

广东省工程勘察设计行业协会团体标准

T/GDSX XXX-XXX

建筑减隔震与振动控制技术 应用标准

Technical Application Standards for Building Energy
Dissipation Seismic Isolation and Vibration Control

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

广东省工程勘察设计行业协会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 规则起草。

本标准由广东省工程勘察设计行业协会归口。

本标准主编单位：深圳市华阳国际工程设计股份有限公司、广州容柏生建筑结构设计事务所、震安科技股份有限公司、南京大德减震科技有限公司

本标准参编单位：广东省建筑设计研究院有限公司、深圳建筑设计研究总院有限公司、广州大学、广东省建筑科学研究院集团股份有限公司、奥意建筑工程设计有限公司、中建三局集团华南有限公司、中建五局集团第三公司、深圳市建工集团股份有限公司、北京迈达斯技术有限公司

本标准主要起草人：

本标准主要审查人：

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.....	7
4 地震时保持正常使用功能建筑的性能目标及设计.....	12
4.1 一般规定.....	12
4.2 地震时保持正常使用功能建筑的性能目标.....	15
4.3 保持正常使用功能建筑结构设计.....	16
4.4 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.....	17
5 消能减震结构设计.....	19
5.1 地震作用与作用效应计算.....	19
5.2 减震设计控制标准.....	24
5.3 基于既有建筑的减震设计.....	28
5.5 城市轨道交通振动控制设计.....	36
5.6 消能减震节点设计及构造.....	38
6 隔震结构设计.....	43
6.1 地震作用与作用效应计算.....	43
6.2 隔震设计.....	44

7 消能器的试验方法和检验规则	48
7.1 一般规定	48
7.2 试验方法	48
7.3 检验规则及判定	70
8 减震工程的施工与验收	77
8.1 一般规定	77
8.2 消能部件进场验收	79
8.3 施工	81
8.4 质量验收	88
9 隔震支座性能	95
9.1 一般规定	95
9.2 隔震橡胶支座	98
9.3 弹性滑板支座	101
9.4 摩擦摆隔震支座	102
9.5 三维隔震（振）支座	102
9.6 检验规则	104
10 隔震（振）工程的施工、验收和维护	107
10.1 一般规定	107
10.2 进场和施工	108
10.3 工程验收	113
10.4 维护	117
11 减震（振）工程的维护及健康监测	120

11.1 一般规定	120
11.2 维护	120
11.3 建筑地震反应监测	122
11.4 建筑风振加速度监测	123
附录 A 减隔震装置力学模型	125
附录 B 材料进场验收记录	148
附录 C 检验批质量验收记录	151
附录 D 材料进场和隔震施工质量验收记录	152
本规范用词说明	167

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家和广东省的有关法规和技术政策，在建筑减隔震（振）工程中做到安全适用、技术先进、经济合理、绿色节能、确保质量、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于广东省抗震设防烈度为 6 度~8 度地区新建、既有建筑减隔震、振动控制的设计、施工、质量验收和维护。

1.0.3 按本标准进行减隔震设计的建筑，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、广播电视等采用隔震减震技术的建筑，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：除前款规定以外的减震（振）建筑，其基本设防目标可参照国家和广东省现行有关标准执行。

【条文说明】《建设工程抗震管理条例》第十六条规定，位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑（简称“两区八类”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。为贯彻《建设工程抗震管理条例》，对“两区八类”项目与其他项目的抗震性能目标及设计方法进行区分。

1.0.4 减震（振）建筑的结构构件、建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的使用功能有专门要求时，除符合本标准基本抗震设防目标外，尚应符合国家和广东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 减震（振）结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。减震（振）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、连接支撑和其他连接构件等组成的部件。

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 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、摩擦消能器和防屈曲支撑型消能器等。

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

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.7 控制层 control layer

用于隔震（振）装置及辅助构件布置的专门层，可设置在建筑结构的底部或层间。建筑设备隔震（振）可设置在装备底部、局部区域或装备所放置建筑结构中的特定区域。

2.1.8 隔振支座 bearing of engineering vibration

有螺旋弹簧或蝶形弹簧构成的并能承受竖向压缩荷载的支座。

2.1.9 震振双控支座 integrated control bearing of seismic motion and engineering vibration

控制层中用于承载上部结构并具有降低振动和地震作用功能的支座，包括叠层厚橡胶支座、组合支座等。

2.1.10 叠层厚橡胶支座 laminated rubber bearing with thick rubber layers

通过增加单层橡胶厚度而形成的第一形状系数介于 4~16、第二形状系数大于 3 的叠层橡胶支座。

2.1.11 组合支座 combined bearing

由水平方向隔震支座单元和竖直方向隔振支座单元通过串并联原理实现降低振动和地震作用功能的支座。

2.1.12 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。

2.1.13 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。

2.1.14 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、结构势能、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. 1. 15 消能器设计位移 design displacement of energy dissipation device

在罕遇地震作用下消能减震结构中的消能器达到的位移值。不同布置位置的消能器参数取值相同时，消能器设计位移应取在罕遇地震作用下不同布置位置的消能器达到的最大位移值。

2. 1. 16 消能器极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器极限位移应大于消能器设计位移的 120%。

2.1.17 附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2. 1. 18 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

2. 1. 19 隔震层 seismic isolation interface

隔震建筑设置在基础或下部结构与上部结构之间的全部部件及结构构件，包括隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置、附属装置及相关的支承和连接构件等。

2. 1. 20 上部结构 superstructure

隔震建筑位于隔震层以上的结构部分。

2.1.21 下部结构 substructure

隔震建筑位于隔震层以下的结构部分，不包括基础。

2. 1. 22 基底隔震 base isolation

隔震层设置在建筑物底部的隔震体系。

2.1.23 层间隔震 inter-story isolation

隔震层设置在建筑物底部以上某层间位置的隔震体系。

2.1.24 错位层间隔震 dislocation inter-story isolation

隔震层设置在不同标高的层间隔震体系。

2.1.25 屈曲约束拉压杆 buckling constraint tension and compression member

与框架梁平行并与楼盖体系脱开设置，由核心单元、外约束单元组成，利用核心单元产生弹塑性滞回变形耗散能量，仅承受拉、压力的消能器。

2.2 符号

2.2.1 结构参数

W_s	——	减震（振）结构在水平地震作用下的总应变能；
ζ_d	——	减震（振）结构的附加阻尼比；
T_1	——	减震（振）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

3 基本规定

3.0.1 减隔震（振）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。

【条文说明】本条与 GB55002-2021《建筑与市政工程抗震通用规范》第 2.4.1 条相协调。对于减隔震工程，不同的减隔震方案对结构抗震性能、成本经济性影响较大，进行经济比选时，除考虑建筑物的建设成本外，尚应考虑建筑运营期间的全周期成本。

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。减震（振）结构在设防地震作用下消能器总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 6、7 度设防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)	消能器耗能占比 (%)	
		第一类抗震设防目标	第二类抗震设防目标
框架结构		20.0	25.0
框架-剪力墙结构 或剪力墙结构	$H \leq 60$	12.0	15.0
	$60 < H \leq 80$	6.0	8.0
	$H > 80$	应进行专门研究和论证	

注：房屋高度指自室外地面至房屋主要屋面的高度（不包括突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度）。

【条文说明】本条给出了阻尼器布置的原则，从平面及竖向阻

①均匀、对称布置消能器，避免增大结构的扭转效应。尚

应考虑具有非线性性质的阻尼器、主体结构在塑性相应时的承载力偏心对结构的不利影响。

②设置阻尼器的位置，其主体结构和基础应有足够的安全度。特别是采用较高的悬臂墙或钢支撑连接方案时，与悬臂墙或钢支撑连接的框架梁面内、面外的弯矩、剪力都会增大，需复核其面内、面外抗弯、抗剪强度及变形应与消能器的计算、构造相一致。

③对于相邻框架两侧阻尼器数量、出力有较大差异及楼板有较大开洞处，应复核消能子结构楼盖水平力的传递路径及构造措施。

④层间布置的消能器沿高度方向可将阻尼器更多布置在剪切变形所占比例较大的中、低位置，而在整体弯曲变形大的高层部分布置较少部分。

⑤对于高层建筑应考虑高阶效应的影响。当采用位移型消能器时，主要依靠相对位移发挥作用，其布置于剪切变形大的楼层减震率较高；当采用速度型消能器时，主要依靠相对位移发挥作用，在高阶振型中也能发挥减震效果。故中下部布置位移型消能器、上部布置速度型消能器时，减震效率较高。

现行规范对于减震工程消能器合理数量并无相关规定，为便于量化消能器对结构有利作用并规定其下限，本条对消能器耗能比例进行规定。消能器对主体结构的影响主要是附加阻尼及刚度（即便是具有刚度的速度相关型阻尼器，由于受连接部位、剪力环等构件刚度的影响，也会产生附加刚度）。附加刚度及附加阻尼对主体结构的作用，对于层间位移角，其效果叠加，对于层剪力，其效果相反，故按消能器耗能比例控制较为合理。表 3.0.2 为基于实际工程统计的，7 度（0.1g）设防地震

作用下消能器耗能比例，对于第二类抗震设防目标的框架结构其基底剪力或层间位移角可减小 20%，框剪结构其基底剪力或层间位移角可减小 15%；对于第一类抗震设防目标，《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2016 年版)局部修订条文（2024 年版）已提高了竖向抗侧力构件的性能目标（性能 2），消能器的耗能下限适当降低。

3.0.3 用于建筑工程中的减隔震和振动控制装置，应进行型式检验、出厂检验、见证检验。减隔震和振动控制装置与试验设备的连接方式，应与实际工程中的减隔震和振动控制装置与其支承构件间的连接构造方式一致。

【条文说明】要求减隔震和振动控制装置试验的连接方式与实际工程中的连接方式一致，是为了保证安装在实际结构中的减隔震和振动控制装置受力状态与试验一致，确保减隔震和振动控制装置可充分发挥作用。

3.0.4 减隔震和振动控制工程应建立设计、监制及监测一体化的全过程质量管理体系，应符合下列规定：

- 1 根据设计要求审核减隔震和振动控制部件深化图和技术要求；
- 2 监督减隔震和振动控制装置生产制作；
- 3 监督减隔震和振动控制部件的现场施工和安装；
- 4 监督减隔震和振动控制装置的型式检验、出厂检验和见证检验；
- 5 协助减隔震和振动控制子项验收；
- 6 监督后期使用阶段的定期和不定期检查。

【条文说明】《建设工程抗震管理条例》第十七条规定，建设单位应当组织勘察、设计、施工、工程监理单位建立隔震减震工程质量可追溯制度，利用信息化手段对隔震减震装置采购、勘察、设计、进场检测、安装施工、竣工验收等全过程的信息资料进行采集和存储，并纳入建设项目档案。为保证减隔震和振动控制工程质量，充分发挥减隔震和振动控制装置的作用，要求建立设计、制作、安装、施工、**监测**的全过程监督管理制度，可由业主委托有专业经验的第三方机构负责监督。

3.0.5 减隔震和振动控制工程设计文件应包括专项设计说明、产品的主要技术要求、减隔震和振动控制装置的布置及节点构造，且应对减隔震和振动控制装置产品参数、技术性能、检验检测、施工验收、使用维护等提出明确要求。

3.0.6 减隔震和振动控制工程应提供消能部件的专项施工、安装方案，且应进行首件安装试验。当减隔震和振动控制部件采用新型装置或新型连接方式时，工程施工前尚应进行减隔震和振动控制部件的施工安装工艺试验。

【条文说明】要求减隔震和振动控制部件进行首件安装试验和施工安装工艺试验，是为了保证安装在实际结构中的减隔震和振动控制装置的受力和连接条件与设计一致，确保减隔震和振动控制装置充分发挥作用。

3.0.7 减隔震和振动控制工程的减隔震和振动控制装置与其支承构件之间的连接构造方式，应与设计计算模型中的连接假定一致。

3.0.8 减隔震和振动控制工程应采取有效措施确保减隔震和振动控制装置及其支承构件在使用阶段、风荷载作用和地震作用下的变形不受阻碍。

3.0.9 在减隔震和振动控制结构正常使用过程中，应进行常规检查和定期检查；当结构遭遇地震或其他灾害后，应对减隔震和振动控制装置进行应急检查。

3.0.10 抗震设防烈度为 7、8 度时，高度分别超过 160m、120m 的大型减震（振）公共建筑，应设置建筑结构的地震反应观测系统，建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。

3.0.11 减震（振）结构的地基基础可参照国家和广东省现行有关标准进行设计，必要时对与消能子结构直接相连的地基基础进行加强。

4 地震时保持正常使用功能建筑的性能目标及设计

4.1 一般规定

4.1.1 地震时保持正常使用功能建筑分为Ⅰ类建筑和Ⅱ类建筑，其分类应按照表 5.1.1 进行。

表 4.1.1 地震时保持正常使用功能建筑分类

分类	建筑物
Ⅰ类	应急指挥中心建筑、医院主要建筑（含住院部）、应急避难场所建筑、广播电视建筑等
Ⅱ类	学校建筑（含高等教育）、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

【条文说明】Ⅰ类建筑确定原则为地震发生时和发生后建筑损坏将产生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，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。

按《中华人民共和国教育法(2021 修正)》第十七条“国家实行学前教育、初等教育、中等教育、高等教育的学校教育制度。”涵盖高等教育，包括职业教育和继续教育。学校建筑包括教学楼、食堂、学生宿舍及体育馆等人员密集建筑。《综合医院建设标准》建标 110-2021 第十一条“二、房屋建筑主要包括急诊部、门诊部、住院部、医技科室、保障系统、业务管理和院内生活用房等。”因此，医院主要建筑包括医技楼、急诊中心、附属用房包括保障系统、业务管理和院内生活用房、库房等建筑。住院部、门诊楼等严重影响震后医疗救治功能的建筑；医院附

4.1.2 地震时保持正常使用功能建筑应基于设防地震进行承载力设计，并进行设防地震和罕遇地震作用下的结构变形和楼面水平加速度验算。

4.1.3 6度和7度（0.10g）区Ⅰ类建筑的地震作用，应考虑 1.4 的超设防烈度调整系数，Ⅱ类建筑的地震作用，应考虑 1.2 的超设防烈度调整系数。

【条文说明】按照 89 版抗震规范以来的约定，罕遇地震(以下简称大震)是指一般场地条件下 50 年超越概率为 2%~3%的地震，具体来说，6 度区、7 度区大震的 50 年超越概率分别约为 3%、2.5%。即按现行的设防水准对策，不同烈度区大震的概率水准存在差异，烈度越低，大震的概率水平越低，这必然导致不同烈度区建筑的防倒塌水平不一致，烈度越低防倒塌的水准也越低。考虑到我国地震区划图具有很大不确定性的事实，中、低烈度区常常发生灾害深重的强烈地震，现行设防对策中有关大震的概率界定和参数取值会进一步加大中低烈度区的地震灾害风险，建议适当提高中低烈度区建筑的地震作用，6 度区和 7 度区的提高幅度可不同。

按照目前我国国情，大幅度提高现有抗震设防烈度分布并不现实。地震时保持建筑正常使用功能对于抗震防灾意义重大，因此，为保证在遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，按本标准设计的建筑能够满足正常使用要求，保证结构和建筑非结构构件基本完好、建筑附属机电设备和功能性仪器设备正常工作，对中、低烈度地区的地震作用进行一定程度的调整。

4.1.4 地震时保持正常使用功能建筑应进行结构弹塑性时程分析，计算设防地震作用和罕遇地震作用下的结构层间位移和楼面水平加速度，并应满足本标准第 5.3 节的规定。

4.1.5 地震时保持正常使用功能建筑的抗震措施不应低于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应设防烈度的有关规定；采用隔震减震技术时，抗震措施尚应符合国家现行标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的有关规定。

【条文说明】地震时保持正常使用功能建筑的抗震措施应采取国家现行有关标准规定的较严格措施，但原则上不重复叠加。采用隔震技术后，结构抗震性能有大幅提升，且《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 对设防地震作用下的抗震措施进行了系统规定，虽整体要求较高，工程实践难度并不大，按此执行即可。采用消能减震技术后，结构抗震性能有一定提升，但《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 并无针对设防地震作用下抗震措施的有关规定，综合考虑单纯抗震和消能减震的效果，参照性能化设计思路不考虑强柱弱梁、强剪弱弯等与抗震等级相关的对地震作用效应进行的调整，而是通过构件分类来保证强柱弱梁，如分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件；通过细分受剪承载力和正截面承载力来保证强剪弱弯，并通过梁端钢筋或钢材强度标准值的提高进一步来体现。

4.1.6 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的选型应满足本标准第 4.4 节的要求。

4.1.7 地震时保持正常使用功能建筑的设计文件应提供相关楼层在设防地震作用下的层间位移和楼面水平加速度响应，并确定建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求。

【条文说明】设计文件应包含设计计算书。

4.1.8 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，应满足本地区设防地震作用的要求。地基基础的抗震构造措施，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

【条文说明】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，对于天然地基尚应考虑基础宽度和埋置深度进行修正。基础抗剪、抗冲切验算应采用地震作用效应的基本组合和基础承载能力设计值，基础抗弯承载力验算可采用地震作用效应的标准组合和基础承载能力标准值。

4.2 地震时保持正常使用功能建筑的性能目标

4.2.1 地震时保持正常使用功能 I 类建筑的性能目标应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 I 类建筑正常使用的性能目标

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

4.2.2 地震时保持正常使用功能 II 类建筑的性能目标应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 II 类建筑正常使用的性能目标

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

4.3 保持正常使用功能建筑结构设计

4.3.1 地震时保持正常使用功能建筑的结构构件承载力设计应符合本标准 5.2 节的规定。

4.3.2 地震时保持正常使用功能建筑的最大层间位移角限值应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2-1 地震时保持正常使用功能的 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	1/400	1/150
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	1/500	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

表 4.3.2-2 地震时保持正常使用功能的 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	1/300	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	1/400	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

4.3.3 地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面水平加速度限值宜符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.2 地震时保持正常使用功能建筑的最大楼面水平加速度限值（g）

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

【条文说明】本条引用《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》第 4.4.1 条。

4.3.4 当楼面水平加速度不满足本规程 4.3.2 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。

4.4 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

4.4.1 地震时保持正常使用功能建筑应根据其在设防地震作用下的层间位移角和楼面水平加速度选择适合的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备。当所选用的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性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。

4.4.2 大跨空间结构不宜设置吊顶，确需设置时应经过专门研究和论证。

4.4.3 围护墙、隔墙、女儿墙等非承重墙体的设计与构造应符合下列规定：

- 1 采用砌体墙时，应设置拉结筋、水平系梁、构造柱等与主体结构可靠拉结。

2 墙体及其与主体结构的连接应具有足够变形能力，以适应主体结构不同方向的层间变形需求。

3 人流出入口和通道处的砌体女儿墙应与主体结构可靠拉结，防震缝处女儿墙的自由端应予以加强。

4 钢筋混凝土结构中的砌体墙在平面和竖向的布置，宜均匀对称，宜避免形成薄弱层或短柱

【条文说明】非承重墙体与主体结构的连接，影响整个结构的动力性能和抗震能力。建议两者之间采用柔性连接或彼此脱开，并采取措施使墙体稳定。

4.4.4 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的选用机器抗震措施，除满足本标准外，尚应符合《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG046的有关规定。

5 消能减震结构设计

5.1 地震作用与作用效应计算

5.1.1 消能减震结构的地震作用计算，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 度及 8 度以上的大跨度与长悬臂消能减震结构及 9 度时的高层消能减震结构，应计算竖向地震作用。

