

深圳市工程建设技术规程

SJG-xx-2018

建筑隔震和消能减震技术规程

Technical specification for seismic isolation
and energy dissipation of buildings

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

深圳市工程建设标准

建筑隔震和消能减震技术规程

Technical specification for seismic isolation
and energy dissipation of buildings

主编单位：深圳市建筑设计研究总院有限公司

广州大学

批准部门：深圳市住房和建设局

施行日期：20XX 年 XX 月 1 日

前 言

《深圳市建筑隔震与消能减震技术规程》是受深圳市住房和建设局立项批准并委托，由深圳市建筑设计研究总院有限公司会同有关单位共同编制而成。

深圳位于国家地震重点监视防御区，2015年5月颁布的中国地震动参数区划图已提高了深圳部分地区的设防烈度（原来为6度设防的龙岗区提高为7度设防）。2017年2月，深圳市人民政府应急管理办公室印发《深圳市2017年防震减灾工作要点》，提出推广减隔震技术应用，提高我市防御地震灾害能力。在此背景下，本规程编制组根据《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010 2016版）、《建筑消能减震技术规程》（JGJ297-2013）和《建筑隔震设计标准》（报批稿），结合深圳市抗震设防和抗风实际，重点对深圳市医院、学校等特殊公共建筑和人员密集的公共服务设施以及生命线工程建筑的隔震或消能减震设计提出了具体规定。

本标准共分10章，主要内容有：总则、地震作用与结构验算、多层与高层建筑隔震和消能减震设计、特殊公共建筑隔震与消能减震设计、隔震与消能减震装置、施工、验收和维护要求以及抗震支吊架设计。

本标准由深圳市住房和建设局归口管理并负责日常管理，深圳市建筑设计研究总院有限公司和广州大学负责具体技术内容的解释。

本标准执行过程中，希望各单位结合隔震与消能减震建筑工程建设实践认真总结经验，注意积累资料，如有意见、建议和问题，请将有关资料寄深圳市建筑设计研究总院有限公司（地址：深圳市福田区振华路8号设计大厦22楼，邮政编码：518031），供今后修订时参考。

本建设标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查人

主编单位：深圳市建筑设计研究总院有限公司

广州大学

参编单位：深圳市人民政府应急管理办公室

深圳市建筑工程质量安全监督总站

深圳机械院建筑设计有限公司

香港华艺设计顾问(深圳)有限公司

中国建筑科学研究院有限公司深圳分公司

中建三局第二建设工程有限责任公司

西安达盛隔震技术有限公司

广州桀仕环境技术有限公司

柳州东方工程橡胶制品有限公司

主要起草人：刘琼祥、谭平、王启文、张建军、刘彦辉、陈洋洋

（以下按姓氏笔画排序）

王志华、白晔、宁珂、刘伟、刘杨、刘俊、刘健、许维宁、李晖、杨旺华、吴迪、邹从学、邹爽、沈朝勇、张颖、罗俊杰、金建敏、周斌、郑庆星、徐丽、徐凯、唐熙、唐增红、黄襄云、靳建楠、魏开雄、MIHO HIROSAWA（广沢美穗）

主要审查人：

目 次

1.	总则	1
2.	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	主要符号	4
3.	基本规定	6
3.1	一般规定	6
3.2	场地与地基	6
3.3	试验与观测	7
4.	地震作用与结构验算	8
4.1	地震作用的一般计算方法	8
4.2	建筑结构隔震设计的地震作用计算及结构验算	8
4.3	建筑结构消能减震设计的地震作用计算及结构验算	13
5.	多层与高层建筑隔震和消能减震设计	19
5.1	一般规定	19
5.2	建筑隔震设计	20
5.3	建筑消能减震设计	23
6.	特殊公共建筑隔震和消能减震设计	26
6.1	一般规定	26
6.2	特殊公共建筑隔震设计	26
6.3	特殊公共建筑消能减震设计	29
7.	隔震和消能减震装置	30
7.1	一般规定	30
7.2	隔震装置	30
7.3	消能减震装置	31
7.4	隔震支座试验及检测	32
7.5	消能减震装置试验及检测	33

8.	建筑隔震和消能减震施工	35
8.1	一般规定	35
8.2	隔震建筑施工要求	35
8.3	消能减震建筑施工要求	38
9.	建筑隔震和消能减震验收和维护要求	41
9.1	一般规定	41
9.2	隔震建筑验收和维护要求	41
9.3	消能减震建筑验收和维护要求	47
10.	抗震支吊架抗震设计	50
10.1	一般规定	50
10.2	抗震支吊架计算	50
10.3	抗震支吊架设计	51

1. 总则

1.1.1 为贯彻执行国家有关建筑工程、防震减灾的法律法规，实行以预防为主的防震减灾方针，促进隔震技术、消能减震技术和非结构构件抗震技术在深圳市的合理应用，特制定本规程。

1.1.2 本规程适用于深圳市新建或既有多高层及特殊建筑物的隔震设计、消能减震设计和抗震支架设计。其他工程的隔震设计可参照本规程执行。

1.1.3 按本规程设计与施工的隔震和消能减震建筑，其基本的抗震设防目标是：当遭受多遇地震影响时，主体结构不受损坏；当遭受本地区设防烈度的地震影响时，主体结构可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受罕遇地震影响时，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

建筑机电工程设施抗震设计基本的抗震设防目标是：当遭受多遇地震影响时，机电工程设施一般不受损坏或不需修理可继续运行；当遭受本地区设防烈度的地震影响时，机电工程设施可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受罕遇地震影响时，机电工程设施不至于严重损坏，危及生命。

对于使用功能或其他方面有专门要求的隔震建筑和消能减震建筑，可适当提高相应的设防目标。

1.1.4 隔震和消能减震技术的采用，应根据工程结构抗震设防类别、设防烈度、场地条件、建筑结构类型和使用要求综合分析后确定。

1.1.5 建筑隔震和消能减震设计、施工、验收及装置测试标准除应符合本规程的要求外，尚应符合国家、行业其他有关现行规范标准的要求。

2. 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 隔震建筑 isolated building

在建筑物基础、底部或下部结构与上部结构之间设置隔震装置而形成的具有整体复位功能的结构体系。包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

2.1.2 消能减震建筑 energy dissipation of building

在建筑物中设置消能减震部件而形成的结构体系。包括主结构和消能减震部件。

2.1.3 隔震层 isolation layer

设置在被隔震的上部结构与下部结构（或基础）之间的全部隔震装置的总称。包括全部隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置和刚度调节装置以及其他附属装置。

2.1.4 上部结构 super-structure above the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以上的部分。

2.1.5 下部结构 sub-structure below the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以下的部分，不包括基础。

2.1.6 橡胶隔震支座 laminated rubber isolation bearing

在地震区，用于房屋、桥梁或其他结构隔震的橡胶支座，包括天然橡胶支座（LNR）、铅芯橡胶支座（LRB）和高阻尼橡胶支座（HDR）。

2.1.7 阻尼装置 damping device

设置在隔震层的吸收并耗散地震输入能量而使隔震层振动位移反应衰减的装置。

2.1.8 抗风装置 anti-wind device

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。

2.1.9 限位装置 stopper

限制隔震层在最不利状态下产生超过水平容许位移的装置。

2.1.10 抗拉装置 anti-tension device

隔震结构中抵抗拉应力的装置。

2.1.11 减震系数 factor of response reduction

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；对于高层建筑结构，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，取二者的较大值。

2.1.12 消能减震部件 energy dissipation component

在结构中根据多遇地震下的预期减震要求及罕遇地震作用下或风荷载作用下的预期结构位移控制要求，而设置的耗散输入结构能量的部件。

2.1.13 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。

2.1.14 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。

2.1.15 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能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。

2.1.16 金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料（软钢、铅等）原件或构件制成，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。

2.1.17 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发生相对位移时产生摩擦作用而耗散能量的减震装置。

2.1.18 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。

2.1.19 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。

2.1.20 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。

2.1.21 天然橡胶隔震支座 (LNR) linear natural rubber bearing

支座中的弹性材料为天然橡胶的橡胶隔震支座。

2.1.22 铅芯橡胶隔震支座 (LRB) lead rubber bearing

支座中含有铅芯的橡胶隔震支座。

2.1.23 高阻尼橡胶隔震支座 (HDR) high damping rubber bearing

支座中的弹性材料为高阻尼橡胶的橡胶隔震支座。

2.1.24 弹性滑板隔震支座 (ESB) elastic slide bearing

由弹性材料与摩擦滑板组成的隔震支座。

2.1.25 消能子结构 energy dissipation substructure

消能子结构是结构中耗能器和与耗能器相关联的结构。

2.1.26 抗震支吊架 seismic bracing

与建筑结构体牢固连接，以地震力为主要荷载的抗震支撑设施。由锚固体、加固吊杆、抗震连接构件及抗震斜撑组成；

2.2 主要符号

C_D ——消能器的线性阻尼系数；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平等效刚度；

R_k ——结构构件承载力标准值；

S_k ——罕遇地震作用标准值的效应；

S_1 ——橡胶隔震支座第一形状系数；

S_2 ——橡胶隔震支座第二形状系数；

t_r ——隔震支座内部橡胶总厚度；

T_1 ——消能减震建筑的基本自振周期；

u_i ——罕遇地震作用下，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；

u_c ——罕遇地震下隔震层质心处水平位移或不考虑扭转的水平位移；

Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移。

V_{Rw} ——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；

$\alpha_{\max I}$ ——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；

β ——水平向减震系数；

ξ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

ζ_d ——消能减震建筑的附加有效阻尼比；

ζ_1 ——主体结构阻尼比。

3. 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 所有隔震建筑和消能减震建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB50223 确定其抗震设防类别及其抗震设防标准。

3.1.2 建筑结构的隔震设计和消能减震设计方案，应根据建筑抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、建筑结构方案和使用要求，综合考虑技术、经济和使用条件来确定。

3.1.3 隔震建筑应符合下列要求：

1 结构高宽比宜小于 4，且不应大于相关规范、规程对非隔震结构的具体规定，高宽比大于 4 或非隔震结构相关规定的结构采用隔震设计时，应进行专门研究；

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结构总重力荷载代表值的 10%；

3 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；

4 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以适应隔震层的罕遇地震水平位移。

3.1.4 消能减震建筑应符合下列要求：

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 消能部件宜设置在层间相对变形或速度较大的位置；

3 消能部件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明消能器使用的环境。

3.2 场地与地基

3.2.1 宜选择对抗震有利地段作为隔震建筑和消能减震建筑的场地，避开不利地段，当无法避开时应采取有效的措施。不应选择危险地段。

3.2.2 隔震建筑场地宜为 I、II、III 类，当场地为 IV 类时，应作详细分析论证。

3.2.3 隔震建筑的地基应稳定可靠，并应选用稳定性较好的基础类型，对不满足要求的地基，应进行详细的结构分析并采取可靠的措施进行地基处理。

3.2.4 隔震建筑的地基基础设计，应满足相应非隔震建筑的设计要求。

3.3 试验与观测

3.3.1 对甲类建筑，体型复杂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验证。

3.3.2 对较重要及有特殊要求的隔震建筑以及大型消能减震公共建筑，宜设置地震反应观测系统。

4. 地震作用与结构验算

4.1 地震作用的一般计算方法

4.1.1 建筑结构进行隔震、消能减震设计时地震作用计算，可采用下列方法：

1 底部剪力法：高度不超过 24m、可近似于单质点体系的以及质量和刚度沿高度分布均匀的隔震、消能减震建筑，可采用底部剪力法。

2 振型分解反应谱法：除第 1 款之外的隔震、消能减震建筑，宜采用振型分解反应谱法。

3 时程分析法：对于特别不规则建筑、高于 100m 的高层建筑以及甲类建筑，还应采用时程分析法进行多遇地震作用的补充计算；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。计算罕遇地震下结构变形时，建议采用弹塑性时程分析法。

4.1.2 根据主体结构的工作状态，按照下列规定选择隔震与消能减震结构的计算分析方法：

1 隔震：一般情况下，宜采用时程分析法在设防烈度地震作用下计算隔震结构水平向减震系数，隔震支座力学模型以试验所得滞回曲线作为计算依据；输入加速度时程曲线的反应谱特性和数量，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定。

2 消能减震：当主体结构基本处于弹性工作阶段时，可采用线性分析方法作简化估算，并根据结构的变形特征和高度等，分别采用底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。

3 对隔震、消能减震主体结构进入弹塑性阶段的情况，应根据主体结构体系特征，采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.2 建筑结构隔震设计的地震作用计算及结构验算

4.2.1 隔震结构的自振周期，可采用与隔震结构相应的计算模型经计算确定。

4.2.2 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 对多层结构，水平地震作用可沿高度按重力荷载代表值分布。

2 隔震层以上结构的水平地震作用应根据水平向减震系数确定。

3 隔震后的水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{\max 1} = \beta \alpha_{\max} / \psi \quad (4.2.2)$$

式中： $\alpha_{\max 1}$ ——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；

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，取二者的较大值；

ψ ——调整系数，一般橡胶支座，取 0.80；支座剪切性能偏差为 S-A 类时，取 0.85；隔震装置带有阻尼器时，相应减少 0.05。

注：①弹性计算时，简化计算和反应谱分析时宜按隔震支座水平剪切应变为 100%时的性能参数进行计算；当采用时程分析法时，应按设计基本地震加速度输入进行计算；

②支座剪切性能偏差按现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 确定。

4 隔震层以上结构的总水平地震作用不得低于非隔震结构在 6 度设防时的总水平地震作用，并应进行抗震验算；各楼层的水平地震剪力尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定。

4.2.3 建筑结构进行隔震设计时，应根据预期的竖向承载力、水平向减震系数和位移控制要求，选择适当的隔震装置及抗风装置组成结构的隔震层。隔震层的侧向刚度和阻尼应符合下列规定：

1 隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比可按下式计算：

$$K_h = \sum K_j \quad (4.2.3-1)$$

$$\xi_{eq} = \sum K_j \xi_j / K_h \quad (4.2.3-2)$$

式中： K_h ——隔震层水平等效刚度；

K_j ——第 j 隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

ξ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

ξ_j ——第 j 隔震支座由试验确定的等效黏滞阻尼比，隔震层设置阻尼装置时，应包括相应的阻尼比；

2 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应保持与隔震支座的压应力限值一致；对水平向减震系数计算，应取剪切变形 100%时的等效刚度和等效黏滞阻尼比；对

罕遇地震验算，宜采用剪切变形 250%时的等效刚度和等效黏滞阻尼比。当采用时程分析时，应以试验所得滞回曲线作为计算依据。

4.2.4 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。隔震支座对应于罕遇地震水平剪力的水平位移，应符合下列要求：

$$u_i \leq [u_i] \quad (4.2.4-1)$$

$$u_i = \eta_i u_c \quad (4.2.4-2)$$

式中： u_i ——罕遇地震作用下，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；对橡胶隔震支座，不应超过该支座有效直径的 0.55 倍和支座内部橡胶总厚度 3.0 倍二者的较小值；

u_c ——罕遇地震下隔震层质心处水平位移或不考虑扭转的水平位移；

η_i ——第*i*个隔震支座的扭转影响系数，应取考虑扭转和不考虑扭转时*i*支座计算位移的比值；当隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心在两个主轴方向均无偏心时，边支座的扭转影响系数不应小于 1.15。

4.2.5 抗风装置应按下式要求进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (4.2.5)$$

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；

γ_w ——风荷载分项系数，采用 1.4；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

4.2.6 隔震支座的弹性恢复力应符合下列要求：

$$K_{100} t_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad (4.2.6)$$

式中： K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平等效刚度；

t_r ——隔震支座内部橡胶总厚度。

4.2.7 橡胶隔震支座验算罕遇地震作用下最大压应力和最小压应力时，宜按下列荷载组合计算，也可考虑三向地震作用产生的最不利轴力。

最大压应力组合： $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} \pm 1.0 \times \text{罕遇水平地震作用产生的最大轴压力} + 0.4 \times \text{竖向地震作用产生的轴压力}$ (4.2.7-1)

最大拉应力组合： $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} \pm 1.0 \times \text{罕遇水平地震作用产生的最大轴拉力} - 0.4 \times \text{竖向地震作用产生的轴拉力}$ (4.2.7-2)

4.2.8 隔震房屋抗倾覆验算应符合下列要求：

- 1 隔震房屋抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座拉压承载能力验算。
- 2 进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并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 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不宜出现不可恢复的变形；其橡胶支座在罕遇地震的水平和竖向地震同时作用下，最大压应力不超过表 5.2.5-1 和表 5.2.5-2 的规定；最大拉应力，对于甲类建筑不应大于 0MPa，对于乙、丙类建筑不应大于 1MPa。当隔震支座拉应力超过规定限值时，应采取有效措施。

5 当隔震层隔震支座出现拉应力时，受拉隔震支座数量应小于隔震支座总数量 30%，或选择用于抗拉的隔震支座。

4.2.9 当房屋内放置有特殊要求的仪器设备而需限制楼层绝对加速度反应时，楼层加速度不应大于相应的容许加速度。

4.2.10 上部结构的抗震变形验算应按下列要求进行：

1 隔震层以上结构应进行多遇地震的层间位移验算，结构弹性层间位移角限值应符合表 4.2.10-1 的要求；

表 4.2.10-1 隔震层以上结构层间弹性位移角限值

结构类型	多遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/550
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/800
钢筋混凝土剪力墙结构	1/1000
钢结构	1/250

2 隔震层以上结构在罕遇地震下的弹塑性层间位移角限值应符合表 4.2.10-2 的要求。

表 4.2.10-2 隔震层以上结构层间弹塑性位移角限值

结构类型	罕遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/50

钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/100
钢筋混凝土剪力墙结构	1/120
钢结构	1/50

