要求位移不应小于 $25D_y$ 和 30mm 的最大值，且不应小于设计位移； 3) $D_y \geq 2.0\text{mm}$ 时，消能器要求位移不应低于 $20D_y + 10\text{mm}$ 且不应小于设计位移
	2 阻尼力	任一个循环的最大、最小阻尼力，与所有循环的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	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 $\pm 15\%$ ； 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移，与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	4 滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积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，无可见破坏，无可察觉的变化	

7.4 摩擦消能器

7.4.1 摩擦消能器产品应表面平整，无锈蚀，无机械损伤。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。

7.4.2 用于制作摩擦消能器的钢材质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077 的规定，应采用不低

于 Q235B 性能的钢材。摩擦材料的极限抗压强度不应低于 60MPa。

7.4.3 摩擦消能器各部件尺寸偏差不应超过产品设计值 $\pm 2\text{mm}$ 。

7.4.4 摩擦消能器基本力学性能应包括表 7.4.4 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.3 条的规定进行。

表 7.4.4 基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	起滑摩擦力	起滑位移对应的摩擦力，每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
2	起滑位移	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
3	滑动摩擦力	任一滞回曲线在零位移时的摩擦力，每个产品实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
4	极限位移	实测值不应小于消能器设计位移的 120%
5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应光滑、无异常，产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包围面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
6	起滑摩擦力与滑动摩擦力偏差	起滑摩擦力不应超过滑动摩擦力的 $\pm 15\%$

7.4.5 摩擦消能器的耐久性应包括表 7.4.5 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.3 条的规定进行。

表 7.4.5 摩擦消能器耐久性要求

序号	项目	性能要求
老化性能	1 滑动摩擦力	老化前后滑动摩擦力的变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	2 外观	目视无变化
疲劳性能	1 疲劳加载	产品在设计位移下连续加载不应少于 60 圈
	2 滑动摩擦力	任一个循环的最大、最小滑动摩擦力，与所有循环的最大、最小滑动摩擦力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	3 滞回曲线	1) 任一个循环中位移在零时的最大、最小滑动摩擦力，与所有循环中位移在零时的最大、最小滑动摩擦力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$ ； 2) 任一个循环中滑动摩擦力在零时的最大、最小位移，与所有循环中滑动摩擦力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	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，无可见破坏，无可察觉的变化	

7.5 黏滞消能器

7.5.1 黏滞消能器产品应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏。

7.5.2 黏滞消能器的阻尼材料应黏温性能稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强。

7.5.3 黏滞阻尼材料黏度变化率应在 $\pm 5\%$ 以内，在 $230^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ 下挥发份不应超过 0.75%。

7.5.4 黏滯消能器的缸体和活塞杆宜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《优质碳素结构钢》GB/T 699 的要求；合金结构钢应符合《合金结构钢》GB/T 3077 的要求；结构用无缝钢管应符合《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的要求；不锈钢棒应符合《不锈钢棒》GB/T 1220 的规定，不锈钢管应符合《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976 的规定。

7.5.5 黏滯消能器密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的密封材料，主密封不宜使用 O 型密封圈。

7.5.6 密封材料和黏滯阻尼材料应在热空气加速老化 $140^{\circ}\text{C} \times 960\text{h}$ （等效室温 50 年）条件下进行老化，老化后再次将密封材料和黏滯阻尼材料装入黏滯阻尼器中，测试黏滯阻尼器力学性能与设计值偏差不应大于 $\pm 15\%$ ，且不应出现渗漏、漏油现象。

7.5.7 黏滯消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.5.7 规定。

表 7.5.7 黏滯消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏滯消能器长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\text{mm}$
黏滯消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值的 $\pm 2\text{mm}$

7.5.8 黏滯消能器的基本力学性能应包括表 7.5.8 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.4 条的规定进行。

表 7.5.8 黏滯消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限位移	每个产品实测值不应小于设计位移的 150%，当最大位移不小于 100mm 时实测值不应小于设计位移的 120%
2	最大阻尼力	每个产品实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值±10%以内
3	极限速度	每个产品极限速度实测值不应小于消能器设计速度的 120%
4	阻尼系数	每个产品实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值±10%以内
5	阻尼指数	每个产品实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值±10%以内
6	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应光滑、无异常，产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内
7	低速摩擦性能	阻尼力实测值不应大于设计最大阻尼力的 5%

7.5.9 黏滯消能器的耐久性应包括表 7.5.9 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.4 条的规定进行。

表 7.5.9 黏滞消能器耐久性要求

序号	项目	性能要求
疲劳性能	1 疲劳加载	产品在设计位移大于 100mm 时，连续加载 10 圈；在设计位移大于 60mm 时，往复加载 45 圈；在设计位移小于 60mm 时，往复加载 60 圈
	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 $\pm 15\%$
	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 $\pm 15\%$ 2) 任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移，与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	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 $\pm 15\%$
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在 $\pm 15\%$ 以内
	2 滞回曲线面积	任一循环实测的滞回曲线稳定、光滑无异常，所有循环中的滞回曲线面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内
密封性能		无渗漏，且阻尼力的衰减值不应大于 5%
耐腐蚀性能		无锈蚀，无可见破坏，无可察觉的变化

7.5.10 黏滞消能器的其他相关性能应包括表 7.5.10 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.4 条的规定进行。

表 7.5.10 黏滞消能器其他相关性能要求

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

注：对于黏滞阻尼墙，阻尼介质的材料应进行相关性测试。

7.6 黏弹性消能器

7.6.1 黏弹性消能器应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。

7.6.2 黏弹性材料质量指标应符合表 7.6.2 的要求。

表 7.6.2 黏弹性材料性能指标

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

7.6.3 钢材质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700 中碳素结构钢或低合金钢的规定。

7.6.4 黏弹性消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.6.4 的规定。

表 7.6.4 黏弹性消能器各部件尺寸偏差

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

7.6.5 黏弹性消能器的力学性能应包括表 7.6.5 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.5 条的规定进行。

表 7.6.5 黏弹性消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	阻尼系数	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
2	速度指数	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
3	储能刚度	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
4	最大阻尼力	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
5	滞回曲线	每个产品在各要求工况下分别连续加载 5 圈，任一工况第 3 圈滞回曲线包络面积的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内

注：储能刚度 $K_1 = F_1/u_0$ （其中， u_0 为黏弹性消能器的设计位移； F_1 为设计位移 u_0 处的阻尼力，测试频率为结构基频 f_1 ）。

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

7.6.7 黏弹性消能器的耐久性应包括表 7.6.7 所列各项指标，其

试验方法应按第 8.2.5 条的规定进行。

表 7.6.7 黏弹性消能器耐久性要求

序号		项目	性能要求
老化性能	1	变形	变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	2	最大阻尼力	老化前后的变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	3	外观	目视无变化
疲劳性能	1	疲劳加载	产品在设计位移下连续加载不应少于 60 圈
	2	最大阻尼力	实测值偏差应在平均值的 $\pm 25\%$ 以内
	3	滞回曲线	1) 位移在零时的最大、最小阻尼力, 与位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 25\%$; 2) 阻尼力在零时的最大、最小位移, 与阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 25\%$
	4	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积与所有循环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, 无可见破坏, 无可察觉的变化

7.6.8 黏弹性消能器的相关性能应包括表 7.6.8 所列各项指标, 其试验方法应按第 8.2.5 条规定进行。

表 7.6.8 黏弹性消能器相关性能要求

项目	性能要求	
变形相关性能	最大阻尼力	具有规律性
加载频率相关性能	零位移阻尼力	0.2Hz~3.0Hz 的变化率应大于 50%
温度相关性能	最大阻尼力	0℃~40℃变化率不应大于 $\pm 25\%$

注: 黏弹性消能器的变形相关性能和加载频率相关性能应在基准温度(23℃ \pm 2℃)下测试。

7.7 高阻尼橡胶消能器

7.7.1 高阻尼橡胶消能器应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。

7.7.2 橡胶阻尼材料质量指标应符合表 7.7.2 规定，钢材应符合《碳素结构钢》GB/T 700 中碳素结构钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 低合金钢的规定。

表 7.7.2 高阻尼材料性能指标

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

7.7.3 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.7.3 的规定。

表 7.7.3 高阻尼橡胶消能器各部件尺寸偏差

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

7.7.4 高阻尼橡胶消能器的力学性能包括表 7.7.4 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.6 条的规定进行。

表 7.7.4 高阻尼橡胶消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	屈服承载力	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
2	屈服位移	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内
3	最大承载力	设计位移下对应的承载力，每个产品的实测值偏差应为设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内
4	屈服后刚度	每个产品的实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内
5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应光滑、无异常，产品在位移下连续加载不少于 3 圈，任一循环中滞回曲线包围面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$ 以内

7.7.5 高阻尼橡胶消能器极限应变实测值不应小于 250%，且不应小于设计剪应变的 1.2 倍。

7.7.6 高阻尼橡胶消能器的耐久性应包括表 7.7.6 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.6 条的规定进行。

表 7.7.6 高阻尼橡胶消能器耐久性要求

序号	项目	性能要求
老化性能	1 变形	变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	2 最大承载力	老化前后的变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	3 外观	目视无变化

续表7.7.6

序号	项目	性能要求	
疲劳性能	1	疲劳加载	产品在设计位移下加载不应少于 60 圈
	2	最大承载力	实测值偏差应在平均值的 $\pm 15\%$ 以内
	3	滞回曲线	1) 位移在零时的最大、最小阻尼力, 与位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$; 2) 阻尼力在零时的最大、最小位移, 与阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$
	4	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积与所有循环滞回曲线面积平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$

7.7.7 高阻尼橡胶消能器的相关性能应包括表 7.7.7 所列各项指标, 其试验方法应按第 8.2.6 条规定进行。

表 7.7.7 高阻尼橡胶消能器相关性能要求

项目	性能要求	
变形相关性能	最大承载力	具有规律性
温度相关性能	最大承载力	$-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 变化率不应超过 $\pm 15\%$