【条文说明】当竖向构件在垂直两个方向设置有减震构件时，除计算各个主轴方向地震作用外，尚应考虑斜向地震作用对各框架变形及阻尼器出力、行程的影响。

5.1.2 消能减震结构地震作用计算，除特殊要求外，可采用下列方法：

1 当主体结构基本处于弹性工作状态，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 当主体结构基本处于弹性工作状态，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；也可采用计入消能器局部非线性的时域显式随

机模拟法；对于高度超过 24m 的不规则建筑、附加阻尼比大于 10% 的消能减震结构，应采用计入消能器局部非线性的时程分析法或时域显式随机模拟法等动力分析方法进行补充计算。

3 当主体结构进入弹塑性工作状态时，应采用弹塑性时程分析方法。

5.1.3 振型分解法和时程分析法采用的地震影响系数、特征周期和地震影响系数曲线、地震加速度峰值应根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定取值。

5.1.4 采用时程分析法时，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

5.1.5 采用振型分解反应谱法和弹性时程分析法时，消能器附加有效阻尼比和有效刚度可按现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的有关规定计算。

5.1.6 采用时程分析法或时域显式随机模拟法等动力分析方法时，地震波选取可采用下列方法：

1 当采用时程分析法作为振型分解反应谱法的补充计算时，宜选取不少于 2 组人工模拟加速度时程曲线和不少于 5 组实际强震记录或修正的加速度时程曲线，地震作用结果取人工模拟加速度时程曲线和实际强震记录或修正的加速度时程曲线计算结果的峰值平均值。

2 当采用时域显式随机模拟法进行结构设计时，宜选取不少

于 500 组人工模拟加速度时程曲线，地震作用结果取各人工模拟加速度时程曲线计算结果的峰值平均值。

【条文说明】时域显式随机模拟法分析参考现行广东省标准

《高层建筑混凝土结构技术规程》DBJ 15-92 的要求，人工模拟地震波按规程 DBJ 15-92 附录 C 公式生成，数量不应少于 500 条。

5.1.7 采用振型分解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。

5.1.8 采用时域显式随机模拟法进行结构设计时，地震动加速度记录作用下的构件内力设计值，可根据构件类型选取主控内力在各个时刻的最大值及同时出现的其它内力分量。

5.1.9 消能减震结构计算分析模型应正确地反映不同荷载工况的传力途径，在不同水准地震动下及风荷载下主体结构和消能器所处的工作状态。

5.1.10 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加阻尼比的总和。消能减震结构在多遇、设防和罕遇地震作用下的附加阻尼比和主体结构阻尼比应分别计算。附加阻尼比可采用应变能法（式 5.1.10-1）、能量比法（式 5.1.10-2）或结构响应对比法进行计算。

$$\xi_a = \sum_j W_{cj} / (4\pi W_s) \quad (\text{式 5.1.10-1})$$

式中： ξ_a 为消能减震结构的附加有效阻尼比； W_{cj} 为第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δ_{uj} 往复循环一周所消耗的能量； W_s 为设置消能部件的结构在预期位移下的总应变能。

$$\xi_a = \frac{E_a}{E_b} \times \xi_b \quad (\text{式 5.1.10-2})$$

式中： ζ_b 为模态阻尼比； E_a 为连接阻尼耗能； E_b 为模态阻尼耗。

【条文说明】本条“应变能法”引用《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2015 版)，其评估采用的是极值，而“能量比法”采用的是积分，由于地震波时程波动性较大，若采用极值法会导致计算结果误差，故补充能量比法的计算方法。若二者结算结果差异较大时，可采用“结构响应对比”进行复核。“结构响应对比法”是采用等效对比结构动力响应（剪力）的方法确定消能减震结构的附加阻尼比，即按如下方法确定：模型一 布置有阻尼器，分析时模态阻尼取为 5%；模型二未布置阻尼器，分析时采用线性模态时程分析，模态阻尼可取大于 5% 的值。对比结构层剪力，与模型一响应最为接近的模型二 的阻尼比，其扣除结构的固有阻尼比（5%）后，即为消能器附加给结构的阻尼比。

分析表明，当存在斜交抗侧力构件或竖向构件在垂直两个方向设置有减震构件时，斜向地震作用会造成连接阻尼器的子结构存在面外变形差，其斜向的附加阻尼比会比水平方向降低，故计算时应考虑斜向地震作用的影响。

5.1.11 金属位移型消能器在设计风荷载作用下应保持弹性，当结构所遭受的多遇地震荷载小于设计风荷载时，不宜计入附加阻尼比的影响。

【条文说明】金属位移型消能器多遇地震屈服耗能可能对结构整体指标（楼层刚度比、抗剪承载力之比、扭转位移比等）产生的不利影响，需进一步评估设防地震及罕遇地震作用下结构可能产生的性能突变；多遇地震时不宜同时考虑消能器对调整结构刚度和耗能双重作用，建议其在设防烈度地震作用再进入屈服耗能阶段。

5.1.12 消能减震结构设计应计入消能器性能偏差、连接构件变形、子结构平面外变形等的不利影响。在进行多遇地震作用下的结构设计时，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%。

【条文说明】《建筑消能减震技术规程》JGJ297 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、平面外变形等，故提出此要求。

5.1.13 消能减震结构的总刚度应为主体结构刚度和消能部件附加刚度之和。消能减震结构在多遇、设防和罕遇地震作用下的附加刚度和主体结构刚度应分别计算。

5.1.14 消能器的恢复力模型应采用成熟的模型并经试验验证，主要性能参数应能正确反映消能器对主体结构刚度和阻尼的贡献。

5.1.15 消能减震结构弹塑性时程分析模型中，应包括主体结构恢复力模型和消能部件的恢复力模型。

5.1.16 利用计算机进行结构消能减震分析，应符合下列规定：

1 计算模型的建立、必要的简化计算与处理，应符合结构的实际情况，计算中应考虑楼板及楼梯构件对消能器变形的影响。

2 计算模型应正确反映消能部件的边界条件，消能器的计算模型应符合消能器滞回曲线的特点。

3 计算软件的技术条件应符合本规程及相关标准的规定，并应阐明其特殊处理的内容和依据。

4 大型复杂消能减震结构在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，宜采用不少于两个力学模型不同软件进行对比

分析，计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

【条文说明】连接消能器的悬臂墙、钢支撑及其他连接构件，其面内外刚度对消能器的出力、变形影响较大，计算模型应将其构件输入，必要时进行技术、经济比选，提高消能器减震效率。本条中“大型复杂消能减震结构”，包括二种及以上消能器混用的消能减震结构、现行规范未包含的消能器等。

5.2 减震设计控制标准

5.2.1 主体结构的抗震等级应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 确定。

5.2.2 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，并应根据本标准第 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，对于特殊设防类的减震（振）结构，尚应进行极罕遇地震作用下结构弹塑性变形验算，层间位移角限值宜符合国家现行标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 的有关规定。

5.2.3 第一类设防目标对应的结构采用减震设计时，应满足的性能目标为：

1 多遇地震不宜考虑消能器的作用，主体结构抗震性能目标为弹性。

2 不考虑消能器对结构有利作用及超设防地震调整系数时，竖向抗侧力构件、水平构件其设防地震下抗震性能目标应分别应不低于《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010 规定的性能 2、性能 3。

3 考虑消能器有利作用及超设防地震调整系数时，最大层间

位移角、最大楼面水平加速度应满足本标准 4.3.2 条、4.3.3 条。

【条文说明】多遇地震下，速度型阻尼器小震变形过小，位移型阻尼器小震不应屈服，否则其侧向刚度比、抗剪承载力之比等整体指标难以满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。通过相关算例对比，设防地震下，减震设计方案、性能化设计方案均可以满足主体结构性能目标、楼层最大层间位移角、楼层质心最大加速度的要求。且最大层间位移角接近时，楼层质心最大加速度采用减震设计方案可比采用性能化设计方案减小约 20%~30%。本条采用对主体结构性能设置下限的思路，利用减震设计满足《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG046-2023 对层间位移角、楼层加速度的要求，可兼顾性能化、减震各自优点，满足中震下正常使用。

5.2.4 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》GB50011 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，宜分别按表 5.2.4-1 条和表 5.2.4-2 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》GB50011 的相关要求。

表 5.2.4-1 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	1/660
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	1/780
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/960

钢结构	1/300
-----	-------

表 5.2.4-2 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	1/60
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	1/120
钢筋混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/150
钢结构	1/60

【条文说明】考虑到消能器在主体结构中发挥作用，以确定消能器合理的位置、数量，本条建议设置消能器后结构最大层间位移角应在现行规范基础上减小 20%。

5.2.5 减震设计时，阻尼器的出力、行程及其相应连接宜考虑罕遇地震强余震的不利影响。主体结构在罕遇地震强余震作用下，其层间位移角可比规范限值降低 15%，构件性能目标应满足性能目标 D 的要求。采用减隔震的结构，在罕遇地震强余震作用下，关键构件及消能子结构应按不考虑减隔震作用，抗震措施参照抗震性能化相关要求进行设计。

【条文说明】大量的地震资料表明，强主震发生后伴随着大量的余震，甚至不排除发生强余震的可能性。强震之后，结构刚度和强度出现退化，此时再经历强震之后的较强余震，结构损伤将进一步加剧，甚至出现倒塌。目前，世界各国虽然传统抗震结构和消能减震结构基本可以满足单次地震作用下的设计性能目标，但在强余震作用下可能会出现严重损伤甚至倒塌。主余震序列的共同作用会增加结构的累积损伤，要求结构具有更高的耗能能力。然而，现行抗震设计规范中均主要考虑单次地震动作用，未对强余震作用对结构的不利影响进行量化规定，

使得强余震下结构的破坏程度可能会比单次主震作用时严重，即所设计的结构在主余震作用下未必完全满足预期设计性能，其对结构的抗震性能和耗能能力提出了更高要求。本课题对于强余震下结构层间位移角及构件性能目标结合算例提出控制标准，对于强余震作用下减震构件的安全底线。

表 1 大震作用后考虑余震指标及阻尼器出力变化

工况	X 向层间位移角	Y 向层间位移角	阻尼器出力(KN)
大震	1/62	1/78	600
大震+80%余震	1/60	1/74	640
大震+120%余震	1/46	1/65	780

表 1 为海口某采用墙式粘滞阻尼器减震方案的钢筋混凝土框架结构大震作用后考虑余震指标及阻尼器出力变化。该项目结构设计使用年限为 50 年，抗震设防烈度为 8 度，计地震加速度为 0.3g,设计地震分组为第二组，场地类别为 III 类。结构层数 1-2 层、建筑高度约 12-24m，柱距 12 米 X12 米。结果表明，①余震峰值加速度小于主震时，其对结构的激励强度存在明显衰弱，结构最大基底剪力及最大位移角始终在主余震序列作用时主震作用阶段，但其局部损伤会加大，阻尼器出力会增大。②大震弹塑性有控主震+余震（余震大于主震）说明在主震及强余震作用下，弹塑性位移角即便比规范降低 10%，结构的抗震性能目标仍可满足性能目标 D 的要求。

5.3 基于既有建筑的减震设计

5.3.1 消能减震加固方案宜进行安全、技术和经济、施工工期等综合比选，并与抗震加固方案进行比较后确定。

5.3.2 既有建筑加固完成后的后续使用年限，应由业主和设计单位根据需求和实施可行性商定，并应符合以下原则：

1 若现有建筑的剩余设计使用年限小于等于 30 年，其后续使用年限不应少于 30 年；在 90 年代（按当时实行的抗震设计规范系列设计）建造的现有建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的 B 类建筑进行抗震鉴定。

2 若现有建筑的剩余设计使用年限大于 30 年且小于等于 40 年，其后续使用年限不应少于 40 年；在 2001 年以后（按当时施行的抗震设计规范系列设计）建造的现有建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的要求进行抗震鉴定。

3 若现有建筑的剩余设计使用年限大于 40 年，其后续使用年限不应少于 50 年。

4 消能器的设计工作年限不宜小于既有建筑加固改造后的后续工作年限。当消能器设计工作年限低于既有建筑加固改造后的后续工作年限时，消能器达到工作年限时应及时检测，重新确定消能器的后续工作年限或更换。

5.3.3 采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的方法进行抗震验算时，宜计入加固后仍存在的构造影响，并应符合下列要求：

1 对于后续使用年限 50 年的结构，材料性能设计指标、地震作用、地震作用效应调整、结构构件承载力抗震调整系数均应按国家现行标准的有关规定执行。

2 对于后续使用年限少于 50 年的结构，即现行国家标准《建

筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的 A、B 类建筑结构，其设计特征周期、原结构构件的材料性能设计指标、地震作用效应调整等应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定采用，结构构件的“承载力抗震调整系数”应采用下列“抗震加固的承载力调整系数”替代：

1) A 类建筑，加固后的构件仍应依据其原有构件按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 规定的“抗震鉴定的承载力调整系数”值采用；新增钢筋混凝土构件、砌体墙体可仍按原有构件对待。

2) B 类建筑，宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的“承载力抗震调整系数”值采用。

5.3.4 按性能化目标进行消能减震加固时，按表 5.3.4.1 规定的性能目标确定不同水准地震作用下的层间位移角参考指标，按表 5.3.4.2 确定不同水准地震作用下的承载力参考指标。

表 5.3.4.1 消能减震抗震加固性能要求层间位移角参考指标

性能目标	多遇地震		设防地震		罕遇地震	
	宏观损坏程度	变形要求	宏观损坏程度	变形要求	宏观损坏程度	变形要求
性能 1	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻微损坏	$(1.0\sim1.5)[\Delta u_e]$
性能 2	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻微损坏	$(1.0\sim1.5)[\Delta u_e]$	轻度损坏	$(1.5\sim2.0)[\Delta u_e]$
性能 3	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	轻度损坏	$(1.5\sim2.0)[\Delta u_e]$	中度损坏	$(2.0\sim4.0)[\Delta u_e]$
性能 4	完好、无损坏	$\leq[\Delta u_e]$	中度损坏	$(2.0\sim4.0)[\Delta u_e]$	不严重破坏	$<0.9[\Delta u_p]$

表 5.3.4.2 消能减震抗震加固性能要求承载力参考指标

性能目标	多遇地震		设防地震		罕遇地震	
	宏观损坏程度	承载力要求	宏观损坏程度	承载力要求	宏观损坏程度	承载力要求
性能 1	完好、无损坏	按常规设计	完好、无损坏	承载力按不计抗震等级调整地震效应的设计值复核	轻微损坏	承载力按标准值复核
性能 2	完好、无损坏	按常规设计	轻微损坏	承载力按标准值复核	轻度损坏	竖向构件承载力按标准值复核
性能 3	完好、无损坏	按常规设计	轻度损坏	竖向构件承载力按标准值复核	中度损坏	承载力按极限值复核
性能 4	完好、无损坏	按常规设计	中度损坏	承载力按极限值复核	不严重破坏	承载力达到极限值后能维持稳定，降低少于 10%

【条文说明】对于既有建筑加固设计，当多遇地震抗震构造措施不满足要求，经性能化分析满足预定性能目标时，其抗震构造措施可参考表 2 降低。

表 2 结构构件对应不同性能要求的抗震构造措施

性能要求	抗震构造措施
性能 1	可按常规设计的有关规定降低二度采用，但不得低于 6 度，且不发生脆性破坏。
性能 2	可按常规设计的有关规定降低一度采用，当构件的承载力高于多遇地震提高二度的要求时，可按降低二度采用。均不得低于 6 度，且不发生脆性破坏。
性能 3	当构件的承载力高于多遇地震提高一度的要求时，可按常规设计的有关规定降低一度且不低于 6 度采用，否则仍按常规设计的规定采用。
性能 4	按常规设计的有关规定采用。

5.3.5 位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的采用钢筋混凝土框架结构或钢框架结构的学校、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，抗震加固采用消能减震技术时，罕遇地震下弹塑性层间位移角钢筋混凝土框架结构不应大于 1/100，钢框架结构不应大于 1/80。

【条文说明】《建设工程抗震管理条例》第二十一条规定，位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的学校、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、广播电视等已经建成的建筑进行抗震加固时，应当经充分论证后采用隔震减震等技术，保证其抗震性能符合抗震设防强制性标准。采用消能减震技术应提高抗震性能，考虑到减小震后修复难度，参考《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》RISN-TG046-2023》II类建筑的限值规定，适当提高遇地震下弹塑性层间位移角限值。

5.3.6 既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固设计时，应符合下列规定：

- 1 消能减震加固方案应根据抗震鉴定结果综合分析后确定，宜减少对原结构构件的加固量及方便施工。
- 2 不规则建筑加固后的结构刚度宜分布均匀。
- 3 单跨框架结构及侧向刚度不足时，优先采用位移相关型消能器减震加固方案；承载力不满足、抗震构造措施不满足且侧向刚度不够时，优先采用速度相关型消能器减震加固方案。
- 4 采用位移相关型消能器与速度相关型消能器组合的减震加固方案时，其产品性能参数应与消能器耗能次序相适应。

5.3.7 消能减震加固方案设计时，消能部件的布置应符合下列规定：

- 1 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理力不满足要求时，也可单向设置消能部件。
- 2 消能部件宜设置在层间相对变形或速度较大的位置。

3 采用位移相关型消能器时，宜沿结构上下连续布置，当受建筑方案影响无法连续布置时，宜在邻跨布置。底层应采用适当的措施，确保力传至基础。

4 消能器可直接布置于既有建筑内部，当内部不便于设置时，可采用附加框架设置消能器。

5 消能部件的设置，应便于检查、维护和更换。

5.3.8 既有建筑采用屈曲约束支撑(BRB)进行加固时，屈曲约束支撑(BRB)与柱夹角宜控制在 35~55。当屈曲约束拉压杆水平放置连接新旧建筑仅承受轴力，不承担竖向荷载且不与楼板相连时，其设计方法可参照屈曲约束支撑(BRB)的相关规定，相关构件的节点构造应与消能器的受力相适应。

【条文说明】本条给出与既有建筑贴邻建设新建筑的设计方法。当两侧建筑结构体系不同且缝宽对建筑较为敏感时，可将屈曲约束拉压杆水平放置并连接新旧建筑，其小震为弹性，可靠传力水平地震作用。中大震进入塑性耗能，可有效减小传递给相邻建筑的地震剪力。

5.3.9 既有建筑根据施工需要，也可偏置布置消能器，其附加阻尼比计算应采用“能量法”或“剪力比法”取不利值，且对其结果折减 0.80 倍。

【条文说明】偏置布置消能器时，其减震效果除按附加阻尼比法等效计算外，尚应采用时程分析法对相关竖向构件减震前后地震剪力进行对比，并考虑不满足刚性楼板假定时的楼板作用。

5.4 风振控制设计

5.4.1 建筑体型较为规则的高层建筑，可采用最不利方向质心加速度进行结构风振舒适度评估；存在凹凸不规则、组合平面等

不规则的高层建筑，宜考虑扭转风效应对风振加速度的影响，可采用最不利方向角点加速度矢量和进行结构风振舒适度评估；其风振加速度的限值应满足相关规范的要求。

5.4.2 高层建筑风振控制系统的设计宜满足如下规定：

1 风振控制系统可根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系。

2 采用速度型阻尼器时宜布置在结构变形和速度相对较大处，且应考虑最不利方向角作用下，其消能于结构平面外变形对阻尼器耗能作用的影响。

3 采用避难层设置带放大装置的粘滞阻尼器时，应对避难层设置层数、阻尼器的放大率、阻尼系数、阻尼指数进行敏感性分析；对于阻尼器位移放大装置的设计，应考虑其边界条件的初始变形及支撑刚度的影响，并经过子结构试验的验证。