4.2.11 隔震层以下的结构和基础应符合下列要求：

1 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行承载力验算。

2 隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承隔震层以上结构的相关构件，应满足嵌固的刚度比和隔震后设防烈度下的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。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应满足要求表 4.2.11 规定。

表 4.2.11 隔震层以下地面以上结构罕遇地震作用下层间弹塑性位移角限值

下部结构类型	层间弹塑性位移角限值
钢筋混凝土框架结构和钢结构	1/100
钢筋混凝土框架-剪力墙结构	1/200
钢筋混凝土剪力墙结构	1/250

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。

4.2.12 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用隔震结构罕遇地震下隔震支座底部的最大剪力、最大轴力和力矩进行承载力验算（图 4.2.12）；其最大剪力、最大轴力可按以下组合采用：

$$1.2 \times (1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载}) \pm 1.3 \times \text{水平罕遇地震作用} + 0.5 \times \text{竖向地震作用} \quad (4.2.12)$$

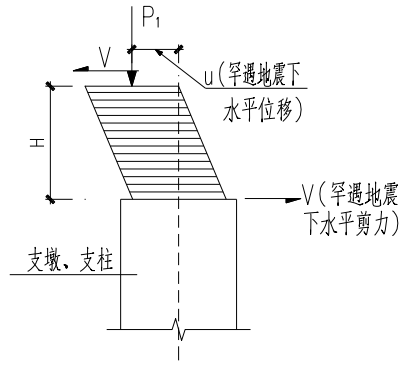


图 4.2.12 隔震层柱墩等承载力验算简图

4.3 建筑结构消能减震设计的地震作用计算及结构验算

4.3.1 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。
- 2 摩擦型消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型。
- 3 黏滞消能器可采用 MAXWELL 模型。
- 4 黏弹性消能器可采用 KELVIN 模型。
- 5 其它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。

4.3.2 消能部件的布置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和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主体结构的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和层间位移的乘积之比的比值宜接近；

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

4.3.3 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、墙体或梁等支承构件组成消能部件时，消能部件的

恢复力模型参数符合下列要求：

$$\frac{\Delta u_{py}}{\Delta u_{sy}} \leq 2/3 \quad (4.3.3-1)$$

式中： Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应满足下列要求：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad (4.3.3-2)$$

式中： t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料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满足下式：

$$K_b \geq \frac{6\pi C_D}{T_1} \quad (4.3.3-3)$$

式中： K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度；

C_D ——消能器的线性阻尼系数；

T_1 ——消能减震建筑的基本自振周期。

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，消能器的极限速度不应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。

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

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

位移相关型消能器：消能器两端的相对水平位移对应的阻尼力与相对位移之比。

黏弹性消能器：消能器的最大阻尼力与相对位移之比。

2 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下列式估算：

$$\zeta_d = \frac{\sum_j W_{cj}}{4\pi W_s} \quad (4.3.4-1)$$

式中： ζ_d ——消能减震建筑的附加有效阻尼比；

W_{c_j} ——第 j 个消能部件在结构预期层间位移 Δu_j 下往复循环一周所消耗的能量；

W_s ——消能减震建筑在水平地震作用下的总应变能。

注：当消能部件在结构上分布较均匀，且附加给结构的有效阻尼比小于 20% 时，消能部件附加给结构的有效阻尼比也可采用强行解耦方法确定。

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，可按下式估算：

$$W_s = \frac{1}{2} \sum F_i u_i \quad (4.3.4-2)$$

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

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移。

4 速度线性相关型消能器在水平地震作用下循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

$$W_{c_j} = \left(\frac{2\pi^2}{T_1} \right) C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (4.3.4-3)$$

式中： C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数； θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角；

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移。

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

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

$$W_{c_j} = \lambda F_{d_{j\max}} \Delta u_j \quad (4.3.4-4)$$

式中： λ ——阻尼指数的函数，可按表 4.3.4-1 取值；

$F_{d_{j\max}}$ ——第 j 个消能器在相应水平地震作用下的最大阻尼力。

表 4.3.4-1 λ 取值

阻尼指数 α	λ 值
0.25	3.7
0.5	3.5

0.75	3.3
1	3.1

注：其它阻尼指数对应的 λ 值可线性插值。

6 位移相关型和速度非线性相关型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

$$W_{c_j} = A_j \quad (4.3.4-5)$$

式中： A_j ——第 j 个消能器的恢复力滞回环在相对水平位移 Δu_j 时的面积。

当位移相关型消能部件的恢复力模型为双线性模型时，位移相关型消能部件在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量可采用下式计算：

$$W_{c_j} = 4f_{y_j}x_{y_j}(1-\alpha_{s_j})(\mu_j-1) \quad (4.3.4-6)$$

式中： f_{y_j} 、 x_{y_j} ——分别为消能减震结构第 j 个位移相关型消能部件的屈服力和屈服位移；

α_{s_j} ——为位移相关型消能部件恢复力模型的第二刚度系数；

μ_j ——为消能部件的位移延性系数。

4.3.5 采用底部剪力法进行消能减震结构的计算分析时，结构的周期、等效阻尼比和消能器参数可按下述步骤计算：

1 按照预期目标位移，计算消能减震结构的第一自振周期和阻尼比，采用《建筑抗震设计规范》GB50011 计算出消能减震结构的地震作用，得到消能减震结构的地震反应；

2 按照计算得到的地震反应，再计算得到新的耗能减震结构的第一自振周期和阻尼比，并根据新的结构第一自振周期和阻尼比按照第 1 步进行计算，得到消能减震结构的地震作用，并进一步计算结构的地震反应，直至最后两次迭代计算的结果误差在 5% 以内，从而确定消能减震结构的第一自振周期和阻尼比；

3 根据迭代计算后的耗能减震结构的第一自振周期和阻尼比计算消能器部件参数。

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

4.3.7 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 相关规定选用地震动记录，地震动记录的最大加速度

峰值也应按照建筑所在地区的设防烈度和《建筑抗震设计规范》GB50011 相关规定选用。

4.3.8 采用时程反应分析方法计算得到的消能减震结构时程反应，尚应按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定，通过与振型分解反应谱法的比较，确定消能减震结构的最大地震反应。

4.3.9 采用静力弹塑性分析方法时，计算模型中消能器宜采用 4.3.1 条给出的恢复力模型，并由实际分析计算获得消能器的附加阻尼比，不可采用预估值。位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并依据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性。

4.3.10 消能减震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。

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

4.3.12 当采用底部剪力法进行设计时，消能减震结构的层间剪力在消能部件与主体结构之间按照刚度进行分配，可以采用下式计算：

$$V_{bdj} = \frac{k_{bdj}}{k_{bdj} + k_{nj}} V_j \quad (4.3.12-1)$$

$$V_{nj} = \frac{k_{nj}}{k_{bdj} + k_{nj}} V_j \quad (4.3.12-2)$$

式中： V_{bdj} ——消能减震结构第 j 层消能部件分配的层间剪力；

V_{nj} ——消能减震结构第 j 层主体结构分配的层间剪力；

k_{bdj} ——第 j 层消能部件的有效刚度；

k_{nj} ——第 j 层主体结构的侧向刚度；

V_j ——消能减震结构第 j 层的层间总剪力。

4.3.13 当采用底部剪力法进行设计时，消能减震结构的层间变形可以采用下式计算：

$$\Delta u_j = \frac{V_j}{k_j} \quad (4.3.13)$$

式中： Δu_j ——地震荷载标准值作用下结构第 j 层的层间变形；

k_j ——结构第 j 层的层间抗侧移刚度。

4.3.14 当主体结构分配的层间剪力小于消能减震结构总层间剪力的 50%，取 50% 进行计算；消能减震部件分配的阻尼力按照实际计算取值。

4.3.15 主体结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 主体结构的截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定执行。

2 地震作用效应计算，宜按多遇地震作用下消能器的附加阻尼比取值。

4.3.16 消能减震结构多遇地震作用下的弹性层间位移角限值和罕遇地震作用下的弹性层间位移角限值应分别符合表 4.2.10-1 和表 4.2.10-2 的要求。

5. 多层与高层建筑隔震和消能减震设计

5.1 一般规定

5.1.1 隔震设计时，应根据设防烈度地震下设定的减震系数及罕遇地震下的隔震结构隔震层位移控制要求，设置适当的隔震装置。

5.1.2 消能减震设计时，应根据多遇地震下的预期减震要求及罕遇地震下的预期结构位移控制要求，设置适当的消能部件，消能部件应对结构提供足够的附加阻尼。

5.1.3 隔震或消能减震设计时，隔震装置或消能减震部件应符合下列要求：

1 隔震装置或消能减震部件的耐久性和设计参数应由试验确定。

2 设置隔震装置或消能减震部件的部位，除按计算确定外，应采取便于检查和替换的措施。

3 设计文件上应注明隔震装置或消能减震部件的安装位置及其性能要求，安装前应对工程中所有各种类型和各种规格的原型部件进行抽检，检验要求应符合本规程相关各章要求、以及现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 对隔震装置或消能减震部件检验的要求。

5.1.4 消能器在不同地震强度影响时应充分发挥其预期的作用，消能器连接部件应保持弹性，且应具有足够的平面外刚度，防止出现平面外失稳。

5.1.5 消能减震结构楼面、屋盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼面、屋盖平面内无限刚性要求不满足时，应考虑楼面、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。

5.1.6 当在垂直相交的两个平面中布置消能器，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。

5.1.7 当对结构抗震和抗风性能有特殊要求时，可采用结构振动控制技术，通过在建筑上安装机械、液压、电、磁等被动消能器或被动吸能器、半主动/智能控制系统、主动控制系统，消耗、吸收、转移结构的振动能量，以减小结构的振动。

5.1.8 消能减震建筑的高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 规定时，应专门研究。

5.2 建筑隔震设计

5.2.1 当处于发震断层 10km 以内时，输入加速度时程曲线应考虑近场影响系数，5km 以内宜取 1.5，5km 以外可取不小于 1.25。

5.2.2 隔震层的布置应符合下列要求：

1 隔震层可由隔震支座、阻尼装置、抗风装置和抗拉装置组成。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和抗拉装置；

2 隔震层宜设置在结构的底部或下部，其橡胶隔震支座应设置在受力较大的位置，其规格、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；

3 隔震层所有隔震支座的刚心与上部结构的质心偏心率不应大于 3%；

4 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；

5 同一房屋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；

6 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所需的空间尺寸；

7 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。

5.2.3 隔震层的橡胶隔震支座应符合下列要求：

1 隔震支座在表 5.2.3 所列的压应力下的极限水平变位，应大于其有效直径的 0.55 倍和支座内部橡胶总厚度 3 倍二者的较大值；

2 在经历相应设计基准期的耐久试验后，隔震支座刚度、阻尼特性变化不超过初期值的 $\pm 20\%$ ；徐变量不超过支座内部橡胶总厚度的 5%；

3 橡胶隔震支座在重力荷载代表值的竖向压应力设计值不应超过表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 橡胶隔震支座压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
压应力限值 (MPa)	10	12	15

注：1 压应力设计值应按永久荷载和可变荷载的组合计算；其中，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 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；

3 当橡胶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 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%。

4 外径小于 300mm 的橡胶支座，丙类建筑的压应力限值为 10MPa。

5.2.4 弹性滑板隔震支座在重力荷载代表值作用下的竖向压应力设计值不应超过表 5.2.4 所规定限值。

表 5.2.4 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	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
压应力限值 (MPa)	12	15	20

注：1 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该表。

2 橡胶支座部外径不宜小于 300mm。

5.2.5 隔震层的橡胶隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力不应超过表 5.2.5-1 所规定限值，弹性滑板隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力不应超过表 5.2.5-2 所规定限值。弹性滑板隔震支座必须保持受压状态。

表 5.2.5-1 橡胶隔震支座在罕遇地震下的压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
压应力限值 (MPa)	20	25	30

表 5.2.5-2 弹性滑板隔震支座在罕遇地震下的压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
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该表。

5.2.6 上部结构的截面抗震验算可依据水平向减震系数，按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 及现行相关规范对抗震房屋的规定进行。

5.2.7 隔震层以上结构的抗震措施，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一度，与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

5.2.8 上部结构的构造措施还应符合下列要求：

1 隔震层顶板，应有足够的平面内水平刚度，在罕遇地震作用下应保持弹性。当采用混凝土结构时，板厚不应小于 180mm。

2 隔震层上部首层楼面梁板体系的刚度和承载力宜大于一般楼面的刚度和承载力。

3 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。

5.2.9 隔震层部件的技术性能和试验要求：

1 隔震支座产品的技术性能、试验方法，应符合现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 的规定。

2 隔震支座的产品性能型式检验和产品性能出厂检验不能互相代替。每项工程采用的隔震支座产品性能必须经出厂检验合格，并符合设计要求。

3 检验不合格的产品及检验后性能发生变化不能满足正常使用要求的产品，不能在工程中使用。

5.2.10 隔震层部件的构造要求

1 隔震支座（隔震支座和阻尼器）与上、下部结构应有可靠的连接，连接件应能传递罕遇地震下支座的最大水平剪力和弯矩，连接板应进行相关计算。

2 支墩（或支柱）顶面预埋件厚度不宜小于 10mm；为避免上支墩底、下支墩（或支柱）顶面由于竖向钢筋水平弯折造成无筋区并造成支座安装困难的弊端，其竖向钢筋可不必水平弯折，伸至底或顶面即可，当确有锚固需要时，可采用竖向钢筋端部设锚固件的做法。

3 隔震层部件（如隔震支座或抗风装置的上、下连接件，连接用预埋件等）以及与隔震支座连接的梁、柱、墩等应考虑水平受剪和竖向局部承压及偏心距的影响，并采取可靠的构造措施。荷载取值应取隔震结构在罕遇地震作用下最不利荷载效应的标准值。

4 穿过隔震层的竖向管线应符合下列要求：

1) 柔性管线在隔震层处预留的伸展长度，不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移的 1.5 倍，且不小于 300mm。

2) 重要管道，可能泄露有害介质或可燃介质的管道，隔震层处应采用柔性接头或柔性连接段，其预留的伸展长度应大于罕遇地震下连接部位水平位移的 1.5 倍。

3) 利用构件钢筋作避雷针时，应采用柔性导线连接隔震层上部结构和下部结构的钢筋。其预留的伸展长度应大于罕遇地震下连接部位水平位移的 1.5 倍。

5 隔震层设置在有耐火要求的使用空间中时，隔震支座和其他部件应根据使用空间的耐火等级采取相应的防火措施；

6 隔震层所形成的缝隙可根据使用功能的要求，采用柔性材料封堵、填塞；

7 隔震层宜留有便于观测和更换隔震支座的空间。

8 隔震结构应采取不阻碍隔震层在罕遇地震下发生大变形的下列措施：

1) 上部结构及隔震层部件应设置竖向隔离缝与周围固定物隔开, 与水平方向固定物的脱开距离不应小于隔震层在罕遇地震下最大水平位移的 1.2 倍, 且不小于 300mm; 对两相邻的隔震结构, 其隔离缝宽取最大水平位移之和的 1.2 倍, 且不小于 600mm。隔离缝(或隔离沟)顶部宜设置滑动盖板。

2) 上部结构与下部结构之间, 应设置完全贯通的水平隔离缝, 缝高可取 20mm, 并用柔性材料填充; 当设置水平隔离缝确有困难时, 应设置可靠的水平滑移垫层;

3) 穿越隔震层的门廊、楼梯、电梯、车道等部位, 应防止可能的碰撞。

9 隔震房屋仅在上部结构首层以上设置伸缩缝时, 缝的宽度应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 对不同房屋防震缝的宽度要求。

10 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 倍锚固钢筋的直径, 且不应小于 250mm。预埋件的受拉钢筋锚固长度应满足 GB50010 受拉钢筋锚固长度的要求。

5.3 建筑消能减震设计

5.3.1 消能部件可根据需要沿结构的两个主轴方向分别对称设置。消能部件宜设置在变形或速度较大的位置, 其数量和分布应通过综合分析合理确定, 并有利于提高整个结构的消能减震能力, 形成均匀合理的受力体系。

消能部件的具体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。

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 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。

5.3.2 消能部件子框架的截面抗震验算应符合下列规定:

1 消能子结构中的梁、柱和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。

2 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和极限速度下的阻尼力作用。

3 消能部件采用焊接或高强度螺栓连接时, 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。

4 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。

5 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。

5.3.3 主体结构的构造措施应符合下列要求：

1 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》GB50011 取值。

2 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地震影响系数与不设置消能减震结构的地震影响系数之比确定，最大降低程度应控制在 1 度以内。

5.3.4 消能部件子结构的构造措施应符合下列要求：

1 消能部件子结构的抗震构造措施要求应按设防烈度要求执行。

2 消能部件子结构为混凝土或型钢混凝土时，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《混凝土结构设计规范》GB50010 和行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 的要求；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，应不低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 和行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 框架柱的要求。

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《钢结构设计规范》GB50017 和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99 中心支撑的要求确定。

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

5.3.6 消能器的支撑或连接元件或构件、连接板应保持弹性。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。

5.3.7 与速度线性相关型消能器连接的支撑和支墩（剪力墙）刚度应满足本规程 4.3.3 条，与其它类型消能器连接的支撑和支墩（剪力墙）刚度不宜小于消能器等效刚度的 2 倍。

5.3.8 消能器与结构连接的构造应满足以下要求：

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。

2 支撑长细比、宽厚比应满足现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 和行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ72 中心支撑的要求。

