



CECS-XXX-201X

中国工程建设协会标准

预制装配整体式模块化建筑隔震技术规程

Specification for Isolation Technique of prefabricated monolithic

modular building

(征求意见稿)

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2016 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字 [2016]038 号）的要求，由广州大学同有关单位组成编制组，经广泛调查研究，结合工程实践，认真总结经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程主要技术内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 地震作用与地震反应计算、5 隔震设计、6 隔震层部件技术性能、7 隔震层构造要求、8 隔震结构的施工维护、9 隔震结构的检测。

本规程由中国工程建设标准化协会负责管理，由广州大学负责日常管理，由广州大学和中南建筑设计院股份有限公司负责具体技术内容解释。本规程在执行过程中，如有需要修改和补充之处，请将有关意见和建议寄至广州大学（地址：广州市番禺区广州大学城广州大学工程实验南楼 507，邮编：510006），以供今后修订时参考。

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 1 总则..... | 1 |
| 2 术语和符号..... | 2 |
| 2.1 术语..... | 2 |
| 2.2 符号..... | 4 |
| 3 基本规定..... | 7 |
| 3.1 建筑抗震设防分类和设防标准..... | 7 |
| 3.2 地震影响..... | 7 |
| 3.3 场地和地基..... | 7 |
| 3.4 建筑形体及其构件布置的规则性..... | 8 |
| 3.5 结构分析..... | 10 |
| 3.6 非结构构件..... | 11 |
| 3.7 建筑物地震反应观测系统..... | 11 |
| 4 地震作用与地震反应计算..... | 12 |
| 4.1 一般规定..... | 12 |
| 4.2 地震作用..... | 14 |
| 4.3 水平地震作用..... | 20 |
| 4.4 竖向地震作用..... | 23 |
| 4.5 抗震变形验算..... | 24 |
| 5 隔震设计..... | 27 |
| 5.1 一般规定..... | 27 |
| 5.2 隔震层上部结构设计..... | 29 |
| 5.3 下部结构和地基基础设计..... | 30 |
| 5.4 截面抗震验算..... | 30 |
| 5.5 隔震设计要点..... | 32 |
| 6 隔震层部件技术性能..... | 38 |
| 6.1 一般规定..... | 38 |

| | |
|------------------------|----|
| 6.2 隔震支座的技术性能..... | 38 |
| 6.3 隔震支座连接部件技术性能..... | 39 |
| 7 隔震层构造要求..... | 40 |
| 7.1 一般规定..... | 40 |
| 7.2 隔震层的布置..... | 40 |
| 7.3 隔震层的构造..... | 40 |
| 7.4 隔震层的上部、下部结构构造..... | 41 |
| 8 隔震结构的施工维护..... | 42 |
| 8.1 结构材料一般规定..... | 42 |
| 8.2 隔震支座基本规定..... | 42 |
| 8.3 阻尼器基本规定..... | 46 |
| 8.4 柔性连接..... | 47 |
| 8.5 维护标识设置及要求..... | 47 |
| 9 隔震结构的检测..... | 49 |
| 9.1 一般规定..... | 49 |
| 9.2 支座安装..... | 49 |
| 9.3 阻尼器安装..... | 50 |
| 9.4 柔性连接..... | 51 |
| 9.5 隔震缝..... | 51 |
| 本标准规范用词说明..... | 52 |
| 引用标准名录..... | 53 |
| 条文说明..... | 54 |

Contents

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | General Provisions..... | 1 |
| 2 | Terms and Symbols..... | 2 |
| 2.1 | Terms..... | 2 |
| 2.2 | Symbols..... | 4 |
| 3 | General Requirements..... | 7 |
| 3.1 | Category and Criterion for Seismic..... | 7 |
| 3.2 | Earthquake Strong Motion..... | 7 |
| 3.3 | Site and Foundation..... | 7 |
| 3.4 | Regularity of Building Configuration and Structural Assembly..... | 8 |
| 3.5 | Structural Analysis..... | 10 |
| 3.6 | Nonstructural Component..... | 11 |
| 3.7 | Strong Motion Observation System of Building..... | 11 |
| 4 | Earthquake action and earthquake response calculation..... | 12 |
| 4.1 | General..... | 12 |
| 4.2 | Earthquake Action..... | 14 |
| 4.3 | Horizontal Earthquake Action..... | 20 |
| 4.4 | Vertical Earthquake Action..... | 23 |
| 4.5 | Checking for Deformation..... | 24 |
| 5 | Isolation Design..... | 27 |
| 5.1 | General..... | 27 |
| 5.2 | Upper Structure Design of Isolation Layer..... | 29 |
| 5.3 | Lower Structure and Foundation Design..... | 30 |
| 5.4 | Checking for Strength..... | 30 |
| 5.5 | Design Points of Isolation..... | 32 |
| 6 | Technical Performance of Isolation Layer..... | 38 |
| 6.1 | General..... | 38 |
| 6.2 | Technical Performance of Isolation Bearings..... | 38 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6.3 | Technical Performance of Connecting Parts of Isolation Bearings..... | 39 |
| 7 | Isolation Layer Construction Requirements..... | 40 |
| 7.1 | General..... | 40 |
| 7.2 | Isolation Layer Layout..... | 40 |
| 7.3 | Structure of the isolation layer..... | 40 |
| 7.4 | The Upper and Lower Structure of the Isolation Layer..... | 41 |
| 8 | Construction and Maintenance of Isolated Structure..... | 42 |
| 8.1 | General for structural materials..... | 42 |
| 8.2 | Basic Requirements of Isolation Bearings..... | 42 |
| 8.3 | Basic Damper..... | 46 |
| 8.4 | Flexible Connection..... | 47 |
| 8.5 | Maintain Identification Settings and Requirements..... | 47 |
| 9 | Detection of Isolated Structures..... | 49 |
| 9.1 | General..... | 49 |
| 9.2 | Bearing Installation..... | 49 |
| 9.3 | Damper Installation..... | 50 |
| 9.4 | Flexible Connection..... | 51 |
| 9.5 | Isolation Joint..... | 51 |
| | Explanation of Wording in This Specification..... | 52 |
| | List of Quoted Standards..... | 53 |
| | Addition: Explanation of Provisions..... | 54 |

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家有关建筑工程、防灾减灾的法律法规并实行以预防为主方针，使预制装配整体式模块化建筑经隔震设计后，减轻地震破坏，避免人员伤亡，减少经济损失，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为6~9度地区的预制装配整体式模块化建筑的隔震设计。预制装配整体式模块化建筑隔震宜采用一体化隔震技术。抗震设防烈度大于9度地区的预制装配整体式模块化建筑及有特殊要求的预制装配整体式模块化建筑，隔震设计应按有关专门规定执行。

1.0.3 抗震设防烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件确定。一般情况下，预制装配整体式模块化建筑的设防烈度应采用根据中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度。

1.0.4 预制装配整体式模块化建筑隔震设计，除应符合本规程要求外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 建筑模块 Building modular

在工厂预先制作的单个房间或具有一定功能的三维建筑空间单元。

2.1.2 预制装配整体式模块化建筑 Prefabricated monolithic modular building

由建筑模块通过可靠的连接方式装配而成的建（构）筑物。

2.1.3 预制装配整体式模块化结构 Prefabricated monolithic modular structure

由建筑模块通过钢筋、连接件或施加预应力加以连接，并在连接部位形成整体受力的装配整体式结构。

2.1.4 隔震构造 Details of Isolation design

按隔震设计原则，对结构和非结构部分需采取的各种细部构造和要求，一般可不进行计算。

2.1.5 抗震设防烈度 Seismic precautionary intensity

按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况，取 50 年内超越概率 10% 的地震烈度。

2.1.6 抗震设防标准 Seismic precautionary criterion

衡量抗震设防要求高低的尺度，由抗震设防烈度或设计地震动参数及建筑抗震设防类别确定。

2.1.7 地震动参数区划图 Seismic ground motion parameter zonation map

以地震动参数(以加速度表示地震作用强弱程度)为指标，将全国划分为不同抗震设防要求区域的图件。

2.1.8 地震作用 Earthquake action

由地震动引起的结构动态作用，包括水平地震作用和竖向地震作用。

2.1.9 设计地震动参数 Design parameters of ground motion

抗震设计用的地震加速度(速度、位移)时程曲线、加速度、反应谱和峰值加速度。

2.1.10 设计基本地震加速度 Design basic acceleration of ground motion

50 年设计基准期超越概率 10% 的地震加速度的设计取值。

2.1.11 设计特征周期 Design characteristic period of ground motion

抗震设计用的地震影响系数曲线中，反映地震震级、震中距和场地类别等因素的下降段起始点对应的周期值，简称特征周期。

2.1.12 场地 Site

工程群体所在地，具有相似的反应谱特征。其范围相当于厂区、居民小区和自然村或不小于 1.0km² 的平面面积。

2.1.13 建筑抗震概念设计 Seismic concept design of buildings

根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想，进行建筑和结构总体布置并确定细部构造的过程。

2.1.14 抗震措施 Seismic measures

除地震作用计算和抗力计算以外的抗震设计内容，包括抗震构造措施。

2.1.15 抗震构造措施 Details of seismic design

根据抗震概念设计原则，一般不需计算而对结构和非结构各部分必须采取的各种细部要求。

2.1.16 建筑隔震工程 Building isolation engineering

在建筑物的基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由建筑隔震橡胶支座（包括连接件）和黏滞阻尼器（包括连接件）等部件形成隔震层，把上部结构和下部基础（结构）隔震，以此消耗地震能量，避免或减少地震能量向上部传输，更有效地保障上部结构安全的工程措施。

2.1.17 建筑隔震橡胶支座 Elastomeric seismic-protection isolation of buildings

由多层薄钢板和橡胶相互叠置，经过专门硫化工艺粘合而成，起隔震作用的厚橡胶制品。简称支座。

2.1.18 黏滞阻尼器 Viscous fluid damper

以黏滞材料为阻尼介质的速度相关型阻尼器，一般由缸体、活塞、阻尼通道、阻尼材料、导杆和密封材料等部分组成。简称阻尼器。

2.1.19 隔震层 Isolation layer

建筑隔震工程中安装支座及阻尼器的部位与相关构件，通常包括支座及连接件、阻尼器及连接件、支座上梁板体系及其下支墩（柱）构件等。

2.1.20 隔震缝 Isolation seam

隔震层相关部位预留的变形缝，在地震时，允许上部结构能够自由水平运动，缝宽需满足设计要求的相关水平位移。

2.1.21 柔性连接 Flexible connection

为使地震时不阻碍隔震层的水平位移，对穿过隔震层的设备管线、管道采用柔性接头、柔性连接段等处理措施。

2.1.22 隔震装置 Isolation device

安装在隔震层的支座及连接件、阻尼器及连接件和柔性连接的设备管线、管道等。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

F_{EK} 、 F_{EVK} —结构总水平、竖向地震作用标准值

G_E 、 G_{eq} —地震时结构(构件)的重力荷载代表值、等效总重力荷载代表值;

ω_K —风荷载标准值;

S_E —地震作用效应(弯矩、轴向力、剪力、应力和变形);

S —地震作用效应与其他荷载效应的基本组合;

S_K —作用、荷载标准值的效应;

M —弯矩;

N —轴向压力;

V —剪力;

p —基础底面压力;

u —侧移;

θ —楼层位移角

2.2.2 材料性能和抗力

K —结构(构件)的刚度;

R —结构构件承载力;

f 、 f_k 、 f_E —各种材料强度(含地基承载力)设计值、标准值和抗震设计值;

$[\theta]$ —楼层位移角限值。

2.2.3 几何参数

A —构件截面面积;

A_s —钢筋截面面积;

B —结构总宽度;

H —结构总高度、柱高度;

L —结构(单元)总长度;

a —距离;

a_s 、 a'_s —纵向受拉、受压钢筋合力点至截面边缘的最小距离;

b —构件截面宽度;

d —土层深度或厚度, 钢筋直径;

h —构件截面高度;

l —构件长度或跨度;

t —抗震墙厚度、楼板厚度。

2.2.4 计算系数

α —水平地震影响系数;

α_{\max} —水平地震影响系数最大值;

α_{vmax} —竖向地震影响系数最大值;

γ_G 、 γ_E 、 γ_W —作用分项系数;

γ_{RE} —承载力抗震调整系数;

ζ —计算系数;

η —地震作用效应(内力和变形)的增大或调整系数;

λ —构件长细比，比例系数；

ξ_y —结构(构件)屈服强度系数；

ρ —配筋率，比率；

ϕ —构件受压稳定系数；

ψ —组合值系数，影响系数。

2.2.5 其他

T —结构自振周期；

N —贯入锤击数；

I_{1E} —地震时地基的液化指数；

X_{ji} —位移振型坐标(j 振型 2 质点的 x 方向相对位移)；

Y_{ji} —位移振型坐标(j 振型 1 质点的 y 方向相对位移)；

n —总数，如楼层数、质点数、钢筋根数、跨数等；

v_{se} —土层等效剪切波速；

ϕ_{ji} —转角振型坐标(j 振型 i 质点的转角方向相对位移)。

3 基本规定

3.1 建筑抗震设防分类和设防标准

3.1.1 抗震设防的所有建筑应按现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 确定其抗震设防类别及其抗震设防标准。

3.1.2 抗震设防烈度为 6 度时，除本规范有具体规定外，对乙、丙、丁类的建筑可不进行地震作用计算。

3.2 地震影响

3.2.1 建筑所在地区遭受的地震影响，应采用相应于抗震设防烈度的设计基本地震加速度和特征周期表征。

3.2.2 抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系，应符合下表的规定。设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的建筑，除本规范另有规定外，应分别按抗震设防烈度 7 度和 8 度的要求进行抗震设计。

表 3.2.2 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

| 抗震设防烈度 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|-------|---------------|---------------|-------|
| 设计基本地震加速度值 | 0.05g | 0.10 (0.15) g | 0.20 (0.30) g | 0.40g |

注：g 为重力加速度

3.2.3 地震影响的特征周期应根据建筑所在地的设计地震分组和场地类别确定。本规程的设计地震共分为三组，其特征周期按有关规范规定采用。

3.2.4 我国主要城镇（县级及县级以上城镇）中心地区的抗震设防烈度、设计基本地震加速度值和所属的设计地震分组。

3.3 场地和地基

3.3.1 选择建筑场地时，应根据工程需要和地震活动情况、工程地质和地震地质的有关资料，对抗震有利、一般、不利和危险地段做出综合评价。对不利地段，应提出避开要求；当无法避开时应采取有效的措施。对危险地段，严禁建造甲、