4 宜考虑荷载长期作用及连接节点的摩擦、孔隙对风振控制系统的影响。

5 调谐质量阻尼器、主被动混合调谐质量阻尼器宜布置在结构顶层或所控制振型的峰值楼层处。当控制扭转风振需要或布置位置受限，需要分散、偏心布置时，应考虑质量偏心和惯性力产生的对相关构件的扭转作用。

【条文说明】采用避难层设置带放大装置的粘滞阻尼器改善顶

点角点风振加速度已在多个项目得到应用，相比抗震阻尼器，主要区别是长时间连续工作、风荷载作用下的小位移等。对于

放大装置的放大率，国外相关学术期刊（CONSTANTINOUC,TSOPELAS P,HAMMEL W,et al.Toggle-brace-damper seismic energy dissipation system[J].Journal of Structural Engineering,2001,127(2):105-112.）已公开发表的套索阻尼器的放大率计算公式，其未计入支撑刚度及子框架的面内外变形差异的影响。而实际的工程其结构体型、连接复杂，任何一方向的风向角作用下均存在面内、面外变形差异，故设计时应结合子框架变形进行支撑刚度敏感性分析，以确定合理的放大系数，并通过子结构验证，提高抗风可靠度基
于其变形较小的特点，设计时应考虑连接节点摩擦、孔隙对风振控制系统的影响，可通过采用附加阻尼比折减的近似计算方法作为时程分析的补充。

5.4.3 设计文件应注明风振装置的设计使用年限，其年限不应低于建筑结构的设计使用年限，并注明其检查、更换的条件及相关技术要求。

5.4.4 风振控制系统及相连的构件的设计，应符合下列规定：

1 应进行承载能力极限状态验算，其承受的作用力可根据设计风荷载作用下风振控制系统作用在结构上的最大作用力确定。

2 应进行正常使用极限状态验算，受弯构件挠度处应满足主体结构正常使用和风振控制系统正常工作的要求。

3 风振控制效果评估时宜考虑地下室及弹性楼盖作用的影响。

5.4.5 风振控制系统在建筑结构服役期间，应符合下列规定：对于不满足刚性楼板假定的平面，其风时程加载除按层等效质心时程考虑外，尚应按风洞试验实际测点力的风压时程进行精细化分析。

1 风振控制系统与主体结构施工次序及精度要求设计文件应

明确，且风振控制系统在施工及使用阶段不应承受结构竖向荷载。

2 主体结构服役期内，风振系统应正常工作，各部分不应发生强度、稳定、疲劳破坏。阻尼器摩阻力设计值可取 3%-5%。

3 在经历超越设计风荷载的风振侵袭后，应对风振控制系统及其连接部位进行检查；若发现风振控制系统损坏或风振控制系统工作异常，应对工作控制系统进行维修、更换或加固。

4 风振控制系统与主体结构、非结构构件之间应留有足够空间，并采取防碰撞措施。

5 风振控制系统失效后，风荷载作用下结构承载力设计仍满足预设的性能目标。

5.4.6 用于改善风振舒适度的风振控制系统应考虑地震作用下对结构的不利影响。

5.4.7 调谐质量阻尼器、主被动控制混合调谐质量阻尼器宜布置在结构顶层或所控制振型的峰值处；当建筑位置受限或控制扭转风振需要分散布置时，宜考虑其质心和结构刚心偏心引起的结构扭转作用。

5.5 城市轨道交通振动控制设计

5.5.1 城市轨道交通上盖结构的振动作用应符合下列规定：

1 宜选用实测城市轨道交通振动时程曲线输入，或按建筑场地类别、轨道类型和车速等实际情况模拟城市轨道交通振动加速度时程曲线输入。

2 对不同类型的城市轨道交通上盖结构加速度输入最大值，应考虑轨道基础类型、柱轨距等因素进行调幅，幅值可按表 5.5.1 取值。

表 5.5.1 时程分析车辆运行振动加速度时程最大值

轨道基础类型	车速 (km/h)	柱轨距/(m)	加速度时程最大值(m/s ²)
柱式检查坑	<30	$l \leq 2$	0.5
		$2 < l \leq 5$	0.3
		$5 < l \leq 10$	0.1
整体道床	<30	$l \leq 2$	1.0
		$2 < l \leq 5$	0.8
		$5 < l \leq 10$	0.6

注：*柱轨距指轨道至盖下结构柱的最近距离。

5.5.2 城市轨道交通振动时程曲线的输入位置应为盖下结构的柱底。

5.5.3 上盖结构考虑地震作用外，还需考虑车辆运行振动作用时，分析模型还应考虑竖向隔振刚度、隔振层竖向阻尼特性以及隔振层竖向荷载-位移关系特性。

5.5.4 大型复杂结构宜建立隧道-土体-建筑物耦合作用的三维有限元模型，在隧道内输入振动加速度时程曲线，补充计算轨道交通上盖建筑振动响应进行包络设计。隧道内输入的振动加速度时程曲线应采用拟建项目场地隧道内的实测振动加速度数据；当不具备现场测试条件时，宜采用与拟建项目类似轨道交通场

景隧道内的实测振动加速度数据。

5.5.5 城市轨道交通上盖结构的振动计算应符合下列规定：

- 1** 混凝土和土体可采用动弹性模量；
- 2** 采用有限元法进行振动作用计算时，计算模型的网格划分应在满足计算精度的前提下兼顾计算效率；
- 3** 振动响应的计算位置，应能准确评价建筑结构的振动影响。

5.5.6 振动作用的计算分析宜采用时程分析法。当取 3 组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值；当取 7 组及 7 组以上加速度时程曲线时，计算结果可取时程法的平均值。

5.5.7 振动控制的结构阻尼比宜根据实测结果采用；当无实测结果时，宜按国家现行标准的有关规定选取。

5.5.8 在车辆运行振动作用下，上部结构和下部结构均可采用线弹性模型。

5.5.9 轨道交通引起沿线建筑物室内二次辐射噪声超标的地段，必须采取有效的减振降噪措施，确保沿线建筑物在其正常工作年限内满足本标准的限值要求。

5.5.10 轨道交通上盖建筑物室内振动限值应符合表 5.5.10 的规定。

表 5.5.10 轨道交通上盖建筑物室内振动限值（dB）

建筑物类别	昼间	夜间
甲等剧场	70	70
乙等剧场	72	72
0 类	75	72
1 类	75	72
2 类	78	75
3、4 类	78	75

注：昼夜划分：昼间：06~22：00；夜间：22：00~06：00；昼夜时间适用范围在当地另有规定时，可按当地政府的规定来划分。

5.5.11 轨道交通上盖建筑物室内二次辐射噪声限值应符合表 5.5.11 的规定。

表 6.3.1 轨道交通上盖建筑物室内二次辐射噪声限值（dB）

建筑物类别	昼间	夜间
甲等剧场	30	30
乙等剧场	35	35
0、1 类	38	35
2 类	41	38
3、4 类	45	42

注：建筑物对声学有更高要求可另行设置。

5.6 消能减震节点设计及构造

5.6.1 一般规定

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

5.6.1.2 节点设计应满足承载力极限状态和正常使用状态要求，做到传力可靠，减少应力集中。

5.6.1.3 节点构造应符合结构计算假定，减震构件中心宜与主体结构构件形心重合，减少偏心带来的不利影响，当减震构件在节点偏心相交时，应考虑局部弯矩的影响。

【条文说明】减震消能器施工时，为保证阻尼器的性能，应尽量减小施工时产生的长期应力，故消能器也一般在主体结构施工完成后进行安装，故施工误差主要集中在节点连接处，其引起的偏心等会产生的附加应力，在节点设计中应考虑其影响。

5.6.1.4 构造复杂的重要节点应通过有限元分析确定其承载力，并宜进行试验验证。

5.6.1.5 预埋件及节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

5.6.1.6 消能部件与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强螺栓连接、焊接或销轴连接。

【条文说明】节点构造措施应避免减小消能器的有效变形，如采用销轴连接时，应考虑孔隙、机械磨损对消能器有效变形的影响。

5.6.2 节点计算

5.6.2.1 消能器的设计位移和设计速度应取罕遇地震下消能器两端的相对位移或两端相对速度;消能器设计阻尼力为罕遇地震时消能器的阻尼力;消能器的极限速度为消能器设计速度的 1.2 倍;消能器的极限位移应取罕遇地震下消能器最大位移的 1.2 倍与被加固结构楼层弹塑性位移角限值规定的较大值。

5.6.2.2 与消能器相连的支撑、节点板或连接板构件(包括连接高强螺或焊缝)、化学锚栓、预埋锚栓等进行强度、稳定性校核时，作用力取值应为消能器在设计位移或设计速度下对应阻尼力的 1.2 倍。

5.6.2.3 与屈曲约束拉压杆相连的节点板构件（包括连接高强螺栓或焊缝）、化学锚栓、预埋锚杆等进行强度、稳定性校核时，作用力取值应为屈曲约束拉压杆屈服力的 1.2 倍。

5.6.2.4 高强度螺栓及焊接的计算应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 执行；预埋件及连接件的计算应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 执行。

5.6.3 节点构造

5.6.3.1 当消能部件与既有建筑的结构主体采用直接连接时，既有建筑为混凝土结构，连接节点宜采用整体钢套箍连接或对拉锚固连接；当仅采用后锚固技术即可实现连接节点在罕遇地震作用下仍处于弹性状态时，连接节点也可采用直接锚固连接；既有钢结构节点板与既有钢梁、柱宜采用焊接。

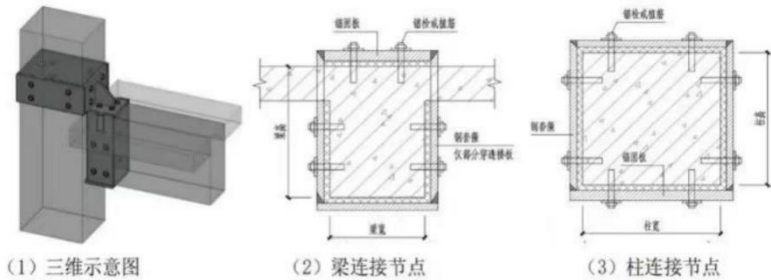


图 6.5.3.1-1 整体钢套箍连接示意图

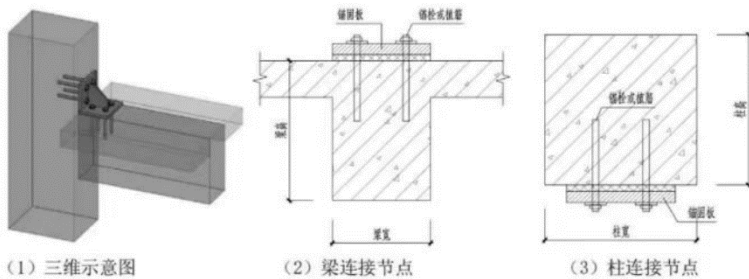


图 6.5.3.1-2 直接锚固连接示意图

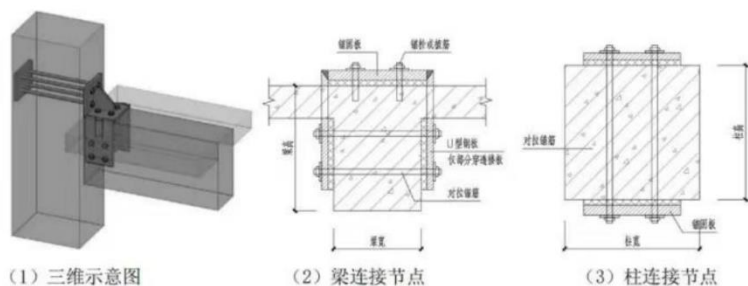


图 6.5.3.1-3 对拉锚固连接示意图

【条文说明】消能器设置在既有结构中，消能器与连接节点不可避免的与主体结构存在偏心，同时应考虑主体结构构件老化、局部应力造成刚度下降，故为传递其偏心弯矩、局部压应力、面内外剪力，节点设计优先采用整体钢套箍连接或对拉锚固连接。

5.6.3.2 焊接节点焊缝等级不得低于二级。栓接连接的节点板厚度不宜小于 20mm。

5.6.3.3 既有建筑采用屈曲约束支撑(BRB)进行加固时，底层需采取措施确保屈曲约束支撑(BRB)直接传力至基础。

5.6.3.4 现浇混凝土附加框架与既有建筑的结构主体可采用贯穿螺栓连接或采用后锚固抗剪键连接，与附加框架相连的既有结构构件表面应凿毛。抗剪键锚筋应在附加框架内设置拉结弯钩或其他可靠的拉结措施。

5.6.3.5 后锚固抗剪键可采用后锚固扩底型机械锚栓或化学锚栓，或后锚固锚栓加钢筋混凝土抗剪键等形式。

5.6.3.6 后锚固抗剪键的施工应计入附加框架自重变形的影响。

5.6.3.7 当新建建筑与既有建筑贴临连接，因新旧建筑某一方向抗侧刚度相近采用限位连接，而另一方向抗侧刚度相差过大采用屈曲约束拉压杆相连接时，限位连接节点构造见图 5.6.3.7。

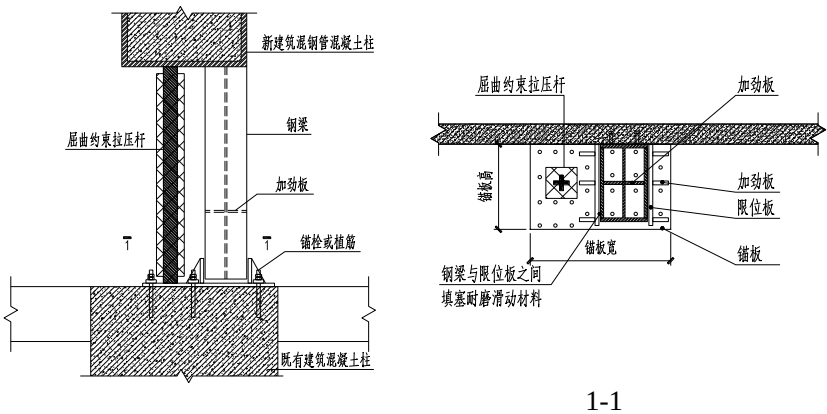


图 5.6.3.7

6 隔震结构设计

6.1 地震作用与作用效应计算

6.1.1 隔震结构的地震作用、设计反应谱、地震动输入应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 514018 的有关规定。

6.1.2 隔震结构计算分析模型应符合下列规定：

1 所选取的分析模型应能合理反映结构中构件的实际受力状况。

2 上部结构和下部结构可采用空间杆系、空间杆—墙板元或壳元、连续体及其它组合有限元等计算模型。

3 隔震层的隔震支座和阻尼器应选择能正确反映其特性的计算模型。

4 隔震层顶的梁板结构，应与上部结构共同计算。

6.1.3 隔震结构地震作用计算，除特殊要求外，可采用下列方法：

1 结构高度不超过 24 米、质量和刚度沿高度分布比较均匀且隔震支座类型单一的隔震建筑，可采用强迫解耦实振型分解反应谱法。

2 除 1 款外的隔震结构可采用复振型分解反应谱法，也可采用计入隔震支座局部非线性的时域显式随机模拟法。

3 对于房屋高度大于 60 米的隔震建筑，结构体型不规则的隔震建筑，或隔震层隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合比较复杂的隔震建筑，尚应采用计入隔震支座局部非线性的时程分析法或时域显式随机模拟法等动力分析方法进行补充计算。

4 当主体结构进入弹塑性工作状态时，应采用弹塑性时程分析方法。

6.1.4 采用时程分析法或时域显式随机模拟法等动力分析方法时，地震波选取可采用下列方法：

1 当采用时程分析法作为振型分解反应谱法的补充计算时，宜选取不少于 2 组人工模拟加速度时程曲线和不少于 5 组实际强震记录或修正的加速度时程曲线，地震作用结果取人工模拟加速度时程曲线和实际强震记录或修正的加速度时程曲线计算结果的峰值平均值。

2 当采用时域显式随机模拟法进行结构设计时，宜选取不少于 500 组人工模拟加速度时程曲线，地震作用结果取各人工模拟加速度时程曲线计算结果的峰值平均值。

6.1.5 采用振型分解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。

6.1.6 隔震支座拉压刚度不一致时，隔震支座的拉压受力可采用时程分析法或时域显式随机模拟法计算结果。

6.1.7 除本规程条文规定外，隔震结构的地震作用计算尚应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 514018 的有关规定。

6.2 隔震设计

6.2.1 隔震结构的构件截面设计、上部结构变形验算、隔震层设计、下部结构设计应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 514018 的有关规定。

6.2.2 当采用基底隔震结构时，隔震层上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的竖向隔离缝，隔离缝宽度应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 514018 的有关规定。

6.2.3 当采用层间隔震结构时，隔震层宜设置在地下室顶部、大底盘裙房的顶部等具有相对较大抗侧刚度的下部结构顶部位置。

【条文说明】大型综合体项目的地下室或大底盘裙房的面积相对较大，采用基底隔震的整体造价可能较高，可考虑采用层间隔震结构。地下室或大底盘裙房的结构刚度相对较大，隔震层设置在地下室顶部或裙房顶部，有利于控制下部结构的抗震性能。

6.2.4 当采用层间隔震结构，且竖向电梯井与隔震层交叉时，电梯轨道不应阻碍隔震层的水平变形，可采取以下措施之一：

1 隔震层以下采用悬挂式电梯轨道，通过加大竖向电梯井尺寸，留出电梯轨道随隔震层水平位移的空间。

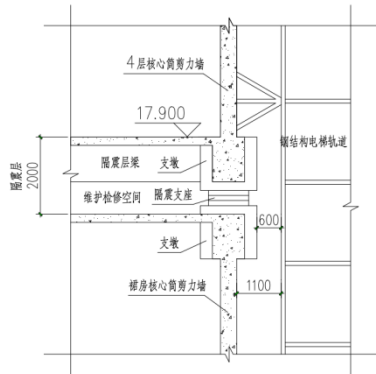


图 6.2.4-1 悬挂式电梯轨道示意

2 采用错位层间隔震体系，隔震层设置在不同标高，竖向电梯井相关范围的隔震支座设置在基底形成下隔震层，其余隔震支座设置在上隔震层。

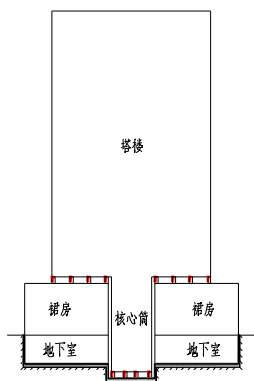


图 6.2.4-2 错位层间隔震体系示意

【条文说明】

1 采用悬挂式电梯轨道的优点是隔震支座均设置在同一楼层，支座受力和变形容易协调，但需自下至上加大竖向电梯井尺寸，预留电梯轨道随隔震层变形的空间，需占用一定的建筑面积。

2 采用错位层间隔震体系的优点是竖向电梯井可上下保持连续，不需额外增加电梯井尺寸，但需确保不同标高隔震层的隔震支座协同工作。

6.2.5 错位层间隔震体系应采取有效措施保证不同标高隔震层的隔震支座协同工作，并应符合下列规定：

1 上下隔震层之间的上部结构应具有足够的刚度和强度，在罕遇地震作用下，上下隔震层之间的结构构件应基本无损坏，上下隔震层之间的层间位移角不应大于 $1/1000$ 。