7.8 调谐质量阻尼器

7.8.1 调谐质量阻尼器应表面平整, 无锈蚀, 无机械损伤, 外表采用防锈措施, 涂层均匀。

7.8.2 调谐质量阻尼器常用的优质碳素结构钢应符合《碳素结构钢》GB/T 700; 合金结构钢应符合国家标准《合金结构钢》GB/T 3077 的规定; 结构用无缝钢管应符合《结构用无缝钢管》GB/T 8162 的规定; 不锈钢棒应符合《不锈钢棒》GB/T 1220,

不锈钢管应符合《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14976 的规定。拉伸弹簧应符合《冷卷圆柱螺旋弹簧技术条件 第 1 部分：拉伸弹簧》GB/T 1239.1 的规定，压缩弹簧应符合《冷卷圆柱螺旋弹簧技术条件 第 2 部分：压缩弹簧》GB/T 1239.2 的规定；弹簧材料应符合《弹簧钢》GB/T 1222 的规定；弹簧使用寿命应符合《螺旋弹簧疲劳试验规范》GB/T 16947 的规定；烧结钕铁硼永磁铁应符合《烧结钕铁硼永磁材料》GB/T 13560 的规定，纯铜应符合《加工铜及铜合金牌号和化学成分》GB/T 5231 的规定。

7.8.3 调谐质量阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 7.8.3 规定。

表 7.8.3 调谐质量阻尼器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
调谐质量阻尼器长度	不超过产品设计值的 $\pm 3\%$
调谐质量阻尼器宽度	不超过产品设计值的 $\pm 3\%$
安装孔	孔位置偏差 $\pm 2\text{mm}$ ，孔径偏差 $\pm 1\text{mm}$

7.8.4 调谐质量阻尼器力学性能应包括表 7.8.4 所列各项指标，其试验方法应按第 8.2.7 条的规定进行。

表 7.8.4 力学性能要求

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

7.8.5 调谐质量阻尼器应具有良好的耐腐蚀性能。

8 消能器的试验方法和检验规则

8.1 一般规定

8.1.1 消能器的试验方法应包括基本力学性能试验方法、耐久性能试验方法、相关性能试验方法等。

8.1.2 消能器的试验检测方法应规定检验分类、检验项目、检验比例和判别标准。

8.1.3 对消能器进行 60 次疲劳循环加载时，可间歇不超过一次，间歇时间不超过 15 分钟。加载过程不允许采用外部降温和散热措施。

8.2 试验方法

8.2.1 屈曲约束支撑外观质量和性能检验等应符合下列要求：

1 产品外观质量可通过目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机机械划伤；

2 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

3 产品力学性能试验方法应按表 8.2.1-1 规定进行。

表 8.2.1-1 屈曲约束支撑力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服承载力 屈服位移 最大承载力 极限位移 屈服后刚度 滞回曲线面积 拉压不平衡系数	a) 试验采用力-位移混合控制加载制度，试件屈服前采用力控制并分级加载。试件屈服后采用位移控制，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法； b) 试件屈服前，按照 0.5 屈服承载力进行加载，加载 3 个循环； c) 试件屈服后，按照位移加载，位移幅值 u_1 分别取 $0.5u_0$ 、 $0.8u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 共 4 个工况，各工况连续加载 3 个循环； d) 分析首次进入屈服的工况，取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服承载力与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值； e) 取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并计算得到最大承载力

注： u_0 为消能器设计位移；拉压不平衡系数是指设计位移 u_0 下，屈曲约束支撑受压侧承载力与受拉侧承载力的较大值与较小值的比值。

5 屈曲约束支撑耐久性能试验方法应按表 8.2.1-2 的规定进行。

表 8.2.1-2 屈曲约束支撑耐久性能试验方法

项目	试验方法
疲劳性能	采用三角波或正弦波进行 60 次循环加载，可间歇一次。绘制阻尼力-位移滞回曲线
耐腐蚀性能	产品按《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 中性盐雾试验方法，进行不应少于 1000 小时的连续试验

8.2.2 金属屈服型消能器外观质量和性能检验等应符合下列要求：

- 1 产品外观质量可通过目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤；
- 2 尺寸偏差通过常规量具测量评定；
- 3 产品力学性能试验方法应按表 8.2.2-1 规定进行；

表 8.2.2-1 金属屈服型消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服承载力 屈服位移 最大承载力 极限位移 屈服后刚度 滞回曲线	a) 试验采用力-位移混合控制加载制度，试件屈服前采用力控制并分级加载。试件屈服后采用位移控制，每级加载 3 个循环。采用三角波或正弦激励法； b) 试件屈服前，按照 0.5 屈服承载力进行加载，加载 3 个循环； c) 试件屈服后，按照位移加载，位移幅值 u_1 分别取 $0.5u_0$ 、 $0.8u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 共 4 个工况，各个工况连续加载 3 个循环； d) 分析首次进入屈服的工况，取第 1 次循环时滞回曲线从零荷载到屈服荷载的斜率作为弹性刚度的实测值，屈服承载力与屈服前刚度的比值作为屈服位移实测值； e) 取位移幅值为 $1.0u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值，并计算得到最大承载力

注： u_0 为消能器设计位移。

- 4 金属屈服型消能器耐久性能试验方法应按表 8.2.2-2 的规定进行。

表 8.2.2-2 金属屈服型消能器耐久性能试验方法

项目	试验方法
疲劳性能	采用三角波或正弦激励法进行 60 次循环加载，绘制阻尼力-位移滞回曲线
耐腐蚀性能	产品按《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 中性盐雾试验方法，进行不应少于 1000 小时的连续试验

注： u_0 为消能器设计位移。

8.2.3 摩擦消能器外观质量和性能检验应符合下列要求：

- 1 产品外观质量可通过目视及常规量具测量评定，应无机械划伤；
- 2 尺寸偏差通过常规量具测量评定；
- 3 产品力学性能试验方法应按表 8.2.3-1 规定进行；

表 8.2.3-1 摩擦消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
起滑摩擦力 起滑位移 滑动摩擦力 极限位移 滞回曲线	a) 采用三角波或正弦激励法进行加载，设计位移下连续加载 3 个循环； b) 取第 3 次循环时滞回曲线的零位移对应的荷载作为滑动阻尼力的实测值； c) 取第 1 次循环时滞回曲线的起滑位移和起滑摩擦力作为起滑位移和起滑摩擦力的实测值； 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； 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

- 4 摩擦消能器耐久性能试验方法应按表 8.2.3-2 的规定进行。

表 8.2.3-2 摩擦消能器耐久性试验方法

项目	试验方法
老化性能	试件放入恒温干燥箱中，保持温度 80℃，保持 192h 后取出完成测试
疲劳性能	采用三角波或正弦激励法进行加载，连续加载 60 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线
耐腐蚀性能	产品按《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 中性盐雾试验方法，进行不应少于 1000 小时的连续试验

注： u_0 为消能器设计位移。

8.2.4 黏滞消能器外观质量和性能检验应符合下列要求：

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

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

3 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

4 产品力学性能试验方法应按表 8.2.4-1 规定进行；

表 8.2.4-1 黏滞消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
极限位移	采用静力加载试验，控制试验机的加载系统使消能器匀速缓慢运动，记录其运动的极限位移值

续表8.2.4-1

项目	试验方法
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_1 ，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_1 ，控制试验机加载系统； b) 位移幅值 u_1 分别取 $0.1u_0$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ 共 6 个工况，不间断连续加载 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
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，记录循环过程中的最大阻尼力作为阻尼力实测值

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。采用无间隙连接黏滞消能器，实验时应采用无间隙连接装置和黏滞消能器整体试验。

5 黏滞消能器的耐久性能应按表 8.2.4-2 的规定进行；

表 8.2.4-2 黏滞消能器耐久性能试验方法

项目	试验方法
疲劳性能	用正弦波加载，当以地震控制为主时，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 10 个循环；当设计位移不大于 100mm 时，加载 60 个循环，可间歇一次；当以风振控制为主时，输入位移 $u = u_w \sin(\omega t)$ ，连续加载 60000 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线

续表8.2.4-2

项目	试验方法
密封性能	输入位移 $u = u_T \sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，进行 10000 次循环试验，消能器内流体可部分移除或移除活塞阻尼结构。要求本试验完成后应进行以地震控制为主的疲劳试验，性能仍满足疲劳性能要求。消能器密封良好，无漏油
耐腐蚀性能	产品按《人造气氛腐蚀试验 盐雾试验》GB/T 10125 中性盐雾试验方法，进行不应少于 1000 小时的连续试验

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。 u_w 为风荷载下黏滞消能器可能达到的最大位移的 1.2 倍， u_T 为温度作用下黏滞消能器可能达到的最大位移的 1.2 倍。

6 黏滞消能器其他相关性能试验应按表 8.2.4-3 的规定进行。

表 8.2.4-3 黏滞消能器其他相关性能的试验方法

项目	试验方法
最大阻尼力加载频率相关性	用正弦激励法，测定产品在常温，加载频率 f 分别为 $0.417f_1$ 、 $0.7f_1$ 、 $1.0f_1$ 、 $1.3f_1$ 、 $1.6f_1$ ，对应分别输入位移幅值 $1.2u_0$ 、 u_0 、 u_0 、 $0.77u_0$ 和 $0.63u_0$ 下的最大阻尼力，并分别与 f_1 下位移幅值的 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 u_0 、 u_0 和 u_0 的阻尼力比值进行比较
最大阻尼力温度相关性	测定产品在输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，工作频率 f_1 ，试验温度为 $-20^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$ ，每隔 10°C 记录其最大阻尼力作为的实测值

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。

8.2.5 黏弹性消能器外观质量和性能检验应符合下列要求：

- 1 外观通过目视、游标卡尺及卷尺进行测量；
- 2 黏弹性材料的拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形的

