DB

内蒙古自治区工程建设地方标准

DBJ00-XX-2020

住房和城乡建设部备案号 JXX-2020

内蒙古自治区建筑消能减震应用技术规程

（征求意见稿）

2020-XX-XX 发布　　2020-XX-XX 实施

内蒙古自治区住房和城乡建设厅发布

苏震科技

内蒙古自治区工程建设地方标准

内蒙古自治区建筑消能减震应用技术规程

DBJ00-XX-2020

苏震科技

批准部门：内蒙古自治区住房和城乡建设厅
主编单位：包头市建筑设计研究院有限责任公司
北京建筑大学

Xxxxx 出版社
2020 包头

前 言

根据内蒙古自治区住房和城乡建设厅关于公布 2019 年上半年内蒙古自治区工程建设地方标准制定项目名单的通知》（内建标函〔2019〕124 号）文件的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 10 章，主要内容包括：1.总则；2.术语；3. 消能器的技术性能；4. 地震反应谱；5. 新建减震结构设计计算；6. 既有结构减震加固设计计算；7. 消能部件的连接与构造；8. 施工、验收和维护。

本规程由内蒙古自治区住房和城乡建设厅负责管理，包头市建筑设计研究院有限责任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反馈给包头市建筑设计研究院有限责任公司（地址：内蒙古包头市青山区幸福路 38 号；邮政编码：014030；）。

主编单位：包头市建筑设计研究院有限责任公司
北京建筑大学
参编单位：东南大学
上海蓝科建筑减震科技股份有限公司
南通装配式建筑与智能结构研究院
震安科技股份有限公司
内蒙古科技大学
江苏力汇振控科技有限公司
本规程主要起草人：
本规程主要审查人：

目　次

1　总则.....1
2　术语.....2
3　消能器的技术性能.....5
3.1　一般要求.....5
3.2　金属消能器.....5
3.3　屈曲约束支撑.....7
3.4　摩擦消能器.....9
3.5　黏滞消能器.....10
3.6　黏弹性消能器.....13
4　地震反应谱.....17
4.1　一般规定.....17
4.2　设计反应谱与地震波选择.....18
5　新建减震结构设计计算.....23
5.1　一般规定.....23
5.2　减震结构设计.....27
5.3　减震效果评价.....32
6　既有结构减震加固设计计算.....36
6.1　一般规定.....36
6.2　消能减震设计.....38
6.3　主体结构加固设计.....40
7　消能部件的连接与构造.....43
7.1　一般规定.....43
7.2　预埋件计算.....45
7.3　支撑和支墩、剪力墙计算.....45
7.4　节点板计算.....45
7.5　消能器与结构连接的构造要求.....47
8　施工、验收和维护.....48
8.1　一般规定.....48

防震科技

8.2 消能部件进场验收 48
8.3 消能部件的施工安装顺序 49
8.4 施工测量和消能部件的安装、校正 50
8.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接 50
8.6 施工安全和施工质量验收 51
8.7 消能部件的维护 52
本规程用词说明 55
引用标准名录 56
附：条文说明 57

苏震科技

1　总则

1.0.1　为贯彻执行国家和地方技术经济政策，在消能减震工程中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于抗震设防烈度为 6 度、7 度、8 度地区的新建消能减震结构和既有建筑结构减震加固的产品、设计、施工、验收和维护。

抗震设防烈度大于 9 度地区及有特殊要求的新建建筑结构和既有建筑结构抗震加固的消能减震设计、施工、验收和维护，应按有关专门规定执行。

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

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

1.0.5　按本规程进行设计与施工的新建消能减震结构和采用消能减震技术加固后的建筑，其抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，消能部件不应丧失功能，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.6　采用消能减震技术结构的设计、施工、验收、维护除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.1.1 消能器 energy dissipation device

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

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构、消能部件。

2.1.3 消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

2.1.4 消能子结构 energy dissipation sub-structure

与消能部件直接相连的构件组成的子结构，包括梁、柱、抗震墙、支撑（支墩）及节点。

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

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

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

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.7 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.8 金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料（软钢、铅等）元件或构件制成，利用

金属元件或构件屈服时产生的弹塑性滞回变形耗散能量的减震装置。

2.1.9　摩擦消能器 friction energy dissipation device

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

2.1.10　屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

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

2.1.11　黏滞消能器 viscous energy dissipation device

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

2.1.12　黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device

由黏弹性材料和约束钢板或圆（方形或矩形）钢筒等组成，利用黏弹性材料间产生的剪切或拉压滞回变形来耗散能量的减震装置。

2.1.13　附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2.1.14　附加有效刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的有效刚度。

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

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的位移值。

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

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的速度值。

2.1.17　消能器极限位移 ultimate displacement of energy

dissipation device

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。其值应大于消能器设计位移的 120%。

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

消能器能达到的最大速度值，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。其值应大于消能器设计速度的 120%。

2.1.19　近似计算模型 approximate calculation model

考虑消能器所提供的附加阻尼比或附加有效刚度的计算模型。

2.1.20　消能减震加固 seismic strengthening of buildings by energy dissipation method

采用消能减震技术使既有建筑达到抗震鉴定的要求所进行的设计与施工。

2.1.21　最大阻尼力 maximum damping force

消能器在设计速度、设计位移下能达到的最大出力。

苏震科技

3　消能器的技术性能

3.1　一般要求

3.1.1　消能器产品说明书应标注设计使用年限。消能器的设计使用年限不宜小于建筑物的设计使用年限，消能器达到使用年限应及时按一定比例数量抽检其性能，重新确定消能器后续使用年限或更换。

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

3.1.3　消能器中非消能构件承载力应满足其设计要求，设计时荷载应按消能器 1.5 倍极限阻尼力选取，应保证消能器中元件在罕遇地震作用下都能正常工作。

3.1.4　消能器的极限位移应不小于罕遇地震下消能器最大位移的 1.2 倍；对速度相关型消能器，消能器的极限速度应不小于地震作用下消能器最大速度的 1.2 倍，且消能器应满足在此极限速度下的承载力要求。

3.1.5　消能减震结构审查应提供相关计算书，计算书中须明确消能器的全部力学性能参数，力学性能参数应涵盖本规程所列项目，且消能器检测报告中的参数与计算书相对应。

3.2　金属消能器

3.2.1　金属消能器的外观应符合下列规定：

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

2 金属消能器外型安装尺寸偏差应为±2mm 内。

3.2.2 金属消能器的材料应符合下列规定：

1 金属消能器可采用钢材、铅等材料制作。

2 采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服点较低和延伸率高的钢材，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能。

3 金属消能器中所用各种材料性能应符合国家相应的材性标准。

3.2.3 金属消能器力学性能和耐久性能要求，应符合表 3.2.3 规定。

表 3.2.3 金属消能器性能要求

项目		要求
力学性能	初始屈服承载力	实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	初始屈服位移	实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	最大承载力	试验过程中历经最大承载力不大于 1.1 倍极限承载力计算值
	弹性刚度	实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	滞回曲线	实测滞回曲线应光滑，无异常，在同一测试条件下，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%以内，实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内

苏震科技

续表 3.2.3

耐久性能	滞回曲线	在设计位移下加载 30 圈； 经历以上加载后，主要设计指标误差和衰减量不应超过 15%，且不应有明显的低周疲劳现象，且累计塑性变形应大于 200 倍屈服位移

3.3 屈曲约束支撑

3.3.1 屈曲约束支撑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和全钢型屈曲约束支撑等。

3.3.2 屈曲约束支撑应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无毛刺，标记清晰。

3.3.3 屈曲约束支撑芯板消能段不应采用焊缝接头，芯板非消能段应采用全熔透对接焊缝，焊缝等级应满足《钢结构设计标准》GB 50017 中要求。

3.3.4 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差应符合表 3.3.4 的规定。

表 3.3.4 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差(mm)

项目	允许偏差
支撑长度	不超过产品设计值（-5~0）
支撑横截面有效尺寸	不超过产品设计值±2
支撑侧弯矢量	$L/1000$，且≤10
支撑扭曲	$h(d)/250$，且≤5

注：L—支撑长度；h—支撑套管截面较大边长；d—支撑外径。

3.3.5 用于制作屈曲约束支撑的钢材应根据设计需要进行选择。

1 核心单元宜采用低屈服点钢材和碳素结构钢，也可采用合金结构钢，其质量指标应符合国家标准 GB/T 28905、GB/T 700、

GB/T 3077 或 GB/T 19879 的规定，且伸长率应大于 25%，屈强比应小于 80%，常温下冲击韧性应大于 27J。

2 约束单元一般采用碳素结构钢或者合金结构钢，钢材质量指标应符合 GB/T 700 或 GB/T 3077 的规定。

3.3.6 屈曲约束支撑中的混凝土材料等级不应小于 C30。

3.3.7 屈曲约束支撑的力学性能要求，应符合表 3.3.7 规定。

表 3.3.7 屈曲约束支撑的性能要求

项目	允许偏差
屈服承载力	同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；同一型号抽检产品实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
最大承载力	同一型号单个产品的实测值不应超过产品设计值
屈服位移	同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；同一型号抽检产品实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
极限位移	不应小于支撑长度的 1/100
弹性刚度	同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；同一型号抽检产品实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
第 2 刚度	同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；同一型号抽检产品实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
滞回曲线	试验得到的滞回曲线应光滑、稳定、饱满无异常，且每一级变形的最后一次循环所测得承载力不低于当级加载中最大承载力的 85%。历经最大承载力不高于屈曲约束耗能支撑最大承载力设计值的 1.1 倍

3.3.8 屈曲约束支撑的耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能。其耐久性能应符合表 3.3.8 的规定。

表 3.3.8 屈曲约束支撑耐久性能要求

项目	性能指标
耐疲劳性能	在屈曲约束支撑设计位移的幅值下循环 30 次，经历以上加载后，主要设计指标误差和衰减量不应超过 15%，且不应有明显的低周疲劳现象，且累积塑性变形应大于 200 屈服位移
耐腐蚀性能	支撑暴露在空气中的部位，涂层干漆膜厚度应不小于 150μm

3.4 摩擦消能器

3.4.1 摩擦消能器的外观应符合下列规定：

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

2 摩擦消能器尺寸偏差应为 2mm。

3.4.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

1 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等。

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

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

3.4.3 摩擦消能器力学性能要求，应符合表 3.4.3 规定。

表 3.4.3 摩擦消能器力学性能要求

项目	序号	项目	性能要求
极限荷载	1	起滑阻尼力	每个产品起滑阻尼力的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	2	起滑位移	每个产品起滑位移的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	3	初始刚度	每个产品初始刚度的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	4	极限荷载	每个产品极限荷载的实测值偏差应为设计值的±15%；实测值偏差的平均值应为设计值的±10%
	5	极限位移	每个实测产品极限位移值不应小于极限位移设计值
疲劳性能	1	摩擦荷载	实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环的最大、最小阻尼力应为所有循环的最大、最小阻尼力平均值的±15%
	2	滞回曲线	1）实测产品在设计位移下连续加载 30 圈，任一个循环中位移在零时的最 大、最小阻尼力应为所有循环中位移在零时的最大、最小阻尼力平均值的±15%； 2）实测产品在设计位移下，任一个循环中阻尼力在零时的最大、最小位移应为所有循环中阻尼力在零时的最大、最小位移平均值的±15%

3.4.4 摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、磨耗和锈蚀

3.5 黏滞消能器

3.5.1 黏滞消能器包括黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙，其外观应符合下列表 3.5.1 规定。