2 采用时程分析法进行补充计算，不同标高隔震支座的水平位移时程曲线不应出现滞后或相位差。

3 上下隔震层之间的上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的竖向隔离缝。

4 上下隔震层之间的标高差超过 5m 时，应进行专门的论证。

6.2.6 隔震层设置抗拉装置时，在不同水准地震作用产生的最大拉力条件下，抗拉装置应可水平 360° 自由滑动。

【条文说明】抗拉装置受拉时，滑动机构将产生较大的摩擦力，抗拉装置的设计应充分考虑该摩擦力的影响。

6.2.7 同一隔震层选用多种类型、规格的隔震支座时，弹性滑板支座、摩擦摆支座或其他不能承受竖向拉力的支座宜在靠近结构平面形心、轴压力变化不大的位置布置，弹性滑板支座、摩擦摆支座或其他不能承受竖向拉力的支座宜保持受压状态。

【条文说明】靠近结构平面形心布置，可减小由于结构倾覆作用导致的支座轴力变化。

6.2.8 同一支承处设置多个隔震支座时，隔震支座的类型和规格宜相同，且隔震支座之间的净距应能满足安装和更换所需的空间尺寸。

【条文说明】隔震支座类型和规格相同，有利于同一支承处的隔震支座受力和变形协调。

6.2.9 存在组合平面的建筑，应考虑斜向地震作用对隔震支座性能的影响。

【条文说明】对于 L 形等组合平面，0 度、90 度方向支座主要是承受压力，而 45 度、135 度斜向地震作用可能会使支座出现拉力。

7 消能器的试验方法和检验规则

7.1 一般规定

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

7.1.2 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。

7.1.3 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。

7.2 试验方法

7.2.1 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 7.2.1-1 规定进行。

表 7.2.1-1 屈曲约束支撑力学性能试验方法

项目	试验方法
屈服承载力 屈服位移 最大承载力 极限位移 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 $0.5 u_0$、$0.8 u_0$、$1.0 u_0$、$1.2 u_0$ 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 $1.0 u_0$ 工况的第 3 次循环时滞回曲线包围的面积作为

	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 5.2.1-2 的规定进行。

表 7.2.1-2 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。

【条文说明】基于如下考虑，对于屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器、行程不大于 100mm 的粘滞消能器，其疲劳性能试验循环加载次数由 30 次提高至 60 次：

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（如 2023.2.6 发生的土耳其—叙利亚地震，在 9 小时内，连续发生 M7.8、M7.5 级强震），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（60 米及以上），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 1~4s，大阪地震动卓越周期 4~7s 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。

根据相关数据统计，广东沿海地区全年相对湿度在 75% 左右，其中广州、汕尾、阳江等地相对湿度超过 80%，各地的平均温度大多在 21℃ 左右，日降水量平均 200mm 左右。由于海水的蒸发，沿海地区具有大气相对湿度大且盐分含量高的特点，当降水量大或者湿度较大时消能器腐蚀速度会明显加快。基于上述考虑，本条提出产品按《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。其与天然环境相比其盐雾环境的氯化物的盐浓度，可达到一般天然环境盐雾含量的几倍或几十倍，使腐蚀速度大大提高，对产品进行盐雾试验，得出结果的时间也大大缩短。如在天然暴露环境下对某产品样品进行试验，待其腐蚀可能要 1 年，而在人工模拟盐雾环境条件下试验，只要 24 小时，即可得到相

似的结果。且中性盐雾试验（NSS 试验）是目前应用最广的一种加速腐蚀试验方法，结果稳定、可靠。

7.2.2 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表 7.2.2 规定。

表 7.2.2 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差

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

注：L——支撑长度；h——支撑高度；d——支撑外径

7.2.3 屈曲约束支撑基本力学性能应包括表 7.2.3 所列的各项指标，其试验方法应按第 7.2.1 条的规定进行。

表 7.2.3 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±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内
2	屈服位移	每个产品的实测值偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±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±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±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±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±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	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 1.15

【条文说明】拉压不平衡系数为规定设计位移下，轴向受压承载力与轴向受压承载力比值，美国 ANSI/AISC341-10 规定，其值应小于 1.30。根据周云等学者相关实验研究（土木工程学报《不同构造钢板装配式屈曲约束支撑性能试验研究》），外筒与芯板间设置无粘结材料后，其值小于 1.15。

7.2.4 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 7.2.1 条的规定进行。

表 7.2.4 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±15%
	3	滞回曲线	1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力，与所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的偏差不应超过±15% 2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移，与所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的偏差不应超过±15%
	4	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积应与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差不应超过±15%
耐腐蚀性能			无锈蚀，无可见破坏，无可察觉的变化

【条文说明】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。

7.2.5 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 7.2.6-1 规定进行。

表 7.2.5-1 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 $0.5 u_0$、$0.8 u_0$、$1.0 u_0$、$1.2 u_0$ 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 $1.0 u_0$ 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。	

5 金属屈服型消能器耐久性能试验方法应按表 7.2.5-2 的规定进行。

表 7.2.5-2 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。	

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

7.2.7 金属屈服型消能器基本力学性能包括表 7.2.8 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.7 条的规定进行。

表 7.2.7 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

7.2.8 金属屈服型消能器的耐久性应包括表 7.2.8 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.5 条的规定进行。

表 7.2.8 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

7.2.9 摩擦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，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 7.2.10-1 规定进行。

表 7.2.9-1 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; d) 取第 1 次循环时滞回曲线从零位移移到起滑位移的斜率作为弹性刚度的实测值; e) 取第 3 次循环时滞回曲线包络的面积作为滞回曲线面积的实测值。

5 摩擦消能器耐久性能试验方法应按表 7.2.9-2 的规定进行。

表 7.2.9-2 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°C, 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。	

【条文说明】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。

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

7.2.11 摩擦消能器基本力学性能应包括表 7.2.12 所列各项指标, 其试验方法应按第 5.2.10 条的规定进行。

表 7.2.11 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
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 $\pm 15\%$

7.2.12 摩擦消能器的耐久性应包括表 7.2.12 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.9 条的规定进行。

表 7.2.12 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±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±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±15%
	4	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积应与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差不应超过±15%
耐腐蚀性能			无锈蚀，无可见破坏，无可察觉的变化

7.2.13 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 7.2.13-1 规定进行。

表 7.2.13-1 黏滞消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
极限位移	采用静力加载试验，控制试验机的加载系统使消能器匀速缓慢运动，记录其运动的极限位移值
最大阻尼力	采用正弦激励法，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，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 $0.1 u_0$、$0.2 u_0$、$0.5 u_0$、$0.7 u_0$、$1.0 u_0$、$1.2 u_0$ 共 6 个工况，不间断连续加载 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 7.2.13-2 的规定进行。

表 7.2.13-2 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；当以承受 10 年一遇风荷载或温度作用时，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。
密封性能	输入位移 $u = u_1 \sin(\omega t)$ ，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 黏滞消能器其它相关性能试验应按表 7.2.13-3 的规定进行。

表 7.2.13-3 黏滞消能器其它相关性能的试验方法

项目	试验方法
最大阻尼力加载频率相关性	用正弦激励法，测定产品在常温，加载频率 f 分别为 $0.417 f_1$ 、 $0.7 f_1$ 、 $1.0 f_1$ 、 $1.3 f_1$ 、 $1.6 f_1$ ，对应分别输入位移幅值 $1.2 u_0$ 、 u_0 、 u_0 、 $0.77 u_0$ 和 $0.63 u_0$ 下的最大阻尼力，并分别与 f_1 下位移幅值的 $0.5 u_0$ 、 $0.7 u_0$ 、 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。	

【条文说明】黏滞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±5%以内。二甲基硅油的 150℃×2h 条件下挥发份不大于 0.5%，黏滞消能器在疲劳测试时温度会升高，因此定为 230℃×2h 挥发份不大于 0.75%。

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/T1040.2、《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滞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滞阻尼器内，进行对比测试。

低速摩擦性能是指：黏滞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。

现行标准仅考虑风振控制时，其风振作用最大行程的 10% 加载 60000 个循环来控制其疲劳性能，根据风振阻尼器在 10 年一遇风荷载作用下位移时程分析，风荷载下其值相比地震作用下更为平均，多数波峰与波谷间的幅值达到其时程峰值的 50%~60%，故按峰值的 10%作为实验标准过低，标准提高为：当以风振控制为主或消能器承受温度作用时，输入位移 $u = u_w \sin(\omega t)$ （其中 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），连续加载 60000 个循环。

7.2.14 黏滞消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.2.14 规定。

表 7.2.14 黏滞消能器各部件尺寸偏差

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

7.2.15 黏滞消能器的基本力学性能应包括表 7.2.15 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.13 条的规定进行。

表 7.2.15 黏滞消能器基本力学性能要求

序号	项目	性能要求
----	----	------

1	极限位移	每个产品实测值不应小于设计位移的 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 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值 $\pm 10\%$ 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 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在设计值 $\pm 10\%$ 以内
5	阻尼指数	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 $\pm 10\%$ 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	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%

7.2.16 黏滞消能器的耐久性应包括表 7.2.16 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.14 条的规定进行。

表 7.2.16 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	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

测试	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

7.2.17 黏滞消能器的其它相关性能应包括表 7.2.17 所列各项指标，其试验方法应按第 7.2.13 条的规定进行。

表 7.2.17 黏滞消能器其它相关性能要求

类别	项目	指标	性能要求
黏滞消能器	加载频率相关性能	最大阻尼力	变化率应在 $\pm 15\%$ 以内
	温度相关性能	最大阻尼力	变化率应在 $\pm 15\%$ 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 $-15\% \sim +25\%$ 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。

7.2.18 黏弹性消能器外观质量和性能检验等应符合下列要求：

- 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℃±2℃）条件下

的力学性能试验方法按表 7.2.18-1 规定进行。

表 7.2.18-1 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，取滞回曲线包围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 $u = u_l \sin(\omega t)$ ； u_l 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 7.2.18-2 的规定进行。

表 7.2.18-2 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 黏弹性消能器的其它相关性能试验应按表 7.2.18-3 的规定进行。

表 7.2.18-3 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。	

7.2.19 黏弹性消能器各部件尺寸偏差应符合表 7.2.19 的规定。

表 7.2.19 黏弹性消能器各部件尺寸偏差

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

7.2.20 黏弹性消能器的力学性能应包括表 7.2.20 所列各项指标, 其试验方法应按第 7.2.18 条的规定进行。

表 7.2.20 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±15%以内; 实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内

2	速度指数	每个产品的实测值偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±10%以内
3	储能刚度	每个产品的实测值偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±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±15%以内；实测值偏差的平均值应在设计值的±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 圈滞回曲线包围面积的实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在设计值的±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 ）		

7.2.21 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。

【条文说明】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滞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滞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，故本标准专门指出，给出了速度相关型黏弹性消能器的规定。

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。

7.2.22 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 7.2.22-1 规定执行。

表 7.2.22-1 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。

7.2.23 调谐质量阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 7.2.23 规定。

表 7.2.23 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±3%
调谐质量阻尼器宽度	不超过产品设计值的±3%
安装孔	孔位置偏差±2mm，孔径偏差±1mm

7.2.24 调谐质量阻尼器力学性能应包括表 7.2.24 所列各项指标，
其试验方法应按第 7.2.22 条的规定进行。

表 7.2.24 力学性能要求

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

7.2.25 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：

$$F_d = K_{\text{eff}} \Delta u \qquad (7.2.25-1)$$

$$K_{\text{eff}} = \frac{|F_d^+| + |F_d^-|}{|\Delta u^+| + |\Delta u^-|} \quad (7.2.25-2)$$

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：

$$F_d = C \left| \Delta u \right|^\alpha \text{sgn}(\Delta u) \quad (7.2.25-3)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi\omega_1(|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (7.2.25-4)$$

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（N·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）；

Δu 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:

$$F_d = K_1 \Delta u + C \left| \Delta u \right|^\alpha \quad (7.2.25-5)$$

$$K_1 = \frac{F_1}{u} \quad (5.2.26-6)$$

$$C = \frac{4W_c}{\pi \omega_1 (|\Delta u^+| + |\Delta u^-|)^2} \quad (7.2.26-7)$$

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)。

7.3 检验规则及判定

7.3.1 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标准的所有项目，各项指标应全部符合本标准的要求，否则为不合格。当有以下情况之一时应当进行型式检验：

- 1 新产品的试制定型鉴定。
- 2 当原料、结构、工艺等有较大改变，有可能对产品质量影响较大时。
- 3 正常生产时，每五年检验一次。
- 4 停产一年以上恢复生产时。
- 5 国家质量监督机构提出型式检验要求时。
- 6 因特殊需要而必须进行型式检验时。
- 7 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

7.3.2 出厂检验应符合下列规定：

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。

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。

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

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

7.3.4 检验项目应按下表 7.3.4 的规定执行

表 7.3.4 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	√	√	√
	疲劳性能	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	√	√	√
		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	√	×	√
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	√	×	√
	加载频率相关性能	最大阻尼力	√	×	×
	温度相关性能	最大阻尼力	√	×	×
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	√	×	√
	加载频率相关性能	零位移阻尼力	√	×	×
	温度相关性能	最大阻尼力	√	×	×

	变形相关性 能	最大阻尼力	√	×	×
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	√	×	√

8 减震工程的施工与验收

8.1 一般规定

8.1.1 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。减震（振）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。

【条文说明】结合消能减震结构的特点，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和竣工验收。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。

8.1.2 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。

8.1.3 消能部件进场应提供下列质量证明文件：

- 1 消能器、支撑和连接件所用钢材、紧固件、黏滞材料、摩擦材料、黏弹性材料等原材料的质量证明文件；
- 2 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；设计单位批准的深化设计文件。
- 5 其他必要证明文件。

8.1.4 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。

8.1.5 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。

8.1.6 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》GB50205、《钢结构焊接规范》GB50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82、《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 8。

【条文说明】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。

8.1.7 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。

8.1.8 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标准规定。

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。

8.1.9 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。

8.1.10 减震（振）建筑使用或管理单位应编写维护管理计划书。

8.2 消能部件进场验收

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

8.2.2 消能器应按本标准第 7.3.3 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。

8.2.3 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。

8.2.4 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。

8.2.5 消能部件观感质量要求应符合表 8.2.5 规定。

表 8.2.5 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》GB50205 相关要求。
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》GB50205 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》GB50205 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》GB50205 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》GB50205 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》GB50205 相关要求。

检查数量：全数。

检查方法：观察。

8.2.6 消能器尺寸偏差应符合表 8.2.6 规定。

表 8.2.6 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。

8.2.7 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。

8.3 施工

8.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器生产厂家共同确定，并应符合《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。

8.3.2 减震（振）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、施工条件并结合设计文件施工模拟次序综合确定消能部件在减震（振）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。

【条文说明】消能减震构件的安装顺序，可参考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。

8.3.3 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。

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

【条文说明】消能减震的现浇钢筋混凝土结构施工中，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

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。

8.3.5 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**方可**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。

8.3.6 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。

【条文说明】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锚栓孔位置，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。

8.3.7 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。

8.3.8 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标准要求；

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标准要求；

4) 预埋件应与上、下悬臂墙连接牢固，平面位置、标高、水平度应满足本标准要求；

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要求。其应与消能子结构框架同时浇筑，悬臂墙钢筋不宜采用后置埋件、植筋等方式与主体连接。

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标准要求；

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标准要求；

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、垂直度应满足本标准要求。

8.3.9 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、垂直度应满足本标准要求；
- 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要求；
- 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、弯曲矢高应满足本标准要求。

8.3.10 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，可参考本标准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。

8.4 质量验收

8.4.1 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》GB50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》

GB50205 的有关规定。

检查数量：全数。

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

3 消能部件现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合《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 8.4.1 的规定。

表 8.4.1 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	丈量
	高度	±5 mm	±2 mm	全数	水准仪、全站仪或拉线、丈量

	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	±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	标高	±5 mm	±2 mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	水平度	3‰	3‰	全数	水准仪或水平尺、塞尺量 测
消能器	轴线	±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	垂直度	H ₁ /1000	H ₁ /1000	全数	经纬仪或吊线、尺量

注：H-悬臂墙高度；H₁-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。

8.4.2 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》GB50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 的有关规定。

检查数量：全数。

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

3 消能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验方法应符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 支撑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		
预埋板	轴线		±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	标高		±5 mm	±2 mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	垂直度	≤2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量
		>2 m	5 mm	5 mm		
	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		±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	垂直度	≤2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪或吊线、尺量
		>2 m	5 mm	5 mm		
	上、下节点板平面相对偏移		±2 mm	±2 mm	全数	吊线、尺量
消能器或支撑	安装净空		+8 mm +3 mm	+8 mm +3 mm	全数	尺量
	弯曲矢高		≤L/1000, 且≤10 mm	≤L/1000, 且≤10 mm	全数	拉线、尺量

注：L-消能器或支撑本体长度。

2 连接采用销轴或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求，当设计无要求时，对于风振装置其间隙不得大于 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。

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

8.4.4 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标准表 7.4.6 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。
- 8.4.5** 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。
- 8.4.6** 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项目可按表 8.4.6 的规定执行。

表 8.4.6 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项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
----	----	-----------	--------

1	见证取样送样检测项目： （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	符合本标准、设计文件、《消能减震技术规程》JGJ 297 的相关规定

8.4.7 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 及本标准附录 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 隔震支座性能

9.1 一般规定

9.1.1 隔震支座的设计工作年限不宜低于主体结构的设计工作年限。当超过隔震支座设计工作年限时，应对隔震支座进行检查和维护，必要时应进行更换。当隔震建筑遭遇地震和火灾、水灾等意外后，对隔震支座进行检查和维护，重新确定隔震支座工作年限，必要时应进行更换。

【条文说明】按《橡胶支座 第1部分 隔震橡胶支座试验方法》GB/T 20688.1和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118，隔震支座加速老化期望寿命要求不低于60年。目前基于加速老化试验理论推算，隔震支座的使用寿命可达100年以上。隔震支座可以根据实际情况予以更换。另外，建筑隔震支座的使用寿命和橡胶支座的安装环境有较大关系，应尽量使隔震层处于干燥环境，并保证水平隔离缝填塞符合要求。对建筑使用年限要求较长时，隔震支座相应的保护层和其他装置相应的涂层建议适当增厚。隔震层设置和隔震支座、其他装置安装位置应便于维护人员接近和操作，保证可维护和更换的工作条件。

9.1.2 确定隔震支座性能的标准温度为23℃，确定支座工作温度范围时应考虑支座的实际使用环境。检验样品的温度应与标准温度相符。

9.1.3 隔震支座的产品性能应经检验合格后提供下列性能指标：

- 1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度。
- 2 在轴压应力设计值作用下的竖向变形性能。

- 3 竖向极限压应力。
- 4 在轴压应力设计值作用下的水平极限变形能力。
- 5 耐久性能，包括老化性能、徐变性能和疲劳性能。
- 6 其它相关性能，包括在不同竖向轴压应力、水平剪切应变、水平加载频率、环境温度下的水平（等效）刚度和等效阻尼比的变化率。
- 7 耐火性能。
- 8 有特殊要求的性能，如抗腐蚀性、耐水性等。

9.1.4 隔震橡胶支座的产品性能除符合 9.1.3 的规定外，尚应提供下列性能指标：

- 1 在水平位移为 0.55 倍有效直径时的竖向极限压应力。
- 2 竖向极限拉应力。
- 3 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%时的水平等效刚度。
- 4 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 100%、250%时的等效阻尼比。
- 5 在水平位移为 0.55 倍有效直径和 30MPa 竖向压应力同时作用下的极限恢复性能。

9.1.5 对铅芯橡胶支座、高阻尼橡胶支座或其他含有消能器装置的隔震支座，除应满足第 9.1.3、9.1.4 条的规定外，尚应提供在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服剪力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。对兼用做抗风装置的位移相关型消能器，尚应提供在轴压应力设计值作用下的屈服承载力、屈服位移和屈服后刚度。