乙类的建筑，不应建造丙类的建筑。

3.3.2 建筑场地为 I 类时，对甲、乙类的建筑应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施；对丙类的建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施，但抗震设防烈度为 6 度时仍应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

3.3.3 建筑场地为 III、IV 类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，除另有规定外，宜分别按抗震设防烈度 8 度(0.20g)和 9 度(0.40g)时各抗震设防类别建筑的要求采取抗震构造措施。

注：抗震构造措施按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和本规程有关规定执行。

3.3.4 地基和基础设计应符合下列要求：

- 1 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。
- 2 同一结构单元不宜部分采用天然地基部分采用桩基；当采用不同基础类型或基础埋深显著不同时，应根据地震时两部分地基基础的沉降差异，在基础、上部结构的相关部位采取相应措施。
- 3 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。

3.3.5 山区建筑的场地和地基基础应符合下列要求：

- 1 山区建筑场地勘察应有边坡稳定性评价和防治方案建议；应根据地质、地形条件和使用要求，因地制宜设置符合抗震设防要求的边坡工程。
- 2 边坡设计应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的要求；其稳定性验算时，有关的摩擦角应按设防烈度的高低相应修正。
- 3 边坡附近的建筑基础应进行抗震稳定性设计。建筑基础与土质、强风化岩质边坡的边缘应留有足够的距离，其值应根据设防烈度的高低确定，并采取措施避免地震时地基基础破坏。

3.4 建筑形体及其构件布置的规则性

3.4.1 建筑设计应根据抗震概念设计的要求明确建筑形体的规则性。不规则的建筑应按规定采取加强措施；特别不规则的建筑应进行专门研究和论证，采取特别的加强措施；严重不规则的建筑不应采用。

3.4.2 建筑设计应重视其平面、立面和竖向剖面的规则性对抗震性能及经济合理性的影响，宜择优选用规则的形体，其抗侧力构件的平面布置宜规则对称、侧向刚度沿竖向宜均匀变化、竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自下而上逐渐减小、避免侧向刚度和承载力突变。不规则建筑的抗震设计应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

3.4.3 建筑形体及其构件布置不规则时，应按下列要求进行地震作用计算和内力调整，并应对薄弱部位采取有效的抗震构造措施：

1 平面不规则而竖向规则的建筑，应采用空间结构计算模型，并应符合下列要求：

1) 扭转不规则时，应计入扭转影响，且楼层竖向构件最大的弹性水平位移和层间位移分别不宜大于楼层两端弹性水平位移和层间位移平均值的 1.5 倍，当最大层间位移远小于规范限值时，可适当放宽；

2) 凹凸不规则或楼板局部不连续时，应采用符合楼板平面内实际刚度变化的计算模型；高烈度或不规则程度较大时，宜计入楼板局部变形的影响；

3) 平面不对称且凹凸不规则或局部不连续，可根据实际情况分块计算扭转位移比，对扭转较大的部位应采用局部的内力增大系数。

2 平面规则而竖向不规则的建筑，应采用空间结构计算模型，刚度小的楼层的地震剪力应乘以不小于 1.15 的增大系数，其薄弱层应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定进行弹塑性变形分析，并应符合下列要求：

1) 竖向抗侧力构件不连续时，该构件传递给水平转换构件的地震内力应根据烈度高低和水平转换构件的类型、受力情况、几何尺寸等，乘以 1.25—2.0 的增大系数；

2) 侧向刚度不规则时，相邻层的侧向刚度比应依据其结构类型符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；

3) 楼层承载力突变时，薄弱层抗侧力结构的受剪承载力不应小于相邻上一楼层的 65%。

3 平面不规则且竖向不规则的建筑，应根据不规则类型的数量和程度，有针对性地采取不低于本条 1、2 款要求的各项抗震措施。特别不规则的建筑，应

经专门研究，采取更有效的加强措施或对薄弱部位采用相应的抗震性能化设计方法。

3.4.4 体型复杂、平立面不规则的建筑，应根据不规则程度、地基基础条件和技术经济等因素的比较分析，确定是否设置防震缝，并分别符合下列要求：

1 当不设置防震缝时，应采用符合实际的计算模型，分析判明其应力集中、变形集中或地震扭转效应等导致的易损部位，采取相应的加强措施。

2 当在适当部位设置防震缝时，宜形成多个较规则的抗侧力结构单元。防震缝应根据抗震设防烈度、结构材料种类、结构类型、结构单元的高度和高差以及可能的地震扭转效应的情况，留有足够的宽度，其两侧的上部结构应完全分开。

3 当设置伸缩缝和沉降缝时，其宽度应符合防震缝的要求。

3.5 结构分析

3.5.1 除本规程特别规定外，建筑结构应进行多遇地震作用下的内力和变形分析，此时，可假定结构与构件处于弹性工作状态，内力和变形分析可采用线性静力方法或线性动力方法。

3.5.2 不规则且具有明显薄弱部位可能导致重大地震破坏的建筑结构，应按本规程有关规定进行罕遇地震作用下的弹塑性变形分析。此时，可根据结构特点采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法。

3.5.3 当结构在地震作用下的重力附加弯矩大于初始弯矩的 10%时，应计入重力二阶效应的影响。

注：重力附加弯矩指任一楼层以上全部重力荷载与该楼层地震平均层间位移的乘积；初始弯矩指该楼层地震剪力与楼层层高的乘积。

3.5.4 结构抗震分析时，应按照楼、屋盖的平面形状和平面内变形情况确定为刚性、分块刚性、半刚性、局部弹性和柔性等的横隔板，再按抗侧力系统的布置确定抗侧力构件间的共同工作并进行各构件间的地震内力分析。

3.5.5 质量和侧向刚度分布接近对称且楼、屋盖可视为刚性横隔板的结构，以及本规范有关章节有具体规定的结构，可采用平面结构模型进行抗震分析。其他情况，应采用空间结构模型进行抗震分析。

3.5.6 利用计算机进行结构抗震分析，应符合下列要求：

- 1 计算模型的建立、必要的简化计算与处理，应符合结构的实际工作状况，计算中应考虑楼梯构件的影响。
- 2 计算机软件的技术条件应符合本规程（是否有相关规定）及有关标准的规定，并应阐明其特殊处理的内容和依据。
- 3 复杂结构在多遇地震作用下的内力和变形分析时，应采用不少于两个合适的不同力学模型，并对其计算结果进行分析比较。
- 4 所有计算机计算结果，应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

3.6 非结构构件

3.6.1 非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计。

3.6.2 非结构构件的抗震设计，应由相关专业人员分别负责进行。

3.6.3 附着于楼、屋面结构上的非结构构件，以及楼梯间的非承重墙体，应与主体结构有可靠的连接或锚固，避免地震时倒塌伤人或砸坏重要设备。

3.6.4 围护墙和隔墙，应估计其设置对结构抗震的不利影响，避免不合理设置而导致主体结构的破坏。

3.6.5 幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人。

3.6.6 安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接，应符合地震时使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏。

3.7 建筑物地震反应观测系统

3.7.1 抗震设防烈度为 7、8、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的大型公共建筑，应按规定设置建筑结构的抗震反应观测系统，建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。

4 地震作用与地震反应计算

4.1 一般规定

4.1.1 按本规程进行隔震设计与施工的预制装配整体式模块化建筑，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震时应不损坏，且不影响使用功能；当遭受本地区设防烈度的地震时，应使产生非结构性损坏或轻微的结构损坏，一般不需修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的预估的罕遇地震时，应不致发生危及生命的破坏和丧失使用功能。

4.1.2 隔震设计主要应用于使用功能有特殊要求及抗震设防烈度为6~9度的预制装配整体式模块化建筑。本章适用于采用叠层橡胶支座（以下简称隔震支座）隔震的各类预制装配整体式模块化建筑的设计。预制装配整体式模块化建筑采用的隔震方案，宜符合下列要求：

- 1 非隔震时，结构基本周期小于 1.0s。
- 2 体型基本规则，且抗震计算可采用《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的底部剪力法的结构。
- 3 建筑场地宜为 I、II、III类，并应选用稳定性较好的基础类型。
- 4 风荷载和其它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的 10%。
- 5 隔震层宜设置在结构第一层以下的部位，应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其它有效措施，以适应隔震层在罕遇地震下的水平位移。

当不满足上述要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施。

体型复杂或有特殊要求的结构采用隔震方案时，宜通过模型试验后确定。

4.1.3 预制装配整体式模块化建筑的隔震设计应根据预期的水平向减震系数和位移控制要求，选择适当的隔震支座（含阻尼器）及为抵抗地基微振动与风荷载而提供初刚度的部件组成的结构隔震层。

隔震支座应进行竖向承载力的验算和罕遇地震下水平位移的验算：其水平刚度、竖向刚度、阻尼、荷载-位移关系等特性应根据本规程有关隔震层部件的技术性能和构造要求的规定经试验确定。

4.1.4 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑两个方向的基本周期相差不宜超过较小值的 30%。

4.1.5 隔震预制装配整体式模块化建筑可根据不同的结构类型，按下列原则调整对应非隔震结构的地震作用计算、抗震验算和抗震措施：

1 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。

2 竖向地震作用计算和抗震验算，凡本章未明确规定者，仍采用本地区设防烈度。

3 丙类建筑中隔震层以上结构的抗震措施，当水平向减震系数为 0.75 时不应降低非隔震时的有关要求；水平向减震系数不大于 0.50 时，可适当降低非隔震时的要求，但与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

4 下部结构的地震作用计算、抗震验算和抗震措施，应满足本规程第 4.6.1~4.6.5 条的相关要求。

4.1.6 计算隔震结构水平地震作用时，水平向减震系数可按下列原则确定：

1 在一般情况下，水平向减震系数应通过隔震预制装配整体式模块化建筑结构和非隔震预制装配整体式模块化建筑结构在多遇地震作用下各层最大层间剪力的比值确定。当隔震结构各层最大层间剪力与非隔震结构对应层最大层间剪力的比值中的最大值不大于表 4.1.6 中数值时，可按表确定相应水平向减震系数；水平向减震系数的取值不应低于 0.25。

表 4.1.6 确定水平向减震系数的比值划分

| | | | | |
|---------|------|------|------|------|
| 层间剪力比值 | 0.53 | 0.35 | 0.26 | 0.18 |
| 水平向减震系数 | 0.75 | 0.50 | 0.38 | 0.25 |

2 预制装配整体式模块化建筑结构的水平向减震系数，可根据隔震体系的基本周期，按下式确定：

$$\psi = \sqrt{2}\eta_2 (T_g / T_1)^\gamma (T_0 / T_g)^{0.9} \quad (4.1.6-1)$$

式中： ψ ——水平向减震系数；

η_2 ——水平地震影响系数的阻尼调整系数，按本规程第 4.2.8 条确定；

γ ——地震影响系数曲线下降段衰减指数，可按本规程第 4.2.7 条确定；

T_g ——场地相关设计反应谱特征周期，当小于 0.4s 时按 0.4s 采用；

T_0 ——非隔震结构的计算周期，当小于特征周期时应采用特征周期的数值；

T_1 ——隔震体系的基本周期，不应大于 5 倍特征周期值。

3 预制装配整体式模块化建筑结构的隔震体系基本周期可按下式计算：

$$T_1 = 2\pi\sqrt{G/Kg} \quad (4.1.6-2)$$

式中： G ——上部结构总重力代表值；

K ——隔震层水平有效刚度，可按本规程第 4.3.1 条确定；

g ——重力加速度。

4.1.7 隔震层以上的首层梁板应作为预制装配整体式模块化建筑的上部结构构件参与结构分析。

4.1.8 隔震预制装配整体式模块化建筑的地基基础设计和抗震措施，应符合本地区设防烈度的要求。当在设防烈度下非隔震预制装配整体式模块化建筑符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的地基和基础不进行抗震验算的范围时，隔震预制装配整体式模块化建筑的地基和基础也可不进行验算。

4.1.9 体型基本规则的预制装配整体式模块化建筑采用隔震设计时可不设置防震缝。体型复杂的预制装配整体式模块化建筑不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

4.1.10 隔震预制装配整体式模块化建筑仅在上部结构首层以上设置伸缩缝时，缝的宽度应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 对防震缝宽度的要求。

4.1.11 隔震预制装配整体式模块化建筑上部结构与其他房屋或结构相邻时应设置隔离缝，缝宽不宜小于罕遇地震下隔震层水平位移值的 1.2 倍。

4.2 地震作用

4.2.1 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑应根据不同情况，分别采用下列地震作用计算方法：

1 层数较少、高度较低、质量和刚度分布比较均匀、结构地震反应以第一振型为主、场地相关反应谱特征周期较小的预制装配整体式模块化建筑可采用等效侧力法计算，计算方法按本规程第 4.3 节确定；隔震体系的计算简图，应增加由隔震支座及其顶部梁板组成的质点（如图 4.2.1）；隔震层顶部的梁板结构，应作为其上部结构的一部分进行计算和设计。

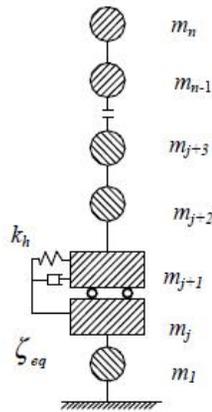


图 4.2.1 隔震结构计算简图

2 一般情况下，宜采用时程分析法进行计算，地震作用可按本节第 4.2.2 条～第 4.2.4 条计算。

3 计算罕遇地震下结构的变形，应按本规程第 4.8 节规定，采用简化的弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法。

4 平面投影尺度很大的空间预制装配整体式模块化建筑结构，应根据结构形式和支承条件，分别按单点一致、多点、多向单点或多向多点输入进行抗震计算。按多点输入计算时，应考虑地震行波效应和局部场地效应。6 度和 7 度 I、II 类场地的支承结构、上部结构和基础的抗震验算可采用简化方法，根据结构跨度、长度不同，其短边构件可乘以附加地震作用效应系数 1.15～1.30；7 度 III、IV 类场地和 8、9 度时，应采用时程分析方法进行抗震验算。

当隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心不重合时，应计入扭转效应的影响，扭转影响系数可按本规程第 4.3.3 条计算。