3 剪力墙（支墩）沿长度方向全截面箍筋加密，并配置网状钢筋。

4 消能器与结构连接钢构件应有可靠的防腐措施。

6. 特殊公共建筑隔震和消能减震设计

6.1 一般规定

6.1.1 本章适用于医院、学校等特殊公共建筑和人员密集的公共服务设施以及生命线工程建筑的隔震或消能减震设计。

6.1.2 医院、学校等特殊公共建筑和人员密集的公共服务设施以及生命线工程建筑的隔震和消能减震设计，除应满足本章规定外，还应满足本规程其他章节规定。

6.1.3 医院、学校等特殊公共建筑和人员密集的公共服务设施以及生命线工程建筑的隔震层除满足本章规定外，还应在本地区设防烈度基础上提高一度进行承载力验算。

6.2 特殊公共建筑隔震设计

6.2.1 特殊公共建筑隔震结构抗震性能设计应分析结构方案的特殊性，选用适宜的隔震层上部结构抗震性能目标，并分析论证结构方案可满足预期的抗震性能目标的措施。

隔震层上部结构抗震性能目标应综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构的特殊性、建造费用、震后损失和修复难易程度等各项因素选定。隔震层上部结构抗震性能目标分为 A、B、C 三个等级，上部结构抗震性能分为 1、2、3、4 四个水准（表 6.2.1），每个性能目标均与一组在指定地震地面运动下的结构抗震性能水准相对应。

表 6.2.1 隔震层上部结构抗震性能目标

性能目标 性能水准 地震水准		性能目标		
		A	B	C
多遇地震		1	1	1
设防烈度地震		1	2	3
罕遇地震		2	3	4

6.2.2 结构抗震性能水准可按表 6.2.2 进行宏观判别。

表 6.2.2 各性能水准上部结构预期的震后性能状况

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件	
第 1 水准	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	一般不需修理即可继续使用

第2水准	基本完好、轻微损坏	无损坏	无损坏	轻微损坏	稍加修理即可继续使用
第3水准	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理后才可继续使用
第4水准	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或加固后才可继续使用

注：“关键构件”是指该构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏，包括隔震装置；“普通竖向构件”是指“关键构件”之外的竖向构件；“耗能构件”包括框架梁、剪力墙连梁及耗能支撑等。

6.2.3 不同抗震性能水准的上部结构可按下列规定进行设计：

1 第1性能水准的结构，应满足弹性设计要求。小震作用下，其承载力和变形应符合本规程的有关规定；在中震作用下，上部结构构件的抗震承载力应符合下式要求：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}^* + \gamma_{EV} S_{Evk}^* \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (6.2.3-1)$$

式中： R_d 、 γ_{RE} ——分别为构件承载力设计值和承载力抗震调整系数；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

γ_G ——重力荷载分项系数；

γ_{Eh} ——水平地震作用的分项系数；

γ_{EV} ——竖向地震作用的分项系数；

S_{Ehk}^* ——水平地震作用标准值的构件内力，不需乘以与抗震等级有关的增大系数；

S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的构件内力，不需乘以与抗震等级有关的增大系数。

2 第2性能水准的结构，在设防烈度地震或预估的罕遇地震作用下，普通竖向构件及关键构件的抗震承载力宜符合式(6.2.3-1)的要求；耗能构件的受剪承载力宜符合式(6.2.3-1)的要求，其正截面承载力应符合下式要求：

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk}^* \leq R_k \quad (6.2.3-2)$$

式中： R_k ——按材料强度标准值计算的截面承载力。

3 第3性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在设防烈度地震或预估的罕遇地震作用下，关键构件及普通竖向构件的正截面承载力应符合式(6.2.3-2)的规定，水平长悬臂结构和大跨度结构中的关键构件正截面承载力尚应符合式(6.2.3-3)的规定，其受剪承载力宜符合式(6.2.3-1)的规定；部分耗能构件进入屈服阶段，但其受剪承载力应符合式(6.2.3-2)的规定。

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k \quad (6.2.3-3)$$

4 第4性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在预估的罕遇地震作用下，关键构件的抗震承载力应符合式(6.2.3-2)的规定，水平长悬臂结构和大跨度结构中的关键构件正截面承载力尚应符合式(6.2.3-3)的规定；部分竖向构件以及大部分耗能构件进入屈服阶段，但钢筋混凝土竖向构件的受剪截面应符合式(6.2.3-4)的规定，钢-混凝土组合剪力墙的受剪截面应符合式(6.2.3-5)的规定。

$$V_{GE} + V_{Ek}^* \leq 0.15 f_{ck} b h_0 \quad (6.2.3-4)$$

$$(V_{GE} + V_{Ek}^*) - (0.25 f_{\alpha k} A_{\alpha} + 0.5 f_{spk} A_{spk}) \leq 0.15 f_{ck} b h_0 \quad (6.2.3-5)$$

式中： V_{GE} ——重力荷载代表值的构件剪力(N)；

V_{Ek}^* ——地震作用标准值的构件剪力(N)，不需乘以与抗震等级有关的增大系数；

f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值(N/mm²)；

$f_{\alpha k}$ ——剪力墙端部暗柱中型钢的强度标准值(N/mm²)；

A_{α} ——剪力墙端部暗柱中型钢截面面积(mm²)；

f_{spk} ——剪力墙墙内钢板的强度标准值(N/mm²)；

A_{spk} ——剪力墙墙内钢板的横截面面积(mm²)。

6.2.4 隔震层以上结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值应符合表6.2.4的要求。

表 6.2.4 隔震层以上结构层间弹塑性位移角限值

结构类型	性能目标		
	A	B	C
钢筋混凝土框架结构	1/550	1/250	1/120
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/800	1/400	1/200
钢筋混凝土剪力墙结构	1/1000	1/500	1/250
钢结构	1/300	1/200	1/100

6.2.5 上部结构弹塑性计算分析尚应符合下列规定：

- 1 弹塑性计算分析应以混凝土构件的实际配筋、型钢和钢构件的实际截面规格为基础，不应以估算的配筋和钢构件替代。
- 2 复杂结构应进行施工模拟分析，应以施工全过程完成后的内力为初始状态。
- 3 弹塑性时程分析宜采用双向或三向地震输入，应使用不少于二组实际记录和一组人工模拟的加速度时程曲线作为输入。

4 应对计算分析结果进行合理性判断。

6.2.6 橡胶隔震支座在正常使用极限状态的标准组合下竖向压应力不应超过 12MPa，对于甲类建筑，压应力不应超过 10MPa。

6.3 特殊公共建筑消能减震设计

6.3.1 按本规程设计与施工的特殊公共建筑消能减震设计，其基本的抗震设防目标是：当遭受多遇地震影响时，主体结构不受损坏；当遭受本地区设防烈度地震影响时，主体结构可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受罕遇地震影响时，主体结构不发生较严重的损坏。

6.3.2 消能减震结构在罕遇地震作用下的弹塑性层间位移角限值应符合表 6.3.2 的要求。

表 6.3.2 消能减震结构层间弹塑性位移角限值

结构类型	罕遇地震
钢筋混凝土框架结构	1/80
钢筋混凝土框架-剪力墙、板柱-剪力墙、框架-核心筒	1/180
钢筋混凝土剪力墙结构	1/160
钢结构	1/70

6.3.3 不同性能目标的消能减震结构设计及模型计算应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的要求。

7. 隔震和消能减震装置

7.1 一般规定

- 7.1.1** 隔震和减震装置的性能参数应经试验确定。
- 7.1.2** 隔震和减震装置的设置部位，除按计算确定外，尚应便于检查和替换。
- 7.1.3** 设计文件上应注明对隔震支座和消能减震部件的性能要求，安装前应具有相关产品的型式检验报告及按规定进行的第三方出厂检测，确保性能符合要求。
- 7.1.4** 隔震装置的设计使用年限不应低于上部结构的设计使用年限。
- 7.1.5** 减震装置的设计使用年限不宜小于建筑物的设计使用年限，当减震装置设计使用年限小于建筑物的设计使用年限时，减震装置达到使用年限时应及时检测，重新确定减震装置使用年限或更换。

7.2 隔震装置

- 7.2.1** 隔震结构中使用的隔震支座主要包括两种，橡胶隔震支座和弹性滑板隔震支座（ESB），橡胶隔震支座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）。支座形状分为圆形和方形，宜优先选用圆形支座。
- 7.2.2** 橡胶隔震支座及弹性滑板隔震支座中橡胶部应采用天然橡胶整体硫化而成。支座整体设计使用年限不应低于上部结构的设计使用年限，一般应大于 50 年。
- 7.2.3** 橡胶隔震支座可选用现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 中规定的 I 或 II 型支座。
- 7.2.4** 橡胶隔震支座的形状系数应符合下列要求：

- 1 橡胶隔震支座的第一形状系数 S_1 ，应按下式计算；

$$\text{圆形截面: } S_1 = \frac{d - d_0}{4t_{r1}} \quad (7.2.4-1)$$

$$\text{矩形截面: } S_1 = \frac{ab}{2(a+b)t_{r1}} \quad (7.2.4-2)$$

- 2 橡胶隔震支座的第二形状系数 S_2 ，应按下式计算；

$$\text{圆形截面:} \quad S_2 = \frac{d}{t_r} \quad (7.2.4-3)$$

$$\text{矩形截面:} \quad S_2 = \frac{b}{t_r} \quad (7.2.4-4)$$

式中： S_1 ——橡胶隔震支座第一形状系数；

S_2 ——橡胶隔震支座第二形状系数；

d ——橡胶的有效直径（mm）；

a ——矩形截面橡胶隔震支座的长边尺寸（mm）；

b ——矩形截面橡胶隔震支座的短边尺寸（mm）；

d_0 ——橡胶隔震支座中间开孔的直径（mm）；

t_{r1} ——单层橡胶层的厚度（mm）；

t_r ——隔震支座内部橡胶总厚（mm）。

S_1 不宜小于 20， S_2 不宜小于 5。

7.2.5 弹性滑板隔震支座中橡胶部形状系数应符合现行国家标准《橡胶支座 第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 的相关要求。

7.2.6 支座连接螺栓和连接板设计应符合现行国家标准《橡胶支座 第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 的相关要求。

7.2.7 支座预埋件设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 执行，荷载取值应取隔震结构在罕遇地震作用下最不利荷载效应的标准值。

7.3 消能减震装置

7.3.1 消能减震结构中使用的减震装置可采用位移相关型、速度相关型或复合型。位移相关型减震装置包括金属屈服型阻尼器、摩擦消能器和屈曲约束耗能支撑，速度相关型减震装置包括黏滞阻尼器和黏弹性阻尼器，复合型减震装置包括铅黏弹性消能器等。

7.3.2 减震装置应具有良好的抗疲劳、老化性能，工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 的要求，不满足要求时应做相应处理。

7.3.3 减震装置的外观要求：

- 1 减震装置外表应光滑，无明显缺陷。

2 减震装置需要考虑防腐、防锈和防火时，应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其它相应处理，但不能影响减震装置的正常工作。

3 减震装置必须符合行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 中各类型减震装置的有关尺寸偏差要求，以及外观要求。

7.3.4 各类减震装置应满足行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 中相关的材料性能要求。

非消能减震构件的材料应达到设计强度要求，设计荷载应按减震装置 1.5 倍极限阻力选取，应保证减震装置中消能构件在不同烈度地震作用下都能正常工作。

7.4 隔震支座试验及检测

7.4.1 隔震支座产品应进行型式检验

1 橡胶隔震支座型式检验的试件可按现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 采用。满足下列全部条件的，可采用以前相应的型式检验结果：

- 1) 橡胶隔震支座用相同的材料配方和工艺方法制作；
- 2) 橡胶隔震支座相应的外部尺寸和内部尺寸相差 10% 以内；
- 3) 橡胶隔震支座第二形状系数 S_2 相差 ± 0.4 以内；
- 4) 橡胶隔震支座第二形状系数 S_2 小于 5，以前的极限性能和压应力相关性试验试件的 S_2 不大于本次试验试件的 S_2 ；
- 5) 以前的试验条件更严格。

2 弹性滑板隔震支座型式检验的试件可按现行国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 采用。满足下列全部条件的，可采用以前相应的型式检验结果：

- 1) 滑板支座用相同的材料配方和工艺方法制作；
- 2) 橡胶支座相应的外部尺寸和内部尺寸相差 10% 以内；
- 3) 橡胶支座第二形状系数 S_2 相差 ± 0.4 以内；
- 4) 橡胶支座第二形状系数 S_2 小于 7，以前的极限性能和压应力相关性试验试件的 S_2 不大于本次试验试件的 S_2 ；
- 5) 滑移面板尺寸相差 30% 以内；

6) 滑移材料未改变、滑移面板与下连接板的连接方式未改变;

7) 以前的试验条件更严格。

7.4.2 隔震设计中所使用的支座产品在进场前应进行第三方出厂检验。

出厂检验可采用随机抽样的方式确定检测试件。若有一件抽样试件的一项性能不合格, 则该次抽样检验不合格。不合格产品不得出厂。出厂检验数量要求如下:

对一般建筑, 每种规格产品抽样数量应不少于总数的 20%; 若有不合格试件, 应重新抽取总数的 50%, 若仍有不合格试件, 则应 100% 检测。

对重要建筑, 每种规格产品抽样数量应不少于总数的 50%; 若有不合格试件, 则应 100% 检测。

对特别重要的建筑, 每种规格产品抽样数量应为总数的 100%。

一般情况下, 每项工程抽样总数不少于 20 件, 每种规格的产品抽样数量不少于 4 件, 少于 4 件则全数检测。

对不同型号的隔震支座, 应进行 400% 极限变形检测, 每种规格产品抽样数量应不少于总数的 1% 且每种规格的产品抽样数量不少于 1 件。

7.4.3 隔震支座的产品性能指标经检验必须满足合格要求。隔震支座合格产品的性能指标应满足现行国家标准《橡胶支座 第 1 部分: 隔震橡胶支座试验方法》GB/T20688.1 规定, 其中, 建筑橡胶隔震支座合格产品的性能指标还应满足《橡胶支座 第三部分: 建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 规定, 建筑弹性滑板支座合格产品的性能指标还应满足《橡胶支座 第 5 部分: 建筑隔震弹性滑板支座》GB20688.5 规定。

7.4.4 隔震支座试验及检验方法应参考现行国家标准《橡胶支座 第 1 部分: 隔震橡胶支座试验方法》GB/T20688.1 规定执行。此外, 对建筑橡胶隔震支座试验及检验方法宜参考《橡胶支座 第三部分: 建筑隔震橡胶支座》GB/T20688.3 规定, 对 ESB 支座试验及检验方法宜参考《橡胶支座 第 5 部分: 建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 规定。

7.5 消能减震装置试验及检测

7.5.1 消能减震装置产品有下列情况之一时, 应进行型式检验:

- 1 新产品的试制定型鉴定;
- 2 当原材料、结构、工艺等有较大改变, 有可能对产品质量影响较大时;

- 3 正常生产时，每五年检验一次；
- 4 停产一年以上恢复生产时；
- 5 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 6 国家质量监督机构提出型式检验要求时；型式检验试件数目不应少于 3 件。

消能减震装置产品型式检验应由具有检测资质的第三方检测机构进行。对于原材料和产品，检验项目及结果应全部符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 的相关要求，否则为不合格。

7.5.2 消能减震设计中所使用的减震装置产品在进场前应进行第三方出厂检验。

对于黏滞阻尼器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的 20%，且不少于 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，阻尼器若无任何损伤、力学性能仍满足正常使用要求时，可用于主体结构。

对于黏弹性阻尼器、金属屈服型阻尼器、摩擦耗能器、屈曲约束耗能支撑和复合型减震装置产品，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减震装置数量较少时，可以在同一类型减震装置中抽检总数的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的减震装置不应用于主体结构。

产品检测合格率未达到 100%，应按同批次抽检产品数量加倍抽检；检测合格率仍未达到 100%，该批次减震装置产品不应在工程中使用。

7.5.3 消能减震装置的产品性能指标经检验必须满足合格要求。各类减震装置产品的性能指标应满足行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 规定。

7.5.4 各类消能减震装置试验及检验方法应参考现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 规定执行。

8. 建筑隔震和消能减震施工

8.1 一般规定

8.1.1 隔震建筑施工前，编制的专项施工方案应包括项目概况、施工主要依据、施工方法、施工设备及材料、施工人员组织安排、施工质量保证措施和施工进度计划、隔震支座的变形监测以及应急预案等。

8.1.2 消能减震建筑施工前，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。消能部件工程也可划分成若干个子分部工程。

8.1.3 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。

8.2 隔震建筑施工要求

8.2.1 施工管理

1 承担建筑隔震工程的施工单位应具备相应的资质，并建立相应的质量管理体系、施工质量控制和检验制度。

2 隔震建筑施工前，应由建设单位组织设计、施工、监理等单位对设计文件进行技术交底和图纸会审。

3 隔震建筑施工前，施工单位应根据设计文件和施工组织设计的要求，编制专项施工方案，经项目技术负责人审核后，施工方案应经监理（建设）单位审核。

4 隔震建筑施工前，施工单位应对施工现场可能发生的突发性事件制订应急预案。

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

8.2.2 施工技术

1 隔震建筑施工前，应根据设计和施工规范要求及现场施工条件，确定施工工艺，并做好各项准备工作。

2 当采用新工艺进行隔震支座安装时，应组织专家进行论证。

3 隔震建筑施工过程中，应对隔震支座的变形进行监测；应对上部结构、隔震层

部件与周围固定物的脱开距离进行检查。

8.2.3 施工质量与安全

- 1 隔震支座及其连接件进场时，应按规定进行进场验收。
- 2 隔震支座及其连接件进场后，应按种类、规格、批次分开贮存。
- 3 隔震工程施工过程中，应进行自检、互检和交接检，前一工序经检验合格后方可进行下一工序的施工。
- 4 隔震工程施工过程中，应对隐蔽工程进行验收，对重要工序和关键部位应加强质量检查或进行测试，并应做出详细文字记录，必要时宜留存图像资料。
- 5 隔震工程施工过程中，可设置必要的临时支撑或连接，避免隔震层发生水平位移。
- 6 隔震工程施工过程中，应采取措施对隔震支座进行临时覆盖保护。
- 7 隔震工程施工过程中的安全措施、劳动保护、防火要求等，应符合国家现行有关规范的规定。
- 8 施工单位应对从事隔震工程施工作业人员进行技术交底和必要的实际操作培训。