9.1.6 当隔震层有防火要求时，隔震支座应采取防火措施，防火措施不应影响隔震支座的水平剪切变形。耐火等级按《建筑防

火设计规范》GB 50016 上部结构承重墙和柱的规定采用。检测方法应符合《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7 的有关规定。

【条文说明】当隔震层有防火要求时，耐火等级应达到承重墙和柱的同等要求，即耐火极限应达到 3 小时。检测方法可按照《建筑构件耐火试验方法 第 7 部分：柱的特殊要求》GB/T 9978.7，接受火 3 小时后评定性能变化率。

9.1.7 应用于隔震层的消能器应满足《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的有关规定。抗风装置、抗拉装置等新产品的使用应提供可靠的产品设计依据或相关证明材料。

【条文说明】当超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 相应高度限值时应对结构抗倾覆设计和支座抗拉设计进行详细论证。对地基基础条件相对不利地区或大跨结构，应充分考虑不均匀沉降对隔震层影响，优先选用带有可复位功能的隔震支座。结构形式复杂、功能重要或者建筑所在场地、场所特殊，设计文件中要求进行强震记录或地震响应监测的建筑采用未列入国家、行业或者地方技术标准的新型隔震减震装置，应当由具备资质的检测机构出具检测报告，并经充分论证后，方可采用。

9.2 隔震橡胶支座

9.2.1 橡胶隔震支座表面应光滑平整，外观质量、平面尺寸的偏差，一般力学性能、耐久性和相关性能除应符合本节规定外，尚应符合现行国家标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3和行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118的有关规定。

9.2.2 橡胶隔震支座设计压应力下，支座的侧向不均匀变形应符合表 11.2.2 的规定。

表 9.2.2 支座产品侧向不均匀变形允许值（mm）

D' 、 a' 和 b'	侧向不均匀允许值
D' 、 a' 和 $b' \leq 600$	≤ 3
$600 < D'$ 、 a' 和 $b' \leq 1000$	≤ 4
D' 、 a' 和 $b' > 1000$	≤ 5

注：表中 D' 表示圆形隔震支座包括保护层厚度的直径， a' 、 b' 分别表示矩形隔震支座包括保护层厚度的长边、短边边长。

9.2.3 隔震橡胶支座第一形状系数 S_1 不应小于 20，第二形状系数 S_2 不应小于 3 且不宜小于 5。

9.2.4 在设计压应力作用下，隔震橡胶支座的极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的 450%。在剪应变为零的条件下，隔震橡胶支座的压应力破坏极限值不应小于 90MPa；屈服拉应力不应小于 1.8MPa，极限拉应力不应小于 4.0MPa。

【条文说明】参考《叠层橡胶支座隔震技术规程》CECS126:2001 的规定,明确隔震橡胶支座失稳的临界应力不应小于 90MPa,试验方法可参照建筑隔震橡胶支座 JG/T 118。拉应力直接反映了橡胶钢板的粘接性能,橡胶材料的物理机械性能,以及硫化质量。《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(2016 年版)第 12.2.4 条条说明基于早期广州大学的试验成果,取屈服拉应力小于 1.0MPa;而美国 UBC 规范采用的屈服拉应力值为 1.5MPa。随着建筑隔震橡胶支座工艺技术和检验能力的提升,隔震橡胶支座的屈服拉应力可达 1.8MPa,极限拉应力可达 4MPa 以上。隔震橡胶支座拉伸性能测试参考《橡胶支座 第 1 部分:隔震橡胶支座试验方法》GB 20688.1-2007 第 6.6 节。

9.2.5 隔震橡胶支座受火前后的竖向压缩性能和水平剪切性能的变化率不应超过 $\pm 15\%$ 。

9.2.6 支座一般力学性能试验项目和要求应符合表 11.2.6 的规定。

9.2.7 隔震橡胶支座老化性能、徐变性能不应低于 60 年,徐变性能试验方式应与支座老化性能一致。

表 9.2.6 支座一般力学性能试验项目和要求

性能	试验项目	试验方法和条件	出厂检验	型式检验	见证检验	试件
压缩性能	竖向压缩刚度	1 加载方法采用 GB/T 20688.1 的 6.3.1.3 款方法 2 加载 3 次，竖向压缩刚度应按第 3 次加载循环测试值计算； 2 试验标准温度为 23℃，否则应对试验结果进行温度修正；	√	√	√	足尺支座
	竖向压缩变形	3 在设计竖向压应力下，采用直角尺和塞尺测量支座侧面的最大鼓出位置的鼓出量和最大凹入位置的凹入量	√	√	√	足尺支座
	侧向不均匀变形		√	√	√	足尺或缩尺模型 A
	竖向极限压应力 /MPa	加载方法采用 GB/T 20688.1 的 6.3.1.3 款方法 2 向支座施加轴向压力，缓慢或分级加载，直至破坏。同时绘出竖向荷载和竖向位移曲线，根据曲线的变形趋势确定破坏时的荷载和压应力	×	√	Δ	足尺或缩尺模型 A
	水平位移为支座内部橡胶直径 55%状态时的极限压应力 /MPa	1 竖向压力下将支座推剪到水平位移 0.55D； 2 缓慢或分级施加竖向载荷，记录竖向载荷和水平刚度，往复循环加载各一次； 3 支座外观发生明显异常或水平刚度趋于 0 时，视为破坏	×	√	Δ	足尺或缩尺模型 B
剪切性能	水平等效刚度 水平等效阻尼比 或 水平等效刚度 屈服后刚度	1 加载方法采用 GB/T 20688.1 的 6.3.2.2 条的 3 次加载循环法，加载 3 次，剪切性能应按第 3 次加载循环测试值计算。 剪应变 $\gamma = 100\%$ 或 γ_0 ； 2 若加载频率和设计频率不同，应对试验结果进行修正，基准频率为设计频率或 0.5Hz； 3 试验标准温度为 23℃，否则应对试验结果进行温度修正； 4 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.3.2 条	√	√	√	足尺支座

	屈服力					
0.55D 剪切性能	水平等效刚度	测试竖向压应力 30MPa 下将支座推剪到水平位移 0.55D 往复循环加载 3 次	×	√	√	足尺 支座 或缩尺 模型 B
拉伸性能	竖向拉伸刚度		Δ	√	Δ	足尺 或缩尺 模型 B
	竖向极限拉应力	1 试件应在指定剪应变作用下，进行指定拉力下的拉伸性能试验； 2 可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.6 节	×	√	Δ	
极限剪切性能	水平极限能力	可采用单、双剪试验装置，试验方法见 GB/T 20688.1 的 6.5 节	×	√	√	足尺
注：1 测量侧向不均匀变形时的竖向压应力，当 S_2 不小于 5 时，型式检验取 15MPa，出厂检验取设计压应力，当 S_2 小于 5 不小于 4 时竖向压应力降低 20%，当 S_2 小于 4 不小于 3 时竖向						

9.3 弹性滑板支座

9.3.1 弹性滑板支座的力学性能应包括剪切性能、压缩性能、剪切性能相关性、压缩性能相关性、极限性能和耐久性能等。前述性能的具体规定和试验方法应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 的有关规定。

9.3.2 弹性滑板支座滑移时橡胶支座部设计水平剪应变不宜超过 50%。

9.3.3 橡胶支座部的最小直径（或边长）尺寸不宜小于 300mm，第 1 形状系数不宜小于 30，第 2 形状系数应不小于 7。

9.3.4 弹性滑板支座的外观要求、允许偏差应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 的有关规定。

9.4 摩擦摆隔震支座

9.4.1 摩擦摆隔震支座按滑动摩擦面结构形式，可分为两类：

1 I型为单主滑动摩擦面型。

2 II型为双主滑动摩擦面型。

9.4.2 摩擦摆隔震支座的力学性能应包括剪切性能、压缩性能、剪切性能相关性、极限性能和耐久性能等。前述性能的具体规定和试验方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。

9.4.3 水平等效刚度、等效阻尼比、摆动周期、屈服后刚度、回复力、等效曲率半径和摩擦系数等的计算方法应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。

9.4.4 摩擦摆隔震支座的外观要求、允许偏差应符合现行国家标准《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。

9.5 三维隔震（振）支座

9.5.1 三维隔震（振）支座可选用叠层天然厚橡胶支座、铅芯叠层厚橡胶支座、隔震橡胶支座与钢弹簧/碟簧组合的三维隔震（振）支座、以及摩擦摆支座与钢弹簧/碟簧组合、摩擦摆与叠层厚橡胶支座组合的三维摩擦摆隔震（振）支座。

【条文说明】三维震振双控的支座，产品设计时应根据其各工况下最不利内力、变形复核支座稳定性，必要时设置刚性水平约束避免失稳。

9.5.2 三维隔震（振）支座应满足竖向隔震/振的位移需求。

9.5.3 叠层厚橡胶支座第一形状系数 S_1 宜介于 4~16，第二形状系数 S_2 不应小于 3。

9.5.4 叠层厚橡胶支座的性能，尚应符合下列规定：

1 应严格控制叠层厚橡胶支座的压应力设计值，应小于其竖向极限压应力的 1/3 和现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 规定的隔震支座设计压应力限值二者的较小值。

2 叠层厚橡胶支座极限性能，应包括支座稳定性验算和支座极限水平变位。

3 稳定性验算应明确其竖向极限压应力和极限拉应力，其中竖向极限压应力应不小于国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408 规定的隔震支座罕遇地震作用下最大竖向压应力限值，极限拉应力应不小于 1.0MPa。

4 在设计压应力下的极限水平变位，应大于其有效直径的 0.55 倍和支座内部橡胶总厚度 3 倍二者的较大值。

9.5.5 叠层厚橡胶支座的型式检验除提供隔震橡胶支座的型式检验指标外，尚应提供下列性能指标：

1 竖向隔振刚度。试验方法为：水平变位为 0，轴压应力为 $(1 \pm 10\%)$ 设计轴压应力，3 次往复加载，取第 3 次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率作为竖向隔振刚度。

2 竖向基准压缩变形，竖向设计压应力下对应的竖向压缩变形。

3 竖向极限压缩变形，竖向极限压应力下对应的竖向压缩变形。

4 竖向极限压应力，在水平变位为 0 的条件下，竖向单调加载时支座仍保持稳定的最大压应力值。

9.5.6 组合三维隔震（振）装置性能，应符合下列规定：

1 钢弹簧/碟簧组在结构承载力极限状态和罕遇地震作用下均应保持弹性。

2 设置解耦装置的组合三维隔震（振）装置在设计竖向压力和设计水平位移范围内，组合三维隔震（振）装置竖向和水平向性能之间的无显著的相互影响。

3 隔震橡胶支座或摩擦摆支座与碟簧串、并联组合时，碟簧的并联数量应根据橡胶支座的设计承载力确定，单碟簧的设计承载力宜取变形小于等于 0.75 倍碟簧内锥高时的承载力，并联后碟簧组合的设计承载力应不小于隔震橡胶支座设计承载力；碟簧串联数量应根据隔振性能设计或时程分析时的变形需求确定。

4 隔震橡胶支座或摩擦摆支座与钢弹簧组合时，钢弹簧设计承载力应大于隔震橡胶支座或摩擦摆支座设计承载力；钢弹簧的变形能力应根据承载后性能设计或时程分析后变形需求确定。

9.5.7 组合三维隔震（振）装置产品的型式检验应提供下列性能指标：

1 竖向隔振刚度。试验方法为：水平变位为 0，轴压应力为 $(1 \pm 10\%)$ 设计轴压应力，3 次往复加载，取第 3 次加载的荷载最大值和最小值点连线的斜率作为竖向隔振刚度。

2 竖向基准压缩变形，竖向设计压应力下对应的竖向压缩变形。

3 竖向极限压缩变形，竖向极限压应力下对应的竖向压缩变形。

9.6 检验规则

9.6.1 隔震支座应进行型式检验、出厂检验和见证检验。型式检验项目和各项指标应符合现行行业标准的有关规定。

【条文说明】进一步明确了型式检验、出厂检验和见证检验的定义和见证检验的量化指标。依据《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 明确提出见证检验是“施工单位在工程监理单位或建设单位的见证下，按照有关规定从施工现场随机抽取试样，送至具备相应资质的检测机构进行检验的活动”。

9.6.2 隔震橡胶支座的出厂检验应符合下列规定：

1 出厂检验由制造厂家质检部门或独立的第三方检测机构检验，应包括支座外观质量和尺寸偏差检查、支座力学性能试验。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检测。

2 建筑工程中使用的隔震橡胶支座出厂检验比例100%。每个隔震橡胶支座应进行出厂检验，检验合格方准出厂。

3 支座外观质量和尺寸偏差检查应符合本标准第11章和《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118的相关规定。

4 支座力学性能试验应进行的项目包括：压缩性能、剪切性能。宜进行拉伸性能试验

9.6.3 隔震橡胶支座的见证检验应符合下列规定：

1 见证检验应在监理单位见证下从项目的进场产品中随机抽取，并做永久标识后送至具备相应资质的第三方检测机构进行检验。

2 见证检验应在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取，并做永久性标识。检测机构应对抽样样品先进行竖向压缩性能和剪切性能检验，合格后进行水平极限性能检测和0.55D 剪切性能检测。设计应力下水平极限剪应变不应小于450%，用于水平极限性能和0.55D 剪切性能检测的支座不得用于工程。当建筑结构设计对支座有抗拉要求时，则应进行拉伸性能的试验。

3 取样数量：同一生产厂家、同一类型、同一规

格的产品，取总数量的 2%且不少于 3 个进行支座压缩性能和剪切性能试验。并从取样数量的每 3 个支座抽取 1 个支座，其中选取 1 个支座进行先进行 0.55D 剪切性能检验然后进行水平极限剪切性能试验，其余支座仅进行水平极限剪切性能试验。

【条文说明】永久标识应直接硫化在支座保护胶上或激光蚀刻在法兰板上，并包含但不限于以下信息：制造厂名字、企业商标、支座类型、产品顺序列号或生产顺编号和支座产品尺寸等。

9.6.4 建筑隔震弹性滑板支座的型式检验和出厂检验应符合《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 的有关规定。

9.6.5 建筑摩擦摆隔震支座的型式检验和出厂检验应符合《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 的有关规定。

9.6.7 三维隔震（振）支座的型式检验和出厂检验除满足相应产品的检验指标外，尚应增加竖向隔振刚度、竖向基准压缩变形、竖向极限压应力和竖向极限压缩变形 4 项性能指标。

10 隔震（振）工程的施工、验收和维护

10.1 一般规定

10.1.1 建筑隔震工程可作为建筑工程主体结构分部工程的子分部工程，并应符合下列规定：

1 分项工程应按支座安装、消能器安装、柔性连接安装、隔离缝等进行划分。

2 检验批可按楼层、结构缝或工段等进行划分。

3 材料进场检验，可按照进场批次、生产厂家、规格等划分检验批。

10.1.2 隔震建筑施工前，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。

10.1.3 隔震建筑施工前，应由建设单位组织设计、施工和监理等单位对设计文件进行技术交底和图纸会审。施工单位应对施工作业人员进行技术交底和必要的实际操作培训。

10.1.4 隔震建筑施工前，应根据设计和施工规范要求及现场施工条件，确定施工工艺。首件样板工程应由有关各方确认后方可进行后续施工。

10.1.5 隔震工程施工过程中，应进行自检和交接检，前一工序经检验合格后方可进行下一工序的施工。

10.1.6 隔震工程施工过程中，应对隐蔽工程应按要求进行验收，并形成验收记录。对重要工序和关键部位应加强质量检查或进行测试，并应做出详细记录，同时宜留存图像资料。

10.1.7 隔震工程施工过程中，应对隔震支座采取临时保护或固定措施。

10.1.8 施工单位应保证施工资料真实、有效、完整和齐全。施工项目技术负责人应组织施工全过程的资料编制、收集、整理和审核，并应及时存档、备案。

10.1.9 隔震支座和连接件的类型、规格、数量和性能，除应符合本标准的规定外，尚应符合现行国家、行业标准和设计文件的相关规定。

10.1.10 隔震支座在运输、贮存过程中如遭遇可能影响支座性能的情况时，应再次进行检验。

10.2 进场和施工

10.2.1 隔震支座进场验收应包括出厂合格证明文件检查、出厂检验报告检查和见证检验报告检查，并按附录 D.0.1 和 D.0.2 进行记录。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

【条文说明】《建设工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第 744 号）“第十八条 隔震减震装置用于建设工程前，施工单位应当在建设单位或者工程监理单位监督下进行取样，送建设单位委托的具有相应建设工程质量检测资质的机构进行检测。禁止使用不合格的隔震减震装置。实行施工总承包的，隔震减震装置属于建设工程主体结构的施工，应当由总承包单位自行完成。”隔震支座、消能器生产厂家不直接进行施工安装。

10.2.2 隔震支座和连接件进场应提供下列质量证明文件：

- 1 隔震支座所用钢板、螺栓、橡胶、铅锭、胶黏剂等原材料质量证明文件，橡胶检验报告。
- 2 隔震支座生产厂家生产及服务能力证明材料。
- 3 项目所用相关型号隔震支座型式检验报告。
- 4 项目全部规格隔震柔性连接管道压力试验报告、气密性检查报告和型式检验报告。

5 连接件所用钢板、钢筋、套筒、螺栓等质量证明文件，锚筋套筒连接第三方机械连接性能检验报告。

6 隔震支座进场时，应提供产品合格证、隔震支座外观质量及尺寸偏差出厂检验报告、隔震支座力学性能出厂检验报告。

7 其他必要证明文件。

10.2.3 定位板、下连接件定位与固定应符合下列规定：

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

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

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

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

5 定位板、下连接件应牢靠固定，并按附录D.0.3进行记录。

6 安装下支墩（柱）侧模，应用水准仪测定模板高度，并应在模板上弹出水平线。

10.2.4 下支墩（柱）混凝土浇筑应符合下列规定：

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

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

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

4 下支墩（柱）混凝土浇筑时，应采取必要措施保证定位板下混凝土密实。

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

- 1) 为使定位板底面与下支墩（柱）混凝土顶面密贴，以均匀传递荷载，宜在定位板下支墩（柱）混凝土顶面之间留出 30-50mm 的空隙，并宜采用灌浆料填充；
- 2) 灌浆材料宜选用流动性好的高强微膨胀灌浆料，强度等级宜比下支墩（柱）原设计强度等级提高一级；
- 3) 正式灌浆前宜进行填充性确认试验，并对试验结果进行评估，根据试验结果确定灌浆工艺，编写灌浆施工方案。

6 下支墩（柱）浇筑采取混凝土浇筑法时应按下列规定进行施工：

- 1) 下支墩混凝土浇筑时宜使混凝土溢出定位板浇筑孔和排气孔 5mm~10mm，混凝土初凝后、终凝前取出定位板。取板前应将高出下支墩（柱）顶设计标高的多余混凝土铲出，并在混凝土终凝前采用原浆对下支墩（柱）顶混凝土表面进行抹面处理，确保混凝土完成面密实、平整、光滑；
- 2) 用大流动性混凝土进行浇筑时，应保证定位板下不出现集中空隙，且填充率达到 90%（空隙总面积与定位板面积之比）以上，浇筑前宜先开展填充性确认试验。大流动性混凝土的浇筑高度不宜超过 500mm，否则宜采用灌浆料填充法。

10.2.5 隔震支座安装应按下列规定进行施工：

1 安装时，下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计强度的 75%。

2 安装前，下支墩（柱）顶面应清理干净，并测量其顶面水平度、中心标高、平面中心位置，偏差应符合表 10.2.5 的要求。

表 10.2.5 支座安装位置的允许偏差和检验方法

检查项目		与设计偏差	检验方法
支座中心标高和多支座顶面高差		不应大于 $\pm 5\text{mm}$	用水准仪、钢尺测量
支座中心平面位置		不应大于 $\pm 5\text{mm}$	用全站仪、钢尺测量
水平度	支墩（柱）顶面	不宜大于 3‰	用水准仪、千分塞尺测量
	支座（柱）顶面	不宜大于 8‰	用水准仪、千分塞尺测量

