

青海省工程建设地方标准

DB

DB63/T 2425-2025

建筑工程减隔震应用技术规程

2025-04-18发布

2025-05-18实施

青海省住房和城乡建设厅
青海省市场监督管理局

发布

青海省工程建设地方标准
建筑工程减隔震应用技术规程
DB63/T 2425-2025

批准部门：青海省住房和城乡建设厅
青海省市场监督管理局
主编单位：中国城市建设研究院有限公司
实施日期：2025年5月18日

青海省地方标准公告

2025年第2号
(总第462号)

关于批准发布《民用建筑外墙外保温系统检验标准》等六项青海省工程建设地方标准的公告

青海省住房和城乡建设厅、青海省市场监督管理局批准《民用建筑外墙外保温系统检验标准》《房屋建筑和市政工程全过程工程咨询服务标准》《保障性住房建设管理导则》《农牧区生活污水处理工程建设导则》《建筑工程减隔震应用技术规程》《城镇洪涝风险评估与建设技术导则》六项青海省工程建设地方标准，现予以公布。

附件：批准发布青海省工程建设地方标准目录

2025年4月18日

附件：

批准发布青海省工程建设地方标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准号	实施日期	归口部门
1	DB63/T 1684 -2025	民用建筑外墙外保温系统检验标准	DB63/T 1684 -2018		
2	DB63/T 2423 -2025	房屋建筑和市政工程全过程工程咨询服务标准	—		
3	DB63/T 2424 -2025	保障性住房建设管理导则	—		
4	DB63/T 1685 -2025	农牧区生活污水处理工程建设导则	DB63/T 1685 -2018	2025年5月18日	省住房城乡建设厅
5	DB63/T 2425 -2025	建筑工程减隔震应用技术规程	—		
6	DB63/T 2426 -2025	城镇洪涝风险评估与建设技术导则	—		

前 言

为全面贯彻落实《建设工程抗震管理条例》，根据国内和青海省减隔震最新技术发展和工程实际应用情况，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本规程。

本标准的主要技术内容包括：1总则、2术语和符号、3基本规定、4地震作用和作用效应计算、5地震时正常使用建筑的性能目标及设计、6消能减震结构设计、7消能部件的连接与构造、8消能器的技术性能、9消能部件的检验、10消能部件的施工、验收和维护、11隔震设计、12隔震支座的技术性能、13建筑与机电隔震构造、14隔震支座的检验、15隔震部件的施工、验收和维护。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由青海省住房和城乡建设厅负责管理，由中国城市建设研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国城市建设研究院有限公司(地址：北京市西城区德胜门外大街36号，邮编：100120)。

主编单位：中国城市建设研究院有限公司

参编单位：青海省建筑建材科学研究院有限公司

创鑫工程咨询股份有限公司

苏州海德新材料科技股份有限公司

北京羿射旭科技有限公司

主要起草人员：徐宇宾 郑子范 马豪平 王冬青 王 勇 王海
强 孙硕辉 严延青 李怀国 李建华 李俊麒
李美峰 杨 俊 杨 林 吴志峰 何 沐 张立成
张 莉 张晨晖 张 昭 陈 锋 陈 彤 柴园园
唐占和 高耀军 赵书全 赵延娟

主要审查人员：潘 鹏 罗升彩 胡天兵 杨京堂 黄 诚
潘洪涛 冯 艳 吴建全 葛积洪

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	6
3 基本规定.....	10
3.1 一般规定.....	10
3.2 减隔震装置要求.....	11
3.3 减隔震部件材料与施工.....	12
3.4 耐久性及防火设计.....	13
3.5 场地与地基.....	13
3.6 试验与观测.....	14
4 地震作用和作用效应计算.....	15
4.1 一般规定.....	15
4.2 水平地震作用计算.....	20
4.3 竖向地震作用计算.....	25
4.4 截面抗震验算.....	26
4.5 抗震变形验算.....	28
5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计.....	30
5.1 一般规定.....	30
5.2 地震时正常使用建筑的性能目标.....	31
5.3 结构构件承载力验算.....	32

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求.....	34
5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的性能要求.....	36
6 消能减震结构设计.....	37
6.1 一般规定.....	37
6.2 消能部件布置.....	37
6.3 消能减震分析及评价.....	39
6.4 主体结构设计.....	42
7 消能部件的连接与构造.....	46
7.1 一般规定.....	46
7.2 预埋件.....	47
7.3 节点板.....	47
7.4 支撑和支墩、剪力墙.....	49
7.5 屈曲约束支撑连接.....	50
7.6 金属屈服、摩擦消能器连接.....	52
7.7 黏滞消能器连接.....	53
8 消能器的技术性能.....	55
8.1 一般规定.....	55
8.2 金属屈服型消能器.....	56
8.3 屈曲约束支撑.....	58
8.4 摩擦消能器.....	60
8.5 黏滞消能器.....	62
8.6 黏弹性消能器.....	66
9 消能部件的检验.....	71
10 消能部件的施工、验收和维护.....	73

10.1 一般规定.....	73
10.2 进场验收.....	73
10.3 消能部件的施工安装顺序.....	75
10.4 消能部件的施工安装过程质量控制.....	77
10.5 分项工程验收.....	80
10.6 子分部工程验收.....	83
10.7 消能部件的维护.....	84
11 隔震设计.....	87
11.1 一般规定.....	87
11.2 隔震层设计.....	89
11.3 上部结构设计.....	94
11.4 下部结构和地基基础设计.....	95
12 隔震支座的技术性能.....	97
12.1 一般要求.....	97
12.2 叠层橡胶隔震支座.....	98
12.3 弹性滑板支座.....	106
12.4 摩擦摆隔震支座.....	113
13 建筑与机电隔震构造.....	120
13.1 一般规定.....	120
13.2 隔震缝及建筑出入口、坡道构造.....	121
13.3 伸缩缝(抗震缝)构造.....	122
13.4 楼梯、电梯等隔震构造.....	123
13.5 外墙、内墙、屋面、吊顶等隔震构造.....	124
13.6 机电设备与管线隔震构造.....	125
14 隔震支座的检验.....	128

15 隔震部件的施工、验收和维护.....	129
15.1 一般规定.....	129
15.2 进场验收.....	130
15.3 支座.....	130
15.4 阻尼器.....	132
15.5 柔性连接.....	132
15.6 隔震缝.....	133
15.7 分项工程验收.....	133
15.8 子分部工程验收.....	138
15.9 维护.....	139
附录A 支座的计算模型	143
附录B 建议的隔震支座规格及性能参数.....	147
附录C 隔震支座连接设计	150
附录D 碰撞分析和设缝变形量的计算	155
附录E 消能器滞回曲线及本构方程	158
附录F 建议的消能器规格及性能参数.....	163
附录G 屈曲约束支撑的连接节点承载力验算.....	169
附录H 位移敏感型建筑非结构构件	173
附录J 加速度敏感型建筑非结构构件	175
附录K 仪器设备	176
附录L 建筑附属机电设备	177
本标准用词说明.....	179
引用标准名录.....	180
条文说明.....	183

1 总则

1.0.1 为了贯彻执行国家有关建筑工程防震减灾的法律法规，提高青海省建设工程抗震防灾能力，使建筑物采用减隔震技术后，提高建筑安全性和防灾韧性，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于青海省行政区域内采用减隔震技术的建筑工程，包括新建、改建及扩建建筑工程的设计、减隔震装置检验、施工、验收和维护。

1.0.3 既有建筑进行抗震加固时，经充分论证后采用隔震减震技术时，也可参考本标准执行。保证其抗震性能符合抗震设防强制性标准。既有建筑采用消能减震或隔震加固改造时，抗震设防目标不应低于现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021和《建筑抗震鉴定标准》GB 50023的规定。

1.0.4 减隔震建筑的基本设防目标应满足下列要求：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件或隔震层正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件或隔震层正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件或隔震层不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.5 地震时正常使用建筑的基本设防目标：当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，无需修理可继续使用。

1.0.6 减隔震技术，除应符合本规程外，尚应符合国家及青海省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 消能减震结构

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.2 消能部件

由消能器与连接消能器的支撑或连接件组成的消能单元。

2.1.3 消能器

通过内部材料或构件的弹塑性或黏性滞回变形等方式来耗散或吸收能量的装置。

2.1.4 消能子结构

消能子结构是与消能部件直接相连的主体结构构件的集合。

2.1.5 位移相关型消能器

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

2.1.6 速度相关型消能器

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 复合型消能器

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.8 附加阻尼比

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。

2.1.9 附加刚度

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。

2.1.10 金属屈服型消能器

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

2.1.11 摩擦消能器

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

2.1.12 屈曲约束支撑

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

2.1.13 黏滞消能器

以黏滞材料为阻尼介质的速度相关型消能器。

2.1.14 黏滞阻尼墙

以黏滞材料为阻尼介质的速度相关型阻尼墙。

2.1.15 黏弹性消能器

由黏弹性材料和约束层组成，利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置。

2.1.16 黏弹性阻尼墙

由黏弹性材料和约束层组成，其平面尺寸远大于其厚度，并沿平面方向产生水平往复剪切运动的速度相关型阻尼墙。

2.1.17 隔震建筑

为降低地震响应，在结构中设置隔震层而实现隔震功能的建筑，包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

2.1.18 隔震层

隔震建筑设置在基础、底部或下部结构与上部结构之间的全部部件的总称，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或连接构件等。

2.1.19 上部结构

隔震结构中位于隔震层以上的结构部分。

2.1.20 下部结构

隔震结构中位于隔震层以下的结构部分，不包括基础。

2.1.21 隔震支座

隔震层用于承载上部结构，并具有隔震变形能力的支座。

2.1.22 阻尼装置

设置在隔震层的吸收并耗散地震输入能量的装置。

2.1.23 抗风装置

隔震结构中抵抗风荷载的装置，可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.24 抗拉装置

隔震层中用于抵御上部结构倾覆作用引起的竖向拉力的装置。

2.1.25 限位装置

限制隔震层产生超过水平容许位移的装置。

2.1.26 水平向减震系数

计算隔震结构的上部结构水平地震作用时引入的折减系数。

2.1.27 底部剪力比

设防地震作用下建筑结构隔震后与隔震前上部结构底部剪力之比值。

2.1.28 叠层橡胶隔震支座

由多层橡胶和多层钢板或其他材料交替叠置结合而成的橡胶隔震支座。

2.1.29 天然橡胶支座

用天然橡胶制成的叠层橡胶隔震支座，简称LNR。

2.1.30 铅芯橡胶支座

内部含有竖向铅芯的叠层橡胶隔震支座，简称LRB。

2.1.31 高阻尼橡胶支座

用复合橡胶制成的具有较高阻尼性能的叠层橡胶隔震支座，简称HDR。

2.1.32 摩擦摆隔震支座

一种通过球面摆动延长结构振动周期和滑动界面摩擦消耗地

震能量实现隔震功能的支座，简称FPS。

2.1.33 型式检验

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

2.1.34 出厂检验

由制造厂的质检部门自检或具有相应检测资质的独立检测机构进行的检验。

2.1.35 见证检验

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。

2.1.36 进场验收

对进入施工现场的消能器、隔震支座及其连接件，按相关标准的要求进行检验，并对其质量、规格及型号等是否符合要求做出确认的活动。

2.1.37 建筑非结构构件

建筑中除承重骨架体系以外的固定构件和部件，主要包括非承重墙体，附着于楼屋面结构的构件、装饰构件和部件、固定于楼面的大型储物柜等。

2.1.38 建筑附属机电设备

为建筑使用功能服务的附属机械、电气构件、部件和系统，主要包括电梯、照明和应急电源、通信设备，管道系统，供暖和空气调节系统，烟火监测和消防系统，公用天线等。

2.1.39 地震时正常使用建筑

在遭受相当于本地区抗震设防烈度地震影响时，保证结构构件和建筑非结构构件基本完好、建筑附属机电设备和仪器设备正常工作的建筑。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

G_{eq} ——结构等效总重力荷载;

G_i ——集中于 i 质点的重力荷载代表值;

S ——结构构件内力组合的设计值, 包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等;

S_k ——作用、荷载标准值的效应;

SE_k ——地震作用标准值的扭转效应;

Sw_k ——风荷载标准值的效应;

SGE ——重力荷载代表值的效应;

S_i 、 S ——分别为第 i 、 j 振型水平地震作用效应;

SE_{hk} ——水平地震作用标准值的效应;

SE_{vk} ——竖向地震作用标准值的效应;

VE_{ki} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力;

VR_w ——抗风装置的水平承载力设计值;

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值;

F ——水平地震作用标准值;

F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值;

FE_{vk} ——结构总竖向地震作用标准值;

F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值;

F_j —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值;

F_{xji} 、 F_{yji} 、 F_{zji} ——分别为 j 振型 i 层的 x 方向、 y 方向和转角方向的地震作用标准值。

2.2.2 结构参数

ζ_a ——消能减震结构的附加有效阻尼比;

ζ_{eq} ——隔震层等效阻尼比;

Δusy ——设置消能部件的结构层间屈服位移；
 Δue ——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；
 Ws ——设置消能部件的结构在预期位移下的总应变能；
 R ——构件承载力设计值；
 Rk ——普通竖向构件及重要水平构件承载力标准值；
 Rk ——普通水平构件承载力标准值；
 θ ——地震作用方向与x方向的夹角；
 $[\theta e]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta p]$ ——弹塑性层间位移角限值；
 Tg ——特征周期；
 T ——结构自振周期；
 Ti ——消能减震结构的基本自振周期。

2.2.3 隔震支座参数

S_2 ——橡胶隔震支座第二形状系数；
 Keq ——隔震层水平等效刚度；
 ζ_j —— j 隔震支座的等效阻尼比；
 k_j —— j 隔震支座(含消能器)由试验确定的水平等效刚度。
 u_i ——第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；
 $[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；
 ψ ——考虑隔震支座剪切性能偏差的调整系数；
 ψ ——橡胶支座部的平整度；
 δv ——橡胶支座部的平整度偏差。

2.2.4 消能器参数

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；

CD——消能器的线性阻尼系数；
Fdmax——消能器极限阻尼力；
Kb——支撑构件沿消能器方向的刚度；
 θ_j ——第j个消能器的消能方向与水平面的夹角；
[y]——黏弹性材料允许的最大剪切应变；
 Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移；
 Δu_j ——第j个消能器两端的相对水平位移；
 Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移。

2.2.5 计算系数

a——地震影响系数；
 α_{max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值；
 α_{max1} ——隔震后的水平地震影响系数最大值；
 α_{vmax} ——竖向地震影响系数的最大值；
 a_j ——相应于j振型自震周期的地震影响系数；
 β ——水平向减震系数
 γ ——曲线下降段的衰减指数；
 β_j ——j振型的参与系数；
 Y_j ——计入扭转的j振型的参与系数；
RE——承载力抗震调整系数；
 y_G ——重力荷载分项系数；
YEh、YEv——分别为水平、竖向地震作用分项系数；
 Y_w ——风荷载分项系数；
 V_w ——风荷载组合值系数；
 λ ——水平地震剪力系数；
 λ_T ——k振型与j振型的自振周期比；
 θ_{i-j} ——振型i层的相对扭转角；

P_{ik} —j— 振型与k 振型的耦联系数；

η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数；

n_2 ——阻尼调整系数；

r_i —i 层转动半径；

ζ ——阻尼比；

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

2.2.6 几何参数

h —— 计算楼层层高；

t_v —— 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 减隔震建筑应按现行强制性国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002及国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223确定其抗震设防类别。

3.1.2 建筑结构的减隔震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、抗震设防烈度、工程空间尺度、场地条件、地基条件、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

3.1.3 减隔震建筑应符合下列规定：

1 隔震装置和消能器的性能参数应经试验确定；

2 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度、水平恢复力和阻尼，保证隔震层在罕遇地震作用下的弹性复位能力；

3 隔震装置及消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明装置使用的环境；

4 隔震建筑应具有足够的抗倾覆能力，高层建筑尚应进行罕遇地震下整体抗倾覆承载力验算；

5 设计文件上应注明对隔震装置和消能器的性能要求，安装前应按规定进行抽样检测，确保性能满足要求；

6 隔震支座的力学分析模型宜符合本规程附录A的规定。

3.1.4 对地震时有正常使用要求的建筑或楼层，尚应满足本规程第5章的相关要求。

3.1.5 减隔震工程设计文件应包括下列内容：

1 结构的抗震性能化目标；

2 减隔震方案及相关计算分析；

3 减隔震装置的规格、型号、性能、使用年限等技术指标；

4 减隔震装置检验检测、施工安装和使用维护要求；

5 减隔震构造措施要求，包括建筑做法、幕墙、机电及其

他非结构构件连接构造、减隔震装置检查、更换的可靠途径等。

3.1.6 减隔震结构设计应合理选择和布置减隔震装置，分别选定针对整体结构、关键构件、重要构件、一般构件和减隔震装置的性能目标。

3.1.7 建筑结构采用消能减震设计时应符合下列规定：

1 消能部件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系；

2 消能部件宜根据类型设置在相对变形或相对速度较大的位置；

3 消能部件的设置位置及连接构造，应便于检查、维护和更换。

3.1.8 建筑结构采用隔震设计时应符合下列规定：

1 建筑最大高度宜满足现行国家相关标准对非隔震结构的要求，当不满足时，应进行专项论证；

2 风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力不宜超过上部结构总重力的10%，当不满足时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施。

3.2 减隔震装置要求

3.2.1 消能器的选择应符合下列规定：

1 消能器的极限位移不应小于消能器设计位移的1.2倍。速度相关型消能器极限速度不应小于消能器设计速度的1.2倍；

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

3 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。

3.2.2 隔震支座应符合下列规定：

1 支座应具有满足设计要求的竖向承载能力和极限水平变形能力，并应具有良好的耐久性；

2 支座应具有一定的耗能能力，若支座提供的耗能能力不

足，可设置附加耗能装置，隔震层耗能装置性能及检测应进行专项论证；

3 支座应具有合理的水平刚度和承载力，满足延长结构周期、控制极限位移和结构抵御风荷载等要求，并为隔震层提供自动复位能力；

4 支座的水平刚度、竖向刚度、阻尼、荷载-位移关系等特性应满足现行国家相关标准的要求。

3.2.3 减隔震装置应在设计文件中注明本规程要求的全部力学性能参数及数量。

3.2.4 减隔震装置应由专业厂家进行制造，厂家在生产前应提供型式检验报告，并应待监理单位和设计单位确认后方可安装。装置应满足设计要求，在设计使用周期内，应能发挥预期的功能而不发生影响功能的破坏。

3.2.5 应用于减隔震建筑中的消能器和隔震装置应符合下列规定：

1 消能器和隔震装置应具有型式检验报告和产品合格证；

2 消能器和隔震装置的性能参数、数量和检验应满足设计文件要求。

3.2.6 减隔震装置的性能及检测方法应满足现行国家相关标准及本规程的要求。

3.3 减隔震部件材料与施工

3.3.1 支撑及连接件可采用钢构件，也可采用钢管混凝土或钢筋混凝土构件。对支撑材料和施工有特殊规定时，应在设计文件中注明。

3.3.2 钢筋混凝土构件作为消能器的支承构件时，其混凝土强度等级不应低于C30。

3.3.3 消能部件的安装可在主体结构完成后进行或在主体结构施工时进行，消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作

的变形，且计算分析应考虑消能部件安装次序的影响。

3.3.4 隔震建筑的上部结构施工过程中，宜采取措施避免在水平方向产生位移。

3.3.5 隔震支座的安装及验收和隔震支墩(柱)的施工及验收应符合现行行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 的相关规定。

3.4 耐久性及防火设计

3.4.1 减隔震装置的设计使用年限不应低于上部结构的设计工作年限，设计文件中应明确隔震和减震部件的耐久性要求及相应措施。隔震减震装置的设计使用年限到期后应抽样检测其相关力学性能，并应按检测结果确定后续使用年限或更换。

3.4.2 消能部件的混凝土部分的耐久性应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 的规定，钢构件的防护应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理，不承受竖向荷载的消能器可不进行防火处理。

3.4.3 消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验，以判定继续使用或更换，检查数量不应低于过火范围内消能器总数的10%。

3.4.4 当消能减震建筑遭受不低于设防烈度的地震后，应对消能器以及消能子结构进行检查和试验，以判定继续使用、维护或更换。设计文件应注明使用期间对产品供应商的回访检验和业主的定期检验要求。

3.5 场地与地基

3.5.1 减隔震建筑的场地宜选择对抗震有利地段。对不利地段，应尽量避开；当无法避开时应采取有效的抗震措施。对危险地段，严禁建造抗震设防分类为甲、乙、丙类建筑。

3.5.2 隔震建筑的地基应稳定可靠，所在的场地类别宜为I类、II类、III类，当场地为IV类时，应专门研究。

3.5.3 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理仍应按本地区抗震设防烈度进行，甲、乙类建筑的抗液化措施应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

3.5.4 隔震建筑地面下存在湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土等特殊土时，应按现行国家和地方标准规定进行地基处理。尚应在施工及使用阶段设置不均匀沉降观测系统实施监测。

3.6 试验与观测

3.6.1 对特殊设防类或有特殊要求的隔震建筑，宜采用结构模型的模拟地震振动台试验对隔震方案进行补充验证。

3.6.2 对较重要或有特殊要求的减隔震建筑，应设置地震反应观测系统。

4 地震作用和作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 减隔震结构的地震作用，应符合下列规定：

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

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结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其它情况，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；

4 抗震设防烈度7度(0.15g)、8 度和9度时的大跨度和长悬臂结构，以及9度时的高层建筑，应计算竖向地震作用；

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

4.1.2 减隔震结构的地震作用效应计算，除特殊要求外，应采用下列方法：

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；计算模型应包括隔震支座、消能部件的力学参数，力学模型应与产品试验结果相符，宜采用空间结构有限元模型；

2 房屋高度不超过24m、上部结构以剪切变形为主，且质量和刚度沿高度分布比较均匀的建筑，可采用底部剪力法。消能减震建筑采用底部剪力法时，建筑的地震影响系数、自振周期、总阻尼比等参数应按相关规范规定采用；

3 当减隔震结构主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、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；

4 当减隔震结构主体结构处于弹性工作状态，且隔震支座、消能器处于非线性工作状态时，可将隔震支座、消能器进行等效线性化，采用等效阻尼比和等效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法，也可采用弹塑性时程分析法；

5 当减隔震结构主体结构进入非线性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.1.3 采用时程分析法分析时，应按建筑场地类别和设计地震分组选用实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际强震记录的数量不应少于总数的2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，其加速度时程的最大值可按表4.1.3采用。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%。

当取三组加速度时程曲线输入时，计算结果宜取时程法的包络值和振型分解反应谱法的较大值；当取七组及七组以上的时程曲线时，计算结果可取时程法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。

表4.1.3时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值(cm/s²)

地震影响	7度		8度	
	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g
多遇地震	35	55	70	110
设防地震	100	150	200	300
罕遇地震	220	310	400	510

注：设计地震加速度峰值相当于现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306中的地震动峰值加速度。

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

4.1.5 建筑结构的地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定。其水平地震影响系数最大值应按表4.1.5-1采用；特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表4.1.5-2采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加0.05s。

表4.1.5-1水平地震影响系数最大值

地震影响	6度	7度		8度		9度
		0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	
多遇地震	0.04	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32
设防地震	0.12	0.23	0.34	0.45	0.68	0.90
罕遇地震	0.28	0.50	0.72	0.90	1.20	1.40

表4.1.5-2特征周期(s)

设计地震分组	场地类别				
	I _o	I _h	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

4.1.6 建筑结构地震影响系数曲线(图4.1.6)的阻尼比调整和形状参数应符合下列规定：

1 除有专门规定外，建筑结构的阻尼比应取0.05，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应按1.0采用，形状参数应符合下列规定：

- 1)直线上升段，周期小于0.1s的区段；
- 2)水平段，自0.1s至特征周期区段，应取最大值(a_{max})；
- 3)曲线下降段，地震影响系数曲线(一)中自特征周期至5倍特征周期区段，地震影响系数曲线(二)中自特征周期至6s区段，衰减指数应取0.9；
- 4)直线下降段，地震影响系数曲线(一)中自5倍特征周期至6s区段，下降斜率调整系数应取0.02。

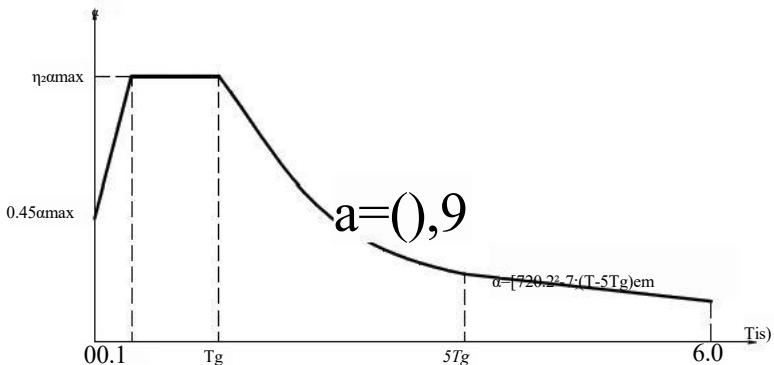


图4.1.6-1 地震影响系数曲线(一)

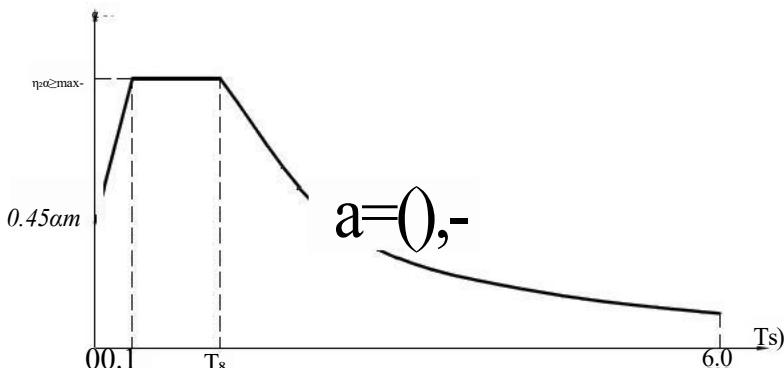


图4.1.6-2 地震影响系数曲线(二)

a——地震影响系数; α_{max} ——地震影响系数最大值;

η_2 ——直线下降段的下降斜率调整系数; y——衰减指数;

T_g ——特征周期; η_2 ——阻尼调整系数; T——结构自振周期

注: 1 地震时正常使用建筑, 水平地震影响系数的形状参数应符合图4.1.6-2;

2 其他建筑, 水平地震影响系数的形状参数应符合图4.1.6-1。

2 当建筑结构阻尼比按有关规定不等于0.05时, 地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定:

1) 曲直线下降段的衰减指数应按下式确定:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (4.1.6-1)$$

式中: γ ——曲线下降段的衰减指数;

ζ ——阻尼比。

2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定:

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (4.1.6-2) \text{ 式中: } \eta_1$$

——直线下降段的下降斜率调整系数, 小于0时取0。

阻尼调整系数应按下式确定:

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (4.1.6-3)$$

式中: η_2 ——阻尼调整系数, 当小于0.55时, 应取0.55。

4.1.7 减隔震结构应进行多遇地震作用下的截面抗震承载力验算, 并进行多遇地震和罕遇地震作用下的变形验算:

1 计算罕遇地震作用下结构的变形, 应采用弹塑性时程分析法、简化的弹塑性分析方法或静力弹塑性分析方法;

2 平面投影尺度很大的空间结构, 应根据结构形式和支承条件, 分别按单点一致、多点、多向单点或多向多点输入进行抗震计算。按多点输入计算时, 应考虑地震行波效应和局部场地效应。

4.1.8 各类建筑地震作用计算时, 设计地震动参数应根据设防烈度按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002的相关规定确定, 并按下列规定进行调整:

1 对处于发震断裂两侧10km 以内的建筑, 地震动参数应计入近场影响, 5km 及以内宜乘以增大系数1.5, 5km 以外宜乘以不小于1.25的增大系数;

2 当工程结构处于条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石和强风化岩石的陡坡、河岸与边坡边缘等不利地段时, 应考虑不利地段对水平设计地震参数的放大作用。放大系数应根

据不利地段的具体情况确定，其数值不得小于1.1，不大于1.6。

4.1.9 建筑结构进行隔震设计时，隔震层以上结构的地震作用计算，应符合下列规定：

1 采用减震系数法时，应进行多遇地震作用效应和其他荷载效应的承载力设计，隔震后的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{max1} = \beta \alpha_{max} / \psi \quad (4.1.9)$$

式中： α_{max1} ——隔震后的水平地震影响系数最大值；

α_{max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值，按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的有关规定采用；

β ——水平向减震系数；对于多层建筑，为按弹性计算所得的隔震与非隔震各层层间剪力的最大比值。对高层建筑结构，尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并与层间剪力的最大比值相比较，取两者的较大值；

ψ ——考虑隔震支座剪切性能偏差的调整系数。一般橡胶隔震支座取0.80；当橡胶隔震支座剪切性能偏差为S-A类时，取0.85；橡胶隔震支座带有消能器时，相应减少0.05。摩擦摆隔震支座取1.0。

2 采用整体设计法时，应采用包含上部结构、隔震层及下部结构的隔震一体化模型进行隔震层以上的设防地震作用计算，可按本规程进行计算。分析时应采用振型分解反应谱法或时程分析法，当隔震层阻尼比较大时，可采用复振型分解反应谱法。

4.2 水平地震作用计算

4.2.1 采用振型分解反应谱法时，不进行扭转耦联计算的结构，

应按下列规定计算其地震作用和作用效应：

1 结构j振型i质点的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$F_{ji} = a_j y_i X_i G_i \quad (4.2.1-1)$$

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i \quad (4.2.1-2)$$

式中： F ——j 振型i质点的水平地震作用标准值；

a_j ——相应于j 振型自振周期的地震影响系数，应按本规程第4.1.5、第4.1.6条确定；

X_i ——j振型i质点的水平相对位移；

y_i ——j 振型的参与系数；

G_i ——集中于i质点的重力荷载代表值。

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

$$S_{EK} = \sqrt{\sum S_j^2} \quad (4.2.1-3)$$

注：对于地震时正常使用的隔震建筑，尚应满足现行国家标准《建筑隔震

设计标准》GB/T 51408的相关规定。

式中： S_{EK} ——水平地震作用标准值的效应；

S_j ——j 振型水平地震作用标准值的效应，可只取前2~3个振型，当基本自振周期大于1.5s或房屋高宽比大于5时，振型个数应适当增加。

4.2.2 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震效应应符合下列要求：

1 规则结构不进行扭转耦联计算时，平行于地震作用方向的两个边榀各构件，其地震作用效应应乘以增大系数。一般情况下，短边可按1.15、长边可按1.05采用；当扭转刚度较小时，

周边各构件宜按不小于1.3采用。角部构件宜同时乘以两个方向各自的增大系数；

2 按扭转耦联振型分解法计算时，各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度，并应按下列公式计算结构的地震作用和作用效应。确有依据时，尚可采用简化计算方法确定地震作用效应。

1)j 振型i层的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

$$\begin{aligned} F_{xji} &= a_j \gamma_{xj} X_{ji} G_i \\ F_{yji} &= a_j \gamma_{yj} Y_{ji} G_i; (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m) \\ F_{rji} &= a_j \gamma_{rj} r_i^2 \varphi_{ji} G_i \end{aligned} \quad (4.2.2-1)$$

式中： γ_{ji} ——振型i层的相对扭转角；

F_{xji} 、 F_{yji} 、 F_{rji} ——分别为j振型i层的x方向、y方向和转角方向的地震作用标准值；

X_i 、 Y_i ——分别为j振型i层质心在x、y方向的水平相对位移；

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

φ_{ji} ——计入扭转的j振型的参与系数，可按下列公式确定：

当仅取x方向地震作用时：

$$\gamma_{xj} = \sum_{i=1}^n X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i \quad (4.2.2-2)$$

当仅取y方向地震作用时：

$$\gamma_{yj} = \sum_{i=1}^n Y_{ji} G_i / \sum_{i=1}^n (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 r_i^2) G_i \quad (4.2.2-3)$$

当取与x方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{ij} = \gamma x_j \cos \theta + \gamma y_j \sin \theta \quad (4.2.2-4)$$

式中: $y_{xj} y_{yj}$ 分别由式(4.2.1-2)求得的参与系数;

θ——地震作用方向与x方向的夹角。

2)单向水平地震作用下的扭转耦联效应, 可按下列公式确定:

$$S_{EK} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \rho_{jk} S_j S_k} \quad (4.2.2-5)$$

$$\rho_{jk} = \frac{8 \sqrt{\zeta_j \zeta_k (\zeta_j + \lambda_T \zeta_k) \lambda_T^{1.5}}}{(1 - \lambda_T^2)^2 + 4 \zeta_j \zeta_k (1 + \lambda_T^2) \lambda_T + 4 (\zeta_j^2 + \zeta_k^2) \lambda_T^2} \quad (4.2.2-6)$$

注: 采用复振型分解反应谱法时, 应按现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的相关规定进行计算。

式中: SEK ——地震作用标准值的扭转效应;

S_j 、 S_k ——分别为j、k振型地震作用标准值的效应, 可取前9~15个振型;

、 ζ_j 、 ζ_k ——分别为j、k振型的阻尼比;

P_{jk} ——j振型与k振型的耦联系数;

λ_T ——k振型与j振型的自振周期比。

3)双向水平地震作用的扭转耦联效应, 可按下列公式中的较大值确定:

$$S_{EK} = \sqrt{S_x^2 + (0.85 S_y)^2} \quad (4.2.2-7)$$

$$S_{EK} = \sqrt{S_y^2 + (0.85 S_x)^2} \quad (4.2.2-8)$$

式中, S_x 、 S_y 分别为x向、y向单向水平地震作用按式(4.2.2-5)

计算的扭转效应。

4.2.3 抗震验算时, 结构任一楼层的水平剪力应符合下式要求:

$$V_{EKi} \geq \lambda \sum_{j=1}^n G_j \quad (4.2.3)$$

式中: V_{EKi} —第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力;

λ —剪力系数, 不应小于表4.2.3规定的楼层最小地震剪力系数值, 对竖向不规则结构的薄弱层, 尚应乘以1.15的增大系数;

G —第 j 层的重力荷载代表值。

表4.2.3楼层最小地震剪力系数值

类别	6度	7度	8度
扭转效应明显或基本周期小于3.5s的结构	0.008	0.016(0.024)	0.032(0.048)
基本周期大于5.0s的结构	0.006	0.012(0.018)	0.024(0.036)

注: 1 基本周期介于3.5s和5s之间的结构, 最小地震剪力系数不应小于表4.2.3中基本周期小于3.5s结构的 $(9.5-T_i)/6$ 倍(T_i 为结构计算方向的基本周期);

2 括号内数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.30g的地区。

4.2.4 结构的楼层水平地震剪力, 应按下列原则分配:

1 现浇和装配整体式楼(屋)盖等刚性建筑, 宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配;

2 普通的预制装配式楼(屋)盖等半刚性建筑, 可取按抗侧力构件等效刚度的比例分配与抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配结果的平均值;

3 结构计入空间作用、楼盖变形、墙体弹塑性变形和扭转的影响时, 可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 有关规定对上述分配结果作适当调整。

4.3 坚向地震作用计算

4.3.1 9度时的高层减隔震结构，其坚向地震作用标准值应按下列公式确定(图4.3.1)。楼层的坚向地震作用效应可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，并宜乘以增大系数1.5。隔震层坚向阻尼比可取上部结构阻尼比，且不宜大于0.05。

$$F_{EVK} = \alpha_{YMAX} G_{EQ} \quad (4.3.1-1)$$

$$F_{Vi} = \frac{G_i H_i}{\sum G_j H_j} F_{EVK} \quad (4.3.1-2)$$

式中： F_{EVK} ——结构总坚向地震作用标准值；

F_{Vi} ——质点i的坚向地震作用标准值；

α_{YMAX} ——坚向地震影响系数的最大值，可取水平地震影响系数最大值的65%;设防地震作用下隔震结构坚向地震作用计算时，特征周期可按设计第一组采用；

G_{EQ} ——结构等效总重力荷载，可取其重力荷载代表值的75%。

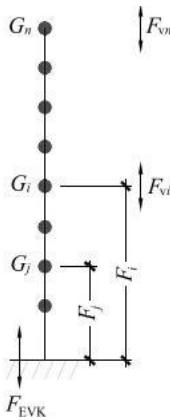


图4.3.1结构坚向地震作用计算简图

4.3.2 平板型网架屋盖和跨度大于24m屋架结构的坚向多遇地

震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按表4.3.2采用。

表4.3.2 竖向多遇地震作用系数

结构类型	烈度	场地类别		
		I	II	III、IV
平板型网架、钢屋架	8	可不计算 (0.10)	0.08 (0.12)	0.10 (0.15)
钢筋混凝土屋架	8	0.10 (0.15)	0.13 (0.19)	0.13 (0.19)

注：括号中数值用于设计基本加速度为0.30g的地区。

4.3.3 长悬臂和其他大跨度结构的竖向地震作用标准值，7度(0.15g)、8度(0.20g)、8度(0.30g)、9度时可分别取该结构、构件重力荷载代表值的8%、10%、15%、20%。

4.3.4 大跨度空间结构的竖向地震作用，尚可按竖向振型分解反应谱方法计算。

4.4 截面抗震验算

4.4.1 结构构件的多遇地震作用效应和其它荷载效应的基本组合，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (4.4.1)$$

式中：S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、轴向力和剪力设计值等；

R——构件承载力设计值；

Y_{RE}——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表4.4.1-1采用；

Y_G——重力荷载分项系数，一般情况应采用1.3，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于1.0；

E_h、E_v——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表4.4.1-2采用；

Y_w ——风荷载分项系数, 应采用1.5;
 SG_E ——重力荷载代表值的效应, 可按本章4.1.2条采用,
 但有吊车时, 尚应包括悬吊物重力标准值的效应;
 SE_{hk} ——水平地震作用标准值的效应, 尚应乘以相应的增
 大系数或调整系数;
 SE_{vk} ——竖向地震作用标准值的效应, 尚应乘以相应的增
 大系数或调整系数;
 Sw_k ——风荷载标准值的效应;
 $4w$ ——风荷载组合值系数, 一般结构取0.0, 风荷载起控
 制作用的建筑应采用0.2。

表4.4.1-1 主体结构承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	YRE
钢	柱、梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.8
砌体	两端均有构造柱、芯柱的抗震墙	受剪	0.9
	其它抗震墙	受剪	1.0
混凝土 钢-混凝土 组合	梁	受弯	0.75
	轴压比小于0.15的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于0.15的柱	偏压	0.80
	抗震墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

表4.4.1-2 地震作用分项系数

地震作用	YEh	YEv
仅计算水平地震作用	1.4	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.4
同时计算水平与竖向地震作用(水平地震为主)	1.4	0.5
同时计算水平与竖向地震作用(竖向地震为主)	0.5	1.4

4.4.2 当仅计算竖向地震作用时, 各类结构构件承载力抗震调整系数均应采用1.0。

4.5 抗震变形验算

4.5.1 减隔震结构应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，其楼层内最大的弹性层间位移应满足下式要求：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e] h \quad (4.5.1)$$

式中： Δu_e ——多遇地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；计算时，除以弯曲变形为主的高层建筑外，可不扣除结构整体弯曲变形；应计入扭转变形，各作用分项系数均应采用1.0；钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，宜按表4.5.1采用； h ——计算楼层层高。

注：当按本规程第5章进行设防地震作用下的抗震变形验算时， Δu_e 、 $[\theta_e]$ 按设防地震作用取值。

表4.5.1 消能减震结构和隔震上部结构多遇地震作用下
弹性层间位移角限值

结构类型	$[\theta_e]$
钢筋混凝土框架	1/550
钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒、板柱-抗震墙	1/800
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层	1/1000
多、高层钢结构	1/250

4.5.2 减隔震结构在罕遇地震下，结构楼层内最大弹塑性层间位移，应满足4.5.2式要求，其弹塑性位移角限值宜按表4.5.2采用。

$$\Delta u_p \leq [\theta_p] h \quad (4.5.2)$$

式中： $[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值，可按表4.5.2采用； h ——计算楼层层高。

表4.5.2 消能减震结构及隔震上部结构罕遇地震下弹塑性层间位移角限值

结构类型	隔震层上部结构	消能减震结构
钢筋混凝土框架	1/100	1/80

续表4.5.2

结构类型	隔震层上部结构	消能减震结构
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200	1/120
钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒	1/200	1/120
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层、板柱-抗震墙	1/250	1/150
多、高层钢结构	1/100	1/50

4.5.3 隔震结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值，除应符合本规程4.5.2条的规定外，对于隔震层以下、地面以上的结构，尚应符合表4.5.3的规定。

表4.5.3 隔震层以下、地面以上结构在罕遇地震作用下**弹塑性层间位移角限值**

下部结构类型	[0p]
钢筋混凝土框架	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200
钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒	1/200
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层、板柱-抗震墙	1/250
多、高层钢结构	1/100

5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

5.1.1 地震时正常使用建筑分为I类建筑和II类建筑，其分类应按照表5.1.1进行。

表5.1.1 地震时保持正常使用功能建筑分类

分类	建筑
I类	应急指挥中心建筑、医院主要建筑、应急避难场所建筑、广播电视台建筑、城市生命线工程等、及其他特殊设防类建筑工程
II类	学校建筑、幼儿园建筑、医院附属用房、养老机构建筑、儿童福利机构建筑、以及大型或重要公共建筑等基于地震时正常使用功能的其他工程

注：生命线工程是指维系城市生存功能系统和国计民生有重大影响的工程。包括供水、排水、电力、燃气及石油管线等能源供给系统的工程；电话、广播电视台及情报通讯系统的工程；大型医疗、公路、铁路交通系统的重要工程等。

5.1.2 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。

5.1.3 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。

5.1.4 地震时保持正常使用功能建筑的主体结构应按照本规程第5.3节进行抗震承载力验算。

5.1.5 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，计算设防地震和罕遇地震作用下的结构层间位移和楼面水平加速度。结构层间位移和楼面水平加速度应满足本规程第5.4节的规定。

5.1.6 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《建筑抗震设计标准》GB/T 50011相应设防烈度的有关规定；采用隔震减震技术时，抗震措施尚应符合现行国家标准《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。

5.1.7 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。

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

5.1.9 地震时保持正常使用功能建筑的设计文件应包含各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，并明确建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备的要求。

5.1.10 有特殊要求的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备应采取专门技术措施。

5.2 地震时正常使用建筑的性能目标

5.2.1 减隔震建筑应结合建筑实际需求选择适宜的结构抗震性能目标，并采取满足预期的抗震性能目标的措施。

5.2.2 地震时正常使用I类建筑的性能目标应符合表5.2.2的规定。

表5.2.2 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
总体性能目标	无需修理可继续使用	简单修理可继续使用

5.2.3 地震时正常使用II类建筑的性能目标应符合表5.2.3的规定。

表5.2.3 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
总体性能目标	无需修理可继续使用	适度修理可继续使用

5.3 结构构件承载力验算

5.3.1 地震时正常使用功能建筑的结构构件应进行设防地震组合下的承载力验算。

5.3.2 设防地震作用下，关键构件的抗震承载力，应符合下式规定：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (5.3.2) \text{ 式中}$$

： S——结构构件内力组合的设计值，包括组合的弯矩、

轴向力和剪力设计值等；

R——构件承载力设计值；

YRE——承载力抗震调整系数，除另有规定外，应按表5.3.2-1采用；

YG——重力荷载分项系数，一般情况应采用1.3，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应小于1.0；

YEh YEv 分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表5.3.2-2采用；

SGE——重力荷载代表值的效应，计算地震作用时，建筑的重力荷载代表值应取结构和构件自重标准值和

可变荷载组合值之和，各可变荷载的组合值系数，应按表5.3.2-3采用；有吊车时，尚应包括悬吊物重力标准值的效应；

SEhk——水平地震作用标准值的效应；

SEvk——竖向地震作用标准值的效应。

表5.3.2-1 主体结构承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	YRE
钢、组合结构	柱、梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于0.15的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于0.15的柱	偏压	0.80
	抗震墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

表5.3.2-2 地震作用分项系数

地震作用	YEh	Ev
仅计算水平地震作用	1.4	0.0
仅计算竖向地震作用	0.0	1.4
同时计算水平与竖向地震作用(水平地震为主)	1.4	0.5
同时计算水平与竖向地震作用(竖向地震为主)	0.5	1.4

表5.3.2-3 可变荷载的组合值系数

可变荷载种类	组合值系数	
雪荷载	0.5	
屋面积灰荷载	0.5	
屋面活荷载	不计入	
按实际情况计算的楼面活荷载	1.0	
按等效均布荷载计算的 楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
	其他民用建筑	0.5
起重机悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	软钩吊车	不计入

注：硬钩吊车的吊重较大时，组合值系数应按实际情况采用。

5.3.3 设防地震作用下，普通竖向混凝土构件及重要水平混凝土构件的受剪承载力应符合本规程式5.3.2的规定，正截面承载力应符合式5.3.3-1、式5.3.3-2的规定；普通竖向钢构件及重要水平钢构件的受剪承载力和正截面承载力应符合式5.3.3-1、式5.3.3-2的规定。

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leq R_k \quad (5.3.3-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k \quad (5.3.3-2)$$

式中：R——普通竖向构件及重要水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

5.3.4 设防地震作用下，普通水平混凝土构件的受剪承载力应符合本规程式5.3.3-1、式5.3.3-2的规定，正截面承载力应符合式5.3.4-1、式5.3.4-2的规定；普通水平钢构件的受剪承载力和正截面承载力应符合式5.3.4-1、式5.3.4-2的规定。

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leq R_k^* \quad (5.3.4-1)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k^* \quad (5.3.4-2)$$

式中：
 R_k^* ——普通水平构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑将钢筋的强度标准值提高25%进行计算，对钢梁支座或节点边缘截面可考虑将钢材屈服强度标准值提高25%进行计算。

5.3.5 设防地震作用下，基础构件的受剪承载力、抗冲切承载力应符合本规程式5.3.2的规定，正截面承载力应符合本规程式5.3.3-1、式5.3.3-2的规定。

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求

5.4.1 地震时正常使用建筑的最大层间位移角限值应符合表5.4.1的规定。

**表5.4.1 地震时正常使用建筑在设防地震和罕遇地震下的
弹塑性层间位移角限值**

地震水平		设防地震	罕遇地震
I类建筑	钢筋混凝土框架	1/400	1/150
	钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/500	1/200
	钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/600	1/250
	多、高层钢结构	1/250	1/100
II类建筑	钢筋混凝土框架	1/300	1/100
	钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/400	1/150
	钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/500	1/200
	多、高层钢结构	1/200	1/80

注：有较高正常使用要求的建筑及地震时保持正常使用功能建筑采用隔震结构时，尚应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的有关规定。

5.4.2 地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度限值宜符合表5.4.2的规定。

表5.4.2 地震时正常使用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	-

5.4.3 当楼面水平加速度不满足本规程第5.4.2条的要求时，可根据现行国家标准《建筑抗震韧性评价标准》GB/T 38591 进行抗震韧性评价，I类建筑应达到抗震韧性三星，II类建筑应达到抗震韧性二星及以上；也可对建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备采取专门措施，经专项研究论证后确定相应的加速度限值。

5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的性能要求

5.5.1 地震时正常使用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。

5.5.2 位移敏感型建筑非结构构件可按附录H选用，加速度敏感型建筑非结构构件可按附录J选用，仪器设备可按附录K选用，建筑附属机电设备可按附录L选用，对于附录中未涉及的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备，经专门研究和论证后采用。

6 消能减震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 消能减震结构体系可采用框架型减震结构、剪力墙型减震结构、框架-剪力墙型减震结构等形式。

6.1.2 消能减震结构设计应保证主体结构符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定；楼(屋)盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼(屋)盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼(屋)盖平面内的弹性变形，并建立符合实际情况的力学分析模型。抗震计算分析模型应同时包括主体结构与消能部件。

6.1.3 当在垂直相交的两个平面内布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑相交处的柱在双向地震作用下的受力。

6.1.4 消能减震结构构件设计时，应考虑消能部件引起的柱、墙、梁的附加轴力、剪力和弯矩作用。

6.1.5 消能减震结构的适用高度应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定，当主体结构高度超过相关规定时，应进行专项研究。

6.1.6 确定消能减震结构设计方案时，应考虑结构体系特性、结构控制参数等，根据地震作用下预期的结构变形或内力控制要求，进行消能器的选型。

6.1.7 消能减震结构的设计结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。应通过设置消能减震器有效消耗地震能量，使建筑抗震性能明显提高。

6.2 消能部件布置

6.2.1 消能部件的布置应符合下列规定：

- 1 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近;
- 2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀;
- 3 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层;
- 4 消能减震结构中设置的消能器在楼层平面内的布置应遵循“均匀、分散、对称、周边”的原则;
- 5 消能器宜布置在层间相对位移或相对速度较大的楼层或位置, 同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度。

6.2.2 消能部件的布置宜使消能减震结构设计参数符合下列规定:

- 1 采用位移相关型消能器时, 各楼层的消能部件有效刚度与主体结构层间刚度比宜接近, 各楼层的消能部件水平剪力与主体结构的弹性层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近;
- 2 采用黏滞消能器时, 各楼层的消能部件的最大水平阻尼力与主体结构的弹性层间剪力与层间位移乘积之比的比值宜接近;
- 3 采用黏弹性消能器时, 各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近, 各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力与层间位移的乘积之比的比值宜接近;
- 4 对新建结构, 消能减震结构布置消能部件的楼层中, 位移型消能器的最大水平阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的40%, 速度型消能器的最大水平阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的60%, 单个消能部件承担的水平剪力不宜大于楼层剪力的1/4。

6.2.3 消能部件的设计参数应符合下列规定:

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

$$\frac{\Delta u_{py}}{\Delta u_{sy}} \leq \frac{2}{3} \quad (6.2.3-1)$$

式中: Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移

(m);

Δusy —设置消能部件的结构层间屈服位移 (m)。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \frac{\Delta u_{dmax}}{[y]} \quad (6.2.3-2) \text{ 式中: } ty—$$

—黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度 (m);

$\Delta udmax$ —沿消能方向消能器的最大可能的位移 (m);

[y]—黏弹性材料允许的最大剪切应变。

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

$$Kb \geq (6\pi/T_1)CD \quad (6.2.3-3)$$

式中：Kb—支撑构件沿消能器方向的刚度 (kN/m);

CD—消能器的线性阻尼系数 [kN/(m·s)];

T_1 —消能减震结构的基本自振周期 (s)。

6.2.4 采用附加刚度消能器组成抗侧力体系的结构时，尚应符合下列要求：

1 宜上下连续布置，当无法连续布置时，可在邻跨延续布置；

2 满足嵌固端要求时，嵌固端以下不能连续布置时，可不连续布置。

6.3 消能减震分析及评价

6.3.1 结构分析模型应正确反映不同水准地震动下主体结构和消能部件的工作状态。

6.3.2 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有效阻尼比的总和，结构总阻尼比应根据主体结构处于弹性或弹塑性工作状态分别确定。附加有效阻尼比可根据实际情况

况进行折减。

6.3.3 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给主体结构的有效刚度之和，且应考虑不同变形状态导致的刚度差异。

6.3.4 消能器的滞回曲线和本构方程宜按下列规定选取：

1 软钢消能器和屈曲约束支撑可采用双线性模型、三线性模型、考虑硬化过程双骨架模型或Wen模型；

2 摩擦消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型；

3 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型；

4 黏弹性消能器可采用开尔文模型；

5 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联具体确定；

6 消能器的恢复力模型参数应通过足尺试验确定。

6.3.5 消能减震结构进行计算分析时，符合下列规定：

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

2 采用时程分析法分析时，应符合本规程第4.1.3条的规定；

3 用于抗震专项审查和施工图设计的数值，应采用能够实际模拟消能器非线性性能的计算模型，利用非线性时程分析进行校核；

4 在进行设防地震或罕遇地震作用下的结构分析时，应采用实际截面尺寸和配筋。

6.3.6 对特殊设防类和房屋高度超过60m 的重点设防类减震建筑，在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价，应采用多个成熟、独立的软件进行对比分析，计算结果应经分析判断合理后，方可用于结构设计。

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

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

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式估算:

$$\zeta_d \geq \sum_{j=1}^n W_{cj} / 4\pi W_s \quad (6.3.7-1)$$

式中: ζ_d ——消能减震结构的附加有效阻尼比;

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

W_s ——设置消能部件的结构在预期位移下的总应变能 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

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

$$W_s = \left(\frac{1}{2}\right) \sum F_i u_i \quad (6.3.7-2)$$

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

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 (m)。

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

$$W_{cj} = (2\pi^2/T_1) \sum C_j \cos^2(C_j) \Delta u^2 \quad (6.3.7-3)$$

式中: T_1 ——消能减震结构的基本自振周期 (s);

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

θ ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角 ($^\circ$);

Δu ——第 j 个消能器两端的相对水平位移 (m)。

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

5 非线性粘滞消能器在水平地震作用下往复一周所消耗的能量，可按下式计算：

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{djmax} \Delta u_j \quad (6.3.74)$$

式中： λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表6.3.7取值；

F_{djmax} ——第j个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力(kN)。

表6.3.7 λ_1 值

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

注：其他阻尼指数对应的 λ_1 值可线性差值。

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

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (6.3.7-5) \text{ 式中: } A_j$$

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

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

6.4 主体结构设计

6.4.1 主体结构非消能子结构构件的截面验算，应按本规程第4章的相关内力组合公式计算。地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，应按本规程第5章进行设计。

6.4.2 消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

1 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力。构件作用效应计算时，应考虑构件的弹塑性。在罕遇地震作用下材料强度可采用现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011规定的极限值；

2 消能子结构的框架柱在两个方向都应满足上述强度要求；

3 消能子结构下方至少一层的对应竖向构件也应满足上述强度要求；

4 消能子结构中的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用。消能器不宜与大墙肢相连，当剪力墙设有边框柱时，可仅将边框柱视为消能子结构的竖向构件；

5 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值应考虑消能部件端部的附加弯矩；

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

7 当消能器的轴心与消能子结构非消能部件构件的轴线有偏差时，非消能部件构件设计应考虑消能器抗力引起附加弯矩或因偏心作用而引起的平面外弯曲的影响。

6.4.3 消能减震子结构设计方法可按下列流程进行：

1 进行小震振型分解反应谱法分析，取材料设计值进行结构设计，得到消能子框架配筋。消能子结构要满足强柱弱梁要求；

2 根据上述配筋，对消能子结构进行罕遇地震作用下结构弹塑性分析，得到罕遇地震下消能子结构的内力；

3 根据弹塑性计算得到的内力，对子结构进行校核，框架柱和梁应满足抗剪弹性，节点连接部位对应节点区域应满足抗剪弹性，当采用支墩连接时，支墩根部对应梁截面应满足抗弯和抗剪弹性；

4 消能子结构的抗震等级高于主结构一级，当主结构为特一级时不再提高。

6.4.4 消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

1 消能减震结构的弹性层间位移角限值应按表4.5.1 规定取值；

2 消能减震结构的弹塑性层间位移角限值应按本规程表4.5.2 规定取值；

3 地震时正常使用建筑采用消能减震结构时，弹塑性层间位移角限值应按本规程表5.4.1的规定取值。

6.4.5 主体结构和消能部件子结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定取值。

6.4.6 主体结构的构造措施应符合下列规定：

1 当消能减震结构的抗震性能明显提高时，主体结构的抗震构造措施要求可适当降低，降低程度可根据消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角与规程规定的弹塑性层间位移角限值之比确定，当消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角计算值小于限值的50%时，主体结构的构造措施可降低一度执行，最大降低程度应控制在一度以内；

2 与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

6.4.7 消能部件子结构的构造措施应符合下列规定：

1 消能部件子结构的抗震构造措施宜按设防烈度要求提高一级，当抗震等级为特一级时不再提高；

2 消能部件子结构为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的要求；消能部件子结构为剪力墙时，其端部宜设暗柱，其箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，不应低于现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中框架柱的要求。

求；

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

4 消能子结构的设计应采取加强节点、构件延性的措施，沿构件全长提高配筋率、增设型钢等。

7 消能部件的连接与构造

7.1 一般规定

7.1.1 消能器与主体结构的连接构件包括：支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等。应根据消能器的工作机制以及工程实际进行合理选择。

7.1.2 当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、“V”字形和人字形等布置，不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比或径厚比应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的相关规定。

7.1.3 消能器与连接构件以及消能器和连接构件与节点板、预埋件的连接可采用高强螺栓、焊接或销轴连接，其计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的规定、《钢结构焊接规范》GB 50661、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的规定。高强螺栓应按摩擦型进行设计。

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

7.1.5 与消能器相连的支撑、支墩(墙体)、预埋件及节点板设计的作用力取值，应符合下列规定：

1 对位移相关型或速度相关型消能器，取在设计位移或设计速度下对应阻尼力的1.2倍或极限阻尼力；

2 对于屈曲约束支撑，取其极限承载力的1.2倍。

注：屈曲约束支撑(BRB)与主体结构连接的承载力验算可参考本标准附录G。

7.1.6 消能器与非结构构件之间应采用柔性连接，保证消能器的有效变形空间。

7.1.7 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板应保持弹性。

7.2 预埋件

7.2.1 预埋件应根据实际受力情况综合计入所受剪力、拉压力及弯矩等作用，并根据组合内力计算预埋件的总截面面积。

7.2.2 和预埋件连接的耳板、连接板应具有足够的刚度，使得埋件满足平截面假定，埋件的钢筋、锚栓位于耳板、连接板范围以外时，不应考虑该部分钢筋、锚栓对于埋件抗弯能力的贡献。

7.2.3 预埋件的设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的规定。当预埋件受力较为复杂时应根据实际受力情况适当加强。

7.2.4 当埋件的钢筋、锚栓和混凝土构件里的钢筋形成有效传力时，埋件的钢筋、锚栓间距不应小于3倍钢筋、锚栓直径和30mm。

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

7.3 节点板

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

7.3.2 节点板应按本规程第7.1.5条的消能器作用力进行设计。

7.3.3 节点板与预埋件连接焊缝验算的作用力可采用均匀力法、泛均匀力法、平行力法或按预埋件刚度分配法计算得到的分力值。

7.3.4 节点板在抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f \quad (7.3.4-1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos^2\alpha_i}} \quad (7.3.4-2)$$

式中: N ——作用于节点板上的轴力组合效应设计值, N 取轴向拉压力极限值的1.2倍;

$A_i=tl$ ——其中, 当为螺栓连接时, A 应取净截面面积;

n ——第*i*段的拉剪折算系数;

f ——钢材的抗拉强度设计值;

α ——第*i*段破坏线与拉力轴线的夹角;

t ——板件厚度;

l_i ——第*i*段破坏段的长度, 应取板件中最危险的破坏线的长度。

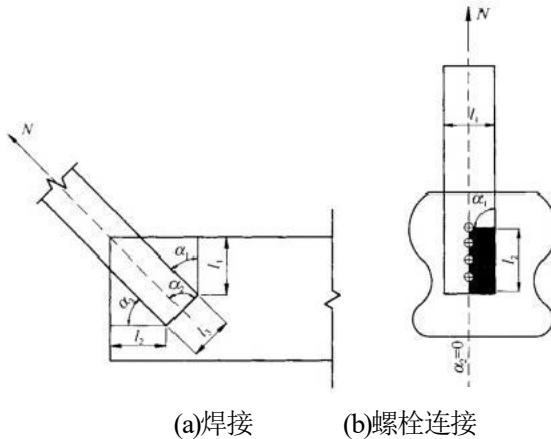


图7.3.4节点板的拉剪撕裂示意图

7.3.5 节点板在压力作用下的稳定性, 应符合下列规定:

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

2 对框架梁上的节点, 其节点板 h/t 及 l/t 不得大于

$17.5\sqrt{235/f_y}$ 。当 h/t 及 l/t 不大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时, 节点板的稳定承载力可取为 $0.8b\ell_f$, 其中 $b\ell$ 为梁中节点板总有效长度; 当 h/t 或 l/t 大于 $10\sqrt{235/f_y}$ 时, 按本条第3款进行计算;

3 设有斜向支撑或消能器的节点板, 在其轴向压力作用下, 屈折线 B_0 穿过的节点板的稳定性应满足下列要求, 如图:

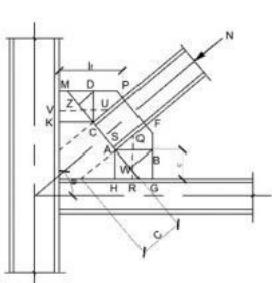


图7.3.5-1单斜撑节点板

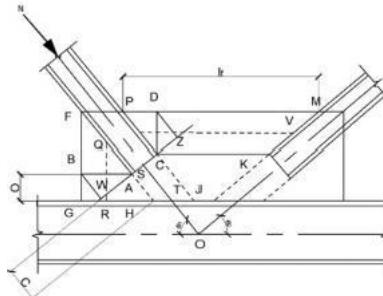


图7.3.5-2双斜撑节点板

$$\frac{b_i}{B_0} N \cos \alpha_i \leq l_i t_s \varphi_i f \quad (7.3.5)$$

式中: B_0 ——屈折线总长度, 穿过 h_1 中点 O 垂直于支撑;

b_i ——分别为屈折线上各加劲肋之间 l_i 在屈折线上的投影长度(mm);

t_s ——节点板厚度(mm);

φ_i ——各受压区板件的轴心受压稳定系数, 可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017中 b 类截面查取; 其相应的长细比分别为 $\lambda_i = 2.77h_i/t$ 。

7.3.6 节点板加劲肋的厚度应满足《钢结构设计标准》GB 50017中的构造规定; 与支撑直接相连的加劲肋厚度及强度不得小于支撑的腹板与翼缘。

7.3.7 连接节点焊缝的相关要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的相关规定。

7.4 支撑和支墩、剪力墙

7.4.1 消能器相连的支墩、剪力墙应按本规程第7.1.5条消能器附加的水平剪力进行截面验算。

7.4.2 支撑和支墩、剪力墙的计算长度应符合下列规定：

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

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

3 采用柱型支撑时，应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

7.4.3 与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足本规程第6.2.3条的要求，与其他类型消能器连接的支撑和支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的2倍。

7.4.4 用混凝土短墙作为连接件时，埋件边缘和混凝土短墙边缘的距离L 不应小于300mm，且应满足：

$$1.5F_{dmax} \leq 0.2\beta_c f_c bL \quad (7.4.4-1)$$

$$1.5F_{dmax} \leq f_y A_s L \quad (7.4.4-2)$$

式中： F_{dmax} ——消能器极限阻尼力；

β ——混凝土强度影响系数；

f ——混凝土强度设计值；

b ——混凝土短墙厚度；

f_y ——钢筋强度设计值；

A_s ——有效宽度范围内墙体水平钢筋的总面积，有效宽度范围取L 和锚筋深度的较小值。

7.4.5 用混凝土短墙作为连接件时，短墙内应设置暗梁暗柱形成等效框架，该等效框架的承载力只计入钢筋的承载力，不应小于 $1.5F_{dmax}$ 作用下的内力，必要时可设置斜向配筋形成等效桁架。

7.5 屈曲约束支撑连接

7.5.1 约束支撑节点板可以采用矩形节点板或异形节点板。节点板宜采用封边。

7.5.2 屈曲约束支撑的轴线宜交汇于梁柱构件轴线的交点，偏离交点时的偏心距不宜超过支撑杆件宽度，并应计入由此产生的附加弯矩。当采用单斜杆支撑形式时，宜在该楼层反向成对布置，屈曲约束支撑的水平夹角宜控制在30°~60°之间。

7.5.3 屈曲约束支撑采用人字形或“V”字形的布置形式时，应采取合理的措施限制与支撑相连的梁侧向变形和扭转变形。当与屈曲约束支撑相连的梁侧向变形和扭转变形得不到限制时，应计人梁侧向刚度和扭转刚度对节点平面外稳定性的影响。

7.5.4 屈曲约束支撑与节点板采用焊接连接时，应采用坡口对接焊，焊接的强度验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定，焊缝质量等级要求二级及其以上；屈曲约束支撑与节点板采用螺栓连接时，螺栓与连接板的验算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定；屈曲约束支撑与节点板采用销轴连接时，屈曲约束支撑耳板、节点板与销轴的设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定，销轴与屈曲约束支撑耳板、节点板间的间隙不宜大于0.1mm。

7.5.5 “V”形、人字形布置的屈曲约束消能支撑的连接节点，应能承担支撑节点处产生的竖向力差值，竖向力差值不应小于单根屈曲约束消能支撑极限承载力竖向分量的15%。

7.5.6 宜采取措施减少开合效应的不利影响。当屈曲约束支撑设计承载力的水平分力与对应消能子结构钢梁的轴向屈服承载力(按标准值计算)之比不超过0.3，且节点板未设置边肋时，宜在验算该支撑角部节点板与梁柱连接焊缝的强度时记入梁柱开合效应的影响。

7.5.7 屈曲约束支撑连接示意如下：

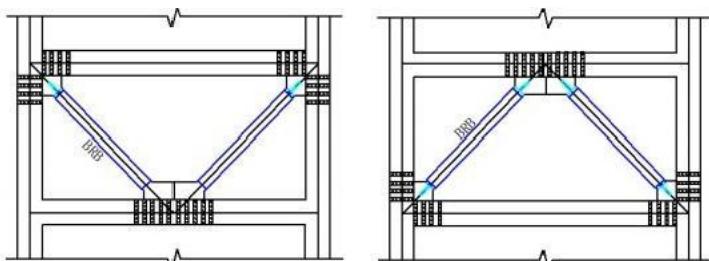


图7.5.7-1混凝土构件与屈曲约束支撑连接示意

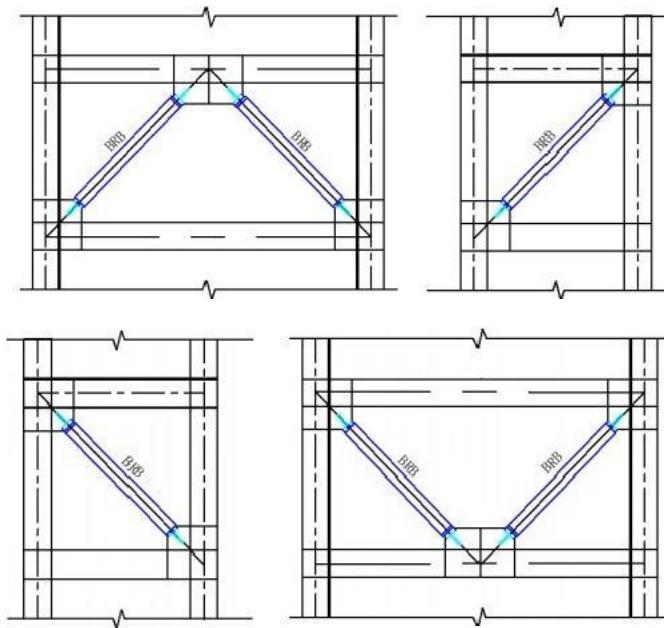


图7.5.7-2钢构件与屈曲约束支撑连接示意

7.6 金属屈服、摩擦消能器连接

7.6.1 金属屈服型消能器、摩擦消能器与主体的连接方式，可尽量结合建筑隔墙位置放置，通常采用支撑式和墙式连接，支撑式可根据平面交通的需要采用“V”形或人字形布置，墙式可

根据需要设置混凝土墙式和钢桁架墙式连接，墙式连接可根据建筑平面的特点调整位置。

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

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

7.6.4 金属屈服型消能器、摩擦消能器的连接见图7.6.4。

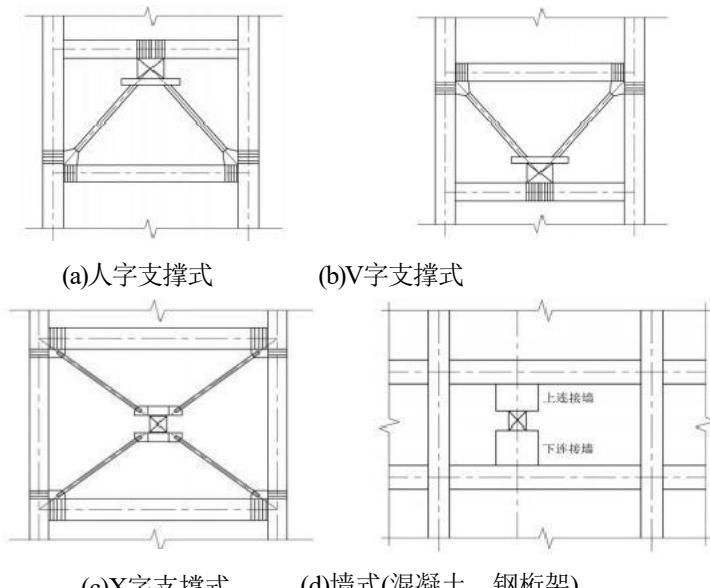
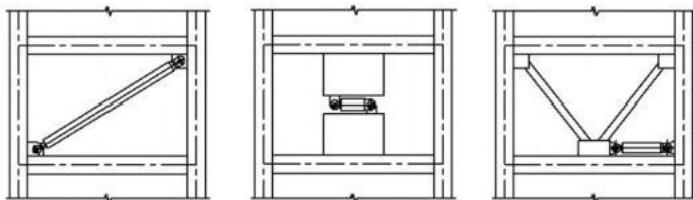