表 3.5.1 黏滞消能器外观要求

序号	粘滞阻尼器	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	尺寸允许偏差应为产品设计值的±2mm	长度误差应为设计值±3mm；截面有效尺寸偏差应为产品设计值的±2mm

3.5.2　黏滞消能器的阻尼材料要求黏温关系稳定，闪点高，不易燃烧，不易挥发，无毒，抗老化性能强。钢材应根据设计需求选择，其余材料应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

3.5.3　黏滞消能器的力学性能要求和试验方法应符合表 3.5.3-1 和表 3.5.3-2 的规定，实测产品在试验后应无渗漏、无裂纹。

表 3.5.3-1 黏滞消能器常规力学性能要求

序号	项目	性能要求	试验方法
1	极限位移	每个实测产品极限位移实测值应≥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均速缓慢移动，记录其运动的极限位移值
2	最大阻尼力	每个实测产品的实测值偏差应在产品设计值的±10%以内	采用正弦激励法，用安装正弦波规律变化的输入位移 $\mathbf{u} = \boldsymbol{u_0} \sin \boldsymbol{\omega t}$，对消能器施加频率为$\boldsymbol{f_t}$、位移幅值为$\boldsymbol{u_0}$的正弦波，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	阻尼系数		采用正弦激励法，用安装正弦波规律变化的输入位移 $\mathbf{u} = \boldsymbol{u_0} \sin \boldsymbol{\omega t}$，来控制试验机的加载系统

续表 3.5.3-1

4	阻尼指数	每个实测产品的实测值偏差应在产品设计值的±10%以内	对消能器分别施加频率为$\boldsymbol{f_t}$输入位移幅值为 0.2$\boldsymbol{u_0}$、0.3$\boldsymbol{u_0}$、0.5$\boldsymbol{u_0}$、0.7$\boldsymbol{u_0}$、1.0$\boldsymbol{u_0}$、1.2$\boldsymbol{u_0}$，连续进行 5 个循环，每次均绘制阻尼力-位移滞回曲线，并计算各工况下第 3 个循环所对应的阻尼系数、阻尼指数、初始刚度作为实测值
5	滞回曲线		记录每次循环加载的抗力与消能器活塞相对位移时程，采用横向为消能器相对位移坐标，竖向取抗力坐标，绘制封闭曲线

注：$\omega = 2\pi f_1$，ω为圆频率，f_1为减震结构基频，u_0为黏滞阻尼器设计位移

表 3.5.3-2 黏滞消能器疲劳、抗渗漏力学性能要求

序号	项目	性能要求	试验方法
1	最大阻尼力	变化率不大于±10%	采用正弦激励法，对阻尼器施加频率为$\boldsymbol{f_1}$的正弦波，当以地震为主时，输入位移 $\mathbf{u} = \boldsymbol{u_0}\sin\boldsymbol{\omega t}$，连续加载 30 个循环，位移大于 100mm 时加载 5 个循环；当以风振控制时，输入 $\mathbf{u} = \boldsymbol{u_w}\sin\boldsymbol{\omega t}$，连续加载 60000 个循环，每 20000 次可暂停休整，u_w 为为风振控制下黏滞消能器可能达到的最大位移的 1.2 倍
2	阻尼系数	变化率不大于±10%	
3	阻尼指数	变化率不大于±10%	
4	密闭性能	实测产品在超压下不应出现渗漏、屈服或损坏等现象，且阻尼力衰减值不大于 5%	采用加压装置，对阻尼器缸体内部加压到 1.5 倍的最大阻尼力对应的腔体压力，保持 10 分钟

注：$\omega = 2\pi f_1$，ω为圆频率，f_1为减震结构基频，u_0为黏滞阻尼器设计位移

3.5.4　黏滞消能器的其他性能要求应符合下列规定：

1 黏滞消能器在-30℃～40℃下，在 $1.0f_1$测试频率下，输入位移采用公式（3.5.1-1），每隔 10℃记录消能器的最大阻尼力的实测值偏差应为理论设计值的±10%内。

$$u = u_0 \sin(2\pi f_1 t) \tag{3.5.1-1}$$

2 黏滞消能器在$f = 0.7f_1$、$1.0f_1$、$1.3f_1$、$1.6f_1$测试频率下，输入位移采用公式（3.5.1-2），其最大阻尼力的实测值偏差应为理论设计值的±10%内。

$$u = (u_0 f_1/f) u_0 \sin(2\pi f t) \tag{3.5.1-2}$$

3.5.5　黏滞消能器的力学行为可采用麦克斯韦（Maxwell）模型描述。产品性能指标中应给出阻尼系数、阻尼指数、最大阻尼力。

3.6 黏弹性消能器

3.6.1　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。

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下列要求：

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

3.6.2　橡胶类黏弹性材料性能要求应符合表 3.6.2 的规定。钢材

质量指标应符合现行国家标准《碳素结构钢》 GB/T 700 中碳素结构钢或低合金钢的规定。

表 3.6.2 橡胶类黏弹性材料性能要求

项目		指标
拉伸强度/MPa		≥15
扯断伸长率/%		≥380
扯断永久变形/%		≥22
热空气老化 70℃72h	拉伸强度变化率/%	不超过±20
	扯断伸长变化率/%	不超过±20
-10℃~40℃工作频率下材料损耗因子**β**		≥0.5
黏弹性材料与钢构件之间的黏合强度/MPa		≥4.3

3.6.3 黏弹性消能器力学性能试验方法按表 3.6.3-1 的规定进行。在相同的环境温度、加载幅值和频率下，黏弹性消能器力学性能要求应符合表 3.6.3-1 的规定。

表 3.6.3-1 黏弹性消能器力学性能试验方法

项目	试验方法
最大阻尼力	输入位移采用 $\mathbf{u}=\boldsymbol{u_0}\sin(\boldsymbol{\omega t})$，采用位移控制方法连续加载 5 圈，以第 3 圈力-位移滞回曲线为基准，取滞回曲线的最大阻尼力作为最大阻尼力的实测值，取滞回曲线长轴的斜率作为表观剪切模量的实测值，取滞回曲线的零位移对应的阻尼力与最大位移对应的阻尼力的比值作为损耗因子的实测值，取滞回曲线包络的面积为滞回曲线面积的实测值
表观剪切模量	
损耗因子	
滞回曲线面积	
极限应变	输入位移采用 $\mathbf{u}=\boldsymbol{u_1}\sin(\boldsymbol{\omega t})$，$\boldsymbol{u_1}$从 $\mathbf{0.5}\boldsymbol{u_0}$开始，逐次增加 $0.25\boldsymbol{u_0}$，每次采用位移控制方法连续加载 5 圈，直至耗能器破坏为止，取破坏时的前次加载$\boldsymbol{u_1}$值对应的应变值，作为黏弹性耗能器极限应变的实测值

注：试验应在标准环境温度（23℃±2℃）下进行；$\omega=2\pi\boldsymbol{f_1}$，$\boldsymbol{f_1}$为安装耗能器的结构基频，$\boldsymbol{u_0}$为耗能器设计位移。

表 3.6.3-2 黏弹性消能器力学性能要求

项目	性能要求
最大阻尼力	实测值偏差在产品设计值的±10%以内
表观剪切模量	
损耗因子	
滞回曲线面积	
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 1.25 倍设计位移对应的应变
滞回曲线	实测滞回曲线应光滑、无异常

3.6.4　对于幅值相关性不明显的黏弹性消能器在加载幅值为 0.5、0.75、1.0、1.25、1.5 倍设计位移（若极限应变对应位移小于 1.5 倍设计位移，则取至极限应变对应位移为止）下的表观剪切模量和损耗因子的实测值偏差，不宜超过设计值的±10%；对于幅值相关性明显的黏弹性消能器，应通过直接或间接的方法考虑其幅值相关性。

3.6.5　黏弹性消能器耐久性能(包括老化性能、疲劳性能)试验方法按表 3.6.5-1 的规定进行。在相同的环境温度、加载幅值和频率下，黏弹性消能器耐久性能要求应符合表 3.6.5-2 的规定。

表 3.6.5-1 黏弹性消能器耐久性能试验方法

项目	试验方法
老化性能	把试件放入鼓风电热恒温干燥箱中，保持温度 80℃，经 192h 后取出，按表 3.6.3-2 的规定进行力学性能试验
疲劳性能	输入位移采用 $\mathbf{u}=\boldsymbol{u_2}\sin(\boldsymbol{\omega t})$，采用位移控制方法连续加载 30 圈，1~5 圈中$\boldsymbol{u_2}=\boldsymbol{u_0}$，6~25 圈中$\boldsymbol{u_2}=\mathbf{0.5}\boldsymbol{u_0}$，26~30 圈中$\boldsymbol{u_2}=\boldsymbol{u_0}$，以第 3 圈和第 30 圈力-位移滞回曲线为基准，计算最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子、滞回曲线面积

注：$\omega=2\pi\boldsymbol{f_1}$，$\boldsymbol{f_1}$为安装耗能器的结构基频，$\boldsymbol{u_0}$为耗能器设计位移。

表 3.6.5-2 黏弹性消能器耐久性能要求

试验内容	项目	性能要求
老化性能	变形	变化率在±15%以内
	最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	变化率在±15%以内
	外观	目视无变化
疲劳性能	变形	变化率在±15 以内
	外观	目视无变化
	最大阻尼力	第 30 圈相比第 3 圈，性能下降不超过 15%
	表观剪切模量	
	损耗因子	
	滞回曲线面积	
	滞回曲线	实测滞回曲线应光滑、无异常，第 30 圈相比第 3 圈滞回曲线形状无明显变化

3.6.6　黏弹性消能器在-10℃~40℃下，按表 3.6.3-1、表 3.6.3-2 的规定进行力学性能试验，每隔 10℃记录消能器最大阻尼力的实测值，实测值偏差不应超过设计值的±15%。

3.6.7　黏弹性消能器的最大阻尼力的加载频率相关性能和温度相关性能的变化曲线应有规律性。

3.6.8　线性黏弹性阻尼器的力学行为可采用开尔文（Kelvin）模型描述，针对其他呈现出非线性特征的黏弹性阻尼器，需建立对应的能考虑其非线性特征的力学模型。

4　地震反应谱

4.1　一般规定

4.1.1　新建消能减震结构及采用消能减震技术对既有建筑进行抗震加固设计时，地震作用的计算应符合下列规定：

1 应至少在结构两个主轴方向分别计算水平地震作用；有斜交抗侧力构件或消能器的结构，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；

2 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计算双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，应计算单向水平地震作用下的扭转影响；

3 8 度及 8 度以上的大跨度与长悬臂消能减震结构及 9 度时的高层消能减震结构，应计算竖向地震作用。

4.1.2　新建消能减震结构及采用消能减震技术加固的结构，应采用下列方法增加分析计算地震作用：

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

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

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

4.1.3　时程分析计算中，消能器的恢复力模型宜符合下列规定：

1 所采用的恢复力模型应根据消能器的力学特性，宜采用经

过试验验证、较为成熟的模型，消能器的恢复力模型宜按下列规定选取：

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) 其他类型的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。

2 消能器的恢复力模型参数应通过足尺试验确定。

3 恢复力模型的主要性能参数应能正确反映消能器对主体结构刚度和阻尼的贡献。

4.1.4 消能减震结构设计楼（屋）盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼（屋）盖平面内无不满足无限刚性要求时，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。

4.1.5 消能减震结构的楼层水平地震剪力应按下列原则分配：

1 现浇和装配整体式混凝土楼（屋）盖等刚性楼（屋）盖建筑，宜按抗侧力构件有效刚度的比例分配。

2 普通预制装配式混凝土楼（屋）盖等半刚性楼（屋）盖建筑，可按抗侧力构件有效刚度的比例分配与按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影响时，可按现行国家规范《建筑抗震设计规范》 GB 50011 的有关规定对本条第 1、2 款的分配结果做适当调整。