8.2.4 隔震支座安装一般规定

- 1 同一支墩（柱）上有 2 个或 2 个以上隔震支座时，隔震支座必须采用同一批次的产品。
- 2 隔震支座下支墩（柱）的中心位置和标高，应引自基准控制点。
- 3 隔震支座及连接件安装前应进行报验，并经监理（建设）单位核准。

8.2.5 下预埋件定位与固定

- 1 隔震支座下预埋件定位前，宜将下支墩（柱）所有预埋件的位置标记到下支墩（柱）上，预埋锚筋、锚杆或套筒不应与下支墩（柱）钢筋相互阻挡。预埋钢板上宜画出中心线。
- 2 隔震支座下预埋件固定前，应对预埋钢板标高、平面位置和水平度进行精确的测量定位，并应用连接螺栓对螺栓孔进行临时旋拧封闭；预埋锚筋、锚杆或套筒应垂直，且固定牢固。

8.2.6 下支墩（柱）混凝土浇筑

- 1 下支墩（柱）混凝土浇筑前，应进行隐蔽工程验收，并应复核预埋件标高、平

整度、垂直度和平面中心位置。

- 2 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。
- 3 下支墩（柱）混凝土浇筑过程中，应加强施工管理，避免扰动预埋件，确保预埋件位置准确。
- 4 下支墩（柱）混凝土浇筑时，应采取必要措施保证预埋钢板下混凝土密实。
- 5 混凝土浇筑完成后应及时将预埋钢板表面清洁干净。

8.2.7 隔震支座安装

- 1 隔震支座应在下支墩（柱）混凝土强度达到设计强度的 75% 后进行安装。
- 2 隔震支座安装前应将下支墩（柱）顶面清理干净并对下支墩（柱）顶面水平度、中心标高、平面中心位置及平整度进行测量和记录，偏差应符合表 8.2.7 的要求。
- 3 安装前应对隔震支座进行检查，确保法兰板漆面完整。
- 4 隔震支座安装过程中，宜采用机械设备吊装，并宜保持隔震支座水平。
- 5 隔震支座吊装过程中，应注意保护隔震支座。
- 6 隔震支座就位后，应对称拧紧连接螺栓。
- 7 隔震支座安装完成后，应检查支座平面中心位置、顶面中心标高、顶面水平度，其偏差应符合表 8.2.7 的要求。

表 8.2.7 支座安装位置的允许误差

项目		允许偏差 (mm)
支座中心标高		不应大于 $\pm 5\text{mm}$
支座中心平面位置		不应大于 $\pm 5\text{mm}$
水平度	支墩（柱）顶面	不宜大于 3%
	支座顶面	不宜大于 8%

8.2.8 上部结构施工

- 1 上部结构施工应在上预埋件与隔震支座连接固定后进行。
- 2 上部结构施工过程中，应采取有效措施保护隔震支座。模板拆除后，应对法兰板破损漆面进行修补。
- 3 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。
- 4 对单层面积较大或长度超过 100m 的上部混凝土结构、大跨度的钢结构或设计有特殊要求的，应制定专项施工方案，不应产生过大的温度变形或混凝土干缩变形。
- 5 当支座相邻上部结构为钢结构或钢骨结构时，应对全部支座采取临时固定措

施。

8.2.9 隔震层构（配）件及隔离缝施工

- 1 对穿过隔震层的配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施。
- 2 有毒、有害、易燃、易爆等介质的重要管道，在穿越隔震层位置时应采用柔性连接，并应符合设计要求。
- 3 穿过隔震层的柔性管线，应在隔离缝处预留足够的伸展长度。
- 4 当利用构件钢筋作防雷接地引下线时，在隔离缝处应采用柔性导线连接，并应对该处的隔震支座进行专门的防火处理。
- 5 穿过隔震层的竖向通道，包括楼梯、电梯、管井等在隔离缝处的构造应符合设计要求，水平缝隙宜采用柔性材料填充。
- 6 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、地下室坡道、车道入口、楼梯扶手等与隔离缝相邻时，应采取隔震脱离措施，并应符合设计要求。
- 7 水平隔离缝的缝高及竖向隔离缝的缝宽应符合设计规定，当设计无要求时，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定。

8.3 消能减震建筑施工要求

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

- 1 消能器检验报告；
- 2 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单。

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

8.3.3 消能部件的施工安装顺序

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质量验收规范》GB50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。

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。

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。

4 对于现浇混凝土结构, 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。

5 对于木结构和装配式混凝土结构, 各类构件或部件的总体施工安装顺序, 可按本规程相关内容执行。

6 既有消能减震加固结构, 消能部件的总体施工安装顺序可按本规程相关结构形式的消能部件安装方法进行。

7 同一部位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。

8 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序, 同一部位消能部件的制作单元超过一个时, 宜先将各制作单元及连接件在现场地面拼装为扩大安装单元后, 再与主体结构进行连接。

9 消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接, 宜采用现场原位连接。

8.3.4 施工测量和消能部件的安装、校正

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》GB50026 和行业标准《建筑变形测量规范》JGJ8 的要求。

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) 消能部件的运输现场、存储及保管应符合支座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。

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。

8.3.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

1 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接,应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB50661 及行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 的规定。

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。

9. 建筑隔震和消能减震验收和维护要求

9.1 一般规定

9.1.1 建筑隔震装置工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行质量验收和维护。隔震工程的检验应由专业技术及质量负责人和设计人员进行验收。

9.1.2 建筑隔震工程完工后，应提交工程验收报告以申请验收，并应组织相关单位进行验收。

9.1.3 隔震建筑验收时应符合下列规定：

- 1 工程施工质量应符合相应施工质量规范 and 设计要求，质量控制资料应完备；
- 2 建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时，均应对连接构造和隔震支座进行验收检查；
- 3 隐蔽工程在隐蔽前，应由监理单位组织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 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

9.1.4 消能减震装置工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行质量验收和维护。消能减震装置工程也可划分成若干个子分部工程。

9.1.5 消能装置进场验收应提供下列资料：

- 1 消能器检验报告；
- 2 监理单位、建设单位对消能装置检验的确认单。

9.1.6 消能减震部件尺寸、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。

9.2 隔震建筑验收和维护要求

9.2.1 隔震支座的验收

1 隔震支座产品的验收

隔震支座安装前，应对隔震支座产品进行验收：

- 1) 隔震层部件供货企业的产品质量认证文件和相关证明文件；
- 2) 隔震层部件出厂合格证书；

3) 隔震层部件的产品性能型式检验和出厂检验报告（均由第三方出具），出厂检验数量应严格满足国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 的要求。

2 施工安装记录的验收

在隔震支座安装阶段，应对支墩（或柱）顶面、隔震支座顶面的水平度、隔震支座中心的平面位置和标高进行观测并记录，并应满足下述要求：

- 1) 隔震支座的支墩（或柱），其顶面水平度误差不宜大于 3‰；在隔震支座安装后，隔震支座顶面的水平度误差不宜大于 8‰；
- 2) 隔震支座中心的平面位置与设计位置的偏差不应大于 5.0mm；
- 3) 隔震支座中心的标高与设计标高的偏差不应大于 5.0mm；
- 4) 同一支墩上的隔震支座的顶面高差不宜大于 5.0mm；
- 5) 隔震支座连接板和外露连接螺栓应采取防锈保护措施。

3 施工测量的验收

1) 在工程施工阶段，对隔震支座在竖向荷载作用下的竖向变形及侧曲变形进行观测并记录。支座在受荷开始到结束，其总的竖向变形不宜大于 5mm；支座在受荷结束时，不宜发生倾斜和侧曲；

2) 在工程施工完毕后，对上部结构、隔震层部件与周围固定物的脱开距离的量测记录，并判定是否满足规范和设计要求。

9.2.2 隐蔽工程及连接构造的验收

1 人行楼梯或爬梯的隔离措施：

越隔震层的楼梯及其附件在隔震层水平处是否设水平缝，缝高（竖向隔离空隙）是否达到 20mm。

2 上部结构与周边的隔离措施：

1) 隔震层以上的上部结构与周边任何固定物是否有隔离空隙。竖向隔离空隙是否达到 20mm，是否预留水平隔离空隙，其是否达到 1.2 倍罕遇地震时隔震支座最大水平位移（隔震支座与固定物之间水平空隙一般不小于 300mm，隔震支座与隔震支座之间不小于 600mm）。是否有任何固定物对上部结构的水平移动形成阻挡；

2) 所有竖向隔离空隙形成的水平缝是否充填柔性粘结胶料，以防鼠虫等爬入或沙尘、风雨飘入。

3 上部结构与室外联结的建筑节点处理:

包括出入口、踏步、台阶、室外散水等建筑节点是否柔性处理,其原则是不阻挡上部结构在地震时的水平摆动。

4 管线处理:

穿越隔震层的管线及其处理方案:

1) 电线: 在隔震层处是否留足多余的长度;

2) 上水管、消防管、下水管: 穿越隔震层处是否设置柔性段,建议采用立管的方式;柔性段的类型、材料根据管道的用途由单体设计确定,应保证发生规定的位移时,管线不断裂,并不妨碍隔震建筑物的运动;

3) 热水管、燃气管: 是否设置柔性管,具体检查可参看 2);

4) 避雷线: 当利用结构钢筋作避雷线时,在隔震支座的上下连接板之间是否采用铜丝连接,当专设避雷线时,是否在隔震层处留足多余的长度。

5 结构变形缝的处理:

1) 当结构温度缝只在隔震层顶板以上设置时(隔震层顶板仍为整体),缝宽应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 按原设防烈度的要求;

2) 当结构变形缝贯穿隔震层顶板时,上部结构缝宽为相邻结构罕遇地震时隔震层最大水平位移之和的 1.2 倍。

6 防火设置:

对层间隔震层及有防火要求的隔震层,宜检查支座是否有防火包裹或设置专门针对隔震支座的灭火器具。

7 下人检查口

1) 检查是否设置下人检查口;

2) 下人检查口用来在使用过程中,进入隔震层检查、维护所用。可通过联系隔震层的楼梯来实现或直接在隔震层顶板上开洞实现,楼梯或洞口尺寸应便于施工人员进入;考虑到建筑使用过程中存在更换支座的可能,楼梯或洞口尺寸应满足运输隔震支座、连接板以及其他施工器械的要求。

9.2.3 隔震建筑的维护

隔震建筑物的维护管理,主要在于有效发挥隔震功能,理解和实施有关的办法和措施。重要的是在长期使用过程中,能在建筑物的周边始终有足够的空间和必要的设施,以确保强震时建筑物(上部结构)能自由地晃动。以下是维护管理的基本内容:

1 维护管理的目的

维护管理的目的是确保隔震建筑物自始至终确实能发挥隔震功能，保障建筑物的安全，为此要求：

- 1) 遵守原有的设计思想、设计条件；
- 2) 灾害发生后也能正常发挥作用。

2 维护管理检查类别、实施时间

以下是按检查目的进行的分类及实施时间：

1) 竣工时检查：在进行本条款第 2~4 项的检查中要利用项目的初期测定值，所以在建筑物竣工时进行必要的检查；

2) 正常检查：平常注意仔细观察建筑物的使用情况及隔震部件的变化情况，出现异常，及时发现，采取措施，防止危险发生。一般每年 2 次；

3) 定期检查：目的是发现正常检查所不能确定的异常和故障，确认隔震设施的耐久性。可以由项目产权单位聘请技术专家进行。建筑物竣工后，开始 1 年，然后 3 年，再以后每隔 5 年进行一次定期检查；

4) 即时检查：即是在发生大的地震、火灾、水淹等灾害之后立即进行的检查，目的是为了确认对隔震部件有无影响。检查者和检查内容同定期检查。另外，若在日常检查发现故障和异常时也要进行即时检查。

3 维护管理检查对象和项目

对隔震部件的管理是使其能安全承托建筑物，衰减地震时建筑物受到的地震作用。而对隔震层、建筑外沿以及设备管线可弯折部位的管理，则是确保地震时能适应建筑物与地基间产生的较大的相对位移。表 9.2.3-1 所示的是维护管理项目。

检查部位主要有以下三个：

- 1) 隔震部件（叠层橡胶垫）；
- 2) 隔震层、建筑物外沿；
- 3) 设备配管管线的可挠部位。

表 9.2.3-1 隔震建筑维护管理项目

部位	必要的性能	管理项目	管理方法
1、隔震构件	能安全支承建筑物	外观检查	有无损伤
		徐变	测定竖向位移
		位移	测定水平位移

部位	必要的性能	管理项目	管理方法
	隔震性能	刚性	外观检查
2、隔震层、建筑物外沿	不妨碍建筑物水平位移	间隙	测定间隙大小
		有无障碍物	目测查找障碍物
3、设备管线可挠部位	具有使用位移的能力	形状	目测检查
		有无损伤	有无漏水点

4 维护管理检查实施要领及维护管理程序

1) 竣工时检查：竣工时检查可为以后的正常、定期、临时等检查提供初始资料，因此，隔震结构的各项检查要详实具体可靠。具体如表 9.2.3-2 所示。

表 9.2.3-2 隔震建筑竣工时检查的项目

位置		项目		方法	场所	要求	措施
隔震构件	叠层橡胶隔震层	包裹橡胶的外观	变色	目测	隔震层全部	无异常 无异物附着	检查后处理
			损伤	目测 计测		深度小于外包橡胶厚	管理要求内：修补 管理要求外：调查
		钢材部位情况	生锈	目测		无浮锈、铁锈	重新喷涂
			安装部位	目测		未偏移螺栓螺母标线	拧紧、再作标记线
		叠层橡胶的变位	垂直变位	计测		无异常变位	检查后处理
			水平变位	计测		无异常变位	检查后处理
隔震层、建筑物外沿	建筑物周边环境	确保安全间距	计测	外围、隔震层、伸缩连接	确保规定的尺寸	配备、除去	
		建筑位置	标记	隔震层	—	—	
	隔震构件设备配管配线	周边状况	确保安全间距	目测	隔震层全部	移动范围内无障碍物	配备、除去
			可燃物	目测	无可燃物	配备、除去	
		排水情况	目测		排水情况良好	检查后处理	
设备可挠部位	设备配管	可挠接合部位	安装情况	目测	隔震层全部	无异常	检查后修补
			损伤开裂	目测		无异常	
	电器配线	吸收变位部位	有余量	目测		有余量能适应水平变位	

2) 正常检查：正常检查由建筑物物业管理人员进行。检查频次为每年 2 次，但如果隔震层周边正在施工，则当工程完全结束后再对该处实施检查。正常检查的内容如表 9.2.3-3 所示。

3) 定期检查与即时检查：定期检查频次：建筑竣工后依次按 1 年、3 年，然后每

隔 5 年检查一次。

即时检查频次：在遭受地震、火灾、浸水等大的灾害之后马上进行。另外，正常检查发现问题时也要实施临时检查。

定期检查与临时检查的内容如表 9.2.3-4 所示。

表 9.2.3-3 隔震建筑正常检查

位 置		项 目		方 法	场 所	要 求	报 告
隔震构件	叠层橡胶隔震层	包裹橡胶的外观	变色	目测	隔震层指定部位	无异常 无异物附着	报告 (附现状照片)
			损伤	目测		无损伤	
		钢材部位情况	生锈	目测		未见浮锈、铁锈	
			安装部位	目测		螺栓螺母的标记线无错动	
隔震层、建筑外沿	建筑物周边环境	确保安全间距	目测	外沿、隔震层、伸缩缝	移动范围内无障碍物	整備、除去报告 (附现状照片)	
		建筑位置	标记	隔震层	—		
	隔震构件设备配管配线周边状况	障碍物	目测	隔震层	移动范围内无障碍物		
		可燃物	目测		无可燃物		
		排水情况	目测		排水情况良好		
液体泄漏	目测		无异常				
设备可挠部位	设备配管	可挠接合部位	—	确认	隔震层	—	报告 (附现状照片)
	电器配线	吸收变位部位	—	确认		—	

表 9.2.3-4 隔震建筑定期及临时检查的项目

位 置		项 目		方 法	场 所	要 求	措 施
隔震构件	叠层橡胶隔震层	包裹橡胶的外观	变色	目测	隔震层指定场所	无异常 无异物附着	检查后处理
			损伤	目测		深度小于外包橡胶厚	管理要求内：修补 管理要求外：调查
		钢材部位情况	生锈	目测		无浮锈、铁锈	重新喷涂
			安装部位	目测		螺栓螺母未偏离标线	拧紧、再作标记线
		叠层橡胶的变位	垂直变位	目测		无异常变位	检查后处理
			水平变位	目测		无异常变位	检查后处理
		隔震建	周边环境	确保安全		目测	外围、隔震层、

位置		项目		方法	场所	要求	措施
层、建筑	物		间距	计测	伸缩缝	移动范围内无障碍物	
			建筑位置	计测	隔震层	—	—
物外沿	隔震构件设备配管配线	周边状况	障碍物	目测	隔震层	移动范围内无障碍物	整理、除去
			可燃物	目测		无可燃物	整理、除去
			排水情况	目测		排水情况良好	检查后处理
设备可挠部位	设备配管	可挠接合部位	液体泄漏	目测	隔震层	无异常	报告
			损伤龟裂	目测		无异常	
			—	确认		无异常	
	电器配线	吸收变位部位	—	确认		无异常	

9.3 消能减震建筑验收和维护要求

9.3.1 对消能减震装置入场验收

1 消能减震装置的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件以及消能部件的特点确定。

2 消能减震装置入场验收时，应有具备检测资质的检测单位开具的产品检验报告。消能减震装置的类型、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/T209 和《建筑消能减震技术规程》JGJ297 的规定。