4.2.2 当采用时程分析时，选用的地震波应满足下列要求：

1 对甲、乙类预制装配整体式模块化建筑结构应选用符合工程地震和场地特性的人工模拟地震加速度时程曲线及实际强震记录的地震波。数量不宜少于 4 条，其中至少有 1 条人工模拟地震加速度时程曲线。

2 对其它类预制装配整体式模块化建筑，应选用符合工程地震和场地特性的人工模拟地震加速度时程曲线及实际强震记录的地震波。数量不宜少于 3 条，其中至少有 1 条人工模拟地震加速度时程曲线。

3 所选地震波的平均地震影响系数曲线应与图 4.2.7 给定的地震影响系数曲线在统计意义上相符。

4 地震加速度时程的最大值可按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 时程分析所用地震加速度时程的最大值 (cm/s²)

| 设防烈度 | 6 度 | 7 度 | 8 度 | 9 度 |
|------|-----|-----------|-----------|-----|
| 多遇地震 | 18 | 35 (55) | 70 (110) | 140 |
| 设防地震 | 50 | 100 (150) | 200 (300) | 400 |
| 罕遇地震 | 125 | 220 (310) | 400 (510) | 620 |

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

4.2.3 当采用时程分析法时，计算模型的确定应满足下列条件：

1 对甲、乙类预制装配整体式模块化建筑结构，隔震体系的计算模型宜考虑结构杆件的空间分布、隔震支座的位置、隔震房屋的质量偏心、在两个水平方向的平移和扭转、隔震层的非线性阻尼特性以及荷载-位移关系特性，并有不少两个不同力学模型的计算结果进行比较分析。

2 对一般预制装配整体式模块化建筑，可采用层间剪切模型，考虑隔震层的有效刚度和有效阻尼比。

3 隔震预制装配整体式模块化建筑上部结构和下部结构的荷载-位移关系特性可采用线弹性模型。

4.2.3 当采用多条地震波进行时程分析时，计算结果宜取平均值。当处于发震断层 10km 以内，且输入地震波未计入近场影响时，对甲、乙类建筑，计算结果尚应乘以近场影响系数：5km 以内取 1.5，5km 以外取 1.25。

4.2.4 平面不规则预制装配整体式模块化建筑的隔震层水平位移可采用时程分析法进行二维分析计算，隔震层水平位移为考虑偏心的最大位移。

4.2.5 计算地震作用时，采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑的重力荷载代表值应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数，应按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 可变荷载组合值系数

| 可变荷载类别 | | 组合值系数 |
|---------------------|---------|-------|
| 雪荷载 | | 0.5 |
| 屋面积灰荷载 | | 0.5 |
| 屋面活荷载 | | 不计入 |
| 按实际情况计算的楼面活荷载 | | 1.0 |
| 按等效均布荷载计算的 楼面活荷载 | 藏书库、档案馆 | 0.8 |
| | 一般民用建筑 | 0.5 |
| 起重机悬吊物重力 | 硬钩吊车 | 0.3 |
| | 软钩吊车 | 不计入 |

注：硬钩吊车的吊重较大时，组合值系数应按实际情况采用。

4.2.6 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分組和结构自振周期以及阻尼比确定，其水平地震影响系数最大值应按表 4.2.6-1 采用；特征周期应根据场地类别和设计地震分組按表 4.2.6-2 采用，计算罕遇地震作用时，特征周期应增加 0.05s。

注：周期大于 6.0s 的预制装配整体式模块化建筑所采用的地震影响系数应专门研究。

表 4.2.6-1 水平地震影响系数最大值 α_{max} 及设计基本地震加速度值

| 设防烈度 | | 6 度 | 7 度 | 8 度 | 9 度 |
|------------|------|-------|--------------|-------------|-------|
| 地震影响 | 多遇地震 | 0.04 | 0.08 (0.12) | 0.16 (0.24) | 0.32 |
| | 设防地震 | 0.12 | 0.23 (0.34) | 0.45 (0.68) | 0.90 |
| | 罕遇地震 | 0.28 | 0.50 (0.72) | 0.90 (1.20) | 1.40 |
| 设计基本地震加速度值 | | 0.05g | 0.10g(0.15g) | 0.20(0.30g) | 0.40g |

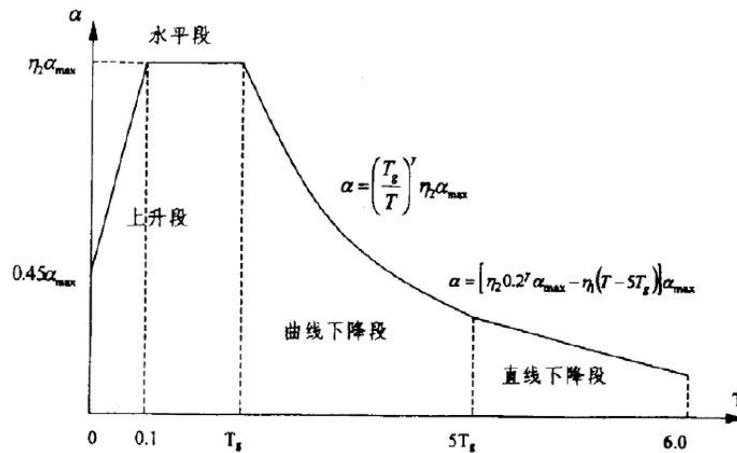
注：括号内数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。

表 4.2.6-2 特征周期值 T_g (s)

| 设计地震分組 | 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 |

4.2.7 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑地震影响系数曲线（图 4.2.7）的阻尼调整和形状参数应符合下列要求：

1 结构阻尼比为 0.05 时的地震影响系数，应根据烈度、场地类别、特征周期分区和结构自振周期按图 4.2.7 采用，其最大值按第 4.2.6 条的规定确定。场地相关反应谱特征周期 T ，根据场地类别和特征周期分区按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定确定。隔震结构的自振周期 T 可采用与隔震结构相应的计算模型经计算确定。



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

图 4.2.7 地震影响系数曲线

2 当结构阻尼比按有关规定不等于 0.05 时，水平地震影响系数曲线仍按图 4.2.7 确定，其中的形状参数应按下列规定调整：

1) 曲线下降段的衰减指数应按下列式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (4.2.7-1)$$

式中： γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——阻尼比。

2) 直线下降段的下降斜率调整系数应按下列式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \quad (4.2.7-2)$$

式中： η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，小于 0 时取 0。

4.2.8 计算隔震预制装配整体式模块化建筑地震作用时，应符合下列规定：

1 结构阻尼比为 0.05 时，房屋结构的水平地震影响系数最大值应按表 4.2.6-1 采用。

2 阻尼比不等于 0.05 时，表 4.2.6-1 中的数值应乘以下列阻尼调整系数：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \quad (4.2.8)$$

式中： η_2 ——阻尼调整系数，当 η_2 小于 0.55 时，应取 0.55。

3 相应于设防烈度的设计基本地震加速值，应按表 4.2.6-1 采用。

4.2.9 隔震层以上预制装配整体式模块化建筑结构的抗震作用计算，应符合下列规定：

1 对多层结构，水平地震作用沿高度可按重力荷载代表值分布。

2 隔震后水平地震作用计算的抗震影响系数可按本规程第 4.2.6 条～第 4.2.8 条确定。其中，抗震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{\max 1} = \psi \alpha_{\max} / \beta \quad (4.2.9)$$

式中： $\alpha_{\max 1}$ ——隔震后的抗震影响系数最大值；

α_{\max} ——非隔震的抗震影响系数最大值，按本规程第 4.2.6 条采用；

ψ ——水平向减震系数；对于多层预制装配整体式模块化建筑，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。对高层预制装配整体式模块化建筑，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；

β ——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，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《建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 确定。

3 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，并进行抗震验算；各楼层的水平地震剪力应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011第5.2.5条对本地区设防烈度的最小地震剪力系数的规定。

4 8度时和9度且水平向减震系数不大于0.3时，隔震层以上的结构应进行竖向地震作用的计算。隔震层以上结构竖向地震作用标准值计算时，各楼层可视为质点，并按本规程公式(4.4.1-4)计算竖向地震作用标准值沿高度的分布。

4.3 水平地震作用

4.3.1 采用等效侧力法时，隔震预制装配整体式模块化建筑上部结构的地震作用标准值及其分布按下列规定计算（图4.2.1）：

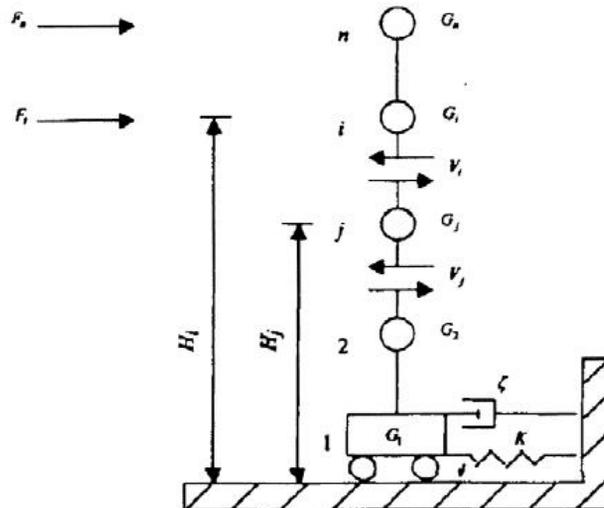


图 4.2.1 隔震结构水平地震作用计算简图

1 结构总水平地震作用标准值应按下列公式计算：

$$F_{ek} = \alpha_1 G_{ek} \quad (4.3.1-1)$$

式中： F_{ek} ——结构总水平地震作用标准值；

α_1 ——相应于隔震预制装配整体式模块化建筑基本自振周期的水平地震影响系数，根据烈度、特征周期分区、场地类别和结构基本自振周期按第4.2.3～4.2.5条计算确定；

G_{ek} ——上部结构总重力代表值，等于集中于各质点重力代表值之和。集中于各质点的重力代表值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的

规定计算。

2 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑，质点 i （或第 i 层）的水平地震标准值可按下式计算：

$$F_{ik} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{ek} \quad (4.3.1-2)$$

式中： F_{ik} ——质点 i 的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——分别为集中于质点 i 、 j 的重力荷载代表值，应按本规程第 4.2.6 条确定；

H_i 、 H_j ——分别为质点 i 、 j 的计算高度；

3 隔震层的水平有效刚度和有效阻尼比可按下式计算：

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad (4.3.1-3)$$

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \zeta_i}{K} \quad (4.3.1-4)$$

式中： K ——隔震层水平有效刚度，为隔震层所有隔震支座、阻尼装置的有效刚度之和；

K_i 、 ζ_i ——单个隔震支座或阻尼装置的有效刚度和有效阻尼；

ζ ——隔震层的有效阻尼比。

4.3.2 采用等效侧力法时，预制装配整体式模块化建筑层间剪力应按下式计算：

$$V_{ik} = \sum_{j=i}^n F_{jk} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.3.2)$$

式中： V_{ik} ——层间剪力标准值；

F_{jk} ——作用于质点 j 的水平地震作用标准值。

4.3.3 采用等效侧力法时，隔震层水平位移可按下列规定计算：

1 隔震层的水平位移可按下式计算：

$$u = \lambda_s \frac{F_{ek}}{K} \quad (4.3.3-1)$$

式中： u ——隔震层水平位移；

λ_s ——近场系数。甲、乙类预制装配整体式模块化建筑距发震断层不大于 5km 时 λ_s 取 1.5；5~10km 时取 1.25；大于 10km 时取 1.0。丙类预制装配整体式模块化建筑可取 1.0。

2 仅考虑单向地震作用的扭转影响时，第 i 个隔震支座或阻尼装置的水平位移宜乘以下列修正系数：

$$\beta_i = 1 + 12er_i / (b^2 + l^2) \quad (4.3.3-2)$$

式中： β_i ——考虑扭转影响的水平位移修正系数；

e ——上部结构质量中心与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的偏心距，取实际偏心和偶然偏心之和。实际偏心按静偏心距计算，偶然偏心可取结构物垂直于地震作用方向的边长的 0.05 倍；

r_i ——第 i 个隔震支座或隔震装置与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的距离；

b 、 l ——结构平面的短边、长边尺寸。

当采取有效的抗扭措施或扭转周期小于平动周期的 70% 时， β_i 可取 1.15。

3 同时考虑双向地震作用的扭转时，扭转影响系数可仍按式(4.3.3-2)计算，但其中的偏心距值 e 应采用下列公式中的较大值替代：

$$e = \sqrt{e_x^2 + (0.85e_y)^2} \quad (4.3.3-3)$$

或

$$e = \sqrt{e_y^2 + (0.85e_x)^2} \quad (4.3.3-4)$$

式中： e_x ——仅考虑 x 向水平地震作用时的扭转效应，按式(4.3.3-3)计算；

e_y ——仅考虑 y 向水平地震作用时的扭转效应，按式(4.3.3-4)计算；

4.4 竖向地震作用

4.4.1 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑竖向地震作用可采用时程分析法或振型分解反应谱法计算；9度时的高层预制装配整体式模块化建筑可按下列规定计算（图 4.4.1）：

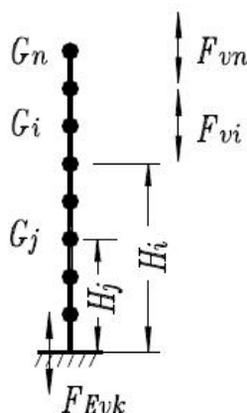


图 4.4.1 结构竖向地震作用计算简图

1 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构竖向地震作用标准值可按下列公式计算：

$$F_{Evk} = \alpha_{v\max} G_{eq} \quad (4.4.1-1)$$

$$G_{eq} = 0.75G_E \quad (4.4.1-2)$$

$$\alpha_{v\max} = 0.65\alpha_{\max} \quad (4.4.1-3)$$

式中： F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值；

$\alpha_{v\max}$ ——竖向地震影响系数的最大值，可取水平地震影响系数最大值的 65%；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载代表值，可取其重力荷载代表值的 75%；

G_E ——计算竖向地震作用时，结构总重力荷载代表值，应取各质点重力荷载代表值之和。

2 质点 i 的竖向地震作用标准值可按下列公式计算：

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{Evk} \quad (4.4.1-4)$$

式中： F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——分别为集中于质点 i 、 j 重力荷载代表值；

H_i 、 H_j ——分别为质点 i 、 j 的计算高度。

3 隔震层以上预制装配整体式模块化建筑楼层各构件的竖向地震作用效应可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，并宜乘以增大系数 1.5。