4.2 设计反应谱与地震波选择

4.2.1　多遇地震下结构构件的承载力与变形验算，应根据设防烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定地震影响系数，水平地震影响系数最大值应按表 4.2.1-1 采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表 4.2.1-2 采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加 0.05s；周期大于 6.0s 的建筑结构所采用的地震影响系数应专门研究。

表 4.2.1-1 地震水平地震影响系数最大值

地震水准	结构类别	设防烈度			
		6	7	8	9
多遇地震	新建结构	0.040	0.080(0.120)	0.160(0.240)	0.320
	加固建筑 A 类	0.030	0.060(0.090)	0.120(0.180)	0.240
	加固建筑 B 类	0.035	0.070(0.105)	0.140(0.210)	0.280
	加固建筑 C 类	0.040	0.080(0.120)	0.160(0.240)	0.320
罕遇地震	新建结构	0.280	0.500(0.720)	0.900(1.200)	1.400
	加固建筑 A 类	0.238	0.425(0.612)	0.765(1.020)	1.190
	加固建筑 B 类	0.260	0.465(0.670)	0.837(1.120)	1.302
	加固建筑 C 类	0.280	0.500(0.720)	0.900(1.200)	1.400

注：括号内数值分别用于设计基木地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

表 4.2.1-2 地震反应谱特征周期(s)

设计地震分组	场地类别				
	I_0	I_1	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

4.2.2　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 当消能减震结构及采用消能减震技术加固后结构的阻尼比为 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应取 1.0，形状参

数应

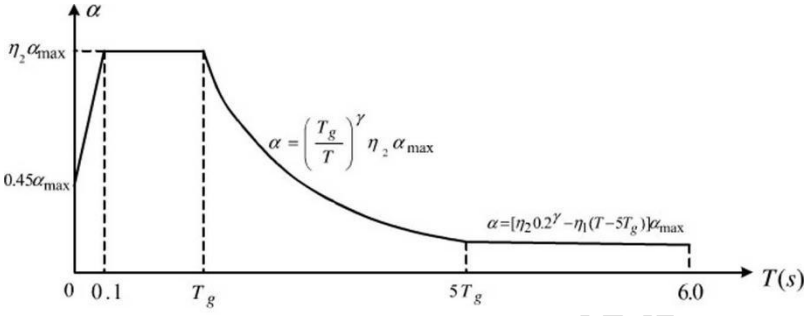


图 4.2.2 地震影响系数曲线

α——地震影响系数；α_{max}——地震影响系数最大值；

η_1——直线下降段的下降斜率调整系数；γ——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

符合下列规定：

1) 直线上升段为周期小于 0.1s 的区段；

2) 水平段为自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值α_{max}；

3) 曲线下降段为特征周期至 5 倍特征周期区段，衰减指数应取 0.9；

4) 直线下降段，自 5 倍特征周期至 6s 区段，下降斜率调整系数应取 0.02。

2 当消能减震结构及采用消能减震技术加固后结构的阻尼比不等于 0.05 时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数 和形状参数应符合下列规定：

1) 曲线及直线下降段的衰减指数应按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05-\zeta}{0.3+6\zeta} \qquad (4.2.2\text{-}1)$$

式中：γ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——消能减震结构及采用消能减震技术加固后结构的总阻尼比。

2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05-\zeta}{4+32\zeta} \tag{4.2.2-2}$$

式中 η_1——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

3) 阻尼调整系数应按下式确定：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05-\zeta}{0.08+1.6\zeta} \tag{4.2.2-3}$$

式中 η_2——阻尼调整系数，小于 0.55 时，应取 0.55。

4.2.3 采用弹性时程法进行补充计算时，宜取七组或七组以上的加速度时程曲线，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。动力弹塑性分析时宜取三组加速度时程 曲线计算结果的包络值或七组加速度时程曲线计算结果的平均值。

4.2.4 采用时程法分析时，应按建筑场地类别和设计地震分组选实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线，其中实际强震记录数量不应少于总数的 2/3，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符，且持时不应小于结构基本周期的 5 倍和 15 秒，地震加速度时程曲线的最大值可按表 4.2.4 采用。弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算主体结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

4.2.4 时程分析用地震加速度时程曲线最大值(cm/s^2)

地震水准	结构类别	设防烈度			
		6	7	8	9
多遇地震	新建结构	18	35(55)	70(110)	140
	加固建筑 A 类	14	26(41)	53(83)	105
	加固建筑 B 类	16	31(48)	62(97)	123
	加固建筑 C 类	18	35(55)	70(110)	140
罕遇地震	新建结构	125	220(310)	400(510)	620
	加固建筑 A 类	106	187(264)	340(434)	527
	加固建筑 B 类	116	204(288)	372(474)	577
	加固建筑 C 类	125	220(310)	400(510)	620

注：括号内数值分别用于设计基木地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

4.2.5　在条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段，水平地震作用应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定乘以 1.1～1.6 倍的增大系数。

苏震科技

5　新建减震结构设计计算

5.1　一般规定

5.1.1　本节适用于新建消能减震结构设计。

5.1.2　摩擦消能器在温度或 10 年一遇标准风荷载作用下不应进入滑动状态，金属消能器在温度或 10 年一遇标准风荷载作用下不应产生屈服，屈曲约束支撑在温度、10 年一遇的标准风荷载以及多遇地震作用下不应产生屈服，风荷载与地震可不同时考虑。

5.1.3　消能部件的布置应满足下列各项要求：

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，宜避免偏心扭转效应，且消能减震结构中消能部件不宜布置过少。

2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀。

3 消能部件宜布置在层间相对位移或相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加消能器两端的相对变形或相对速度，提高消能器的减震效率。

4 消能部件的布置位置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

5 消能器的数量和分布应通过综合分析确定，并有利于提高整体结构的消能减震能力形成均匀合理的受力体系。

6 消能部件的设置，应便于检查、维护和替换。

5.1.4　在消能减震结构中设置消能器时，设置的消能器宜使消能减震结构的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。

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 对于等效阻尼比的计算，结构总应变能和消能器耗能应按地震输入方向与垂直方向的总和计算等效阻尼比。当斜交抗侧力构件的相交角度大于 15°时，应在各抗侧力构件方向分别计算水平地震作用。

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

5.1.5 对主结构进行设计时，结构在多遇和罕遇地震作用下的总阻尼比应分别计算，消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 25%时，宜按 25%计算，且实际采用附加阻尼比不宜高于计算值的 80%。

5.1.6 消能子结构的强度应满足下列要求：

1 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，同时应考虑罕遇地震作用效应和其它荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力；在罕遇地震作用下的材料强度可采用国家规范《建筑抗震设计规范》 GB 50011 附录 M.1.2-4 的规定的极限值，按表 5.1.6 确定。

表 5.1.6 消能子结构材料强度极限值

材料	强度等级	极限值(N/mm^2)
钢筋	HRB400	500
	HRB500	625
混凝土	C30	26.4
	C35	30.8

续表 5.1.6

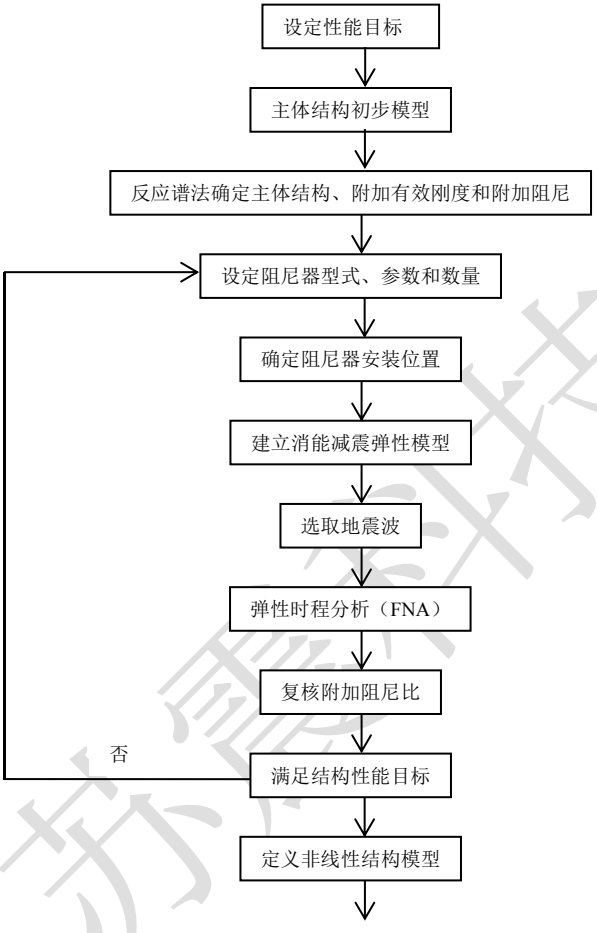
混凝土	C40	35.2
	C45	39.6
	C50	44.0
	C55	48.4
	C60	52.8
钢材	Q235	370
	Q345	470
	Q390	490
	Q420	520
	Q345GJ	490

2 消能子结构的框架柱应在两个方向都满足上述对于强度的要求。

3 位于消能子结构下方至少一层的对应竖向构件也应满足上述对于强度的要求。

5.1.7 新建减震结构实用分析流程可用图 5.1.7 加以描述。

苏震科技


设定性能目标
主体结构初步模型
反应谱法确定主体结构、附加有效刚度和附加阻尼
设定阻尼器型式、参数和数量
确定阻尼器安装位置
建立消能减震弹性模型
选取地震波
弹性时程分析（FNA）
复核附加阻尼比
否
满足结构性能目标
定义非线性结构模型

苏震科技

弹塑性时程分析

图 5.1.7 新建减震结构分析流程

苏震科技

5.2 减震结构设计

5.2.1 性能目标的选取应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定，消能减震结构的设防目标可按表 5.2.1 选用。

表 5.2.1 消能减震设防目标

设防目标				
名称		地震作用	设防目标	设计方法
主体		多遇地震	全楼完全弹性	工况组合采用考虑各种系数的设计组合，材料强度采用设计值
消能部件	支撑、悬臂墙	罕遇地震	弹性	以大震下构件的弹性内力进行截面配筋，材料强度采用设计值
	周围框架及节点	罕遇地震	满足构件极限承载力要求	按照实际配筋率进行弹塑性构件损伤复核；与之相邻的框架梁柱根据“强柱弱梁、强剪弱弯”原则进行设计；并验算节点。

5.2.2 消能器类型的选择可根据主体结构的减震目标，按如下原则选取：

1 屈曲约束支撑多遇地震下仅为主体结构提供附加有效刚度，在设防地震及罕遇地震作用下提供附加有效刚度及附加阻尼。

2 黏滞流体消能器仅为主体结构提供附加有效阻尼。

3 金属消能器、摩擦消能器和黏弹性消能器可为主体结构提供附加有效刚度和附加阻尼。

5.2.3 消能器的参数和数量

1 位移相关型消能器参数估算方法具体如下：

1) 根据 SATWE 或 YJK 软件中附加有效刚度和附加阻尼比的要求确定等代支撑大小及截面形式，截面面积A_1；

2) 等代支撑刚度$K_1 = EA_1\, cosx^2\, \beta/L_1$，$A_1$为单斜等代支撑的截面面积，$L_1$为等代杆的长度，$\beta$为等代支撑与水平向夹角；