图7.6.4 消能器布置型式

7.7 黏滞消能器连接

7.7.1 黏滞消能器与主体的连接方式有支撑型，支墩型，剪切连接型等多种型式。可结合建筑隔墙位置放置，宜布置在层间相对速度、位移较大的楼层。采用中间柱型连接时，应设置暗梁暗柱，且锚筋应在暗柱的内侧。



(a)支撑型 (b)中间柱型或墙式(混凝土) (c)剪切连接

图7.7.1 消能器布置型式

7.7.2 黏滞阻尼墙连接可参考本规程第7.6节中墙式连接要求。

8 消能器的技术性能

8.1 一般规定

8.1.1 消能器的设计使用年限不宜小于建筑物的设计工作年限，消能器达到其使用年限应符合本规程第3.4.1条的规定。

8.1.2 消能器应具有良好的抗疲劳和抗老化性能，消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的要求，不满足时应作保温、除湿、防紫外线、定期防锈等相应处理。黏弹性消能器不得用于低于0°C或高于40°C温度的工作环境。

8.1.3 消能器的外观应符合下列规定：

1 消能器外表应光滑，无明显缺陷；

2 消能器需要考虑防锈和防火时，应外涂防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理，但不能影响消能器的正常工作；

3 消能器的外观及尺寸偏差应符合本规程有关规定。

8.1.4 消能器的性能应符合下列规定：

1 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍最大阻尼力或1.5倍消能器最大出力选取，应保证消能器及附属构件在罕遇地震作用下都能正常工作；

2 消能器在要求的性能检测试验工况下，试验滞回曲线应平滑、稳定。

8.1.5 本规程未包含的消能器类型和连接做法均应经过消能减震结构或子结构试验，验证消能器的性能和减震效果。

8.1.6 消能器力学性能参数可参照本规程附录F确定。

8.1.7 消能器若采用销轴连接，其连接缝隙不宜大于0.1mm，超过时应考虑缝隙对消能器性能的影响。

8.1.8 检验不合格的消能器不得在工程中使用。

8.1.9 除特殊规定外，消能器的型式检验、出厂检验及见证检验，应符合现行国家相关标准的规定，检验确定的产品性能应满足设

计要求。

8.2 金属屈服型消能器

8.2.1 金属屈服型消能器外观应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器应标记清晰，表面平整，无锈蚀，无毛刺，无机械损伤。外表采用防锈措施，涂层均匀；
- 2 消能段和非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷；
- 3 金属屈服型消能器尺寸偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.2.2 金属屈服型消能器的材料应符合下列规定：

- 1 金属屈服型消能器可采用钢材、铅、合金等材料制作；
- 2 采用钢材制作的金属屈服型消能器的消能部分钢板厚度不宜超过 80mm ，不应出现层状撕裂。钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能；
- 3 金属屈服型消能器中所用各种材料性能应符合现行国家相关标准的规定。金属屈服型消能器采用其他钢材，质量指标应符合《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077或《建筑用低屈服点钢板》GB/T 28905等现行国家标准的规定。核心单元原材料除提供材料合格证明外，还需提供材性复检报告。

8.2.3 金属屈服型消能器基本力学性能，疲劳性能及测试方法应符合表8.2.3的规定。

表8.2.3金属屈服型消能器基本力学性能、疲劳性能要求及测试方法

序号	项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	1 屈服承载力	每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内	同下
	2 屈服位移	每个产品的屈服位移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	

续表8.2.3

序号	项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	3 弹性刚度	每个产品的弹性刚度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	试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为0.1uo、0.3uo、0.5uo、0.8uo、1.0uo、1.2uo，每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法。绘制阻尼力-位移滞回曲线
	4 最大承载力	设计位移下对应的承载力，每个产品的最大承载力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	
	5 极限位移	实测值不应小于设计位移的1.2倍	
	6 屈服后刚度	每个产品的屈服后刚度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	
	7 滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 $\pm 15\%$ 以内	
	1 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 $\pm 15\%$	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于30圈绘制阻尼力-位移滞回曲线
	2 滞回曲线	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 $\pm 15\%$	
	3 滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面积偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$ 以内	

注：uo 为消能器设计位移。

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

8.3 屈曲约束支撑

8.3.1 屈曲约束支撑根据需求可采用外包钢管混凝土型屈曲约束支撑、外包钢筋混凝土型屈曲约束支撑或全钢型屈曲约束支撑等。

8.3.2 屈曲约束支撑外观应符合下列规定:

- 1 屈曲约束支撑外观应标记清晰, 表面平整, 无锈蚀, 无毛刺, 无机械损伤, 外表应采用防锈措施, 涂层应均匀;
- 2 耗能段和非耗能段应光滑过渡, 不应出现缺陷;
- 3 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表8.3.2的规定。

表8.3.2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	±3mm
支撑横截面有效尺寸	±2mm

8.3.3 屈曲约束支撑核心单元应符合下列规定:

- 1 核心单元的材料宜采用低屈服点和高延伸率的钢材;
- 2 核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等, 宽厚比或径厚比限值宜符合下列规定:
 - 1)“一”字形板截面宽厚比取10~20;
 - 2)“十”字形截面宽厚比取5~10;
 - 3)环形截面径厚比不宜超过22;
 - 4)其他截面形式, 取现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011中心支撑的径厚比或宽厚比的限值。
- 3 核心单元截面采用“一”字形、“十”字形、“H”字形和环形时, 钢板厚度宜为6mm~80mm。

8.3.4 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。

8.3.5 屈曲约束支撑连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。

8.3.6 屈曲约束支撑的材料应符合下列规定：

1 核心单元宜采用高延性钢材。核心单元采用其他钢材时，质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《合金结构钢》GB/T 3077或《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905的要求。芯材应符合现行国家标准《金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1和《金属材料室温压缩试验方法》GB/T7314 的规定；

2 约束单元一般采用碳素结构钢或合金结构钢，钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700或《合金结构钢》GB/T 3077的要求。填充材料抗压强度不宜低于20MPa。

8.3.7 屈曲约束支撑基本力学性能、疲劳性能和测试方法应符合表8.3.7的相关规定。

表8.3.7基本力学性能、疲劳性能和测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	1 屈服承载力	每个产品的屈服承载力实测值允许偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内	试验采用位移控制加载制度，加载位移分别为0.1u0, 0.3u0, 0.5u0, 0.8u0, 1.0u0, 1.2u0, 每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法
	2 屈服位移	每个产品的屈服位移实测值允许偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内	
	3 弹性刚度	每个产品的弹性刚度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产品设计值的±10%以内	
	4 最大承载力	设计位移对应的荷载，每个产品的实测值允许偏差应在设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内	
	5 极限位移	实测值不应小于设计位移的1.2倍	
	6 屈服后刚度	每个产品的屈服后刚度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产品设计值的±10%以内	

续表8.3.7

序号		项目	性能要求	测试方法
基本力学性能	7	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈,任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的 $\pm 15\%$ 以内	试验采用位移控制加载制度,加载位移分别为 $0.1u_0$, $0.3u_0$, $0.5u_0$, $0.8u_0$, $1.0u_0$, $1.2u_0$,每级加载3个循环。采用三角波或正弦激励法
	8	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1.2	
疲劳性能	1	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、最小阻尼力量平均值的偏差不应超过 $\pm 15\%$	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载,加载不少于30圈极限阻尼力绘制阻尼力-位移滞回曲线
	2	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 $\pm 15\%$	
	3	滞回曲线面积	实测产品任一循环的滞回曲线面积偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$ 以内	

注: u_0 为消能器设计位移。

8.3.8 屈曲约束支撑的力学行为可采用双线性本构模型或Wen模型描述。

8.4 摩擦消能器

8.4.1 摩擦消能器产品外观应符合下列规定:

1 摩擦消能器外观应标记清晰,表面平整,无机械损伤,外表采用防锈措施,涂层均匀;

2 摩擦消能器尺寸偏差应满足表8.4.1的要求。

表8.4.1 摩擦消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
消能器总高度	±2mm
消能器总宽度	±2mm
消能器总厚度	±2mm

8.4.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

- 1 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等，且应满足消能器预压力作用下的强度要求；
- 2 用于制作摩擦消能器的钢材质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 或《合金结构钢》GB/T3077 的要求，且应选用不低于Q235B 的钢材。

8.4.3 摩擦消能器基本力学性能和测试方法应符合表8.4.3的规定。**表8.4.3 摩擦消能器力学性能要求**

序号	项目	性能要求	测试方法
1	起滑阻尼力	每个产品的起滑阻尼力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产品设计值的±10%以内	采用三角波或正弦激励法进行加载，设计位移 u_0 下连续加载 3 个循环，绘制阻尼力-位移滞回曲线
2	起滑位移	每个产品起滑位移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产品设计值的±10%以内	
3	摩擦荷载	每个产品摩擦荷载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产品设计值的±10%以内	
4	极限位移	每个产品极限位移的实测值不应小于设计值的1.2倍	
5	滞回曲线	任一循环的实测滞回曲线应稳定、饱满、光滑、无异常。产品在设计位移下连续加载不少于3圈，任一循环中滞回曲线包络面积偏差应在实测平均值的±15%以内	
6	起滑阻尼力与摩擦荷载偏差	起滑阻尼力与摩擦荷载的偏差应在摩擦荷载的±15%以内	

注： u_0 为消能器设计位移。

8.4.4 摩擦消能器的耐久性包括老化性能、疲劳性能。摩擦消能器的老化是指摩擦材料特性的老化以及摩擦面的氧化或生锈导致摩擦系数变化引起滞回特性的变化，应符合表8.4.4的规定。

表8.4.4摩擦消能器耐久性要求

序号		项目	性能要求	测试方法
老化性能	1	摩擦荷载	老化前后摩擦荷载的变化率应在 $\pm 15\%$ 以内	试件放入恒温干燥箱中，保持温度80℃，保持192h后取出完成测试
	2	外观	目视无变化	
疲劳性能	1	摩擦荷载	任一个循环的最大、最小阻尼力应在所有循环最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 以内	采用三角波或正弦激励法在设计位移下进行连续往复加载，加载不少于30圈，绘制阻尼力-位移滞回曲线
	2	滞回曲线	1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 以内 2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$ 以内	
	3	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$ 以内	

8.4.5 摩擦消能器中的受力单元应具有足够的刚度，不应产生翘曲和侧向失稳，并应具备防止应力松弛的构造。

8.4.6 摩擦消能器的力学行为可采用理想弹塑性模型描述。

8.5 黏滞消能器

8.5.1 黏滞消能器是黏滞消能器和黏滞阻尼墙的统称，其外观应符合表8.5.1的规定。

表8.5.1 黏滞消能器外观要求

序号	黏滞消能器	黏滞阻尼墙
1	外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施，涂层应均匀	
2	密封处制作应精细、无渗漏	
3	尺寸允许偏差应为±2mm	长度误差应为±3mm;截面有效尺寸偏差应为±2mm

8.5.2 黏滞消能器的材料应符合下列规定：

- 1 黏滞阻尼材料的黏温关系稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强；
- 2 用于黏滞消能器的钢材应根据设计需要选用，应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 的规定；
- 3 密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的泛塞封密封或金属密封材料，主密封不宜使用O型密封圈。

8.5.3 黏滞消能器的基本力学性能和测试方法应符合表8.5.3的规定。

表8.5.3黏滞消能器基本力学性能及测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	极限位移	每个产品的极限位移实测值不应小于消能器极限位移设计值	采用静力加载试验，控制试验机的加载系统使消能器匀速缓慢运动，记录其运动的极限位移值
2	最大阻尼力	每个产品的最大阻尼力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	采用正弦激励法，输入位移 $u=u_0\sin(2\pi ft)$,加载频率为 f_0 ,连续进行5个循环，记录第3个循环所对应的最大阻尼力作为实测值
3	极限速度	每个产品的极限速度实测值不应小于极限速度设计值	同下

续表8.5.3

序号	项目	性能要求	测试方法
4	阻尼系数	每个产品的阻尼系数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	阻尼指数	每个产品的阻尼指数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	a)采用正弦激励法，输入位移 $u=uisin(2\pi fit)$ 来控制试验机的加载系统； b)消能器的加载频率为 f_i ，位移幅值 u_1 分别取 $0.1u_0$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ ，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、极限速度，通过滞回曲线拟合得到的阻尼系数、阻尼指数作为实测值；取每个工况第3次循环时滞回曲线包络的面积作为对应工况滞回曲线面积的实测值
6	初始刚度	每个产品的初始刚度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	滞回曲线	产品在设计位移下连续加载5圈，第3圈滞回曲线面积实测值偏差应在设计值的±15%以内	

注： u_0 为消能器设计位移， f_i 为消能减震结构第一阶自振频率。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。

8.5.4 黏滞消能器的耐久性主要考虑疲劳性能、风荷载测试、密封性能，且要求消能器在试验后无渗漏，无裂纹，其相关性能和测试方法应符合表8.5.4的规定。

表8.5.4黏滞消能器耐久性和测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
疲劳性能	1 阻尼指数	每个产品阻尼指数的实测值偏差应在设计值的±15%以内	用正弦激励法，当主要用于地震响应控制时，输入位移 $u=uosin(2\pi fit)$ ，加载不少于30圈
	2 最大阻尼力	任一个循环的最大阻尼力实测值偏差应在设计值的±15%以内，实测值的平均值应在产品设计值的±10%以内	

续表8.5.4

序号	项目	性能要求	测试方法
疲劳性能	3 滞回曲线	1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力实测值偏差应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 以内 2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移实测值偏差应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$ 以内	用正弦激励法，当主要用于地震响应控制时，输入位移 $u=u_{0}\sin(2\pi ft)$ ，加载不少于30圈
	4 滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内	
风荷载测试	1 最大阻尼力	所有循环中的最大、最小阻尼力变化率应为 $\pm 15\%$	输入位移 $u=u_{w}\sin(2\pi ft)$ ，连续加载60000个循环，每2万次可暂停修整。绘制阻尼力-位移滞回曲线。密封良好，无漏油
	2 滞回曲线面积	任一循环实测的滞回曲线稳定饱满、光滑无异常，所有循环中的滞回曲线面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 以内	
性能		实测产品在极限位移及过载作用下不应出现渗漏、屈服或破损等现象	慢速试验和1.5倍最大阻尼力的静力过载试验

注： u_0 为消能器设计位移， f_1 为消能减震结构第一阶自振频率， 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。风荷载测试仅适用于控制风荷载的黏滞消能器测试。

8.5.5 黏滞消能器的其他相关性能及测试方法应符合表8.5.5的规定

表8.5.5黏滞消能器其他相关性能及测试方法要求

项目	指标	性能要求	测试方法
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化不大于 $\pm 15\%$	输入位移 $u=u_{0}\sin(2\pi ft)$ ，测定产品为常温条件下，测试频率为 $0.85f_1, 1.0f_1, 1.1f_1, 1.2f_1$ ，输入位移幅值按公式 $u_1=u_0f_1/f$ 计算

续表8.5.5

项目	指标	性能要求	测试方法
温度相关性能	最大阻尼力	变化不大于 $\pm 15\%$	测定产品在输入位移 $u=u_0 \sin(2\pi f_i t)$, 试验温度为-40°C~+40°C, 每隔10h记录其最大阻尼力作为实测值

注: f_i 为消能减震结构的第一阶自振频率, f 为加载频率, u_0 为黏滞消能器设计位移。

8.5.6 隔震层用黏滞消能器的疲劳性能加载圈数 n 应按照下式确定, 且不应小于5:

$$nEa \geq 1.2E \quad (8.5.6)$$

其中, Ea 为隔震层消能器单圈的滞回耗能, E 为该消能器在最不利工况下的理论耗能需求。

8.5.7 黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦(Maxwell) 模型描述。一般阻尼力的表达式宜采用下列公式计算:

$$Fd(t) = Cd \operatorname{sgn}(Vd(t)) |Vd(t)|^\alpha \quad (8.5.7)$$

式中: $F_d(t)$ ——黏滞阻尼力(kN);

C_d —— 黏滞阻尼系数(kN/(mm/s));

$Vd(t)$ —— 黏滞消能器两端相对速度(mm/s);

α ——阻尼指数;

t ——时间(s)。

8.5.8 黏滞消能器火灾时应具有阻燃性; 火灾后应对消能器进行力学性能检测, 其指标下降超过15%时应进行更换。

8.6 黏弹性消能器

8.6.1 黏弹性消能器的外观及内部应符合下列规定:

1 黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺, 涂刷防锈涂料两次, 钢板坡口焊接, 焊缝一级、平整;

2 黏弹性材料表面应密实、无裂缝, 剖切后内部应连续、

均匀、密实、无孔洞；

3 黏弹性材料与约束钢构件(一般为钢板或钢管)之间应密实、无裂缝；

4 黏弹性消能器的尺寸偏差应满足表8.6.1的要求：

表8.6.1 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	±3mm
黏弹性消能器截面有效尺寸	±2mm

8.6.2 黏弹性材料应满足表8.6.2的要求：

表8.6.2 黏弹性材料性能指标

项目	指标	
拉伸强度/MPa	≥5	
扯断伸长率%	≥500	
扯断永久变形/%	≤80	
热空气老化70°C×72h- (0~40)°C工作频率材料损耗因子β	拉伸强度变化率/%	≥-20且≤20
	扯断伸长变化率1%	≥-20且≤20
钢板与阻尼材料之间的黏合强度/MPa	≥2.5	

8.6.3 黏弹性消能器的力学性能应符合表8.6.3的规定：

表8.6.3 黏弹性消能器基本力学性能及测试方法要求

序号	项目	性能要求	测试方法
1	阻尼系数	实测值偏差在产品设计值的±15%以内，	
2	阻尼指数	实测值的偏差平均值应在产品设计值的±10%以内	同下
3	有效刚度		
4	最大阻尼力		

续表8.6.3

序号	项目	性能要求	测试方法
5	滞回曲线	产品在各要求工况下分别连续加载5圈,任一工况第3圈滞回曲线面积的实测值偏差应在对应工况理论计算值的±15%以内	采用正弦激励法, 输入位移 $u=u_0 \sin(2\pi f t)$ 来控制试验机的加载系统; 消能器的加载频率为 f_1 , 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 , 每个工况连续加载5个循环, 取第3次循环时滞回曲线, 根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力; 输入位移 $u=u_0 \sin(2\pi f t)$, 检测频率 f 为 f_1 、 $2.0f_1$ 、 $3.0f_1$, 每个工况连续加载5个循环; 取第3个循环时的滞回曲线, 根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数、阻尼指数和最大阻尼力; 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
6	极限应变	每个产品极限应变实测值不应小于极限应变设计值, 且不应小于1.2倍设计位移对应的应变	控制位移 $u=u_1 \sin(2\pi f t)$; u 依次取 1.1 u_0 、1.2 u_0 、1.3 u_0 、1.4 u_0 、1.5 u_0 , 工作频率 f_1 , 连续加载3个循环; 加载过程中黏弹性材料和约束钢板或钢管件不应出现剥离现象, 如果出现剥离现象, 应停止实验, 并取此时加载位移 u_1 作为计算极限应变的依据

注: u_0 为消能器设计位移, f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。

8.6.4 黏弹性消能器的耐久性主要考虑老化性能、疲劳性能, 耐久性及测试方法应符合表8.6.4的规定。

表8.6.4黏弹性消能器耐久性和测试方法要求

序号		项目	性能要求	测试方法
老化性能	1	最大阻尼力	变化率在 $\pm 15\%$ 以内	把试件放入鼓风电热恒温干燥箱中,保持温度80℃,经192h后取出,按表8.6.3的规定进行力学性能试验
	2	阻尼系数、阻尼指数	变化率在 $\pm 15\%$ 以内	
	3	外观	目视无变化	
疲劳性能	4	变形	变化率在 $\pm 15\%$ 以内	输入位移采用 $u=uosin(2\pi f t)$,采用位移控制进行连续往复加载,加载不少于30圈绘制阻尼力-位移滞回曲线
	5	外观	目视无变化	
	6	最大阻尼力	每次连续加载,第30圈相比第3圈,性能下降不超过15%	
	7	滞回曲线	1)任一个循环中位移在零时的最大、最小阻尼力实测值偏差应在所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的 $\pm 15\%$ 以内; 2)任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移实测值偏差应在所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的 $\pm 15\%$ 以内	
	8	滞回曲线面积	任一循环的滞回曲线面积实测偏差应在所有循环的滞回曲线面积平均值的 $\pm 15\%$ 以内	

注: uo 为消能器设计位移, f_1 为消能减震结构第一阶自振频率。

8.6.5 黏弹性消能器的相关性应符合表8.6.5的规定。

表8.6.5黏弹性消能器相关性及测试方法要求

项目	性能要求	测试方法
----	------	------

温度相关性	等效刚度、阻尼系数、阻尼指数	变化率不超过 $\pm 15\%$	输入位移 $u=u_0 \sin(2\pi f t)$, 试验温度为0~40°C, 每隔10°C作为一个测试工况; 每个工况连续加载5个循环, 取第三圈的滞回曲线, 根据滞回曲线计算等效刚度、阻尼系数和阻尼指数。每个温度下放入恒温箱24h后30min内完成检测
-------	----------------	-------------------	---

续表8.6.5

项目	性能要求		测试方法
频率相关性	零位移 对应阻尼力	变化率不超过 $\pm 15\%$	输入位移 $u=usin(2\pi ft)$, 测定产品为常温条件下, 测试频率为 $0.85f_1$, $1.0f_1, 1.1f_1, 1.2f_1$, 输入位移幅值按公式 $u_1=u_0f_1/f$ 计算

注: u_0 为消能器设计位移, f 为消能减震结构第一阶自振频率, 基准温度 23°C 。

8.6.6 黏弹性消能器在火灾时应具有阻燃性, 火灾后应对黏弹性消能器进行基本力学性能和耐久性能检测, 其指标与设计值偏差超过 15% 时应进行更换。

8.6.7 黏弹性消能器力学行为可采用开尔文(Kelvin) 模型描述。

9 消能部件的检验

9.0.1 消能部件产品检验分为型式检验、出厂检验和进场见证检验。

9.0.2 消能部件型式检验应符合《建筑消能阻尼器》JG/T 209 及本规程的内容及要求；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。

9.0.3 消能部件出厂检验由产品生产厂家完成；出厂检验内容对金属消能器为外观检验；对黏滞消能器和摩擦消能器除外观检验外尚应包括常规力学性能检验，黏滞消能器尚应进行密闭性能检验；产品出厂受检率为100%。

9.0.4 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，并做永久性标识，并应由具有检测资质的第三方进行检验，尚应符合下列规定：

1 对屈曲约束支撑、金属屈服型消能器、摩擦消能器、黏弹性消能器和高阻尼橡胶消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的3%，但不应少于2件，检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构；

2 对黏滞消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的20%，且不应少于2个。检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测合格后，消能器若无任何损伤、基本力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构，否则不得用于主体结构；

3 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。

9.0.5 根据试验数据确定消能器的性能参数应符合下列规定：

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

10 消能部件的施工、验收和维护

10.1 一般规定

10.1.1 消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。消能部件工程也可划分成若干个子分部工程，并符合下列规定：

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。

10.1.2 消能部件子分部工程的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制施工组织设计，确定施工技术方案，并按规定进行报批。

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

10.1.4 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026和《建筑变形测量规范》JGJ 8的规定。

10.1.5 消能器现场卸货和垂直、水平运输宜采用专用吊装和运输设备进行，且应有防碰撞和防掉落措施，保证消能器安装安全、平稳。

10.1.6 消能部件的施工安全应符合现行国家标准《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870的有关规定，并根据消能部件的施工安装特点，在施工组织设计中制定施工安全措施。

10.2 进场验收

10.2.1 消能部件进场时，应进行进场验收，并经监理(建设)

单位核准。

10.2.2 消能部件应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等保护措施。消能部件进场后，应按种类、规格、批次分开贮存。存储环境应选在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，不得混放、散放，严禁与酸碱、油类、有机溶剂或腐蚀性化学品等接触。

10.2.3 消能部件进场应有型式检验、出厂检验及相关质量证明文件，并应按规定进行见证检验。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，应由第三方进行检验，见证检验的数量和项目应符合本规程第9.0.4节的有关规定。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

10.2.4 消能部件进场应提供下列质量证明文件：

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

2 消能器和连接件进场时，应提供产品合格证、外观质量及尺寸偏差、出厂检测报告；

3 项目所使用全部规格消能器型式检验报告；

4 其他必要证明文件。

10.2.5 消能器尺寸偏差应符合表10.2.5-1 规定，检查数量应为全数的20%，且不少于2件；检查方法可为观察、拉线、钢尺测量。消能部件观感质量要求应符合表10.2.5-2 规定，检查数量应为全数，检查方法可为观察。

表10.2.5-1 消能器尺寸允许偏差(mm)

消能器类型	质量指标	
金属屈服型消能器	消能器长度、宽度、高度	±2
屈曲约束支撑	支撑长度	±3
	支撑横截面有效尺寸	±2
	支撑侧弯矢量	≤L/1000,且≤10
	支撑扭曲	≤h(d)/250且≤5

续表10.2.5-1

消能器类型	质量指标	
摩擦消能器	消能器总宽度、总高度、总厚度	±2
黏滞消能器 (黏滞阻尼墙)	长度	±3
	截面有效尺寸	±2
黏弹性消能器	长度	±3
	截面有效尺寸	±2

注: L-支撑长度; h-支撑高度; d-支撑外径

表10.2.5-2 消能部件观感质量要求

消能器类型	质量要求
金属屈服型消能器	应表面平整, 无锈蚀, 无机械损伤, 不应出现缺陷, 外表应采用防锈措施, 涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定
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现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定
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现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定
黏滞消能器 (黏滞阻尼墙)	应表面平整, 无机械损伤, 无锈蚀, 无漏。外表应采用防锈措施, 涂层应均匀。焊缝外观质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定
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现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205的相关规定

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

10.3 消能部件的施工安装顺序

10.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器产品供应商共同确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666和《钢结构工程施工规范》GB 50755的规定。

10.3.2 消能减震结构的施工安装顺序，应符合下列规定：

- 1 划分主体结构施工流水段和消能器安装流水段；
- 2 根据主体结构特点、施工条件，结合主体结构施工流水段确定消能器的安装顺序；
- 3 结合主体结构传力体系及消能器平面的布置，确定同一部位各消能部件的局部安装顺序。

10.3.3 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应符合下列规定：

- 1 确定同一部位各消能部件的现场安装单元、安装连接顺序；
- 2 编制同一部位各消能部件的局部安装连接顺序，包括消能器、支撑、支墩、连接件的类型规格和数量。

10.3.4 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。消能器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。

10.3.5 对于钢结构消能部件的施工安装顺序，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下向上逐渐进行。

10.3.6 对于混凝土结构消能部件的施工安装顺序，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用后装法进行。

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

10.3.8 消能器预埋件安装完成后应进行隐蔽验收，合格后方能进入下道工序施工，隐蔽验收应形成隐蔽验收记录和必要的图像资料。

10.3.9 消能部件安装完成后应进行成品保护。

10.4 消能部件的施工安装过程质量控制

10.4.1 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

- 1 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查；
- 2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和现行国家有关标准的规定；
- 3 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，应核查安装方法和步骤；
- 4 对消能部件的制作质量应进行全面复查。

10.4.2 消能部件安装应符合下列要求：

- 1 安装前应打磨、清理预埋件表面的砂浆和其余杂物；
- 2 测量、复核安装位置的相关尺寸及轴线、标高、水平度、垂直度等指标；
- 3 制定现场水平、垂直运输和吊装方案，保证消能器安装安全、平稳；
- 4 焊工应持证上岗并在其允许范围内施焊；
- 5 正式焊接前应进行试焊接，检查试焊接的焊接质量，合格后方能正式焊接；
- 6 消能器安装时应核对消能器及连接板的规格、型号、安装位置是否符合设计图纸，避免安装错误；
- 7 消能器和连接板连接方式应符合设计要求，安装质量应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的规定。

10.4.3 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(柱)的施工应符合下列规定：

- 1)下悬臂墙(柱)钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位置，不应相互阻挡；
- 2)上、下悬臂墙(柱)平面位置、标高、垂直度偏差应在允许范围内；
- 3)上、下悬臂墙(柱)两方向轴线相对偏差及墙(柱)间净空高度应在允许范围内；
- 4)预埋件应与上下悬臂墙(柱)连接牢固，平面位置、标高、水平度应在允许范围内；
- 5)上、下悬臂墙(柱)混凝土浇筑前应按要求对预埋件或预埋锚筋进行隐蔽验收，合格后方可进行浇筑，浇筑质量应符合相关规范和设计要求。

2 对于钢结构，悬臂墙(柱)的施工应符合下列规定：

- 1)上、下悬臂墙(柱)平面位置、标高、垂直度偏差应在允许范围内；
- 2)上、下悬臂墙(柱)两方向轴线相对偏差及墙(柱)间净空高度应在允许范围内；
- 3)上、下悬臂墙(柱)与主体结构应连接牢固。

3 消能器与上下悬臂墙(柱)的连接施工应符合下列规定：

- 1)当连接方式采用高强螺栓连接时，应符合现行国家标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关规定；
- 2)当连接方式采用焊缝连接时，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 及《钢结构工程施工规范》GB 50755相关规定；
- 3)消能器安装完成后平面位置、标高、垂直度应在允许范围内。

10.4.4 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，消能器或支撑的施工应符合下列规定：

- 1) 安装节点处梁、柱钢筋绑扎时，应预先确定预埋件位置，不应相互阻挡；
- 2) 预埋件应与安装节点处梁、柱连接牢固，平面位置、标高、水平度、垂直度应在允许范围内；
- 3) 安装节点处梁、柱混凝土浇筑前应按要求对预埋件或预埋锚筋进行隐蔽验收，合格后方可进行浇筑，浇筑质量应符合相关规范和设计要求；
- 4) 消能器或支撑的节点板安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计图的偏移量；
- 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) 消能器或支撑安装前应对安装净空进行复核。

2 对于钢结构，消能器或支撑的施工应符合下列规定：

- 1) 消能器或支撑在钢结构中的安装应根据结构特点选择合理顺序进行安装，并应与主体结构形成稳固的空间单元；
- 2) 消能器或支撑的节点板安装前应复核与其相连上下梁、柱节点与设计图的偏移量；
- 3) 节点板应与安装节点梁、柱连接牢固，节点板安装完成后应复核上下节点板的平面偏移量；
- 4) 消能器或支撑安装前应对安装净空进行复核。

3 消能器或支撑安装完成后的平面外垂直度、弯曲矢高应在允许范围内。

10.4.5 其他连接形式的消能部件的安装可参考墙型连接和支撑式连接的相关安装规定内容执行。

10.4.6 消能部件安装的焊接和紧固件连接应符合下列规定：

1 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661、《钢结构

高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297的规定；当采用焊缝连接时，应满足一级焊缝要求；

2 消能部件采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应符合设计文件要求，当设计文件无要求时，间隙不应大于0.3mm；

3 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：

1)消能器没有形状异常及损害功能的外伤；

2)消能器的黏滞材料、黏弹性材料未泄漏或剥落，未出现涂层脱落和生锈；

3)消能部件的临时固定件应予撤除。

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

10.5 分项工程验收

10.5.1 检验批验收应符合下列规定：

1 主控项目质量抽样检验应100%验收合格；

2 一般项目的质量抽样检验，80%及以上的检查点(处)应符合本标准规定的质量要求，其最大偏差不宜超过允许偏差的20%。且其他检查点(处)不得有严重质量缺陷；

3 具有完整的施工操作依据和质量验收记录。

10.5.2 分项工程验收应符合下列规定：

1 所含分项工程的质量均应验收合格；

2 质量控制资料应完整；

3 观感质量应符合要求。

10.5.3 隐蔽验收应符合下列规定：

1 隐蔽工程在隐蔽前，应由相关单位组织进行验收；并应形成验收文件，验收合格后方可继续施工；

2 隐蔽验收应检查规格、型号、轴线、标高、水平度，符合要求后方能进行下一工序的施工。

10.5.4 安装施工质量验收项目应符合下列规定：

I 主控项目

1 消能器的类型、型号、数量应满足设计要求；

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，焊缝质量应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定；

检查数量：全数。

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

3 消能器或支撑现场连接采用螺栓连接时，连接质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 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

4 消能器采用墙型连接位置允许偏差和检验方法应符合表 10.5.4-1 规定；

表10.5.4-1 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	±5mm	±2mm	全数	尺量
	高度	±5mm	±2mm	全数	水准仪、全站仪或拉线、尺量
	垂直度	H/1000	H/1000	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量

续表10.5.4-1

项目	允许偏差		检查数量	检查方法
	混凝土结构	钢结构		
上、下悬臂墙 (柱)轴线相 对偏差	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	全数	吊线、尺量
上、下预埋件 间净高	$+5\text{mm}$ $+2\text{mm}$	$+5\text{mm}$ $+2\text{mm}$	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	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	全数 尺量
	标高	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	全数 水准仪或拉线、尺量
	水平度	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	全数 水准仪或水平尺、 塞尺量测
消能器	轴线	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	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； H_1 —消能器本体净高。

5 消能器采用支撑型连接位置允许偏差和检验方法应符合表10.5.4-2规定；

表10.5.4-2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	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	全数	尺量
	标高	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	全数	水准仪或拉线、尺量
	垂直度	$\leq 2\text{m}$	3mm	3mm	经纬仪、全站仪 或吊线、尺量
		$>2\text{m}$	5mm	5mm	
节点 板	水平度	3%		3%	全数 水准仪、全站仪 或水平尺、塞尺量测
	轴线	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$	尺量
	垂直度	$\leq 2\text{m}$	3mm	$\leq 2\text{m}$	经纬仪或吊线、尺量
		$>2\text{m}$	5mm	$>2\text{m}$	
	上、下节点 板平面相对 偏移	$\pm 2\text{mm}$		$\pm 2\text{mm}$	全数 吊线、尺量

续表10.5.4-2

项目		允许偏差		检查数量	检查方法
		混凝土结构	钢结构		
消能器或支撑	安装净空	+8mm +3mm	+8mm +3mm	全数	尺量
	弯曲矢高	$\leq L/1000$ 且 $\leq 10\text{mm}$	$\leq L/1000$ 且 $\leq 10\text{mm}$	全数	拉线、尺量

注: L—消能器或支撑本体长度。

6 消能器采用销栓或球铰连接时要求如下:

1)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0.1mm;

检查数量: 安装节点总数的50%,且不少于3个。

检查方法: 观察, 卡尺测量, 检查施工记录。

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

检查数量: 全数检查。

检验方法: 观察检查。

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

10.6 子分部工程验收

10.6.1 消能部件子分部工程验收应提供下列资料:

- 1 消能器及配件供货企业的合法性证明文件;
- 2 消能器及配件出厂合格证、质量证明文件、标识、性能检测报告和复验报告;
- 3 消能器型式检验报告、见证检验报告;
- 4 工程相关设计文件及设计变更文件;
- 5 子分部工程所含的分项工程质量验收记录;