测定按《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》GB/

T 528 的规定执行；热空气老化的测定，按《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》GB/T 3512 的规定执行；黏合强度的测定，按《硫化橡胶或热塑性橡胶与金属粘合强度的测定 二板法》GB/T 11211 的规定执行。黏弹性材料损耗因子的测定，用动态热机械分析仪检测，测量温度范围 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，测量频率采用消能器的工作频率，升温速度 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；

3 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

4 黏弹性消能器的试验模拟应考虑使用环境变化。黏弹性消能器在标准环境温度 ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) 条件下的力学性能试验方法按表 8.2.5-1 规定进行；

表 8.2.5-1 黏弹性消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
阻尼系数 速度指数 储能刚度 最大阻尼力 滞回曲线	a) 采用正弦激励法，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，加载频率为 f_1 ，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，取滞回曲线包络的面积为滞回曲线面积的实测值，取第 3 次循环时设计位移 u_0 对应的阻尼力 F_1 与 u_0 的比值为储能刚度的实测值； b) 控制位移 $u = u_0 \sin(2\pi f t)$ ，加载频率 f 分别取 0.2Hz、0.5Hz、1.0Hz、2.0Hz、3.0Hz 共 5 个工况，不间断连续加载 3 个循环，取每个工况的第 3 次循环时滞回曲线的最大阻尼力，通过曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值
极限剪应变	控制位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ； u_1 不应小于设计极限位移，工作频率 f_1 ，连续加载 3 个循环；取第 3 次循环时滞回曲线的最大位移对应的表观剪应变作为极限剪应变的实测值

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。

5 黏弹性消能器的耐久性能试验应按表 8.2.5-2 的规定进行；

表 8.2.5-2 黏弹性消能器耐久性能试验方法

项目	试验方法
老化性能	试件放入恒温干燥箱中，保持温度 80℃，保持 192h 后取出
疲劳性能	采用正弦激励法，当主要用于地震控制时，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，进行 60 次循环加载，可间歇一次；当主要用于风振时，输入位移 $u = u_w \sin(\omega t)$ ，每次连续加载不小于 2000 次，累计加载 10000 个循环

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。 u_w 为风荷载下黏弹性消能器可能达到的最大位移的 1.2 倍。

6 黏弹性消能器的相关性能试验应按表 8.2.5-3 的规定进行。

表 8.2.5-3 黏弹性消能器相关性能的试验方法

项目	试验方法
变形相关性能	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
加载频率相关性能	测定产品在输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，（ $u_1 = u_0 f_1 / f$ ）检测频率 f 为 0.2Hz、0.5Hz、1.0Hz、2.0Hz、3.0Hz 时的零位移对应阻尼力，并计算与 0.2Hz 下的相应值的比值
温度相关性能	测定产品在输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，试验温度为 0℃ ~ 40℃，每隔 10℃ 记录其最大阻尼力作为的实测值。（每个温度下放入恒温箱 24h 后 30min 内完成检测）

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。

8.2.6 高阻尼橡胶消能器外观质量和性能检验应符合下列规定：

- 1 外观通过目视、游标卡尺及卷尺进行测量；

2 高阻尼橡胶材料的测定：拉伸强度、扯断伸长率、扯断永久变形的测定按《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528 的规定执行；热空气老化的测定，按《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》GB/T 3512 的规定执行；黏合强度的测定，按《硫化橡胶或热塑性橡胶 与金属粘合强度的测定 二板法》GB/T 11211 的规定执行；

3 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

4 高阻尼橡胶消能器的试验模拟应考虑使用环境变化。高阻尼橡胶消能器在环境温度条件下的力学性能试验方法按表 8.2.6-1 规定进行；

表 8.2.6-1 高阻尼橡胶消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服承载力 屈服位移 最大承载力 屈服后刚度 极限应变 滞回曲线	a) 控制位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，连续加载 3 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屈服承载力、屈服位移、最大承载力、屈服后刚度、极限应变作为实测值
极限剪应变	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_1 ，连续加载 5 个循环；取第 3 次循环时滞回曲线的最大位移作为极限剪应变的实测值

注： ω 为圆频率 $\omega = 2\pi f_1$ ， f_1 为结构基频， u_0 为消能器设计位移。

5 高阻尼橡胶消能器的耐久性试验应按表 8.2.6-2 的规定进行；

表 8.2.6-2 高阻尼橡胶消能器耐久性试验方法

项目	试验方法
老化性能	试件放入恒温干燥箱中，保持温度 80℃ 保持 192h 后取出
疲劳性能	采用正弦激励法，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，工作频率为 f_1 ，连续加载 60 个循环

注： $\omega = 2\pi f_1$ ， ω 为圆频率， u_0 为消能器设计位移， f_1 为结构基频。

6 高阻尼橡胶消能器相关性能试验应按表 8.2.6-3 的规定进行。

表 8.2.6-3 高阻尼橡胶消能器相关性能的试验方法

项目	试验方法
变形相关性能	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
温度相关性能	测定产品在输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，试验温度为 $-10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ ，每隔 10°C 记录其最大阻尼力作为的实测值与 20°C 时进行比较。每个温度下放入恒温箱 24h 后 30min 内完成检测

注： $\omega = 2\pi f_1$ ， ω 为圆频率， u_0 为消能器设计位移， f_1 为结构基频。

8.2.7 调谐质量阻尼器外观质量和性能检验应符合下列要求：

1 产品外观质量可通过目视及常规量具测量评定，试验过程中应无机械划伤；

2 尺寸偏差通过常规量具测量评定；

3 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按表 8.2.7-1 规定执行。

表 8.2.7-1 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 自振频率 阻尼比	通过外部激励使其初始振幅达到极限位移，然后停止激励，并记录振动衰减曲线，确认 TMD 参数是否在合格范围内，试验重复 3 次

8.2.8 根据试验数据确定消能器的性能参数应符合下列规定：

1 位移相关型消能器及屈曲约束支撑的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_{\text{eff}} \Delta u \quad (8.2.8-1)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (8.2.8-2)$$

式中： K_{eff} ——消能器有效刚度（kN/m）；

F_d ——消能器在相应位移下阻尼力（kN）；

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

Δu ——沿消能方向消能器的位移（m）；

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

2 黏滞消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = C |\dot{\Delta u}|^\alpha \text{sgn}(\dot{\Delta u}) \quad (8.2.8-3)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi\omega_1 (|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (8.2.8-4)$$

式中： α ——消能器阻尼指数；

C ——消能器阻尼系数 [kN/ (m · s)]；

ω_1 —— 试验加载圆频率；

W_c —— 消能器在相应加载位移时滞回曲线所围的面积
($\text{kN} \cdot \text{m}$)；

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

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

3 黏弹性消能器的性能参数应按下列公式计算：

$$F_d = K_1 \Delta u + C |\dot{\Delta u}|^\alpha \quad (8.2.8-5)$$

$$K_1 = \frac{F_1}{u} \quad (8.2.8-6)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi\omega_1 (|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (8.2.8-7)$$

式中： K_1 —— 黏弹性消能器储能刚度 (kN/m)；

u —— 黏弹性消能器位移 (m)；

F_1 —— 黏弹性消能器在设计位移 u_0 的阻尼力 (kN)。

8.3 检验规则及判定

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

1 新产品的试制定型鉴定；

2 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时；

3 正常生产时，每五年检验一次；

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

8.3.2 出厂检验应符合下列规定：

1 出厂检验应由独立的第三方检测机构进行检验，检验合格并附检测报告。若产品检测合格率未达到 100%，应对同批产品按原抽样数量加倍抽检，并重新进行所有项目的检测；如加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%，则该批次消能器不得在主体结构中使用；

2 出厂检验的检验项目应包括建筑消能器的外观、尺寸偏差、基本力学性能。检验比例应符合下列规定：

1) 屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的 3%，但不应少于 2 件，检测合格率应为 100%，屈曲约束支撑和金属屈服型消能器检测后产品不得用于主体结构，摩擦消能器检测后产品可用于主体结构；

2) 黏滞消能器用于标准设防类、重点设防类、特殊设防类工程时，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。检测合格率应为 100%，检测后产品可用于主体结构；

3) 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

测合格率应为 100%，检测后产品可用于主体结构；

4) 高阻尼橡胶消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数的 3%，但不应少于 2 件，检测合格率应为 100%，检测后产品可用于主体结构；

5) 调谐质量阻尼器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 100%，检测合格率应为 100%，检测后产品可用于主体结构。

8.3.3 见证检验应符合下列规定：

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，抽检总数的 2%但不应少于 1 件；

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

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

4 摩擦消能器，所有抽检试件均应先检测起滑摩擦力、起滑位移、滑动摩擦力、极限位移、滞回曲线、起滑摩擦与滑动摩擦偏差，并抽取中不少于 1 件进行 60 圈疲劳性能检测。疲劳性能检验后的产品不得用于主体结构；

5 黏滞消能器（墙），所有抽检试件均应先检测速度指数、阻尼系数、最大阻尼力、极限位移、极限速度、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行疲劳性能试验，当设计位移大于100mm时连续加载10个循环，当设计位移大于60mm时连续循环加载45圈，当设产品在设计位移小于60mm时加载60圈。疲劳性能检验后的产品不得用于主体结构；

6 黏弹性消能器，所有抽检试件均应先检测最大阻尼力、阻尼系数、速度指数、储能刚度、极限应变、滞回曲线，并抽取其中不少于1件进行60圈疲劳性能检测。疲劳性能检验后的产品不得用于主体结构；

7 高阻尼橡胶消能器，所有抽检试件均应先检测屈服承载力、屈服位移、最大承载力、屈服后刚度、极限应变，并抽取其中不少于1件进行60圈疲劳性能检测。疲劳性能检验后的产品不得用于主体结构。