3) 选取实际支撑的截面尺寸，保证支撑在大震下具有足够的刚度和稳定性，且保持弹性为准，得到实际支撑截面面积A_2；

4) 实际支撑的刚度$K_2 = EA_2/L_2$，E 为钢材的弹性模量，L_2为实际支撑长度；

5) 一对实际支撑水平刚度$K_3 = 2K_1\, cosx^2\, \alpha$，$\alpha$为实际支撑与水平向的夹角；

6) 假定消能器的有效刚度为K_4，由于实际双斜支撑与消能器组成系统的串联刚度为K_1(即 SATWE 或 YJK 中等代支撑的水平刚度)，满足关系式：$1/K_1 = 1/K_3 + 1/K_4$，则消能器的有效刚度为$K_4 = 1/\left(\frac{1}{K_1} - \frac{1}{K_3}\right)$；

7) 选取消能器的相关参数，在小震时程分析中使得$K_4 = Q_\alpha/\Delta_\alpha$，$Q_\alpha$为消能器的实际出力，$\Delta_\alpha$为消能器的实际位移，并复核小震时程分析中的层间位移角、楼层剪力和附加阻尼比是否满足预期性能目标。

2 屈曲约束支撑

1) 屈曲约束支撑的阻尼力 F 与相应位移之间具有下列关系：$F = K_{eff}\Delta U$，（K_{eff}为消能器有效刚度；ΔU 为沿消能方向消能器的位移）

故消能器参数主要涉及三个：消能器屈服刚度K_α、沿消能方向消能器屈服位移U_y、消能器屈服后刚度比。

2) 根据消能器的设计理论和分配理论，当确定了附加有效刚度和小震出力后（即确立了结构的目标性能），即可确定消能器相关参数。

工程上部结构采用 PKPM（YJK）软件，采用线性等效方法，用等代斜杆来模拟消能器，在进行消能减震设计时，确保 BRB 屈服刚度与 PKPM（YJK）计算模型中的等代支撑刚度等效。

消能器参数估算依据如下：

(1) 根据性能目标要求确定附加有效刚度及等代支撑截面；

(2) 依据小震作用下支撑出力设计 BRB 参数；

(3) 复核小震时程分析中的层间位移角、楼层剪力是否满足预期性能目标。

3) 屈曲约束支撑的力学模型

(1）BRB 屈服力

屈曲约束支撑（BRB）为轴心受力构件，其核心截面在轴向力作用下可全截面屈服，故其屈服力按下式计算：

$$F_y = Af_y \tag{5.2.6-1}$$

式中：A 为消能器核心钢材面积，f_y为核心钢材屈服强度。

(2) BRB 刚度

屈曲约束支撑（BRB）的弹性刚度可按下式计算：

$$K_d = \frac{EA}{L_d} \tag{5.2.6-2}$$

式中：E 为钢材弹性模量，L_d为消能器长度。

(3) BRB 屈服位移

屈曲约束支撑（BRB）的屈服位移可按下式计算：

$$D_y = \frac{F_y}{K_d} \tag{5.2.6-3}$$

(4) BRB 在弹性模型中等效截面的推导

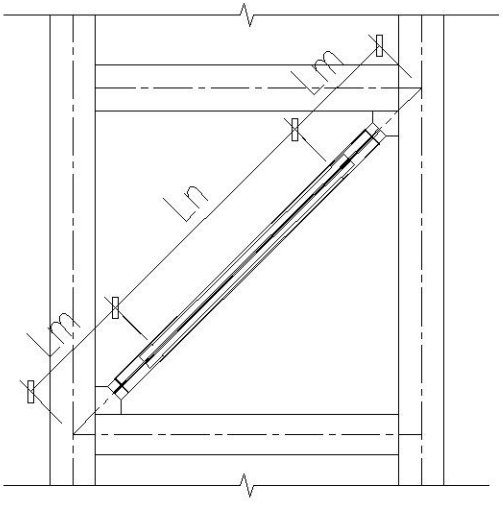
支撑等效刚度：

设A_e为模型中截面面积，L_e为支撑轴线长度，则支撑在模型中等效刚度K_e按下列公式计算：

$$K_e = \frac{EA_e}{L_e} \tag{5.2.6-4}$$

支撑的刚度组成及芯板面积计算：

模型中的支撑模型为整个轴线长度，真正的耗能部分则仅是芯板部分，为方便确定支撑吨位，将支撑分为两个部分：耗能部分 (即芯板部分，以下标 n 标示)与非耗能部分（包括梁柱节点、支撑节点及支撑弹性段部分，以下标 m 标示）



耗能部分与非耗能部分串联组成模型中的支撑刚度，因此根据刚度串联公式可计算出芯板面积：

$$\frac{1}{K_e}=\frac{1}{K_m}+\frac{1}{K_n} \tag{5.2.6-5}$$

其中$K_e=\frac{EA_e}{L_e}$，$K_m=\frac{EA_m}{2L_m}$，$K_n=\frac{EA_n}{L_n}$

K_m、A_m、$2L_m$为非耗能段等效面积、刚度、长度；K_n、A_n、L_n为耗能段等效面积、刚度、长度；

将其代入(5.6.3-5)式中，可得到：

$$\frac{L_e}{A_e}=\frac{2L_m}{A_m}+\frac{L_n}{A_n} \tag{5.2.6-6}$$

由此则可得出芯板面积。

由芯板面积确定支撑承载力：

由芯板面积可以简单计算得到支撑屈服承载力，

$$N_{by} = f_{yK} A_n \tag{5.2.6-7}$$

f_{yk}——钢材屈服强度标准值（宜按实测值确定）。

3 黏滞消能器

1) 黏滞消能器的阻尼力 F 与活塞运动速度 V 之间具有下列关系：$\mathrm{F} = \mathrm{C}V^{\alpha}$，所以消能器参数主要涉及两个：阻尼系数 C 和阻尼指数α。

2) 根据消能器的设计理论和分配理论，线性黏滞消能器在确定了附加阻尼比ε_d，选定阻尼指数α后，只要计算出消能器的总阻尼系数值，再用此值除以采用的阻尼系数 C，就可以确定消能器的数量。

采用非线性黏滞消能器的结构，理论上无法由传统阻尼比（$\varepsilon = \frac{C}{C_{cr}}$）定义。NEHRP 从能量法的原理出发，推导非线性黏滞消能器的等效阻尼比的计算公式，将W_{cj}用非线性消能器在一个周期反应中所作的功替代，从而得到等效阻尼比。考虑一受正弦函数（$\mathrm{u} = u_0 \sin \omega t$）激励的多自由度体系，非线性消能器做功为：

$$\sum_j W_{cj} = \sum_j \lambda_j C_j \omega^{\alpha} u_j^{1+\alpha} \tag{5.2.6-8}$$

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+\alpha/2)}{\Gamma(2+\alpha)} \tag{5.2.6-9}$$

式中 Γ 为伽玛函数

若仅考虑第一模态，消能减震结构弹性应变能为：

$$W_s = \frac{1}{2}[U_1]^T[K][U_1] = \frac{1}{2}(\omega A)^2 \sum_i m_i \varphi_i^2 \tag{5.2.6-10}$$

$$\varepsilon_d = \sum_j W_{cj} / (4\pi W_s) \tag{5.2.6-11}$$

根据上面公式(5.2.6-8)、(5.2.6-9)、(5.2.6-10)带入式(5.2.6-11)可以求出多自由度非线性黏滞消能器所贡献的黏滞阻尼比：

$$\varepsilon_d = \frac{\sum_j \lambda_j C_j \left(\varphi_{rj} \cos\theta_j\right)^{1+\alpha}}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \varphi_i^2} \tag{5.2.6-12}$$

因此根据式（5.2.6-12）结构所需的总阻尼系数$C_{总}$为：

$$C_j = \frac{2\pi \varepsilon_d A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \varphi_i^2}{\sum_j \lambda_j \left(\varphi_{rj} \cos\theta_j\right)^{1+\alpha}} \tag{5.2.6-13}$$

因此，$C_{总} = \sum_{j=1}^{n} C_J$

结构所需的总消能器数量$n_d = \frac{C_{总}}{C}$

式中 ε_d——假定附加阻尼比；

A——结构顶层最大线性位移，由 $A = \Gamma_1 S_d$计算；

j——第 j 层楼；

ω——结构第一振型频率；

m_i ——第 i 楼层质量；

C_j ——第 j 层楼消能器的总阻尼系数；

n——结构楼层数；

α——阻尼指数；

Φ_i——第一振态第 i 个自由度的位移；

Φ_{rj} ——第一振态第 j 个消能器两端的相对水平位移；

θ_j——第 j 个消能器的装设水平倾斜角。

5.3 减震效果评价

5.3.1　复核附加阻尼比

1 位移相关型消能阻尼器:

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

2)消能部件附加给结构有效阻尼比可按下式计算：

$$\varepsilon_d = \sum_{j=1}^{n} \frac{W_{cj}}{4\pi W_s} \tag{5.3.1-1}$$

式中 ε_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Δ_{u_j}下往复循环一周所消耗的能最（kN · m）；

W_s——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN · m）。

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

$$W_s = \sum \frac{F_{iu_i}}{2} \tag{5.3.1-2}$$

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

u_i——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

4) W_{cj}一个消能部件所消耗的能量的估算：

根据《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297 的第 6.3.2 条第 6 款：消能器的耗能计算为水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量：$W_{cj} = \sum A_j$。

单个消能器的耗能面积根据 JGJ 297 规程 6.3.4 条的要求及平行四边形法则求出：

$$W_{cj} = 4\left(U_{jmax} - U_{jy}\right)\left(F_{jmax} - \beta \times K_{aj} \times U_{jmax}\right) \tag{5.3.1-3}$$

式中 U_{jmax}——第 j 个消能器消能方向最大位移（mm）；

U_y——第 j 个消能器由试验确定的屈服位移（mm）

F_{jmax}——第 j 个消能器的消能最大出力（kN）;

K_{aj}——第 j 个消能器屈服前刚度（kN/mm）；

β——第 j 个效能器屈服后刚度比。

2 黏滞消能器

根据《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297 消能部件附加给结构的实际有效阻尼比，可按下列方法确定：

1) 消能部件附加给结构有效阻尼比可按下式计算：

$$\varepsilon_d = \sum_{j=1}^{n} \frac{W_{cj}}{4\pi W_s} \tag{5.3.1-4}$$

式中 ε_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Δ_{u_j}下往复循环一周所消耗的能量（kN · m）；

W_s——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（kN · m）。

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

$$W_s = \sum \frac{F_{iu_i}}{2} \tag{5.3.1-5}$$

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

u_i——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（m）。

3) 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：

$$W_{cj} = (2\pi^2/T_1)\sum C_j\left(\cos\theta_j\right)^2 \Delta u_j^2 \tag{5.3.1-6}$$

式中 T_1——消能减震结构的基本自振周期（s）；

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

θ_j——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j——第 j 个消能器两端的相对水平位移（m）。

当消能器的阻尼系数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。

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

$$W_{cj} = \lambda_1 F_{djmax} \Delta u_j \tag{5.3.1-7}$$

式中 λ_1——阻尼指数的函数，可按表 5.4.1 取值；

$F_{dj\max}$——第 j 个消能器在相应水平地震用下的最大阻尼力（kN）。

表 5.3.1 λ_1值

阻尼指数 a	λ_1值
0.25	3.7
0.5	3.5
0.75	3.3
1	3.1

注：其他阻尼指数对应的λ_1值可线性插值。

6　既有结构减震加固设计计算

6.1　一般规定

6.1.1　本节适用于经抗震鉴定不满足抗震设防要求的既有建（构）筑物的减震加固。

6.1.2　既有建筑采用消能减震技术进行加固设计时，应依据建筑抗震鉴定结果以及业主的需求合理确定其后续使用年限。文物建筑消能减震加固工程的后续使用年限应另行确定。