3 消能减震装置所采用的材料，包括钢材、焊接材料、耗能材料、紧固件和涂料等，应具有相应的质量合格证书，并应符合设计文件规定。

4 支撑或连接件等附属连接和支承构件的制作单位应提供原材料和产品的质量合格证书。

9.3.2 消能减震装置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以按表 9.3.2 的规定执行。

表 9.3.2 消能减震装置检测项目和验收标准

项次	项目	抽检数量和检验方法	合格质量标准
1	见证取样送样检测项目： (1) 消能减震装置部件钢材复验；(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	按《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定执行	符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
2	焊缝质量：(1) 焊缝尺寸；(2)	一、二级焊缝按焊缝个数随机抽	符合《钢结构工程施工质量验收

项次	项目	抽检数量和检验方法	合格质量标准
	内部缺陷；（3）外观缺陷	验 3%，且不应小于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及量规、观察	规范》GB 50205 的规定
3	高强度螺栓施工质量：（1）终拧扭矩；（2）梅花头检查	按节点数随机抽验 3%，且不应小于 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	符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定
4	消能减震部件平面外垂直度	随机抽查 3 个部位的消能减震装置	符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定以及设计文件要求

9.3.3 消能减震装置部件子分部工程观感质量检查项目可按表 9.3.3 的规定执行。

表 9.3.3 消能减震装置子分部工程观感质量检查项目

项次	项目	抽检数量和检验方法	合格质量标准
1	消能减震装置的普通涂层表面	随机抽查 3 个部位的消能减震装置	均匀、无气泡、无皱纹
2	连接节点	随机抽验 10%，且不应小于 3 个节点	连接牢固、无明显外观缺陷
3	工作范围内的障碍物	随机抽验 10%，且不应小于 3 处	在工作范围内无障碍物阻碍消能减震装置的正常工作

9.3.4 宜建立消能减震装置入场施工验收查册制度，将条款 9.3.1 和 9.3.2 的检查项目和检查结果归档，并按期进行复验。

9.3.5 消能减震建筑工程竣工验收前，应提交消能减震装置生产厂家、设计等单位编写的使用维护手册及维护管理计划；消能减震装置的检查根据检查时间或时机可分为常规检查、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。

9.3.6 常规检查应每年进行一次，检查方式可采用目测检查。

9.3.7 定期检查应为竣工后每五年一次或二次，装修时进行一次。除消能减震装置支座或连接构件的水平变形和竖向变形应使用仪器测量外，其他项目均可通过目测方式进行检查。

9.3.8 应急检查为发生可能对消能减震装置相关构件及装置本身造成损伤的地震、强风或火灾等灾害后所进行的检查，可通过抽样检验完成。

9.3.9 对消能减震装置目测检查时，应观察消能减震装置及连接构件等的外观、变形

及其他问题。目测检查内容及维护方法应符合表 9.3.9-1 的规定。

表 9.3.9-1 消能减震装置检查内容及维护方法

序号	检查内容	维护方法
1	消能减震装置和连接部位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
2	消能减震装置产生弯曲、局部变形	更换消能减震装置
3	消能减震装置连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	拧紧，补焊
4	消能减震装置周围存在可能限制其正常工作的障碍物	及时清除

对各种具体的消能减震装置，根据其特点，目测检查内容及维护方法还应符合表 9.3.9-2 的规定。

表 9.3.9-2 具体消能减震装置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	更换消能减震装置
2	黏弹性材料材料层龟裂、老化	更换消能减震装置
3	金属消能器产生明显的累积损伤和变形	更换消能减震装置
4	摩擦消能器的摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力装置产生松弛	更换相关材料和压力装置
5	黏滞消能器的导杆和摩擦消能器的外露摩擦界面出现腐蚀、表面污垢硬化、结斑、结块	及时清除
6	消能支撑焊缝有裂纹，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

9.3.10 消能减震装置抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型装置，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减震装置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。

10.抗震支吊架抗震设计

10.1 一般规定

10.1.1 抗震支吊架或带消能减震阻尼器的支吊架在地震中应对建筑机电工程设施给予可靠保护，承受来自水平和竖向地震作用。

10.1.2 组成抗震支吊架的所有构件应采用成品构件，连接紧固件的构造应便于安装。

10.1.3 保温管道的抗震支吊架限位应按管道保温后的尺寸设计，且不应限制管线热胀冷缩产生的位移。

10.1.4 抗震支吊架应根据其承受的荷载进行抗震验算。

10.2 抗震支吊架计算

10.2.1 水平地震作用和竖向地震作用应按实际的受力所对应的额定负荷时的重力荷载计算。

10.2.2 干管的侧向抗震支撑应计入未设抗震支撑管道的纵向水平地震作用。

10.2.3 水平管线侧向及纵向抗震支吊架间距应按式(10.2.3)计算：

$$l = \frac{l_0}{\alpha_{Ek} k} \quad (10.2.3)$$

式中： l ——水平管线侧向及纵向抗震支吊架间距（m）；

l_0 ——抗震支吊架的最大间距（m），可按表 10.2.3 的规定确定；

α_{Ek} ——水平地震作用综合系数，该系数小于 1.0 时按 1.0 取值；

k ——抗震斜撑角度调整系数。当斜撑垂直长度与水平长度比为 1.00 时，调整系数取 1.00；当斜撑垂直长度与水平长度比小于或等于 1.50 时，调整系数取 1.67；当斜撑垂直长度与水平长度比小于或等于 2.00 时，调整系数取 2.33。

表 10.2.3 抗震支吊架的最大间距

管道类别		抗震支吊架最大间距（m）	
		侧向	纵向
给水、热水及消防管道	新建工程刚性连接金属管道	12.0	24.0
	新建工程柔性连接金属管道；非金属管道及复合管道	6.0	12.0
燃气、热力管道	新建燃油、燃气、医用气体、真空管、压缩空气管、蒸汽管、	6.0	12.0

	高温热水管及其他有害气体管道		
通风机排烟管道	新建工程普通刚性材质风管	9.0	18.0
	新建工程普通非金属材质风管	4.5	9.0
电线套管及电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	新建工程刚性材质电线套管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	12.0	24.0
	新建工程非金属材质电线套管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒	6.0	12.0

注：改建工程最大抗震加固间距为上表数值的一半。

10.2.4 水平地震力综合系数可按下式计算：

$$\alpha = \gamma \eta \zeta_1 \zeta_2 \alpha_{\max} \quad (10.2.4)$$

式中： α ——水平地震力综合系数；

γ ——非结构构件功能系数；

η ——非结构构件类别系数；

ζ_1 ——状态系数；

ζ_2 ——位置系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值。

10.2.5 抗震支吊架应根据所承受荷载按《建筑机电工程抗震设计规范》GB50981 的有关规定进行抗震验算，并调整抗震支吊架间距，直至各点均满足抗震荷载要求。

10.3 抗震支吊架设计

10.3.1 每段水平直管道应在两端设置侧向抗震支吊架。

10.3.2 当两个侧向抗震支吊架间距大于最大设计间距时，应在中间增设侧向抗震支吊架。

10.3.3 每段水平直管道应至少设置一个纵向抗震支吊架，当两个纵向抗震支吊架距离大于最大设计间距时，应按本规范第 10.2.3 条的规定间距依次增设纵向抗震支吊架。

10.3.4 抗震支吊架的斜撑与吊架的距离不得大于 0.1m。

10.3.5 刚性连接的水平管道，两个相邻的抗震支吊架间允许纵向偏移值。应符合下列规定：

- 1 水管及电线管套不得大于最大侧向支吊架间距的 1/16；
- 2 风管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒不得大于其宽度的两倍。

10.3.6 水平管道应在离转弯处 0.6m 范围内设置侧向抗震支吊架。当斜撑直接作用于

管道时，可作为另一侧管道的纵向抗震支吊架，且距下一纵向抗震支吊架间距应按下式计算：

$$L = \frac{(L_1 + L_2)}{2} + 0.6 \quad (10.3.6)$$

式中：L——距下一纵向抗震支吊架间距（m）；

L_1 ——纵向抗震支吊架间距（m）；

L_2 ——侧向抗震支吊架间距（m）。

10.3.7 当水平管道通过垂直管道与地面设备连接时，管道与设备之间应采用柔性连接，水平管道距垂直管道 0.6m 范围内设置侧向支撑，垂直管道底部距地面大于 0.15m 应设置抗震支撑。

10.3.8 当抗震支吊架吊杆长细比大于 100 或当斜撑杆件长细比大于 200 时，应采取加固措施。

10.3.9 所有抗震支吊架应和结构主体可靠连接，当管道穿越建筑沉降缝时应考虑不均匀沉降的影响。

10.3.10 水平管道在安装柔性补偿器及伸缩节的两端应设置侧向及纵向抗震支吊架。

10.3.11 侧向、纵向抗震支吊架的斜撑安装，垂直角度宜为 45°，且不得小于 30°。

10.3.12 抗震吊架斜撑安装不应偏离其中心线 2.5°。

10.3.13 沿墙敷设的管道当设有入墙的托架、支架且管卡能紧固管道四周时，可作为一个侧向抗震支撑。

10.3.14 单管（杆）抗震支吊架的设置应符合下列规定：

- 1 连接主管的水平管道应在靠近立管 0.6m 范围内设置第一个抗震吊架；
- 2 当立管长度大于 1.8m 时，应在其顶部及底部设置四向抗震支吊架。当立管长度大于 7.6m 时，应在中间加设抗震支吊架；
- 3 当立管通过套管穿越结构楼层时，可设置抗震支吊架；
- 4 当管道中安装的附件自身质量大于 25kg 时，应设置侧向及纵向抗震支吊架。

10.3.15 门型抗震支吊架的设置应符合下列规定：

- 1 门型抗震支吊架至少应有一个侧向抗震支撑或两个纵向抗震支撑；
- 2 同一承重吊架悬挂多层门型吊架，应对承重吊架分别独立加固并设置抗震斜撑；

- 3 门型抗震支吊架侧向及纵向斜撑应安装在上层横梁或承重吊架连接处；
- 4 当管道上的附件质量大于 25kg 且与管道采用刚性连接时，或附件质量为 9kg~25kg 且与管道采用柔性连接时，应设置侧向及纵向抗震支撑。

2018000725 版（报审稿初稿）

深圳市规程

建筑隔震和消能减震技术规程

Technical specification for seismic isolation and energy
dissipation of buildings

条文说明

目 次

1.	总则	57
1.1	57
3.	基本规定	58
3.1	一般规定	58
3.2	场地与地基	58
4.	地震作用与结构验算	60
4.1	地震作用的一般计算方法	60
4.2	建筑结构隔震设计的地震作用计算及结构验算	60
4.3	建筑结构消能减震设计的地震作用计算及结构验算	60
5.	多层与高层建筑隔震和消能减震设计	66
5.1	一般规定	66
5.2	建筑隔震设计	67
5.3	建筑消能减震设计	69
6.	特殊公共建筑隔震和消能减震设计	71
6.1	一般规定	71
6.2	特殊公共建筑隔震设计	71
6.3	特殊公共建筑消能减震设计	73
7.	隔震和消能减震装置	74
7.1	一般规定	74
7.2	隔震装置	75
7.3	消能减震装置	75
7.4	隔震支座试验及检测	76
7.5	消能减震装置试验及检测	76
8.	建筑消能减震施工要求	78
8.1	一般规定	78
8.2	隔震建筑施工要求	79

8.3	消能减震建筑施工要求.....	82
9.	建筑隔震和消能减震验收和维护要求	84
9.1	一般规定.....	84
9.2	隔震建筑验收和维护要求.....	84
9.3	消能减震建筑验收和维护要求.....	85
10.	抗震支吊架	87
10.1	87
10.2	抗震支吊架计算.....	87
10.3	抗震支吊架设计.....	87

1. 总则

1.0.2 装配式建筑隔震和消能减震设计也可参照本规程相关规定执行。

3. 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 《建筑抗震设计规范》GB50011 条文说明 3.1.1 中指出：在需要提高设防标准的建筑中，甲类在提高一度的要求加强其抗震措施的基础上，“地震作用应按高于本地区设防烈度计算，其值应按批准的地震安全性评价结果确定”。地震安全性评价通常包括给定年限内不同超越概率的地震动参数，应由具备能力的单位按相关标准执行并对其评价报告的质量负责。这意味着，地震作用计算提高的幅度应经专门研究，并需要按规定的权限审批。考虑隔震技术措施的有效性，为便于隔震结构的应用，本规程建议甲类建筑宜按提高一度设计。

3.1.3 高宽比是控制结构抗倾覆能力的重要参数，一般情况下，隔震结构的适用高宽比应满足相应抗震结构的要求，当突破规范限值时应做详尽的论证工作，并采用诸如增设支座抗拉装置等措施，确保隔震结构具有抗倾覆的安全裕度。

3.2 场地与地基

3.2.1 《建筑抗震设计规范》GB50011 第 12.1.3 条：“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”，未提到 IV 类场地，其条文说明：当在 IV 类场地建造隔震房屋时，应进行专门研究和专项审查。在近年来的工程应用中出现了多项 IV 类场地的隔震建筑，如天津地区的几项医院项目。为鼓励隔震技术的应用，本规程建议放宽对 IV 类场地的限制，但应采取有效措施，比如罕遇地震作用下上部结构变形过大时，隔震结构的上部结构也可设置减震装置；或者优化隔震层的阻尼设置，采用更合理的阻尼装置，减轻为控制隔震层变形而导致的上部结构地震作用的增加幅度。

3.2.3 为保证隔震层在地震作用时提供设计预期的力学性能，隔震建筑的地基与基础的变形应该整体协调、一致，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（包括水平和竖向）。当地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应根据地震时地基不均匀沉降和其他不利影响，采取相应的措施加强地基基础的整体性。

3.2.4 《建筑抗震设计规范》GB50011 第 4.2.2 条规定地基基础的抗震验算时采用地

震作用效应的标准组合，考虑多遇地震作用时，隔震结构减震效果有限，地基基础设计验算也应满足相应非隔震建筑的设计要求。

4. 地震作用与结构验算

4.1 地震作用的一般计算方法

4.1.1 经大量工程实践、试验研究及数值分析发现，应用隔震、消能减震技术的建筑结构在高度不超过 24m、可近似于单质点体系的情况下，应用底部剪力法计算地震作用不影响结构安全性。

综合实践经验、预留安全度及设计工作量等多因素考虑，对《建筑抗震设计规范》GB50011 中按地震烈度、场地类别对适用时程分析补充计算的隔震、消能减震建筑进行高度范围划分方式进行调整，将适用时程分析法补充计算的高度条件统一为高于 100m。

4.1.2 隔震支座是建筑隔震结构重要构件，其力学模型精确程度直接影响结构地震设防目标的实现。为提高计算准确性，隔震支座力学模型更符合、接近真实，对《建筑抗震设计规范》GB50011 中的隔震支座力学模型计算依据进行调整，代之以试验所得滞回曲线作为依据。

4.2 建筑结构隔震设计的地震作用计算及结构验算

4.2.8 橡胶隔震支座在罕遇地震下不宜出现竖向拉应力，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规程前文规定的数值，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。弹性滑板隔震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。

4.2.12 相连构件一般指与支柱顶部相连的系梁、与支柱相连的翼墙等构件。

4.3 建筑结构消能减震设计的地震作用计算及结构验算

4.3.1 消能器恢复力特性的数学模型大致有两类：一种是用复杂的数学公式予以描述的曲线型；另一种是分段线性化的折线型。曲线型恢复力模型给出的刚度是连续变化的，与工程实际较为接近，但在刚度的确定及计算方法上较为复杂，在实际工程计算中并不常用。目前，广泛使用的是折线型模型，对于摩擦消能器和铅消能器宜采用理想弹

塑性模型，如图 4.3.1-1 所示。

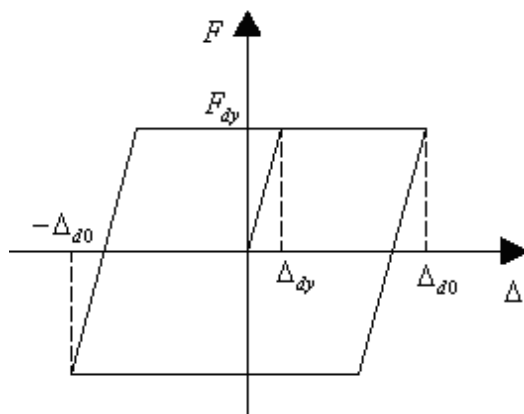


图 4.3.1-1 理想弹塑性力学模型

$$\text{消能器的弹性刚度: } K_d = F_{dy} / \Delta_{dy} \quad (4.3.1-1)$$

$$\text{消能器滞回一周耗能: } W_d = 4F_{dy}(\Delta_{d0} - \Delta_{dy}) \quad (\Delta_{d0} \geq \Delta_{dy}) \quad (4.3.1-2)$$

式中: F_{dy} ——消能器屈服（起滑）荷载；

K_d ——消能器弹性刚度；

Δ_{d0} ——消能器最大位移；

Δ_{dy} ——消能器屈服（起滑）位移；

W_d ——消能器滞回一周耗能。

软钢消能器和屈曲约束支撑可采用双线性模型，如图 4.3.1-2 所示。

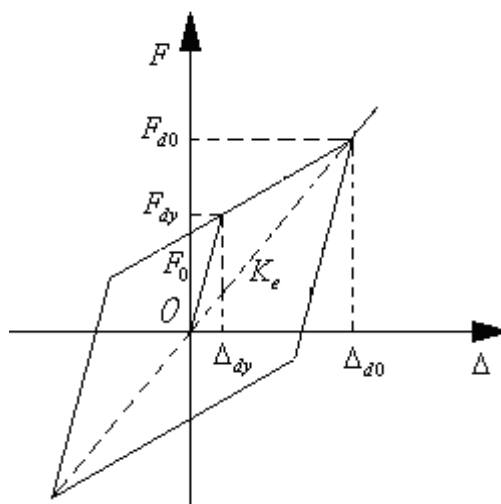


图 4.3.1-2 双线性模型

$$\text{消能器的弹性刚度: } K_d = F_{dy} / \Delta_{dy} \quad (4.3.1-3)$$

$$\text{消能器有效刚度: } K_e = \frac{F_{d0}}{\Delta_{d0}} \quad (\Delta_{d0} \geq \Delta_{dy}) \quad (4.3.1-4)$$

$$\text{消能器滞回一周耗能: } W_d = 4(F_{dy}\Delta_{d0} - F_{d0}\Delta_{dy}) \quad (\Delta_{d0} \geq \Delta_{dy}) \quad (4.3.1-5)$$