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

4 吊装过程中，应注意保护隔震支座。

5 安装完成后，应检查支座顶面水平度、中心标高、平面中心位置，其偏差应符合表 10.2.5 的规定。

6 隔震支座安装完成，应进行分项工程验收，合格后方可进入下一道工序。

10.2.6 上部结构施工应符合下列规定：

1 支座上连接板安装后，将连接套筒、锚筋或锚杆就位，应校准其位置、标高等，并按附录 D.0.4 和 D.0.5 进行记录。上连接件与隔震支座固定后方可进行上部结构施工。

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

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

4 当支座相邻上部结构为钢结构和钢骨结构时，

应对全部支座采取临时固定措施。

5 因混凝土收缩应力和温度应力引起的支座上下连接板水平相对位移不应超过表 10.2.6 的规定。

表 10.2.6 隔震支座上下连接板水平相对位移限值

D、a 和 b（mm）	水平相对位移不应超过（mm）
300、400	20
500、600	30
700、800	40
900、1000	50
1100~1300	55
1400~1600	65

注：D 为圆形支座有效直径；a 为正方形支座内部橡胶的边长，或矩形支座内部橡胶的长边长度；b 为矩形支座内部橡胶的短边长度。

10.2.7 隔震构造措施隔震层构配件及隔离缝施工应符合设计要求。

10.2.8 建筑隔震工程施工工作流程可参照图 10.2.8 执行。

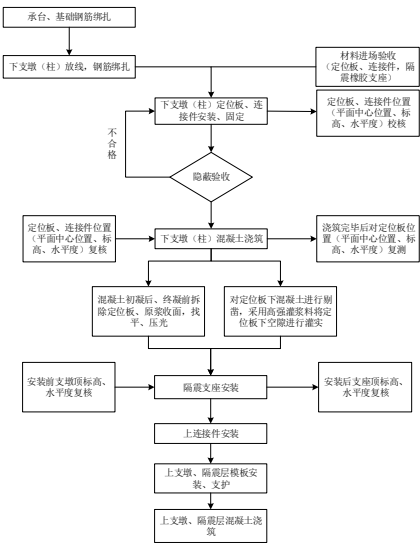


图 10.2.8 建筑隔震工程施工流程

10.3 工程验收

10.3.1 隔震支座的外观质量和尺寸偏差应符合现行国家和行业标准的有关规定，支座连接件尺寸偏差应符合表 10.3.1 的规定。

表 10.3.1 支座连接件尺寸允许偏差（mm）

连接板平面尺寸	直径或边长≤1000	板厚≤30	±2.00
		板厚>30	±2.50
	直径或边长 1000~2500	板厚≤30	±2.50
		板厚>30	±3.00
连接板厚度	直径或边长≤1500	板厚 15~25	±0.65
		板厚 25~40	±0.70
		板厚 40~60	±0.80
		板厚 60~100	±0.90
	直径或边长 1500~2500	板厚 15~25	±0.75
		板厚 25~40	±0.80
		板厚 40~60	±0.90
		板厚 60~100	±1.10
连接板螺栓孔位置	直径或边长 400~1000		±0.80
	直径或边长 1000~2500		±1.20

10.3.2 隔震支座产品质量应符合下列规定：

1 主控项目中隔震支座的种类、规格、数量和性能应符合本标准规定。抽检数量和检验方法应满足下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检查；
- 2) 检验方法：检查隔震支座制造厂合法性证明文件、隔震支座型式检验报告、出厂检验报告、出厂合格证及见证检验报告。当设计另有规定时，尚应检查相应的检测报告。

2 一般项目应符合下列规定：

- 1) 外观质量应符合本标准规定。抽检数量：全数检查。
检验方法：观察检查；

2) 隔震支座及支座连接件尺寸偏差应符合本标准规定。

抽检数量：全数检查。检验方法：尺量检查；

3) 连接套筒外观质量和尺寸偏差检查应符合现行行业标准《钢筋机械连接用套筒》JG/T 163 的有关规定。抽检数量：全数检查。检验方法：观察、尺量检查。

10.3.3 隔震支座安装质量应符合下列规定：

1 主控项目应符合下列规定：

1) 隔震支座种类、规格、数量和安装位置应符合设计要求。抽检数量：全数检查。检验方法：观察，检查施工记录；

2) 定位板、下支墩、隔震支座顶面的水平度，连接螺栓处、下支墩顶面中心、隔震支座顶面中心的标高均应符合设计要求。抽检数量：全数检查。检验方法：实测检查和检查隐蔽工程验收记录。

2 一般项目应符合下列规定：

1) 连接件、下支墩、隔震支座平面中心位置应符合设计规定。抽检数量：全数检查。检验方法：实测检查和检查隐蔽工程验收记录；

2) 连接板漆面完整性和橡胶保护胶完整性应符合设计规定。抽检数量：全数检查。检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

10.3.4 隔震构配件及隔离缝施工质量应符合下列规定：

1 配管、配线在穿越隔离缝处的构造应符合设计要求。设计无要求时，隔离缝处可采用柔性连接系统，使管线、线槽在隔离缝处的自由错动量不应小于现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB 51408 的有关规定。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检查；
- 2) 检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

2 当利用构件钢筋作避雷引下线时，在隔离缝处应采用柔性导线进行连接，并应对该处的隔震橡胶支座进行专门的防火处理。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检查；
- 2) 检验方法：实测检查、检查测量记录和隐蔽工程验收记录。

3 有毒、有害、易燃、易爆等介质管道穿越隔离缝的构造，应严格按设计要求进行施工。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检验；
- 2) 检验方法：观察和实测检查。

4 穿过隔震层的竖向通道，包括楼梯、电梯、管井等在隔离缝处的构造应符合设计要求。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检验；
- 2) 检验方法：观察和实测检查。

5 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、地下室坡道、车道入口、楼梯扶手等与隔离缝相邻时，其构造应符合设计要求。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量：全数检验；
- 2) 检验方法：观察和实测检查。

6 水平隔离缝、竖向隔离缝的封闭处理应符合设计要求。抽检数量和检验方法应符合下列规定：

- 1) 抽检数量: 全数检验;
- 2) 检验方法: 观察和实测检查。

7 隔震层构(配)件安装及隔离缝施工检查记录可按本标准附录 D.0.6 执行。

10.3.5 观感质量应由验收人员通过现场检查进行确认, 观感质量应符合下列规定:

- 1 隔震支座不应出现破损、锈蚀及超出本标准允许的侧向不均匀变形, 且不应出现较大水平位移。

- 2 隔震支座表面出现破损, 在不影响使用性能时, 应及时修复。当影响到使用性能时, 应及时更换。

10.3.6 隔震子分部工程验收除应符合现行有关验收标准的规定外, 尚应提交下列文件:

- 1 隔震支座及连接件供货企业的合法性证明。
- 2 隔震支座及连接件质量合格证明文件、标识、性能检测报告和复验报告。
- 3 隔震层子分部工程施工验收记录。
- 4 隐蔽工程验收记录。
- 5 隔震支座及其连接件的施工安装记录。
- 6 提供带支座编号的安装平面布置竣工图。
- 7 施工全过程中隔震支座竖向压缩变形、上下连接板水平位移差、隔震支座不均匀变形观测记录。
- 8 含上部结构与周围固定物脱开距离的检查记录。
- 9 其他相关文件和记录。

10.4 维护

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

10.4.2 隔震层应留有便于观测和维修更换隔震支座的空间，宜设置必要的照明，通风等设施。

10.4.3 隔震建筑维护应符合下列规定：

1 隔震工程竣工应提交由隔震支座和消能器生产厂家、设计单位等编写的维护使用手册。隔震建筑管理人员应编写维护管理计划书。

2 制造厂应在产品说明书中明确隔震支座的特点及使用过程中的维护规定。

3 维护检查可分为常规检查、定期检查和应急检查。

4 隔震工程除对山地建筑常规维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑特有的项目进行检验、检查。检查项目包括隔震支座、隔离缝、柔性连接。

5 常规检查宜由隔震建筑使用方或管理方人员进行检查，宜每年进行一次，检查方式可采用观察方式。

6 定期检查宜由专门技术人员进行检查，宜在竣工后的第 3 年、5 年、10 年，10 年以后每 10 年进行一次。除隔震支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其他项目均可通过观察方式进行检查。定期检查项目见表 10.4.3。

表 10.4.3 定期检查项目

		检查项目		检查方法	管理目标
隔震层、建筑物外	建筑物	周边环境	确保净空间距	目测、确认	移动范围内无障碍物

围	隔震构件管 线	周边状况	障碍物	目测、确 认	移动范围内无 障碍物
			可燃物	目测、确 认	无可燃物
			排水条件	目测、确 认	排水状况良好
			液体泄漏	目测	无异常
隔震构件	隔震支座	橡胶保护 层外观	变色	目测	无异常、无异 物
			损伤	目测	无损伤
		钢材部位 状况	锈蚀	目测	无浮锈、无锈 迹
			安装部位	目测	螺栓、铆钉无 松动
设备管线 柔性连接	设备管线	柔性连接	渗漏、更换	确认	不增加、更换
	电气线路	变形吸收 部位	增加、更换	确认	不增加、更换

7 当发生可能对隔震层相关构件及装置造成损伤的地震或火灾等灾害后，应及时进行应急检查。

10.4.4 隔震建筑应设置标识，并应标明其功能的特殊性、使用和维护的注意事项。标识内容和设置范围应符合下列规定：

1 应能描述其特殊性，并能提醒相关人员对隔震支座及隔震构造的维护，确保在地震时不影响隔震功能的发挥。

2 应醒目、简单明了，宜设置在地震时会发生相对位移且有人员活动的位置。

3 门厅入口处应标明此为隔震建筑，简单阐述隔震原理、注意事项。

4 水平隔离缝处应标明此为上部结构与下部结构完全分开的水平缝。

5 竖向隔离缝处应标明此为地震时建筑物的移

动空间，并应在其范围内设置标线或警示线。

6 标识的设置尚应符合现行相关标准的规定。

11 减震（振）工程的维护及健康监测

11.1 一般规定

11.1.1 对符合本标准 3.0.10 条，以及有特殊要求的减震（振）建筑，应在其设计文件中明确设置地震反应监测系统的要求，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（振）装置组建监测系统。

11.1.2 减震（振）建筑使用方或管理方应针对减震（振）建筑特点制定维护管理手册。

11.1.3 监测系统、监测点及设备的设置不应影响结构构件、建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备，及消能部件的正常工作。

11.1.4 对监测系统应定期进行巡视检查和系统维护，当数据异常或发生报警时，应及时对系统及结构进行检查或检测。

11.2 维护

11.2.1 在达到设计工作年限或遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响后，应对地震时保持正常使用功能减震（振）建筑进行检查并进行性能评估，且应进行减震装置抽样检验以判断是否进行修理或更换。对于使用寿命小于设计工作年限的消能器，应定期检查以判断是否进行更换。

11.2.2 减震（振）结构的地震时保持正常使用功能建筑维护应符合表 11.2.2 相关规定。

表 11.2.2 减震（振）建筑维护检查项目表

检查项目	检查内容		检查方法	维护方法
消能器	黏滞消能器	漏油、阻尼材料泄露、弯曲、变形、损伤	目测、尺量	更换消能器

	金属屈服型消能器	弯曲、损伤、变形	目测、尺量	更换消能器
	摩擦消能器	摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置松弛，消能器变形、损伤	目测、尺量	更换相关材料、压力装置，更换消能器
	调谐质量消能器	变形、损伤，零部件损坏	目测、尺量	更换相关零部件、更换消能器
	屈曲约束支撑	变形、损伤、芯材外露	目测、尺量	更换消能器
	黏弹消能器	黏弹材料老化、龟裂、变形、损伤	目测、尺量	更换消能器
	其他类型消能器	弯曲、局部变形	目测、尺量	更换消能器
	力学性能		抽样检验	力学性能满足出厂检验要求
消能器与主体结构或消能子结构连接部位	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形		目测、小锤敲击，卡尺测量	拧紧螺栓、补焊，更换销轴
支撑	弯曲、扭曲		目测、尺量	更换支撑
	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形		目测、小锤敲击，卡尺测量	拧紧螺栓、补焊，更换销轴
	支撑和连接部位被涂装的金属表面、焊缝或紧固件表面出现金属外露、锈蚀或损伤		目测	重新涂装
消能器外露金属面、摩擦面；消能器、支撑、	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；被涂装的金属表面外露、锈蚀或		目测	及时清除；重新涂装

连接件表面涂装	损伤，防腐或防火涂装出现裂纹、起皮、剥落、老化等		
消能器周围构造	限制、阻碍消能器正常工作的障碍物	目测	及时清除

11.3 建筑地震反应监测

11.3.1 建筑设计时宜留有监测系统的监测仪器和线路的位置。

11.3.2 建筑地震反应监测根据建筑分类可分为两级，Ⅰ类建筑监测等级为一级，Ⅱ类建筑监测等级为二级。

11.3.3 地震时保持正常使用功能建筑的地震监测内容可包括但不限于结构位移、加速度响应等，当设计无特殊要求时，监测项目可按表 11.3.3 选用。

表 11.3.3 地震时保持正常使用功能建筑地震反应监测项目

监测等级	监测项目						
	结构位移	加速度响应	隔震层				
			隔震部件变形	转换梁变形	支墩变形	易燃、易爆气体传输管线柔性连接段	有压管道柔性连接
一级	√	√	√	√	√	√	√
二级	√	√	√	√	√	√	√
监测等级	监测项目						
	非隔震建筑或隔震建筑的非隔震层						
	重要结构构件变形	消能器工作方向变形	屋面重要的天线及信号传输设备	重要机房	易燃、易爆气体传输管线、设备	高放射物品存储设施	剧毒、细菌、病毒存储设施
一级	√	√	√	√	√	√	√
二级	Δ	√	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

注：√为应测项目；△为宜测项目。

11.4 建筑风振加速度监测

11.4.1 建筑体型复杂、风振控制系统使用经验较小或采用风振控制后其风振加速度减振率超过 20%时，宜对台风作用下风振加速度进行实测。

11.4.2 风振加速度现场测量应选用技术成熟、耐久性好、抗干扰性强，以及便于安装、维护和更换的加速度或速度传感器，传感器应能满足量程、采样频率、分辨率、灵敏度、使用环境和寿命的要求。

11.4.3 风振加速度实测应进行结构动力特性测试，可选择环境振动法、随机激振法或稳态正弦波激振法等，通过测试结构动力输入与输出时的时程信号，获取结构的自振频率、振型、阻尼等结构动力特性参数。

11.4.4 加速度传感器的选用应满足以下要求：

1 对于基频较低的高层建筑，应选用低频动态频响较好的力平衡式或电容式加速度传感器；

2 对于自振频率较高的高层建筑，宜选用低频动态频响较好的力平衡式或电容式加速度传感器，亦可选用压电式加速度传感器。

3 风振加速度数据采集应满足同步性要求

11.4.5 加速度实测时宜同时布置环境风速监测点，且应符合下列规定：

1 宜选择三向超声风速仪。

2 量程应大于根据设计风速换算的安装位置的风速。

3 宜安装在塔顶或其他能够监测自由场风速的位置。

4 宜安装在专用钢结构支架上并保证其安全性。

11.4.6 加速度测点的布设位置应根据高层建筑动力计算结果和测试目的确定，并满足以下要求：

- 1 宜布置测点的位置:振幅最大和较大位置、各不同使用功能的最高楼层;
- 2 可合理利用结构的对称性原则，以达到减少传感器的目的;
- 3 宜避开结构振型的节点和反节点处;
- 4 做好测点的保护措施;

11.3.7 现场实测报告中应包含：

- 1 现场实测基本信息:测试时间、气象条件、测试仪器型号及精度、测点布置图:
- 2 现场实测结果:环境风速、加速度时程及均方根值、自振频率、阻尼比等。

附录 A 减隔震装置力学模型

A.1 天然橡胶隔震支座（LNR）

A.1.1 竖向受压刚度力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

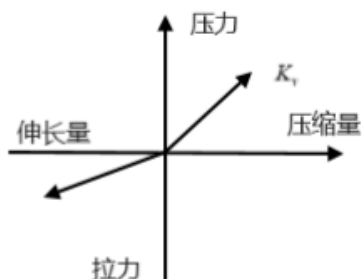


图 A.1.1 竖向受压计算模型

取与轴压应力 $(1\pm 30\%) \sigma_0$ 相应的竖向荷载(σ_0 为产品的设计轴压应力，MPa)，3 次往复加载,绘出竖向荷载与竖向位移关系曲线。取第 3 次往复加载结果,按式 A.1.1 计算竖向刚度:

$$K_v = \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2} \quad (\text{式 A.1.1})$$

式中:

K_v ——建筑隔震橡胶支座竖向刚度，KN/m；

P_1 ——平均压应力为 $1.3 \sigma_0$ 时的竖向荷载，KN；

P_2 ——平均压应力为 $0.7 \sigma_0$ 时的竖向荷载，KN；

δ_1 ——竖向荷载为 P_1 时的竖向位移，m；

δ_2 ——竖向荷载为 P_2 时的竖向位移，m。

A.1.2 竖向受拉刚度力学模型

竖向受拉力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座的竖向受拉刚度。

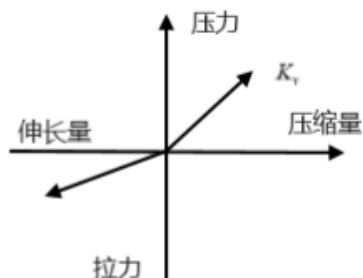


图 A.1.2 竖向受拉计算模型

对支座在剪应变为零的条件下，低速施加拉力直到试件发生破坏，绘出拉力和拉伸位移关系曲线，按下列方法求出屈服拉力和拉伸刚度：

- 通过原点和曲线上与剪切模量 G 对应的拉力作一条直线(G 为设计压应力、设计剪应变作用下的剪切模量)；
- 将上述直线水平偏移 1% 的内部橡胶厚度；
- 偏移线和试验曲线相交点对应的力即为屈服拉力；
- 10% 拉应变对应的割线刚度即为拉伸刚度；
- 破坏点对应的试件拉应力即为竖向极限拉应力。

A.1.3 水平等效刚度力学模型

水平向力学模型采用线弹性模型见图，线弹性刚度取支座的水平等效刚度。

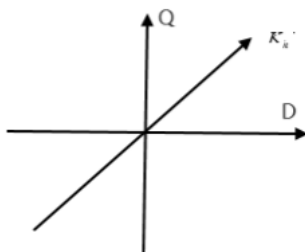


图 A.1.3 水平向计算模型

在产品的设计压应力作用下（环境温度为 23℃），进行剪应变 γ 为 100%和 250%，加载频率 f 不低于 0.02Hz，水平加载波形为正弦波的动力加载试验。以对应于正剪应变 γ 和负剪应变 $-\gamma$ 的水平位移作为最大水平正位移和负位移，连续作出 3 条滞回曲线。用第 3 条滞回曲线，按式(A.1.2)计算支座的水平等效刚度：

$$K_h = \frac{Q^+ - Q^-}{U^+ - U^-} \quad (\text{式 A.1.2})$$

式中：

K_h ——水平等效刚度，kN/m；

U^+ ——最大水平正位移，mm；

U^- ——最大水平负位移，mm；

Q^+ ——与 U^+ 相应的水平剪力，kN；

Q^- ——与 U^- 相应的水平剪力，kN。

A.1.4 水平刚度设计值

水平刚度设计值可按式 A.1.3 进行计算(环境温度为 23℃)：

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{式 A.1.3})$$

式中:

K_r ——天然橡胶支座水平刚度设计值;

G_r ——橡胶剪切模量;

A_r ——叠层橡胶横截面面积(不含橡胶层中间开孔面积);

t_r ——橡胶层总厚度。

考虑温度修正的天然橡胶支座水平刚度设计值可按式 A.1.4 进行调整:

$$K_r(t) = K_r(t_0) e^{\alpha_r k(t-t_0)} \quad (\text{式 A.1.4})$$

式中:

t_0 ——修正前温度(°C);

t ——修正后温度(°C);

α_r ——温度修正系数, 由支座相关性试验确定。

A.2 铅芯橡胶支座 (LRB)

A.2.1 竖向受压力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型, 线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

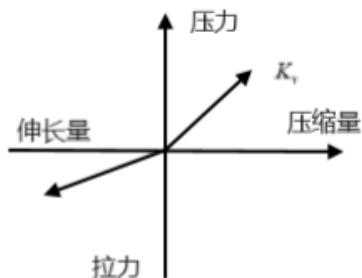


图 A.2.1 竖向受压计算模型

取与轴压应力 $(1\pm 30\%) \sigma_0$ 相应的竖向荷载(σ_0 为产品的设计轴压应力, MPa), 3 次往复加载, 绘出竖向荷载与竖向位移关系曲线, 取第 3 次往复加载结果, 按式 A.2.1 计算竖向刚度:

$$K_v = \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2} \quad (\text{式 A.2.1})$$

式中:

K_v ——建筑隔震橡胶支座竖向刚度, kN/m;

P_1 ——平均压应力为 $1.3 \sigma_0$ 时的竖向荷载, kN;

P_2 ——平均压应力为 $0.7 \sigma_0$ 时的竖向荷载, kN;

δ_1 ——竖向荷载为 P_1 时的竖向位移, m;

δ_2 ——竖向荷载为 P_2 时的竖向位移, m。

A.2.2 竖向受拉力学模型

竖向受拉力学模型采用线弹性模型, 线弹性刚度取支座弹性受拉阶段的受拉刚度

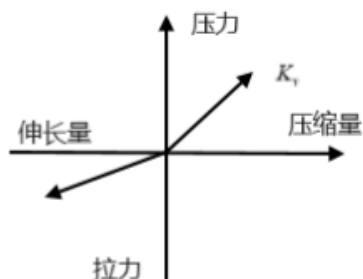


图 A.2.2 竖向受拉计算模型

对支座在剪应变为零的条件下，低速施加拉力直到试件发生破坏，绘出拉力和拉伸位移关系曲线，按下列方法求出屈服拉力和拉伸刚度：

- 通过原点和曲线上与剪切模量 G 对应的拉力作一条直线(G 为设计压应力、设计剪应变作用下的剪切模量)；
- 将上述直线水平偏移 1% 的内部橡胶厚度；
- 偏移线和试验曲线相交点对应的力即为屈服拉力；
- 10% 拉应变对应的割线刚度即为拉伸刚度；
- 破坏点对应的试件拉应力即为竖向极限拉应力。

A.2.3 水平向力学模型

水平向力学模型采用双线性模型见图，恢复力曲线的大小和形状由屈服力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度确定。

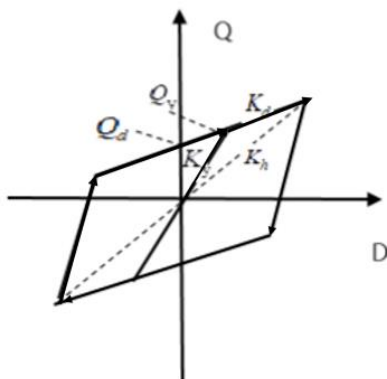


图 A.2.3 水平向计算模型

Q_d ——铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值(N)

K_d ——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值(N/mm)；

A.2.3.1 屈服前水平刚度

屈服前水平刚度设计值可按式 A.2.2 确定：

$$K_0 = \alpha K_y \quad (\text{式 A.2.2})$$

式中:

K_0 ——铅芯橡胶支座屈服前水平刚度设计值(N/mm);

α ——屈服前水平刚度设计值与屈服后水平刚度设计值之比。

A.2.3.2 屈服后水平刚度设计值

环境温度为 23℃时的屈服后水平刚度设计值可按式 A.2.3 确定:

$$K_y = C_{Ky} (K_r + K_p)$$

$$K_p = G_p \frac{A_p}{t_r} \quad (\text{式 A.2.3})$$

式中:

K_y ——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值(N/mm);

K_p ——由铅芯部分提供的水平刚度(N/mm);

K_r ——天然橡胶支座水平刚度设计值(N/mm), 参考 (式 A.2.4) ;

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{式 A.2.4})$$

式中:

K_r ——天然橡胶支座水平刚度设计值;

G_r ——橡胶剪切模量;

A_r ——叠层橡胶横截面面积(不含橡胶层中间开孔面积);

t_r ——橡胶层总厚度;

A_p ——铅芯横截面积(mm²);

G_p ——铅芯剪切模量(N/mm²);

C_{Ky} ——屈服后水平刚度调整系数,可由支座试验确定。考虑温度修正的铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值可按(式 A.2.5)进行调整。

$$K_r(t) = K_r(t_0)e^{\alpha_t k(t-t_0)} \quad (\text{式 A.2.5})$$

式中:

t_0 ——修正前温度(°C);

t ——修正后温度(°C);

α_t ——温度修正系数,由支座相关性试验确定。

A.2.4 水平屈服剪力设计值

环境温度为 23°C时的水平屈服剪力设计值可按式 A.2.6 确定:

$$Q_y = C_{Qy} \sigma_p A_p \quad (\text{式 A.2.6})$$

式中:

Q_y ——铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值(N);

σ_p ——铅芯剪切屈服应力(MPa);

C_{Qy} ——水平屈服剪力调整系数,可由支座试验确定。

A_p ——铅芯横截面积(mm²);

考虑温度修正的铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值可按式

A.2.7 进行调整

$$Q_y(t) = Q_y(t_0)e^{\alpha_{\text{Q}}(t-t_0)} \quad (\text{式 A.2.7})$$

式中: α_{Q} ——温度修正系数, 由支座相关试验确定。

A.2.5 铅芯橡胶支座等效水平刚度和等效阻尼比

铅芯橡胶支座等效水平刚度和等效阻尼比可按式 A.2.8 确定:

$$K_{\text{eq}} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} + K_y$$

$$\zeta_{\text{eq}} = \frac{2}{\pi} \frac{Q_y \left[\gamma_h t_r - \frac{Q_y}{(\beta-1)K_y} \right]}{K_{\text{eq}} (\gamma_h t_r)^2} \quad (\text{式 A.2.8})$$

式中: K_{eq} ——铅芯橡胶支座等效水平刚度(N/mm);

ζ_{eq} ——铅芯橡胶支座等效阻尼比;

γ_h ——叠层橡胶支座水平剪切应变, 其数值为叠层橡胶支座水平位移与橡胶层总厚度的比值。

t_r ——橡胶层总厚度。

A.3 高阻尼橡胶支座 (HDR)

A.3.1 竖向受压力学模型

竖向受压力学模型采用线弹性模型, 线弹性刚度取支座的竖向受压刚度。

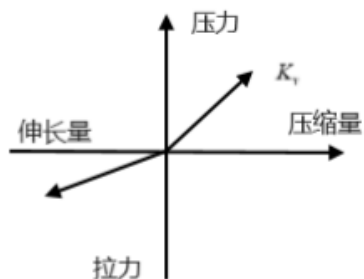


图 A.3.1 竖向受压计算模型

A.3.2 竖向受拉力学模型

竖向受拉力学模型采用线弹性模型，线弹性刚度取支座弹性受拉的刚度

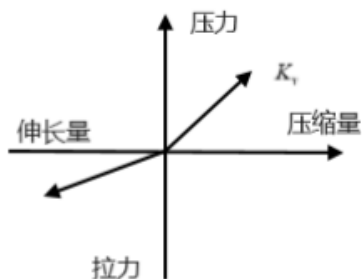


图 A.3.2 竖向受拉计算模型

A.3.3 水平向力学模型

水平向力学模型采用修正双线性模型，恢复力曲线的大小和形状由屈服力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度确定。屈服力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度随支座剪应变进行修正。

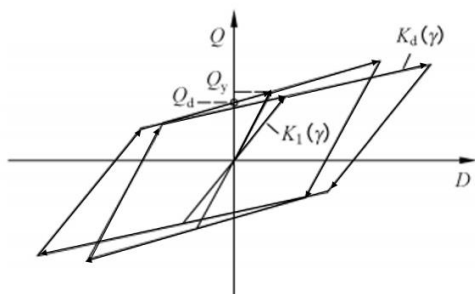


图 A.3.3 水平向计算模型

Q_d ——铅芯橡胶支座水平屈服剪力设计值(N);

K_d ——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值(N/mm);

A.3.3.1 屈服前水平刚度

屈服前水平刚度设计值可按式 A.3.1 确定:

$$K_0 = \alpha K_y \quad (\text{式 A.3.1})$$

式中:

K_0 ——铅芯橡胶支座屈服前水平刚度设计值(N/mm);

α ——屈服前水平刚度设计值与屈服后水平刚度设计值之比。

A.3.3.2 屈服后水平刚度设计值

环境温度为 23℃时的屈服后水平刚度设计值可按式 A.3.2 确定:

$$K_y = C_{Ky} (K_r + K_p)$$

$$K_p = G_p \frac{A_p}{t_r} \quad (\text{式 A.3.2})$$

式中:

K_y ——铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值(N/mm);

K_p ——由铅芯部分提供的水平刚度(N/mm);

K_r ——天然橡胶支座水平刚度设计值(N/mm), 参考(式 A.3.3);

$$K_r = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{式 A.3.3})$$

式中:

K_r ——天然橡胶支座水平刚度设计值;

G_r ——橡胶剪切模量;

A_r ——叠层橡胶横截面面积(不含橡胶层中间开孔面积);

t_r ——橡胶层总厚度;

A_p ——铅芯横截面积(mm²);

G_p ——铅芯剪切模量(N/mm²);

C_{Ky} ——屈服后水平刚度调整系数, 可由支座试验确定。考虑温度修正的铅芯橡胶支座屈服后水平刚度设计值可按(式 A.3.4)进行调整。

$$K_r(t) = K_r(t_0) e^{\alpha_k(t-t_0)} \quad (\text{式 A.3.4})$$

式中:

t_0 ——修正前温度(°C);

t ——修正后温度(°C);

α_t ——温度修正系数, 由支座相关性试验确定。

A.4 弹性滑板支座(ESB)

弹性滑板支座滞回模型其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算：

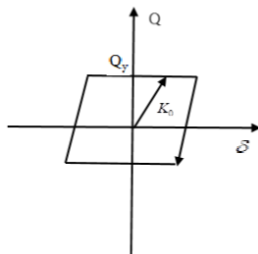


图 A.4.1 弹性滑板支座滞回模型

A.4.1 屈服前水平刚度

环境温度为 23℃时的屈服前水平刚度设计值可按下式确定：

$$K_0 = G_r \frac{A_r}{t_r} \quad (\text{式 A.4.1})$$

式中：

K_0 ——弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值(N/mm)。

考虑温度修正的弹性滑板支座屈服前水平刚度设计值可按（式 A.4.2）行调整。

$$K_r(t) = K_r(t_0) e^{\alpha_t k(t-t_0)} \quad (\text{式 A.4.2})$$

式中：

t_0 ——修正前温度(℃)；

t ——修正后温度(℃)；

α_t ——温度修正系数，由支座相关性试验确定。

A.4.2 水平屈服力设计值

水平屈服力设计值可按式 A.4.3 确定：

$$Q_y = \mu_s W \quad (\text{式 A.4.3})$$

式中:

Q_y ——弹性滑板支座水平屈服力设计值(KN);

μ_s ——滑移面摩擦系数,可由支座试验确定;

W ——支座承受的竖向荷载(KN)。

A.4.3 等效水平刚度

弹性滑板支座等效水平刚度可式 A.4.4 确定:

$$K_{eq} = \frac{Q_y}{\gamma_h t_r} \quad (\text{式 A.4.4})$$

式中: K_{eq} ——弹性滑板支座等效水平刚度(N/mm)。

A.5 摩擦摆隔震支座 (FPS)

摩擦摆隔震支座滞回模型如图,其主要力学性能参数设计值应按下列规定计算:

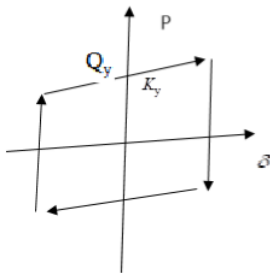


图 A.5.1 摩擦摆隔震支座滞回模型

A.5.1 屈服后水平刚度设计值

屈服后水平刚度设计值可按式 A.5.1 确定:

$$K_y = \frac{W}{R_s} \quad (\text{式 A.5.1})$$

式中: K_y ——摩擦摆隔震支座屈服后水平刚度设计值(N/mm);

R_s ——摩擦摆隔震支座等效曲率半径(mm)。

A.5.2 水平屈服力设计值

水平屈服力设计值可按式 A.5.2 确定:

$$Q_y = \mu W \quad (\text{式 A.5.2})$$

式中: Q_y ——摩擦摆隔震支座水平屈服力设计值(N);

μ ——摩擦面摩擦系数,可由支座试验确定。

A.6 屈曲约束支撑 (BRB)

屈曲约束支撑是由核心单元、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。采用双线性模型进行模拟。

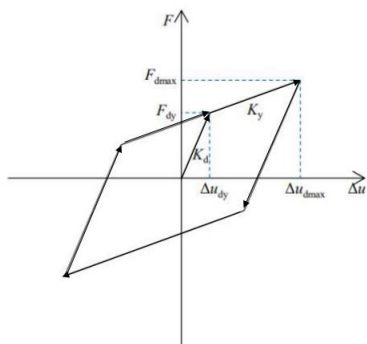


图 A.6.1 屈曲约束支撑计算模型

消能器的弹性刚度:

$$K_d = F_{dy} / \Delta u_{dy} \quad (\text{式 A.6.1})$$

消能器屈服后刚度:

$$K_y = \frac{(F_{d \max} - F_{dy})}{(\Delta u_{d \max} - \Delta u_{dy})} \quad (\text{式 A.6.2})$$

A.6.2)

式中:

F_{dy} ——消能器的设计屈服承载力;

Δu_{dy} ——消能器的设计屈服位移;

$\Delta u_{d \max}$ ——消能器的设计位移;

$F_{d \max}$ ——消能器的最大承载力。

消能器附加给结构的刚度与消能器的工作位移有关,当消能器达到工作位移时,可取其割线刚度作为消能器的等效附加刚度 K_{eff} 。

A.7 金属屈服型消能器 (MYD)

金属屈服型消能器是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。采用双线性模型来模拟, 可支承 6 个自由度方向定义。

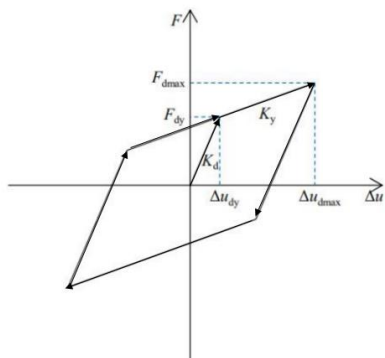


图 A.7.1 金属屈服型消能器计算模型

消能器的弹性刚度:

$$K_d = F_{dy} / \Delta u_{dy} \quad (\text{式 A.7.1})$$

消能器屈服后刚度:

$$K_y = (F_{d \max} - F_{dy}) / (\Delta u_{d \max} - \Delta u_{dy}) \quad (\text{式 A.7.2})$$

式中:

F_{dy} ——消能器的设计屈服承载力;

Δu_{dy} ——消能器的设计屈服位移;

$\Delta u_{d \max}$ ——消能器的设计位移;

$F_{d \max}$ ——消能器的最大承载力。

消能器附加给结构的刚度与消能器的工作位移有关，当消能器达到工作位移时，可取其割线刚度作为消能器的等效附加刚度 K_{eff} 。

A.8 摩擦消能器（FD）

摩擦消能器是由钢元件或构件、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。

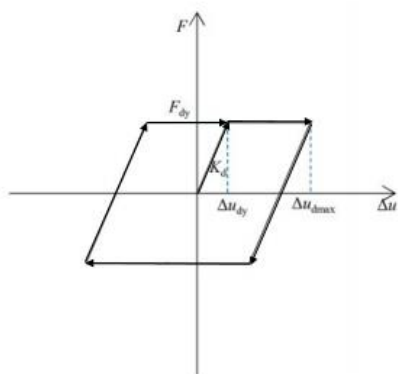


图 A.8.1 摩擦消能器计算模型

摩擦消能器的弹性刚度：

$$K_d = \frac{F_{dy}}{\Delta u_{dy}} \quad (\text{式 A.8.1})$$

式中：

F_{dy} —— 摩擦消能器的起滑力；

Δu_{dy} —— 摩擦消能器的起滑位移；

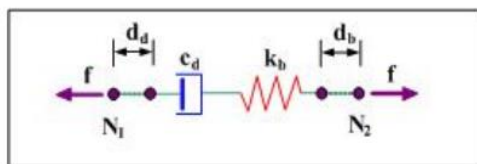
$\Delta u_{d \max}$ —— 摩擦消能器的设计位移；

K_d ——消能器的弹性刚度。

A.9 粘滞消能器（VFD）

粘滞消能器是由缸体、活塞、粘滞材料等部分组成，利用粘滞材料运动时产生粘滞阻尼耗散能量的减震装置。

粘滞消能器默认用 Maxwell 模型来进行模拟。Maxwell 模型为线性弹簧与阻尼器串联的模型，其力—变形关系式如下：



Maxwell模型

图 A.9.1 粘滞消能器计算模型

$$f = c_d \operatorname{sign} \left(\dot{d} \right) \left| \frac{d}{v_0} \right|^s = k_b d_b \quad (\text{式 A.9.1})$$

$$d = d_d + d_b \quad (\text{式 A.9.2})$$

式中：

f ——粘滞阻尼器的单元内力；

c_d ——消能器阻尼。一般厂家提供的消能器阻尼（Cd）的单位为（力/速度）。部分厂家提供的参数为阻尼系数 C，此时需参考以下换算：

$$C_d = \frac{C}{(1/v_0)^\alpha} \quad (\text{式 A.9.3})$$

v_0 ——参考速度，一般输入 1。阻尼系数 C 的单位为 $N/m/sec$ ，速度项用 v_0 归一化后单位为 N 、 $tonf$ 。因此参考速度一般输入 1。

d ——单元两点之间的变形；

$\dot{d}$ ——粘滞阻尼器变形的变化率；

d_d ——粘滞阻尼器的变形

$\dot{d}_d$ ——粘滞阻尼器变形的变化率；

s ——阻尼指数。决定粘弹性消能器的非线性特性的常数(粘弹性阻尼力作用方向与位移速度的方向相反，并为速度绝对值的 s 方成正比。)非线性阻尼指数一般可取 $0.35 \sim 1.0$ 。

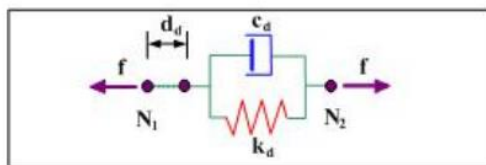
k_b ——将消能器与结构连接起来的弹簧的刚度。

d_b ——串联弹簧的变形。

A.10 粘弹性消能器 (VED)