- 6 分项工程所含的检验批质量验收记录；
- 7 隐蔽工程检查验收记录；
- 8 焊条、焊丝质量证明文件；
- 9 高强螺栓的复检报告、扭矩施工记录；
- 10 焊缝探伤检测报告；
- 11 焊工上岗证；
- 12 其他有关文件和记录。

10.6.2 消能部件子分部工程责任方。

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

10.6.3 施工质量验收标准。

1 消能部件中钢制构件的施工质量验收要求应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定；

2 消能部件中混凝土构件的施工质量验收要求应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

10.6.4 消能部件子分部工程质量合格标准如下：

- 1 见证检验及进场验收确认单；
- 2 所含分项工程、检验批均应合格，符合相关质量验收标准要求；
- 3 质量控制资料和文件应完整。

10.7 消能部件的维护

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

10.7.2 消能部件应根据消能器的类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。金属消能器、屈曲约束支撑在正常使用情况下可不进行定期检查；黏滞消能器在正常使用情况下一般10年或二次装修时应进行目测

检查，在达到设计使用年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

10.7.3 消能器检查时，应检测消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其它问题。检查内容、方法及维护方法应符合表10.7.3的规定。

表10.7.3消能器检查内容、方法及维护方法

检查项目	检查内容	检查方法	维护方法
黏滞消能器、黏滞阻尼墙	漏油、阻尼材料泄露、产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
金属屈服型消能器	产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器
摩擦消能器	摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置松弛，产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换相关材料、压力装置，更换消能器
屈曲约束支撑	芯材外露，产生明显的损伤、变形	观察、拉线、尺量	更换消能器
黏弹性消能器	黏弹材料老化、龟裂、产生明显的损伤、变形	观察、尺量	更换消能器

10.7.4 消能器支撑检查时，应检查支撑、连接部位变形和外观及其他问题等，检查内容、方法及维护处理方法应符合表10.7.4的规定。

表10.7.4消能器支撑检查内容、方法及维护方法

检查项目	检查内容	检查方法	维护方法
消能器支撑部位	支撑部位出现弯曲、扭转	观察、尺量	更换支撑
	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形	观察、小锤敲击、卡尺测量	拧紧螺栓、补焊、更换销轴
消能器与主体结构或消能子结构连接部位	螺栓松动、焊缝损伤、焊缝开裂、销轴变形	观察、小锤敲击、卡尺测量	拧紧螺栓、补焊、更换销轴

续表10.7.4

检查项目	检查内容	检查方法	维护方法
消能器外露金属面、摩擦面；消能器、连接件表面涂装	黏滞消能器导杆、摩擦消能器外露摩擦面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块；被涂装金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装出现裂纹、起皮、剥落、老化等	观察	及时清除；重新涂装
消能器周围构造	限制、阻碍消能器正常工作的障碍物	观察	及时清除

11 隔震设计

11.1 一般规定

11.1.1 体型复杂的建筑应选用符合实际的结构计算模型进行计算分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取相应的加强措施。

11.1.2 建筑结构隔震设计的计算分析，应符合下列规定：

1 隔震体系的计算简图，应增加由隔震支座及其顶部梁板组成的质点；对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型。当隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心的偏心率大于3%时，应计入扭转效应的影响。隔震层顶部的梁板结构，应作为其上部结构的一部分进行计算和设计；

2 除砌体隔震结构外，隔震结构应采用振型分解反应谱法；

3 对于房屋高度大于60m的隔震建筑、不规则的隔震建筑或隔震层包含隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合隔震建筑，尚应采用时程分析法进行补充计算；

4 砌体结构及基本周期与其相当的结构，且满足本规程第3.1.3条相关要求时，水平地震作用可采用底部剪力法计算，并按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011对砌体结构的要求采取抗震构造措施。

11.1.3 隔震结构的分析模型，应符合下列规定：

1 隔震结构计算模型应包括上部结构、隔震层和下部结构；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 隔震结构宜将上部结构、隔震层和下部结构进行整体分析，也可采用减震系数法进行设计。地震时正常使用建筑应采用整体设计法；

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

4 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。

11.1.4 三维隔震(振)结构的设计应符合下列规定：

1 三维隔震(振)结构的设计应首先按照一般隔震结构的设计方法进行上部结构设计，确定三维隔震(振)装置的水平性能；然后进行正常使用状态下的结构竖向隔振设计，确定三维隔震(振)装置的竖向性能；最后尚应考虑三维隔震(振)装置对结构水平和竖向性能的影响，检验竖向地震与水平地震共同作用下结构的安全性；

2 三维隔震(振)结构计算自重荷载下的位移、不均匀沉降以及地震作用下结构响应时，三维隔震(振)支座的竖向刚度应取竖向单调刚度；计算正常使用情况下环境激励引起的结构振动时，三维隔震(振)支座的竖向刚度应取竖向循环等效刚度；

3 三维隔震(振)支座宜在竖向荷载分布均匀的多层结构中采用。在竖向荷载分布不均匀的结构中使用时，要对施工及正常使用中各竖向隔震(振)支座的压缩量进行准确分析，确保隔震层上部结构竖向变形均匀，受力合理。

11.1.5 平面为L形、U形的建筑，不宜设缝分为多个单体，确有必要设缝时，应按照附录D进行碰撞分析确定缝宽，接缝处建筑做法应满足双向变形需求，并进行专门研究和论证。

11.1.6 入口台阶、看台等附属结构，宜和主体结构连接形成整体置于隔震层上，其下宜设置支座。确有必要和主体结构分开时，应按照附录D进行碰撞分析确定缝宽，接缝处建筑做法应满足双向变形需求，并进行专门研究和论证。

11.1.7 地面连廊应在水平两个方向上和主体结构留有不小于隔震层变形量的间距，接缝处建筑做法应满足双向变形需求。

11.1.8 隔震结构单体间不宜设置高位连廊，确有必要设置的，应按照附录D进行碰撞分析确定连廊的变形量，接缝处建筑做

法应满足双向变形需求，并进行专门研究和论证。

11.1.9 隔震建筑的地基变形允许值应满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的相关要求。

11.2 隔震层设计

11.2.1 隔震层的设计应符合下列规定：

1 隔震层宜设置在结构的底部或下部，其隔震支座应设置在受力较大的位置，间距不宜过大，隔震支座的规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定；

2 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不宜出现不可恢复的变形；其中，橡胶隔震支座在罕遇地震的水平和竖向地震作用下，拉应力不应大于1MPa，且同一地震动加速度时程曲线作用下出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的30%。特殊设防类建筑不应出现拉应力。弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座或其它不能承受竖向拉力的支座，宜保持受压状态；

3 隔震层的水平等效刚度和等效阻尼比可分别按式(11.2.1-1)和式(11.2.1-2)计算：

$$K_{\text{eq}}=2k; \quad (11.2.1-1)$$

$$\zeta_{\text{eq}}=\frac{\sum k_j \zeta_j}{K_{\text{eq}}} \quad (11.2.1-2)$$

式中： 5ϵ ——隔震层等效阻尼比；

K_{eq} ——隔震层水平等效刚度；

ζ_j ——j 隔震支座的等效阻尼比；

k ——j 隔震支座(含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度。

4 三维隔震(振)层的竖向等效性能可参照公式(11.2.1-1)和(11.2.1-2)进行计算，式中参数替换为三维隔震(振)支座与配套的竖向消能器的对应参数；

5 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应保持本规程规定的压应力限值；对水平向减震系数计算，应取剪切变形100%的等效刚度和等效阻尼比；对罕遇地震验算，宜采用剪切变形250%时的等效刚度和等效阻尼比，当隔震支座直径较大时可采用剪切变形100%时的等效刚度和等效阻尼比。当采用弹塑性时程分析时，应以试验所得滞回曲线作为计算依据。

11.2.2 隔震层的布置应符合下列规定：

1 隔震层可由隔震支座、阻尼装置和抗风装置组成，阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体，亦可单独设置；必要时可设置限位装置；

2 隔震支座的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应；隔震支座底面宜布置在相同标高位置上，必要时也可布置在不同的标高位置上，但应采取有效措施保证隔震支座共同工作，且罕遇地震作用下，相邻隔震层的层间位移角不应大于1/1000；

3 隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合，设防烈度地震作用下的偏心率不宜大于3%；

4 同一结构选用多种规格的隔震支座时，应注意充分发挥每个隔震支座的承载力和水平变形能力，所有隔震装置的竖向变形应基本一致；橡胶类支座不宜与摩擦摆等钢支座在同一隔震层中混合使用；

5 同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距应大于安装和更换时所需的空间尺寸；

6 隔震层采用摩擦摆隔震支座时，应考虑支座水平滑动时产生的竖向位移，及其对隔震层和结构的影响；

7 当隔震层采用隔震支座和阻尼器时，应确保隔震层在地震后基本恢复原位，隔震层在罕遇地震作用下的水平最大位移所对应的恢复力，不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和1.2倍；

8 设置在隔震层的抗风装置宜对称、分散地布置在建筑物

的周边。

11.2.3 隔震层的受压承载力验算应符合下列规定：

1 隔震层总受压承载力设计值应大于上部结构总重力荷载代表值的1.1倍；

2 每个隔震支座的受压承载力设计值应大于上部结构传递到隔震支座的重力荷载代表值。

11.2.4 隔震支座的压应力和徐变性能应符合下列规定：

1 橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下，竖向压应力限值应满足表11.2.4-1的要求；

2 对于弹性滑板支座，橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足表11.2.4-2的要求，支座部外径不宜小于300mm；

3 对于摩擦摆隔震支座，摩擦材料的压应力限值也应满足表11.2.4-3的要求；

4 在建筑设计工作年限内，隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的±20%；天然橡胶支座和铅芯橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的5%，高阻尼橡胶支座的徐变量不应大于内部橡胶总厚度的10%；

5 罕遇地震作用下，橡胶隔震支座、弹性滑板支座和摩擦摆隔震支座的最大竖向压应力不应超过表11.2.4-4~表11.2.4-6所规定的限值。

表11.2.4-1 橡胶隔震支座在重力荷载代表值下的压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	10	12	15

注：1 竖向压应力设计值应按永久荷载和可变荷载的组合计算，楼面活荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定乘以折减系数；

2 当橡胶隔震支座的第二形状系数(有效直径与橡胶层总厚度之比)小于5.0时，应降低平均压应力限值：小于5不小于4时降低20%，

小于4不小于3时降低40%;

3 外径小于300mm的橡胶隔震支座, 标准设防类建筑的压应力限值为10MPa。

表11.2.4-2 弹性滑板隔震支座在重力荷载代表值下的压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	12	15	20

表11.2.4-3 摩擦摆隔震支座在重力荷载代表值下的压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	20	25	30

表11.2.4-4 橡胶隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	20	25	30

注: 橡胶隔震支座的直径小于300mm时, 其压应力限值可适当降低。

表11.2.4-5 弹性滑板支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	25	30	40

注: 弹性滑板隔震支座中的橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足本表。

表11.2.4-6 摩擦摆隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
压应力限值 (MPa)	40	50	60

注: 摩擦摆隔震支座中的摩擦材料的压应力限值均应满足本表。

11.2.5 罕遇地震作用下隔震支座的水平位移, 一般情况下应采用振型分解反应谱法结合迭代的方法或时程分析法, 对隔震体系进行整体分析, 确定不同设防地震作用下隔震层位移幅值。

11.2.6 隔震支座在地震作用下的水平位移，应符合下式规定：

$$u_i \leq [u_i] \quad (11.2.6)$$

式中： u_i ——第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移 (mm)；

$[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值 (mm)。

除特殊规定外，在罕遇地震下橡胶隔震支座的 $[u_i]$ 取值不应大于其支座直径的 0.55 倍和各层橡胶厚度之和 3.0 倍二者的较小值；弹性滑板支座的 $[u_i]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.75 倍；摩擦摆隔震支座的 $[u_i]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的 0.85 倍。

11.2.7 隔震支座的水平剪力应根据隔震层在罕遇地震下的水平剪力按各隔震支座的水平等效刚度分配；当按扭转耦联计算时，尚应考虑隔震层的扭转刚度。

11.2.8 隔震层的抗风装置应按下式要求进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (11.2.8)$$

式中： V_{Rw} ——抗风装置的水平承载力设计值。当抗风装置是隔震支座的组成部分时，取隔震支座的水平屈服荷载设计值；当抗风装置单独设置时，取抗风装置的水平承载力，可按材料屈服强度设计值确定；

w ——风荷载分项系数，采用 1.5；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

11.2.9 隔震建筑高宽比宜符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定，并应进行抗倾覆验算。隔震结构抗倾覆验算应满足下列规定：

1 隔震结构抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座抗压承载力验算；

2 进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用下计算倾覆力矩，并应按上部结构重力荷载代表值计算抗倾覆力矩，抗倾覆安全系数应大于 1.2；

3 上部结构传递到隔震支座的重力荷载代表值应考虑倾覆力矩所引起的增加值；

4 隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，最大拉、压应力应符合本规程第11.2.1和11.2.4条的规定。

11.2.10 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力，宜大于一般楼面梁板的刚度和承载力。

11.2.11 隔震支座附近的梁、柱应计算冲切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

11.2.12 隔震层的顶部应设置梁板式楼盖，且应采用现浇混凝土板，现浇板的厚度不应小于160mm；楼板上、下部钢筋应双层双向布置，配筋率不应小于0.25%；隔震层梁应满足抗震构造的要求，其混凝土强度不应低于C30。

11.2.13 隔震支座与上部结构和下部结构应有可靠的连接，应能传递罕遇地震下隔震支座的最大反力。

11.2.14 外露的预埋件应有可靠的防锈措施。预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接，锚固钢筋的锚固长度宜大于20倍锚固钢筋直径，且不应小于250mm。

11.3 上部结构设计

11.3.1 上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 上部结构为框架、框架-抗震墙和抗震墙结构时，隔震层的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算。上部结构为砌体结构时，隔震层顶部各纵、横梁可按均匀布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算；当连续梁计算的正弯矩小于按单跨简支梁计算的跨中弯矩的0.8倍时，应按0.8倍单跨简支梁跨中弯矩取值。当计算出现负弯矩时，应进行双向配筋。对托墙梁顶砌体应进行局部承压验算，并在构造上采取适当加强措施；

2 对于三维隔震(振)建筑，隔震(振)层以上的结构应进行竖向地震作用的计算，并考虑三维隔震(振)层对上部结构

竖向运动的影响。

11.3.2 隔震层以上结构的地震作用，除应符合本规程第4.1.9条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 隔震层以上结构的总水平地震作用，不得低于6度设防非隔震结构的总水平地震作用，并应进行抗震验算；
- 2 各楼层的水平地震剪力应满足本规程第4.2节的相关要求。当隔震后地震剪力不满足原设防烈度的最小剪力系数要求时，可通过放大楼层地震剪力以满足最小剪力系数的要求。

11.3.3 上部结构的抗震措施应符合下列规定：

1 采用减震系数法时，可按水平向减震系数及相应的抗震设防烈度确定；当水平向减震系数大于0.40时(设置阻尼器时为0.38),不应降低非隔震时的有关要求；水平向减震系数不大于0.40时(设置阻尼器时为0.38),可适当降低，但烈度降低不得超过1度，与竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。此时，对砌体结构，可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011中附录L采取抗震构造措施；

2 采用整体设计法时，可按底部剪力比及相应的抗震设防烈度确定。当底部剪力比不大于0.5时，应按本地区设防烈度规定采取相应的抗震措施，并应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定；底部剪力比不大于0.5时，可按本地区设防烈度降低1度确定抗震措施。与竖向地震作用有关的抗震措施不应降低。

11.3.4 上部结构的抗震变形验算应本规程第4.5节的要求。

11.4 下部结构和地基基础设计

11.4.1 隔震层下部结构的承载力验算应考虑上部结构传递的轴力、弯矩、水平剪力，以及由隔震层水平变形产生的附加弯矩。

11.4.2 直接支承隔震装置的支墩、支柱及相连构件，应采用隔震结构罕遇地震下的作用效应组合进行承载力验算，且应按抗剪

弹性、抗弯不屈服考虑，宜按本规程附录C进行验算。

11.4.3 隔震层以下的地下室，或塔楼底盘结构中直接支撑隔震塔楼的部分及其相邻一跨的相关构件，应满足设防烈度地震作用下的抗震承载力要求。隔震层以下、地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值尚应满足本规程第4.5.3条的规定。

11.4.4 隔震建筑下部结构的抗震措施除应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定外，尚应符合下列规定：

1 层间隔震结构位于地面以上的下部结构，其竖向投影向外延伸一跨范围内的所有竖向构件均属于关键构件，6、7度时钢筋混凝土框架结构的抗震等级为二级、钢筋混凝土抗震墙结构的抗震等级为一级，8、9度时钢筋混凝土框架结构的抗震等级为一级、钢筋混凝土抗震墙结构的抗震等级为一级；外延伸一跨范围以外结构的抗震等级按抗震建筑采用；

2 层间隔震结构，地下室地下一层抗震等级应与地面上一层相同，以下各层结构抗震等级可逐渐降低，但不得小于三级；

3 基底隔震结构，当隔震层设置在地下室柱或墙顶时，隔震层所在的地下室地下一层抗震等级应与隔震层上一层抗震等级相同，以下各层结构抗震等级可逐渐降低，但不得小于三级。

11.4.5 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理仍应按本地区抗震设防烈度进行，特殊设防类、重点设防类建筑的抗液化措施应按提高一个液化等级确定，直至全部消除液化沉陷。

11.4.6 隔震建筑的地基应稳定可靠。隔震建筑应设置地基沉降观测点，定期观测地基沉降状况。

11.4.7 隔震建筑的基础应采用整体性好的形式。

12 隔震支座的技术性能

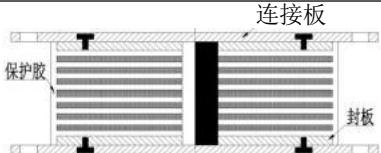
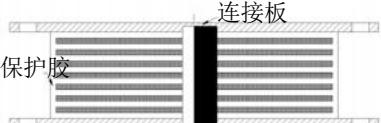
12.1 一般要求

12.1.1 隔震结构宜采用成熟的隔震支座类型，主要包括：天然橡胶隔震支座(LNR)，铅芯橡胶隔震支座(LRB)，高阻尼橡胶隔震支座(HDR)，弹性滑板支座(ESB)，摩擦摆隔震支座(FPS)。

同一隔震层选用多种类型、规格的隔震支座时，所有隔震支座的竖向变形应基本保持一致，且橡胶隔震支座不宜与摩擦摆隔震支座在同一隔震层中混合使用。

12.1.2 常用的橡胶隔震支座有I型支座和II型支座，见表12.1.2。从橡胶隔震支座的使用性能和耐久性能角度考虑，隔震建筑宜选用II型橡胶隔震支座。

表12.1.2常用橡胶隔震支座构造分类表

构造类型	说明	图示
I型支座	连接板与封板用螺栓连接，封板与内部橡胶硫化粘接。	
II型支座	连接板与内部橡胶硫化粘接。	

12.1.3 隔震支座的设计使用年限不应低于上部结构的设计工作年限，且要求不低于60年。

12.1.4 建筑隔震橡胶支座第一形状系数不应小于15,第二形状系数不应小于3且不宜小于5。当第二形状系数小于5时，应降低支座使用压应力限值：第二形状系数不小于4且小于5时，降低20%，第二形状系数不小于3且小于4时，降低40%。

弹性滑板支座的最小有效直径(或边长)不宜小于300mm,

第一形状系数不宜小于30,第二形状系数不应小于7。

12.1.5 隔震支座性能检测的基准温度为 $23\pm2^{\circ}\text{C}$,隔震支座实际使用环境温度与基准温度相差较大时,隔震设计时应考虑温度相关性,对隔震支座的性能参数进行修正。

12.1.6 隔震层有使用功能时,隔震支座应采取防火措施,耐火等级按《建筑防火设计规范》GB 50016 上部结构承重柱的要求采用。检测方法应符合《建筑构件耐火试验方法第1部分:通用要求》GB/T 9978.1、《建筑构件耐火试验方法第7部分:柱的特殊要求》GB/T 9978.7 的相关规定。隔震橡胶支座受火前后竖向压缩性能和水平剪切性能的变化率不大于 $\pm 15\%$ 。对隔震支座进行防火保护时,防火保护构造不应阻碍隔震支座在地震时的位移;防火保护构造耐火极限不应低于该建筑竖向承重构件的耐火极限,其材质应防腐防潮,正常使用耐久性年限不宜低于15年。

12.2 叠层橡胶隔震支座

12.2.1 叠层橡胶隔震支座材料相关要求应符合本章节的规定,具体技术要求如下:

1 支座内部钢板应采用Q235 或不低于Q235 性能的钢材,且应符合《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274的规定;封板和连接板宜采用Q355,且应符合《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》GB/T 3274的规定;

2 支座所用橡胶可选用天然橡胶或合成橡胶,不应使用再生胶。天然橡胶优先选用一级烟片胶或全乳胶,也可选用一级标准胶,并应符合《天然生胶烟胶片、白绉胶片和浅色绉胶片》GB/T 8089的规定。橡胶物理性能试验和要求应符合表12.2.1的规定;

表12.2.1橡胶支座内部橡胶的物理机械性能指标

项目	天然橡胶支座和铅芯橡胶支座 硬度(邵尔A度)			高阻尼橡胶支座
	35~44	45~54	55~65	
拉伸强度/MPa	≥13	≥15	≥18	≥10
扯断伸长率1%	≥600	≥550	≥500	≥550
25%定伸应力/MPa	≥0.25	≥0.30	≥0.35	—
300%定伸应力/MPa	≥2.5	≥3.0	≥3.5	—
压缩永久变形 /% 70°C×24h	≤35			≤60
橡胶与金属黏合强度90° 剥离法/(kN/m)	≥6	≥8	≥10	≥8
热空气老化性能 70°C×168h	拉伸强度变化率1% ±25			±25
	扯断伸长率变化率1% -40			-40
	硬度变化/邵尔A度 -5~+10			-5~+10
臭氧老化(限外包层) 50×10-8(体积分数), 40°C×96h,20%定伸	目视无龟裂			目视无龟裂
脆性温度/°C	≤-50			≤-50

3 铅芯应采用纯度不小于99.99%的铅锭加工而成，铅锭应符合《铅锭》GB/T 469的规定。

12.2.2 叠层橡胶隔震支座尺寸偏差要求应符合本章节的规定，具体要求如下：

1 橡胶隔震支座的产品尺寸应符合表12.2.2-1的规定；

表12.2.2-1 橡胶隔震支座产品尺寸的允许偏差

项目	尺寸允许偏差
内 部	每层橡胶层厚度/% 产品设计值的±10
	橡胶层总厚度1% 产品设计值的±5
	夹层薄钢板厚度/mm 按GB/T 3247执行
	封钢板厚度/mm ±0.5
	钢板直径或边长/mm ±1.0

续表12.2.2-1

项目		尺寸允许偏差
外部	总高度	设计值的 $\pm 1.5\%$ 与6mm两者间的较小值
	外直径或边长D'、a'和b	设计值的 $\pm 1\%$,且不大于 $\pm 5.0\text{mm}$
	中孔直径d/mm	± 1.5
	橡胶包覆层厚度/mm	± 1.5
	侧面垂直度	支座总高度的1/100

2 橡胶隔震支座产品平整度的允许偏差为：有效直径或短边边长不大于1200mm时，取有效直径或测量长度的1/400和3mm的较小值；有效直径或短边边长大于等于1500mm时，取有效直径或测量长度的1/300；有效直径或短边边长介于1200mm和1500mm之间，可插值；

3 隔震橡胶支座产品出厂时的水平偏移不应超过3mm；

4 连接板平面尺寸的偏差应符合表12.2.2-2的规定；连接板厚度的允许偏差应符合表12.2.2-3的规定；连接板螺栓孔位置(包括封板螺纹孔位置)的允许偏差应符合表12.2.2-4的规定。

表12.2.2-2 连接板直径和边长允许偏差(mm)

连接板厚度t	Df(或Le) <1000	1000≤Di(或L) ≤3150	3150≤Df(或Li) ≤6000
6<t≤27	± 2.0	± 2.5	± 3.0
27<t≤50	± 2.5	± 3.0	± 3.5
50<t≤100	± 3.5	± 4.0	± 4.5

表12.2.2-3 支座连接板厚度允许偏差(mm)

连接板厚度t	允许偏差	
	Df(或Le)<1600	1600≤Df(或Le)<2000
16.0<t≤25.0	± 0.65	± 0.75
25.0<t≤40.0	± 0.70	± 0.80
40.0<t≤63.0	± 0.80	± 0.95
63.0<t≤100.0	± 0.90	± 1.10

表12.2.2-4连接板螺栓孔位置允许偏差(mm)

Df(或Le)	允许偏差
400<D(或Le)≤1000	±0.8
1000<D(或Le)≤2000	±1.2
Df(或Le)>2000	±2.0

12.2.3 支座表面应光滑平整, 外观质量应符合表12.2.3的要求。

表12.2.3 支座外观质量要求

缺陷名称	质量指标
气泡	单个表面气泡面积不超过50mm ²
杂质	杂质面积不超过30mm ²
缺胶	缺胶面积不超过150mm ² , 不得多于2处, 且内部嵌件不得外露
凹凸不平	凹凸不超过2mm, 面积不超过50mm ² , 不得多于3处
胶钢黏结不牢(上、下端面)	裂纹长度不超过30mm, 深度不超过3mm, 不得多于3处
裂纹(表面)	不允许
钢板外露(侧面)	不允许

12.2.4 橡胶隔震支座的力学性能及要求应满足以下规定:

1 橡胶隔震支座的竖向和水平力学性能需满足表12.2.4-1的规定;

表12.2.4-1 橡胶隔震支座竖向和水平力学性能表

序号	项目	性能要求
1	竖向性能	实测值允许偏差为±30%; 平均值允许偏差为±15%
		不应小于60MPa, 当3≤S ₂ ≤4; 不应小于75MPa, 当4<S ₂ ≤5; 不应小于90MPa, 当S ₂ >5
		直径或边长不大于600mm支座, 侧向不均匀变形不大于3mm; 直径或边长不大于1000mm支座, 侧向不均匀变形不大于5mm; 直径或边长不大于1500mm支座, 侧向不均匀变形不大于7mm; 直径或边长大于1500mm支

		座, 侧向不均匀变形不大于9mm
--	--	------------------

续表12.2.4-1

序号	项目	性能要求	
1	竖向性能	当水平位移为支座内部橡胶直径0.55倍状态时的极限压应力	不应小于20MPa,当 $3 \leq S_2 \leq 4$; 不应小于25MPa,当 $4 < S_2 \leq 5$; 不应小于30MPa,当 $5 < S_2$
		竖向极限拉应力	不应小于1.5MPa
		竖向拉伸刚度	实测值允许偏差为 $\pm 30\%$;平均值允许偏差为 $\pm 20\%$ 。
2	天然橡胶支座水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异 不应大于15%;实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
3	铅芯橡胶支座水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异 不应大于15%;实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
		屈服后水平刚度	实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
		等效阻尼比	实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
		屈服力	实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
4	高阻尼橡胶支座水平性能	水平等效刚度	水平滞回曲线在正、负向应具有对称性,正、负向最大变形和剪力的差异 不应大于15%;实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
		屈服后水平刚度	实测值允许偏差为 $\pm 20\%$;平均值允许偏差为 $\pm 15\%$
		等效阻尼比	实测值允许偏差为 $\pm 20\%$;平均值允许偏差为 $\pm 15\%$
		屈服力	实测值允许偏差为 $\pm 15\%$;平均值允许偏差为 $\pm 10\%$
5	水平极限性能	水平极限变形能力	极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的400%

2 橡胶隔震支座的耐久性能包括耐老化性能、徐变、疲劳

性能，橡胶隔震支座的耐久性应满足表12.2.4-2的要求；

表12.2.4-2橡胶隔震支座的耐久性能

序号	项目		性能要求
1	耐老化性能	竖向刚度变化率	$\pm 20\%$
		水平等效刚度变化率	
		等效阻尼比变化率(LRB、HDR)	
		水平极限变形能力	极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的320%
		支座外观	目视无龟裂
2	徐变性能	徐变量	天然橡胶支座和铅芯橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的5%；高阻尼橡胶支座不应大于橡胶层总厚度的10%
3	疲劳性能	竖向刚度变化率	$\pm 15\%$
		水平等效刚度变化率	
		等效阻尼比变化率(LRB、HDR)	
		支座外观	目视无龟裂

注：表中未特别注明的性能要求适用于天然橡胶支座、铅芯橡胶支座和高阻尼橡胶支座。

3 天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求应符合表12.2.4-3的规定；

表12.2.4-3天然橡胶支座和铅芯橡胶支座相关性能要求

项目	性能要求	
竖向压应力相关性	水平等效刚度，屈服力变化率(LRB)	$\pm 15\%$
	等效阻尼比变化率(LRB)	
大变形相关性	水平等效刚度，屈服力变化率(LRB)	$\pm 20\%$
	等效阻尼比变化率(LRB)	
加载频率相关性	水平等效刚度，屈服力变化率(LRB)	$\pm 10\%$
	等效阻尼比变化率(LRB)	
温度相关性	水平等效刚度，屈服力变化率(LRB)	$\pm 25\%$
	等效阻尼比变化率(LRB)	

4 高阻尼橡胶支座相关性能要求应符合表12.2.4-4的规定。

表12.2.4-4高阻尼橡胶支座相关性能要求

项目	性能要求	
竖向压应力相关性	水平等效刚度变化率	$\pm 25\%$
	等效阻尼比变化率	
大变形相关性	水平等效刚度变化率	$\pm 25\%$
	等效阻尼比变化率	
加载频率相关性	水平等效刚度变化率	$\pm 25\%$
	等效阻尼比变化率	
温度相关性	水平等效刚度变化率	$0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}: \pm 25\%$ $-10^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}: \pm 40\%$
	等效阻尼比变化率	

12.2.5 橡胶的物理机械性能及支座的力学性能试验符合《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118、《橡胶支座第1部分：隔震橡胶支座试验方法》GB 20688.1、《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3的规定外，还需满足以下要求：

1 水平位移为支座内部橡胶直径0.55倍状态时的极限压应力试验应满足以下规定：对支座施加设计轴压应力，然后施加水平荷载，使支座处于水平位移为支座内部橡胶直径0.55倍的剪切变形状态，再继续缓慢或分级竖向加载至水平位移为支座内部橡胶直径0.55倍状态时的极限压应力设计值($S_2 > 5$ 时，取30MPa)，缓慢卸载至设计轴压应力，然后反向水平加载，竖向加载和卸载，如此重复3次，记录竖向荷载、水平荷载和水平位移，绘制水平剪切滞回曲线。竖向加载时，水平等效刚度 K_h 趋于0、水平剪切滞回曲线出现负刚度或外观发生明显异常，支座出现鼓包、钢板与橡胶间出现开胶和撕裂等，均视为破坏；

2 水平极限变形能力试验应满足以下规定：被试支座在一定竖向压应力作用下，水平向缓慢或分级加载，连续水平循环加载3周，绘出水平荷载和水平位移曲线，同时观察支座四周表现，当支座外观出现明显异常或试验曲线异常时(如内层橡胶与内层钢板明显撕开，并且试验曲线上力和位移没有同时上升)，视为破坏；

测量水平极限变形能力的竖向压应力,当 S_2 不小于5时,型式检验取15MPa,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时竖向压应力降低40%;

3 老化性能试验应满足以下规定:先测定被试支座的竖向刚度、水平等效刚度、等效阻尼比;再将支座置于80°C恒温箱内962h或100°C的恒温箱内185h(或相当于20°C×60年的等效温度和等效时间)后取出,冷却至自然室温,再重新测定支座的竖向刚度、水平等效刚度、等效阻尼比及水平极限变形能力。比较该支座老化前后的刚度和阻尼性能,并与未老化同型(批)的支座进行水平极限变形能力的比较;

4 徐变性能测试可采用下述两种方法中的一种进行试验。
方法一:使被试支座在产品的设计压应力作用下,置于80°C恒温箱内962h或100°C的恒温箱内185h(或相当于20°C×60年的等效温度和等效时间)后,取出测其徐变量;方法二:按《橡胶支座第1部分:隔震橡胶支座试验方法》GB/T 20688.1中相关规定的试验方法;

5 疲劳性能试验应满足下述规定:试验时先测被试支座水平等效刚度、等效阻尼比;在设计压应力状态下,按剪应变 $\gamma=100\%$,加载频率不低于0.02Hz连续施加水平荷载50次,同时记录每次水平加载力与水平位移的滞回曲线,滞回曲线无明显异,并仔细观察试验过程中试件有无龟裂、钢板与橡胶是否撕裂或出现其他异常现象,且第2-49圈滞回曲线计算的水平等效刚度和等效阻尼比与疲劳测试前测得的水平等效刚度和等效阻尼比的偏差在±15%内时,则判疲劳试验合格。

12.2.6 隔震橡胶支座产品的标志、标签应满足本章节技术条款的规定:

- 1 支座产品上应有永久标识,永久标识应包含以下信息:
 - 1)制造厂名称、企业商标;
 - 2)支座类型及产品执行标准;

- 3) 产品序列号或生产编号, 其编码规则应当顺序编号, 不能重号;
- 4) 支座产品尺寸。标注方法为: 圆形支座可标注为“D-有效直径尺寸”; 矩形支座可标注为“有效长边×有效短边尺寸”; 方形支座可标注为“S 有效边长尺寸”。尺寸单位为 mm。

示例: 有效直径为800mm 的圆形支座可表示为 D-800; 有效边长为800mm×600mm的矩形支座可表示为800×600; 有效边长为800mm 的方形支座可表示为S800 或800×800;

2 支座产品的标识和标签应显示在支座的侧表面, 具有良好的防水、耐磨损性和耐久性, 易于辨认, 字符高度和宽度应大于50mm。

12.2.7 隔震橡胶支座产品的包装、运输及贮存应符合本章节的规定:

1 每件产品应采用可靠包装。包装应便于运输和搬运并能防止正常运输和搬运中的损坏;

2 运输过程中应避免雨淋, 严禁与酸碱、油类、有机溶剂等接触, 并不应磕碰;

3 产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体, 并远离热源的场所。

12.2.8 橡胶隔震支座标准化规格及参数宜优先采用附录 A 中的性能及参数。

12.3 弹性滑板支座

12.3.1 弹性滑板支座的材料要求应满足本章节的相关规定:

- 1 上、下连接板采用Q355 钢板, 厚度不小于25mm;
- 2 弹性滑板支座使用的滑动材料可采用聚四氟乙烯板, 改性超高分子量聚乙烯板, 其物理性能应符合表12.3.1的规定; 滑板支座用滑动材料应采用原生粉料模压而成, 不应使用车削板材,