式中: F_0 ——消能器位移为“0”时的荷载;

K_e ——消能器等效刚度;

F_{d0} ——消能器最大荷载。

速度相关型消能器宜采用 Maxwell 模型或 Kelvin 模型。Maxwell 模型中阻尼单元与“弹簧单元”串联,如图 4.3.1-3 所示,当模拟黏滞消能器时可将弹簧单元刚度设成无穷大,则模型中只有阻尼单元发挥作用。

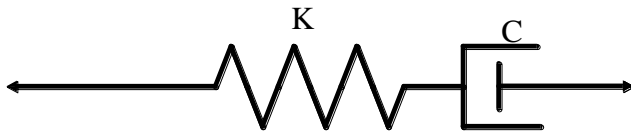


图 4.3.1-3 Maxwell 模型

Kelvin 模型如图 4.3.1-4 所示,该模型是由一个线性弹簧单元和一个线性阻尼单元并联组成,模型中的输出力是二者之和。

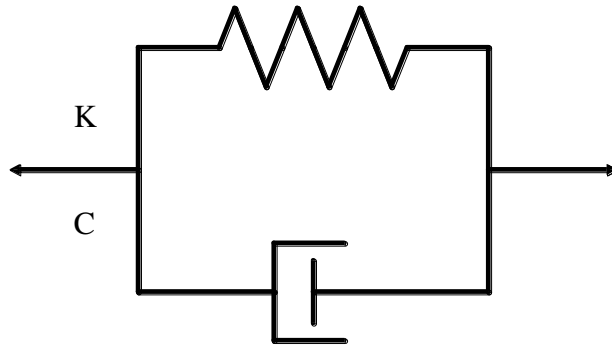


图 4.3.1-4 Kelvin 模型

黏滞消能器和粘弹性消能器的典型滞回曲线如图 4.3.1-5 所示:

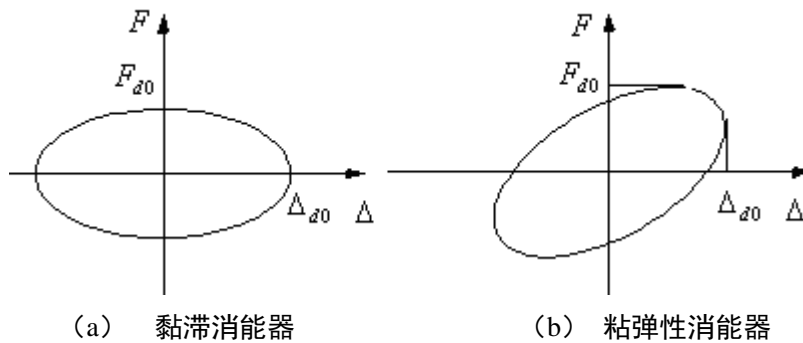


图 4.3.1-5 速度型消能器滞回曲线

黏滞消能器和粘弹性消能器的耗能量及相关参数的计算公式如下:

$$\text{黏滞消能器: } W_d = \pi C_d \omega \Delta_{d0}^2 \quad (4.3.1-6)$$

$$\text{粘弹性消能器: } W_d = \pi G'' \Delta_{d0}^2 \quad (4.3.1-7)$$

$$C_d = \frac{G'' A}{\omega h} \quad (4.3.1-8)$$

$$K_e = \frac{\sqrt{(G'^2 + G''^2)} A}{h} \quad (4.3.1-9)$$

式中： ω ——频率；

C_d ——消能器阻尼系数；

G' ——粘弹性材料剪切模量；

G'' ——粘弹性材料储存模量；

A ——粘弹性材料层横截面面积；

h ——粘弹性材料层厚度。

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

4.3.2 消能减震结构中每一楼层中消能器的布置数量应合理，不能太少，也不能无限增加，当布置的消能器数量较多时，消能器的最大阻尼力之和较大，使得该楼层的层剪力产生突变，但为了满足消能减震结构布置要求，在其他楼层中也要布置大量的消能器，整个结构需要布置的消能器数量会明显增多，其结构设计是一种不经济的方案。

对于位移相关型消能器和部分复合型消能器，随着位移的增加，消能器的刚度是减小的，楼层中布置消能器数量过多，消能器的最大阻尼力之和过大后，当遭受更大的地震作用时，消能器的阻尼比会小于最初设计值，该楼层可能会出现薄弱构件。

4.3.6 对于消能减震结构，无法预先估计主体结构在加入消能部件后的最终变形情况，只能预先假设一个阻尼比，将消能部件布置于结构中，并调整消能器的数量和位置，再对消能减震结构进行计算，反算出消能器在相应阻尼比情况下的位移，通过消能器

的恢复力模型及相对应的公式求解消能减震结构的附加阻尼比，并反复迭代，直至收敛。

采用附加阻尼比的迭代方法计算步骤如下：

- 1 假定各个消能器的设计参数和消能减震结构的总阻尼比 ζ 。
- 2 将消能减震结构的等效阻尼比和各个消能器的设计参数代入分析模型中，依据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 规定，采用振型分解反应谱法进行结构分析。
- 3 经结构分析可得第*i*楼层的水平剪力 F_i 、水平地震作用标准值的位移 u_i 及第*j*个消能器的阻尼力 F_{dj} 及相对位移 Δu_{dj} 。
- 4 由本规程 4.3.4 条计算消能器附加给结构的有效阻尼比 ζ_d 。
- 5 重新修正各个消能器的设计参数，并利用下式计算结构总阻尼比 ζ ：

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_d \quad (4.3.6-1)$$

式中： ζ_1 ——主体结构阻尼比；

ζ_d ——消能部件附加给结构的有效阻尼比。

6 将步骤 5 计算得到的结构等效阻尼比和各个消能器的参数作为初始假设值，重复步骤 2 至步骤 5。反复迭代，直至步骤 2 使用的结构等效阻尼比与步骤 5 计算得到的结构有效阻尼比接近。

4.3.9 静力弹塑性分析方法是一种静力的分析方法，是在结构计算模型上施加按某种规则分布的水平侧向力，单调加载并逐级加大；一旦有构件开裂（或屈服）即修改其刚度（或使其退出工作），进而修改结构总刚度矩阵，进行下一步计算，依次循环直到结构达到预定的状态（成为机构、位移超限或达到目标位移），从而判断是否满足相应的抗震能力要求。

消能器产生减震效果主要体现在消能器的滞回性能上，消能器需要产生往复位移或速度起作用，为此，静力弹塑性分析方法分析过程中无法直接体现出消能器的作用，也无法直接得出消能器附加结构的阻尼比，为了使静力弹塑性分析方法能够采用又体现出消能器的作用，则对于消能器的刚度和阻尼需要进行等代，并布置结构中进行分析。

消能减震结构中，消能器提供的附加阻尼比是反应消能器减震效果的主要因素。消能器提供的附加阻尼比是按消能器所做的总功与 4π 倍结构总应变能的比值计算的。

消能减震结构中消能器在多遇地震、设防地震和罕遇地震作用时提供的阻尼比皆不会相同。一般而言，在罕遇地震时消能器所提供的附加阻尼比会在多遇地震或设防地震时小（当主体结构进入弹塑性阶段时，结构的总应变能包含了弹性应变能和非弹性应变能，结构的总应变能会比多遇地震时的弹性应变能大很多）。为此，消能器附加给结构的消能器应由实际分析计算得到，而不能采用预估值。

其主要步骤为：

- 1 分别确定消能减震结构的主体结构截面、消能部件的非线性恢复模型及消能部件等代单元的塑性铰特性等；
- 2 对消能减震结构进行非线性全过程静力分析，得到结构参考点水平侧移与结构底部总水平剪力的关系曲线；
- 3 根据计算出的消能减震结构的位移，计算消能减震结构的等效阻尼比，包括主体结构弹塑性变形耗能附加的等效阻尼比和消能器给主体结构附加的阻尼比；
- 4 将多自由度消能减震结构等效为一个等价的单自由度体系，分别计算等价单自由度体系的能力曲线和反应曲线；
- 5 图解等价单自由度体系的目标位移；
- 6 将此位移转化成多自由度消能减震结构各层的层间位移。

4.3.11 由于深圳地区属于风灾较严重地区，风荷载和多遇地震作用处在同一控制水平，若金属位移型阻尼器在风荷载作用下过高频率的屈服，对其疲劳寿命将难以满足，且会影响建筑的正常使用功能。

4.3.15 主体结构的强度和截面验算，依据求得的内力按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中对不同类建筑结构规定的公式计算。由于消能减震结构中附加刚度和附加阻尼都相比于主体结构存在一定的变化，为此，计算地震作用效应时应考虑消能器附加刚度和附加阻尼的影响，还应考虑到本规程 4.3.10 条中规定的要求。

4.3.16 消能减震结构的层间位移角限值要体现出消能减震技术提高结构抗震能力的优势，消能减震结构的层间位移角限值应比不设置消能减震的结构适当减小，从而更容易实现基于性能抗震设计要求。

5. 多层与高层建筑隔震和消能减震设计

5.1 一般规定

5.1.1 隔震结构采用两阶段设计方法。在多遇地震作用下，隔震后上部结构的地震作用可以降低，降低后的地震影响系数曲线形式仍按《建筑抗震设计》GB50011 确定，仅地震影响系数最大值 $\alpha_{\max 1}$ 减小。隔震后的上部结构用软件计算时，直接取 $\alpha_{\max 1}$ 进行结构计算分析。 $\alpha_{\max 1}$ 根据水平向减震系数进行确定。在罕遇地震作用下，需要控制隔震层位移和隔震支座的变形，使其满足规范要求的限值。

“水平向减震系数”根据设防烈度地震作用下，隔震结构和非隔震结构在地震作用下的反应对比进行确定。对多层结构为隔震与非隔震各层各层层间剪力的最大比值，对高层结构尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并于层间剪力的最大比值相比较，取两者的较大值。

5.1.3 为了确保隔震和消能减震的效果，隔震支座、阻尼器和消能减震部件的性能参数应严格检验。按照国家标准《橡胶支座 第三部分：建筑隔震橡胶支座》GB20688.3 的规定，橡胶支座产品在安装前应对工程中所用的各种类型和规格的原型部件进行抽样检验。型式检验和出厂检验应由第三方完成。

5.1.5 对于平面规则并且无大开洞的楼板，可采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中规定的刚性隔板假定。但对于复杂的结构，采用刚性隔板假定时，可能会使消能器消能力超过实际能力，从而高估了消能器的作用，为此，需考虑采用弹性板对消能减震结构进行分析。

5.1.6 在双向地震作用时，消能器都要发挥作用，通过支撑同时向双向交叉布置消能部件的柱附加荷载，为此，在双向交叉布置消能部件相连的柱，交叉支撑对柱产生的外荷载要重点考虑。

5.1.7 深圳地处风灾较严重地区，高层建筑需同时满足抗风和抗震的要求，而结构振动控制技术是一种同时解决高层建筑抗风和抗震问题，且提高结构安全储备的有效方法。

5.1.8 消能减震建筑可以通过消能器增加结构阻尼来减少结构在水平地震和竖向地震是公认的事实，随着消能减震技术的发展，为了适应我国经济发展的需要，可利用消

能减震技术来减轻结构的地震灾害，从而也推动高烈度区高层建筑的发展。建筑中布置消能器后能形成消能减震支撑结构体系，当消能器在结构中的布置满足钢支撑在不同结构体系中的要求时，其形成的消能减震高层建筑结构的最大适用高度，可参考现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 钢支撑结构体系要求取值。当消能减震结构与满足相应抗震设防烈度要求设计的非消能减震结构水平地震影响系数之比小于 0.5 时，其最大适用高度可按降低一度要求执行，但还应进行专门的研究。

当屈曲约束支撑消能减震建筑中屈曲约束支撑的布置满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 中钢支撑布置的要求时，其建筑适用的最大高度可采用钢支撑建筑要求取值。

5.2 建筑隔震设计

5.2.1 《建筑抗震设计规范》GB50011 规定了隔震体系的计算模型，且一般要求采用时程分析法进行设计计算。当隔震结构位于发震断裂主断裂带 10km 以内时，要求各个设防类别的房屋均应计及地震近场效应。

5.2.2 隔震装置在长期使用过程中需要检查和维护。因此，其安装位置应便于维护人员接近和操作。隔震层的限位装置只在必要时才设置。若设置限位装置，要避免产生碰撞的不利影响。当隔震支座有较大的水平变形能力，有较大的阻尼，并且与上、下部结构有可靠的连接时，一般可不单独设置限位装置。抗风装置宜布置于建筑物的周边，以尽量减少建筑物平面扭转产生的不利影响。

5.2.3 隔震支座的压应力设计限值为 10~15MPa，其依据是：从国内外的大量试验结果得知，隔震支座在 $S_1 \geq 15$ 、 $S_2 \geq 5$ 的条件下，其压应力极限值在 90MPa 以上，考虑在罕遇地震作用下达到最大水平位移时仍能保持稳定等因素，其压应力设计值的安全系数取 6~9 是必要的。

考虑到随着橡胶隔震支座的制作工艺越来越成熟，隔震支座的直径越来越大，建议对隔震支座选型时尽量选用大直径的支座，对 300mm 直径的支座，由于其直径小，稳定性差，故将其设计承载力由 12MPa 降低到 10MPa。

橡胶支座随着水平剪切变形的增大，其容许竖向承载能力将逐渐减小，为防止隔震支座在大变形的情况下失去承载能力，故要求支座的剪切变形应满足

$\sigma \leq \sigma_{cr}(1 - \gamma/S_2)$ ，式中， γ 为水平剪切变形， S_2 为支座第二形状系数， σ 为支座竖向面压， σ_{cr} 为支座极限抗压强度。同时支座的竖向压应力不大于 30MPa，水平变形不大

于 0.55D 和 300% 的较小值。

5.2.4 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隔震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。弹性滑板隔震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支座受压失稳问题，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。

5.2.5 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，根据建筑抗震设防类别的不同，分别设定不同的橡胶隔震支座和弹性滑板隔震支座的竖向压应力限值，以及橡胶隔震支座的竖向拉应力限值。弹性滑板隔震支座没有竖向受拉能力，不允许出现拉应力。

5.2.7 本条参照《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定。隔震后上部结构的抗震措施可以适当降低，一般的橡胶支座以水平向减震系数以 0.40 为界划分，并明确降低的要求不得超过一度。

5.2.8 上部结构的底部剪力通过隔震支座传给基础结构。因此，上部结构与隔震支座的连接件应具有罕遇地震作用下传递上部结构最大底部剪力和弯矩的能力。足够大的板厚才能确保隔震层中所有装置的水平变形基本一致。

5.2.10 设置一定宽度的隔震缝，对于隔震作用发挥至关重要。如设置不满足要求，将在设防地震或罕遇地震时上部结构相互之间发生碰撞，产生破坏冲击力，限制隔震效用发挥，甚至危及建筑物安全。当缝宽受限时，可在相邻隔震单体间设置阻尼器，以提高两侧隔震单体在地震运动中的协调性和同步性，减少两者之间的相对位移，有利于单体间各楼层平面交通中变形缝的处理，防止单体结构之间发生碰撞。施工过程中，常常发生隔震缝宽度预留不足或空间被填充封死情况。施工过程中必须保证隔震沟宽度和空间清空，并进行重点检查。

对穿过隔震层的管道，特别是重要管道，或可能泄漏有害介质或可燃介质的管道，强调应采用柔性接头，以避免产生次生灾害。

隔震层形成的缝隙，要求采用柔性材料封堵填塞，以防水或砂进入，防鼠或虫进入，确保其功能不受影响。采用的封填材料必须是柔性的，以免影响隔震效果。

5.3 建筑消能减震设计

5.3.1 消能部件一般是和支撑一起布置在结构中，支撑和消能器构成消能部件。常见的布置形式有对角形、交叉形、“人”字形三种，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。例如：从消能器的构造、类型角度考虑，圆筒式粘弹性消能器、筒式流体消能器等适合采用斜杆支撑；Pall 型摩擦消能器、双环金属消能器、加劲圆环消能器适合采用交叉支撑；金属消能器适合采用“人”字形支撑或用于耗能剪力墙中。

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

消能器在结构中布置时通常是各层均布置为最优，其次是隔层布置，也可以在薄弱层布置，但后两种情况由于加大了个别层的层间刚度，需要考虑相邻层层间位移放大现象。消能器可根据需要沿结构的两个主轴方向分别设置或仅在一个主轴方向布置。耗能部件宜设置在层间变形较大的位置，其数量、规格和分布应通过技术和经济的综合分析合理确定，并有利于提高整体结构的消能能力，形成均匀合理的受力体系，减少不规则性。

5.3.2 对于消能器连接板与框架梁连接的情况，当消能器采用平行法安装时，支撑可能会限制框架梁的竖向变形，但其作用很小不能起到明显的约束作用，为此，在确定布置消能部件跨的横梁截面时，不应考虑消能部件在跨中的支承作用；消能器在地震作用下往复作用时，消能器产生的水平阻尼力会通过连接板传递到与其相连的框架梁上，导致框架梁除承受竖向荷载作用外，还要承受消能器在地震作用时的消能器附加的水平阻尼力作用。