8.3.4 检验项目应按表8.3.4执行。

表 8.3.4 消能器检验项目

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

续表8.3.4

产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
金属屈服型消能器	基本力学性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		屈服后刚度	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	疲劳性能	阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
摩擦消能器	基本力学性能	起滑摩擦力	√	√	√
		起滑位移	√	√	√
		滑动摩擦力	√	√	√
		极限位移	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
		起滑摩擦力与滑动摩擦力偏差	√	√	√
	老化性能	滑动摩擦力	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	滑动摩擦力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√

续表8.3.4

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 (黏滞阻尼墙)	基本力学性能	极限位移	√	√	√
		最大阻尼力	√	√	√
		极限速度	√	×	√
		阻尼系数	√	√	√
		阻尼指数	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	低速摩擦性能	阻尼力	√	×	√
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	风荷载测试	最大阻尼力	√	×	×
		滞回曲线	√	×	×
	加载频率相关性	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×

续表8.3.4

产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
黏弹性消能器	基本力学性能	阻尼系数	√	√	√
		速度指数	√	√	√
		储能刚度	√	√	√
		最大阻尼力	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	极限性能	极限应变	√	×	√
	老化性能	变形	√	×	×
		最大阻尼力	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	最大阻尼力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	加载频率相关性	零位移阻尼力	√	×	×
	温度相关性	最大阻尼力	√	×	×
	变形相关性	最大阻尼力	√	×	×

续表8.3.4

产品名称	检验项目		型式检验	出厂检验	见证检验
高阻尼橡胶消能器	基本性能	屈服承载力	√	√	√
		屈服位移	√	√	√
		最大承载力	√	√	√
		屈服后刚度	√	√	√
		滞回曲线	√	√	√
	极限性能	极限应变	√	√	√
	老化性能	变形	√	×	×
		最大承载力	√	×	×
		外观	√	×	×
	疲劳性能	最大承载力	√	×	√
		滞回曲线	√	×	√
		滞回曲线面积	√	×	√
	温度相关性能	最大承载力	√	×	×
	变形相关性能	最大承载力	√	×	×

9 消能减震工程的施工、验收和维护

9.1 一般规定

9.1.1 消能减震工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。消能减震工程可划分成若干个分项工程，并应符合以下规定：

1 分项工程可按消能器产品类别、消能器施工工艺进行划分；

2 检验批可按工程量、楼层、结构缝或施工段划分。

9.1.2 消能部件进场时应进行进场验收，包括质量证明文件检查、外观尺寸检查和见证检验。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验，验收资料应经监理（建设）单位审核。

9.1.3 消能部件进场应提供下列质量证明文件：

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

2 产品合格证、出厂检验报告；

3 消能器生产厂家生产及服务能力证明材料；

4 消能器型式检验报告；

5 其他必要证明文件。

9.1.4 消能减震子分部工程施工前，施工单位应根据设计文件和施工组织设计的要求，编制专项施工方案，并按规定进行

报批。

9.1.5 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《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定。

9.1.6 消能部件的安装接头节点采用焊接和螺栓连接时，应符合设计文件和《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82、《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 等相关规定；采用球铰连接时，消能部件与连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。

9.1.7 消能减震子分部工程验收程序应符合下列规定：

1 消能减震子分部工程的检验批及分项工程应由监理单位组织施工单位项目技术负责人等进行验收；

2 消能减震子分部工程完工后，应由总监理工程师组织施工单位项目负责人和项目技术负责人、设计单位项目负责人等进行验收。

9.1.8 消能减震子分部工程施工质量验收应在自检合格基础上，按检验批、分项工程、子分部工程进行验收，并应符合下列规定：

1 工程施工质量应符合设计要求和本规程规定；

2 隐蔽工程在隐蔽前，应进行隐蔽工程验收，形成隐蔽验收文件；

3 检验批的施工质量应按主控项目和一般项目进行验收，主控项目的合格率应为 100%，一般项目的合格率应不小于 80%，且尺寸偏差不应超出允许偏差 1.2 倍；

4 工程的观感质量应由验收人员现场检查，并应共同确认。

9.1.9 建筑监测系统宜与建筑地震观测系统和机电智能化系统统筹设置。宜选用带有监测功能的减震装置组建监测系统。

9.1.10 减震建筑使用或管理单位应编写维护管理计划书。

9.2 消能部件进场验收

9.2.1 消能部件的类型、规格、数量和性能，除应符合设计文件和本规程的规定外，尚应符合现行标准的相关规定。

9.2.2 消能器应按本规程第 8.3.4 条规定进行见证检验，且安装前应提供合格的见证检验报告。

9.2.3 高强螺栓连接副应进行复验，并应符合《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的要求。

检查数量：从施工现场待安装的螺栓批中随机抽取，每批抽取 8 套连接副。

检查方法：检查复验报告。

9.2.4 消能器及相关材料、构配件进场验收可按附录 C 表 C.0.1 进行记录。

9.2.5 消能部件观感质量要求应符合表 9.2.5 规定。

表 9.2.5 消能部件观感质量要求

消能器类型	质量要求
屈曲约束支撑	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 相关要求

续表9.2.5

消能器类型	质量要求
金属屈服型消能器	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205相关要求
摩擦消能器	应表面平整，无锈蚀，无机械损伤，不应出现缺陷。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205相关要求
黏滞消能器（墙）	应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏。外表应采用防锈措施，涂层应均匀。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205相关要求
黏弹性消能器	应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。黏弹性材料表面应密实、无裂缝。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205相关要求
高阻尼橡胶消能器	应表面平整、无锈蚀、无机械损伤。钢板表面应采用防锈措施，涂层应均匀。高阻尼橡胶材料表面应密实、无裂缝。焊缝外观质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205相关要求

检查数量：全数。

检查方法：观察。

9.2.6 消能器尺寸偏差应符合表 9.2.6 规定。

表 9.2.6 消能器尺寸允许偏差 (mm)

消能器类型	质量指标	
黏滞消能器 (墙)	长度	不应超过产品设计值的 ± 3
	截面有效尺寸	不应超过产品设计值的 ± 2
金属屈服型 消能器	消能器长度、宽度、高度	不应超过产品设计值的 ± 2
摩擦消能器	消能器总宽度、总高度、 总厚度	不应超过产品设计值的 ± 2
屈曲约束支撑	支撑长度	不应超过产品设计值的 ± 3
	支撑横截面有效尺寸	不应超过产品设计值的 ± 2
	支撑侧弯矢量	$\leq L/1000$ 且 ≤ 10
	支撑扭曲	$\leq h(d)/250$ 且 ≤ 5
黏弹性消能器	长度	不应超过产品设计值的 ± 3
	截面有效尺寸	不应超过产品设计值的 ± 2
高阻尼橡胶 消能器	长度	不应超过产品设计值的 ± 3
	截面有效尺寸	不应超过产品设计值的 ± 2

注：L—支撑长度；h—支撑高度；d—支撑外径。

检查数量：全数的 20%，且不少于 2 件。

检查方法：观察、拉线、钢尺测量。

9.2.7 消能部件观感质量和尺寸偏差检查可按附录 C 表 C.0.2 进行记录。

9.3 施 工

9.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和

消能器生产厂家共同确定，并应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

9.3.2 消能减震结构及消能部件的施工顺序，应符合下列规定：

1 划分结构施工流水段和消能器安装流水段；

2 根据结构特点、施工条件确定消能部件在消能减震结构中的安装顺序；

3 确定同一部位各消能器及主体结构构件的局部安装顺序。

9.3.3 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，竖向应从下向上逐步进行。

9.3.4 对于现浇混凝土结构，消能器和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法。

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

9.3.6 同一部位消能部件的组成单元超过一个时，宜先将各组成单元及连接件在现场地面拼装为扩大安装单元后，再与主体结构进行连接。消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

9.3.7 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

1 消能部件的定位轴线、标高等应进行复查；

2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合生产厂家提供的施工操作说明书和国家有关标准的规定；

3 按照消能部件专项施工方案的要求，应核查安装方法和

步骤。

9.3.8 墙型连接的消能部件安装应符合下列规定：

1 对于钢筋混凝土结构悬臂墙的施工：

1) 下悬臂墙钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位置，不应相互阻挡；

2) 上、下悬臂墙平面位置、标高、垂直度偏差应满足本规程规定；

3) 上、下悬臂墙两方向轴线相对偏差及墙（柱）间净空高度应满足本规程规定；

4) 预埋件应与上、下悬臂墙连接牢固，平面位置、标高、水平度应满足本规程规定；

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

2 对于钢结构悬臂墙的施工：

1) 上、下悬臂墙平面位置、标高、垂直度偏差应满足本规程规定；

2) 上、下悬臂墙两方向轴线相对偏差及墙（柱）间净空高度应满足本规程规定；

3) 上、下悬臂墙与主体结构应连接牢固。

3 消能器安装完成后平面位置、标高、垂直度应满足本规程规定。

9.3.9 支撑式连接的消能部件安装应符合下列规定：

1 对于混凝土结构，消能部件的施工：

1) 安装节点处梁、柱钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位

置，不应相互阻挡；

2) 预埋件应与安装节点处梁、柱连接牢固，平面位置、标高、水平度、垂直度应满足本规程规定；

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

4) 消能部件安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计文件的偏移量；

5) 节点板应与预埋件连接牢固，节点板安装完成后应复核上下节点板的平面偏移量；

6) 消能部件安装前应对安装净空进行复核。

2 对于钢结构，消能部件的施工：

1) 消能部件的节点板安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计文件的偏移量；

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

3) 消能部件安装前应对安装净空进行复核。

3 消能器或支撑安装完成后的平面外垂直度、弯曲矢高应满足本规程规定。

9.3.10 其他连接形式应符合下列规定：

1 其他连接形式的消能器安装，可参考本规程墙型连接和支撑式连接相关规定；

2 其他连接形式的消能器安装，消能器与主体结构连接、消能器与支撑连接、消能器与节点板连接、支撑与节点板连接、节点板与主体结构连接的施工均应符合设计文件和相关规范规定。