4.4.2 跨度、长度小于本规程第 4.2.1 条第 4 款规定且规则的装配式平板型网架屋盖和跨度大于 24m 的装配式混凝土屋架、屋盖横梁及托架的竖向地震作用标准值，宜取其重力荷载代表值和竖向地震作用系数的乘积；竖向地震作用系数可按采用表 4.4.2。

表 4.4.2 竖向地震作用系数

| 结构类型 | 烈度 | 场地类别 | | |
|------------------|----|-------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III、IV |
| 装配式平板型网架、 钢屋架 | 8 | 可不计算 (0.10) | 0.08 (0.12) | 0.10 (0.15) |
| | 9 | 0.15 | 0.15 | 0.20 |
| 装配式混凝土屋架 | 8 | 0.10 (0.15) | 0.13 (0.19) | 0.13 (0.19) |
| | 9 | 0.20 | 0.25 | 0.25 |

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

4.4.3 隔震层以上的长悬臂装配式构件和不属于本规程第 4.4.2 条的大跨度装配式结构的竖向地震作用标准值，8 度和 9 度可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10% 和 20%，设计基本地震加速度为 0.30g 时，可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

4.5 抗震变形验算

4.5.1 含有表 4.5.1 所列各类预制装配整体式结构的预制装配整体式模块化建筑应进行多遇地震作用下的抗震变形验算，其楼层内最大的弹性层间位移应符合

下式要求：

$$\Delta u_e \leq [\theta_e] h \quad (4.8.1)$$

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

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，宜按表 4.8.1 采用；

h ——计算楼层层高。

表 4.5.1 弹性层间位移角限值

| 结构类型 | $[\theta_e]$ 限值 |
|---------------------------|-----------------|
| 装配整体式框架结构 | 1/550 |
| 装配整体式框架-现浇剪力墙结构 | 1/800 |
| 装配整体式剪力墙结构、装配整体式部分框支剪力墙结构 | 1/1000 |
| 多层装配式剪力墙结构 | 1/1200 |

4.5.2 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构在罕遇地震作用下，应进行弹塑性变形验算。

4.5.3 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构在罕遇地震作用下薄弱层（部位）弹塑性变形计算，可采用下列方法：

1 不超过 12 层且层刚度无突变含有装配整体式框架结构的预制装配整体式模块化建筑可采用本规程第 4.5.4 条的简化算法；

2 除 1 款以外的预制装配整体式模块化建筑结构，可采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法等；

3 规则预制装配整体式模块化建筑可采用弯剪层模型或平面杆系模型，属于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 3.4 节规定的不规则结构应采用空间结构模型。

4.5.4 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构薄弱层（部位）弹塑性层间位移的简化计算，宜符合下列要求：

1 结构薄弱层（部位）的位置可按下列情况确定：

- 1) 楼层屈服强度系数沿高度分布均匀的结构，可取底层；
- 2) 楼层屈服强度系数沿高度分布不均匀的结构，可取该系数最小的楼层（部位）和相对较小的楼层，一般不超过 2~3 处。

2 弹塑性层间位移可按下列公式计算：

$$\Delta u_p = \eta_p \Delta u_e \quad (4.5.4-1)$$

或

$$\Delta u_p = \mu \Delta u_y = \frac{\eta_p}{\xi_y} \Delta u_y \quad (4.5.4-2)$$

式中： Δu_p —— 弹塑性层间位移；

Δu_y —— 层间屈服位移；

μ —— 楼层延性系数；

Δu_e —— 罕遇地震作用下按弹性分析的层间位移；

η_p —— 弹塑性层间位移增大系数，当薄弱层（部位）的屈服强度系数不小于相邻层（部位）该系数平均值的 0.8 时，可按采用表 4.5.4。当不大于该平均值的 0.5 时，可按表内相应数值的 1.5 倍采用；其它情况可采用内插法取值；

ξ_y —— 楼层屈服强度系数。

表 4.5.4 弹塑性层间位移增大系数

| 结构类型 | 总层数 n 或部位 | ξ_y | | |
|------------------------|-------------|---------|------|------|
| | | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| 多层均匀预制装配整体式 模块化建筑结构 | 2~4 | 1.30 | 1.40 | 1.60 |
| | 5~7 | 1.50 | 1.65 | 1.80 |
| | 8~12 | 1.80 | 2.00 | 2.20 |

5 隔震设计

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于预制装配整体式模块化建筑结构的房屋隔震设计。

5.1.2 预制装配整体式模块化建筑结构隔震设计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。

5.1.3 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构房屋，用于对抗震安全性和使用功能有较高要求或专门要求的建筑。

5.1.4 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构房屋，当遭遇到本地区的多遇地震影响、设防地震影响和罕遇地震影响时，可按照高于基本设防目标进行设计。

注：本章隔震设计指在房屋基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由橡胶隔震支座和阻尼装置等部件组成具有整体复位功能的隔震层，以延长整个结构体系的自振周期，减少输入上部结构的水平地震作用，达到预期防震要求。

5.1.5 预制装配整体式模块化建筑结构隔震设计确定设计方案时，结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定，尚应与采用抗震设计的方案进行对比分析。

5.1.6 预制装配整体式模块化建筑结构采用隔震设计时应符合下列各项要求：

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，其变形以剪切变形为主，最大高度应满足《建筑抗震设计规范》非隔震结构的要求；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 建筑场地宜为 I、II、III 类，并应选用整体性和稳定性较好的基础类型。基础周围存在承载力不大于 70kPa 的软弱土层或液化土层时，应采取地基处理措施。

3 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的 10%。

4 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；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。

5 当不满足以上规定时，应采取详细的结构分析，采取相应可靠的措施；体型复杂或特殊要求的结构采用隔震设计时，宜通过模型试验后确定。

5.1.7 预制装配整体式模块化建筑结构隔震层的设置原则：

1 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼。隔震层可由隔震装置、阻尼装置和抗风装置组成。阻尼装置和抗风装置可与隔震装置合为一体，亦可单独设置，必要时应设置限位装置。

2 预制装配整体式模块化建筑结构应布置在相同标高位置上，且隔震层楼盖宜满足平面内无限刚性的要求，上部结构应具有良好的整体性。

3 隔震层的刚度中心宜与上部结构刚度中心重合；抗风装置、阻尼装置宜对称、分散布置在建筑物的周边，隔震层不宜出现偏心和扭转。

4 隔震装置的平面布置应与上部结构和下部结构的竖向受力构件的平面位置相对应，且上部结构的每个单独模块下应设置各自的隔震装置，重力荷载作用下自身是稳定的体系。

5 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，拉应力不应大于 1MPa。

6 同一结构单元选用多种规格的隔震装置时，应充分发挥每个装置的承载力和变形能力，采用橡胶隔震支座的直径、高度相差不宜太大。

7 隔震装置布置间距不宜过大，装置的净距应满足安装、更换的空间要求。

8 隔震层宜设置在基础顶面或地下室顶面。当隔震层位于第一层以上时，隔震层以下的结构应进行专门研究；穿过隔震层的设备管线，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。

5.1.8 隔震装置、阻尼装置、抗风装置的规格、数量和布置应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定，隔震支座应进行竖向承载力和水平抗风、抗震验算。

5.1.9 隔震设计时，隔震装置应符合下列要求：

1 隔震装置的性能参数应经试验确定。

2 隔震装置的设置部位，应采取便于检查和替换的措施。

3 设计文件上应注明对隔震装置的性能要求，安装前应按规定进行检测，确保性能符合要求。

5.1.10 预制装配整体式模块化建筑结构隔震设计可按抗震性能目标的要求进行性能化设计。

5.2 隔震层上部结构设计

5.2.1 预制装配整体式模块化建筑上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 上部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》GB 50011 对非隔震结构的规定进行。其中的水平地震作用效应，可依据水平向减震系数确定。

2 上部预制装配整体式模块化建筑结构中含有抗震墙结构时，隔震层顶部的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算。

5.2.2 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在罕遇地震作用下楼层的容许加速度。

5.2.3 上部结构的抗震变形验算应按下列要求进行：

1 含有抗震墙结构时应进行多遇地震和罕遇地震作用下的层间位移验算。

2 在多遇地震作用下，层间弹性位移角限值可按现行本章第 4.5 节的规定执行。

3 在罕遇地震作用下，上部结构的层间弹塑性位移角限值本章第 4.5 节规定值的 1/2 采用。

5.2.4 上部结构的构造措施应符合下列要求：

1 当上部结构设防烈度为 6 度及水平向减震系数为 0.75 时，丙类预制装配整体式模块化建筑应按设防烈度采取构造措施。当需要考虑竖向地震作用时，应按设防烈度采取构造措施。

2 上部结构的首层楼面采用装配整体式钢筋混凝土楼板时，现浇面层厚度不宜小于 50mm，且应双向配筋，钢筋直径不宜小于 6mm。间距不宜大于 250mm。隔震支座上部的纵横梁应采用现浇钢筋混凝土结构。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。

5.3 下部结构和地基基础设计

5.3.1 隔震层以下结构（包括支墩、柱子、墙体、地下室等）的地震作用和抗震验算，应按罕遇地震作用下隔震支座底部的水平剪力、竖向力及其偏心距进行验算。

5.3.2 上部结构和隔震层传至下部结构顶面的水平地震作用，可按隔震支座的水平刚度分配；当考虑扭转时，尚应计算隔震层的扭转刚度。

5.3.3 地基基础的抗震验算和地基处理，可按照现行国家标准，《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的设防烈度进行。

5.3.4 当下部结构或地基基础需要考虑竖向地震作用时，可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定的设防烈度进行验算。

5.3.5 当地基为液化土时，甲、乙类建筑的液化判别和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。

5.4 截面抗震验算

5.4.1 采用隔震设计的预制装配整体式结构构件的地震作用效应和其它荷载效应的基本组合，应按下列式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_w \gamma_w S_{wk} \quad (5.4.1)$$

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

γ_G —— 重力荷载分项系数，一般情况应采用 1.2，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于 1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Ev} —— 分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按表 5.4.1 采用；

γ_w —— 风荷载分项系数，应采用 1.4；

S_{GE} —— 重力荷载代表值的效应，可按本规程第 4.2.5 条采用；

S_{Ehk} —— 水平地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{Ekk} —— 竖向地震作用标准值的效应，尚应乘以相应的增大系数或调整系数；

S_{wk} —— 风荷载标准值的效应；

ψ_w —— 风荷载组合值系数，一般结构取 0.0，风荷载起控制作用的建筑应采用 0.2。

注：本规程一般略去表示水平方向的下标。

表 5.4.1 竖向地震作用系数

| 地震作用 | γ_{Eh} | γ_{Ev} |
|-----------------------|---------------|---------------|
| 仅计算水平地震作用 | 1.3 | 0.0 |
| 仅计算竖向地震作用 | 0.0 | 1.3 |
| 同时计算水平与竖向地震作用(水平地震为主) | 1.3 | 0.5 |
| 同时计算水平与竖向地震作用(竖向地震为主) | 0.5 | 1.3 |

5.4.2 采用隔震设计的预制装配整体式结构构件的截面抗震验算，应采用下列设计表达式：

$$S \leq R/\gamma_{RE} \quad (5.4.2)$$

式中： γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数；

R —— 结构构件承载力设计值。

5.4.3 抗震设计时，预制装配整体式模块化建筑构件及节点的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应按表 5.4.3 采用；当仅考虑竖向地震作用组合时，承载力调整系数 γ_{RE} 应取 1.0。预埋件锚筋截面计算的承载力抗震调整系数 γ_{RE} 应取 1.0。

表 5.4.3 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

| 结构构件类别 | 正截面承载力计算 | | | | 斜截面承载力计算 | 受冲切承载力计算、接缝受剪承载 |
|--------|----------|----------------|------------|--------|---------------|-----------------|
| | 受弯构件 | 偏心受压柱 | | 偏心受拉构件 | | |
| | | 轴压比 小于 0.15 | 轴压比 不小于 | | | |
| | | | | | 各类构件及 框架节点 | |

| | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 0.15 | | | | 力计算 |
| γ_{RE} | 0.75 | 0.75 | 0.8 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |

5.5 隔震设计要点

5.5.1 预制装配整体式模块化建筑结构隔震设计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。

隔震支座应进行竖向承载力的验算和罕遇地震下水平位移的验算。

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；其竖向地震作用标准值，8度（0.20g）、8度（0.30g）和9度时分别不应小于隔震层以上结构总重力荷载代表值的20%、30%和40%。

5.5.2 预制装配整体式模块化建筑结构房屋隔震设计的计算分析，应符合下列规定：

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

2 一般情况下，宜采用时程分析法进行计算；输入地震波的反应谱特性和数量，应符合《建筑抗震设计规范》的规定，计算结果宜取其包络值；当处于发震断层10km以内时，输入地震波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。

5.5.3 隔震层的橡胶隔震支座应符合《建筑抗震设计规范》的相关要求。

5.5.4 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列公式计算：

$$K_h = \sum K_j \quad (5.5.4-1)$$

$$\zeta_{eq} = \sum K_j \zeta_j / K_h \quad (5.5.4-2)$$

式中： ζ_{eq} —— 隔震层等效黏滞阻尼比；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

ζ_j —— j 隔震支座由试验确定的等效黏滞阻尼比，设置阻尼装置时，应包相应阻尼比；

K_j —— j 隔震支座（含阻尼装置和抗风装置）由试验确定的水平等效刚度。

2 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应保持表 5.5.4 的压应力限值；对水平向减震系数计算，应取剪切变形 100% 的等效刚度和等效黏滞阻尼比；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，当隔震支座直径较大时可采用剪切变形 100% 时的等效刚度和等效黏滞阻尼比。当采用时程分析时，应以试验所得滞回曲线作为计算依据。

表 5.5.4 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 |

5.5.5 隔震房屋抗倾覆验算应符合下列要求：

- 1 隔震房屋的高宽比超过《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相应规定时，应进行抗倾覆验算。
- 2 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承载力验算。
- 3 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，并按上部结构重力代表值计算抗倾覆力矩。抗倾覆安全系数应大于 1.2。
- 4 上部结构传递到隔震支座的重力代表值应考虑倾覆力矩所引起的增加值。
- 5 在罕遇地震作用下，隔震支座不宜出现受拉应力。当隔震支座不可避免处于受拉状态时，其拉应力不应大于 1.0MPa。

5.5.6 隔震结构设计应按照下式要求进行抗风验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (5.5.6)$$