6.1.3　消能减震加固设计时，应按既有建筑的抗震鉴定结果、多遇地震作用下的预期设计要求及罕遇地震作用下的预期结构变形控制要求，并考虑既有建筑状况，合理确定消能器。消能器的选择应考虑消能器在不同水准地震作用下的工作状态、消能器与既有建筑的连接形式和技术可靠性、技术经济指标等。

6.1.4　消能减震结构的抗震性能化设计，应根据既有建筑结构的实际需求，分别选定针对整个结构、局部部位或关键部位、关键部件、重要构件、次要构件以及建筑构件和消能部件的性能目标。抗震设防目标不应低于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定或满足《建筑消能减震加固技术规程》 T/CECS 547 性能化目标要求。

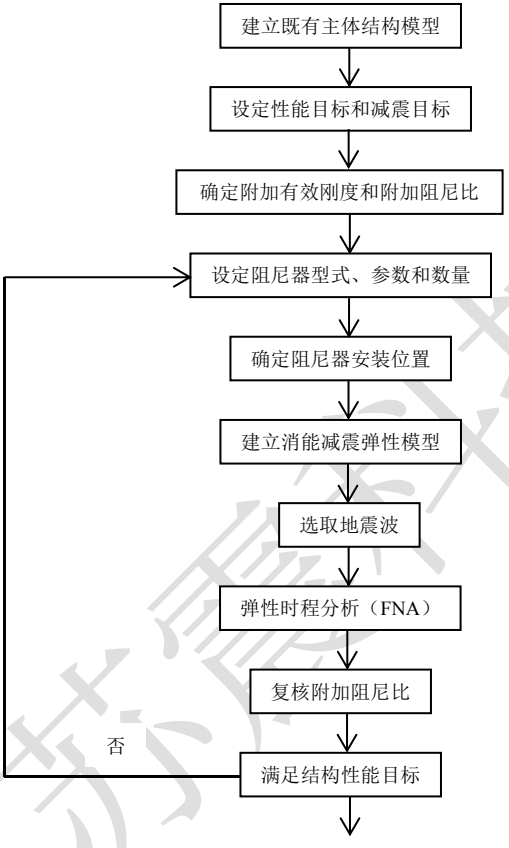
6.1.5　在既有建筑加固前，应通过原结构的设计施工资料、岩土地质勘察报告、结构抗震鉴定报告以及结构检测报告等文件，掌握既有工程上部结构和地基基础的现状，结合实地勘察，了解需消能减震加固结构的周边环境条件。

6.1.6　消能支撑的角度宜控制在 30 度~60 度之间。

6.1.7　对于结构体系不明确、结构形式特殊的建筑，其消能减

震加固方案应进行专项技术论证。

6.1.8　既有结构减震加固实用分析流程可用图 6.1.8 加以描述。



苏震科技

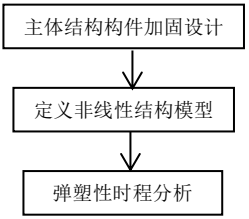


图 6.1.8 既有结构减震加固分析流程

苏震科技

6.2 消能减震设计

6.2.1　设定性能目标和减震目标时，应符合下列要求：

1 宜减少对原结构构件的加固量。当既有结构较柔，不满足多遇地震下结构变形要求时，宜优先采用能提供附加有效刚度的黏弹性消能器、金属消能器、防屈曲约束支撑及复合型消能器。

2 刚度分布不均匀的建筑，可采用金属消能器及防屈曲约束支撑，使加固后的结构刚度分布均匀。

3 宜减少地基基础的加固量，多采用提高上部结构抵抗不均匀沉降能力的措施，并应计入不利场地的影响。

6.2.2　消能部件的布置

同 5.1.4 条相同。

6.2.3　确定附加有效刚度和附加阻尼比

同 5.2.5 条相同

6.2.4　对于后续使用年限 50 年的消能减震加固建筑（即《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023 规定的 C 类建筑），其设计应按照本规程各章执行；对于《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023 规定的 A、B 类建筑，其设计特征周期、原结构构件的材料性能设计指标、地震作用效应调整等应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023 的规定采用，结构构件的“承载力抗震调整系数”应采用下列“抗震加固的承载力调整系数”替代：

1 A 类建筑，加固后的构件仍应依据其原有构件按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 规定的“抗震鉴定的承载力调整系数”值采用；新增钢筋混凝土构件、砌体墙体可仍按原有构件对待。

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

6.2.5　B（按照鉴定标准给）类结构的抗震构造措施不满足相关规定时，可采用楼层综合抗震能力指数法按下式进行验算：

$$\beta = \psi_1\psi_2\zeta_y \tag{6.2.4-1}$$

$$\zeta_y = V_y/V_e \tag{6.2.4-2}$$

式中 β——平面结构楼层综合抗震能力指数。大于等于 1.0 时，应认为符合要求；当小于 1.0 时，应采取加固或其他相应措施；

ψ_1——体系影响系数，A 类结构可按本规程 6.2.6 条确定；B 类结构可按本规程 6.2.7 条确定；

ψ_2——局部影响系数，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 取值；

ζ_y——楼层屈服强度系数；

V_y——楼层既有受剪承载力，可按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》 GB50023 附录 C 计算；

V_e——多遇地震下楼层弹性地震剪力设计值。

6.2.6　A 类钢筋混凝土房屋的体系影响系数可根据结构体系、梁柱箍筋、轴压比等符合要求的程度和部位，按下列情况确定：

1 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 的规定时，可取 1.0。

2 当各项构造均符合非抗震设计规定时，可取 0.8。

3 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，上述数值尚宜乘以 0.8~1.0。

6.2.7　B 类钢筋混凝土房屋的体系影响系数可根据结构体系、梁柱箍筋、轴压比、墙体边缘构件等符合要求的程度和部位，按下列情况确定：

1 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 B 类房屋鉴定规定时，可取 1.0。

2 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 A 类房屋鉴定规定时，可取 0.8。

3 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，上述数值尚宜乘以 0.8~1.0。

6.3 主体结构加固设计

6.3.1 既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固时，主体结构的抗震等级应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》 GB 50011 取值。主体结构的加固分为如下两种情况：

1 采用消能减震技术后，经验算原主体结构中仍有部分构件（梁、柱、墙）及节点的承载能力和变形能力不满足地震作用要求时应对这部分构件及节点进行抗震加固或采用抗震构造加强措施。

2 对消能部件所作用的主体结构构件（梁、柱、墙）及节点进行承载力和变形能力验算，若不能满足要求时，应采取加固措施以满足消能部件局部作用的要求。

6.3.2 不满足地震作用要求的部分主体结构构件及节点，应按《建筑抗震加固技术规程》 JGJ 116 的要求进行抗震加固设计。

6.3.3 钢筋混凝土结构采用消能减震技术进行加固设计时，可依据罕遇地震下的楼层弹塑性位移角与多遇地震作用标准值产生的层间位移角Δu_e关系，确定相应的构造措施，并应符合下列规定：

1 罕遇地震下最大层间位移角不大于 $1.5\Delta u_e$时，B、C 类钢筋混凝土房屋宜按不低于 6 度采用抗震构造措施，A 类钢筋混凝土房屋可按非抗震钢筋混凝土结构的构造措施采用；

2 罕遇地震下最大层间位移角为 $1.5\Delta u_e$~$2.0\Delta u_e$时，B、C 类钢筋混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低两度且不低于 6 度采用，A 类钢筋混凝土房屋宜按不低于 A 类建筑的构造措施采用；

3 罕遇地震下最大层间位移角为 $2.0\Delta u_e$~$4.0\Delta u_e$时，B、C 类钢筋混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低一度且不低于 6 度采用，A 类钢筋混凝土房屋应按 A 类房屋构造措施采用。

6.3.4　对于采用消能减震技术进行设计后仍需进行常规加固的混凝土构件，框架加固后应避免形成短柱、短梁或强梁弱柱；抗震墙避免形成强弯弱剪；仍需加固的钢结构，加固后应避免形成强梁弱柱或强构件弱节点。

6.3.5　采用消能减震技术进行结构加固设计时与消能器相连的结构构件设计，应考虑消能部件传递的附加内力。消能子结构的截面抗震验算宜符合下列规定：

1 构件或节点的加固量按下式计算：

$$\Delta R = S_{GE} + S_{Ehk} - R \qquad (6.3.5\text{-}1)$$

式中 ΔR——构件或节点内力加固量；

S_{GE}——重力荷载代表值作用的构件或节点内力；

S_{Ehk}——罕遇地震作用下构件或节点内力标准值，其中包括了消能器极限位移和极限速度下的阻尼力的作用。当消能器的轴心与结构轴有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响，当消能部件采用高强度螺栓或焊接时，节点部位组合弯矩值应考虑消能部件端部的附加弯矩。

R——构件或节点原有的承载能力。

2 消能部件由梁单独承载时，梁的承载力应满足下式要求：

$$S_{GE} + S^*_{Ehk} \le R_k \qquad (6.3.5\text{-}2)$$

式中 S_{GE}——重力荷载代表值作用的构件内力；

S^*_{Ehk}——罕遇地震下水平作用标准值的构件内力，不考虑与抗震等级有关的增大系数；

R_k——梁承载力极限值，按材料强度极限值（钢材屈服强度标准值的 1.5~1.8 倍）计算。

3 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宜考虑消能部件端部的附加弯矩。

4 当消能器的轴心与结构构件的轴线有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响。

6.3.6 节点加固可参照《建筑抗震加固技术规程》 JGJ 116 选择加固方法，并进行加固计算和加固设计。加固方法选用原则如下：

1 防止局部加固导致结构刚度增加。

2 减少湿作业，尽量方便加固施工。

3 综合考虑与消能部件连接措施协调。

4 与消能部件连接的部件应进行构件措施加强采用构造措施加强的范围要延长至连接板以外且加强区从连接板外侧算起，加强区长度按《建筑抗震加固技术规程》 JGJ 116 抗震构造加密区长度计算。

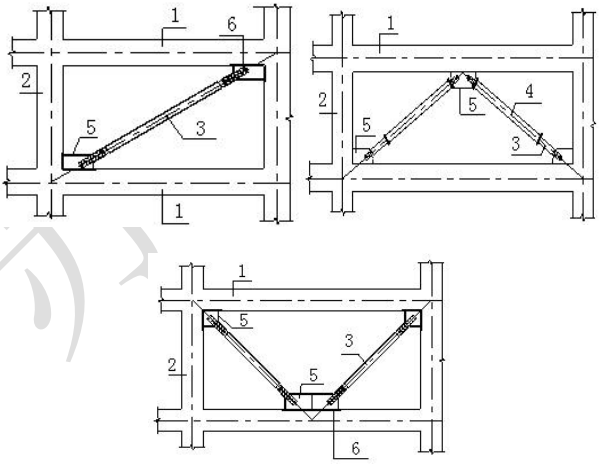
苏震科技

7　消能部件的连接与构造

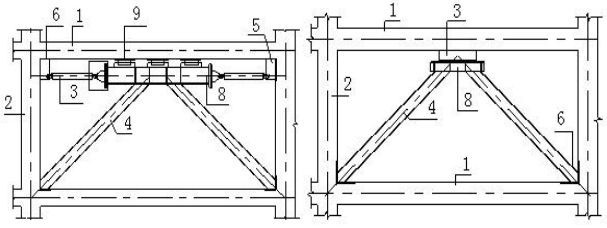
7.1　一般规定

7.1.1　消能器与主体结构的连接一般分为：支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等，设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式，支撑和支墩、剪力墙的轴线宜通过消能器的形心。