由粘弹性材料和约束钢板或圆 (方形或矩形) 钢筒等组成，利用粘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，属于速度相关型消能器。

粘弹性消能器默认用 Kelvin 模型来进行模拟。Kelvin 模型为线性弹簧与阻尼器并联的模型，其力—变形关系式如下，式中右侧每项的值都是已知值，所以可直接解方程求出作用在消能器上的力。



 Kelvin(Voigt) 模型

图 A.10.1 粘弹性消能器计算模型

$$f = k_d d + c_d \operatorname{sign}\left(\dot{d}\right) \left| \frac{d}{v_0} \right|^s \quad (\text{式 A.10.1})$$

$$d = d_d \quad (\text{式 A.10.2})$$

式中：

f ——粘滞阻尼器的单元内力；

k_d ——粘弹性阻尼器的刚度；

d ——单元两点之间的变形；

$\dot{d}$ ——粘滞阻尼器变形的变化率；

d_d ——粘滞阻尼器的变形

$\dot{d}_d$ ——粘滞阻尼器变形的变化率；

c_d ——消能器阻尼。一般厂家提供的消能器阻尼（Cd）的单位为（力/速度）。部分厂家提供的参数为阻尼系数 C，此时需参考以下换算：

$$C_d = \frac{C}{(1/v_0)^\alpha} \quad (\text{式 A.10.3})$$

v_0 ——参考速度，一般输入 1。阻尼系数 C 的单位为 $N/m/sec$ ，速度项用 v_0 归一化后单位为 N 、 $tonf$ 。因此参考速度一般输入 1。
 s ——阻尼指数。决定粘弹性消能器的非线性特性的常数(粘弹性阻尼力作用方向与位移速度的方向相反，并为速度绝对值的 s 方成正比。)非线性阻尼指数一般可取 $0.35 \sim 1.0$ 。

A.11 高阻尼橡胶消能器 (HDRD)

高阻尼橡胶消能器由高阻尼橡胶材料和约束钢板或圆(方形或矩形)钢筒等组成，利用高阻尼橡胶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，属于位移相关型消能

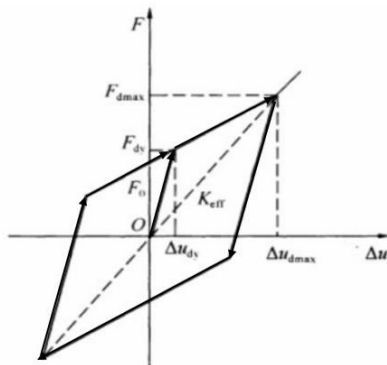


图 A.11.1 高阻尼橡胶消能器计算模型

消能器的弹性刚度: $K_d = F_{dy} / \Delta u_{dy}$ (式 A.11.1)

消能器屈服后刚度: $K_y = \frac{(F_{d \max} - F_{dy})}{(\Delta u_{d \max} - \Delta u_{dy})}$ (式 A.11.2)

式中:

F_{dy} ——消能器的设计屈服承载力；

$\square u_{dy}$ ——消能器的设计屈服位移；

$\square u_{d\max}$ ——消能器的设计位移；

$F_{d\max}$ ——消能器的最大承载力。

消能器附加给结构的刚度与消能器的工作位移有关，当消能器达到工作位移时，可取其割线刚度作为消能器的等效附加刚度 K_{eff} 。

附录 B 材料进场验收记录

B.0.1 消能器及相关材料、构配件进场验收应按表 B.0.1 进行记录。

表 B.0.1 消能器材料、构配件进场验收记录

消能器材料、构配件进场检验记录					资料编号		
工程名称					检验日期	年 月 日	
序号	名称	规格型号	进场数量	生产厂家	检验项目	检验结果	备注
				合格证号			
1							
2							
3							
检验结论：							
签字栏	施工单位		技术质检员		专业工长	检验员	
	监理（建设单位）				专业工程师		

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

表 B.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±3.0 mm			
3	通用	截面有效尺寸	产品设计值±2.0 mm			
4	支撑型或支撑	支撑长度	产品设计值±3.0 mm			
5	支撑型或支撑	支撑侧弯矢量	L/1000，且≤10mm（L—支撑长度）			
6	支撑型或支撑	支撑扭曲（mm）	h（d）/250，且≤5mm（h—支撑高度，d—支撑外径）			
结论						
施工单位				技术负责人	专业质检员	记录人

附录 D 材料进场和隔震施工质量验收记录

表 D.0.1 材料、构配件进场验收记录

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		

表 D.0.2 隔震支座尺寸偏差检查记录

隔震支座尺寸偏差检查记录				资料编号													
工程名称																	
规格型号				供货厂家													
进场数量				检查数量				进场日期									
执行标准																	
序号	检验项目	质量要求				检查记录										备注	
1	平面尺寸 (mm)	D' , a' 和 b'		设计值的±1%, 且不大于 ±5.0mm													
2	总高度 (mm)	设计值±1.5%且不大于±6															
3	侧表面垂直度	≤支座总高度 1/100															
4	支座产品水平偏差 (mm)	≤3															
5	平整度 (mm)	直径或短边边长不大于1200mm时, 取直径或测量长度的 1/400 和 3mm 的较小值; 直径或短边边长 1500mm 时, 取直径或测量长度的 1/300; 直径或短边边长介于 1200mm 和 1500mm 之间, 可内插															
结论																	
施工 单位				项目技术负责人			专业质检员			专业工长							

监理（建设）单位		专业监理工程师	
----------	--	---------	--

表 D.0.3 隔震橡胶支座连接件安装记录

隔震支座安装记录						资料编号					
工程名称						施工图号					
供货厂家						安装日期					
执行标准											
序 号	轴线 部位	支 座 编 号	下支墩（柱）顶面						多 支 座 顶 面 高 差 （5mm）	螺 栓 是 否 齐 全 紧 紧	
	支 座 型 号		设计 标 高 （m）	实 测 标 高 （±5mm）	实 测 平 均 值 （m）	水 平 度 （8‰）		中 心 平 面 位 置 （±5mm）			
						纵 向	横 向	纵 向			横 向
1											
2											
施 工 单 位						技 术 负 责 人		专 业 质 检 员		施 测 人	
监 理 （ 建 设 ） 单 位						专 业 监 理 工 程 师					

表 D.0.4 隔震橡胶支座安装记录

隔震支座安装记录					资料编号				
工程名称					施工图号				
供货厂家					安装日期				
执行标准									
序号	轴线部位	支 座	支座顶面					多支 座顶 面高 差	螺栓 是否 齐全
			设计	实测	实测	水平度	中心平面位		

	支 座 型 号	编 号	标 高 (m)	标 高 (±5mm)	平 均 值 (m)	(8‰)		置(±5mm)		(5mm)	拧 紧
						纵 向	横 向	纵 向	横 向		
1											
2											
施 工 单 位						技 术 负 责 人		专 业 质 检 员		施 测 人	
监 理 (建 设) 单 位						专 业 监 理 工 程 师					

表 D.0.5 隔震支座安装工程检验批质量验收记录

单位工程				检验部位												
施工单位				项目经理												建设 监理 单位 验收 意见
执行标准																
设计要求或施工质量验收规范规定				施工单位检查记录												
主控项目	1	支座型号、数量、安装位置应符合设计要求														
	2	水平度	下支墩（柱）顶面水平度误差不应大于 3‰													
			隔震支座安装前，下支墩（柱）顶面水平度与设计偏差不宜大于 3‰													
			隔震支座安装后，支座顶面水平度与设计偏差不宜大于 8‰													
	3	标高	预埋连接螺栓处的顶面标高与设计标高偏差不大于 5mm													
			隔震支座安装前，下支墩（柱）顶面中心标高偏差应符合设计要求													
			隔震支座安装后，支座顶面中心标高偏差应符合设计要求													
一般项目	1	平面中心位置	连接件平面中心位置应符合设计要求													
			隔震支座安装前，下支墩（柱）平面													

			中心位置应符合设计要求		
			隔震支座安装后，隔震橡胶支座平面中心位置应符合设计要求		
	2	连接板漆面完整			
	3	隔震橡胶支座橡胶保护胶完整			
主控项目： ；一般项目： ；共抽查 点，合格 点，合格率为 %					
施工单位检查结果	施工班组长： 专业施工员： 专职质检员： 年 月 日			监 理（建设）单位 验收结论	专业监理工程师 （建设单位项目 专业技术负责人）： 年 月 日

表 D.0.6 隔震构造措施施工检验批质量验收记录

单位工程				检验部位		施工单位 检查 记录	建设 监理 单位 验收 意见
施工单位				项目经理			
执行标准							
设计要求或施工质量验收规范规定							
主控 项	1	配管、配 线穿越隔 离缝时	构造应符合设计要求。设计无要求时，隔离 缝处可采用挠曲或柔性接头等构造措施管 线、线槽在隔离缝处的自由错动量不应小于				

附录 E 消能器标准化产品规格及力学性能参数

表 E.0.1 屈曲约束支撑

序号	屈服力 (kN)	型号规格	屈服前刚度 (kN/m)	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×500×3500	$88.6 \leq K_y \leq 119.8$	$4.1 \leq D_y \leq 5.5$	0.035	$5000 \leq L \leq 6000$	3500	$15.4 \leq U \leq 26.4$	LY160 或 Q225
2		BRB-C×500×4000	$75.9 \leq K_y \leq 102.7$	$4.8 \leq D_y \leq 6.4$		$5500 \leq L \leq 6500$	4000	$17.9 \leq U \leq 30.8$	
3		BRB-C×500×4500	$67.5 \leq K_y \leq 91.3$	$5.4 \leq D_y \leq 7.2$		$6000 \leq L \leq 7000$	4500	$20.2 \leq U \leq 34.7$	
4		BRB-C×500×5000	$62.5 \leq K_y \leq 84.5$	$5.8 \leq D_y \leq 7.8$		$6500 \leq L \leq 7500$	5000	$21.8 \leq U \leq 37.4$	
5		BRB-C×500×5500	$55.9 \leq K_y \leq 75.7$	$6.5 \leq D_y \leq 8.7$		$7000 \leq L \leq 8000$	5500	$24.3 \leq U \leq 41.8$	
6		BRB-C×500×6000	$52.4 \leq K_y \leq 71$	$6.9 \leq D_y \leq 9.3$		$7500 \leq L \leq 8500$	6000	$25.9 \leq U \leq 44.6$	
7	750	BRB-C×750×3500	$135.7 \leq K_y \leq 183.5$	$4 \leq D_y \leq 5.4$	0.035	$5000 \leq L \leq 6000$	3500	$15 \leq U \leq 25.9$	LY160 或 Q225
8		BRB-C×750×4000	$115.9 \leq K_y \leq 156.9$	$4.7 \leq D_y \leq 6.3$		$5500 \leq L \leq 6500$	4000	$17.6 \leq U \leq 30$	

		00					3	
9		BRB- C×750×45 00	102.9≤K y≤139.2	5.3≤D y≤7.1		6000≤L ≤7000	45 00	19.8≤ U≤34. 1
10		BRB- C×750×50 00	92.4≤Ky ≤125	5.9≤D y≤7.9		6500≤L ≤7500	50 00	22.1≤ U≤38
11		BRB- C×750×55 00	83.9≤Ky ≤113.5	6.5≤D y≤8.7		7000≤L ≤8000	55 00	24.3≤ U≤41. 8
12		BRB- C×750×60 00	78.7≤Ky ≤106.5	6.9≤D y≤9.3		7500≤L ≤8500	60 00	25.9≤ U≤44. 6
13		BRB- C×1000×3 500	180.9≤K y≤244.7	4≤Dy ≤5.4		5000≤L ≤6000	35 00	15≤U≤ 25.9
14		BRB- C×1000×4 000	154.5≤K y≤209.1	4.7≤D y≤6.3		5500≤L ≤6500	40 00	17.6≤ U≤30. 3
15	10	BRB- C×1000×4 500	134.9≤K y≤182.5	5.4≤D y≤7.2	0.0	6000≤L ≤7000	45 00	20.2≤ U≤34. 7
16	00	BRB- C×1000×5 000	126.9≤K y≤171.7	5.7≤D y≤7.7	35	6500≤L ≤7500	50 00	21.4≤ U≤36. 9
17		BRB- C×1000×5 500	114.8≤K y≤155.4	6.3≤D y≤8.5		7000≤L ≤8000	55 00	23.7≤ U≤40. 7
18		BRB- C×1000×6 000	103.7≤K y≤140.3	7≤Dy ≤9.4		7500≤L ≤8500	60 00	26.2≤ U≤45. 1
19	15 00	BRB- C×1500×3 500	265.6≤K y≤359.4	4.1≤D y≤5.5	0.0 35	5000≤L ≤6000	35 00	15.4≤ U≤26. 4
								LY160 或 Q225
								LY160 或 Q225

20		BRB- C×1500×4 000	231.8≤K y≤313.6	4.7≤D y≤6.3		5500≤L ≤6500	40 00	17.6≤ U≤30. 3	
21		BRB- C×1500×4 500	202.4≤K y≤273.8	5.4≤D y≤7.2		6000≤L ≤7000	45 00	20.2≤ U≤34. 7	
22		BRB- C×1500×5 000	190.3≤K y≤257.5	5.7≤D y≤7.7		6500≤L ≤7500	50 00	21.4≤ U≤36. 9	
23		BRB- C×1500×5 500	167.8≤K y≤227	6.5≤D y≤8.7		7000≤L ≤8000	55 00	24.3≤ U≤41. 8	
24		BRB- C×1500×6 000	153.6≤K y≤207.8	7.1≤D y≤9.5		7500≤L ≤8500	60 00	26.6≤ U≤45. 7	
25		BRB- C×2000×3 500	354.2≤K y≤479.2	4.1≤D y≤5.5		5000≤L ≤6000	35 00	15.4≤ U≤26. 4	
26		BRB- C×2000×4 000	309.1≤K y≤418.1	4.7≤D y≤6.3		5500≤L ≤6500	40 00	17.6≤ U≤30. 3	
27		BRB- C×2000×4 500	274.2≤K y≤371	5.3≤D y≤7.1		6000≤L ≤7000	45 00	19.8≤ U≤34. 1	
28	20 00	BRB- C×2000×5 000	250≤Ky≤ 338.2	5.8≤D y≤7.8	0.0 35	6500≤L ≤7500	50 00	21.8≤ U≤37. 4	LY160 或 Q225
29		BRB- C×2000×5 500	229.8≤K y≤310.8	6.3≤D y≤8.5		7000≤L ≤8000	55 00	23.7≤ U≤40. 7	
30		BRB- C×2000×6 000	204.9≤K y≤277.2	7.1≤D y≤9.5		7500≤L ≤8500	60 00	26.6≤ U≤45. 7	
31	25	BRB-	442.7≤K	4.1≤D	0.0	5000≤L	35	15.4≤	LY160

T/GDSX XX-202X

	00	C×2500×3 500	$y \leq 598.9$	$y \leq 5.5$	35	≤ 6000	00	$U \leq 26.4$	或 Q225
32		BRB- C×2500×4 000	$386.3 \leq K$ $y \leq 522.7$	$4.7 \leq D$ $y \leq 6.3$		$5500 \leq L$ ≤ 6500	40 00	$17.6 \leq U \leq 30.3$	
33		BRB- C×2500×4 500	$342.7 \leq K$ $y \leq 463.7$	$5.3 \leq D$ $y \leq 7.1$		$6000 \leq L$ ≤ 7000	45 00	$19.8 \leq U \leq 34.1$	
34		BRB- C×2500×5 000	$312.5 \leq K$ $y \leq 422.7$	$5.8 \leq D$ $y \leq 7.8$		$6500 \leq L$ ≤ 7500	50 00	$21.8 \leq U \leq 37.4$	
35		BRB- C×2500×5 500	$283.3 \leq K$ $y \leq 383.3$	$6.4 \leq D$ $y \leq 8.6$		$7000 \leq L$ ≤ 8000	55 00	$24 \leq U \leq 41.3$	
36		BRB- C×2500×6 000	$259.2 \leq K$ $y \leq 350.6$	$7 \leq Dy$ ≤ 9.4		$7500 \leq L$ ≤ 8500	60 00	$26.2 \leq U \leq 45.1$	
37	30 00	BRB- C×3000×3 500	$531.3 \leq K$ $y \leq 718.8$	$4.1 \leq D$ $y \leq 5.5$	0.0 35	$5000 \leq L$ ≤ 6000	35 00	$15.4 \leq U \leq 26.4$	LY160 或 Q225
38		BRB- C×3000×4 000	$463.7 \leq K$ $y \leq 627.3$	$4.7 \leq D$ $y \leq 6.3$		$5500 \leq L$ ≤ 6500	40 00	$17.6 \leq U \leq 30.3$	
39		BRB- C×3000×4 500	$411.3 \leq K$ $y \leq 556.5$	$5.3 \leq D$ $y \leq 7.1$		$6000 \leq L$ ≤ 7000	45 00	$19.8 \leq U \leq 34.1$	
40		BRB- C×3000×5 000	$375 \leq Ky \leq 507.4$	$5.8 \leq D$ $y \leq 7.8$		$6500 \leq L$ ≤ 7500	50 00	$21.8 \leq U \leq 37.4$	
41		BRB- C×3000×5 500	$340 \leq Ky \leq 460$	$6.4 \leq D$ $y \leq 8.6$		$7000 \leq L$ ≤ 8000	55 00	$24 \leq U \leq 41.3$	
42		BRB- C×3000×6	$311 \leq Ky \leq 420.8$	$7 \leq Dy$ ≤ 9.4		$7500 \leq L$ ≤ 8500	60 00	$26.2 \leq U \leq 45.1$	

		000						1	
--	--	-----	--	--	--	--	--	---	--

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

表 E.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
7	MYD-S×300×1.0	300	300.0	1.0	0.025	U≤22	LY225
8					0.035	22<U≤30	LY160
9					0.050	30<U	LY100
10	MYD-S×300×1.5		200.0	1.5	0.025	U≤30	LY225
11					0.035	30<U≤40	LY160
12					0.050	40<U	LY100
13	MYD-S×400×1.0	400	400.0	1.0	0.025	U≤22	LY225
14					0.035	22<U≤30	LY160
15					0.050	30<U	LY100
16	MYD-S×400×1.5		266.7	1.5	0.025	U≤30	LY225
17					0.035	30<U≤40	LY160
18					0.050	40<U	LY100
19	MYD-S×600×1.0	600	600.0	1.0	0.025	U≤25	LY225
20					0.035	25<U≤35	LY160
21					0.050	35<U	LY100

22	MYD-S×600×1.5		400.0	1.5	0.025	U≤35	LY225
23					0.035	35<U≤40	LY160
24					0.050	40<U	LY100
25	MYD-S×800×1.0	800	800.0	1.0	0.025	U≤25	LY225
26					0.035	25<U≤35	LY160
27					0.050	35<U	LY100
28	MYD-S×800×1.5	800	533.3	1.5	0.025	U≤35	LY225
29					0.035	35<U≤40	LY160
30					0.050	40<U	LY100
32					0.035	25<U≤35	LY160
33					0.050	35<U	LY100
34	MYD-S×1000×1.5	1000	666.7	1.5	0.025	U≤35	LY225
35					0.035	35<U≤40	LY160
36					0.050	40<U	LY100
38					0.035	25<U≤35	LY160
39					0.050	35<U	LY100
40	MYD-S×1200×1.5	1200	800.0	1.5	0.025	U≤35	LY225
41					0.035	35<U≤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，200/1.0 分别表示屈服承载力/屈服位移。

表 E.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-	0.5	200	400	-	-	-	-

	200×0.5							
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

本规范用词说明

1 为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，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

2 规范中指定按其他有关标准、规范的规定执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”