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。

5.5.7 隔震支座的弹性恢复力应符合下列要求：

$$K_{100} t_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad (5.5.7)$$

式中： K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平有效刚度。

t_r ——隔震支座橡胶层总厚度。

5.5.8 隔震层以上的预制装配整体式模块化建筑结构房屋的地震作用计算，应符合下列规定：

1 隔震后水平地震作用计算的水平地震影响系数可按《建筑抗震设计规范》确定。其中，水平地震影响系数最大值可按下式计算：

$$\alpha_{max1} = \beta \alpha_{max} / \psi \quad (5.5.8)$$

式中： α_{max1} ——隔震后的水平地震影响系数最大值；

α_{max} ——非隔震的水平地震影响系数最大值，按《建筑抗震设计规范》采用；

β ——水平向减震系数；对于多层建筑，为按弹性计算所得的隔震与非隔震各层层间剪力的最大比值。对高层建筑结构，尚应计算隔震与非隔震各层倾覆力矩的最大比值，并与层间剪力的最大比值相比较，取二者的较大值；

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，取0.85；隔震装置带有阻尼器时，相应减少0.050。

注：1 弹性计算时，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 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 确定。

2 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《建筑抗震设计规范》对本地区设防烈度的最小地震剪力系数的规定。

3 9 度时和 8 度且水平向减震系数不大于 0.3 时，隔震层以上的结构应进行竖向地震作用的计算。隔震层以上结构竖向地震作用标准值计算时，各楼层可

视为质点，并按《建筑抗震设计规范》计算竖向地震作用标准值沿高度的分布。

5.5.9 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，尚应计及隔震层的扭转刚度。

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：

$$u_i \leq [u_i] \quad (5.5.9-1)$$

$$u_i = \eta_i u_c \quad (5.5.9-2)$$

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。

5.5.10 隔震措施应符合下列规定：

- 1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接。
- 2 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，并采取可靠的构造措施，如加密箍筋或配置网状钢筋。
- 3 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) 上部结构的周边应设置竖向隔离缝，缝宽不宜小于各隔震支座在罕遇地震下的最大水平位移值的1.2倍且不小于200mm。对两相邻隔震结构，其缝宽取最大水平位移值之和，且不小于400mm；
 - 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，缝高宜取所采用的隔震支座中橡胶总厚度最大者的1/25加上10mm，且不小于15mm，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动垫层；
 - 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。
- 4 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，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，可适当降低非隔震建筑的要求，但烈度降低不得超过1度，与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

5 利用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋。

6 穿过隔震层的竖向管线应符合下列要求：

1) 直径较小的柔性管线在隔震层处应预留伸展长度，其值不应小于隔震层在罕遇地震作用下最大水平位移的 1.2 倍；

2) 直径较大的管道在隔震层处宜采用柔性材料或柔性接头；

3) 重要管道、可能泄漏有害介质或燃介质的管道，在隔震层处应采用柔性接头。

7 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。

8 隔震层所形成的缝隙可根据使用功能要求，采用柔性材料封堵、填塞。

9 隔震层宜留有便于观测和更换隔震支座的空间。

5.5.11 隔震层与预制装配整体式模块化建筑结构上部结构的连接，应符合下列规定：

1 隔震层顶部应设置梁板式楼盖，且应符合下列要求：

1) 隔震支座的相关部位应采用现浇混凝土梁板结构，现浇板厚度不应小于 160mm；

2) 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力，宜大于一般楼盖梁板的刚度和承载力；

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。

2 隔震支座和阻尼装置的连接构造，应符合下列要求：

1) 隔震支座和阻尼装置应安装在便于维护人员接近的部位；

2) 隔震支座与上部结构、下部结构之间的连接件，应能传递罕遇地震下支座的最大水平剪力和弯矩；

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

5.5.12 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，应采用隔震结构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地震的抗震承载力要求，并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。

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。

6 隔震层部件技术性能

6.1 一般规定

6.1.1 隔震层部件的技术性能应符合国家现行的规范规定，并符合有关产品质量标准的规定。

6.1.2 设计文件上应注明对隔震部件的性能要求。安装前应对工程中采用的各种类型和规格的原型部件进行抽样检测，各种类型和每一规格的抽样数量不应少于3个，抽样检测的合格率应为100%。

6.1.3 设置隔震部件时，除按计算确定外，尚应采取便于检查和替换的措施。

6.1.4 隔震层部件除应满足受力要求外，还应满足耐火、耐腐、不锈等耐久性技术要求。

6.1.5 隔震部件的耐久性和设计参数应由试验确定。

6.1.6 隔震层部件的设计工作寿命不应低于上部结构的工作寿命。

6.2 隔震支座的技术性能

6.2.1 各类隔震支座出厂时应提供产品的下列性能指标及产品检验合格报告：

- 1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度；
- 2 在轴压应力设计值作用下的竖向变形性能；
- 3 竖向极限压应力；
- 4 在水平位移为0.55倍有效直径时的竖向极限压应力；
- 5 竖向极限拉应力；
- 6 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为50%、100%、250%，且相应的水平加载频率分别为0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz时的有效水平刚度；
- 7 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为50%、100%、250%，且相应的水平加载频率分别为0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz时的有效阻尼比；
- 8 在轴压应力设计值作用下的水平极限变形能力；
- 9 耐久性能，包括老化性能、徐变性能和疲劳性能；

10 各种相关性能，包括在不同的竖向轴压应力、水平剪切应变、水平加载频率、环境温度下的水平刚度和阻尼比的变化率；

11 耐火性能；

12 有特殊要求的性能，如抗腐蚀性、耐水性等。

6.2.2 对有芯型或其他含有阻尼装置的隔震支座，除应提供 6.2.1 条的所有要求外，还应提供以下性能指标：

(1) 在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服剪力；

(2) 在轴压应力设计值作用下屈服前的水平刚度和屈服后的水平刚度。

6.2.3 隔震支座的压应力破坏极限值不应小于 90MPa，隔震支座的拉应力屈服极限值不应小于 1.5MPa。

6.2.4 各类隔震支座在投入使用前应对产品的技术性能进行见证检验，检验数量：每一项工程，同一生产厂家、同一类型、同一规格的产品，取总数量的 2% 且不少于 3 个进行支座力学性能试验，其中检查总数的每 3 个支座中，取一个进行水平大变形剪切试验。如发现不合格产品，应加倍进行抽检；在加倍抽检中如仍出现不合格产品，则必须进行全数检验。

6.2.5 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，不得在工程中使用。

6.2.6 隔震支座的力学性能检验，应在能按不同频率施加反复循环荷载的、符合要求的试验机上进行。

6.3 隔震支座连接部件技术性能

6.3.1 隔震支座连接部件应由提供隔震支座的厂家配套提供，并提供连接部件的力学性能参数及产品检验合格报告。

6.3.2 隔震层连接部件（隔震支座或抗风装置的上、下连接件，连接用预埋件等）应按罕遇地震作用进行强度验算。

6.3.3 与隔震支座相连的上下混凝土支墩，其尺寸偏差及预留空洞的位置尺寸偏差应满足相关的装配式建筑验收规范要求，混凝土支墩的混凝土强度等级不应低于 C30。

7 隔震层构造要求

7.1 一般规定

7.1.1 隔震层的构造要求应符合国家现行的规范 GB 50011、JGJ 360、CECS 126 相关规定。

7.1.2 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠连接。

7.1.3 利用构件钢筋做避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部的钢筋。

7.1.4 隔震层设置在有耐火要求的使用空间时，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。

7.2 隔震层的布置

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

7.2.2 隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合。

7.2.3 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。隔震支座底面宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面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标高位置上。

7.2.4 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。

7.2.5 隔震层竖向净距应大于观察和更换隔震支座所需的尺寸，且当同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的水平净距也应大于安装和更换所需的尺寸。

7.2.6 设置在隔震层的抗风装置应对称布置、分散的布置在建筑物的周边。

7.3 隔震层的构造

7.3.1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接。

7.3.2 隔震层所形成的缝隙可根据使用功能要求，采用柔性材料封堵、填塞。

7.3.3 隔震层应在适当位置设计有安放液压千斤顶的台基。

7.3.4 应在隔震层上方外墙周边设置隔震沟作为建筑隔震的安全空间，并应在隔震沟上方开口处覆盖可滑动的盖板，盖板应一端在建筑外墙固定，另一端用滚轮支承，以适应变形。

7.4 隔震层的上部、下部结构构造

7.4.1 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，并采取可靠的构造措施，如加密箍筋或配置网状钢筋。

7.4.2 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱开。与水平方向固定物脱开距离不宜少于隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍，且不小于 200mm；与竖直方向固定物的脱开距离宜取所采用的隔震支座中橡胶层总厚度最大者的 1/25 加上 10mm，且不小于 15mm。

7.4.3 隔震层上部结构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。

8 隔震结构的施工维护

8.1 结构材料一般规定

8.1.1 支座和阻尼器产品进场应提供下列质量证明文件：

- 1 原材料检测报告；
- 2 连接件检测报告；
- 3 产品合格证；
- 4 出厂检验报告；
- 5 型式检验报告；
- 6 其他必要证明文件。

8.1.2 支座和阻尼器搬运时应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等措施。

8.1.3 支座和阻尼器应储存在干燥、通风、无腐蚀气体、无紫外线直接照射并远离热源场所，码置应整齐牢固，不得混放、散放。严禁与酸碱、油类、有机溶剂等腐蚀性化学品接触。开封验货后，应进行包装防护。

8.1.4 应对建筑隔震工程的支座、阻尼器及其连接件等进行进场验收。

8.1.5 预制装配整体式模块化建筑隔震技术工程施工所采用的各类计量器具，均应经校准或检定合格，且应在有效期内使用。

8.1.6 支座安装应在上道工序交接检验合格后进行施工；支座安装工程施工经验收合格后，方可进行后续工程施工。相关施工要求应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.1.2 条相关规定要求。

8.1.7 阻尼器安装应在支座安装及上部预制装配整体式梁板体系施工验收合格后进行，或在隔震层上部结构施工验收合格后进行。

8.1.8 支座和阻尼器安装应有监理进行旁站。

8.1.9 支座和阻尼器安装宜由经过专门培训的人员实施。

8.2 隔震支座基本规定

8.2.1 支座应进行见证检验，用于水平极限变形能力检测的支座不得用于工程。见证检验要求应符合相关规定，检验结果应符合设计要求：

1 压缩性能：应按现行国家标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 要求进行检验。

2 剪切性能：应按现行国家标准《橡胶支座第3部分：建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3 要求进行检验；同事试验加载频率宜为设计频率，除设计特殊要求外不得低于 0.02Hz。

3 水平极限变形能力：应按现行行业标准《建筑隔震橡胶支座》JG 118 要求进行检验。对直径大于 800mm 的支座，水平极限剪切变形可取支座在罕遇地震下的最大水平位移值进行检验。

检查数量：同一生产厂家、同一类型、同意规格的产品，取总数量的 2%且不少于 3 个进行支座位学性能试验，其中检查总数的每 3 个支座中，取一个进行水平大变形剪切试验。

8.2.2 支座外观质量要求应符合表规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，游标卡尺测量，钢尺测量。

8.2.3 支座尺寸偏差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》GB 20688.3 中的相关规定。

检查数量：支座总数量的 10%，且不少于 5 个。

检验方法：支座平面尺寸采用钢尺测量。对圆形支座，应在 2 个不同位置测量边长值。支座高度采用钢尺测量。对圆形支座，应在圆周上的 4 个不同位置测量高度值，此 4 点的 2 条连线应互相垂直并通过圆心；对矩形支座，应在截面 4 个角点位置测量高度值。支座高度值为 4 个测量值的平均值。

表 8.2.3 支座外观质量要求

| 缺陷名称 | 质量指标 |
|------|--|
| 表面 | 光滑平整，防腐涂层均匀光洁，无漏刷 |
| 气泡 | 单个表面气泡面积不超过 50mm ² |
| 杂质 | 杂质面积不超过 30mm ² |
| 缺胶 | 缺胶面积不超过 150mm ² ，不得多于 2 处，且内部嵌件不得外露 |

| | |
|-------------------|---|
| 凹凸不平 | 凹凸不超过 5mm，面积不超过 50mm ² ，不得多于 3 处 |
| 胶钢粘接不牢 (上、下端面) | 裂纹长度不超过 30mm，深度不超过 3mm，不得多于 3 处 |
| 裂纹 (侧面) | 不应出现 |
| 钢板外露 (侧面) | 不应出现 |

8.2.4 支座链接件尺寸偏差应符合下列规定：

1 连接板平面尺寸允许偏差应符合表的规定。

表 8.2.4-1 连接板平面尺寸允许偏差 (mm)

| 连接板直径或边长 | 板材厚度 | |
|-----------|------|------|
| | ≤30 | >30 |
| ≤1000 | ±2.0 | ±2.5 |
| 1000—2500 | ±2.5 | ±3.0 |

2 连接板厚度允许偏差应符合表的规定。

表 8.2.4-2 连接板厚度允许偏差 (mm)

| 连接板厚度 | 连接板直径或边长 | |
|------------|----------|-----------|
| | ≤1500 | 1500—2500 |
| 15.0—25.0 | ±0.65 | ±0.75 |
| 25.0—40.0 | ±0.70 | ±0.75 |
| 40.0—60.0 | ±0.80 | ±0.90 |
| 60.0—100.0 | ±0.90 | ±1.10 |

3 连接板螺栓孔位置允许偏差应符合表的规定。

表 8.2.4-3 连接板螺栓孔位置允许偏差 (mm)

| 连接板直径或边长 | 允许偏差 |
|-----------|-------|
| 400-1000 | ±0.80 |
| 1000-2500 | ±1.20 |

4 地脚螺栓外径尺寸允许偏差应符合表的规定。

表 8.2.4-4 地脚螺栓外径尺寸允许偏差 (mm)

| 公称直径 | 尺寸允许偏差 | 不圆度允许偏差 |
|--------|--------|-------------|
| ≤20 | ±0.40 | 公称直径公差的 50% |
| 20—30 | ±0.50 | 公称直径公差的 50% |
| 30—50 | ±0.60 | 公称直径公差的 50% |
| 50—80 | ±0.80 | 公称直径公差的 65% |
| 80—110 | ±1.10 | 公称直径公差的 70% |