为了确保消能减震结构在罕遇地震作用下不发生倒塌，消能减震结构需要保证在主体结构达到极限承载力前，消能部件不能产生失稳或节点板破坏，而主体结构极限承载力都是按罕遇地震下的效应，为了保证消能部件的安全，其连接节点和构件都应进行罕遇地震作用下消能器引起的附加外荷载作用下的截面验算。

5.3.3 对于消能减震混凝土建筑中的主体结构由于消能部件附加的阻尼比使得结构的地震反应降低，构件的截面尺寸可能会有所减小，但建筑的抗震等级是根据设防烈度、结构类型、房屋高度区分的，采用相应的计算和构造措施，抗震等级的高低，体现了

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

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

5.3.5 与消能部件相连接的主体结构构件与节点应满足消能器最大输出阻尼力作用，从而保证消能器在罕遇地震作用下不丧失功能。

5.3.7 消能构件（或装置）属非承重构件，其功能仅在结构变形过程中发挥耗能作用，而不承担结构的竖向承载作用，即增设耗能装置不改变主体结构的竖向受力体系，为此，无论是新建消能减震结构还是既有建筑的抗震加固主体结构都必须满足竖向承载力的要求。与消能器相连的支撑应具有足够刚度，以保证减震装置中的变形绝大部分发生在消能器上，消能器支撑的刚度应根据计算确定。节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生面外失稳破坏，一般可采用增加节点板厚度或设置加劲肋的措施。

由于消能支撑常采用连接板与主体结构相连，从现有的混凝土钢支撑结构和钢结构的支撑破坏情况发现，在地震中常出现连接钢板部分发生互不相同平面外的失稳由此导致梁发生大的扭转变形并使钢筋混凝土剥落，使消能器不能产生相对位移，从而不能发挥相应的耗能效果。

5.3.8 消能器的附加内力通过预埋件、支撑和剪力墙（支墩）传递给主体结构构件，同时要求预埋件、支撑和剪力墙（支墩）在消能器极限位移时附加的外力作用下不会出现失效，其构造措施比一般预埋件要求更高。

6. 特殊公共建筑隔震和消能减震设计

6.1 一般规定

6.1.1 特殊公共建筑是指国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中规定的特殊设防类和重点设防类建筑。

6.2 特殊公共建筑隔震设计

6.2.1 本条规定了医院、学校等特殊公共建筑和人员密集的公共服务设施以及生命线工程建筑隔震结构抗震性能设计的主要工作：

选用抗震性能目标。本条提出 A、B、C 三级结构抗震性能目标和四个结构抗震性能水准（1、2、3、4），三级抗震性能目标与《建筑抗震设计规范》GB50011 提出结构抗震性能 1、2、3 是一致的。地震地面运动一般分为三个水准，即多遇地震（小震）、设防烈度地震（中震）及预估的罕遇地震（大震）。在设定的地震地面运动下，与三级抗震性能目标对应的结构抗震性能水准的判别准则由本规程第 6.2.2 条做出规定。

A、B、C 三级性能目标的结构，在小震作用下均应满足第 1 抗震性能水准，即满足弹性设计要求；在中震或大震作用下，三级性能目标所要求的结构抗震性能水准有较大的区别。A 级性能目标是最高等级，中震作用下要求结构达到第 1 抗震性能水准，大震作用下要求结构达到第 2 抗震性能水准，即结构仍处于基本弹性状态；B 级性能目标，要求结构在中震作用下满足第 2 抗震性能水准，大震作用下满足第 3 抗震性能水准，结构仅有轻度损坏；C 级性能目标，要求结构在中震作用下满足第 3 抗震性能水准，大震作用下满足第 4 抗震性能水准，结构中度损坏；选用性能目标时，需综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构的特殊性、建造费用、震后损失和修复难易程度等因素。鉴于地震地面运动的不确定性以及对结构在强烈地震下非线性分析方法（计算模型及参数的选用等）存在不少经验因素，缺少从强震记录、设计施工资料到实际震害的验证，对结构抗震性能的判断难以十分准确，尤其是对于长周期的隔震层上部结构或特别不规则结构的判断难度更大，因此在性能目标选用中宜偏于安全一些。例如：特别不规则的、房屋高度超过 B 级高度很多的高层建筑或处于不利地段的特别不规则结构，可考虑选用 A 级性能目标；房屋高度超过 B 级高度较多或不规

则性超过本规程适用范围很多时，可考虑选用 B 级或 C 级性能目标；房屋高度超过 B 级高度或不规则性超过适用范围较多时，可考虑选用 C 级性能目标；房屋高度超过 A 级高度或不规则性超过适用范围较少时，可考虑选用 C 级性能目标。结构方案中仅有部分区域结构布置比较复杂或结构的设防标准、场地条件等特殊性的，使设计人员难以直接按本规程规定的常规方法进行设计时，可考虑选用 C 级性能目标。以上仅仅是举些例子，实际工程情况很复杂，需综合考虑各项因素。

6.2.2 本条对四个性能水准结构地震后的预期性能状况，包括损坏情况及继续使用的可能性提出了要求，据此可对各性能水准结构的抗震性能进行宏观判断。本条所说的“关键构件”可由结构工程师根据工程实际情况分析确定。例如：上部结构底部加强部位的重要竖向构件、水平转换构件及与其相连竖向支承构件、大跨连体结构的连接体及与其相连的竖向支承构件、大悬挑结构的主要悬挑构件、加强层伸臂和周边环带结构的竖向支承构件、承托上部多个楼层框架柱的腰桁架、长短柱在同一楼层且数量相当时该层各个长短柱、扭转变形很大部位的竖向（斜向）构件、重要的斜撑构件等。

6.2.3 各个性能水准结构的设计基本要求是判别结构性能水准的主要准则，本规程主要参照《高层建筑混凝土技术规程》JGJ3 相应条款执行。

6.2.4 结构抗震性能设计时，弹塑性分析计算是很重要的手段之一。计算分析应符合本条规定。

1 静力弹塑性方法和弹塑性时程分析法各有其优缺点和适用范围。本条对静力弹塑性方法的适用高度范围放宽到 150m 或 200m 非特别不规则的结构，主要考虑静力弹塑性方法计算软件设计人员比较容易掌握，对计算结果的工程判断也容易一些，但计算分析中采用的侧向作用力分布形式宜适当考虑高阶振型的影响，一般可采用振型组合后的楼层地震剪力换算的水平作用力，并考虑偶然偏心。对于高度在 150m~200m 的基本自振周期大于 4s 或特别不规则结构以及高度超过 200m 的房屋，应采用弹塑性时程分析法。

2 对复杂结构进行施工模拟分析是十分必要的。弹塑性分析应以施工全过程完成后的静载内力为初始状态。当施工方案与施工模拟计算不同时，应重新调整相应的计算。

3 一般情况下，弹塑性时程分析宜采用双向地震输入；对竖向地震作用比较敏感的结构，如连体结构、大跨度转换结构、长悬臂结构、高度超过 300m 的结构等，宜采

用三向地震输入。

6.3 特殊公共建筑消能减震设计

6.3.1 考虑到深圳市的实际情况，提高了特殊公共建筑消能减震结构抗震设防目标，本规程对特殊公共建筑消能减震结构设定的抗震设防目标处于《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3 中结构抗震性能目标 C 和 D 等级之间。

6.3.2 根据设定的抗震性能目标，参考《建筑抗震设计规范》GB 50011 中结构竖向构件对应于不同破坏状态的最大层间位移角参考控制目标，确定了特殊公共建筑消能减震结构层间弹塑性位移角限值。

7. 隔震和消能减震装置

7.1 一般规定

7.1.1 消能减震装置的制作工艺相对比较复杂，产品的性能稳定性和质量与设计预期可能存在偏差。为了保证采用消能减震技术设计的结构安全，消能减震装置的性能参数需要通过试验最终确定，以保证消能减震装置检测出的性能参数与设计文件中的参数吻合。

7.1.2 消能减震装置的设置部位需经分析确定，一般宜沿结构两个主轴方向设置，并宜设置在结构变形、速度或加速度较大的部位，其数量和分布应通过综合分析合理确定，以为结构提供适当的附加阻尼和刚度，保证消能减震装置在地震作用下具有良好的耗能能力。

消能减震装置在正常使用情况下会进行常规检查，特别是对于减震装置使用年限小于主体结构使用年限的消能装置，其在达到使用年限时应进行检查和更换。并且，消能减震建筑在地震作用后减震装置和主体结构都要进行应急检查，检查消能减震装置是否超过预期的极限状态（如黏滞阻尼器是否出现漏油、金属屈服型阻尼器是否出现较大的残余变形等），确定减震装置是否需要更换。为此，消能减震装置布置位置和安装预留的措施将对检查十分重要。

7.1.3 目前国内消能减震装置生产厂家多数是以销定产的形式，即根据设计单位提供的减震装置参数来加工制作产品，为此，减震装置的性能稳定性和质量能否达到设计要求需要进行验证。为了保证采用消能减震技术设计的结构安全，减震装置生产厂家应提供减震装置产品合格证，同时还需对应用于实际工程中的减震装置产品进行抽检，抽检检测应由具有检测资质的第三方完成，以验证应用于实际工程中的减震装置检测出的性能参数与设计文件中的参数是否吻合，确保设计的正确性。

7.1.4 一般情况下，隔震装置的寿命应不低于上部结构，但遇到特殊要求的结构时，如使用寿命需达 100 年的博物馆等历史建筑，橡胶隔震支座的保护层应适当加厚，如加厚仍不能满足要求，设计和施工时应考虑可以更换的措施。

建筑物使用年限是设计规定的一个时期，是房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和维护下所应达到的使用年限。消能减震装置设计在消能减震结构设计中至关

重要，减震装置一旦失效，不仅原有减震设计目的很难达到，而且在地震作用下还可能产生负面效果，如结构刚度的改变、周期改变、加大地震作用，引起破坏；不均匀破坏，引起扭转等附加力；配合基础隔震的减震装置一旦失效，地震时会引起建筑过大位移，甚至滑出支座等。

7.1.5 考虑到地震的随机性，消能减震装置作为建筑中消耗地震能量的主要构件之一，设计使用年限内应时刻处于有效工作状态，从而保证地震作用时起到减震作用。为此，每类减震装置出厂前厂家都应给出详细的型检报告，明确减震装置使用年限。减震装置应尽量和建筑具有相同的使用年限，不满足建筑设计使用年限要求时，则在减震装置达到其使用年限之前应进行更换，以保证消能减震建筑在使用年限内的安全性。

7.2 隔震装置

7.2.1 圆形支座不具有方向性，更适合隔震建筑承担来自任意水平方向的地震作用。方形支座在两个方向的交接处容易形成应力集中。隔震建筑建议优选圆形支座。

7.2.2 橡胶隔震支座及弹性滑板隔震支座中橡胶应采用天然橡胶整体硫化而成，不得分层简单粘接而成，以保证隔震支座在承担竖向荷载和水平大变形时压剪或拉剪荷载时的安全性。

7.2.3 推荐采用 I, II 类支座，不推荐 III 类支座，因 III 类支座不能承担拉力。

7.2.5 第 1 形状系数不宜过小，以保证支座竖向承载的稳定性；第 2 形状系数不宜过小，以保证支座在大变形时的稳定性。

7.3 消能减震装置

7.3.1 目前国内外学者研制开发多种类型的消能减震装置主要包括：金属屈服型阻尼器、摩擦消能器、屈曲约束耗能支撑、黏弹性阻尼器、黏滞阻尼器和复合型减震装置等，根据其消能原理或耗能机制，可分为位移相关型、速度相关型或复合型。许多不同构造型式的减震装置已在新建建筑和既有建筑加固工程中得到应用，取得了良好的经济效果和社会效益。

7.3.2 国内外学者对黏弹性阻尼器和黏滞阻尼器进行了试验研究，发现影响其耗能性能的主要因素是温度、频率和应变幅值。而位移型减震装置如金属屈服型阻尼器、摩擦消能器等的耐久性主要包括腐蚀、磨耗及钢材在高温下的软化和低温下的脆性断裂等。摩擦消能器中的金属摩擦材料虽强度高，不易破裂，但经过多次反复滑动后摩擦

系数下降快，胶合趋势大。

综合来讲，消能减震装置的耗能性能很大程度上受温度、徐变、腐蚀、紫外线照射等因素的影响，因此要求在设计及使用减震装置时应考虑到其所处的工作环境因素，必要时须采取特殊的措施消除环境因素的影响。既要正确制定减震装置在其设计使用年限内可能出现的反应性能，又要采取相关措施消除环境因素的影响。《建筑消能阻尼器》JG/T209 做出了产品的相关工作环境要求。

7.3.4 消能减震装置一般由消能构件和非消能构件组成，如金属屈服型阻尼器由连接板和消能板组成、黏滞阻尼器由消能黏滞材料和非消能的缸体、活塞、密封圈等组成。消能构件的材料性能直接影响减震装置的耗能性能，因此需要对消能构件材料进行限定。

另一方面，对于可能出现因材料缺陷、安装偏差、超强地震作用外力突增等因素引起的非消能构件失效，从而导致减震装置无法正常工作的情形，则需要非消能构件必须具有足够的安全储备，设计的非消能构件承载能力应大于减震装置 1.5 倍的极限阻尼力。

7.4 隔震支座试验及检测

7.4.2 为确保产品质量，隔震装置的型式检验和出厂检测，均需具有检测资质的第三方检测机构完成，该检测机构不得为与支座生产厂家具有相同的法人所分离出来的检测机构。

7.5 消能减震装置试验及检测

7.5.1 在地震作用下消能减震装置应充分发挥其耗能效果，以确保消能减震建筑的安全性。因此，应对消能减震产品的性能参数进行严格检验。消能减震产品的型式检验主要用于考察产品生产厂家的生产能力，考察其是否具有稳定的减震装置设计能力、材料来源及加工能力等，以保证能供应减震结构设计指定性能参数的减震装置，用于实际工程。型式检验内容应按照《建筑消能阻尼器》JG/T209 规定，由具有相应的消能减震装置检测资质和试验设备的第三方检验机构完成，全面检验消能减震产品的基本性能及相关性能。第三方检验机构应为独立单位，与检验的减震装置厂家不应有任何关系，也不应生产或是销售减震装置。

7.5.2 消能减震产品的第三方出厂检验主要考察用于实际工程的消能减震产品的质量

是否满足设计要求。检验应采用产品质量监督抽查管理办法进行，对检验批次的减震装置进行随机抽样方式确定检测试件，如有一件抽样试件的一项性能不合格，则该次抽样检验为不合格。

对于所有的减震装置出厂检验应由第三方完成，根据减震装置的性能依据现行国家标准和设计文件，对减震装置的性能进行检验，从而对整批产品质量水平给予相应的评价。

对于可重复利用的黏滞阻尼器，抽检数量适当增多，抽检的减震装置在各项性能参数都能满足设计要求时，抽检后可继续用于主体结构；对于金属屈服型阻尼器、摩擦耗能器和屈曲约束耗能支撑等抽检后不能继续使用的减震装置，抽检数量适当减少，但在同一类型中抽检数量不少于 2 个，尽量减少性能检测结果的偶然性。具体规定按照《建筑消能阻尼器》JG/T209 及《建筑消能减震技术规程》JGJ297 规定执行。

8. 建筑消能减震施工要求

8.1 一般规定

8.1.2 结合消能减震建筑的特点，根据现行国家标准《建筑施工质量验收统一标准》GB50300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建筑材料类型除钢结构外，还有混凝土结构和木结构等，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，不论上部主体结构为钢结构、混凝土结构还是其他结构，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、钢结构和木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 本规程关于消能减震建筑的施工、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的消能部件，结合混凝土结构、钢结构等类型的建筑，总结消能减震建筑施工、验收和维护的工程经验，吸收日本、美国等国外相关标准和国内有关于施工验收标准的先进技术而编制的。

消能减震建筑中消能部件是关键部分。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消能减震建筑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安装组织设计的基本要求编制。当既有建筑抗震加固采用消能减震技术时，可参照本规程的有关规定进行。

8.2 隔震建筑施工要求

8.2.1 我国实行建筑业企业资质制度，承担隔震工程施工的承包单位或分包单位应具备相应的资质。

技术交底包括设计交底（设计图纸交底）、施工技术交底和隔震层施工专项方案交底。

1 设计交底。在建设单位主持下，由设计单位向各施工单位进行的交底，说明建筑隔震的功能与特点、设计意图与要求、特别是隔震工程施工过程中隔震层与上部结构和下部结构的工序搭接、支座安装、穿越隔震层的管线安装中应注意的事项等。

2 施工设计交底。由施工单位组织，在管理单位专业工程师的指导下，主要介绍隔震工程施工中遇到的问题和经常性出错的部位，提醒操作人员在施工过程中对隔震支座及其连接件的保护。

3 建筑隔震工程施工专项方案的交底。主要对隔震支座安装、隔震层构（配）件及隔离缝施工等进行细化，明确施工过程中应注意的问题、施工工艺和施工规定等内容。

4 图纸会审由建设单位负责组织并记录。各参建单位特别是施工单位要熟悉设计图纸、领会设计意图、掌握工程特点及难点，找出需要解决的技术难题并拟定解决方案，从而将因设计缺陷而存在的问题在施工之前得到解决。

建筑隔震工程的图纸会审主要注意下列内容：

1) 详细检查各处竖向隔离缝的缝宽及水平隔离缝的缝高，是否满足相关规定。

隔离缝检查部位主要指：

①隔震层以上结构与周围构、建筑物之间的缝隙；

②隔震层以上结构如楼、电梯间与隔震层以下结构固定物之间的缝隙；

③水平隔离缝。

2) 隔震支座上下支墩截面尺寸是否满足支座安装的规定。

3) 支座预埋件与上下支墩中钢筋位置是否发生冲突。

根据设计要求、国家相关规范、规程和标准及其它论证会或咨询会的规定，施工单位根据设计交底和图纸会审的结果对建筑隔震工程施工的具体规定进行细化，并使其更具有可操作性，最终形成建筑隔震工程专项施工方案。专项施工方案应经监理单位审核，审核批准后方可实施，审核过程建设单位可以参与。