9.4 质量验收

9.4.1 墙型连接的消能部件验收应符合下列规定：

I 主控项目

1 消能器的类型、型号、数量应符合设计要求。

检查数量：全数。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 消能部件现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数。

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

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

检查数量：全数。

检验方法：观察、检查施工记录。

II 一般项目

1 墙型连接安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 9.4.1 的规定。

表 9.4.1 墙型连接安装位置允许偏差和检验方法

项目		允许偏差		检查数量	检查方法
		混凝土结构	钢结构		
悬臂墙	轴线	±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	高度	±5 mm	±2 mm	全数	水准仪、全站仪或拉线、尺量
	垂直度	$H/1000$	$H/1000$	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量
上、下悬臂墙(柱)轴线相对偏差		±5 mm	±2 mm	全数	吊线、尺量
上、下预埋件间净高		+5 mm +2 mm	+5 mm +2 mm	全数	尺量四角(混凝土结构量预埋板四角)及中心,取最大值
预埋板	轴线	±5mm	±2mm	全数	尺量
	标高	±5mm	±2mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	水平度	3‰	3‰	全数	水准仪或水平尺、塞尺量测
消能器	轴线	±5mm	±2mm	全数	尺量
	垂直度	$H_1/1000$	$H_1/1000$	全数	经纬仪或吊线、尺量

注： H —悬臂墙高度； H_1 —消能器本体净高。

2 连接采用销栓或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于 0.3mm。

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检查方法：观察，采用千分塞尺测量，检查施工记录。

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

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

9.4.2 支撑式连接的消能部件验收

I 主控项目

1 消能器的类型、型号、数量应符合设计要求。

检查数量：全数。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 消能器或支撑现场连接采用焊接连接时，焊缝质量应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数。

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

3 消能器或支撑现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 和国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：全数。

检验方法：观察、检查施工记录。

II 一般项目

1 支撑式连接安装位置的允许偏差和检查方法应符合表 9.4.2 的规定。

表 9.4.2 支撑型连接安装位置允许偏差和检查方法

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

注：L—消能器或支撑本体长度。

2 连接采用销栓或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，间隙不得大于 0.3mm。

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检查方法：观察，千分塞尺测量，检查施工记录。

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

检查数量：全数。

检验方法：观察。

9.4.3 其他连接形式的消能部件验收可参考本规程墙型连接和支撑式连接的相关验收内容执行。

9.4.4 消能减震子分部工程施工质量验收应符合下列规定：

1 消能减震子分部工程有关安全及功能的检验和见证取样检测结果应满足本规程表 9.4.6 的相关要求；

2 消能器见证检验应合格；

3 所含分项工程质量验收应合格；

4 质量控制资料应完整；

5 观感质量验收应合格。

9.4.5 消能减震子分部工程验收应提供如下资料：

1 工程相关设计文件及设计变更文件；

2 消能器及相关材料供货企业的合法性证明文件；

3 消能器及相关材料质量合格证明文件、标识、性能检测报告和复验报告；

4 消能减震子分部工程有关安全及功能的检验和见证取样检测项目检查记录；

5 消能器见证检验报告；

6 施工现场质量管理检查记录；

7 有关观感质量检验项目检查记录；

8 分项工程质量验收记录；

9 检验批质量验收记录；

10 隐蔽工程验收记录；

11 工程重大质量问题的处理方案和验收记录；

12 其他必要的文件和记录。

9.4.6 消能减震子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验方法可按表 9.4.6 的规定执行。

表 9.4.6 消能减震子分部工程有关安全及功能的见证

取样检测项目和检验方法

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
1	见证取样检测项目： (1) 高强度螺栓扭矩系数和预拉力复验； (2) 摩擦面抗滑移系数复验	高强度螺栓扭矩系数和预拉力复验、摩擦面抗滑移系数复验应按《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定执行	符合设计要求和国家有关产品标准的规定
2	焊缝质量： (1) 焊缝尺寸； (2) 内部缺陷； (3) 外观缺陷	一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检 3%，且不应少于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及放大镜、焊缝量规和钢尺检查	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定
3	高强度螺栓施工质量： (1) 终拧扭矩； (2) 梅花头检查	按节点数随机抽检 3%，且不应少于 3 个节点；检验方法应按《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的方法执行	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 相关规定
4	消能部件平面外垂直度	随机抽查 3 个部位的消能部件	符合本规程、设计文件、《消能减震技术规程》JGJ 297 的相关规定

9.4.7 建筑减震工程质量验收记录应符合下列规定：

1 分项工程检验批验收记录可按《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205—2020 中附录 H 及本规程附录 D 进行；

2 分项工程验收记录可按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2013 中附录 F 进行；

3 子分部工程验收记录可按《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2013 中附录 G 进行。

9.5 维护

9.5.1 减震建筑应设置建筑减震工程主标识和减震专项标识。标识应醒目清晰，设置于建筑物特定位置。

9.5.2 消能器的维护检查可分为常规检查、定期检查和应急检查。

9.5.3 减震建筑除对建筑常规维护项目进行检验、检查外，还应对减震建筑特有的项目进行检验、检查，检查项目包括消能器、支撑、连接件及相关构造措施。检查及维护方法应符合表 9.5.3 的规定。

表 9.5.3 消能器检查内容及维护处理方法

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
消能器	黏滞消能器	漏油、渗漏、异常变形	观察、丈量	更换消能器
	金属屈服型消能器	异常变形	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，异常变形	观察、丈量	更换相关材料、压力装置

续表9.5.3

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
消能器	屈曲约束支撑	异常变形、芯材外露	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、异常变形	观察、尺量	更换消能器
	高阻尼橡胶消能器	高阻尼橡胶材料老化、龟裂、异常变形	观察、尺量	更换消能器
	其他类型消能器	异常变形	观察、尺量	更换消能器
连接部位	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形		观察、小锤敲击，卡尺测量	拧紧螺栓、补焊，更换销轴
支撑	弯曲、扭曲		观察，拉线、尺量	更换支撑
	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形		观察、小锤敲击，卡尺测量	拧紧螺栓、补焊，更换销轴
消能部件外露金属面、摩擦面和表面涂装	黏滞消能器导杆表面、摩擦消能器外露摩擦面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块；被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装出现裂纹、起皮、剥落、老化等		观察	及时清除、重新涂装
消能器周围构造	限制、阻碍消能器正常工作的障碍物		观察	及时清除

9.5.4 常规检查应至少每年进行一次，检查单位为减震建筑使用或管理单位。

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

检查宜由专业人员进行。

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

附录 A 复振型影响系数计算公式

A. 0. 1 复振型分解反应谱法中 j 振型和参与系数可按下式计算：

$$X_{ji} = \text{Re}(c_{ji}\varphi_{ji}) \quad (\text{A. 0. 1-1})$$

$$\gamma_j = 2\text{Re}(\eta_j\lambda_j) \quad (\text{A. 0. 1-2})$$

$$c_{ji} = c_{ji}^0 \frac{\eta_j\lambda_j}{\text{Re}(\eta_j\lambda_j)} \quad (\text{A. 0. 1-3})$$

$$\eta_j = \frac{-\lambda_j^2\varphi_j^T M r}{-\lambda_j^2\varphi_j^T M \varphi_j + \varphi_j^T K \varphi_j} \quad (\text{A. 0. 1-4})$$

$$c_{ji}^0 = \begin{cases} -(1 + \mu_b)\omega_b^2/(\mu_b\lambda_j^2) + (-\lambda_j - \alpha) / & \text{减震层} \\ (\lambda_j + \beta\lambda_j^2) \cdot \sum_{i=1}^n G_i\varphi_{ji}/G_b\varphi_{jb} & \text{非减震楼层} \\ (-\lambda_j - \alpha)(\lambda_j + \beta\lambda_j^2) & \end{cases} \quad (\text{A. 0. 1-5})$$

式中： G_i 、 G_b ——分别表示集中于质点 i 、减震层的重力荷载代表值；

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

φ_{ji} —— j 复振型 i 质点水平相对位移；

η_j —— j 复振型的参与系数；

λ_j —— j 复振型的特征值；

c_{ji}^0 —— j 复振型 i 质点的地震作用非比例阻尼影响系数，比例阻尼时等于 1；

r ——地震作用影响向量；

ω_b ——隔震层圆频率，等于减震层刚度除以减震结构总质量的平方根；

β ——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

α ——上部结构瑞利阻尼质量比例系数；

β ——上部结构瑞利阻尼刚度比例系数；

μ_b ——减震层质量与上部结构总质量比值；

Re ——表示取复数实部。

A. 0. 2 j 振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数可按下式计算：

$$\iota_j = S_j^v / S_j \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

式中： S_j^v —— j 振型速度相关水平地震作用效应，由相应速度相关水平地震作用确定。 j 振型 i 质点速度相关水平地震作用可按下式计算：

$$F_{ji}^v = \alpha_j \gamma_j \text{Re} [(-\zeta_j + i\sqrt{1 - \zeta_j^2}) c_{ji} \varphi_{ji}] G_i \quad (\text{A. 0. 2-2})$$
$$(i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$$

A. 0. 3 采用强迫解耦实振型分解反应谱法进行水平地震作用和作用效应计算时， j 振型 i 质点的水平地震作用应按本规程式 (4. 3. 1-1) 和 (4. 3. 1-3) 计算，水平地震作用效应按本规程式 (4. 3. 1-2) 和 (4. 3. 1-4) 计算，其中振型参与系数、耦联系数应按下列公式计算：

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i \quad (\text{A. 0. 3-1})$$

$$\rho_{jk} = \frac{8\sqrt{\zeta_j \zeta_k} (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4\zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4(\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (\text{A. 0. 3-2})$$