5 地脚螺栓长度尺寸允许偏差应符合表的规定。

表 8.2.4-5 地脚螺栓长度尺寸允许偏差 (mm)

| 长度 | ≤50 | 50—80 | 80—120 | 120—150 | 150—180 | 180—220 | 220 |
|--------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|-------|
| 尺寸允许偏差 | ±1.25 | ±1.50 | ±1.75 | ±2.00 | ±4.00 | ±4.60 | ±5.00 |

检查数量：全数的 10%。

检查方法：支座连接件平面外形尺寸用钢直尺测量，厚度用游标卡尺测量。对矩形支座连接板应在四边上测量长短边尺寸，还应测量对角线尺寸，厚度应在四边重点测量；对圆形支座连接板，其直径。厚度应至少测量 4 次，测定应垂直交叉。外形尺寸和厚度取实测值的平均值。地脚螺栓外形尺寸和长度用游标卡尺测量，至少测 3 次，取实测值的平均值。

8.2.5 支座连接板平整度偏差应小于 1/300。

检查数量：全数的 10%。

检验方法：将连接板自由放在平台上，除连接板本身的重量外不施加任何压力，测量连接板下表面与平台间的最大距离。当受检测平台长度限制时，对长度大于 2000mm 的连接板，可任意截取 2000mm 进行不平度的测量来代替全长不平度的测量。

8.2.6 支座连接板的机械性能应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 和《合金结构钢》GB/T3077 的有关规定，并应具有出厂质量证明书；牌号不清或对材质有疑问时应予复检，符合标准后方可使用。

检查数量：全数的 10%。

检验方法：检查检测报告。

8.2.7 支座下支墩(柱)施工应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.2.1 条相关规定要求。

8.2.8 支座安装应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.2.2 条相关规定要求。

8.2.9 支座相邻上部结构施工应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.2.3 条相关规定要求。

8.2.10 当支座需进行防护保护时，应按设计文件进行。

8.3 阻尼器基本规定

8.3.1 阻尼器应进行见证检验，并按现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 中的相关要求，对最大阻尼力、阻尼系数、阻尼指数、滞回曲线及耐久性能进行检验，检测后合格的阻尼器方可使用。

检查数量：同一生产厂家、同一类型、同一规格的产品，取总数量的 2%且不少于 2 个。

检验方法：检查检验报告。

8.3.2 阻尼器外观表面应平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏，标记清晰。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

8.3.3 阻尼器各部件尺寸偏差应符合表规定。

表 8.3.3 阻尼器各部件尺寸偏差 (mm)

| 检验项目 | 允许偏差 |
|-----------|---------|
| 阻尼器长度 | 产品设计值±3 |
| 阻尼器截面有效尺寸 | 产品设计值±2 |

检查数量：全数的 20%，且不少于 1 个。

检验方法：钢尺检查。

8.3.4 阻尼器的高强度螺栓连接应进行专项检验，并应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的要求。

检查数量：全数的 80%。

检验方法：检查检测报告。

8.3.5 阻尼器与预制装配整体式结构的连接方案，应经确认后实施。

8.3.6 阻尼器的平面布置、吊装就位应符合设计要求。

8.3.7 阻尼器安装接头的高强螺栓连接，应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定，并应符合设计要求。

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

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

8.3.10 阻尼器安装完成后应撤出临时固定件。

8.4 柔性连接

8.4.1 对穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施。

8.4.2 对可能泄露有害介质或可燃介质的重要管道，在穿越隔震层位置时应采用柔性连接。

8.4.3 穿过隔震层的柔性管线，应在隔震缝处预留足够的伸展长度。

8.4.4 用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导电连通隔震层上下部分的钢筋。

8.5 维护标识设置及要求

8.5.1 预制装配整体式隔震建筑应设置标识，并应标明其功能特殊性、使用及维护注意事项。

8.5.2 预制装配整体式隔震建筑的标识设置范围和应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 8.1.2 条相关规定要求。

8.5.3 预制装配整体式隔震建筑工程竣工验收前，应提交由支座和阻尼器生产厂家、设计等单位编写的使用维护手册及维护管理计划；隔震建筑的维护检查可分为常规检查、定期检查、应急检查。

8.5.4 预制装配整体式隔震建筑工程除对建筑常规维护项目进行检验、检查外，

还应对预制装配整体式隔震建筑特有的项目进行检验、检查。检查项目包括支座、阻尼器、隔震缝、柔性连接；检查方法应按《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6 章相关规定执行。

8.5.5 常规检查应每年进行一次，检查方式可采用观察方式。

8.5.6 定期检查应为竣工后的 3 年、5 年、10 年，10 年以后每 10 年进行一次。除支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其它项目均可通过观察方式进行检查。

8.5.7 当发生可能对隔震层相关构件及装置造成损伤的地震或火灾等灾害后，其它偶然灾害应及时进行检查。

9 隔震结构的检测

9.1 一般规定

9.1.1 预制装配整体式建筑隔震工程检测程序应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6.1.1 条相关规定要求。

9.1.2 预制装配整体式建筑隔震工程检测应在基础自检合格后，按检验批分别对分项工程、子分部工程进行检测，且应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6.1.2 条相关规定要求。

9.1.3 预制装配整体式建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时，均应对隔震缝和柔性连接进行验收检查。

9.2 支座安装

I 主控项目

9.2.1 支座型号、数量、安装位置应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工记录。

9.2.2 支座应与下支墩（柱）顶面密贴。

检查数量：全数检查。

检查方法：试件强度试验报告。

9.2.3 支座下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：试件强度试验报告。

II 一般项目

9.2.4 支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6.2.3 条相关规定要求。

9.2.5 支座不应出现较大倾斜。当出现倾斜时，单个支座的倾斜度不宜大于支座直径的 1/300。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，测量，检查施工记录。

9.2.6 支座不应出现较大侧鼓。当出现侧鼓时，侧鼓尺寸不宜大于 3mm。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，测量，检查施工记录。

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

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，检查施工记录。

9.2.8 支座下支墩（柱）不应有蜂窝、麻面。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察。

9.2.9 支座防火封闭应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，检查施工记录。

9.3 阻尼器安装

I 主控项目

9.3.1 阻尼器型号、数量、安装位置应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检查方法：观察，检查施工记录。

9.3.2 阻尼器安装连接部位的焊缝质量应满足设计要求，并应进行见证检验。当设计文件无要求时，焊缝等级不应低于二级。检测质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

检查数量：一级焊缝全数检查；二级焊缝抽查全数的 20%。

检查方法：检查超声波或射线探伤见证试验报告。

II 一般项目

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

阻尼器连接件与混凝土构件连接的锚栓、垫板安装应满足设计要求及现行

国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

9.3.4 阻尼器连接件与混凝土构件连接需二次灌浆时，其浇注质量应满足设计要求。

9.3.5 阻尼器安装出水平面外垂直度要求应满足设计要求。

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

9.3.7 当阻尼器表面出现破损、锈蚀，不影响使用性时，应及时修复；影响使用性能时，应及时更换。

9.4 柔性连接

I 主控项目

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

II 一般项目

9.4.2 穿过隔震层的设备管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施。

9.4.3 当构件钢筋作避雷线时，柔性导线的预留可伸展长度应大于设计水平位移要求。

9.5 隔震缝

I 主控项目

9.5.1 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝的宽度应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.5 节相关规定要求。

9.5.2 隔震缝内及周边不得有影响隔震层发生相对水平位移的障碍物。

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

9.5.4 隔震缝的密闭构造措施不得阻碍隔震层发生相对水平位移。

II 一般项目

9.5.1 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝宽度应均匀。

本标准规范用词说明

1 为便于在执行本标准规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在一定条件下可以这样做的用词；

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本标准规范中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1、《建筑地基基础设计规范》 GB50007/2
- 2、《建筑结构荷载规范》 GB50009
- 3、《混凝土结构设计规范》 GB50010
- 4、《建筑抗震设计规范》 GB50011
- 5、《钢结构设计规范》 GB50017
- 6、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB50018
- 7、《钢结构工程施工质量验收规范》 GB50205
- 8、《建筑工程抗震设防分类标准》 GB50223
- 9、《叠层橡胶支座隔震技术规程》 CECS 126
- 10、《橡胶支座第 1 部分：隔震橡胶支座试验方法》 GB/T 20688.1
- 11、《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》 GB 20688.3
- 12、《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ99
- 13、《建筑隔震橡胶支座》 JG118



CECS-XXX-201X

中国工程建设协会标准

预制装配整体式模块化建筑隔震技术规程

**Specification for Isolation Technique of prefabricated monolithic
modular building**

条文说明

(征求意见稿)

目次

| | |
|-------------------------|----|
| 1 总则..... | 59 |
| 2 术语和符号..... | 60 |
| 2.1 术语..... | 60 |
| 3 基本规定..... | 61 |
| 3.1 建筑抗震设防分类和设防标准..... | 61 |
| 3.2 地震影响..... | 61 |
| 3.3 场地和地基..... | 61 |
| 3.4 建筑形体及其构件布置的规则性..... | 62 |
| 3.5 结构分析..... | 63 |
| 3.6 非结构构件..... | 63 |
| 3.7 建筑物地震反应观测系统..... | 64 |
| 4 地震作用与地震反应计算..... | 65 |
| 4.1 一般规定..... | 65 |
| 4.2 地震作用..... | 69 |
| 4.3 水平地震作用..... | 72 |
| 4.4 竖向地震作用..... | 72 |
| 4.5 抗震变形验算..... | 72 |
| 5 隔震设计..... | 75 |
| 5.1 一般规定..... | 75 |
| 5.2 隔震层上部结构设计..... | 77 |
| 5.3 下部结构和地基基础设计..... | 78 |
| 5.4 截面抗震验算..... | 79 |
| 5.5 隔震设计要点..... | 80 |
| 6 隔震层部件技术性能..... | 86 |
| 6.1 一般规定..... | 86 |
| 6.2 隔震支座的技术性能..... | 86 |
| 6.3 隔震支座连接部件技术性能..... | 87 |
| 7 隔震层构造要求..... | 88 |

| | |
|--------------------|-----|
| 7.1 一般规定..... | 88 |
| 8 隔震结构的施工维护..... | 91 |
| 8.1 结构材料一般规定..... | 91 |
| 8.2 隔震支座基本规定..... | 92 |
| 8.3 阻尼器基本规定..... | 97 |
| 8.4 柔性连接..... | 99 |
| 8.5 维护标识设置及要求..... | 99 |
| 9 隔震结构的检测..... | 101 |
| 9.1 一般规定..... | 101 |
| 9.2 支座安装..... | 102 |
| 9.3 阻尼器安装..... | 103 |
| 9.4 柔性连接..... | 104 |
| 9.5 隔震缝..... | 105 |

Contents

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | General Provisions..... | 59 |
| 2 | Terms and Symbols..... | 60 |
| 2.1 | Terms..... | 60 |
| 3 | General Requirements..... | 61 |
| 3.1 | Category and Criterion for Seismic..... | 61 |
| 3.2 | Earthquake Strong Motion..... | 61 |
| 3.3 | Site and Foundation..... | 61 |
| 3.4 | Regularity of Building Configuration and Structural Assembly..... | 62 |
| 3.5 | Structural Analysis..... | 63 |
| 3.6 | Nonstructural Component..... | 63 |
| 3.7 | Strong Motion Observation System of Building..... | 64 |
| 4 | Earthquake action and earthquake response calculation..... | 65 |
| 4.1 | General..... | 65 |
| 4.2 | Earthquake Action..... | 69 |
| 4.3 | Horizontal Earthquake Action..... | 72 |
| 4.4 | Vertical Earthquake Action..... | 72 |
| 4.5 | Checking for Deformation..... | 72 |
| 5 | Isolation Design..... | 75 |
| 5.1 | General..... | 75 |
| 5.2 | Upper Structure Design of Isolation Layer..... | 77 |
| 5.3 | Lower Structure and Foundation Design..... | 78 |
| 5.4 | Checking for Strength..... | 79 |
| 5.5 | Design Points of Isolation..... | 80 |
| 6 | Technical Performance of Isolation Layer..... | 86 |
| 6.1 | General..... | 86 |
| 6.2 | Technical Performance of Isolation Bearings..... | 86 |
| 6.3 | Technical Performance of Connecting Parts of Isolation Bearings..... | 87 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 7 | Isolation Layer Construction Requirements..... | 88 |
| 7.1 | General..... | 88 |
| 8 | Construction and Maintenance of Isolated Structure..... | 91 |
| 8.1 | General for structural materials..... | 91 |
| 8.2 | Basic Requirements of Isolation Bearings..... | 92 |
| 8.3 | Basic Damper..... | 97 |
| 8.4 | Flexible Connection..... | 99 |
| 8.5 | Maintain Identification Settings and Requirements..... | 99 |
| 9 | Detection of Isolated Structures..... | 101 |
| 9.1 | General..... | 101 |
| 9.2 | Bearing Installation..... | 102 |
| 9.3 | Damper Installation..... | 103 |
| 9.4 | Flexible Connection..... | 104 |
| 9.5 | Isolation Joint..... | 105 |

1 总则

1.0.1 该规程基本隔震目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损坏或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，经一般性修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.2 建筑的抗震标准是“小震不坏、中震可修、大震不倒”。根据各地遭受破坏的程度不同而有不同的烈度。6~9度抗震设防烈度，地震加速度分别不小于0.05g、0.1（0.15）g、0.2（0.3）g和0.4g（g为重力加速度）。可以看出，9度抗震设防烈度在地震时其晃动的速度远远大于其他设防烈度。

预制装配整体式模块化建筑一体化隔震技术，包括先在工厂进行隔震支座选型、制作，再把模块化隔震单元体完成拼接组装一系列过程。当采用基础隔震技术时，把模块化隔震单元放置在最下层模块化建筑的底部；当采用层间隔震技术时，把模块化隔震单元放置在上层模块化建筑的底部。

1.0.3 抗震设防烈度是建筑物设计时要满足不低于当地地震基本烈度的设计要求。如：当地的地震基本烈度为6度，那么建筑物的抗震设防烈度至少为6，当然，有些建筑要求可能是7度或8度。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.4 经过多年研究，我国隔震技术在钢结构建筑上已有广泛的应用与突破，例如广东科学中心的巨型钢框架结构中，独创了无统一隔震层隔震技术。

2.1.16 隔震结构指在结构物中设置隔震装置而形成的结构体系。包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。上部结构为隔震结构中位于隔震层以上的部分；下部结构为隔震结构中位于隔震层以下的部分，不包括基础。