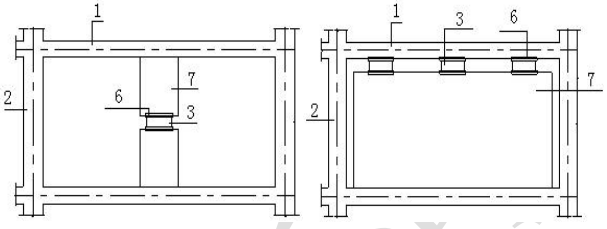
7.1.2　当消能器采用支撑型连接时，可采用单斜支撑布置、“V”字型和人字型等布置，不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面，宽厚比或径厚比应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99 的要求。



（a） 斜撑型



(b) 门架型



(c) 墙柱型

图 7.1.1 消能器布置形式

1-梁；2-柱；3-消能器；4-支撑；5-节点板；6-预埋件；

7-支墩或剪力墙；8-水平平台；9-平面外限位装置

7.1.3 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓连接、焊接或销轴，高强螺栓及焊接的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》 GB 50017 的规定。

7.1.4 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板在任何状态下均应保持弹性。

7.1.5 与位移相关型或速度相关型消能器相连的预埋件、支撑和支墩、剪力墙及节点板的作用力取值应为消能器设计位移或设计速度下对应阻尼力的 1.2 倍。

7.1.6 与速度相关型消能器相连的支撑和支墩、剪力墙与阻尼器在出力方向的刚度不宜小于设防地震作用下的消能器损失刚度的 3 倍。

7.1.7 与位移相关型消能器相连的支撑和支墩、剪力墙与阻尼

器在出力方向的刚度不宜小于设防地震作用下的有效刚度。

7.2 预埋件计算

7.2.1 预埋件的锚筋或其他形式埋件应按拉剪构件或纯剪构件计算总截面面积。

7.2.2 预埋件的设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》 GB 50010、《钢结构设计标准》 GB 50017 和《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145 的规定。

7.3 支撑和支墩、剪力墙计算

7.3.1 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，并按 7.1.6 或 7.1.7 进行刚度验算。

7.3.2 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，支撑计算长度应取支撑与消能器连接处到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。

2 采用人字形支撑时，支撑计算长度应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构预埋连接板连接中心处的距离。

3 采用柱型支撑时，支撑计算长度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 节点板计算

7.4.1 节点板设计时应验算节点板构件的截面、节点板与预埋

板间高强螺栓或焊缝的强度。

7.4.2　节点板在抗拉、抗剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f \tag{7.4.2-1}$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1+2\cos^2\alpha_i}} \tag{7.4.2-2}$$

式中 N——作用于节点板上消能器作用力，按本规程 7.1.5 条的规定取值（kN）；

A_i——第 i 段破坏面的截面积，$A_i = tl_i$；当为螺栓连接时，应取净截面面积（m^2）；

η_i——第 i 段的拉剪折算系数；

f——钢材的抗拉和抗剪强度设计值（N/mm^2）；

α_i——第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角；

t ——板件厚度（mm）；

l_i——第 i 段破坏段的长度（mm），应取板件中最危险的破坏线的长度（图 7.4.2）。

（a）焊接　　（b）螺栓连接

图 7.4.2　节点板的拉、剪撕裂

7.4.3　节点板在压力作用下的稳定性，应符合《钢结构设计标

苏震科技

准》 GB 50017 及《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297 的规定。

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

7.5 消能器与结构连接的构造要求

7.5.1 预埋件的锚筋应与钢板牢固连接，锚筋的锚固长度宜大于 20 倍锚筋直径，且不应小于 250mm。当无法满足锚固长度的要求时，应采取其他有效的锚固措施。对于新建消能减震结构，与预埋件相连接的梁、柱（暗柱）等构件在预埋件及自预埋件外侧算起的加密区长度（按相关规范、规程的规定取值）范围内的箍筋均应加密，并满足相关规范、规程对箍筋加密区的有关规定。

7.5.2 支撑长细比、宽厚比应符合国家现行标准《钢结构设计标准》 GB 50017 和《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99 中有关中心支撑的规定。

8　施工、验收和维护

8.1　一般规定

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

8.1.2　消能部件子分部工程项目的施工，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，编制专项施工方案，确定施工技术。

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

1 消能器检验报告；

2 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单；

3 消能器型检报告。

消能部件安装完毕后应对阻尼器变形缝进行验收。

8.1.4　消能部件中钢部件的制作安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定并满足设计文件的要求。

8.2　消能部件进场验收

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

8.2.2　消能器进场验收时，应具有产品型检报告和产品检验报告；消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和现行行业标准《建筑消能阻尼器》 JG／T 209 的规定。

8.2.3　消能器制作中所采用的各类材料的品种、规格和性能指标应符合现行国家有关产品标准要求。

8.2.4　消能部件中钢部件的制作安装中，所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料应具有质量合格证书，并符合设计文件规定。

8.3 消能部件的施工安装顺序

8.3.1　消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位和消能器生产厂家共同商讨确定，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。

8.3.2　消能减震结构的施工安装顺序制定，应符合下列规定：

1 划分结构的施工流水段。

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

3 确定同一部位各消能部件及主体结构构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。

8.3.3　对于钢结构，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下向上逐渐进行。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终固；当消能部件既承受水平剪力、又承担竖向压力时，安装后即可终固。

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

8.4 施工测量和消能部件的安装、校正

8.4.1 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行国家标准《工程测量规范》 GB 50026 和现行行业标准《建筑变形测量规程》 JGJ 8 的要求。

8.4.2 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：

1 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查。

2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定。

3 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，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。

8.4.3 消能部件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件的要求。

8.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

8.5.1 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和国家现行标准《钢结构焊接规范》 GB 50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82 的规定。

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

8.5.3 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：

1 消能器没有形状异常及损害功能的外伤。

2 消能器的黏滞材料未泄漏，未出现涂层脱落和生锈。

3 消能部件的临时固定件应予撤除。

8.6 施工安全和施工质量验收

8.6.1 消能部件的施工应符合国家现行标准《建筑施工高处作业安全技术规程》 JGJ 80 和《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33 的有关规定，并根据消能部件的施工安装特点，在施工组织设计中制定施工安全措施。

8.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按表 8.6.2 的规定执行。

表 8.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测和检验

项次	项 目	抽检数量及检验方法	合格品质标准
1	见证取样送样检验项目： (1)消能部件钢材复验；(2)高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验；(3)摩擦面抗滑移系数复验	《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205 及《钢结构工程施工规范》GB 50755 的有关规定	《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205 的有关规定
2	焊缝质量：(1)焊缝尺寸；(2)内部缺陷；(3)外观缺陷	一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检 3%，且不应少于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及量规、观察	《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205 的有关规定

续表 8.6.2

3	高强度螺栓施工质量：(1)终拧扭矩；(2)梅花头检查	按节点数随机抽检3%，且不应少于3个节点；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205的规定	《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205的有关规定
4	消能部件平面外垂直度	随机抽查3个部位的消能部件	符合设计文件及《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205的有关规定

8.6.3　消能部件子分部工程的观感质量检查项目可按表8.6.3的规定执行。

表 8.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目

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

8.7 消能部件的维护

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

8.7.2　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。

8.7.3　抗震设防 7~8 度区，高度分别超过 160,、120 米的大型消能减震公共建筑，应按规定设置地震反应观测系统。

8.7.4　消能器目测检查时，应观察消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其它问题。目测检查内容及维护方法应符合表 8.7.4 的规定。

表 8.7.4 消能器目测检查内容及维护方法

序号	检　查　内　容	维护方法
1	黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄漏	更换消能器
2	金属消能器产生明显的累积损伤和变形	更换消能器
3	消能器连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	紧固、补焊
4	黏滞消能器的导杆出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块	清除
5	消能器被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等	重新涂装
6	消能器产生弯曲、局部变形	更换消能器
7	消能器周围存在可能限制消能器正常工作的障碍物	清除

8.7.5　支撑目测检查时，应检查支撑、连接部位变形和外观及其他问题等，目测检查内容及维护处理方法应符合表 8.7.5 的规定：

表 8.7.5 支撑目测内容及维护

序号	目测检查内容	维护方法
1	出现弯曲、扭曲	更换支撑
2	焊缝有裂纹、螺栓、锚栓的螺母松动或出现间隙，连接件出现错动移位、松动等	拧紧、补焊
3	支撑和连接部位被涂装的金属表面、焊缝或紧固件表面上，出现金属外露、锈蚀或损伤等	重新涂装

8.7.6 消能部件抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型黏滞消能器，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，测试内容应能反映消能器在使用期间可能发生的性能参数变化，并应能推定可否达到预定的使用年限。

苏震科技

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程时区别对待，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，正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；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 规程中指明必须按其他有关标准、规范执行时，其写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

苏震科技

引用标准名录

1 《混凝土结构设计规范》GB50010
2 《钢结构设计标准》GB 50017
3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
4 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
5 《建筑消能减震加固技术规程》T/CECS 547
6 《云南省建筑消能减震设计与审查技术规程》
7 《钢结构工程施工规范》GB 50755
8 《建筑消能阻尼器》JG / T 209
9 《混凝土结构工程施工规范》GB 50666
10 《钢结构工程施工规范》GB 50755
11 《工程测量规范》GB 50026
12 《建筑变形测量规程》JGJ 8
13 《钢结构焊接规范》GB 50661
14 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
15 《建筑施工高处作业安全技术规程》JGJ 80
16 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33
17 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
18 《上海市建筑抗震设计规程》DGJ 08-9

内蒙古自治区工程建设地方标准

内蒙古自治区建筑消能减震应用技术规程

DBJ00-XX-2020

条文说明

苏震科技

目次

1 总则 57
3 消能器的技术性能及设计要点 58
3.3 屈曲约束支撑 58
3.6 黏弹性消能器 59
4.1 一般规定 60
4.2 设计反应谱与地震波选择 60
5 新建减震结构设计计算 61
5.1 一般规定 61
5.2 减震结构设计 63
5.3 减震效果评价 66
6 既有结构减震加固设计计算 67
6.3 主体结构加固设计 67
7 消能部件的连接与构造 68
7.1 一般规定 68
7.2 预埋件计算 69
7.3 支撑和支墩、剪力墙计算 69
7.5 消能器与结构连接的构造要求 70
8 消能部件的连接与构造 71
8.1 一般规定 71
8.2 消能部件进场验收 73
8.3 消能部件的施工安装顺序 73
8.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接 75
8.6 施工安全和施工质量验收 75
8.7 消能部件的维护 76

1 总则

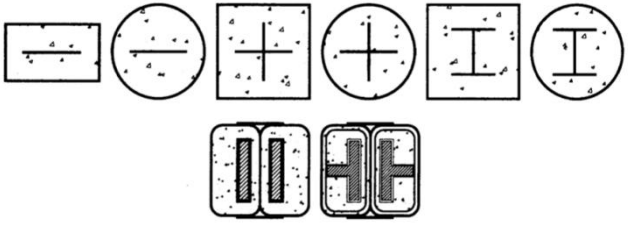
1.0.2 内蒙古自治区抗震设防烈度为 6~8 度，其中大部分地区处于高烈度地区，为促进内蒙古自治区消能减震技术更好的发展，结合全国多地高烈度地区的减震设计经验及工程实践，编写了适合 6~8 度的《内蒙古自治区建筑消能减震应用技术规程》，规程内容涵盖新建消能减震结构和既有建筑结构减震加固计算方法、减震措施、构造、安装及施工等内容。