严禁使用再生料和回头料。聚四氟乙烯原料的平均粒径不应大于50pm。

表12.3.1滑动材料的物理性能

项目	聚四氟乙烯板	改性超高分子量聚乙烯板
密度/(g/cm ³)	2.14~2.20	0.93~0.98
拉伸强度/MPa	30	30
断裂拉伸应变/%≥	300	250
球压痕硬度H132/60/MPa	23.0~33.0	26.4~39.6
线磨耗系数/%	6	3
极限抗压强度/MPa	80	80
抗压弹性模量/MPa	360	360

滑动材料应采用无孔材料，厚度应不小于5mm，嵌入深度应不小于厚度的1/2，外露厚度应不小于2mm，在检测及使用过程中严禁在滑动材料表面涂油或油脂等；不允许出现脱皮、裂纹、分层或其他损伤破坏的现象。采用聚四氟乙烯滑动材料时，背面需经表面活化处理后，镶嵌并粘结在下封板中；采用改性超高分子量聚乙烯滑动材料时，滑动材料应嵌固在下封板中。必要时两种材料均可采用机械方式固定。

3 当滑动面板采用钢材时，应采用不锈钢材料，含铬量应大于等于18%。建议内陆地区：不锈钢采用符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280规定的06Cr19Ni10,06Cr19Ni13Mo3；沿海地区以及内陆腐蚀性环境：不锈钢采用符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280规定的022Cr19Ni13Mo3。

当滑动面板对角线长度小于1500mm时，其厚度应不小于2mm，当滑动面板对角线长度大于或等于1500mm时，其厚度应不小于3mm。

12.3.2 弹性滑板支座尺寸偏差要求应符合本章节相关规定：

1 橡胶支座部的平面尺寸和高度允许偏差要求应符合表12.3.2-1的规定；

表12.3.2-1 橡胶支座部偏差要求(mm)

直径Dr(或边长Sr)	直径(或边长)允许偏差	高度允许偏差
≤500	±5	±1.5%与±6mm两者中的较小值
500<Dr(或S)≤1500	±1%	
>1500	±15	

2 橡胶支座部的平整度要求为：

$$|\psi| \leq 0.25\% \quad (12.3.2-1)$$

$$|\delta| \leq 3\text{mm} \quad (12.3.2-2)$$

式中： ψ ——橡胶支座部的平整度；

δ ——橡胶支座部的平整度偏差，即相距180°的两点所测的支座高度之差。

3 橡胶支座部的水平偏移应不超过3.0mm，此偏移值也适用于经历试验后48h内的残余变形限制要求；

4 滑动材料外露部分的平面尺寸和厚度允许偏差要求应符合表12.3.2-2的规定；滑动材料与钢板凹槽之间的间隙应符合表12.3.2-3的规定；

表12.3.2-2 滑动材料的平面尺寸和厚度允许偏差(mm)

滑动材料直径Ds (或边长Ss)	直径(或边长) 允许偏差	厚度允许偏差
≤500	+2.5 0	+0.3 0
500<Ds(或Ss)≤1000	+3.0 0	+0.3 0
1000<Ds(或Ss)≤1500	+3.5 0	+0.3 0
>1500	+4.0 0	+0.3 0

表12.3.2-3 滑动材料与钢板凹槽之间的间隙(mm)

滑动材料直径Ds(或边长Ss)	装配间隙
≤1000	≤2.0
>1000	≤3.0

5 滑动面板平面尺寸和厚度允许偏差应符合表12.3.2-4的

要求：

表12.3.2-4滑动面板的平面尺寸和厚度允许偏差(mm)

滑动面板边长L ₁	直径(或边长)允许偏差	厚度允许偏差
≤1500	+2.0 0	±0.2
>1500	+3.0 0	±0.2

6 连接完成后滑动面板平整度的偏差应不超过滑动面板最大平面尺寸的0.03%；

7 连接板平面尺寸偏差应符合表12.3.2-5和表12.3.2-6的规定；连接板厚度允许偏差应符合表12.3.2-7和表12.3.2-8的规定；

表12.3.2-5上连接板直径(或边长)的允许偏差 (mm)

厚度	Da(或Sa)<1000	1000≤Da(或Sa)<3150	3150≤Da(或Sa)<6000
25≤H ₂ ≤27	±2.0	±2.5	±3.0
27<H ₂ ≤50	±2.5	±3.0	±3.5
50<H ₂ ≤100	±3.5	±4.0	±4.5

表12.3.2-6 下连接板边长的允许偏差 (mm)

厚度	Lr<1000	1000≤L<3150	3150≤Lf<6000
25≤H ₆ ≤27	±2.0	±2.5	±3.0
27<H ₆ ≤50	±2.5	±3.0	±3.5
50<H ₆ ≤100	±3.5	±4.0	±4.5

表12.3.2-7 上连接板厚度的允许偏差 (mm)

上连接板直径(或边长)	25.0≤H ₂ ≤40.0	40.0<H ₂ ≤63.0	63.0<H ₂ ≤100.0
Da(或Sa)<1600	±0.70	±0.80	±0.95
1600≤Da(或Sa)<3150	±0.80	±0.95	±1.20
3150≤Da(或Sa)<6000	±0.90	±1.10	±1.30

表12.3.2-8下连接板厚度的允许偏差(mm)

下连接板边长	$25.0 \leq H_b \leq 40.0$	$40.0 < H_b \leq 63.0$	$63.0 < H_b \leq 100.0$
$L_r \leq 1600$	± 0.70	± 0.80	± 0.95
$1600 \leq L_f \leq 3150$	± 0.80	± 0.95	± 1.20
$3150 \leq L_f \leq 6000$	± 0.90	± 1.10	± 1.30

8 连接板螺栓孔位置和封板螺纹孔位置的允许偏差应符合表12.3.2-9的规定。

表12.3.2-9螺栓孔位置的允许偏差(mm)

连接板直径(或边长)	允许偏差
$400 < D_a(\text{或} S_a, \text{或} L_e) \leq 1000$	± 0.8
$1000 < D_a(\text{或} S_a, \text{或} L_e) \leq 2000$	± 1.2
$D_a(\text{或} S_a, \text{或} L_i) > 2000$	± 2.0

12.3.3 弹性滑板支座的外观质量应符合本章节相关规定：

1 弹性滑板支座的橡胶支座部表面应光滑平整，外观质量应符合表12.3.3的规定：

表12.3.3外观质量要求

缺陷名称	质量指标
气泡	单个表面气泡面积不超过 50 mm^2 , 不得多于3处
杂质	杂质面积不超过 30 mm^2
缺胶	缺胶面积不超过 150 mm^2 , 不得多于两处, 且内部嵌件不允许外露
凹凸不平	凹凸不超过 2 mm , 面积不超过 50 mm^2 , 不得多于3处
胶钢粘结不牢 (上、下端面)	不允许
裂纹(侧面)	裂纹长度不超过 30 mm 、深度不超过 3 mm . 不得多于3处
钢板外露(侧面)	不允许

注：质量缺陷(气泡、杂质、缺胶、凹凸不平)面积可取缺陷投影面积最大边长×宽来计算。

2 滑动材料在自然光下用目视法检查板材表面应光滑，不

允许出现裂纹，气泡，分层，不允许有机械报伤、板面刀痕等缺陷，不允许夹带任何杂质；

3 滑动面板表面应光滑，不允许出现裂纹、划痕、起鼓、凹陷、杂质等影响使用的缺陷。滑动面板不允许拼接。滑动面板应设置耐久且可拆装的防尘保护措施。

12.3.4 弹性滑板支座的力学性能及相应的试验方法应符合表12.3.4的规定。

表12.3.4弹性滑板支座力学性能表

序号	性能	试验项目	要求	适用试验条号
1	压缩性能	竖向压缩刚度	竖向压缩刚度 K_v ，允许偏差为 $\pm 30\%$	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 第7.3.1条
2	剪切性能	初始刚度 K_i	允许偏差为 $\pm 15\%$	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 第7.3.2条
3		动摩擦系数	低摩擦滑板支座：允许偏差为 $\pm 50\%$ 中、高摩擦滑板支座：允许偏差为 $\pm 30\%$	
4	剪切性能相关性	压应力相关性	基准压应力 σ_0 取设计压应力	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 第7.3.3.1条
5		加载速度相关性	基准加载速度宜取 0.4 m/s	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 第7.3.3.2条
6		反复加载次数相关性	基准反复加载次数取第3次，50次摩擦系数变化率不应大于 30%	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5 第7.3.3.3条

续表12.3.4

序号	性能	试验项目	要求	适用试验条号
7	剪切性能相关性	温度相关性	基准温度为23°C	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 第7.3.3.4条
8	压缩性能相关性	压应力相关性	竖向压缩刚度具有规律性，滑板支座竖向保持稳定性	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 第7.3.4条
9	极限性能	水平极限性能	1.滑板支座橡胶支座部在设计面压下，水平位移达到设计最大位移之前，不应出现破坏、屈曲和滚翻；滑板支座其他组成部分不应出现破坏情况； 2.滑板支座的极限抗压能力不应小于60 MPa	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 第7.3.5条
10		竖向极限抗压性能		
11	耐久性能	老化性能	初始刚度Ki不应超过30%	《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 第7.3.6条
12		徐变性能	60年徐变量不应超过10%	

12.3.5 弹性滑板支座的标志、标签应符合本章节的相关规定：

1 滑板支座产品的标志和标签应包含以下信息：

- 1) 制造厂的名称和企业的商标；
- 2) 滑板支座的类型：圆形滑板支座，方形滑板支座；
- 3) 产品序列号或生产号码；
- 4) 滑板支座产品的尺寸。

2 弹性滑板支座用 ESB 来表示，当滑动材料为聚四氟乙烯时用 ESB-T 来表示，当滑动材料为改性超高分子量聚乙烯时用 ESB-H 来表示。具体标注方法如下：

- 1) 圆形滑板支座可标注为“ESB-T(或H)有效直径尺寸”;
- 2) 方形滑板支座可标注为“ESB-T(或H)有效边长尺寸”尺寸单位为mm。

示例1:有效直径为800mm 的圆形聚四氟乙烯滑板支座可表示为ESB-T-D800;

示例2:有效边长为800mm 的方形改性超高分子量聚乙烯滑板支座可表示为ESB-H-800;

3 弹性滑板支座产品的标志和标签应显示在滑板支座的侧表面; 标志和标签应方便辨认, 字母的高度和宽度应大于5mm; 标志和标签应防水且耐磨损。

12.3.6 弹性滑板支座的包装、运输及贮存应符合本章节的相关规定:

- 1 每件产品应采用可靠包装。包装应便于运输和搬运并能防止正常运输和搬运中的损坏;
- 2 运输过程中应避免雨淋, 严禁与酸碱、油类、有机溶剂等接触, 并不应磕碰;
- 3 产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体, 并远离热源的场所。

12.4 摩擦摆隔震支座

12.4.1 摩擦摆隔震支座的材料应满足本章节的相关规定:

I 钢材

1 摩擦摆隔震支座上座板、下座板、球冠体等若采用钢板时, 其化学成分、力学性能指标应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699、《碳素结构钢》GB/T 700 及《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的有关规定; 若采用铸钢件时, 其化学成分、力学性能和冲击韧性 A_{kv} 值应符合《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352有关规定。支座上座板、下座板、球冠等采用铸钢件时, 应逐件进行超声波探伤, 且铸钢件质量等级不低于II级, 探伤方

法及质量评级方法应符合《铸钢件超声检测第1部分：一般用途铸钢件》GB/T 7233.1的有关规定；

2 支座用于低于-25℃的环境时，其上下支座底板及球冠体应采用低温钢铸件、锻件或板材，材料的化学成分、力学性能和低温冲击韧性 A_{kv} 值应满足《一般工程用铸造碳钢件》GB/T 11352的有关规定；

3 支座焊接部位的技术要求应符合设计规定，当无具体规定时，焊接部位的技术要求应符合《工程机械焊接件通用技术条件》JB/T 5943的规定，除不锈钢板焊缝外，焊缝质量不低于二级要求；

4 上下锚固装置材料的化学成分和力学性能应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699、《碳素结构钢》GB/T 700及《合金结构钢》GB/T 3077的有关规定。

II 摩擦副滑动材料

5 摩擦材料宜采用聚四氟乙烯、改性聚四氟乙烯及改性超高分子量聚乙烯。聚四氟乙烯摩擦材料应采用新鲜纯料，改性聚四氟乙烯摩擦材料应采用新鲜纯料加新型高分子改性增强剂，聚四氟乙烯新鲜纯料平均粒径不应大于50 μm 。超高分子量聚乙烯摩擦材料采用聚乙烯原材料加添加剂，聚乙烯原料分子量不宜小于900万。原材料混合应均匀，不应采用再生料和回头料；

6 摩擦材料的物理机械性能应按表12.4.1-1测定，并满足表12.4.1-2的相应要求。

表12.4.1-1 摩擦材料物理机械性能试验方法

序号	项目	试验方法
1	密度 $p/(g/cm^3)$	按《塑料非泡沫塑料密度的测定第1部分：浸渍法、液体比重瓶法和滴定法》GB/T 1033.1的规定进行
2	拉伸强度/MPa	同下

续表12.4.1-1

序号	项目	试验方法
3	断裂伸长率/%	按《塑料拉伸性能的测定第3部分：薄膜和薄片的试验条件》GB/T 1040.3的规定进行，采用5型试样、厚度 $2\text{mm}\pm0.2\text{ mm}$ ，试验拉伸速度为 50 mm/min
4	球压痕硬度 (H132/60)(H/MPa)	按《塑料硬度测定第1部分：球压痕法》GB/T 3398.1的规定进行
5	在无润滑条件下与不锈钢板或镀硬铬钢板摩擦时的线磨耗/ μm	按《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的相关规定进行
6	蠕变压缩变形	按《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358的相关规定进行

表12.4.1-2 摩擦材料物理机械性能要求

序号	项目	聚四氟乙烯摩擦材料	改性聚四氟乙烯摩擦材料	改性超分子量聚乙烯摩擦材料
1	密度 $p/(\text{g/cm}^3)$	$2.14 < p \leq 2.20$	$2.0 < p \leq 2.10$	$0.93 < p \leq 0.98$
2	拉伸强度/MPa	≥ 30	≥ 21	≥ 30
3	断裂伸长率1%	≥ 300	≥ 300	≥ 250
4	球压痕硬度 (H132/60)(H/MPa)	$23 \leq H \leq 33$	$26.4 \leq H \leq 39.6$	$26.4 \leq H \leq 39.6$
5	在无润滑条件下与不锈钢板或镀硬铬钢板摩擦时的线磨耗/ μm		≤ 200.0	
6	蠕变压缩变形		$\leq 0.0005ho$	

注： ho 为试件初始外露高度。

III 镜面不锈钢

7 支座用不锈钢板宜采用06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2、06Cr19Ni13Mo3，处于严重腐蚀环境的支座宜采用022Cr17Ni14Mo2或022Cr19Ni13Mo3不锈钢板。其化学成分及

力学性能应符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280的有关规定。

12.4.2 摩擦摆隔震支座的尺寸偏差要求应满足本章节的相关规定：

1 支座组装后上下座板的平行度不应大于边长的2%，支座无荷载状态下的组装高度最大偏差应不超过 $\pm 3\text{mm}$ ；

2 摩擦材料的厚度不宜小于7mm 且不大于8mm，直径和厚度偏差应符合表12.4.2-1 的规定。安装尺寸偏差应符合表12.4.2-2；

表12.4.2-1 摩擦材料的尺寸偏差

滑板直径d(mm)	直径偏差(mm)	厚度偏差(mm)
$d \leq 600$	$+0.4$ 0	$+0.4$ 0
$600 < d \leq 1200$	$+0.6$ 0	$+0.7$ 0
$d > 1200$	$+0.8$ 0	$+1.0$ 0

3 摩擦材料嵌入深度不应小于其板厚的1/2，外露厚度不应小于3mm，外露厚度极限偏差及装配间隙应满足表12.4.2-2 的要求。固定用沉头螺钉顶面应低于滑板表面不小于3mm；当采用黏结加沉头螺钉固定时，聚四氟乙烯或改性聚四氟乙烯摩擦材料背面需经表面活化处理后，应镶嵌并黏结在基层钢板中；

表12.4.2-2 摩擦材料安装的尺寸偏差

滑板直径d(mm)	外露厚度偏差(mm)	组装间隙偏差(mm)
$d \leq 600$	$+0.3$ 0	$+0.5$ 0
$600 < d \leq 1200$	$+0.5$ 0	$+0.8$ 0
$d > 1200$	$+0.7$ 0	$+1.1$ 0

4 不锈钢板厚度、平面度偏差应符合表12.4.2-3的要求，厚度偏差应符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280的规定；

表12.4.2-3不锈钢板厚度及平面度

支座竖向承载力/KN	厚度/mm	平面度偏差/mm
1000~5000	1.5	$\leq 0.0003d$
5000以上	2.0	$\leq 0.0003d$

5 镀铬或安装后不锈钢板滑动表面平面度公差和球面轮廓度公差不应超过滑板直径的0.03%和0.2mm 中的较大者；

6 机加工件的尺寸公差应满足设计要求，未注线性和角度尺寸的公差应符合《一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T 1804的m 级规定，未注形状和位置公差应符合《形状和位置公差未注公差值》GB/T 1184中L 级的规定；

7 摩擦材料、金属摩擦面及机加工件的尺寸采用直尺、卡尺、卷尺等量具进行测量，量具精度应满足测量要求；

8 金属摩擦面及机加工件的尺寸和形位公差采用卡尺、刀口尺、塞尺等量具进行测量。

12.4.3 摩擦摆隔震支座的外观质量应符合本章节的相关规定：

1 不锈钢板与基层钢板的连接方式应使二者密贴，表面不应有褶皱，且应与基底钢板密贴，不应有脱空现象。对于处于严重腐蚀环境的支座，宜采用包覆不锈钢板的处理方式；

2 支座机加工钢件与钢件配合面及摩擦表面不应有降低表面质量的印记；

3 支座铸钢件加工后的表面缺陷应符合表12.4.3-1的规定，并对缺陷进行修补。铸钢件经机械加工后的表面缺陷超过表12.4.3-2规定，但不超过表12.4.3-1规定，且不影响铸钢件使用寿命和使用性能时，可进行一次电焊修补，对有蜂窝状空洞的部件不得修补使用。铸钢件焊补前，应将缺陷处清铲至呈现良好金属为止，并将距坡口边沿30mm 范围内及坡口表面清理干净。焊后应修至符合铸件表面质量要求，且不应有未焊透、裂纹、夹渣、气孔等缺陷。焊补后的部件应进行退火或回火处理；

表12.4.3-1 铸钢件缺陷修补

缺陷部位	气孔、缩孔、砂眼、渣孔		
	缺陷总面积	缺陷深度	缺陷个数
上下座板摩擦接触面及球冠体	不大于所在部位面积的2%	不大于所在部位板厚1/3	≤2
摩擦接触面以外部位			≤3

表12.4.3-2 铸钢件加工的表面缺陷

缺陷部位	气孔、缩孔、砂眼、渣孔					裂纹
	缺陷大小 (mm)	缺陷深度	缺陷个数	缺陷总面积	缺陷间距 (mm)	
上下座板摩擦接触面及球冠体	≤Φ2	不大于所在部位厚度的1/10	100mm×100mm 内不多于1个	不大于所在部位面积的1.5%	≥80	无
摩擦接触面以外部位	≤Φ3					

4 摩擦材料、金属摩擦面及机加工件外观质量采用目测法进行检查，铸钢件的表面缺陷采用量具进行测量，并采用目测法进行检查。

12.4.4 摩擦摆隔震支座的力学性能及试验要求应符合表12.4.4 的规定，试验方法按《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358 进行。

表12.4.4摩擦摆隔震支座力学性能

序号	性能	试验项目	要求
1	压缩性能	竖向压缩变形	在基准竖向承载力作用下，竖向压缩变形不大于支座总高度的1%或2mm两者中较大者
2		竖向承载力	在竖向压力为2倍基准竖向承载力时支座不应出现破坏，无脱落、破裂、断裂等

3	剪切性能	静摩擦系数 静摩擦系数不应大于动摩擦系数的上限的1.5倍
---	------	---------------------------------

续表12.4.4

序号	性能	试验项目	要求
4	剪切性能	动摩擦系数	试验位移取极限位移的1/3;当设计摩擦系数大于0.03时,检测值与设计值的偏差单个试件应在±25%以内,一批试件平均偏差应在±20%以内;当设计摩擦系数不大于0.03时,检测值与设计值的偏差单个试件应在±0.0075以内,一批试件平均偏差应在±0.006以内
5		屈服后刚度	
6	剪切性能相关性	反复加载次数相关性	取第3次,第20次摩擦系数进行对比,变化率不应大于20%
7	剪切性能相关性	温度相关性	基准温度为23℃,在-25℃~40℃范围内摩擦系数变化率不应大于45%
8	水平极限变形能力	极限剪切变形	在基准竖向承载力作用下,反复加载一圈至极限位移的0.85倍时,支座不应出现破坏

注: 屈服后刚度参见《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T37358的相关公式进行计算。

12.4.5 摆擦摆隔震支座的标志、包装、运输及贮存应符合本章节的相关规定:

- 1 每个出厂支座,应有明显标志,其内容应包括产品名称,规格型号、主要技术指标(结构形式、基准竖向承载力、极限位移、摆动周期),产品生产执行标准及厂名、编号、日期;
- 2 每个支座的包装应牢固可靠。包装外应注明产品名称、规格、体积和质量。包装内应附有产品合格证、质量检验单;
- 3 支座运输、贮存中,应避免暴晒、雨淋、雪浸,并应保持清洁。不应与碱、酸,油类,有机溶剂等影响支座质量的物质相接触,并距离热源1m以上;
- 4 支座在运输、贮存过程中不应拆卸。

13 建筑与机电隔震构造

13.1 一般规定

13.1.1 隔震建筑与非隔震建筑及周边固定物之间应留出足够的水平隔震间距，以避免上部结构及隔震部件正常的隔震移动或变形受到阻挡或碰撞。隔震建筑竖向隔离缝及隔震沟，不应被无关物品占压或填堵，应确保上部结构及隔震部件正常位移，避免变形受到阻挡或限制。特殊设防类隔震建筑考虑极罕遇地震作用时，也可采用相应的限位措施进行限位保护。

13.1.2 隔震层主要结构构件耐火等级应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 及《建筑防火通用规范》GB 55037 的相关规定。隔震支座周边应设置防火隔离措施，隔震支座及其连接应根据使用空间的耐火等级采取相应的防火措施，且耐火极限不应低于与其连接的竖向构件的耐火极限。确定隔震支座上、下支墩尺寸时，应考虑防火隔离材料与隔震支座之间留有空隙。

13.1.3 隔震层梁底面(或影响检修及更换的不可移动构件底面)到下部楼板顶面之间净高不宜小于1.2m，不应小于0.8m，并满足检修、更换隔震装置的需要。

13.1.4 隔震层应设置人员检修出入口、隔震装置进出口或吊装口，并应设置防止人员误入或坠落的措施。

13.1.5 隔震层位于地下室和半地下时，其防水等级应根据工程类别、使用环境、工程地质条件和施工条件等因素确定，并且不应低于二级。其地下迎水面主体结构应采用防水混凝土，并应根据防水等级的要求采取其他防水措施。

13.1.6 隔震楼层内装饰装修材料，其性能应满足防火、防潮、防腐、抗震、环保的要求，其内部装修应符合现行国家标准有关建筑内部装修设计防火的规定。

13.1.7 各类型建筑隔震构造需符合《建筑隔震构造详图》

22G610-1 的相关规定。本规程未涉及的特殊隔震构造措施，应根据具体功能需求和隔震设计要求进行设计。

13.2 隔震缝及建筑出入口、坡道构造

13.2.1 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以避免罕遇地震作用下可能的阻挡和碰撞，隔离缝宽度不应小于隔震支座在罕遇地震作用下最大水平位移的1.2倍，且不应小于300mm。对相邻隔震结构之间的隔离缝，缝宽取最大水平位移值之和，且不应小于600mm。对特殊设防类建筑，隔离缝宽度尚不应小于隔震支座在极罕遇地震下最大水平位移值。

13.2.2 竖向隔离缝(隔震沟)应满足下列要求：

1 隔震建筑的竖向隔离缝(隔震沟)应采取可靠措施防止雨水侵入隔震层；

2 竖向隔离缝(隔震沟)不应存在任何阻碍上部结构自由运动的杂物；

3 对隔震沟进行遮挡和覆盖时，隔震沟盖板不应阻碍隔震建筑在地震时发生水平位移。特殊部位(如转角、竖向隔离缝侧壁变标高部位)还应满足地震工况多方向移动变形要求；

4 竖向隔离缝盖板应采用坚固耐用、防滑材料制作，应考虑防坠落措施，满足相关使用要求；

5 竖向隔离缝盖板应满足上部结构日常工况下的承载力和温度变形量要求；

6 竖向隔离缝应采取保温节能措施，提高建筑整体的保温节能性能。

13.2.3 上部结构与下部结构或室外地面之间应设置连续完全贯通的水平隔离缝，水平隔离缝高度不宜小于30mm，并应采用柔性材料或低强度脆性材料填塞，进行密封处理。有防水要求的水平隔离缝，应预留伸缩量；有防火要求时，封堵材料应满足相应部位的耐火极限要求。当设置水平隔震缝却有困难时，应设置可

靠的水平滑移垫层。

13.2.4 水平隔震缝宜统一标高,当标高不统一时,应对错高交接处预留充足空间,保证错高位置不阻碍隔震层的正常隔震变形。

13.2.5 一般情况下,隔离缝顶部、悬吊式电梯井出入口与下部结构之间,应设置滑动盖板,滑动盖板应满足罕遇地震作用下的滑动要求。

13.2.6 与隔震建筑上部结构相连的建筑室外出入口通道(包含台阶、无障碍坡道、地下车库出入口坡道等)、在穿越隔震层位置与室外地面衔接时,应采取隔震脱离措施,如设置隔震沟、端部滑动支承梯段(坡道)等方式。隔震沟盖板设置应满足下列要求:

1 隔震建筑的人员和车辆主要出入口部位,宜设置与主体结构整体浇筑的悬挑盖板,应采取措施避免其与相邻非隔震建筑物、构筑物和建筑地坪之间的碰撞;

2 其他出入口部位盖板可采用悬臂式或两端搁置方式。盖板应具有保证正常使用的强度和刚度、满足与地震时建筑位移相适应的防垮塌搁置长度和任意方向自由移动范围,并采取防滑落和复位措施,保证通行功能不中断。楼、地面的建筑面层不应对竖向隔离缝盖板的移动产生阻碍。

13.2.7 竖向隔离缝和水平隔离缝处的栏杆、扶手和女儿墙应采取脱离措施,避免地震时发生碰撞、拉扯而破坏。

13.2.8 建筑出入口、台阶、坡道等室外构件,应采取防冻胀措施,以确保在低温、雨雪、冰冻等天气下构件的安全性和稳定性。

13.3 伸缩缝(抗震缝)构造

13.3.1 隔震建筑上部结构设置的伸缩缝(抗震缝),其间距可比现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010 及《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的相关规定适当延长,但必须经过详细计算确定;缝宽应符合现行国家相关标准的规定,且不应小于

罕遇地震或极罕遇地震作用下缝两侧结构最大相对位移的1.2倍。

13.3.2 当伸缩缝(抗震缝)没有贯穿隔震层顶板时, 缝宽可按照现行国家标准《混凝土结构设计标准》GB/T 50010及《建筑抗震设计标准》GB/T 50011的规定确定; 当伸缩缝(抗震缝)贯穿隔震层顶板及上部结构各层楼板, 使上部结构分为多个独立的隔震结构时, 伸缩缝应按相邻隔震结构的隔离缝考虑。

13.4 楼梯、电梯等隔震构造

13.4.1 隔震建筑中, 当楼梯、电梯、自动扶梯、自动步道、台阶、坡道穿越隔震层时, 应设置隔离缝, 满足隔震脱离要求。隔离缝应满足该部位相应耐火等级、耐火极限要求, 防火构造不应阻碍隔震建筑在地震时的位移和变形。

13.4.2 楼梯穿越隔震层时, 可采用断开、端部滑动支承、悬挂、底部支承等形式。楼梯、附属结构及竖向隔离缝盖板不应阻碍隔震建筑在地震时发生位移。

13.4.3 电梯井穿越建筑主体结构隔震层时, 应与上部结构连接, 可采取悬挂式或支承式电梯井等方式。电梯井周围及底部应留出足够宽度的水平和竖向隔离缝。悬挂式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于800mm。支承式电梯井结构底面与下部结构顶面净高不宜小于1000mm。

13.4.4 隔震建筑中, 自动扶梯(或倾斜式自动步道)需要在竖直方向上跨越隔震层时, 应设置满足本规程第13.2节要求的隔离缝。隔离缝盖板不应阻碍上部结构在地震时发生水平位移。

13.4.5 隔震建筑与非隔震建筑贴邻时, 水平自动步道不应在水平方向上穿过竖向隔离缝或隔震沟。

13.4.6 楼电梯间及人流通道处的墙体和饰面, 应符合下列规定:

1 楼梯间和人流通道处的墙体, 应采用双面钢丝网砂浆面层加强;

2 楼梯踏步板底的饰面层, 应与板底有可靠的粘结性能;

3 电梯井隔墙应采取措施，避免地震时破坏导致电梯轿厢和配重运行导轨的变形。

13.5 外墙、内墙、屋面、吊顶等隔震构造

13.5.1 地震时正常使用建筑中填充墙、隔墙、幕墙及吊顶等非 结构构件选用及构造要求应符合本规程第5.5节及附录相关规定。

13.5.2 外墙、屋面隔离缝处建筑保温、防火面层宜采用柔性连接，预留足够的可变形长度，并在缝两端加强与建筑构件连接。

13.5.3 隔震层内墙及外墙上的门窗，不应跨越水平隔离缝，该门窗应仅与上部结构或下部结构进行单侧固定，与另一侧采取隔震脱离措施。

13.5.4 隔震层内设置的内隔墙，隔墙与下部结构相连时，与上部结构构件之间应采取隔震脱离措施，水平及竖向隔离缝宽度应符合本规程第13.2节的规定，并应采取防倒塌措施。

13.5.5 如因功能需要将内墙竖向隔离缝进行覆盖时，应采用可移动盖板构造或可变形柔性材料；还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙竖向隔离缝可移动盖板的整体耐火极限应满足相应要求。

13.5.6 如因功能需要将内墙水平隔离缝进行覆盖或填充时，应采用可移动构造或可变形柔性材料；还应满足内墙防水、隔声相关要求。内墙水平隔离缝可移动构造或填充物的整体耐火极限应满足相应要求。

13.5.7 隔震建筑与相邻的非隔震建筑需要内部空间连通时，各层楼板室内连通位置应设置竖向隔离缝，竖向隔离缝构造应满足通行、防火、防水、防坠落及保温等要求，宽度应符合本规程第13.2节的规定。

13.5.8 与常规功能楼层共用的隔震层，该楼层的吊顶与临近的非隔震结构构件(或非隔震墙体、吊顶)之间应采取隔震脱离措施，一般情况下，吊顶水平脱开净距不宜小于200mm；考虑地

震时该楼层功能正常使用时，其水平脱开净距不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的1.2倍，且不应小于300mm。

13.5.9 隔震层的隔震装置及隔离缝应采取相应的防火构造措施，防火保护构造耐火极限不应低于该建筑竖向承重构件的耐火极限，且不应阻碍隔震装置或上部建筑在地震时的位移；防火构造措施所用材料应防腐、防潮，正常使用耐久性年限不宜低于15年，并应按时检查更换。

13.6 机电设备与管线隔震构造

13.6.1 建筑附属机电设备不应设置在可能致使其发生功能障碍或易发生二次灾害的部位；地震时需要连续工作的附属机电设备，应设置在建筑地震反应较小的部位。

13.6.2 管道、电缆、通风管和设备的洞口位置，应减少对主要承重结构构件的削弱。

13.6.3 设备管线穿越填充墙时，应避免集中设置造成对填充墙的削弱，如需集中设置，应对集中布置设备管道墙体采取加强措施。

13.6.4 管道和设备与建筑结构的连接基座或支架，以及相关连接件和锚固件，应具有足够的刚度和强度。

13.6.5 隔震建筑的机电工程柔性连接应满足下列要求：

1 地震时保持正常使用功能建筑中，机电工程柔性连接的设计应满足建筑罕遇地震标准；

2 其他建筑中，震时可能使用的防排烟、消防给水、消防供配电、消防应急照明和疏散指示、火灾自动报警等系统柔性连接设计应满足建筑罕遇地震标准；其余机电系统柔性连接的设计应满足建筑设防地震标准。

13.6.6 隔震层设备管线的设置，应符合以下规定：

1 穿越隔震层的各类管道应采用柔性连接部件或其他有效措施，并在隔震层两侧设置抗震支架，其中重要管道、污水管道、

可能泄露有害介质或可燃介质的管道，其预留的水平位移补偿量不应小于建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的1.4倍。穿越隔震层的其他各类管线，其水平位移补偿量应按满足本规程第13.6.5节规定的地震标准进行计算确定，且不宜小于计算最大位移量的1.2倍。设置位置应考虑方便检修与更换。穿越隔震楼层的机电管线，应采用柔性防火材料对洞口与管道间的缝隙进行封堵；

2 设备管线宜采用悬挂于隔震上层或支承于隔震下层布置，与支承构件的连接宜采用柔性方式；适度集中后再行上下穿越；

3 隔震层中，固定于上部结构的机电管线边缘与周围固定物、非隔震结构(或墙体)的间距不应小于建筑结构主体罕遇地震下最大水平位移值的1.2倍；

4 通风管竖向穿越隔震层时，可采用楼板开洞方式，其四周按竖向隔离缝宽度预留，并采用柔性防火材料对洞口与管道间的缝隙进行封堵；

5 防雷接地引线跨越隔震楼层时，或利用构件钢筋作避雷针时，应采取柔性导线连接隔震层上部结构和下部结构钢筋，其预留的水平位移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的1.4倍；

6 各柔性管道特性和安装应满足现行行业标准《建筑隔震柔性管道》JG/T 541的要求。

13.6.7 可能泄露有害介质或可燃介质的管道布置应符合下列规定：

1 应避免穿越隔震楼层，当必须穿越时，应在室外设置阀门和快速切断阀，并设置与切断阀连锁的地震感应器；管道在隔震层部位的水平位移补偿量应满足建筑主体罕遇地震下最大水平位移值的1.4倍；

2 不应穿越隔离缝及邻近的可移动构件。

13.6.8 密闭的隔震专用层宜设置机械通风设施，通风换气量不

小于2次/h。隔震专用层内宜设置照明设施。出入口、吊装口地面照度不宜低于100lx, 隔震专用层内地面最低水平照度不应低于1.01x。

13.6.9 隔震专用层内应预留集水坑, 其数量不应少于两处, 其间距不宜大于200m; 隔震层位于不同标高时, 较低层和楼层低点应设置集水坑。集水坑应根据地下水位、隔震层渗水、进水风险等因素, 设置排水泵系统或自干型集水坑。