附录 B 建议标准化产品规格及性能参数

表 B.0.1 屈曲约束支撑

序号	屈服力 (kN)	型号规格	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服位移 (mm)	屈服后刚度比	轴线长度 (mm)	产品长度 (mm)	参考设计位移 (mm)	建议耗能芯材
1	500	BRB-C×500×D _y	88.6≤K _y ≤119.8	4.1≤D _y ≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q235
2		BRB-C×500×D _y	75.9≤K _y ≤102.7	4.8≤D _y ≤6.4		5500≤L≤6500	4000	17.9≤U≤30.8	
3		BRB-C×500×D _y	67.5≤K _y ≤91.3	5.4≤D _y ≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
4		BRB-C×500×D _y	62.5≤K _y ≤84.5	5.8≤D _y ≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
5		BRB-C×500×D _y	55.9≤K _y ≤75.7	6.5≤D _y ≤8.7		7000≤L≤8000	5500	24.3≤U≤41.8	
6		BRB-C×500×D _y	52.4≤K _y ≤71	6.9≤D _y ≤9.3		7500≤L≤8500	6000	25.9≤U≤44.6	
7	750	BRB-C×750×D _y	135.7≤K _y ≤183.5	4≤D _y ≤5.4	0.035	5000≤L≤6000	3500	15≤U≤25.9	Q235
8		BRB-C×750×D _y	115.9≤K _y ≤156.9	4.7≤D _y ≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
9		BRB-C×750×D _y	102.9≤K _y ≤139.2	5.3≤D _y ≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
10		BRB-C×750×D _y	92.4≤K _y ≤125	5.9≤D _y ≤7.9		6500≤L≤7500	5000	22.1≤U≤38	
11		BRB-C×750×D _y	83.9≤K _y ≤113.5	6.5≤D _y ≤8.7		7000≤L≤8000	5500	24.3≤U≤41.8	
12		BRB-C×750×D _y	78.7≤K _y ≤106.5	6.9≤D _y ≤9.3		7500≤L≤8500	6000	25.9≤U≤44.6	
13	1000	BRB-C×1000×D _y	180.9≤K _y ≤244.7	4≤D _y ≤5.4	0.035	5000≤L≤6000	3500	15≤U≤25.9	Q235
14		BRB-C×1000×D _y	154.5≤K _y ≤209.1	4.7≤D _y ≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
15		BRB-C×1000×D _y	134.9≤K _y ≤182.5	5.4≤D _y ≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
16		BRB-C×1000×D _y	126.9≤K _y ≤171.7	5.7≤D _y ≤7.7		6500≤L≤7500	5000	21.4≤U≤36.9	
17		BRB-C×1000×D _y	114.8≤K _y ≤155.4	6.3≤D _y ≤8.5		7000≤L≤8000	5500	23.7≤U≤40.7	
18		BRB-C×1000×D _y	103.7≤K _y ≤140.3	7≤D _y ≤9.4		7500≤L≤8500	6000	26.2≤U≤45.1	
19	1500	BRB-C×1500×D _y	265.6≤K _y ≤359.4	4.1≤D _y ≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q235
20		BRB-C×1500×D _y	231.8≤K _y ≤313.6	4.7≤D _y ≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
21		BRB-C×1500×D _y	202.4≤K _y ≤273.8	5.4≤D _y ≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
22		BRB-C×1500×D _y	190.3≤K _y ≤257.5	5.7≤D _y ≤7.7		6500≤L≤7500	5000	21.4≤U≤36.9	
23		BRB-C×1500×D _y	167.8≤K _y ≤227	6.5≤D _y ≤8.7		7000≤L≤8000	5500	24.3≤U≤41.8	
24		BRB-C×1500×D _y	153.6≤K _y ≤207.8	7.1≤D _y ≤9.5		7500≤L≤8500	6000	26.6≤U≤45.7	

续表B.0.1

序号	屈服力 (kN)	型号规格	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服位移 (mm)	屈服后刚度比	轴线长度 (mm)	产品长度 (mm)	参考设计位移 (mm)	建议耗能芯材
25	2000	BRB-C×2000×Dy	354.2≤Ky≤479.2	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q235
26		BRB-C×2000×Dy	309.1≤Ky≤418.1	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
27		BRB-C×2000×Dy	274.2≤Ky≤371	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
28		BRB-C×2000×Dy	250≤Ky≤338.2	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
29		BRB-C×2000×Dy	229.8≤Ky≤310.8	6.3≤Dy≤8.5		7000≤L≤8000	5500	23.7≤U≤40.7	
30		BRB-C×2000×Dy	204.9≤Ky≤277.2	7.1≤Dy≤9.5		7500≤L≤8500	6000	26.6≤U≤45.7	
31	2500	BRB-C×2500×Dy	442.7≤Ky≤598.9	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q235
32		BRB-C×2500×Dy	386.3≤Ky≤522.7	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
33		BRB-C×2500×Dy	342.7≤Ky≤463.7	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
34		BRB-C×2500×Dy	312.5≤Ky≤422.7	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
35		BRB-C×2500×Dy	283.3≤Ky≤383.3	6.4≤Dy≤8.6		7000≤L≤8000	5500	24≤U≤41.3	
36		BRB-C×2500×Dy	259.2≤Ky≤350.6	7≤Dy≤9.4		7500≤L≤8500	6000	26.2≤U≤45.1	
37	3000	BRB-C×3000×Dy	531.3≤Ky≤718.8	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q235
38		BRB-C×3000×Dy	463.7≤Ky≤627.3	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
39		BRB-C×3000×Dy	411.3≤Ky≤556.5	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
40		BRB-C×3000×Dy	375≤Ky≤507.4	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
41		BRB-C×3000×Dy	340≤Ky≤460	6.4≤Dy≤8.6		7000≤L≤8000	5500	24≤U≤41.3	
42		BRB-C×3000×Dy	311≤Ky≤420.8	7≤Dy≤9.4		7500≤L≤8500	6000	26.2≤U≤45.1	

注：BRB-C×500×3500，BRB 表示屈服约束支撑，C 表示钢套筒与砂浆（或混凝土）组合约束型，500 表示屈服承载力，3500 表示产品长度。

表 B.0.2 金属屈服型消能器

序号	规格型号	屈服力 (kN)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服位移 (mm)	屈服后刚度比	参考设计位移 (mm)	建议耗能芯材	
1	MYD-S×200×1.0	200	200.0	1.0	0.025	U≤22	LY225	
2					0.035	22<U≤30	LY160	
3					0.050	30<U	LY100	
4	MYD-S×200×1.5			133.3	1.5	0.025	U≤30	LY225
5						0.035	30<U≤40	LY160
6						0.050	40<U	LY100

续表B. 0. 2

序号	规格型号	屈服力 (kN)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服位移 (mm)	屈服后 刚度比	参考设计位移 (mm)	建议耗 能芯材
7	MYD-S×300×1.0	300	300.0	1.0	0.025	$U \leq 22$	LY225
8					0.035	$22 < U \leq 30$	LY160
9					0.050	$30 < U$	LY100
10	MYD-S×300×1.5	200.0	1.5	1.5	0.025	$U \leq 30$	LY225
11					0.035	$30 < U \leq 40$	LY160
12					0.050	$40 < U$	LY100
13	MYD-S×400×1.0	400	400.0	1.0	0.025	$U \leq 22$	LY225
14					0.035	$22 < U \leq 30$	LY160
15					0.050	$30 < U$	LY100
16	MYD-S×400×1.5	266.7	1.5	1.5	0.025	$U \leq 30$	LY225
17					0.035	$30 < U \leq 40$	LY160
18					0.050	$40 < U$	LY100
19	MYD-S×600×1.0	600	600.0	1.0	0.025	$U \leq 25$	LY225
20					0.035	$25 < U \leq 35$	LY160
21					0.050	$35 < U$	LY100
22	MYD-S×600×1.5	400.0	1.5	1.5	0.025	$U \leq 35$	LY225
23					0.035	$35 < U \leq 40$	LY160
24					0.050	$40 < U$	LY100
25	MYD-S×800×1.0	800	800.0	1.0	0.025	$U \leq 25$	LY225
26					0.035	$25 < U \leq 35$	LY160
27					0.050	$35 < U$	LY100
28	MYD-S×800×1.5	533.3	1.5	1.5	0.025	$U \leq 35$	LY225
29					0.035	$35 < U \leq 40$	LY160
30					0.050	$40 < U$	LY100

续表B. 0. 2

序号	规格型号	屈服力 (kN)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服位移 (mm)	屈服后刚度比	参考设计位移 (mm)	建议耗能芯材
31	MYD-S×1000×1.0	1000	1000.0	1.0	0.025	$U \leq 25$	LY225
32					0.035	$25 < U \leq 35$	LY160
33					0.050	$35 < U$	LY100
34	MYD-S×1000×1.5	666.7	1.5	1.5	0.025	$U \leq 35$	LY225
35					0.035	$35 < U \leq 40$	LY160
36					0.050	$40 < U$	LY100
37	MYD-S×1200×1.0	1200	1200.0	1.0	0.025	$U \leq 25$	LY225
38					0.035	$25 < U \leq 35$	LY160
39					0.050	$35 < U$	LY100
40	MYD-S×1200×1.5	800.0	1.5	1.5	0.025	$U \leq 35$	LY225
41					0.035	$35 < U \leq 40$	LY160
42					0.050	$40 < U$	LY100

注：MYD-S×200×1.0，MYD 表示金属屈服型消能器，S 表示由钢材加工而成，200 表示屈服承载力，1.0 表示屈服位移，LY225 表示耗能芯材为 LY225。

表 B. 0. 3 摩擦消能器

序号	规格类型	起滑位移 (mm)	起滑摩擦力 (mm)	初始刚度 (kN/mm)	变刚度位移 (mm)	极限载荷 (kN)	极限位移 (mm)	二阶刚度 (kN/mm)
1	FD-P-100×0.5	0.5	100	200	-	-	-	-
2	FD-P-200×0.5	0.5	200	400	-	-	-	-
3	FD-P-300×0.5	0.5	300	600	-	-	-	-
4	FD-P-400×0.6	0.6	400	667	-	-	-	-
5	FD-P-600×0.8	0.8	600	750	-	-	-	-
6	FD-P-800×1.0	1.0	800	800	-	-	-	-
7	FD-P-200×0.5-350	0.5	200	400	10	350	30	7.5
8	FD-P-300×0.5-650	0.5	300	600	10	650	30	17.5
9	FD-P-400×1.0-850	1.0	400	400	10	850	30	22.5
10	FD-P-600×1.0-1050	1.0	600	600	10	1050	30	22.5