苏震科技

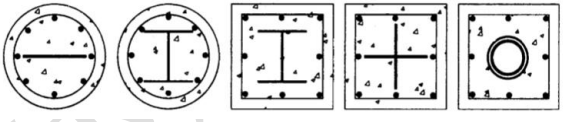
3 消能器的技术性能及设计要点

3.3 屈曲约束支撑

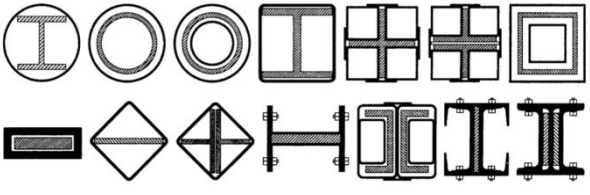
3.3.1 屈曲约束支撑的约束机制一般不承受轴力，可采用钢管、钢筋混凝土或钢管混凝土，如下图所示。根据约束机制的不同，可将屈曲约束支撑分为外包钢管混凝土型、钢筋混凝土型和全钢型。



（a）外包钢管混凝土型



（b）外包钢筋混凝土型



（c）全钢型

图 1 屈曲约束支撑常用截面形式

3.3.3 屈曲约束支撑在地震作用下产生的塑性变形主要集中在

芯板消能段，因此，为避免焊接残余应力对支撑的低周疲劳性能造成不利影响，芯板消能段不应采用焊缝连接，芯板非消能段焊接部位应采用一级焊缝。屈曲约束支撑其余部位在地震作用下基本保持弹性，因此其余焊接部位的焊缝等级可采用二级或者三级，并应满足设计要求。

3.3.9 按照美国 AISC 和我国国内的相关研究，屈曲约束耗能支撑在小震下不屈服、中大震下屈服消能的性能目标下，其累积塑性变形能力不应小于 300 倍屈服位移。另外，在大震下屈曲约束耗能支撑的设计位移约为 6 倍屈服位移。因此，在屈曲约束耗能支撑 6 倍屈服位移的幅值下循环 30 次，可满足屈曲约束耗能支撑作为建筑消能阻尼器在耐疲劳性能方面的要求。

3.6 黏弹性消能器

3.6.2 由于内蒙古自治区大部分地区属于严寒地区，其中东北部地区冬季最低温度可达到-40℃，因此对于温度较敏感的粘弹性阻尼器应慎用。

苏震科技

4 地震反应谱

4.1 一般规定

4.1.2 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，采用弹塑性时程分析方法，能够更好的模拟主体结构及阻尼器在反复地震作用下的消能情况，因此在对消能减震结构进行补充计算时，推荐使用弹塑性时程分析方法。

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

如果需要分别按不同水平方向进行结构地震作用分析，且布置的消能器处在两个垂直相交的平面内时，应考虑处于相交的柱在双向地震作用下的受力。

4.2 设计反应谱与地震波选择

4.2.1 建筑抗震加固之前，一定要依据设防烈度、抗震设防类别、后续使用年限和结构类，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定进行抗震鉴定，加固建筑 A 类、加固建筑 B 类、加固建筑 C 类，对应后续使用年限分别为 30 年、40 年、50 年。

5 新建减震结构设计计算

5.1 一般规定

5.1.2 位移相关型消能器和屈曲约束支撑应保证在弹性范围内具有足够的承载力，防止随着循环圈数的不断增加，出现低周疲劳失效的问题造成过早出现非预期的破坏。屈曲约束支撑多遇地震下应该保持弹性，当风荷载很大时，如果同时考虑风荷载和多遇地震，容易导致屈服力非常大，可能造成大震都不屈服。

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

5.1.3 消能器一般是和支撑（支承构件）一起布置在结构中，支撑（支承构件）和消能器构成消能部件。常见的布置形式有单斜撑、“V”字形撑、“人”字形等，概念设计阶段应根据消能器的类型、构造及原结构空间使用、建筑设计、施工和检修要求选择消能部件的类型。

抗震结构体系要求受力明确、传力途径合理、传力路线连续，消能部件的布置应使结构形成均匀合理的受力体系，减少不规则性，提高整体结构的消能能力。

消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特性相近或沿竖向刚度均匀为原则；消能减震结构中消能部件不宜布置过少，每 500m^2 宜布置一套。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，也可以只在较弱的一个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。

对于结构沿竖向存在薄弱层可优先在薄弱层布置，然后再考虑沿竖向布置，当消能器主要为结构提供刚度时，消能器宜上下连续布置，当少数消能器不能连续布置时，其下一层相应位置宜按子结构进行设计。

需要注意的是某一层的消能器数量不能太多，当某一层所需的消能器过多时，可以将其安装到下面临近楼层中层间位移较大的楼层，消能器对其上部临近几层的减震效果要好于下部几层，通过这种方法确定的消能器安装位置能够很好的提高消能器的减震效果，同时还要求消能器基本满足沿楼层连续布置。实际工程应用中，消能器布置也可采用简单考虑重要部位的楼层均匀布置的方法进行消能器的布置。

5.1.4 消能减震结构中主体结构永远都应该在抵抗地震作用中起主导作用，应该避免超量配置消能部件。当需求附加有效阻尼比超过 25%，或是大震下消能部件承担的地震作用超过主体结构的层间屈服剪力的 60%时，减震的效率就不理想。

依据工程经验，在满足本规程相关要求后，屈曲约束支撑数量可按需设置，混凝土框架结构中屈曲约束支撑倾覆力矩占比宜为“20%~50%”，屈曲约束支撑布置数量过多对结构不利。

5.1.5 《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297 等标准允许消能器在检测时有 10~15%的性能偏差，同时施工中不可避免地存在位置、间隙等缺陷，故提出此要求。

设计中应充分的考虑到消能器中存在的性能偏差、连接安装缺陷等不利影响因素，在附加阻尼比取用时应适当留有安全储备。

5.1.7 在消能减震结构设计中，主要依据预期的水平向减震力和位移控制要求及耗能等参数，估算出减震结构所需附加有效刚度和附加阻尼比，据此选择合适的消能器种类和消能器型号，并配置在适当的位置。

消能减震结构的总阻尼比应为结构阻尼比和消能部件附加

给结构的有效阻尼比的总和，多遇地震和罕遇地震作用下的总阻尼比应分别计算。消能减震结构刚度为消能部件附加有效刚度和主体刚度之和。可采用结构设计软件（SATWE 或 YJK）试算的方式，确定 SATWE 或 YJK 软件中反应谱分析的等代支撑刚度和附加阻尼比。

在设计消能子结构时应当着重加强构件及节点的延性，可采用沿构件全长提高配箍率、增设型钢等手段达到这一目的。

在选择消能器的类型时应充分考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等各方面因素，根据对结构在地震作用时的结构预期位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。

5.2 减震结构设计

5.2.1 消能减震结构应结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标。通过设置消能减震装置有效消耗地震能量，使建筑抗震性能明显提高。消能减震结构的抗震性能化设计应符合《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297 规定，鉴于目前强震下结构弹塑性分析方法的计算模型及参数选用经验因素较多，缺少强震记录、设计施工资料及实际震害的验证，难以准确把握对结构性能的判断，因此，减震目标的选取宜从严控制。

对消能子结构进行设计时，可考虑通过控制子结构的损伤（如不高于中度破坏）达到设计消能子结构的目的。

5.2.2 本条规定约束屈曲支撑的设防地震下开始屈服的设计原则,否则很难保证罕遇地震其充分屈服。

黏滞流体消能器只能为主体提供附加阻尼，不影响附加消能器之后结构的周期和振型，因此，减震目标通常体现为结构最大层间位移角和底部剪力降低一定比例。

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

5.2.3 确定消能器相关参数亦可采用基于刚度匹配 BRB 屈服承载力估算方法。

小震反应谱设计时，BRB 被模拟成不考虑稳定的普通支撑（等代模型）（图 2），其为结构主要提供刚度 k_0。实际工程中，BRB 系统由 BRB，节点板和梁柱节点所组成（图 3）。BRB 系统的刚度由以上三部分串联而成，其中梁柱节点近似为刚域，为使得实际工程与模拟一致，存在以下的力学关系：

$$k_0 = \frac{EA_0}{l_0}$$

$$\frac{1}{k_0} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_j}$$

式中 k_j——节点板串联刚度，k_1 为 BRB 刚度。

假定节点板的串联刚度刚度 k_j 与 k_1 存在以下关系：

$$k_j = \lambda k_1$$

λ 为两段节点板串联刚度与 BRB 刚度的比值（简称“刚度比”）。

BRB 由耗能段和连接段所组成，如图 2 所示，考虑到连接段的面积大于耗能段，由工程经验 BRB 的近似刚度为：

$$k_1 = \frac{1.05EA_1}{l_e}$$

可得到下式：

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{(\lambda + 1)l_e}{1.05\lambda l_0}$$

假定 L_e 和 L_0 存在以下关系，K 为 BRB 长度与轴线长度的比值（简

称“长度比”），参考表 1。

$$\frac{L_e}{L_0} = \mathrm{K}$$

BRB 的屈服力为

$$F_y = \eta_y f_y A_1$$

可知

$$F_y = \frac{\eta_y f_y (\lambda + 1)\mathrm{K} A_0}{1.05\lambda}$$

由以上分析可知，当 BRB 屈服力遵循式时，可以较好的实现实际工程的 BRB 和节点板串联刚度与模型中等效杆的刚度一致。

刚度比 λ 经验取值一般为 3~10，则可转化得到：

$$F_y = \begin{cases} (1.31\sim1.59)\mathrm{K} f_y A_0 & Q235 \\ (1.15\sim1.4)\mathrm{K} f_y A_0 & \text{低屈服点钢材} \end{cases}$$

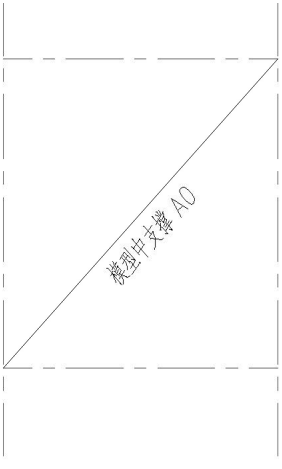


图 2 等代模型示意图

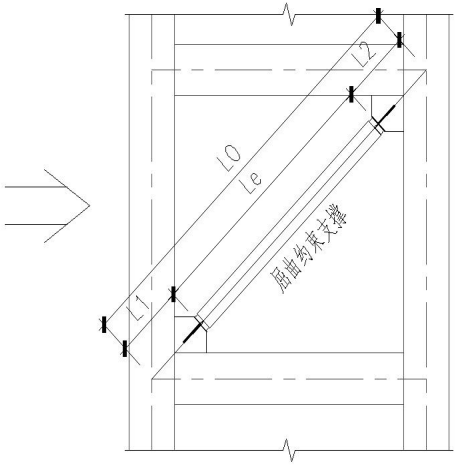


图 3 BRB 系统实际构成示意图

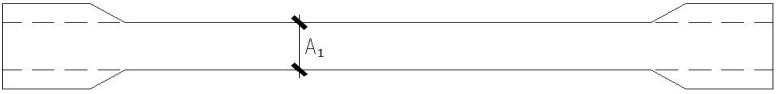


图 4 BRB 内部构造示意图

表 1 长度比参考值

轴线长度（m）	混凝土结构	钢结构
3~5	0.55	0.6
5~8	0.6	0.65
8~10	0.65	0.7
10 以上	0.7	0.75

5.3 减震效果评价

5.3.1 复核计算实际附加阻尼比的方法目前有很多，普遍采用的是结构自由振动反应识别和能量法，即首先计算出消能器耗能和结构耗能，然后计算附加阻尼比。

苏震科技

6 既有结构减震加固设计计算

6.3 主体结构加固设计

6.3.3 本条款采用基于位移的抗震设计方法确定结构的抗震措施。罕遇地震下结构的不同变形，对应着不同的破坏程度，采取的抗震措施也就不同，因此采用《建筑消能减震加固技术规程》T/CECS547 的构造措施确定方法。采用罕遇弹塑性计算罕遇地震下结构的变形时，结构构件强度应与结构变形相协调。