13.6.10 隔震专用层内部与外部的用电设备应分回路配电, 分支配电线路不宜由隔震专用层内部配电装置向外部配出。隔震楼层内的各类电缆缆线穿越隔震层时, 应留有电线长度余量, 余量不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移值的1.2倍, 且不应小于300mm。电线穿管敷设时宜采用弹性和延性较好的管材。

13.6.11 隔震专用层的人员检修出入口外部宜安装无关人员禁止进入标志灯, 内部应安装出口标志灯。

14 隔震支座的检验

14.0.1 隔震支座应进行型式检验、出厂检验和见证检验。

14.0.2 型式检验、出厂检验及见证检验技术性能应符合《建筑隔震橡胶支座》JG/T 118、《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB 20688.5、《建筑摩擦摆隔震支座》GB/T 37358等现行国家规范及标准的规定内容及要求；同时，需要满足本规程第12章中关于隔震支座检验的相关内容规定及要求。

14.0.3 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，并做永久性标识，并应由具有检测资质的第三方进行检验，尚应符合下列规定：

1 同一产品供应商、同一类型、同一规格的产品，取总数量的2%且不少于3个进行隔震支座压缩性能和剪切性能检验，其中检查总数量的每3个支座中，取1个进行水平极限剪切性能检验；当该类型规格支座数量少于3个时，应全部进行隔震支座压缩性能和剪切性能检验，并取1个进行水平极限剪切性能检验；

2 不同型号的橡胶隔震支座水平极限剪应变不应小于400%。

15 隔震部件的施工、验收和维护

15.1 一般规定

15.1.1 建筑隔震工程施工现场管理，应有健全的质量管理体系与检验制度。

15.1.2 施工过程和质量验收所使用的计量器具，应按照计量法的要求定期到技术监督局授权的计量检定机构进行检定，以保证所测数据准确性和有效性。每次测量前还应对各类仪器设备进行校验和检查，确保仪器状态正常。

15.1.3 建筑隔震工程施工前，应由建设单位组织设计、施工、监理及其他相关单位进行隔震专项施工技术交底和图纸会审，并应由施工单位应根据设计文件编制专项施工组织设计和施工技术方案，该方案需经过建设和监理单位审核。

15.1.4 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 分项工程可按支座安装、阻尼器安装、柔性连接安装、隔震缝、隔震工程专用标识安装等进行划分；

2 检验批可按楼层、结构缝或施工段进行划分；

3 支座和阻尼器等材料进场检验，可按进场批次、生产厂家、规格划分检验批。

15.1.5 建筑隔震工程施工的每道工序完成后应按隐蔽工程要求检查验收，并应形成记录。对重要工序需经设计人员确认合格后，方可进行下道工序的施工。

15.1.6 检验批质量验收合格应符合下列规定：

1 主控项目的质量经抽样检验应合格；

2 一般项目的质量经抽样检验应合格，当采用计数检验时，对应于合格质量水平的错判概率不宜超过5%，漏判概率不宜超

过10%;

3 应具有完整的施工操作依据、质量检查记录及质量证明文件。

15.2 进场验收

15.2.1 隔震支座、阻尼器及连接件等隔震部件产品进场时，应按相关规定进行进场验收。

15.2.2 隔震支座和阻尼器在运输、搬运时应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等措施，应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所，码置应整齐牢固，不得混放、散放。严禁与酸碱、油类、有机溶剂或腐蚀性化学品等接触。开封验货后，应进行包装防护。隔震支座在运输、贮存过程中如遭遇可能影响隔震支座性能的事件时，应再次进行出厂检验。抽样数量可由相关各方协商确定。

15.2.3 支座和阻尼器应进行见证检验，对检验判定为不合格的产品不得使用。

15.3 支座

15.3.1 支座下支墩(柱)施工应符合下列规定：

1 支座下支墩(柱)钢筋安装、绑扎时，应确定支座下预埋套筒或锚筋的位置，不应互相阻挡；

2 支座下连接板预埋就位后，应校核其标高、平面位置、水平度，并应符合本规程和设计要求；

3 支座下支墩(柱)的混凝土宜分二次浇筑，浇筑时应有排气措施。第一次宜浇筑至支座下连接板以下，第二次浇筑前应复核支座下连接板的平面位置、标高和水平度。二次浇筑的混凝土宜采用高流动性且收缩小的混凝土、微膨胀或无收缩高强砂浆，其强度等级宜比原设计强度等级提高一级。混凝土不应有空鼓；

4 浇筑混凝土前，应对螺栓孔采取临时封闭措施，不应灌入混凝土。混凝土浇筑完成后应及时将下连接板表面清洁干净；

5 混凝土初凝前，应校准下连接板的平面位置、高程和水平度，发现问题应立即采取处理措施以满足要求，并应保留相关记录。

15.3.2 支座安装应符合下列规定：

1 下支墩(柱)混凝土强度达到设计强度的75%以上时方可进行支座安装；

2 支座安装前应复核下连接板的平面位置、标高和水平度，并应保留相关记录；

3 支座吊装时，应按厂家提供的吊点安装吊具，吊运过程中，支座宜水平；

4 支座安装过程中应采取措施，不得发生水平变形；

5 支座就位后，应复核其平面位置、顶面高程和顶面水平度；

6 螺栓应对称拧紧；

7 支座安装后，支座与下支墩(柱)顶面的连接板应密贴；

8 当同一支墩(柱)下采用多个支座组合时，必须采用同一厂家产品。

15.3.3 支座相邻上部结构施工应符合下列规定：

1 支座安装验收合格后，方可进行后续工程施工；

2 支座上连接板安装后，将锚定螺栓就位，应校核其位置、高程等，并应保留记录；

3 支座安装后应立即采取保护措施，后续施工过程中不得污染、损伤；

4 支座上部相邻结构的模板和混凝土工程施工时，应对隔震层采取临时固定措施，不应发生水平位移；

5 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时，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；

6 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；

7 在支座相邻上部结构施工过程中，应定期观测支座竖向变形，并应保留相应记录。

15.3.4 当支座需进行防火保护时，应按设计文件进行。

15.4 阻尼器

15.4.1 阻尼器的安装应在支座安装及上部梁板体系施工验收合格后进行，或在隔震层上部施工验收合格后进行。

15.4.2 阻尼器与主体结构的连接方案，应经确认后实施。

15.4.3 阻尼器的平面布置、吊装就位应符合设计要求。

15.4.4 阻尼器安装接头的高强度螺栓连接，应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82的有关规定，并应符合设计要求，高强螺栓应对称拧紧，拧紧过程分为初拧、复拧、终拧三个阶段，并在24h内完成。复拧扭矩等于初拧扭矩，初拧扭矩宜为终拧扭矩的50%。高强螺栓施拧采用的扭矩扳手和检查采用的扭矩扳手必须经过标定，并在每班作业前，均应进行校正，其扭矩误差应分别为使用扭矩的5%和3%。

15.4.5 阻尼器安装接头的焊接连接，应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661的有关规定，并应符合设计要求。

15.4.6 阻尼器与铰接件之间的销栓或球铰连接时，其间隙应满足设计文件要求。当设计文件无要求时，间隙不应大于0.3mm。

15.4.7 阻尼器安装完成后应撤除临时固定件。

15.5 柔性连接

15.5.1 对穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施，对可能泄漏有害介质或可燃介质的重要管道，在穿越隔震层位置时应采用柔性连接，并应符合本规程第13.6节的

规定。采用柔性连接的设备配管、配线，地震时管道的柔性连接部位不应发生破坏，避免发生次生灾害和丧失使用功能。燃气、给水等类型管道柔性连接地震时不应发生破坏，避免重要功能丧失或引发火灾等次生灾害。

15.5.2 穿过隔震层的柔性管线，应在隔震缝处预留足够的伸展长度。

15.6 隔震缝

15.6.1 上部结构与下部结构之间的水平隔震缝的高度应满足设计要求。当设计无要求时，应满足本规程13.2节的相关要求。

15.6.2 对水平隔震缝封闭处理，应符合本规程13.2.4节的相关要求；对竖向隔震缝的封闭处理，宜采用柔性材料覆盖，且均不应阻碍隔震缝发生自由水平位移。

15.7 分项工程验收

15.7.1 建筑隔震工程验收程序应符合下列规定：

1 建筑隔震工程的检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目结构专业技术负责人等进行验收；

2 建筑隔震工程完工后，应由总监理工程师组织建设单位、设计单位专业技术负责施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收并提交子分部工程验收报告。分部工程验收报告应由建设单位组织相关单位进行验收。

15.7.2 建筑隔震工程施工质量验收应在自检合格基础上，按检验批、分项工程、子分部工程验收，应符合下列规定：

1 工程施工质量应符合本规程和设计要求；

2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；

3 隐蔽工程在隐蔽前，应由相关单位进行隐蔽工程验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件；

4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

15.7.3 建筑隔震工程上部结构验收、竣工验收及后期维护检查时，应对隔离缝和柔性连接进行验收和检查。

15.7.4 支座安装验收符合下列规定：

I 主控项目

1 支座型号、数量、安装位置应符合设计要求；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 支座应与下支墩(柱)顶面密贴；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

3 支座下支墩(柱)混凝土强度不应低于设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：试件强度试验报告。

II 一般项目

4 橡胶隔震支座、弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合表15.7.4的规定；

表15.7.4隔震支座安装位置的允许偏差和检验方法

支座类别	检查项目	允许偏差	检查数量	检查方法
摩擦摆隔震支座	支座标高	±3mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
	支座水平位置偏差(mm)	±5mm		用全站仪、钢尺测量
	水平度	下支墩顶面		用水准仪、千分塞尺测量
		支座顶面		用水准仪、千分塞尺测量
叠层橡胶支座	支座标高	±3mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
	支座水平位置偏差(mm)	±5mm		用全站仪、钢尺测量

续表15.7.4

支座类别	检查项目		允许偏差	检查数量	检查方法
叠层橡胶支座	水平度	下支墩顶面	3‰	全数检查	用水准仪、千分塞尺测量
		支座顶面	5‰		用水准仪、千分塞尺测量
弹性滑板支座	橡胶支座部	中心标高	±5mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
		平面中心位置	±5mm		用全站仪、钢尺测量
		顶面水平度	2‰		用水准仪、千分塞尺测量
	滑移面板	中心标高	±5mm	全数检查	用水准仪、钢尺测量
		平面中心位置	±5mm		用全站仪、钢尺测量
		顶面水平度	2‰		用水准仪、千分塞尺测量
	橡胶支座与滑移面板平面中心位置相对偏差		5mm	全数检查	用全站仪、钢尺测量

5 支座不应出现较大侧鼓。当出现侧鼓时，侧鼓尺寸不宜大于3mm；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

6 当支座表面出现破损、锈蚀，不影响使用性能时，应及时修复；影响使用性能时，应及时更换；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

7 支座下支墩(柱)不应有蜂窝、麻面；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

8 支座防火封闭应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

15.7.5 阻尼器安装验收符合下列规定：

I 主控项目

1 阻尼器型号、数量、安装位置应满足设计要求；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

2 阻尼器安装连接部位的焊缝质量应满足设计要求，并应进行见证检验。当设计文件无要求时，焊缝等级不应低于二级。检测质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定。

检查数量：一级焊缝全数检查；二级抽查全数的20%。

检验方法：检查超声波或射线探伤见证试验报告。

II 一般项目

3 阻尼器安装连接部位的高强度螺栓的终拧扭矩和梅花头检查应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定；

检查数量：安装节点总数的5%，且不少于3个。

检验方法：观察，检查施工记录。

4 阻尼器连接件与混凝土构件连接的锚栓、垫板安装应满足设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的有关规定；

检查数量：安装节点总数的20%，且不少于3个。

检验方法：观察，检查施工记录。

5 阻尼器连接件与混凝土构件连接需二次灌浆时，其浇筑质量应满足设计要求；

检查数量：安装节点总数的50%，且不少于3个。

检验方法：观察，检查施工记录和试件试验报告。

6 阻尼器安装出平面外垂直度要求应满足设计要求；

检查数量：安装节点总数的50%，且不少于3个

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

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

检查数量：安装节点总数的50%，且不少于3个。

检验方法：观察，卡尺测量，检查施工记录。

8 当阻尼器表面出现破损、锈蚀、污染物、混凝土，不影响使用性能时，应及时修复；影响使用性能时，应及时更换。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

15.7.6 柔性连接验收符合下列规定：

I 主控项目

1 可能泄漏有害介质或可燃介质管道的柔性接头或柔性连接段，应确认其具有满足设计要求的水平变形能力。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，查看性能保证书和相关证明文件。

II 一般项目

2 穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

3 当构件钢筋作避雷线时，柔性导线的预留可伸展长度应大于设计水平位移要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

15.7.7 隔震缝验收符合下列规定：

I 主控项目

1 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝的宽度应符合本规程15.5节的规定；

检查数量：全数检查。

检验方法：塞尺、米尺测量。

2 隔震缝内及周边不得有影响隔震层发生相对水平位移的阻碍物；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

3 对穿越隔震层的门厅入口、室外踏步，室内楼梯、楼梯扶手、电梯井道、地下室坡道、车道入口处，应采取隔震脱离措施并符合设计要求；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

4 隔震缝的密封构造措施不得阻碍隔震层发生相对水平位移。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

II 一般项目

5 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝宽度应均匀。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

15.7.8 建筑隔震工程质量验收不合格时，应按下列规定处理：

1 经更换构(配)件的检验批，应重新进行验收；

2 经有资质的检测机构鉴定并出具相关鉴定报告，且经设计单位复核，能够满足结构安全和使用功能要求，可予以验收。

15.8 子分部工程验收

15.8.1 建筑隔震工程施工质量验收时，应提供下列文件和记录：

1 工程相关设计文件及设计变更文件；

2 支座、阻尼器及相关材料质量合格证明文件、中文标识、性能检测报告和复验报告；

- 3 施工现场质量管理检查记录；
- 4 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；
- 5 有关观感质量检验项目检查记录；
- 6 分项工程所含各检验批质量验收记录；
- 7 工程重大质量问题的处理方案和验收记录；
- 8 西隔震装置使用维护手册、维修管理及计划；
- 9 其他必要的文件和记录。

15.8.2 当建筑工程施工质量不符合本规程要求时，应按下列规定进行处理：

- 1 经返工重做或更换构(配)件的检验批，应重新进行验收；
- 2 经有资质的检测单位检测鉴定能达到设计要求的检验批应予以验收；
- 3 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求的，但经原设计单位核算认可能满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；
- 4 经返修或加固处理的分项、子分部工程，对改变外形尺寸尚能满足安全使用要求时，可按处理技术方案和协商文件进行验收。

15.8.3 通过返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的建筑工程，严禁验收。

15.8.4 建筑隔震子分部工程施工质量验收合格后，应将所有的验收文件存档备案。

15.9 维护

15.9.1 建设单位应组织设计单位和隔震支座产品供应商编制隔震工程使用说明书及维护管理要求，说明书中应阐述隔震原理、房屋使用者注意的问题，同时给出主要建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔离缝布置图以及隔震产品描述等。

15.9.2 隔震建筑工程除对建筑一般维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑特有的项目进行检验、检查。检查项目可包括支座、阻尼器、隔震沟(隔离缝)、柔性连接；检查方法应按本规程的15.7节相关规定执行。

15.9.3 隔震建筑的维护检查分为常规检查、定期检查和应急检查：

1 常规检查应每年进行一次，检查方式可采用观察方式和尺量；

2 定期检查应为竣工后的第3年和第5年，第5年以后每5年进行一次。除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；

3 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，检查内容同定期检查。

15.9.4 隔震层部件的改装、更换和加固，宜优先采用原厂家隔震部件。施工前应编制专项施工方案，并由有资质的设计单位确认，或由原设计单位确认。

15.9.5 新建、改建、扩建建筑隔震工程均应设置隔震工程专用标识。专用标识不应被遮挡、覆盖。工程设计文件中应对专用标识的设置提出明确要求。隔震工程专用标识的安装应纳入隔震专项验收范围。竣工验收后，建筑隔震工程专用标识应纳入隔震建筑全生命周期内的物业维护和管理工作范围。

15.9.6 隔震装置(如隔震支座、阻尼器等)标识应由供应商随产品提供，其他隔震专用标识应由建设单位委托制作，施工单位负责安装。更换隔震装置时，应同时更换相应标识。

15.9.7 隔震工程专用标识中，主标识应反映工程基本信息，包括隔震工程标志、项目名称、建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、主要隔震装置的产品供应商、隔震专项工程验收日期。其他专用标识可分为隔震支座标识、隔震沟(隔离缝)标识、隔震楼层标识、穿越隔震层部位的可移动管线标识、隔震层检修口

(吊装口)标识、疏散避让标识、地面隔震间距标识等。

15.9.8 隔震工程专用主标识应设置于建筑主要入口显著位置。

其他隔震专用标识应设置于相关隔震装置或隔震构造的邻近位置。

所有隔震工程专用标识应便于识读及维护。

15.9.9 由于隔震建筑上部结构和下部结构在地震时会有相对错动, 应在错动构造部位的临近墙面或地面设置疏散避让标识, 提示疏散人员进行避让, 提示无关物品不得侵占水平隔震间距。下列部位应设置明显疏散避让标识:

1 跨越建筑首层周圈隔震沟的人行出入口、隔震台阶和无障碍坡道部位;

2 跨越隔震沟的地下车库连通口、地下车库地面出入口部位;

3 于建筑内部各楼层楼板上设置了竖向隔离缝盖板的部位(隔震与非隔震建筑贴邻建设时);

4 隔震工程中的断开式楼梯、端部滑动支撑式楼梯的可移动部位;

5 隔震工程中的悬挂式(支承式)楼梯间、悬挂式(支承式)电梯井、悬挂式(支承式)核心筒在楼板处的竖向隔离缝盖板部位;

6 其他因隔震而可能产生相对位移的部位。

15.9.10 隔震建筑的标识设置范围和内容应符合下列规定:

1 门厅入口处应标明隔震建筑, 并应简单阐述隔震原理房屋使用者注意问题, 同时给出主要建筑结构平面图、剖面图隔震层布置图、隔震缝布置图以及隔震产品描述等;

2 水平隔震缝处应标明此处为上部结构与下部结构完全分开的水平缝;

3 建筑物周围的竖向隔震缝(又称隔震沟)处应标明地震时此处为建筑物的移动空间, 并应在其范围内设置标线或警示线。

15.9.11 隔震工程专用标识应采用耐久性好、易于清洁、不易腐

蚀生锈变质的不燃或难燃材料制作，如铜、铝、不锈钢等。同一项目宜采用统一标识材料，隔震管线标识可采用难燃的软质标签。

15.9.12 隔震工程专用标识在安装前应由设计方确认内容正确，安装后应形成标识数量和样式清单，纳入隔震专项工程验收资料，并提供给后续物业管理单位。

15.9.13 隔震工程专用标识在竣工验收后，一般情况应每半年进行一次定期检查，保证标识安装牢固、标志和字迹清楚、未受污损。发生地震、火灾等特殊情况，应结合隔震工程应急检查一并进行巡检。在建筑使用期内，如隔震工程专用标识出现污损、缺失，应由物业管理方及时进行更换和安装。

附录A 支座的计算模型

A.0.1 本附录提供的隔震支座计算模型包括：天然橡胶隔震支座 (LNR)、铅芯橡胶隔震支座 (LRB)、高阻尼橡胶隔震支座 (HDR)、弹性滑板支座 (ESB)、摩擦摆隔震支座 (FPS) 计算模型。

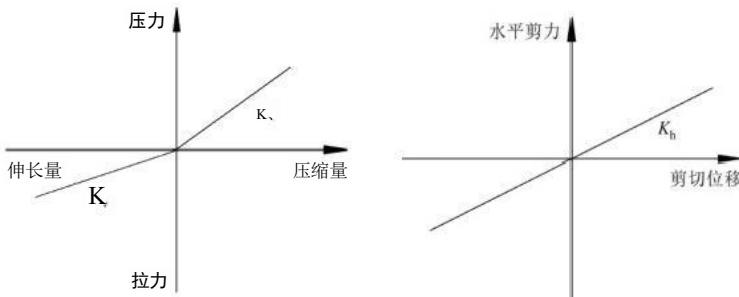
A.0.2 隔震支座计算模型可用于隔震结构的动力时程分析。计算模型中的竖向受压刚度、竖向受拉刚度、屈服力、屈服后水平刚度和水平等效刚度等力学性能参数应通过支座的力学性能试验来确定。

A.0.3 天然橡胶隔震支座的力学模型应满足本章节相关规定：

1 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；

2 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；

3 水平向力学模型采用线弹性模型见图A.0.3，线弹性刚度取支座的水平等效刚度。



a) 竖向计算模型 b) 水平向计算模型

图A.0.3 天然橡胶支座计算模型

K_v——天然橡胶隔震支座竖向受压刚度；

Kv' ——天然橡胶支座竖向受拉刚度；

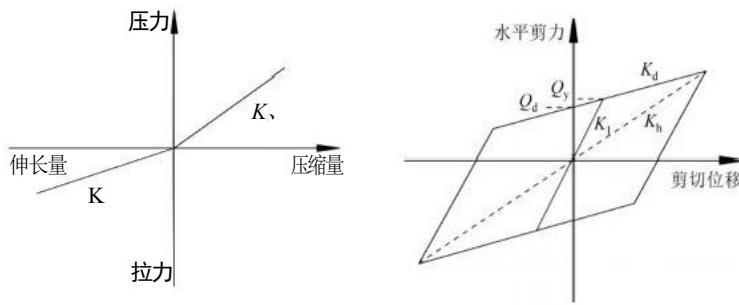
K_h ——建筑隔震橡胶支座水平等效刚度。

A.0.4 铅芯橡胶隔震支座的力学模型应满足本章节相关规定:

1 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;

2. 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;

3 水平向力学模型采用双线性模型见图A.0.4, 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.0.4 铅芯橡胶支座水平向计算模型

K_v—铅芯橡胶隔震支座竖向受压刚度；

K_v—铅芯橡胶隔震支座竖向受拉刚度；

Qd——屈服力：

Q——与屈服位移对应的水平剪力；

K_1 ——铅芯橡胶隔震支座屈服前水平刚度；

Ka——铅芯橡胶隔震支座屈服后水平刚度；

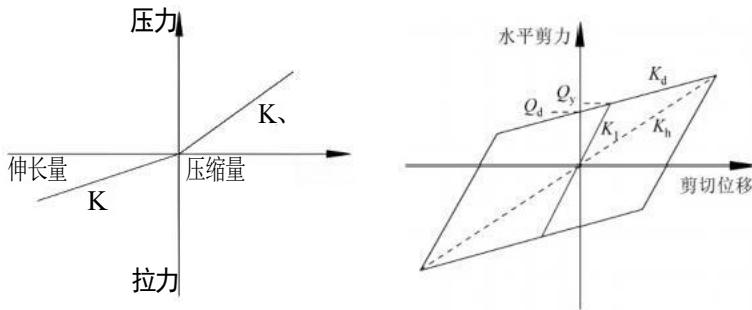
K_h ——铅芯橡胶隔震支座水平等效刚度。

A.0.5 高阻尼橡胶隔震支座的力学模型应满足本章节相关规定:

1 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；

2 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;

3 水平向力学模型采用修正双线性模型见图A.0.5, 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。



a)竖向计算模型 b)水平向计算模型
图A.0.5 高阻尼橡胶支座计算模型

K ——高阻尼橡胶隔震支座竖向受压刚度;

K'_v ——高阻尼橡胶隔震支座竖向受拉刚度;

Q_a ——屈服力;

Q_y ——与屈服位移对应的水平剪力;

K_r ——高阻尼橡胶隔震支座屈服前水平刚度;

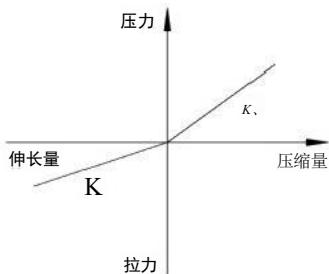
K_a ——高阻尼橡胶隔震支座屈服后水平刚度;

K_h ——高阻尼橡胶隔震支座水平等效刚度。

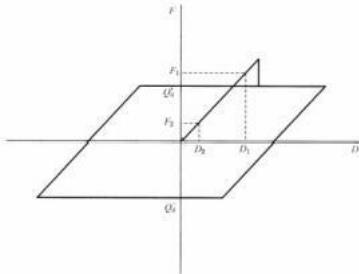
A.0.6 弹性滑板支座的力学模型应满足本章节相关规定:

1 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;

2 弹性滑板支座水平向采用双折线力学模型。滑板支座起滑前, 初始刚度为橡胶支座的水平线性刚度; 起滑后, 水平向刚度近似为0。



a) 坚向计算模型



b) 水平向计算模型

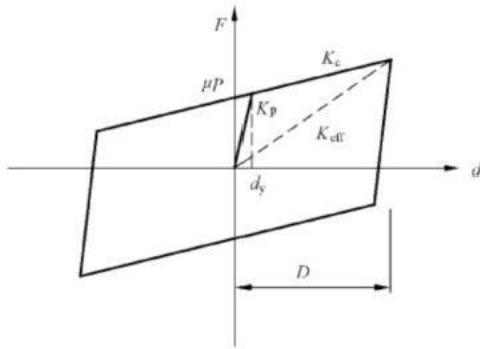
图A.0.6 弹性滑板支座的计算模型

K ——弹性滑板支座的坚向受压刚度； Q ——弹性滑板支座动摩擦力。

A.0.7 摩擦摆隔震支座的力学模型应满足本章节相关规定：

1 坚向受压力学模型采用线弹性模型，通常摩擦摆隔震支座不涉及坚向刚度，仅需考虑支座的坚向承载力；

2 摩擦摆隔震支座水平向采用双折线力学模型。



图A.0.7 摩擦摆隔震支座水平向计算模型

K_p ——摩擦摆隔震支座的初始刚度； K_c ——摩擦摆隔震支座的屈服后刚度。

附录B 建议的隔震支座规格及性能参数

表B.1天然橡胶隔震支座力学性能及规格尺寸表

型号		符号	单位	LNR40 0	LNR50 0	LNR60 0	LNR70 0	LNR80 0	LNR90 0	LNR100 0	LNR110 0	LNR120 0
橡胶剪切弹性模量	G	N/mm ²		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
产品高度	连接板厚度	T	mm	16	20	25	28	32	35	32	35	40
	支座高度	h	mm	130	154.5	180.5	204.5	228	255	287.5	315	338
	总装高度	H	mm	162	194.5	230.5	260.5	292	325	351.5	385	418
	橡胶层总厚度	Tr	mm	≥73	≥92	≥110	≥129	≥147	≥165	≥184	≥202	≥220
产品结构	第一形状系数	S ₁		≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25
	第二形状系数	S ₂		≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5	≥5
竖向性能	设计面压	Oma _x	MPa	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	设计压力	Pma _x	kN	1507	2355	3391	4616	6209	7630	9420	11398	13565
	竖向刚度	K _v	kN/m ³	1100	1400	1700	1900	2250	2600	2900	3350	3800
水平性能	等效水平刚度100%	Kh	kN/m ³	0.66	0.81	0.95	1.09	1.24	1.38	1.51	1.65	1.81
	等效水平刚度250%	Kh	kN/m ³	0.59	0.72	0.85	0.98	1.11	1.24	1.35	1.48	1.62
	等效水平刚度400%	Kh	kN/m ³	0.56	0.68	0.8	0.92	1.05	1.17	1.28	1.4	1.53

表B.2铅芯橡胶隔震支座力学性能及规格尺寸表

水平性能	屈服前刚度	K; kN/m m	7	9	11	12	14	16	17	19	21
	屈服后刚度	Ka kN/m m	0.53	0.71	0.84	0.96	1.1	1.22	1.33	1.48	1.60

续表B.2

舌

附录C 隔震支座连接设计

C.0.1 隔震橡胶支座水平变形后(如图C.0.1),隔震支墩及连接部位的附加弯矩应按下列公式计算:

$$M = \frac{P\delta + Vh}{2} \quad (C.0.1)$$

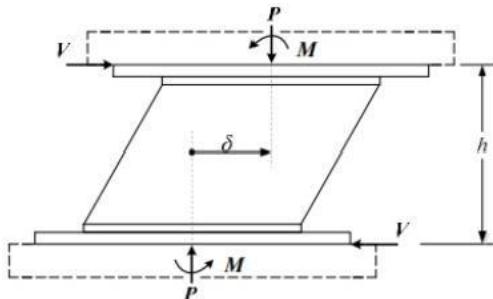
式中: M ——隔震支墩及连接部位所受弯矩;

P ——上部结构传递的竖向力;

δ ——支座的水平剪切变形;

V ——支座所受水平剪力;

h ——支座的总高度(含连接板)。



图C.0.1 隔震支墩及连接部位变形

C.0.2 隔震支墩混凝土局部受压最大压应力应满足下列要求:

$$\sigma_c = P \frac{4(1 - \cos \theta)}{\left[\frac{\sin \theta (2 + \cos^2 \theta)}{3} - \theta \cos \theta - n P_g \pi \cos \theta \right] D_c^2} \leq 1.35 \beta_c \beta_f f_{ck} \quad (C.0.2-1)$$

$$\theta = \arccos\left(\frac{r - X_n}{r}\right) \quad (C.0.2-2)$$

$$P_g = \frac{A_s}{\pi D_c^2} \quad (C.0.2-3)$$

$$De = D_o + 4t + \quad (C.0.2-4)$$

$$Ab = \pi r^2 \quad (C.0.2-5)$$

$$X_n = \left[0.5 + \frac{1+2nP_g \left(\frac{r_s}{r} \right)^2}{16(1+nP_g) \frac{\delta}{D_c}} \right] D_c \quad (C.0.2-6)$$

$$r = \frac{D_e}{2} \quad (C.0.2-7)$$

式中: α_c ——隔震支墩混凝土局部受压最大压应力值;

θ ——支墩混凝土受压区对应的圆心角的一半;

n ——螺栓与混凝土的弹性模量比;

P_g ——螺栓配筋率, 螺栓总面积与支墩有效混凝土柱截面直径的比值;

D_e ——上下支墩有效混凝土柱截面直径;

D_o ——隔震支座有效直径;

t^+ ——连接板厚度;

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

β_1 ——混凝土局部受压时的强度提高系数, 取 $\sqrt{Ab/A_1}$ 和 1.6 二者的较小值, 其中 A_1 表示支墩截面面积, Ab 表示局部受压面积;

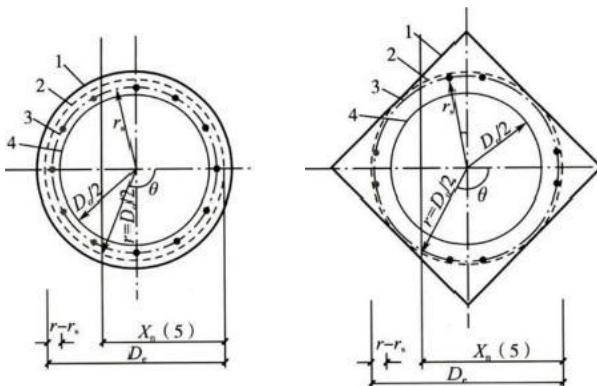
f_{ck} ——支墩混凝土轴心抗压强度标准值;

X_n ——中性轴位置;

r_s ——螺栓布置的半径;

r ——上下支墩有效混凝土柱截面半径。

隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布见图 C.0.2。



1-连接板; 2-有效混凝土截面轮廓;
3-螺栓中轴线; 4-隔震支座; 5-受压区

图C.0.2 隔震支墩有效混凝土柱截面应力分布

C.0.3 隔震支座连接螺栓强度验算应符合下列规定:

$$\left(\frac{F_B}{A_b f_{yt}^b}\right)^2 + \left(\frac{V}{n_b A_b f_v^b}\right)^2 \leq 1 \quad (C.0.3-1)$$

$$F_B = \frac{M_r L_{\max}}{\sum L_i^2} + \frac{F_u}{n_b} \quad (C.0.3-2)$$

式中: F_B ——螺栓拉力;

A_b ——单个螺栓截面积;

——螺栓抗拉设计强度;

n_b ——螺栓数量;

——螺栓抗剪设计强度;

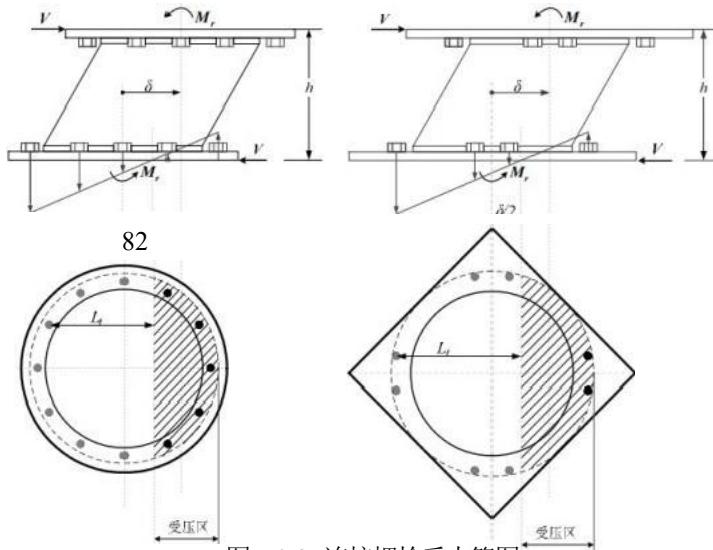
M ——支座水平剪力产生的附加弯矩, $M_1 = Vh/2$;

L_{\max} ——螺栓到中性轴的最大距离;

L ——螺栓到中性轴的距离, 其中中性轴距离隔震支座中心为 $\delta/2$; F_u

——支座提离力。

隔震支座连接螺栓的受力简图见图C.0.3。



图C.0.3 连接螺栓受力简图

C.0.4 隔震支座预埋件(如图C.0.4)设计应满足下列要求:

1 与连接螺栓相连锚筋强度验算:

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A_{ab}} \leq f_{yt}^{ab} \quad (C.0.4-1)$$

式中: B ——与连接螺栓相连锚筋的受拉应力;

A_{ab} ——单个锚筋截面积;

f_{yt}^{ab} ——锚筋抗拉设计强度。

2 与连接螺栓相连锚筋的锚固长度要求应满足下式规定, 且不小于250mm;