2.1.17 隔震技术在模块化结构中的应用,尤其隔震支座的使用,大大提升了我国防灾减灾的能力。隔震支座是指结构为达到隔震要求而设置的支承装置。例如叠层橡胶支座（或称隔震橡胶支座、夹层橡胶垫等）。它是一种水平刚度较小而竖向刚度较大的结构构件，可承受大的水平变形，可作为承重体系的一部分。

2.1.18 阻尼装置是指吸收并耗散地震输入能量而使结构振动反应衰减的装置。可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。抗负装置是指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。限位装置是指限制隔震层在最不利状态下产生大位移的部件。

2.1.19 通过具有较高刚度的巨型格构柱，对多个独立的局部隔震层进行连接，确保了大跨巨型钢结构及展项的安全，显著降低了隔震层建造成本，解决了科技馆开放空间灵活布展与展品特殊安全的要求，突破了《建筑抗震设计规范》GB 50011 要求隔震结构设置统一隔震层的限制。

3 基本规定

3.1 建筑抗震设防分类和设防标准

3.1.1 根据国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 中的 3.0.2 建筑工程应分为以下四个抗震设防类别：

1 特殊设防类：指使用上有特殊设施，涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果，需要进行特殊设防的建筑。简称甲类。

2 重点设防类：指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要提高设防标准的建筑。简称乙类。

3 标准设防类：指大量的除 1、2、4 款以外按标准要求进行设防的建筑。简称丙类。

4 适度设防类：指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害，允许在一定条件下适度降低要求的建筑。简称丁类。

3.2 地震影响

3.2.3 在抗震设计规范中，设计特征周期 T_g 与场地类别有关：场地类别越高（场地越软）， T_g 越大；地震震级越大、震中距离越远， T_g 越大。 T_g 越大，地震影响系数 α 的平台越宽，对于高层建筑或大跨度结构，基本周期较大，计算的地震作用越大。

3.3 场地和地基

3.3.1 宜选择对抗震有利地段作为隔震结构的场地，避开不利地段。当无避开时应采取有效措施。不应选用危险地段作为隔震结构的场地。

3.3.2 抗震结构体系分析结构体系是抗震设计中应考虑的最关键的问题，对安全性和经济性起决定性的作用，是综合的系统决策。目前主要的预制装配整体式

建筑抗震结构体系有：

1 框架结构：多应用于多层及高层民用建筑和多层的工业建筑，建筑平面布置灵活，易于布置较大空间。但纯框架结构侧向刚度小，属柔性结构，故其层数和高度都受到一定限制。

2 框架—抗震墙结构：抗震墙与框架结构协同工作的结构体系，在地震作用下层间位移比纯框架结构显著减小，故其建筑高度可以提高很多。

3 抗震墙结构：全部由纵横抗震墙组成的结构体系，其抗震性能较好，在高层住宅、公寓和旅馆等建筑中广泛应用。

3.3.4 隔震结构的地基应稳定、可靠。地基在地震作用下的稳定性对基础及至上部结构的内力分布是比较敏感的，因此确保地震时地基基础能够承受上部结构传下来的竖向和水平地震作用以及倾覆力矩而不发生过大变形和不均匀沉降是地基基础抗震设计的基本要求。地基基础的抗震设计通过选择合理的基础体系和抗震验算来保证其抗震能力。

3.3.5 山区地基的设计，应符合《建筑地基基础设计规范》中的下列设计条件分析认定：

- 1 建筑场地内，在自然条件下，有无滑坡现象，有无影响场地稳定性的断层、破碎带；
- 2 在建设场地周围，有无不稳定的边坡；
- 3 施工过程中，因挖方、填方、堆载和卸载等对山坡稳定性的影响；
- 4 地基内岩石厚度及空间分布情况、基岩面的起伏情况，有无影响地基稳定性的临空面；
- 5 建筑地基的不均匀性；
- 6 岩溶、土洞的发育程度，有无采空区；
- 7 出现危岩崩塌、泥石流等不良地质现象的可能性；
- 8 地面水、地下水对建筑地基和建筑场区的影响。

3.4 建筑形体及其构件布置的规则性

3.4.1 建筑形体是指建筑平面形状和立面、竖向剖面的变化。规则建筑是指平面和立面简单，抗侧力体系的刚度和承载力上下变化连续、均匀，平面布置基本

对称。即在平立面、竖向剖面或抗侧力体系上没有明显的、实质的不连续或突变。故“规则性”是诸多因素的综合要求。

3.4.3 体型基本规则的预制装配整体式模块化建筑可不设置防震缝。体型复杂的房屋不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

3.4.4 为防止地震使房屋破坏，应用防震缝将房屋分成若干形体简单、结构刚度均匀的独立部分。为减轻或防止相邻结构单元由地震作用引起的碰撞而预先设置的间隙。

3.5 结构分析

3.5.1~3.5.3 预制装配整体式建筑结构的抗震性能化设计要求：

1 分析模型应正确、合理地反映地震作用的传递途径和楼盖在不同地震动水准下是否整体或分块处于弹性工作状态。

2 弹性分析可采用线性方法，弹塑性分析可根据性能目标所预期的结构弹塑性状态，分别采用增加阻尼的等效线性化方法以及静力或动力非线性方法。

3 结构非线性分析模型相对于弹性分析模型可有所简化，但二者在多遇地震下的线性分析结果应基本一致；应计入重力二重效应、合理确定弹塑性参数，应依据构件的实际截面、配筋等计算承载力，可通过与理性弹性假定计算结果的对比分析，着重发现构件可能破坏的部位及弹塑性变形程度。

3.6 非结构构件

3.6.1 作为强制条文，明确规定非结构构件应进行抗震设计。

住宅非结构构件主要指直接面向建筑室外的非承重墙体、各类建筑幕墙（包括采光顶）等，相对于主体结构而言实际上属于“非结构构件”。非结构构件的安全性和适用性应满足住宅建筑设计要求，并应符合国家现行有关标准的规定。对非结构构件的耐久性问题，由于材料性质、功能要求及更换的难易程度不同，未给出具体要求，但具体设计上应予以重视。本条中非结构构件包括持久性的建筑非结构构件和附属机电设施。

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

3.6.2 《非结构构件抗震设计规范》（JGJ 339—2015）一般规定：非结构构件及其与建筑结构的连接可仅进行水平地震作用下的计算分析，9 度时宜计入竖向地震作用。

3.6.6 当抗震要求不同的两个非结构构件连接在一起时，应按较高的要求进行抗震设计。其中一个非结构构件连接损坏时，应不致引起与之相连接的有较高要求的非结构构件失效。

3.7 建筑物地震反应观测系统

3.7.1 对于较重要的隔震结构，宜设置地震反应观测系统。对于甲类建筑、体型复杂或有特殊要求的隔震结构，其隔震方案宜通过对结构模型的模拟地震振动台试验确定。

4 地震作用与地震反应计算

4.1 一般规定

4.1.1 按国家规定的权限批准作为一个地区抗震设防的地震烈度称为抗震设防烈度。一般情况下，抗震设防烈度可采用中国地震参数区划图的地震基本烈度。

抗震设防烈度，一般情况下取基本烈度。但还须根据建筑物所在城市的大小，建筑物的类别、高度以及当地的抗震设防小区规划进行确定。

4.1.2 预制装配整体式模块化建筑采用的隔震方案，其结构基本周期，建筑场地和基础类型的选用，风荷载和其它非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力的规定以及隔震层的设置都应该符合相关规定，当不满足上述要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施，体型复杂或有特殊要求的结构采用隔震方案时，宜通过模型试验后确定。

4.1.3 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应符合平均压应力限值，对多遇地震验算，宜采用水平加载频率为 0.3Hz 且隔震支座剪切变形为 50% 的水平刚度和等效粘滞阻尼比；对罕遇地震验算，直径小于 600 的隔震支座宜采用水平加载频率为 0.1Hz 且隔震支座剪切变形不小于 250% 时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比；直径不小于 600mm 的隔震支座可采用水平加载频率为 0.21Hz 且隔震支座剪切变形为 100% 时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比。

隔震支座的受压承载力设计值应符合下列规定：

1 当形状系数 $S_1 \geq 15$ 、 $S_2 \geq 5$ 时，对于甲类建筑，压应力设计值不宜大于 10MPa；对于乙类建筑，压应力设计值不宜大于 12MPa；对于丙类建筑，压应力设计值不宜大于 15MPa，但对于直径小于 300mm 的隔震支座，压应力设计值不宜大于 12MPa。

2 当形状系数不满足上述要求时，压应力设计值应适当降低。当 $5 > S_2 \geq 4$ 时，降低 20%；当 $4 > S_1 \geq 3$ 时，降低 40%。

隔震部件应符合下列要求：

1 隔震部件的耐久性和设计参数应由试验确定。

2 设置隔震部件时，除按计算确定外，尚应采取便于检查和替换的措施。

3 设计文件上应注明对隔震部件的性能要求。安装前应对工程中采用的各种类型和规格的原型部件进行抽样检测，每种类型和每一规格的抽样数量不应少于3个，抽样检测的合格率应为100%。

4.1.5 在隔震设计中，各类建筑结构的抗震作用，应按下列原则考虑：

1 通常认为地面运动水平分量较大，而结构抗侧能力有限，一般情况下，水平地震作用对结构起控制作用，可在建筑结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用并进行抗震验算，各方向的水平地震作用全部由该方向抗侧力构件承担。有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应考虑与各抗侧力构件平行的方向上的水平地震作用。

2 对于质量和刚度在同一平面内或者沿高度方向明显不均匀、不对称的结构，应考虑水平地震作用引起的扭转影响，或采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。

3 8度和9度区的大跨度结构、长悬臂结构、高耸结构及9度区的高层结构，应考虑竖向地震作用。

4.1.6 计算水平减震系数应符合以下几点：

1 通常采用各楼层剪力的比值计算水平减震系数，当为高层建筑结构时，应当考虑倾覆力矩的比值；因为，对于高层结构弯矩的影响较大，尤其对弯曲型结构。

2 隔震结构的模型应该是带有隔震支座，非隔震结构则是去掉隔震支座的上部结构。但也有认为非隔震结构应该是将隔震结构中隔震支座换为同等水平刚度的柱子或刚度较大的柱子；抗震结构是假想结构，是不存在的，是为了采用现行规范的小震设计而人为强制等效出来的结构，事实上其变形和内力跟隔震结构都有较大的区别。注意的是，抗震结构必须保留隔震层，否则在按小震反应谱设计时，楼体的高度变了导致风荷载等计算不正确。

3 隔震结构既然是带隔震支座的，那计算时应该是非线性的，那计算水平减震系数时应当是采用时程计算方法；一般对隔震结构为上部弹性，隔震层为非线性，对抗震结构则为全弹性。

4 采用时程计算楼层剪力和楼层倾覆弯矩应当在设防烈度下计算。如果在小震下计算楼层内力，隔震支座可能还没有产生非线性反应，不能反应隔震支

座的效果；如果在大震下计算，那么上部结构也有部分区域进入非线性，将这样的计算结果代入小震设计是不合理的。只有在中震下，隔震结构的隔震层进入非线性耗能过程，而上部结构基本保持弹性，计算得到的减震系数才能用于弹性设计中。此外，隔震结构的设计目标应当在设防烈度下上部结构基本完好，这点在水平减震系数的计算上反应；

5 水平减震系数跟隔震支座的变异系数无关，只有在计算地震影响系数最大值时，支座的变异系数才有作用。那么，按照规范规定，水平减震系数跟降度、抗震等级等相关，这些参数的选取应当跟支座变异系数无关；

6 支座变异系数仅在内力计算时考虑，对作用输入进行放大；

7 水平减震系数不区分X向和Y向，因此，取值应为两个方向的包络值，这对两个方向的高宽比相差较大的结构来说，会导致某个方向过于保守；

8 水平减震系数是取所有楼层对应剪力比的较大值，也就是楼层包络，根据结构的高度、结构类型的不同会出现在不同的位置，但总体而言对大部分楼层是偏于保守的；

9 计算水平减震系数跟选波有关，尽管规范给定选波条件，但仍然存在较大的空间。规范要求的反应谱上统计意义相符，如果要求按照隔震周期前三周期选取，那应用在抗震结构上不合理，如果用抗震周期前三周期也不合理，一般做法分别取前三周期，即6个周期点选取地震波，但这样对找天然波是非常麻烦的，因为隔震周期一般较大，天然波反应谱在长周期段一般下降较多，而规范反应谱在长期周期段抬高了，导致天然波难选。但总之，无论是三条包络还是7条平均，工程师对此的操作空间都非常大。

4.1.8 结构的截面抗震验算，应符合下列规定：

①6度时的建筑（不规则建筑及建造于IV类场地上较高的高层建筑除外），以及生土房屋和木结构房屋等，应符合有关的抗震措施要求，但应允许不进行截面抗震验算。

②6度时不规则建筑、建造于IV类场地上较高的高层建筑，7度和7度以上的建筑结构（生土房屋和木结构房屋等除外），应进行多遇地震作用下的截面抗震验算。

注：采用隔震设计的建筑结构，其抗震验算应符合有关规定。

4.1.9 《建筑抗震设计规范》6.1.4条规定：高层钢筋混凝土房屋宜避免采用本规范第3.4节规定的不规则建筑结构方案，不设防震缝；当需要设置防震缝时，应符合下列规定：

1 防震缝最小宽度应符合下列要求：

1) 框架结构房屋的防震缝宽度，当高度不超过15m时不应小于100mm；超过15m时，6度、7度、8度、9度相应每增加高度5m、4m、3m和2m，宜加宽20mm。

2) 框架-剪力墙结构房屋的防震缝宽度不应小于本款1)项规定数值的70%，剪力墙结构房屋的防震缝宽度不应小于本款1)项规定数值的50%；且均不宜小于100mm。

3) 防震缝两侧结构类型不同时，宜按需要较宽防震缝的结构类型和较低房屋高度确定缝宽。

2 砌体建筑应优先采用横墙承重或是纵横墙混合承重的结构体系。在设防烈度为八度和九度地区，有下列情况之一时，建筑宜设防震缝：

- 1) 建筑立面高差在6m以上；
- 2) 建筑有错层且错层楼板高差较大；
- 3) 建筑各相邻部分结构刚度、质量截然不同。

此时防震缝宽度可采用50-100mm。缝两侧均需设置墙体，以加强防震缝两侧房屋刚度。

防震缝要沿着建筑全高设置，缝两侧应布置双墙或者双柱，或一墙一柱，使各部分结构都有较好的刚度。

防震缝应与伸缩缝、沉降缝统一布置，并满足防震缝的要求。一般情况下，设防震缝时，基础可以不分开。

体型基本规则的预制装配整体式模块化建筑采用隔震设计时可不设置防震缝。体型复杂的预制装配整体式模块化建筑不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