注：FD-P-100×0.5，FD 表示摩擦消能器，P 表示板式摩擦消能器，100 表示起滑摩擦力，0.5 表示起滑位移。

表 B.0.4 黏滯消能器

序号	型号规格	阻尼系数 (kN/ (mm/s) ^α)	阻尼指数 α	参考速度 (mm/s)
1	VFD-NL×F×U	45	0.20	150~400
2		40		
3		35		
4		30		
5		25		
6	VFD-NL×F×U	60	0.20	
7		55		
8		50		
9		45		
10		40		
11	35	0.30		
12	90		0.20	
13	85			
14	80			
15	75			
16	70			
17	65			
18	60			
19	55			
20	50			
21	VFD-NL×F×U	120		
22		110		
23		100		
24		95		
25		90		
26		85		
27		80		
28		75		
29		70		
30		65		
31	VFD-NL×F×U	150	0.20	
32		140		
33		130		
34		120		
35		110		
36		100		
37		95		
38		90		
39		85		

续表B. 0. 4

序号	型号规格	阻尼系数 (kN/ (mm/s) ^α)	阻尼指数 α	参考速度 (mm/s)
40	VFD-NL×F×U	180	0. 20 0. 25 0. 30	150~400
41		170		
42		160		
43		150		
44		140		
45		130		
46		120		
47		110		
48		100		
49		VFD-NL×F×U		
50	220			
51	200			
52	190			
53	180			
54	170			
55	160			
56	150			
57	140			
58	130			
59	VFD-NL×F×U	300	0. 20 0. 25 0. 30	
60		280		
61		260		
62		240		
63		220		
64		200		
65		190		
66		180		
67		170		
68		160		

注：VFD-NL×F×U，VFD表示黏滞消能器，NL表示非线性黏滞消能器， F 表示最大阻尼力， U 表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核参考速度。

表 B.0.5 黏滞阻尼墙

序号	规格型号	阻尼系数/ (kN/ (mm/s) ^α)	阻尼指数 α	参考速度 mm/s
1	VFW-NL×F×U	22	0.45	≤150
2	VFW-NL×F×U	44	0.45	
3	VFW-NL×F×U	66	0.45	
4	VFW-NL×F×U	88	0.45	
5	VFW-NL×F×U	110	0.45	
6	VFW-NL×F×U	132	0.45	
7	VFW-NL×F×U	154	0.45	
8	VFW-NL×F×U	176	0.45	
9	VFW-NL×F×U	198	0.45	
10	VFW-NL×F×U	220	0.45	
11	VFW-NL×F×U	242	0.45	
12	VFW-NL×F×U	264	0.45	

注：VFW-NL×F×U，VFW 表示黏滞阻尼墙，NL 表示非线性黏滞阻尼墙，F 表示最大阻尼力，U 表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核参考速度。

表 B.0.6 高阻尼橡胶消能器

序号	规格型号	屈服承载力 (kN)	屈服前刚度 (kN/mm)	屈服后刚度比	等效刚度 (kN/mm)	等效阻尼比
1	HDRD-P×70×100	70	60≤K _y ≤80	0.1	12.5	18
2	HDRD-P×140×100	140	110≤K _y ≤150	0.1	25	18
3	HDRD-P×140×100	150	130≤K _y ≤170	0.1	31.3	18
4	HDRD-P×200×100	200	160≤K _y ≤220	0.1	37.5	18
5	HDRD-P×250×100	250	360≤K _y ≤470	0.1	62.5	18

注：HDRD-P×70，HDRD 表示高阻尼橡胶消能器，P 表示板式高阻尼橡胶消能器，70 表示屈服承载力，100 表示表观剪应变设计值为 100%。

表 B.0.7 黏弹性消能器

序号	规格型号	设计阻尼力 (kN)	阻尼系数/ (kN/ (mm/s) ^α)	阻尼指 数 α	储能刚度 (kN/mm)
1	VED-P×200×100	200	50	0.2	10
2	VED-P×400×100	400	100	0.2	15
3	VED-P×600×100	600	150	0.2	30
4	VED-P×800×100	800	200	0.2	40

注：VED-P×200×100，VED 表示黏弹性消能器，P 表示板式黏弹性消能器，200 表示设计阻尼力，100% 表示表观剪应变设计值为 100%。储能刚度的参考加载频率为 1Hz，设计时可近似取该值为等效刚度值。

附录 C 材料进场验收记录

C.0.1 消能器及相关材料、构配件进场验收应按表 C.0.1 进行记录。

表 C.0.1 消能器材料、构配件进场验收记录

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

C.0.2 消能部件观感质量和尺寸偏差检查进场检查应按表 C.0.2 进行记录。

表 C.0.2 消能部件观感质量和尺寸偏差检查进场检查记录

消能部件观感质量和尺寸偏差检查 进场检查记录			资料编号			
工程名称						
消能器型号		供货厂家				
消能器数量		检查数量		进场日期		
验收标准						
序号	消能器 类型	检验 项目	质量要求	检查记录	备注	
1	通用	观感质量	表面平整，无机械损伤，无锈蚀、无毛刺，标记清晰，无渗漏，阻尼材料表面密实，相对平整，外表防锈涂层均匀			
2	通用	长度	产品设计值 $\pm 3.0\text{mm}$			
3	通用	截面有效尺寸	产品设计值 $\pm 2.0\text{mm}$			
4	支撑型 或支撑	支撑长度	产品设计值 $\pm 3.0\text{mm}$			
5	支撑型 或支撑	支撑侧 弯矢量	$L/1000$ ，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	

附录 D 检验批质量验收记录

表 D 检验批质量验收记录

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

本规程用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 3 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 6 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 7 《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666
- 8 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 9 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 10 《工程测量规范》 GB 50026
- 11 《建筑工程监理规范》 GB 50319
- 12 《建筑消能阻尼器》 JG/T 209
- 13 《建筑消能减震应用技术规程》 JGJ 297
- 14 《建筑抗震韧性评价标准》 GB/T 38591
- 15 《云南省建筑消能减震设计与审查技术导则》 云建震
[2018] 337 号
- 16 《建筑工程抗震性态设计通则》 CECS 160
- 17 《建筑隔震工程施工及验收规范》 JGJ 360
- 18 《建筑隔震橡胶支座》 JG/T 118
- 19 《建筑工程叠层橡胶隔震支座性能要求和检验标准》

DBJ 53/T—47

20 《建筑工程叠层橡胶隔震支座施工与验收标准》 DBJ 53/T—48

21 《云南省建筑工程资料管理规程》 DBJ 53/T—44

22 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82

23 《云南省建筑工程施工质量验收统一规程》 DBJ 53/T—23

24 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33

25 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99

26 《建筑变形测量规范》 JGJ 8

27 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80

云南省工程建设地方标准

建筑消能减震应用技术规程

DBJ 53/T—125—2021

条文说明

目 次

1 总则	114
3 基本规定	116
4 地震作用和抗震验算	117
4.1 一般规定	117
4.3 地震作用计算	117
5 消能减震结构设计	118
5.1 一般规定	118
5.3 结构设计	118
6 消能部件的连接与构造	120
6.1 一般规定	120
7 消能器的技术性能	121
7.1 一般规定	121
7.2 屈曲约束支撑	121
7.4 摩擦消能器	121
7.5 黏滞消能器	122
7.6 黏弹性消能器	122
7.7 高阻尼橡胶消能器	123
8 消能器的试验方法和检验规则	124
8.1 一般规定	124
9 消能减震工程的施工、验收和维护	126

9.1 一般规定	126
9.3 施工	127
9.4 质量验收	130
9.5 维护	130

1 总 则

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

1.0.3 抗震设防目标分为两类，主要基于《建设工程抗震管理条例》《云南省隔震减震建筑工程促进规定》等法律法规的相关规定。

1 第一类是指《建设工程抗震管理条例》中第十六条规定：位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求的建筑结构，满足正常使用要求指建筑保持正常使用功能，包括结构安全、空间正常使用和设备正常运转。可根据建筑具体功能或特殊要求，验算其楼层加速度、速度、位移等指标，其非结构构件和附属设备的抗震性能要求应符合本规程和其他相关规范要求；

2 第二类是《云南省隔震减震建筑工程促进规定》第三条规定应当采用隔震减震技术的建筑。（1）抗震设防烈度 7 度以上区域内三层以上、且单体建筑面积 1000m² 以上的学校、幼儿园校舍和医院医疗用房建筑工程。（2）前款规定以外，抗震设防烈度 8 度以上区域内单体建筑面积 1000m² 以上的重点设防类、特殊设防类建筑工程。（3）地震灾区恢复重建三层以上且单体建筑

面积 1000m² 以上的公共建筑工程；除此之外属于其他新建、改建和扩建建筑工程；

3 除 1 和 2 之外的其他新建建筑结构，采用消能减震设计，消能器性能与检验，消能减震工程的施工、验收和维护可参照本规程执行。

1.0.4 保证发生本区域设防地震时满足正常使用要求的建筑，其非结构构件、设备仪器和附属设施的性能目标不应低于《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591 抗震韧性二星水平。

3 基本规定

3.0.2 本条规定的“罕遇地震作用下消能器总耗能与地震总输入能量的比值要求”，主要针对平面规则、对称，竖向刚度相对均匀的多高层建筑。对于明显不规则的建筑，需要专门研究。