施工单位应考虑施工时可能遇到的火灾、地震、洪灾等突发性事件，制定应急预案对隔震支座进行检查。当隔震支座影响隔震建筑安全性时，应更换隔震支座。

8.2.2 隔震支座安装施工准备工作包括：

- 1 审查施工图纸，修正图纸中的错误，解决图纸中与施工条件不符合的问题；
- 2 编制工程施工组织设计或施工方案并进行技术交底；
- 3 组织隔震支座及其连接件进场，以满足连续施工的要求；
- 4 组织施工机具进场，并经过检修能保证正常运转。施工机具主要指叉车或汽车吊等隔震支座搬运设备；
- 5 安排基层劳动组织，做到工种配套，对工人进行技术、安全教育；
- 6 提出开工报告。

隔震工程施工过程中对隔震支座的变形观测，主要是对隔震支座的竖向压缩变形、上下法兰板相对水平位移、隔震支座侧向不均匀变形进行观测并记录。

8.2.3 本条规定了施工单位每道工序完成后除了自检、专职质量检查员检查外，还强调了工序交接检查，上道工序还应满足下道工序的施工条件和要求；特别是隔震层上、下支墩和隔震支座安装之间的工序应进行交接检查，使各工序间和相关专业工程之间形成一个有机的整体。

隔震支座及其连接件，不耐强酸和一些非极性溶剂（天然橡胶为非极性橡胶）如氯仿、苯、液状石蜡、植物油、乙醚等，故严禁将隔震支座及其连接件与酸或非极性溶剂放在一起。另外，隔震支座应在阴凉干燥的仓库密封避光保存。

- 1 隔震支座及连接件堆放的场地或仓库，要清除杂草及一切杂物，保持材料表面干净；
- 2 不得与酸、碱、盐、水泥等对隔震支座及其连接件有侵蚀性的材料堆放在一起；
- 3 对于同一项目有多栋建筑使用隔震支座的，特别是同一规格型号的支座在不同栋号的建筑中，支座高度和性能有差异的，隔震支座应按照栋号分别堆放；
- 4 隔震支座及连接件要合理堆放、堆放应稳固、确保安全的前提下，做到按种类、规格分别堆放，防止混淆。垛底应垫高、坚固、平整，防止材料受潮或变形。同种材料按入库先后分别堆码，便于执行先进先出的原则。
- 5 隔震支座及连接件在入库前要注意防止雨淋或污染。对已经淋雨或弄污的要擦净。

安全技术措施包括以防止工伤事故为目的的一切措施，如防护装置、信号装置及保险装置等。隔震支座安装施工过程中，若采用汽车吊或叉车，应加大其监控力度，确保施工安全。

8.2.4 隔震支座不同制造厂采用的配方不同，制造工艺存在差别，同一制造厂不同生产批次的生产条件的差别，都会造成橡胶材料的性能会有较大差异，直接影响叠层橡胶支座的物理性能和耐久性，同一支墩下有 2 个或多于 2 个的隔震支座时，必须采用由同一制造厂同一批次生产的隔震支座。

8.2.5 下预埋件定位前，宜在底板混凝土表面上预先标定所有预埋锚筋的准确位置，以便绑扎墩柱主筋时注意留出位置，避免安装预埋钢板时锚筋被支墩主筋阻挡的情况发生。考虑到混凝土浇筑、振捣时泵管、振捣棒对预埋件产生较大的影响，预埋连接件应与支墩主筋固定。下支墩主筋与预埋钢板的净距应满足相关规范的要求，下支墩浇筑混凝土前，应对该距离进行检查。

8.2.6 混凝土浇筑后预埋件标高、平整度和垂直度很难调整，因此在浇筑前，应复核预埋件及连接件标高、平整度和垂直度。下支墩混凝土浇筑过程中，严禁施工人员踩踏预埋板。为保证预埋钢板下混凝土的浇筑质量，《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 建议采用二次浇筑法。

8.2.7 隔震支座应在下支墩混凝土强度达到一定程度时进行支座安装，避免支座安装过程中损坏下支墩。采用机械设备吊装时，要注意保护隔震支座，避免划伤隔震支座保护胶。支墩（柱）顶面水平度参照《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360 规定的 3‰。

8.2.8 本条规定了支座相邻上部结构施工的基本要求。支座相邻上部结构的模板、混凝土工程施工和混凝土的振捣等可能导致支座发生变形，隔震层发生水平位移，对隔震建筑的施工及使用是不利的。因此，应对隔震层采取临时固定措施，不应发生水平位移。

8.2.9 穿越隔离缝的配管、配线应能够在结构发生位移时不发生破坏。选用的管线柔性连接接头应具有性能稳定、强度高、抗干扰性好、抗疲劳性好的特点，以确保在发生地震时，各管线及其柔性连接接头均能正常工作，避免发生次生灾害和丧失使用功能。

穿越隔震层的重要管道，如果柔性连接措施不到位，地震时发生破坏，将会造成介质泄露，引发火灾、爆炸等严重的次生灾害，后果严重，必须采用柔性接头或柔性

连接等可靠性较高的处理措施，保证地震时该类管道能够发挥正常使用功能。

具有足够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。

在罕遇地震下，建筑隔震的水平变形主要集中于隔震层，所以隔离缝的施工必须满足设计和规范的规定。隔离缝主要有以下几种：

1 隔震层以上结构与周围构、建筑物之间的缝隙，主要包括上部结构与其四周挡土墙之间、相邻建筑物之间形成的缝。

2 在隔震结构内部，主要指上部结构向下悬挂的构件与隔震支座以下结构之间形成的隔离缝，如下挂式电梯井外边缘与隔震沟内壁之间形成的缝。

水平隔离缝填充时，必须采用柔性材料，填充材料不能影响地震时隔震层的水平移动。工程实践中，门厅入口、楼梯扶手水平隔离缝填充时，必须采用柔性材料，填充材料不能影响地震时隔震层的水平移动。

工程实践中，门厅入口、楼梯扶手等细部措施容易忽略，地震时会导致破坏，影响人员疏散。

8.3 消能减震建筑施工要求

8.3.1 根据施工方法和主要工序，将消能部件分部工程的施工作业内容划分为二个阶段。

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、成品件或其他特殊定制成品（如消能器等）的进场验收。

消能部件中附加钢结构的制作，可划分为钢零件及钢组件的加工、钢构件组装、组装件的焊接连接、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、吊装就位、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后普通防腐涂料局部补充涂装、防火涂料等工序。

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、变形缝或空间单元等划分。

8.3.4 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，其外廓或接头多为钢制件，消能部件在主体结构中的安装精度要求较高，其精度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他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，对发现的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。

9. 建筑隔震和消能减震验收和维护要求

9.1 一般规定

9.1.1 由于建筑隔震工程牵涉到多个专业，在建筑隔震工程完工后，除质量负责人和现场施工项目负责人外，应组织建筑、结构、水、暖、电的设计人员一起进行验收。验收记录可参照《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 附录要求填写分部工程质量验收记录进行。

9.2 隔震建筑验收和维护要求

9.2.1 型式检验是对支座进行基本力学性能、耐久性、大变形能力等一系列的检验，是一个支座生产厂家是否具有生产合格橡胶隔震支座的标志，具有一定的通用性；而出厂检验，是对且仅对具体某个建筑隔震项目中所用隔震产品基本力学性能的检验，具有单一性，仅适用于该隔震项目。上述两种检查均需完全独立于支座生产厂家的具有检测资质的第三方检测机构完成。

一般情况下，建筑隔震支座从开始加荷到上部结构施工完成，其竖向变形不会大于 5mm，但对于某些特殊的建筑，因设计需要，支座竖向刚度较低，竖向总变形可能会超过 5mm，对此类情况，首先应查看支座是否有侧曲变形，如侧曲变形过大，宜马上更换；同时对过大竖向变形的支座宜进行长期观察，如 3~5 年，观察其竖向变形是否稳定。

保证隔震结构与周围固定结构的脱开，使隔震结构遭遇地震时保证隔震结构可以水平自由运动，起到减震的功效。

9.2.2 支座发生水平大变形时，支座竖向刚度会减少，同时由于倾覆弯矩的作用，隔震结构会发生小变形的竖向运动，为了避免周围固定结构对隔震结构的运动形成妨碍，隔震结构与周围固定结构之间应留有一定的竖向缝隙。

填充物只能采用柔性材料，一方面保证隔震结构平常使用时防鼠虫等爬入或砂尘、风雨飘入，另一方面保证地震时隔震结构可以自由运动。

管线采用柔性连接或设置多余长度，可以保证地震时隔震结构中水、电、气等设施仍可正常使用，可以保证类似指挥中心的建筑仍可以发挥正常功能。

参照日本隔震设计要求，层间隔震层或有防火要求的隔震层，对支座需设置防火包裹或专门对准隔震支座的灭火器具。

下检查口的设置主要方便隔震建筑维护时检查人员进入隔震层进行检查维护。

9.2.3 竣工检查需要详细记录支座竖向及水平变形情况，以及隔震建筑与周围固定结构之间所留空隙具体数值，为后面的检查作为参考。

9.3 消能减震建筑验收和维护要求

9.3.2 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，本条参考现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205，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。

9.3.5 鉴于消能减震技术的应用在我国尚处于发展阶段，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出现危险。

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，将消能部件的抽样检测作为检查方法之一。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。

9.3.6 消能部件正常维护中，定期目测检查的周期可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。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；黏滞消能器和粘弹性消能器在正常使用情况下一般五年或二次装修时除与消能减震装置支座或连接构件的水平变形和竖向变形应使用仪器测量外，其他项目均可通过目测方式进行检查。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、火灾及洪灾等灾害后），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。

9.3.10 本条根据美国《新建房屋抗震设计推荐性规范》FEMA368—2000 等文献整理而成。目前在消能减震技术及其装置设备的发展水平和条件下，指出了定期抽样检测的内容、目的和重要作用。

10.抗震支吊架

10.2 抗震支吊架计算

10.2.5 抗震支吊架构件所选节点大样的各构件标称负荷均不得低于该节点设计地震作用负荷。当抗震连接部件选定后，应绘制安装节点详图。详图包括：抗震节点图纸编号、抗震构件名称或编号、抗震构件数量等内容。

在选择抗震支吊架类型后，应根据抗震支吊架自身荷载进行抗震支撑节点验算，并调整抗震支吊架间距，直至各点均满足抗震荷载要求，验算公式参照按《建筑机电工程抗震设计规范》GB 50981 第 3.4 节相关规定。当 α_{Ek} 计算值小于 0.5 时，按 0.5 取值。如图纸变更必须有设计人员经过验算之后方可变更。具体验算步骤及内容如下：

1 逐点划分各抗震支吊架重力荷载范围，并计算建筑机电工程设施水平地震作用标准值 F 及建筑机电工程设施或构件内力组合设计值 S 。当计算干管侧向支吊架重力荷载时应将下一级支管同向重力荷载计算在内；

- 2 斜撑及抗震连接构件的强度验算；
- 3 吊杆的强度验算；
- 4 斜撑及吊杆的长细比验算；
- 5 各锚固体的强度验算，包括斜撑锚栓、吊杆锚栓等；
- 6 管束的强度验算。

10.3 抗震支吊架设计

10.3.1 每段水平直管道应在两端设置侧向抗震支吊架（图 10.3.2-1）。

10.3.2 当两个侧向抗震支吊架间距大于最大设计间距时，应在中间增设侧向抗震支吊架。例如：刚性连接金属管道长为 24m，侧向抗震支吊架最大间距 12m。首先于两端加设侧向支撑，再依次按 12m 设置侧向支撑（图 10.3.2-2）。

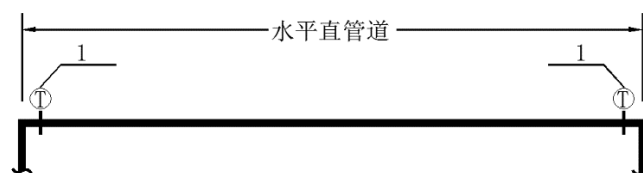


图 10.3.2-1 水平直管段抗震支吊架设置

1-抗震支吊架

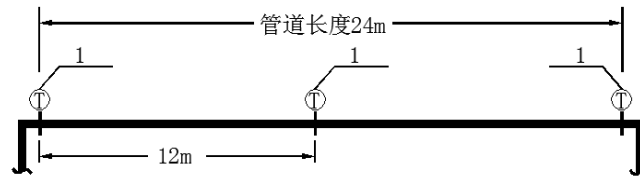


图 10.3.2-2 水平直管段中部增设抗震支吊架示意

1-抗震支吊架

10.3.3 每段水平直管道应至少设置一个纵向抗震支吊架，当两个纵向抗震支吊架距离大于最大设计间距时，应按本规范第 10.2.3 条要求间距依次增设纵向抗震支吊架。例如：刚性连接金属管道长为 36m，按最大 24m 的间距依次设置纵向支撑，直至所有支撑间距均满足要求（图 10.3.3）。

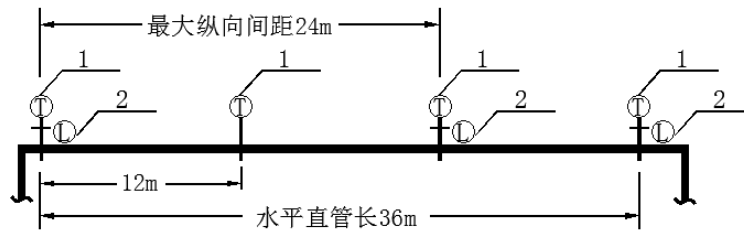


图 10.3.3 水平直管段纵向抗震支吊架设置示意

1-抗震支吊架；2-纵向抗震支吊架

10.3.5 刚性连接的水平管道，两个相邻的加固点间允许纵向偏移，水管及电线套管不得大于最大侧向支吊架间距的 1/16，风管、电缆梯架、电缆托盘和电缆槽盒不得大于其宽度的两倍（图 10.3.5）。

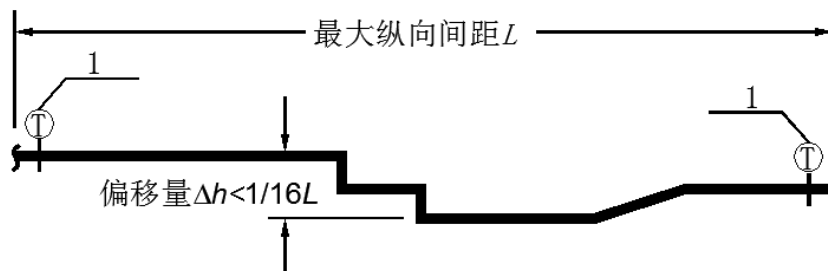


图 10.3.5 刚性连接水平管道纵向偏移示意

1-抗震支吊架

10.3.6 水平管线在转弯处 0.6m 范围内设置侧向抗震支吊架。若斜撑直接作用于管线，其可作为另一侧管线的纵向抗震支吊架（图 10.3.6）。例如：纵向抗震支吊架最大间距

24m，侧向抗震支吊架最大间距 12m ，则双向抗震支吊架距下一纵向抗震支吊架间距为： $\frac{24+12}{2}+0.6=18.6\text{m}$ 。

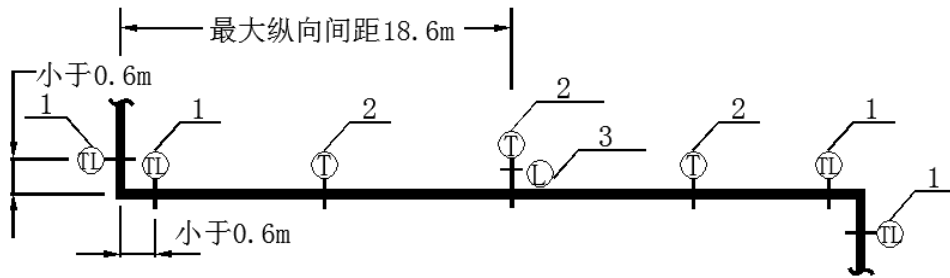


图 10.3.6 水平管线转弯时抗震支吊架设置示意

1-侧向抗震支吊架； 2-抗震支吊架； 3-纵向抗震支吊架

10.3.7 当水平管线通过垂直管线与地面设备连接时，管线与设备之间应采用柔性连接，水平管线距垂直管线 600mm 范围内设置侧向支撑，垂直管线底部距地面大于 0.15m 应设置抗震支撑（图 10.3.14）。

10.3.9 要求不得将抗震支吊架安装于非结构主体部位，如轻质墙体等。

10.3.14 当立管通过套管穿越结构楼层时，套管可限制立管在水平方向的位移，可作为水平方向的四向抗震支撑使用。管道中的附件如阀门等，当其质量大于 25kg 时，为保证系统的安全性，应设置侧向及纵向抗震支吊架。

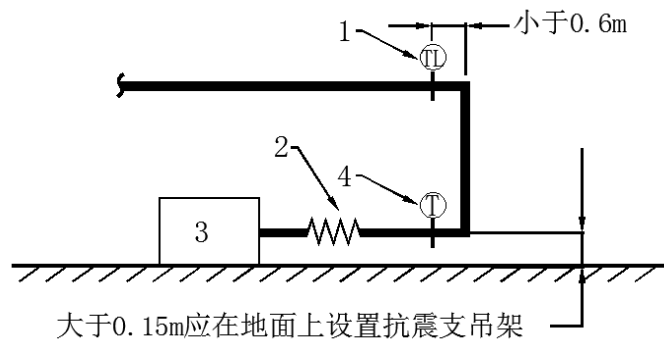


图 10.3.14 管线与设备连接时抗震支吊架设置示意

1-侧向抗震支吊架； 2-柔性连接； 3-地面设备； 4-抗震支吊架