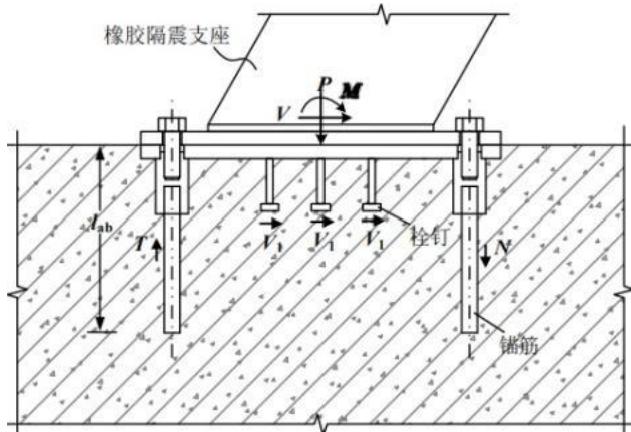
$$l_{ab} \geq \alpha \frac{\sigma_B}{f_t} d_{ab} \quad (C.0.4-2)$$

式中: l_{ab} ——与螺栓相连锚筋的锚固长度;

α ——锚筋的外形系数, 光圆表面取0.16, 带肋表面取0.14;

f ——混凝土轴心抗拉强度设计值;

dab——锚筋直径。



图C.0.4 预埋件受力情况示意图

3 预埋板中部栓钉抗剪承载力设计值由下式确定：

$$V_1 = \frac{V}{n_{st}} \leq N_v^{st} = 0.43 A_{st} \sqrt{E_c f_c} \text{ 且 } V_1 \leq 0.7 A_{st} \gamma f_{st} \quad (C.0.4-3)$$

式中： V_1 ——单根栓钉所承受的剪力；

n_{st} ——栓钉数量；

N_s ——单根栓钉抗剪承载力设计值；

A_{st} ——单根栓钉截面积；

E_c ——混凝土的弹性模量；

f ——混凝土轴心抗压强度设计值；

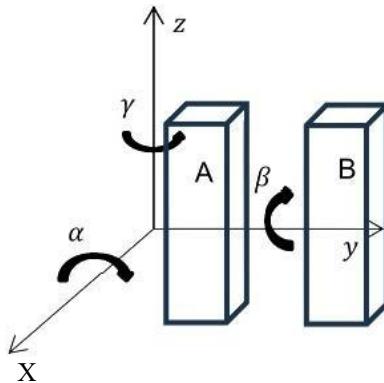
γ ——栓钉材料抗拉强度最小值与屈服强度之比；

f_s ——栓钉抗拉强度设计值；当栓钉材料性能等级

为4.6级时， f_s 取 215 N/mm^2 , $\gamma=1.67$ 。

附录D 碰撞分析和设缝变形量的计算

D.0.1 将建筑物置于空间直角坐标系中，在一定尺度内，建筑物可看作悬臂构件。将沿着三个轴线方向的平动位移定义为 Δx 、 Δy 、 Δz ，绕三个轴线的转角定义为 α 、 β 、 γ (如图 D.0.1)。



图D.0.1 建筑物在空间直角坐标系中的位移量表示

D.0.2 两建筑之间或建筑和其附属台阶、看台或连廊之间的最不利变形情况为两者的相向位移与两者绕z轴不同方向转动的组合(如图D.0.2)。两者不发生碰撞应满足下式：

$$\eta_1(|\Delta y_a| + |\Delta y_b|) + \eta_2(\gamma_a L_a + \gamma_b L_b) = d \quad (D.0.2)$$

式中：LA、LB— 建筑物碰撞点到转动中心的距离；

η_1 、 η_2 — 平动放大系数和转动放大系数，不应小于1.1。

D.0.3 当两建筑之间存在高位连廊时，两建筑之间的最不利变形可通过连廊的变形表示。如图D.0.3。

连廊的位移能力分别为 D_x 、 D_y 、 D_z ，扭转能力为 $Q_{\phi y}$ 、 $Q_{\phi z}$ 。连廊在这六个自由度方向上的变形能力均应大于结构的变形需求。可分为以下六种工况：

工况一：如图D.0.3(a)

$$\eta_1(\Delta x_a + \Delta x_b + \gamma_a L_a + \gamma_b L_b) \leq D_x \quad (D.0.3-1)$$

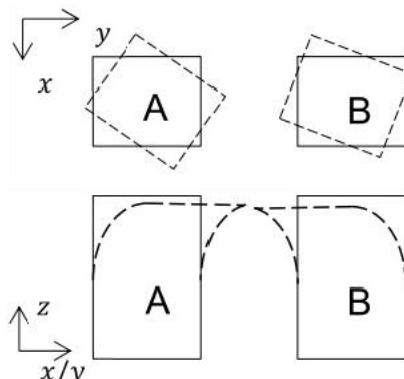
式中: Δx_A 、 Δx_B ——建筑A、B在x方向的位移;

ΔY_A 、 ΔY_B ——建筑A、B绕z方向的转角;

L_A 、 L_B ——建筑A、B的计算变形的点到转动中心的最远距离;

$$[n_2(\Delta x_A + \Delta x_B) + n_2(Y_A L_A + Y_B L_B)]/L \leq 4z \quad (D.0.3-2)$$

式中: L——连廊的长度



图D.0.2 相邻建筑变形示意图

工况二: 如图D.0.3(b1、b2)

$$\eta_1(\Delta y_A + \Delta y_B + \gamma_a L_a + \gamma_a L_a) \leq D_s \quad (D.0.3-3)$$

工况三: 如图D.0.3(c)

$$\eta_1(\gamma_A + \gamma_B)L \leq D_Z \quad (D.0.3-4)$$

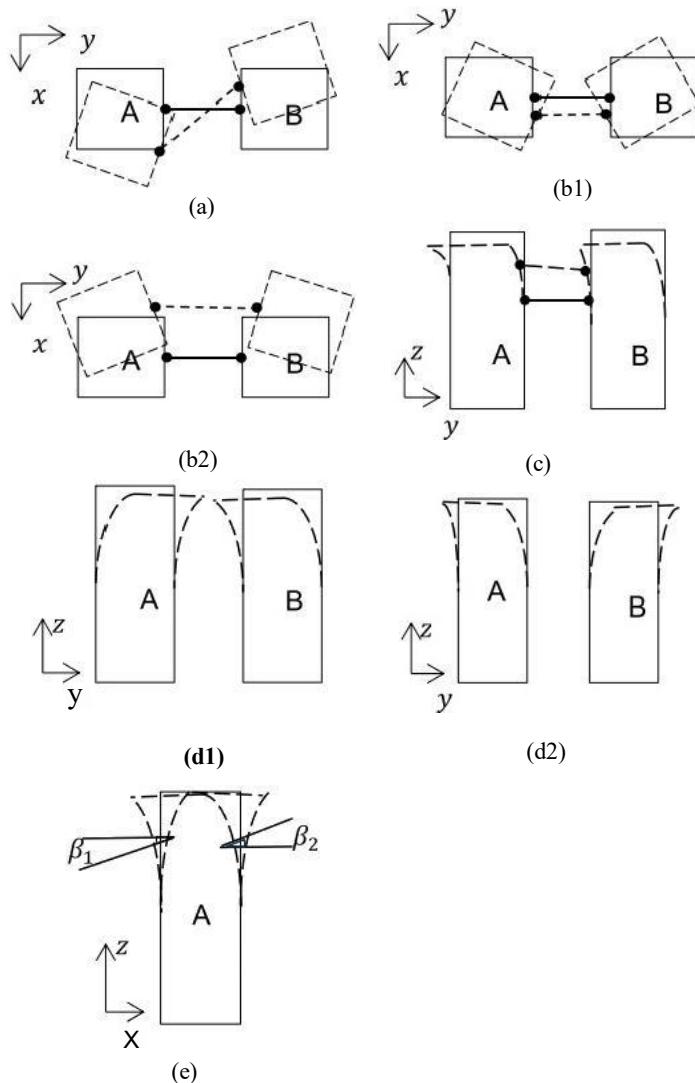
工况四: 如图D.0.3(d1、d2)

$$n_2(aA + aB) \leq 4x \quad (D.0.3-5)$$

工况五: 如图D.0.3(e)

$$n_2(\beta_1 + \beta_2) \leq 9y \quad (D.0.3-6)$$

式中: a_1 、 a_2 ——建筑两侧连廊产生的不同转角。

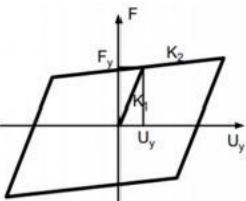
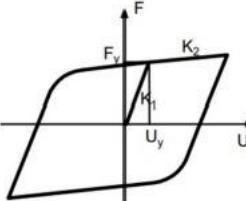


图D.0.3 连廊变形能力分析示意图

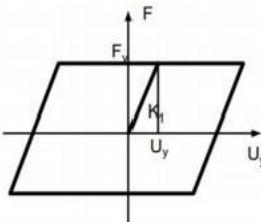
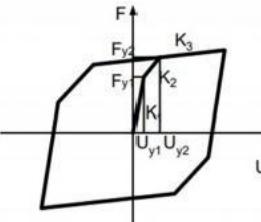
附录E 消能器滞回曲线及本构方程

E.0.1 常见消能器滞回曲线及本构方程应符合表E.0.1 的规定。

表E.0.1常见消能器滞回曲线及本构方程

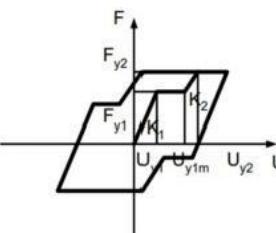
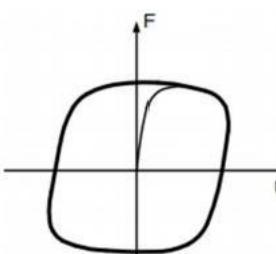
消能器类型		滞回曲线	本构方程	符号说明
位移型 消能器	屈曲约束支撑		<p>双线性等强硬化模型:</p> $F = \begin{cases} k_1 u & (u \leq u_y) \\ F_y + k_2(u - u_y) & (u > u_y) \end{cases}$ <p>Or</p> <p>Wen模型:</p> $F = k_2 u + (1 - \frac{k_2}{k_1}) F_y z$ $z = [A - z n(\gamma + \text{sgn}(iu) \beta)] u$	k_1 、 k_2 分别为消能器屈服前刚度和屈服后刚度, F_y 、 u_y 分别为消能器屈服力和屈服位移
	金属消能器			z 为Wen模型内部迟滞变量, A 、 y 、 β 、均为Wen模型无量纲变量, 控制滞回模型的行为, $\text{sgn}()$ 为 符号函数, u 为消能器速度

续表E.0.1

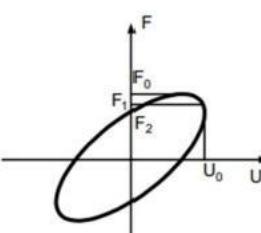
消能器类型	滞回曲线	本构方程	符号说明
位移型 消能器	<p>摩擦消能器</p> 	<p>理想弹塑性模型:</p> $F = \begin{cases} k_1 u & (u \leq u_y) \\ F_y & (u > u_y) \end{cases}$	<p>k_1为消能器屈服前刚度, F_y、u_y分别为消能器屈服力和屈服位移</p>
	<p>双阶消能器I</p> 	<p>三折线等强硬化模型:</p> $F = \begin{cases} k_1 u & (u \leq u_y1) \\ F_y1 + k_2(u - u_y1) & (u_y1 < u \leq u_y2) \\ F_y2 + k_3(u - u_y2) & (u > u_y) \end{cases}$	<p>k_1、k_2分别为前两阶屈服前刚度, k_3为屈服后刚度, F_y1、F_y2、u_y1、u_y2分别为前两阶屈服力和屈服位移</p>

续表 . .

E 0 1

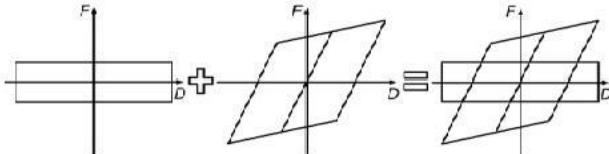
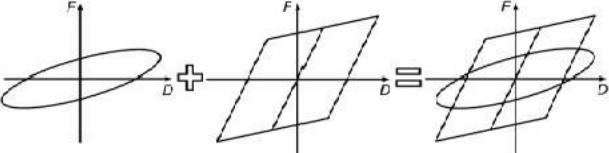
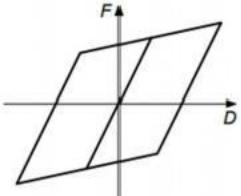
消能器类型	滞回曲线	本构方程	符号说明
位移型 消能器	双阶消能器III	 $F = \begin{cases} k_1 u & (u \leq u_{y1}) \\ F_{y1} & (u_{y1} < u \leq u_{y1m}) \\ F_{y1} + k_2(u - u_{y1m}) & (u_{y1m} < u \leq u_{y2}) \\ F_{y2} & (u > u_{y2}) \end{cases}$	$F = \begin{cases} k_1 u & (u \leq u_{y1}) \\ F_{y1} & (u_{y1} < u \leq u_{y1m}) \\ F_{y1} + k_2(u - u_{y1m}) & (u_{y1m} < u \leq u_{y2}) \\ F_{y2} & (u > u_{y2}) \end{cases}$ <p>k_1、k_2分别为前两阶屈服前刚度，F_{y1}、F_{y2}、U_{y1}、U_{y2}分别为两阶屈服力和屈服位移，u_{y1m}为一阶屈服极限位移</p>
速度型 消能器	黏滞消能器	 <p>Maxwell模型: $F = C \alpha \text{sgn}(i) \dot{u} l \text{ü} @$</p>	$C\alpha$ 为黏滞阻尼系数， $\text{sgn}(i)$ 为符号函数， u 为消能器速度， α 为速度指数

续表E.0.1

消能器类型		滞回曲线	本构方程	符号说明
速度型 消能器	黏弹性 消能器		<p>Kelvin模型:</p> $F = \frac{F_1}{u_0} u + \frac{\eta_1 F_1}{\omega u_0} \dot{u}$	<p>u_0为黏弹性消能器最大位移， F_1为黏弹性消能器最大位移处的阻尼力， F_0为黏弹性消能器最大阻尼力， F_2为黏弹性消能器零位移处的阻尼力， η_1为损耗因子，ω为消能器运动圆频率</p>

E.0.2 常见多级消能器组合构件的恢复力模型如下表E.0.2 所示：

表E.0.2常见多级消能器组合构件的恢复力模型

恢复力模型		
多级摩擦 消能器 组合构件		$F = F_b + F$ <p>式中： F—屈曲约束支撑或金属消能器与摩擦消能器的组合构件恢复力； F_b—屈曲约束支撑或金属消能器的恢复力； F—摩擦消能器的恢复力</p>
多级黏弹 消能器 组合构件		$F = F_b + F_v$ <p>式中： F—屈曲约束支撑或金属消能器与黏弹消能器的组合构件恢复力； F_b—屈曲约束支撑或金属消能器的恢复力； F_v—黏弹性消能器的恢复力</p>
多级金属 消能器 组合构件		$F = F_b + F_m$ <p>式中： F—屈曲约束支撑或金属消能器与金属消能器的组合构件恢复力； F_b—屈曲约束支撑或金属消能器的恢复力； F_m—金属消能器的恢复力</p>

附录F 建议的消能器规格及性能参数

F.0.1 建议的屈曲约束支撑规格及性能参数可参照表 F.0.1 选取。

表F.0.1屈曲约束支撑产品规格型号及性能参数表

序号	屈服力/kN	规格型号	屈服前刚度/kN/mm)	屈服位移/mm	屈服后刚度比	轴线长度/mm	产品长度/m m	参考设计位移/mm	耗能芯材
1	500	BRB-C×500 xDy	88.6≤Ky≤119.8	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q23 5
2		BRB-C×500 xDy	75.9≤Ky≤102.7	4.8≤Dy≤6.4		5500≤L≤6500	4000	17.9≤U≤30.8	
3		BRB-C×500 xDy	67.5≤Ky≤91.3	5.4≤Dy≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
4		BRB-C×500 xDy	62.5≤Ky≤84.5	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
5	750	BRB-C×750 xDy	135.7≤Ky≤183.5	4≤Dy≤5.4	0.035	5000≤L≤6000	3500	15≤U≤25.9	Q23 5
6		BRB-C×750 xDy	115.9≤Ky≤156.9	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
7		BRB-C×750 xDy	102.9≤Ky≤139.2	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
8		BRB-C×750 xDy	92.4≤Ky≤125	5.9≤Dy≤7.9		6500≤L≤7500	5000	22.1≤U≤38	
9	1000	BRB-C×1000 xDy	180.9≤Ky≤244.7	4≤Dy≤5.4	0.035	5000≤L≤6000	3500	15≤U≤25.9	Q23 5
10		BRB-C×1000 xDy	154.5≤Ky≤209.1	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
11		BRB-C×1000 xDy	134.9≤Ky≤182.5	5.4≤Dy≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
12		BRB-C×1000 xDy	126.9≤Ky≤171.7	5.7≤Dy≤7.7		6500≤L≤7500	5000	21.4≤U≤36.9	
13	1500	BRB-C×1500 xDy	265.6≤Ky≤359.4	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q23 5
14		BRB-C×1500 xDy	231.8≤Ky≤313.6	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
15		BRB-C×1500 xDy	202.4≤Ky≤273.8	5.4≤Dy≤7.2		6000≤L≤7000	4500	20.2≤U≤34.7	
16		BRB-C×1500 xDy	190.3≤Ky≤257.5	5.7≤Dy≤7.7		6500≤L≤7500	5000	21.4≤U≤36.9	
17	2000	BRB-C×2000 xDy	354.2≤Ky≤479.2	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q23 5
18		BRB-C×2000 xDy	309.1≤Ky≤418.1	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
19		BRB-C×2000 xDy	274.2≤Ky≤371	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
20		BRB-C×2000 xDy	250≤Ky≤338.2	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	

续表F.0.1

序号	屈服力/kN	规格型号	屈服前刚度/kN/mm)	屈服位移/mm	屈服后刚度比	轴线长度/mm	产品长度/m m	参考设计位移/mm	耗能芯材
2	2500	BRB-C×2500 XDy	442.7≤Ky≤598.9	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q23 5
22		BRB-C×2500 xDy	386.3≤Ky≤522.7	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
23		BRB-C×2500 xDy	342.7≤Ky≤463.7	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
24		BRB-C×2500 xDy	312.5≤Ky≤422.7	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	
25	300	BRB-C×3000 XDy	531.3≤Ky≤718.8	4.1≤Dy≤5.5	0.035	5000≤L≤6000	3500	15.4≤U≤26.4	Q23 5
26		BRB-C×3000 XDy	463.7≤Ky≤627.3	4.7≤Dy≤6.3		5500≤L≤6500	4000	17.6≤U≤30.3	
27		0BRB-C×3000 XDy	411.3≤Ky≤556.5	5.3≤Dy≤7.1		6000≤L≤7000	4500	19.8≤U≤34.1	
28		BRB-C×3000 xDy	375≤Ky≤507.4	5.8≤Dy≤7.8		6500≤L≤7500	5000	21.8≤U≤37.4	

注：BRB-C×500×Dy, 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，Dy 表示屈服位移。

F.0.2 建议的金属屈服型消能器规格及性能参数可参照表F.0.2 选取。

表F.0.2金属屈服型消能器产品规格型号及性能参数表

序号	规格型号	屈服力Fy/kN	屈服前刚度Ky/(kN/mm)	屈服位移Dy/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	Di≤22	LY225
2					0.035	22<Di≤30	LY160
3		300	133.3	1.5	0.050	30<Di	LY100
4					0.025	Di≤30	LY225
5	MYD-S×200×1.5	200	133.3	1.5	0.035	30<Di≤40	LY160
6					0.050	40<Di	LY100
7		300	300.0	1.0	0.025	Di≤22	LY225
8					0.035	22<Di≤30	LY160
9			200.0	1.5	0.050	30<Di	LY100
10					0.025	Di≤30	LY225
11	MYD-S×300×1.5	400	400.0	1.0	0.035	30<Di≤40	LY160
12					0.050	40<Di	LY100
13		400	266.7	15	0.025	Di≤22	LY225
14					0.035	22<Di≤30	LY160
15					0.050	30<Di	LY100
16					0.025	Di≤30	LY225
17	MYD-S×400×1.5	400	266.7	15	0.035	30<Di≤40	LY160
18					0.050	40<Di	LY100
19		600	600.0	1.0	0.025	Di≤25	LY225
20	MYD-S×600×1.0				0.035	25<Di≤35	LY160

21				0.050	35<Di	LY100
----	--	--	--	-------	-------	-------

续表F.0.2

22	MYD-S×600×1.5	600	400.0	1.5	0.025	$Di \leq 35$	LY225
23					0.035	$35 < Di \leq 40$	LY160
24					0.050	$40 < Di$	LY100
25	MYD-S×800×1.0	800	800.0	1.0	0.025	$Di \leq 25$	LY225
26					0.035	$25 < Di \leq 35$	LY160
27					0.050	$35 < Di$	LY100
28	MYD-S×800×1.5	800	5333	15	0.025	$Di \leq 35$	LY225
29					0.035	$35 < Di \leq 40$	LY160
30					0.050	$40 < Di$	LY100
31	MYD-S×1000×1.0	1000	1000.0	1.0	0.025	$Di \leq 25$	LY225
32					0.035	$25 < Di \leq 35$	LY160
33					0.050	$35 < Di$	LY100
34	MYD-S×1000×1.5	1000	666.7	15	0.025	$Di \leq 35$	LY225
35					0.035	$35 < Di \leq 40$	LY160
36					0.050	$40 < Di$	LY100
37	MYD-S×1200×1.0	1200	1200.0	1.0	0.025	$Di \leq 25$	LY225
38					0.035	$25 < Di \leq 35$	LY160
39					0.050	$35 < Di$	LY100
40	MYD-S×1200×1.5	1200	800.0	1.5	0.025	$Di \leq 35$	LY225
41					0.035	$35 < Di \leq 40$	LY160
42					0.050	$40 < Di$	LY100

注：MYD-S×200×1.5,MYD表示金属屈服型消能器，S表示由钢材加工而成，200表示屈服承载力，1.0表示屈服位移。LY160 表示耗能芯材为LY160。

F.0.3 建议的摩擦消能器规格及性能参数可参照表F.0.3 选取。

表F.0.3 摩擦消能器产品规格型号及性能参数表

序号	规格类型	起滑位移/mm	起滑摩擦力/mm	初始刚度/(kN/mm)
1	FD-P-100×0.5	0.5	100	200
2	FD-P-200×0.5	0.5	200	400
3	FD-P-300×0.5	0.5	300	600
4	FD-P-400×0.6	0.6	400	667
5	FD-P-600×0.8	0.8	600	750
6	FD-P-800×1.0	1.0	800	800

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

F.0.4 建议的黏滞消能器规格及性能参数可参照表F.0.4 选取。

表F.0.4黏滞消能器产品规格型号及性能参数表

序号	规格型号	阻尼系数/ (kN/(mm/s)a)	阻尼指数α	参考速度/ (mm/s)
1		40		
2	VFD-NL×F×U	20		
3		60		
4	VFD-NL×F×U	30		
5		90		
6	VFD-NL×F×U	70		
7		50		
8		120		
9	VFD-NL×F×U	100		
10		80		
11		60		
12		150		
13	VFD-NL×F×U	130		
14		110		
15		90		
16		180	0.20	
17	VFD-NL×F×U	160	0.25	
18		140	0.30	
19		120		
20		100		
21		240		
22	VFD-NL×F×U	220		
23		200		
24		180		
25		160		
26		140		
27		300		
28	VFD-NL×F×U	280		
29		260		
30		240		
31		220		
32	VFD-NL×F×U	200		
33		180		
34		160		

注: VFD-NL×F×U, VFD 表示黏滞消能器, NL 表示非线性黏滞消能器, F 表示最大阻尼力, U 表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核罕遇地震作用下的出力和参考速度。

F.0.5 建议的黏滞阻尼墙规格及性能参数可参照表F.0.5选取。

表F.0.5黏滞阻尼墙产品规格型号及性能参数表

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

注：VDW-NL×F×U, VDW表示黏滞阻尼墙，NL表示非线性黏滞阻尼墙，F表示最大阻尼力，U表示设计容许位移。设计时宜根据实际工程项目情况复核罕遇地震作用下的出力和参考速度。

F.0.6 建议的高阻尼橡胶消能器规格及性能参数可参照表F.0.6选取。

表F.0.6高阻尼橡胶消能器产品规格型号及性能参数表

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

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

F.0.7 建议的黏弹性消能器规格及性能参数可参照表F.0.7选取。

表F.0.7黏弹性消能器产品规格型号及性能参数表

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

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

附录G 屈曲约束支撑的连接节点承载力验算

G.0.1 屈曲约束消能支撑与结构的连接节点设计的作用力，应取屈曲约束支撑极限承载力的1.2倍。

G.0.2 当采用高强度螺栓连接时，螺栓数目n可由下式确定：

$$n \geq \frac{1.2N_{\text{ymax}}}{0.9n_f \mu P} \quad (\text{G.0.2-1})$$

式中：n——螺栓连接的剪切面数量；

μ ——摩擦面的抗滑移系数，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定采用；

P——每个高强螺栓的预拉力 (kN)，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定采用；

N_{ymax} ——屈曲约束支撑的极限承载力，受拉时取 N_{max} ，受压时取 N_{cmax} 。

屈曲约束支撑的轴向受拉和受压屈服承载力可按下式计算：

$$N_{\text{ysc}} = \eta y f_{\text{ay}} A t' \quad (\text{G.0.2-2})$$

式中： N_{ysc} ——屈曲约束支撑的受拉或受压屈服承载力；

ηy ——内核单元钢材的超强系数，按表 G.0.2 采用，材料试验实测值不应超出表中数值15%；

f_{ay} ——内核约束屈服段钢材的屈服强度；

A——核心单元工作段截面积(mm^2)。

若采用内核约束屈服段钢材的实测屈服强度参与计算，则上式中可不考虑材料超强系数 ηy 。 N_{ysc} 也可通过试验获得。

屈曲约束支撑的轴向受拉和受压极限承载力可按下式计算：

$$N_{\text{tmax}} = \omega N_{\text{ysc}} \quad (\text{G.0.2-3})$$

$$N_{\text{cmax}} = \beta \omega N_{\text{ysc}} \quad (\text{G.0.2-4})$$

式中： N_{max} ——屈曲约束支撑的受拉极限承载力；

N_{cmax} ——屈曲约束支撑的受压极限承载力；
 w ——应变强化调整系数，由试验确定，初步设计时可按表G.0.2 采用；
 β ——屈曲约束支撑的受压强度调整系数，依据构件形式及其构造特点综合确定，但不应超过1.5。
 N_{tmax} 与 N_{cmax} 也可通过试验确定。

表G.0.2 核心单元钢材的超强系数 n_y 及应变强化调整系数 w

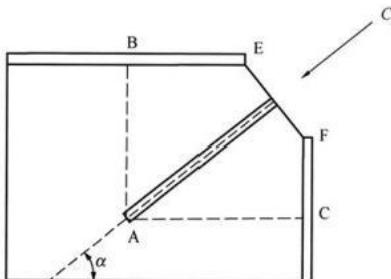
钢材牌号	n_y	w
Q235	1.25	1.5
LY225	1.15	1.5
LY160	1.10	2.0
LY100	1.10	2.0

G.0.3 当采用焊接连接时，焊缝承载力设计值 N ，应满足下式 要求：

$$N \geq 1.2N_{y\max} \quad (G.0.3)$$

G.0.4 在罕遇地震作用下，屈曲约束支撑与结构的连接节点板不应发生强度破坏与平面外屈曲破坏。节点板的强度及稳定验算应符合下列规定：

1 当采用焊接连接或螺栓连接时，节点板的中心加劲肋长度应符合下列公式的规定：



图G.0.4.1 节点板屈服力计算中的长度取值示意

$$L_1 > L_i \quad (G.0.4-1)$$

$$L_1^* = \left(\frac{c_j}{f \times t} - \eta_1 \frac{L_m \cos \alpha}{2} - \eta_2 \frac{L_m \sin \alpha}{2} \right) / (\eta_1 \sin \alpha + \eta_2 \cos \alpha) \quad (G.0.4-2)$$

$$\eta_1 = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos(90^\circ-\alpha)}} \quad (G.0.4-3)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos\alpha}} \quad (G.0.4-4)$$

式中: L_1 ——中心加劲肋的长度(mm);

L_i ——中心加劲肋长度的最小值(mm);

L_m ——屈曲约束支撑与节点板相连接的宽度(mm),

(图 G.0.4-1 中 EF 的长度);

t_s ——节点板厚度(mm);

f ——节点板的强度设计值(N/mm^2), 按照现行国家标

准《钢结构设计标准》GB 50017 确定

; α ——支撑轴线与梁轴线的夹角;

n_1 ——AB 的抗拉折减系数;

n_2 ——AC 的抗拉折减系数。

2 当采用焊接连接或螺栓连接时, 节点板自由边未设置封边板时, 节点板的屈服力应符合下列公式的规定:

$$Py \geq a_f (n_1 L_2 t + n_2 L_3 t) \quad (G.0.4-5)$$

$$\alpha_1 = 1 + \rho \times \frac{L_1 - L_1^*}{L_{1\max} - L_1^*} \quad (G.0.4-6)$$

$$L_2 = L_1 \sin \alpha + \frac{L_m \cos \alpha}{2} \quad (G.0.4-7)$$

$$L_3 = L_1 \cos \alpha + \frac{L_m \sin \alpha}{2} \quad (G.0.4-8)$$

当采用焊接连接或螺栓连接时, 节点板自由边设置封边板时, 节点板的屈服力应符合下列公式的规定:

$$Py.s \geq a_2 f(\eta_1 L_2 t + r_2 L_3 t) \quad (G.0.4-9)$$

$$a_2 = qa l \quad (G.0.4-10)$$

式中: Py ——无边肋条件下的节点板屈服力(N);

$Py.s$ ——有边肋条件下的节点板屈服力(N);

L_2 ——图G.0.4-1中弯折线AB的长度(mm);

L_3 ——图G.0.4-1中弯折线AC的长度(mm);

α_1 ——无边肋条件下长度影响的修正系数;

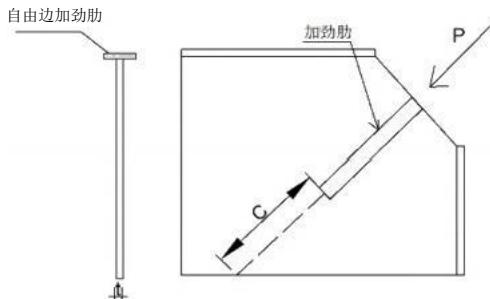
p ——长度放大系数, 取0.1;

α_2 ——边肋作用的修正系数;

q ——屈服力放大系数, 取1.08。

3 对接构造设置封边板的有竖腹杆相连的节点板, 当

$C/t \leq 15ck$ 时 ($\varepsilon_k = \sqrt{235/f_y}$), 可不计算稳定, 在任何情况下, CIt 不得大于 $22ck$, c 为受压腹杆连接肢端面中点沿腹杆轴线方向至弦杆的净距离(图G.0.4-2)。



图G.0.4-2 节点板的受压稳定

附录H 位移敏感型建筑非结构构件

H.0.1 地震时正常使用建筑的位移敏感型建筑非结构构件可按表H.0.1先用。

表H.0.1位移敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

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

续表H.0.1

构件类型	构造特征	层间位移角容许值	适用的建筑类型
玻璃幕墙	普通框架式幕墙，双层隔热型玻璃幕墙	1/75	IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃，厚度6mm+13mm或6mm+6mm	1/38	IA、IB、IC、ID、IIA、IB、IIC、ID
	框架式幕墙、单片夹胶钢化玻璃厚度6mm	1/90	IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙、单片非夹胶钢化玻璃厚度6mm	1/90	IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID
	框架式幕墙，双层隔热钢化玻璃，厚度6mm+12mm	1/58	IA、IB、IC、ID、IIA、IIB、IIC、IID
门窗	塑钢平开门窗	1/345	IA、IB、IC、IIB、IC

注：IA——满足I类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；
 IB——满足I类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限值；
 IC——满足I类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值；
 ID——满足I类建筑中多、高层钢结构的层间位移角限值；
 IIA——满足II类建筑中钢筋混凝土框架结构的层间位移角限值；
 IB——满足II类建筑中钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构的层间位移角限值；
 IC——满足II类建筑中钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构的层间位移角限值；
 IID——满足II类建筑中多、高层钢结构的层间位移角限值。

附录J 加速度敏感型建筑非结构构件

J.0.1 地震时正常使用建筑的加速度敏感型建筑非结构构件可按表J.0.1 先用。

表J.0.1 加速度敏感型建筑非结构构件适用的建筑类型

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

注：I——满足I类建筑楼面水平加速度限值；

II——满足II类建筑楼面水平加速度限值。

附录K 仪器设备

K.0.1 地震时正常使用建筑的仪器设备可按表K.0.1先用。

表K.0.1 仪器设备适用的建筑类型

构件类型	构造特征	水平加速度容许值	适用的建筑类型
核磁共振仪	有锚固	1.38g	I、II
X光机	有锚固	1.17g	I、II
CT机	有锚固	1.38g	I、II
医疗药柜	浮放无锚固	0.25g	I
	有锚固	0.65g	I、II
输液架	浮放无锚固	0.32g	I
	悬吊式, 设置纵向支撑	0.60g	I、II
抢救车	刹车放松	0.35g	I
	刹车锁死	0.49g	I、II
医用病房	刹车放松	0.33g	I
	刹车锁死	1.02g	I、II
立式无影灯	浮放无锚固	0.44g	I
	有锚固	0.60g	I、II
通信机柜	有锚固	0.66g	I、II

注: I——满足I类建筑楼面水平加速度限值;