4 地震作用和抗震验算

4.1 一般规定

4.1.4 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%。

4.3 地震作用计算

4.3.3 地震作用结果宜按构件取时程分析法与振型分解反应谱法的包络值。

5 消能减震结构设计

5.1 一般规定

5.1.9 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 和本规程等标准允许消能器在检测时有 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，故提出此要求。当消能器的连接采用预紧球铰等减少或消除间隙的措施时，多遇地震和设防地震作用下设计时的附加阻尼比可分别采用 85% 或 95%。采用无间隙连接的黏滞消能器，应采用无间隙连接装置和黏滞消能器进行整体试验。

5.3 结构设计

5.3.8~5.3.12 设防地震作用下，第一类设防目标对应的结构的抗震措施应满足本规程 5.3.8 条~第 5.3.13 条的要求，以确保在保证设防地震作用下主体结构满足“强柱弱梁”“强剪弱弯”等设计理念。除此之外，第一类设防目标对应的结构尚应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相关要求。

5.3.19 对于消能减震混凝土结构中的主体结构由于消能部件附加的阻尼比使得结构的地震反应降低，构件的截面尺寸可能会有所减小，主体结构的抗震等级是根据设防烈度、结构类型、房屋高度进行区分，主体结构应采用对应结构体系的计算和构造措施

执行，抗震等级的高低，体现了对结构抗震性能要求的严格程度。为此，对于消能减震混凝土结构的主体结构抗震等级应根据其自身的特点，按相应的规范和规程取值，当消能减震结构的减震效果比较明显时，主体结构的构造措施可适当降低，即当消能减震的地震影响系数不到非消能减震的 50% 时，主体结构的构造措施可降低一度执行。

5.3.20 对特殊设防类的消能子结构宜按极罕遇地震。消能子结构下方至少一层的对应竖向构件也应满足本条第 2 款的强度要求，但该要求不含嵌固端以下的构件。

5.3.21 消能减震结构中消能部件与结构构件进行连接，并且会传递给结构构件较大的阻尼力，为了保证结构构件在消能部件附加的外力作用下不至于发生破坏，需要在与消能部件连接的部位进行箍筋加密，并且加密区长度要延伸到连接板以外的位置，为此，加密区长度从连接板的外侧进行计算。

6 消能部件的连接与构造

6.1 一般规定

6.1.7 与消能器相连的预埋件、支撑和墙及节点板应考虑的极限承载力，从而保证消能器在罕遇地震作用下不丧失功能。

7 消能器的技术性能

7.1 一般规定

7.1.1 消能器的设计使用年限不应低于 50 年。JG/T 209—2012 规定黏滞阻尼器使用年限为 30 年，本版修改为 50 年，并给出了黏滞阻尼器评估寿命的试验方法。

7.1.4 消能器在实际工作和检测过程中难免会存在各种间隙，软件模拟时很难考虑间隙影响。当屈服位移小于 0.5mm 时，因间隙存在会影响消能器实际耗能贡献，故提出此要求。

7.2 屈曲约束支撑

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

7.4 摩擦消能器

7.4.5 摩擦消能器的老化是指摩擦材料特性的老化以及摩擦面的氧化或生锈导致摩擦系数变化引起滞回特性的变化。

7.5 黏滯消能器

7.5.3 黏滯阻尼材料是一种性能比较稳定的高分子材料，目前常用为二甲基硅油，根据《二甲基硅油》G/T 2366—2015 规定，硅油黏度变化仍在 $\pm 5\%$ 以内。二甲基硅油的 $150^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ 条件下挥发份不大于 0.5% ，黏滯消能器在疲劳测试时温度会升高，因此定为 $230^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ 挥发份不大于 0.75% 。

7.5.6 依据《塑料长期热暴露后时间-温度极限的测定》GB/T 7142、《塑料 拉伸性能的测定第 1 部分：总则》GB/T 1040.1、《塑料 拉伸性能的测定第 2 部分：模塑和挤塑塑料的试验条件》GB/T 1040.2、《硫化橡胶在常温和高温下压缩应力松弛的测定》GB/T 1685 等规范，应用热空气加速老化试验方法，按照阿雷尼乌斯方程推算密封材料室温下等效 50 年使用寿命的热空气老化条件。从一批次密封件及黏滯阻尼材料中随机抽取适当的样品量，作为老化前的样品，封样保存；然后从剩余数量中随机抽取适当的样品量，放置于热空气老化箱中进行加速老化试验，老化后将密封件及二甲基硅油组装在黏滯阻尼器内，进行对比测试。

7.5.8 低速摩擦性能是指：黏滯消能器在低速运动过程中阻尼力大小。低速运动过程中阻尼力越小消能器性能越稳定。

7.6 黏弹性消能器

7.6.1~7.6.8 7.6 节和 7.7 节区分为黏弹性消能器和高阻尼橡胶消能器，黏弹性消能器是指利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滯回变形来耗散能量的减震装置，属于速度相关型消能器。高阻尼橡胶消能器指由利用高阻尼橡胶材料间产生的剪切或拉压滯回

变形来耗散能量的减震装置，属于位移相关型消能器。现有行业标准《建筑消能阻尼器》JG 209 和《建筑消能减震技术规程》JG 297 只规定了黏弹性消能器，没有高阻尼橡胶消能器，但近年来实际应用中出现只有位移相关性的高阻尼消能器，故本规程专门加以区分。

设计文件中应明确提出黏弹性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。

7.7 高阻尼橡胶消能器

7.7.1~7.7.7 高阻尼橡胶消能器由较高阻尼的橡胶材料制成的消能器，该消能器没有明显的速度相关性，具有明显的位移相关性，属于位移型消能器。本规程制定过程中，为把具有速度相关性的黏弹性消能器与没有速度相关性的橡胶消能器区分开来，因此增加了高阻尼橡胶消能器的章节。真正的黏弹阻尼器应具有弹性和黏性性能，其黏性性能类似黏滞消能器，随着速度增大，耗能能力随之提高，弹性刚度也随之变化，是一款速度相关性阻尼器。对于没有弹性和黏性的橡胶消能器，本规程定义为高阻尼橡胶消能器。

8 消能器的试验方法和检验规则

8.1 一般规定

8.1.3 消能器疲劳性能提高的理由如下：

1 JG/T 209—2009 版中疲劳性能规定为 60 圈，修订版 JG/T 209—2012 中改为 30 圈，当时限于技术水平、工艺水平、检验能力，以及考虑到我国减震应用刚起步等因素；

2 当建筑物遭遇地震时，通常经受一次主震和若干次余震，或者两次主震和若干次余震，消能器在经受主震余震后仍能发挥作用不致很快失效退出工作；

3 考虑到消能器损坏后不可能及时更换，甚至无法更换，日本建筑设计行业针对消能器产品性能要求能经受两次罕遇地震；

4 考虑到地震的不确定性，消能器损坏后不能及时更换，甚至有些根本无法更换，因此提高阻尼器的疲劳性能要求；

5 中国标准化协会标准《屈曲约束支撑应用技术规程》要求耗能型 BRB 累计塑性变形系数不低于 1200 倍；

6 高层建筑、超高层建筑，遭遇地震时，结构自身周期长，上部结构的地震反应会放大且振动持时延长，因此对阻尼器的性能需求更高。日本 2011 年 3.11 东日本大地震后，长持时长周期地震对超高层结构的共振以及构件的疲劳损伤问题受到广泛瞩

目。为了应对将来可能发生的南海板块巨大地震（南海トラフ巨大地震），日本国土交通省要求，在 2017 年以后新建的高层建筑（60m 及以上），应增加长持时长周期地震动（波长 330s，名古屋地震动卓越周期 1s~4s，大阪地震动卓越周期 4s~7s 等）的动力时程分析，其中包括了基于弹性疲劳损伤准则（Miner 准则）结构构件的累积损伤评价。

9 消能减震工程的施工、验收和维护

9.1 一般规定

9.1.1 结合消能减震结构的特点，根据《云南省建筑工程施工质量验收统一规程》DBJ 53/T—23的有关规定，将消能减震工程作为上部主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工质量管理 and 竣工验收。检验批可根据施工、质量控制和专业验收的需要，按工程量、楼层、结构缝或施工段进行划分。

9.1.3 对金属屈服型消能器、屈曲约束支撑应按照同一工程中的构造形式、屈服耗能材料和屈服承载力分类进行型式检验，产品构造和屈服耗能材料相同的产品视为同一类型，屈服承载力在75%~125%（包含75%和125%）范围内的产品分为同一规格。实际应用中，同一项目因金属消能器、屈曲约束支撑布置位置、层高、跨度的不同，采用的消能器可能均会不同，同时消能器种类规格目前难以形成标准系列化，因此本规程将对金属消能器、屈曲约束支撑的型式检验范围进行归并，以便于实际工程的应用。

9.1.4 消能部件的施工应符合《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80和《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，在专项施工方案中制定施工安全措施。

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

9.1.6 消能部件采用铰接连接时，连接间隙会影响消能部件的消能性能的发挥，为了减小其对结构减震性能的影响，对采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应从严控制。

9.3 施 工

9.3.1 消能减震结构施工安装前，首先应确定结构的各类普通构件和消能部件的总体及局部施工安装顺序，这对施工安装质量有重要影响，且应遵循本条规定的要求，以确保施工安装质量。

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

消能减震钢结构的安装顺序可采用以下顺序进行：

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

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

水段的上一层柱范围或下一流水段的安装；

3 进行钢构件的涂装和内外墙板施工。

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

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

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

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

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

安装单元与结构的安装连接，精度要求高，连接施工较难。

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

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

对于消能减震的现浇混凝土结构：

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

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

接牢固。

9.4 质量验收

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

9.5 维护

9.5.1 建筑减震工程主标识内容应包括：项目名称、建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、消能器生产厂家、减震建筑竣工验收时间；减震专项标识内容应有消能器标识、减震检修口标识、避让疏散标识。

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

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

常规检查是对消能部件本身进行的正常检查，其目的是尽早发现消能部件的明显异常。

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

应急检查是指在发生强震、强风、火灾等灾害后立即实施的

检查，目的是检查确认上述灾害对消能部件性能有无影响。

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