结构的抗震措施要求分别按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》 GB50023 和《建筑抗震设计规范》 GB50011 采用。

按罕遇地震下的结构变形确定抗震措施时，框架结构多遇地震作用下消能部件承担所在楼层剪力不应低于相应楼层剪力的 30%，其他结构消能部件的附加阻尼比不宜小于 5%。

考虑到弹塑性楼层层间位移角是确定结构抗震措施的关键参数，弹塑性计算需采用两个或两个以上不同的计算软件，计算结果经分析合理后，方可用于抗震构造措施的确定。

7 消能部件的连接与构造

7.1 一般规定

7.1.1、7.1.2 消能器与主体结构的连接，根据消能器的不同，可采用不同的连接形式（图7.1.1）。K形支撑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，在地震作用下，可能因受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌，故不宜采用“K”字形布置。

支撑斜杆宜采用双轴对称截面。当采用单轴对称截面（双角钢组合 T 形截面），应采取防止绕对称轴屈曲的构造措施。板件局部失稳影响支撑斜杆的承载力和消能能力，其宽厚比需要加以限制。

7.1.3 本条内容同现行国家标准《钢结构设计规范》 GB 50017 有关条文。连接板（或连接件）和结构构件间的连接采用高强螺栓连接或焊接，当采用螺栓连接时，应保证相连节点在罕遇地震下不发生滑移；当消能器的阻尼力较大时，宜采用刚接；与消能器相连的支撑应保证在消能器最大输出阻尼力作用下处于弹性状态，不发生平面内、外整体失稳，同时与主体相连的预埋件、节点板等也应处于弹性状态，不得发生滑移、拔出和局部失稳等破坏。与支撑相连接的节点承载力应大于支撑的极限承载力，以保证节点足以承受罕遇地震下可能产生的最大内力。消能器与连接支撑、主体结构之间的连接节点，应符合钢构件连接、或钢与混凝土构件连接、或钢与钢-混凝土组合构件连接的构造要求。

7.1.4 与消能部件相连接的主体结构构件与节点应满足消能器在最大输出阻尼力作用下仍处于不屈服状态，从而保证消能器在

罕遇地震作用下能发挥最大的消能功能。

7.1.6 为确保阻尼器发挥作用，与其相连的支撑和支墩、剪力墙等应有足够的刚度，由于大多数情况下速度相关型消能器给不出初始动刚度，固本条参考《上海市建筑抗震设计规程》DGJ 08-9 的相关规定。

依据《上海市建筑抗震设计规程》 DGJ 08-9 中 12.3.9 条规定，损失刚度：设防烈度下消能器零位移时的阻尼力与最大位移之比。

7.2 预埋件计算

7.2.1 预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。锚筋和锚板都应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角钢。对于L型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 支撑和支墩、剪力墙计算

7.3.2 支撑的计算长度取值遵循如下原则：计算支撑的轴向刚度时，计算长度取其静长。计算平面内、外失稳时，计算长度应取支撑与消能器的长度总和。用刚性剪力墙做连接支撑，连接剪力墙的梁与柱之间梁段变成了类似连梁受力特征，应充分考虑其强度和刚度要求对保证剪力墙功能的重要性。

7.5 消能器与结构连接的构造要求

7.5.2 连接阻尼器与结构构件的预埋件是保证可靠传力的重要部件，故提出较高的要求。新建消能减震结构预埋件部位的箍筋必须加密，加密范围一般不小于埋件长度加两侧外延各不小于500mm的范围，加密范围内的箍筋间距不宜小于100mm；当预埋件位于梁柱节点区域时，梁、柱端加密区的长度应外延至自预埋件外侧算起的规定长度处。

黏滞阻尼墙作为一种墙式阻尼器，连接节点一般是在上下层的结构梁之间，结构梁可分为：钢筋混凝土梁和钢结构梁。钢筋混凝土梁的预埋件为锚筋与预埋钢板牢固连接，预埋件的预埋强度、紧固强度应符合国家其他相应标准。

苏震科技

8 消能部件的连接与构造

8.1 一般规定

8.1.1 本规程关于消能减震结构的施工、验收和维护的条文规定，是针对国内外消能减震技术工程应用中发展较为成熟且在上海地区使用较多的消能部件，结合混凝土结构、钢结构等类型的新建房屋，总结消能减震结构施工、验收和维护的工程实践经验，吸收日本、美国等国外相关规范和国内有关施工验收标准的先进技术而编制的。

消能减震结构中消能部件是关键部件。由于消能器有多种类型，构造多样，制作和施工安装方法各有特点。因此，消能部件及主体结构的施工安装组织设计或施工安装方案编制是组织消能减震结构施工的重要前期工作，应结合消能部件和主体结构的特点以及结构施工安装组织设计的基本要求编制。新建和既有建筑抗震加固采用消能减震技术，均可参照本规程的有关规定进行设计与施工。

8.1.2 结合消能减震结构的特点，根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300 的有关规定，将消能部件作为上部主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工质量管理和竣工验收。

虽然消能部件工程主要是钢部件的制作安装施工，但采用消能减震技术的结构材料类型除钢结构外，还有混凝土结构等，而且消能器是一种专门技术部件，具有多种类型和不同的构造特点，其设计呈多样化，安装工种和工序较多，施工工艺和施工技术复杂，同时，消能部件又是涉及安全的重要部件。因此，在消能部

件的施工质量管理和竣工验收中，若将其视为几个分项工程并分别归结到主体结构的相应分项工程验收批中，是难以适应质量验收要求的。故本规程提出在主体结构分部工程中，不论主体结构为钢结构、混凝土结构还是其它结构，均将消能部件作为主体结构分部工程的一个子分部工程，以利于施工质量管理和验收。

消能部件子分部工程，根据结构材料和施工方法可分为：现浇混凝土结构、装配整体式混凝土结构、钢结构等建筑的消能部件子分部工程，以及抗震加固建筑的消能部件子分部工程。

8.1.3 根据施工方法和主要工序，将消能部件子分部工程的施工作业内容划分为三个阶段。

消能部件子分部工程可按不同施工阶段划分相应的分项工程，其中，消能部件原材料和成品的进场验收，是指进入消能部件各分项工程实施现场的主要原材料、标准件、成品件或其它特殊定制成品（如消能器等）的进场及验收。

消能部件中附加钢构件的制作，可划分为钢零件及钢组件的加工、钢构件组装、组装的焊接连接、紧固件连接、钢构件预拼装、钢构件防腐涂料涂装等六个分项工程。

消能部件的安装和维护，可划分为消能部件安装、安装和焊接连接、紧固件连接、消能部件防腐防火涂装等四个分项工程。其中，安装分项工程的内容包括制定安装次序、吊装进位、测量校正定位及临时固定等工序，涂装分项工程的内容包括安装连接后普通防腐涂料局部补充涂装、防火涂料涂装等工序。

各阶段的施工作业，应根据具体工程设计情况确定其所含的分项工程或工序。

检验批次是分项工程施工质量管理和验收的基本单元，可根据与施工方式一致且便于质量控制的原则划分。消能部件分项工程的检验批，可按主体结构检验批的划分方法确定，例如可按楼层或预制柱节高度范围、施工流水段、变形缝或空间刚单元等划

分。

由于目前减震技术应用越来越广泛，一些消能器的承载力或外观尺寸超过现有的试验条件，当实际工程中遇到类似情况，可采用缩尺试验。

8.1.4 消能部件大多为钢材预制部件，消能器虽然不完全是钢材制作，但其外廓或接头为钢制件，因为消能部件在主体结构中的安装精度要求较高，其精度还随主体结构的类型和安装顺序的不同而有所不同。因此，对消能部件的制作尺寸及其它加工质量应严格要求。在消能部件制作过程中或进场前，应对其进行检查，对发现尺寸偏差或其他质量问题应在加工过程中进行修理，不宜在消能部件到现场安装时才进行质量检查，导致因质量问题而影响施工工期。

8.2 消能部件进场验收

8.2.1 消能部件的制作单元一般将现场的安装单元、两个或多个制作单元在工地地面拼装为扩大的安装单元，因此，制作单元除根据生产、运输条件确定外，还要尽量便于安装连接，以保证安装质量。

8.2.2~8.2.4 消能器制造通常为一项专门技术，其采用的材料除钢材、焊接材料和紧固件外，还有油、橡胶及其它黏滞材料，还有涂料等，为此，产品在进场时各类材料应具有质量合格证。进场时还应提供制作偏差，这些材料的品种、规格和性能指标应符合现行国家行业产品标准《建筑消能消能器》 JG/T 209及设计文件中的规定。

8.3 消能部件的施工安装顺序

8.3.1 该条既考虑了已有不同类型及构造特点的消能器安装施工，也有利于新型消能器及相关部件的研制、开发和推广应用。消能减震结构施工安装前，应确定结构的各类普通构件和消能部件的总体及局部施工安装顺序，这对施工安装质量有重要影响，应遵循本条规定的要求，以确保施工安装质量。

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

消能减震钢结构的安装可采用以下顺序进行：

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

2 消能减震钢结构一个施工流水段的柱高度范围的全部消能部件和结构构件安装连接完毕，并验收合格后，方可进行该流水段的上一层柱范围或下一流水段的安装。

3 进行钢构件的涂装和内外墙板施工。

8.3.4 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。

8.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

8.5.2 消能部件采用铰接连接时，连接间隙会影响消能部件的消能性能的发挥，为了减小其对结构减震性能的影响，对采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应做出相应的规定。

8.6 施工安全和施工质量验收

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

8.6.2、8.6.3 在消能部件子分部工程的质量验收中，为便于该

子分部工程有关安全及使用功能的见证取样检测和检验的可操作性，本条根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205，结合消能部件子分部工程的施工安装特点，规定了具体检测项目。

8.7 消能部件的维护

8.7.1 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。本条根据美国《新建房屋抗震设计推荐性规范》 FEMA368-2000、日本 JSSI《被动减震结构设计与施工手册》等文献关于消能减震结构的规定，经综合整理而制定。

定期检查是由物业管理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。

8.7.2~8.7.6 消能部件正常维护中，定期目测检查的周期主要根据消能部件中关键部件——消能器的设计使用年限，并参照现有一般结构构件的维护实践经验确定。一般结构构件实际检查周期大致为 10～15 年，约为结构设计使用年限的 1/5～1/3。在正常使

用与正常维护下，不同类型消能器的设计使用年限虽然不同，然而，定期检查的周期以消能器的设计使用年限为基础取其 1/5～1/3，即约为 10 年，应该属于一个较正常的时间间隔。但由于建筑使用的特殊性，进行定期检查时会影响建筑使用，为此，对于金属消能器和屈曲约束支撑等金属材料耗能的消能器，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查。

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