II——满足II类建筑楼面水平加速度限值。

附录L 建筑附属机电设备

L.0.1 地震时正常使用建筑的建筑附属机电设备可按表L.0.1 先用。

表L.0.1 建筑附属机电设备适用的建筑类型

构件类型	构造特征	水平加速度容许值	适用的建筑类型
电梯	常规曳引电梯	0.25g	Ⅰ
	常规液压电梯	0.37g	Ⅰ
	曳引电梯, 轨道支撑点加密	0.50g	Ⅰ、Ⅱ
	液压电梯, 轨道支撑点加密	0.50g	Ⅰ、Ⅱ
变压器	有锚固或隔振	1.85g	Ⅰ、Ⅱ
电机控制箱	有锚固或隔振	1.61g	Ⅰ、Ⅱ
配电盘	有锚固或隔振	2.04g	Ⅰ、Ⅱ
低压开关设备	有锚固或隔振	2.04g	Ⅰ、Ⅱ
悬挂式灯具	抗震设计	1.01g	Ⅰ、Ⅱ
冷水管 (吊挂式)	管径>80mm, 设置纵向支撑	1.01g	Ⅰ、Ⅱ
热水管 (吊挂式)	管径<80mm, 仅纵向支撑	0.33g	Ⅰ
	管径<80mm, 纵向与侧向支撑	1.36g	Ⅰ、Ⅱ
	管径≥80mm, 设置纵向支撑	0.91g	Ⅰ、Ⅱ
污水管	铸铁管, 柔性连接, 设置纵向支撑	0.73g	Ⅰ、Ⅱ
	铸铁管, 插接, 设置纵向支撑	1.36g	Ⅰ、Ⅱ
蒸汽管道	管径<80mm	0.35g	Ⅰ
	管径≥80mm	1.01g	Ⅰ、Ⅱ
消防喷淋水管	水平支管	0.74g	Ⅰ、Ⅱ
喷头立管	嵌入柔性可拆卸吊顶, 长度不超过2m	0.50g	Ⅰ、Ⅱ
	嵌入无支撑刚性可拆卸吊顶, 长度不超过2m	0.37g	Ⅰ
	无吊顶, 长度不超过2m	1.01g	Ⅰ、Ⅱ
冷却水管	管径<80mm	0.35g	Ⅰ
	管径≥80mm, 设置纵向支撑	0.91g	Ⅰ、Ⅱ
冷水机组	有锚固或隔振	0.59g	Ⅰ、Ⅱ
空气压缩机	有锚固或隔振	0.38g	Ⅰ

续表L.0.1

构件类型	构造特征	水平加速度容许值	适用的建筑类型
暖通空调管道 风机	设置水平支撑	1.16g	I、II
暖通空调风管	设置水平支撑	1.01g	I、II
支管及风口	位于吊顶内	0.87g	I、II
	无吊顶, 设置水平支撑	1.01g	I、II
VAV 箱带卷 盘	水平或纵向支撑	1.27g	I、II
空调系统风机	无隔振, 无锚固	0.35g	I
	刚性锚固或隔振	0.55g	I、II
空气处理机组	有锚固	0.85g	I、II
柴油发电机	有锚固或隔振	1.64g	I、II
冷却塔	无锚固, 无隔振	0.35g	I
	有锚固或隔振	0.53g	I、II

注: I_____满足I类建筑楼面水平加速度限值;

I——满足II类建筑楼面水平加速度限值。

本标准用词说明

1为了便于在执行本标准条文时区别对待，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，在条件允许时首先应这样做的词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4)表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。 2

本标准中指明应按其它有关标准执行的写法为：“应符

合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《中国地震动参数区划图》 GB18306

《橡胶支座第1部分：隔震橡胶支座试验方法》 GB 20688.1

《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》 GB 20688.3

《橡胶支座第5部分：建筑隔震弹性滑板支座》 GB 20688.5

《建筑地基基础设计规范》 GB 50007

《建筑结构荷载规范》 GB 50009

《建筑防火设计规范》 GB50016

《钢结构设计标准》 GB 50017

《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023

《工程测量规范》 GB 50026

《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204

《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205

《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223

《钢结构焊接规范》 GB 50661

《混凝土结构工程施工规范》 GB 50666

《钢结构工程施工规范》 GB50755

《建筑工程施工安全技术统一规范》 GB 50870

《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002

《既有建筑鉴定与加固通用规范》 GB 55021

《建筑防火通用规范》 GB55037

《金属材料拉伸试验第1部分：室温试验方法》 GB/T228.1

《铅锭》 GB/T 469

《优质碳素结构钢》 GB/T 699

《碳素结构钢》 GB/T 700

《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591

《一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差》 GB/T 1804

《形状和位置公差未注公差值》 GB/T 1184

《合金结构钢》 GB/T 3077

《碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带》 GB/T 3274

《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T 3280

《铸钢件超声检测第1部分：一般用途铸钢件》 GB/T 7233.1

《金属材料室温压缩试验方法》 GB/T7314

《建筑构件耐火试验方法第1部分：通用要求》 GB/T 9978.1

《建筑构件耐火试验方法第7部分：柱的特殊要求》 GB/T 9978.7

《一般工程用铸造碳钢件》 GB/T 11352

《建筑用低屈服点钢板》 GB/T 28905

《建筑摩擦摆隔震支座》 GB/T 37358

《建筑抗震韧性评价标准》 GB/T 38591

《混凝土结构设计标准》 GB/T 50010

《建筑抗震设计标准》 GB/T 50011

《建筑隔震设计标准》 GB/T 51408

《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3

《建筑变形测量规范》 JGJ 8

《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
《组合结构设计规范》 JGJ 138
《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297
《建筑隔震工程施工及验收规范》 JGJ 360
《建筑隔震橡胶支座》 JG/T 118
《建筑消能阻尼器》 JG/T 209
《建筑隔震柔性管道》 JG/T 541
《工程机械焊接件通用技术条件》 JB/T 5943

青海省工程建设地方标准

青海省建筑工程减隔震应用技术规程

DB63/T 2425-2015

条文说明

目 次

1 总则.....	187
3 基本规定.....	188
3.1 一般规定.....	188
3.2 减隔震装置要求.....	188
3.4 耐久性及防火设计.....	188
3.5 场地与地基.....	189
4 地震作用和作用效应计算.....	190
4.1 一般规定.....	190
4.2 水平地震作用计算.....	191
5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计.....	192
5.1 一般规定.....	192
5.2 地震时正常使用建筑的性能目标.....	192
5.3 结构构件承载力验算.....	194
5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求.....	194
5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的性能要求.....	194
6 消能减震结构设计.....	195
6.1 一般规定.....	195
6.2 消能部件布置.....	196

6.3 消能减震分析及评价.....	197
7 消能部件的连接与构造.....	198
7.1 一般规定.....	198
7.2 预埋件.....	198
7.3 节点板.....	199
7.5 屈曲约束支撑连接.....	199
10 消能部件的施工、验收和维护.....	202
10.1 一般规定.....	202
10.2 进场验收.....	202
10.3 消能部件的施工安装顺序.....	202
10.7 消能部件的维护.....	204
11 隔震设计.....	205
11.2 隔震层设计.....	205
11.3 上部结构设计.....	206
11.4 下部结构和地基基础设计.....	207
13 建筑与机电隔震构造.....	208
13.1 一般规定.....	208
13.2 隔震缝及建筑出入口、坡道构造.....	208
15 隔震部件的施工、验收和维护.....	209
15.5 柔性连接.....	209
15.7 分项工程验收.....	209
15.9 维护.....	210
附录G 屈曲约束支撑的连接节点承载力验算.....	211

1 总则

1.0.5 下列范围内的新建工程必须采用减隔震技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求：1、抗震设防烈度8度及以上地区、地震重点监视防御区的特殊设防类(甲类)工程、城市生命线工程；2、抗震设防烈度8度及以上地区、地震重点监视防御区的重点设防类(乙类)工程，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、广播电视台，大型及重要公共建筑等建设工程。其它需要保证遭受相当于本地区设防地震时正常使用功能要求的新建建筑设计，可参考本标准执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.6 关键构件、重要构件和一般构件可参考第5.3.2~第5.3.4条。

3.2 减隔震装置要求

3.2.2 隔震层消能器所需性能与减震建筑所需性能有较大差异，普通消能器直接应用于隔震层会存在较多安全隐患。

3.2.3 在设定消能器的模型参数进行结构分析时，应充分考虑到施工的简易可行。结构分析完成后，设计人员应根据结构分析结果给厂家提供详细的支撑设计指标和相关要求。

3.4 耐久性及防火设计

3.4.1 工作年限到期后，按照特殊设防、重点设防、标准设防类别抽样数量分别不低于总数的100%、50%、20%检测，视同重新进场。

3.4.4 消能器在使用过程中如遇变形缝被外物堵塞或消能器本身出现性能问题将会影响消能器对结构地震反应的控制效果，为避免该现象发生，设计文件中应注明可由产品供应商在消能器正常使用期间和地震发生后对消能器进行回访检查，以确保消能器的正常使用；或设计文件中注明由业主在建筑正常使用期间定期检查消能器外部情况，如发现黏滞消能器漏油、位移型消能器锈蚀，应通知专业人员维护；地震发生后应委托专业技术人员对消能器结构受损情况进行检查。

3.5 场地与地基

3.5.2 为保证隔震层在地震作用时提供设计预期的力学性能，隔震层不同位置支座对应的地基与基础不能发生明显的局部变形。当地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应采取相应的措施加强地基基础的整体性。国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011第12.1.3条要求：“2建筑场地宜为I、II、III类，并应选用稳定性较好的基础类型”，其条文说明解释是国外对隔震工程的许多考察发现：硬土场地较适合于隔震房屋；软弱场地滤掉了地震波的中高频分量，延长结构的周期将可能增大而不是减小其地震反应，因此在IV类场地建造隔震房屋时，应进行专门研究和专项审查。

4 地震作用和作用效应计算

4.1 一般规定

4.1.1 1.关于大跨度和长悬臂钢筋混凝土结构，根据我国大陆和台湾地震的经验，9度和9度以上时，跨度大于18m 的屋架、1.5m 以上的悬挑阳台和走廊等震害严重甚至倒塌；7 度(0.15g)、8 度时，跨度大于24m 的屋架、2m 以上的悬挑阳台和走廊等震害严重。

2.平面投影尺寸很大的空间结构指跨度大于120m，或长度大于300m，或悬臂大于40m的结构。

4.1.2 在设防地震作用下，隔震建筑上部和下部结构的荷载-位移关系特性可采用线弹性力学模型；隔震层应采用隔震产品试验提供的滞回模型，按非线性阻尼特性以及非线性荷载-位移关系特性进行分析。

黏弹性消能器同时为结构提供附加阻尼和附加刚度，使结构自振频率增大，附加阻尼对结构的动力反应有限值的衰减效果，附加刚度虽能有效控制结构的位移反应，但不能有效抑制结构的加速度反应，因此在采用振型分解反应谱法分析黏弹性消能结构地震作用时，需进行阻尼比和刚度变化的修正。位移相关型消能器通常需要与支撑构件进行组合，并为结构提供一定初始附加刚度，当位移相关型消能器进入耗能工作状态后，其附加刚度将发生较大的变化，消能器的等效线性刚度取割线刚度，等效阻尼按能量相等原理等效为线性粘滞阻尼。

4.1.3 时程分析法作为补充计算方法，所谓“补充”，主要指对计算结果的底部(或隔震层)剪力、楼层剪力和层间位移进行比较，当时程分析法大于振型分解反应谱法时，相关部位的构件内力和配筋作相应的调整。

4.2 水平地震作用计算

4.2.3 基本周期介于3.5s和 5s之间的结构，最小地震剪力系数按本方法与按插值法计算结果相同。

5 地震时正常使用建筑的性能目标及设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条适用于位于高烈度设防地区或地震重点监视防御区的建筑。I类建筑确定原则为在地震发生时和发生后建筑损坏将产生严重次生灾害或严重影响抗震救灾的建筑，II类建筑确定原则为用于保护弱势群体的建筑及某些人员密集建筑。学校建筑指大学、职校、中学、小学的主要用房。

5.1.2 目前我国6度、7度区的地震灾害风险防治水平低于8度、9度区，一旦发生大地震更易造成严重后果，因此对中低烈度地区的地震时保持正常使用功能建筑采用的地震作用进行一定程度的调整。

5.1.6 地震时保持正常使用功能建筑的抗震措施应采取现行国家有关标准规定的较严格措施，但不重复叠加。

5.1.7 地震时正常使用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。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力标准值。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深进行修正。

5.1.9 地震时保持正常使用功能建筑的设计文件应包含设计计算书。

5.2 地震时正常使用建筑的性能目标

5.2.1 地震时正常使用建筑，原则上应采用减隔震技术，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。对层数在3层及以下或建筑面积不大于2000m²的建筑也可以采用抗震性能化

设计，加强抗震技术措施，保证发生本区域设防地震时能够满足正常使用要求。

5.2.3 结构构件根据功能、作用、位置及重要性等可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。关键构件是指构件的失效可能引起结构的连续破坏或危机生命安全的严重破坏，可由结构工程师根据工程实际情况分析确定。普通竖向构件是指关键构件之外的竖向构件；重要水平构件是指关键构件之外不宜提早屈服的水平构件，包括对结构整体性有较大影响的水平构件，承受较大集中荷载的框架梁、承受较大集中荷载的抗震墙连梁，承受竖向地震的悬臂梁，以及消能减震结构中消能子结构的框架梁等。普通水平构件包括一般的框架梁、抗震墙连梁等。结构构件应按照本规程第5.3节进行抗震承载力验算。

消能部件是指由消能器和支撑或连接消能器构件组成的一部分。隔震构件是指由隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置及相关的支承或连接构件组成的一部分。

完好，即构件保持弹性状态；基本完好，即构件基本保持弹性状态；轻微损坏，即构件可能出现轻微的塑性变形，但不影响正常使用；轻度损坏，即构件达到屈服状态，但不出现明显的塑性变形；中度损坏，即构件出现明显的塑性变形，但控制在适度修理可继续使用的范围；正常工作，即减震、隔震部件、附属机电设备、功能性仪器设备正常运行，发挥设计预期的作用或功能。

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

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

5.3 结构构件承载力验算

5.3.4 设防地震作用下允许钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面、钢梁支座或节点边缘截面进入不影响正常使用的轻微塑性。

5.4 结构层间变形和楼面水平加速度基本要求

5.4.1 地震时保持正常使用功能建筑采用本规程表5.4.1以外的结构类型时，应进行专门研究和论证，确定其在设防地震和罕遇地震下的最大层间位移角限值。

地震时保持正常使用功能建筑采用隔震结构时，尚应符合现行国家标准《建筑隔震设计标准》GB/T 51408的有关规定。

5.4.3 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时，包括但不限于增设抗震支撑、增设隔震装置、增强锚固措施。专门研究和论证时应考虑所有建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备对正常使用功能的影响。对于缺乏数据支撑的建筑非结构构件、建筑附属机电设备和功能性仪器设备，应进行专门试验研究。

5.5 建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备的性能要求

5.5.2 1.位移敏感型建筑非结构构件是指其地震破坏模式主要受所在楼层相对位移(角)控制的建筑非结构构件，如填充墙、楼梯、隔墙、玻璃幕墙、门窗等。

2.加速度敏感型建筑非结构构件是指其地震破坏模式主要受所在楼层水平加速度控制的建筑非结构构件，如吊顶等。

6 消能减震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 消能减震结构可以采用下列形式：

1 框架型消能减震结构：在钢筋混凝土框架或钢框架中，设置消能梁柱节点、屈曲约束消能支撑、屈曲约束消能钢板墙或其他速度型、位移型及复合型消能器；

2 剪力墙型减震结构：在钢筋混凝土剪力墙结构的联肢剪力墙中，将其中的混凝土连梁替换为连梁消能器，构成消能联肢剪力墙；

3 框架-剪力墙型减震结构：针对传统钢筋混凝土框架-剪力墙或钢框架-剪力墙结构，在其中的剪力墙中采用消能联肢剪力墙，还可同时框架中设置屈曲约束消能支撑或屈曲约束消能钢板墙；

4 消能减震结构的构成有两种方式：设置消能器和多级消能器。

6.1.6 消能减震器耗能机理的不同，可分为速度相关型消能器、位移相关型消能器和复合型消能器。从消能器元件材料可分为金属消能器、黏弹消能器、黏滞消能器等。

表1消能器类型及适用性

分类	耗能	适用性
屈曲约束支撑	位移相关型	力学性能呈现明显的双线性，小震下有可能保持弹性，这会导致结构刚度增大，相应基底剪力增大，但对于控制结构层间位移具有更明显的效果
金属消能器、金属阻尼墙	位移相关型	
摩擦消能器	位移相关型	
黏滞消能器、黏滞阻尼墙	速度相关型	仅提供阻尼耗能能力，不为结构提供附加刚度，对于增大结构阻尼比减小地震力有理想的效果

续表1

分类	耗能	适用性
黏弹消能器、黏弹阻尼墙	速度相关型	仅提供阻尼耗能能力,不为结构提供附加刚度,对于增大结构阻尼比减小地震力有理想的效果
其他	速度相关型 复合位移相关型	结构在不同水准地震作用下变形大小不同,消能器发挥的作用也不同
	位移相关型 复合自复位	
	速度相关型 复合自复位	

消能器的选择首先应该考虑设置消能器的主要目标。不同类型的消能器对结构产生减震效果的机理不同,对实现设计目标的有效性有所差别。因此,首先根据设置消能器后主体结构希望实现的性能目标,确定消能器的类型。常见的性能目标包括:控制结构的层间位移,减小结构承受的地震力,增加结构在地震中的舒适度等。

消能器的选择尚应考虑阻尼消能器在不同水准地震作用下的工作状态。黏弹性消能器和黏滞消能器在结构发生微小变形时即可为结构提供附加阻尼,软钢剪切消能器或者屈曲约束支撑在结构发生微小变形时不屈服,此时只给结构增加刚度而不附加阻尼。

6.1.7 对于新建框架结构,屈曲约束支撑、金属消能器、摩擦消能器、黏滞消能器和黏弹消能器在多遇地震下附加给结构的有效阻尼比不宜少于1.2%。对于新建钢筋混凝土框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、剪力墙结构、筒中筒结构在多遇地震下附加给结构的有效阻尼比不宜少于0.7%。

6.2 消能部件布置

6.2.1 抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连

续。提高结构的抗震性能，是结构选型与布置结构抗侧力体系时首要考虑因素之一，因此，消能器的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。

消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特性相近或竖向方向刚度均匀为原则对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。对于结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置。消能器布置于结构变形或速度较大的部位，可更好发挥消耗地震能力的作用。

6.2.2 当布置的耗能器的数量较多时，易使得该楼层的层剪力产生突变，因此对消能器所承担结构的水平剪力提出限值。

6.2.4 建筑结构嵌固端包括计算嵌固端和抗震嵌固端两种类型，一般设计计算模型中所输入的嵌固端位置为计算嵌固端。嵌固端在实际工程中可采用弹簧刚度法和嵌固水平位移法两种方法。

6.3 消能减震分析及评价

6.3.1 根据不同水准地震动下主体结构和消能部件的工作状态，消能减震结构的地震作用效应计算方法可按表2进行选用。

表2 消能减震结构的地震作用效应计算方法

工作状态		方法
主体结构	消能部件	
弹性	线性	振型分解反应谱、弹性时程分析法
弹性	非线性	等效线性化+振型分解反应谱 弹性时程分析法 弹塑性时程分析法
弹塑性	非线性	静力弹塑性分析法(计入重力二阶效应) 弹塑性时程分析法

7 消能部件的连接与构造

7.1 一般规定

7.1.2 K型布置时，会在框架柱中部交点处给柱带来侧向集中力的不利作用。

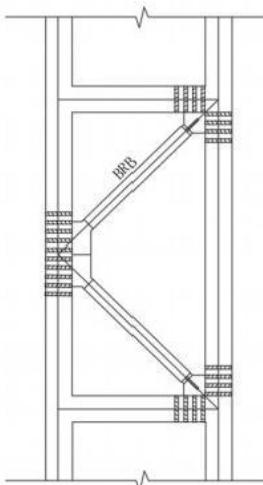


图1 K型布置示意图

7.2 预埋件

7.2.1 埋件的构造形式应根据受力性能和施工条件确定，力求构造简单，传力直接。预埋件可分为受力预埋件与构造预埋件两种。均由两部分组成：埋设在混凝土中的锚筋和外露在混凝土表面部分的锚板。锚筋和锚板都采用可焊性良好的结构钢。锚筋常用钢筋，对于受力较大的预埋件常采用钢条、角钢和型钢。对于L形预埋板相互垂直方向的预埋板承担的内力宜按支撑角度分解轴向力获取。

7.3 节点板

7.3.5 加劲肋的稳定主要受压力方向高度控制，但是垂直于压力方向加劲肋之间的宽度对稳定有影响。

7.5 屈曲约束支撑连接

7.5.1 在节点板自由边设置边肋后，节点板屈曲失稳问题会小很多。即使有初始缺陷影响，只要边肋尺寸足够大，在支撑轴力作用下，节点板承载力达到屈服力之前不会发生屈曲失稳。关于边肋尺寸设计的建议如下：边肋长度采用自由端全长布置，边肋厚度至少等于1倍节点板厚度，边肋宽度不宜小于中心加劲肋总高度且不大于10倍节点板厚度。

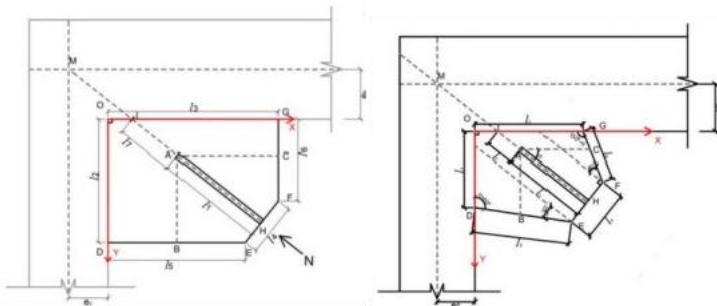


图2节点板示意

7.5.2 屈曲约束支撑的水平夹角控制在 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 之间能使得其性能得到最大的发挥。

7.5.6 由于节点板相当于梁柱节点间的加劲肋，因此在框架发生侧移过程中，其会受到框架梁柱弯曲变形引起的开合效应作用从而在节点板中产生附加内力，若忽略该内力，可能会导致节点板的焊缝设计偏于不安全。宜采取有效措施减少开合效应或设计时计入开合效应。

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

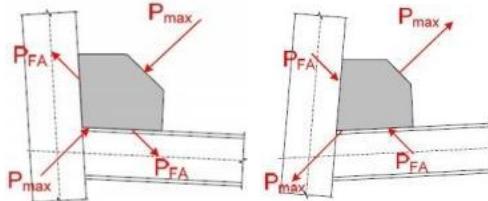


图3梁柱开合效应示意

由梁柱开合效应引起的节点板附加内力根据下式计算：

$$S = \frac{d_b L_h V_{beam} (0.3 L_{beam} - 0.18 L_h)}{\frac{4 I_b}{t_g} + d_b L_h (0.3 d_b + 0.18 L_v)} \quad (7.5.6-1)$$

$$N = \frac{d_b L_h V_{beam} (0.3 L_{beam} - 0.18 L_h)}{\frac{4 I_b}{t_g} + d_b L_h (0.3 d_b + 0.18 L_v)} \quad (7.5.6-2)$$

式中：V_{beam}——梁产生苏醒弯矩所对应的梁剪力(N)；

L_{beam}——梁跨扣除两侧柱宽与节点板长度后的净长度(mm)；

d_b——梁的高度(mm)；

I_b——梁截面强轴的惯性矩(mm⁴)；

t_g——节点板的厚度(mm)；

L_n——节点板水平方向的长度(mm)；

L——节点板竖直方向的长度 (mm)。

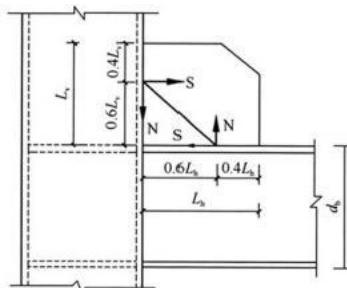


图4考虑梁柱开合效应的节点板附加内力计算示意

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

10 消能部件的施工、验收和维护

10.1 一般规定

10.1.1 消能部件是结构抗震设计中的关键元素，其性能和质量直接影响整个结构的抗震能力。因此，将消能部件工程作为独立的子分部工程进行施工和质量验收，有利于确保消能部件的施工质量，提高整体结构的抗震性能。

10.1.5 消能器作为建筑结构中的重要减震构件，其安装精度要求较高，采用专用吊装和运输设备，能够针对消能器的特性，确保在吊装和运输过程中平稳、可靠，减少因设备不匹配导致的损坏风险。专用设备通常需配备有完善的安全保护装置，如限位器、防脱钩装置等，能够有效防止吊装过程中的意外坠落或碰撞，保障施工人员及周围环境的安全。

10.2 进场验收

10.2.2 消能阻尼器、连接板、预埋件作为重要的减震构件，长时间的阳光直射可能导致部件表面材料老化、褪色或性能下降。雨水可能导致部件生锈、腐蚀或损坏，特别是在潮湿环境下。消能阻尼器其内部结构和材料对温度和湿度变化较为敏感。露天堆放容易受到自然环境的影响，导致性能下降或损坏。因此，消能阻尼器应存放在室内或具有足够防护措施的封闭空间内，以确保其质量和安全。

10.3 消能部件的施工安装顺序

10.3.5 消能减震钢结构的安装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。

10.3.6 消能减震的现浇混凝土结构施工中，消能部件和各类普通构件的总体安装顺序，应根据结构特点、施工条件等确定，本规程在制定过程中，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，缺点是每层施工工种多，存在交叉影响。

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

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

10.3.8 隐蔽验收是工程质量控制的重要环节，通过对预埋件安装的隐蔽部分进行检查，可以及时发现并纠正潜在的质量问题，确保消能器系统的整体性能和安全性。

10.7 消能部件的维护

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

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

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

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

11 隔震设计

11.2 隔震层设计

11.2.1 摩擦摆支座和弹性滑板支座没有竖向受拉能力，不允许出现拉应力。

多层尤其是高层建筑隔震设计过程中，应重点关注隔震支座受拉问题。罕遇地震作用下，橡胶隔震支座的最大拉应力应满足本标准规定的数值，且出现拉应力的支座数量不宜过多，限制在不超过支座总数的30%以下。弹性滑板支座没有竖向受拉能力，罕遇地震作用下为防止其提离，必须保持处于受压状态。

11.2.2 一般情况下，摩擦摆等钢支座的竖向刚度特性不同于橡胶类支座，考虑变形协调性，这两类支座在同一隔震层中不宜混用。此外，一般摩擦摆隔震支座水平滑动时会产生竖向位移，形成对所支承结构的顶升作用，因此，考虑结构变形协调性，同一隔震层中不应将这类摩擦摆隔震支座与橡胶类隔震支座等混用，应考虑支座滑动时隔震层和结构的整体协调性。隔震层的摩阻力，指隔震层中各摩擦摆隔震支座、弹性滑板支座或摩擦型阻尼装置等滑动时受到的水平动摩擦力的总和。

11.2.4 在长期荷载(重力荷载代表值)作用下，橡胶隔震支座和弹性滑板支座按照建筑抗震设防类别的不同，分别设定不同的竖向压应力限值。橡胶隔震支座第二形状系数小于5时，其竖向承载力将降低，此时其压应力限值随之调整。弹性滑板支座采用材料和内部构造不同于橡胶隔震支座，一般不存在水平大变形作用下的橡胶受压失稳问题，其压应力限值比橡胶隔震支座有所提高。对于多层与高层建筑隔震设计，所采用隔震支座外径不宜小于300mm，以保证上部结构的稳定性并提供足够的安全储备。

在罕遇地震作用下，隔震支座将会在重力荷载代表值产生的竖向压应力基础上叠加较大的竖向拉、压应力，因此，需要分别设定不同的橡胶隔震支座和弹性滑板支座的竖向压应力限值，以及摩擦摆隔震支座的竖向拉应力限值。

11.2.6 在罕遇地震作用下，弹性滑板支座的水平位移限值为上、下滑动面的短边平面长度。对特殊设防类建筑，在极罕遇地震作用下隔震橡胶支座的 $[ui]$ 值可取各层橡胶厚度之和的4.0倍；弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座的 $[ui]$ 值可取产品水平极限位移；隔震层宜设置超过极罕遇地震下位移的限位装置。

11.2.9 抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座抗压承载力验算。结构倾覆验算时应包括水平地震作用效应组合；对需进行竖向地震作用计算的结构，尚应包括竖向地震作用效应组合。抗倾覆力矩的计算可计入隔震层抗拉装置的作用。

11.2.12 为了保证隔震层能够整体协调工作，隔震层顶部应设置平面内刚度足够大的梁板体系。当采用装配整体式钢筋混凝土楼盖时，为使纵横梁体系能传递竖向荷载并协调横向剪力在每个隔震支座的分配，支座上方的纵横梁体系应为现浇。为增大隔震层顶部梁板的平面内刚度，需加大梁的截面尺寸和配筋。

11.3 上部结构设计

11.3.1 对隔震层顶部构件：上部结构为框架、框架-抗震墙和抗震墙结构时，隔震层顶部的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算；上部结构为砌体结构时，隔震层顶部各纵、横梁可按均匀分布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算，均匀分布荷载可按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011中关于底部框架砖房的钢筋混凝土托梁的规定取值；当按连续梁计算的正弯矩小于按单跨简支梁计算的跨中弯矩的0.8倍时，应按0.8倍单跨简支梁跨中弯矩取值。当计算出现负弯矩时，应进行双向配筋。对托墙梁顶砌体应进行局部承压验算，并在构造上采取适

当加强措施。

计算托墙梁的地震组合弯矩时，由竖向荷载产生的弯矩可按下列方法确定：(1)当上部砖墙不超过4层时，墙体自重及其承担的重力全部计入；(2)当上部砖墙超过4层且在跨中1/2段的墙体仅有一个洞口时，墙体自重及其承担的重力可仅取4层计入。对于砌体结构当需进行竖向地震作用的验算时，其抗剪强度的正应力影响系数宜按减去竖向地震作用后的平均压应力取值。

11.3.3 隔震建筑上部结构的抗震措施可适当降低，一般以水平向减震系数0.40为界划分，并明确降低不得超过一度，与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。对于7度($0.15g$)设防时，即使水平向减震系数小于0.40，隔震后的抗震措施基本上不降低。

此时，对砌体结构，可按现行《建筑抗震设计标准》GB/T 50011中附录L 采取抗震构造措施。

11.4 下部结构和地基基础设计

11.4.7 隔震建筑的地基应稳定、可靠。软弱地基的不均匀沉降 将会导致各隔震支座所承担的上部荷载重新分布，造成支座受力状态的改变，甚至超过其承载能力，对结构造成危害。在结构设计中应选用稳定性较好的基础类型，以保证隔震层的稳定性和在地震中运动的一致性。

13 建筑与机电隔震构造

13.1 一般规定

13.1.3 隔震层如果仅用于安装各类隔震装置，而不做其他用途，应基于经济合理的原则设定结构层高，并满足检修、更换隔震装置的需要。

13.1.5 隔震层是重要的结构功能层，漏水、潮湿环境会引起隔震装置的腐蚀，不利于耐久性，进而影响隔震装置正常发挥功能。所以规定隔震装置位于地下、半地下隔震层时，防水等级不低于二级，即不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。如果该楼层还同时有其他建筑功能，防水等级需要根据建筑使用功能进一步核定。结构顶板作为地下室防水板时，其板厚不宜小于250mm。

13.2 隔震缝及建筑出入口、坡道构造

13.2.1 设置一定宽度的竖向隔离缝，地震时竖向隔离缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动，对于隔震作用发挥至关重要。当缝宽受限时，可在隔震建筑之间设置阻尼器以减少位移，防止隔震建筑之间发生碰撞。施工过程中，常常发生竖向隔离缝宽度预留不足或空间被填充封死。因此施工过程中应采取防止隔离缝内掉入杂物的措施，必须保证竖向隔离缝宽度和空间清空，超过500mm 宽的隔离缝应进行细部构造设计，并进行重点检查。

15 隔震部件的施工、验收和维护

15.5 柔性连接

15.5.1 隔震建筑中穿越隔震层的燃气、有害介质等管道，如果柔性连接措施不到位，地震时发生破坏，将会造成介质泄漏，引发火灾、爆炸等严重的次生灾害，后果严重。因此，对于该类型管道的柔性处理措施进行强制性规定，必须采用柔性接头或柔性连接段等可靠性高的处理措施，保证地震时隔震建筑的管道能够发挥正常使用功能。

15.5.2 具有足够的伸展长度的柔性管线在地震时能够不阻碍隔震层水平运动，同时不会发生破坏而导致次生灾害的发生。

15.7 分项工程验收

15.7.3 《建设工程抗震管理条例》第十一条明确提出“建设工程 勘察文件中应当说明抗震场地类别，对场地地震效应进行分析，并提出工程选址、不良地质处置等建议。建设工程设计文件中应当说明抗震设防烈度、抗震设防类别以及拟采用的抗震设防措施。采用隔震减震技术的建设工程，设计文件中应当对隔震减震装置技术性能、检验检测、施工安装和使用维护等提出明确要求。”

《建设工程抗震管理条例》第二十三条规定：“建设工程所有产权人应当按照规定对建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识进行检查、修缮和维护，及时排除安全隐患。任何单位和个人不得擅自变动、损坏或者拆除建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识。任何单位和个人发现擅自变动、损坏或者拆除建设工程抗震构件、隔震沟、隔震缝、隔震减震装置及隔震标识的行为，有权予以制止，并向住房和城乡建设主管部门或者其他有关监督管理部门报告。”

为贯彻落实《建设工程抗震管理条例》第十一条、第二十三

条相关要求，本条设为重要条文，对隔震工程施工验收和维护做了要求，以保证隔震工程的安全。

隔离缝和柔性连接对隔震工程的安全至关重要，在施工验收和后期使用维护阶段，都应保证满足设计要求。隔震层施工后，尚有上部结构施工、设备安装等后续工程。工程实施过程中，后续工程处理不当，常常造成水平隔离缝、竖向隔震沟和柔性连接措施不能正常发挥作用。因此，在建筑隔震工程主体结构验收和工程竣工验收中，各方应对水平隔离缝、竖向隔震沟和柔性连接等进行联合验收。增加了维护阶段的检查内容，避免验收后使用阶段的不当改造造成重大安全隐患。

15.9 维护

15.9.1 隔震支座的维护质量关系到建筑物隔震性能，要重视并做好隔震支座的维护工作。维护工作需要建设单位、设计单位、施工单位、隔震支座产品供应商和使用方各方协调建立完善的机制，确保隔震层定期检查与维护工作的顺利进行。

15.9.5 为了完善隔震配套技术，保障隔震建筑在使用年限内正常发挥隔震功能，建筑隔震工程应设置专用的标识。

附录G 屈曲约束支撑的连接节点承载力验算

G.0.2 考虑材料的应变强化以及屈曲约束支撑拉、压不等强的受力特征，参考美国ANSI/AISC 341-16中条文F4-2a内容给出构件的极限承载力计算公式。对材料的应变强化调整系数，现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99中已有建议值取值偏小，故在此参考协会标准《高性能建筑钢结构应用技术规程》T/CECS 599中推荐取值。对受压强度调整系数，其主要与支撑的构造特点相关，应依据构件形式及构造特点综合确定。为避免支撑在受力过程中出现明显的拉、压不平衡现象，通常在屈曲约束支撑在检验时都要求受压强度调整系数不应过大，我国《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99限制为不大于1.3，而美国ANSI/AISC 341-16限制为不大于1.5，认为此处取1.5更为合理。

G.0.4 大量的研究表明，若节点加劲肋深入长度不足，会导致加劲肋后侧节点板受压发生屈曲失稳，因此对节点板中心加劲肋长度提出要求。