4.2 地震作用

4.2.1 地震作用计算是结构抗震设计首先要解决的问题。我国自 89 抗震规范开始采用按多遇地震（小震）计算地震作用。国际上主要抗震国家和我国 78 抗震规范都采用按设防烈度地震（中震）计算地震作用。随着抗震规范在修订、发展和使用中不断暴露出来的各种问题，学术界和工程界多次提出恢复到按中震计算地震作用，以解决现行抗震规范及其它结构设计规范中存在的一系列问题。近年来，随着基于性能抗震设计方法的发展，这一问题又再次被提出。2004 年编制出版的《建筑工程抗震性态设计通则》采用的是按中震计算地震作用。在介绍两种地震作用计算方法的基础上，讨论了两种方法的优缺点，并基于性能抗震设计的发展，提出了我国地震作用计算方法的研究方向。

采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑应根据不同情况，分别采用下列地震作用计算方法：等效侧力法、时程分析法、简化的弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法等方法。

4.2.2 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2001)的 5.1.2 条文说明中规定，正确选择输入的地震加速度时程曲线，要满足地震动三要素的要求，即频谱特性、有效峰值和持续时间要符合规定。

频谱特性可用地震影响系数曲线表征，依据所处的场地类别和设计地震分组确定。这句话的含义是选择的实际地震波所处场地的设计分组（震中距离、震级大小）和场地类别（场地条件）应与要分析的结构物所处场地的相同，简单的说两者的特征周期 T_g 值应接近或相同。特征周期 T_g 值的计算方法见下面公式(1)、(2)、(3)。

加速度有效峰值按建筑抗震设计规范(GB 50011-2010)中的表 5.1.2-2 采用。地震波的加速度有效峰值的计算方法见下面公式(1)及下面说明。

持续时间的概念不是指地震波数据中总的时间长度。持时 T_d 的定义可分为两大类，一类是以地震动幅值的绝对值来定义的绝对持时，即指地震地面加速度值大于某值的时间总和，即绝对值 $|a(t)| > k * g$ 的时间总和，k 常取为 0.05；另一类为以相对值定义的相对持时，即最先与最后一个 $k * a_{max}$ 之间的时段长

度， k 一般取 $0.3\sim 0.5$ 。不论实际的强震记录还是人工模拟波形，一般持续时间取结构基本周期的 $5\sim 10$ 倍。

说明：

$$\text{有效峰值加速度 } EPA = S_a / 2.5 \quad (1)$$

$$\text{有效峰值速度 } EPV = S_v / 2.5 \quad (2)$$

$$\text{特征周期 } T_g = 2\pi * EPV / EPA \quad (3)$$

1978 年美国 ATC-3 规范中将阻尼比为 5% 的加速度反应谱取周期为 $0.1\sim 0.5$ 秒之间的值平均为 S_a ，将阻尼比为 5% 的速度反应谱取周期为 $0.5\sim 2$ 秒之间的值平均为 S_v (或取 1s 附近的平均速度反应谱)，上面公式中常数 2.5 为 0.05 阻尼比加速度反应谱的平均放大系数。

上述方法使用的是将频段固定的方法来求 EPA 和 EPV，1990 年的《中国地震烈度区划图》采用了不固定频段的方法分析各条反应谱确定其相应的平台频段。具体做法是：在对数坐标系中同时做出绝对加速度反应谱和拟速度反应谱，找出加速度反应谱平台段的起始周期 T_0 和结束周期 T_1 ，然后在拟速度反应谱上选定平台段，其起始周期为 T_1 (即加速度反应谱平台段的结束周期 T_1)，结束周期为 T_2 ，将加速度反应谱在 T_0 至 T_1 之间的谱值求平均得 S_a ，拟速度反应谱在 T_1 至 T_2 之间的谱值求平均得 S_v ，加速度反应谱和拟速度反应谱在平台段的放大系数采用 2.5，按公式 (1)、(2)、(3) 求得 EPA、EPV、 T_g 。

在 MIDAS 程序中提供将地震波转换为绝对加速度反应谱和拟速度反应谱的功能 (工具>地震波数据生成器，生成后保存为 SGS 文件)，用户可利用保存的 SGS 文件 (文本格式文件) 根据上面所述方法计算 S_v 、 S_a 、 T_g 。通过 T_g 值可判断该地震波是否适合当地场地和地震设计分组，然后将抗震规范中表 5.1.2-2 中的 EPA 值与 S_a 相比求出调整系数，将其代入到地震波调整系数中。将地震波转换为绝对加速度反应谱和拟速度反应谱时注意周期范围要到 6 秒 (建筑抗震规范规定)。

建筑抗震设计规范 5.1.2 条中规定，采用时程分析方法时，应按照场地类

别和设计地震分组选用不少于二组的实际强震记录和一组人工模拟的加速度时程曲线，其平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符。所谓“在统计意义上相符”指的是，其平均影响系数曲线与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线相比，在各周期点上相差不大于 20%。

在 MIDAS 程序中，可选取两组实际强震记录生成两个 SGS 文件(调整 S_a 后的)，然后将一组人工模拟的加速度时程曲线也保存为 SGS 文件，将三个 SGS 文件的数值取平均后与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线相比较看是否满足“在统计意义上相符”，由此也可判断选取的地震波是否合适。

另外，弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得到的结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的 65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的 80%。

4.2.3 在结构进行地震响应时程分析时，必须首先确定结构的计算模型，以便确立结构的层间刚度。在地震作用下，结构计算模型是结构进行地震响应时分析的主体，由几何模型和物理模型两部分组成。其中几何模型反映了结构计算模型的几何构成，物理模型反映了材料或构件的力学性能。目前在工程上框架结构常用的计算模型主要有层间模型、杆系模型和杆系一层间模型。

4.2.5 计算地震作用时，结构的重力荷载代表值应取恒荷载标准值和可变荷载组合值之和。可变荷载的组合值系数应按下列规定采用：

1. 雪荷载取 0.5；
2. 楼面活荷载按实际情况计算时取 1.0；按等效均布活荷载计算时，藏书库、档案库、库房取 0.8，一般民用建筑取 0.5。

4.2.7 地震影响系数曲线形状参数应符合规定：

1. 直线上升段，周期小于 0.1s 的区段。
2. 水平段，自 0.1s 至特征周期区段，应取最大值 ($a(\max)$)。
3. 曲线下降段，自特征周期至 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。

4.3 水平地震作用

4.3.1 地震作用标准值是指抗震设计所采用由地运动引起结构动态作用的基本代表值。由结构重力荷载代表值及地震影响系数或设计地震动参数等综合确定。

4.3.2 采用等效侧力法时，预制装配整体式模块化建筑层间剪力为作用于该点的水平地震作用标准值。

4.4 竖向地震作用

4.4.1 采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑的竖向地震作用是指结构在竖向地震分量的作用下，产生竖向的地震效应。

4.5 抗震变形验算

4.5.1 层间位移限值是钢筋混凝土高层结构设计中的一个重要参数，《高层建筑混凝土结构技术规程》在规定的弹性层间位移限值时划分了各种不同的结构形式，高度不大于 150 米的高层建筑，其楼层层间最大位移与层高之比框架结构为 1/550，框架-剪力墙、框架-核心筒、板柱剪力墙结构体系为 1/800，筒中筒、剪力墙结构体系为 1/1000，框支层为 1/1000。层间位移限值是保证结构具有必要的刚度，避免过大的位移而影响结构的承载力、稳定性和舒适度，高层建筑在风载作用下将产生振动，过大的振动加速度将导致建筑物的摇摆，使在建筑内居住和工作的人产生不舒适和恐慌。国外高层建筑多采用钢结构，一般对层间位移角（剪切变形角）加以限制，主要是考虑非结构构件的损坏，它不包括建筑物整体弯曲产生的水平位移，数值较宽松。

对钢筋混凝土结构的高层建筑而言，层间位移限值既要考虑结构构件的开裂，又要考虑非结构构件的损坏。

限制层间位移的目的是：

- 1 保证主结构基本处于弹性受力状态，避免混凝土墙、柱等主要抗侧力构件开裂，同时将梁的裂缝限制在规定允许范围内。

- 2 保证填充墙、隔墙、幕墙等非结构构件的基本完好，避免出现明显损坏。

高层建筑结构是按弹性阶段进行设计的，地震按小震考虑，风按 50 年一遇风压标准，结构构件的刚度采用弹性阶段的刚度；内力与位移分析不考虑弹塑性变形。

有三种不同的层间位移变形参数：层间位移角、有害层间位移角和广义剪切变形。

层间变形传统上以层间位移角表示，它反映剪切型结构的受力特征较为合理，但与弯曲型或弯剪型结构的受力特征的相关性较差。

有害层间位移角主要用来反映剪力墙等弯曲型结构的受力特征，对整个楼盖的变形采用了平截面假定。高层或超高层建筑多为弯剪型结构，一方面构件的变形中存在与受力不相关的楼盖刚性转动成分，另一方面整个楼盖的变形不符合平截面假定，即存在楼盖的竖向翘曲变形。

广义剪切变形的实质是将层间位移角中剪力墙、框架和连梁区格各自不同的刚性位移（转动）部分去除，剩下部分则是受力引起的变形，即是对层间位移角的“去伪存真”。区格的广义剪切变形中包括弯曲变形和剪切变形。与弹性力学中剪切变形的定义相似。将一个楼层划分为剪力墙、框架和连梁三类不同的区格后，由于三类区格下楼盖的转动各不相同，在相同的层间位移角下不同区格的广义剪切变形也不相同。同时，因为将空间结构划分为平面区格，可用不同位置的实际位移计算广义剪切变形，则既可以考虑侧向位移的影响，也可考虑楼盖扭转变形的影响。最大层间位移角一般位于建筑物的中上部位，与受力相关性较差；剪力墙区格的最大广义剪切变形一般位于建筑物的底部或加强层附近，框架与连梁区格的最大广义剪切变形一般位于框架梁和连梁内力最大部位，与受力相关性较好。剪力墙区格的最大剪切变形数值远小于最大层间位移角，当层间位移角限制在 $1/500$ 以内时，剪力墙区格的最大广义剪切变形均小于 $1/3000$ 。加之超高层结构竖向构件轴压力远大于剪力，墙肢不会出现裂缝，层间变形的限值主要由框架和连梁区格的广义剪切变形允许值控制。

限制广义剪切变形在理论上比限制层间位移角合理，但计算较繁琐，对于特别复杂的结构，可用广义剪切变形形式代替层间位移角进行计算和限制。

4.5.3 震害表明，结构如果存在薄弱层，在强烈地震作用下结构薄弱部位将产生较大的弹塑性变形，会引起结构严重破坏甚至倒塌。因此《高层建筑混凝土结

构技术规程》第 5.5.1 条规定了对某些抗震设计的高层建筑结构，在罕遇地震作用下薄弱层弹塑性变形验算；第 4.6.5 条规定了层间弹塑性位移角限值；第 5.5.1 条至 5.5.3 条规定了弹塑性变形计算方法；第 5.1.13 条规定，B 级高度的高层建筑结构和第 10 章的复杂高层建筑结构宜采用弹塑性静力或动力分析方法验算薄弱层弹塑性变形。

对建筑结构在罕遇地震作用下薄弱层(部位)弹塑性变形计算，12 层以下且层刚度无突变的框架结构及单层钢筋混凝土柱厂房可采用规范的简化方法计算；较为精确的结构弹塑性分析方法，可以是三维的静力弹塑性(如 push-over 方法)或弹塑性时程分析方法；有时尚可采用塑性内力重分布的分析方法等。

5 隔震设计

5.1 一般规定

5.1.2 本标准对隔震的基本要求是：通过隔震层的大变形来减少其上部结构的地震作用，从而减少地震破坏。隔震设计需解决的主要问题是：隔震层位置的确定，隔震垫的数量、规格和布置，隔震层在罕遇地震下的承载力和变形控制，隔震层不隔离竖向地震作用的影响，上部结构的水平向减震系数及其与隔震层的连接构造等。预制装配整体式模块化建筑一般会建成中高层，越高上部承载越多的水平力，根据抗震设防烈度，得到预期的竖向承载力、水平向减震系数和位移控制要求，最终选择适当的隔震装置及抗风装置组成结构的隔震层。

5.1.3、5.1.4 当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损坏或不需进行修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。使用功能或其他方面有专门要求的建筑，当采用抗震性能化设计时，具有更具体或更高的抗震设防目标。

采用隔震设计的预制装配整体式模块化建筑结构房屋，当遭遇到本地区的多遇地震影响、设防地震影响和罕遇地震影响时，可按照高于基本设防目标进行设计。一般是规定结构高宽比小于 4 作为基本控制指标。

5.1.5 预制装配整体式模块化建筑结构隔震设计是一个较传统建筑稍复杂的过程，因为其本身的缺陷性。国外对隔震工程的许多考察发现：硬土地较适合于隔震房屋；软弱场地滤掉了地震波的中高频分量，延长结构的周期将增大而不是减小其地震反应，墨西哥地震就是一个典型。所以综合考虑各种因数是预制装配整体式模块化建筑的一个难点。

5.1.6 本条文是结合 2010 版建筑抗震设计规范来编写的。其中修改了 2001 版规定的基本周期小于 1s 和采用底部剪力法进行非隔震设计的结构。在隔震设计的方案比较和选择时仍应注意：

1 隔震技术对低层和多层建筑比较合适，日本和美国的经验表明，不隔震时基本周期小于 1.0s 的建筑结构效果最佳；建筑结构基本周期的估计，普通的砌体房屋可取 0.4s，钢筋混凝土框架取 $T_1 = 0.075H^{3/4}$ ，钢筋混凝土抗震墙结构取 $T_1 = T_1 = 0.05H^{3/4}$ 。但是，不应仅限于基本自振周期在 1s 内的结构，因为超过 1s 的结构采用隔震技术有可能同样有效，国外大量隔震建筑也验证了此点，故取消了 2001 规范要求结构周期小于 1s 的限制。

2 根据橡胶隔震支座抗拉屈服强度低的特点，需限制非地震作用的水平荷载，结构的变形特点需符合剪切变形为主且房屋高宽比小于 4 或有关规范、规程对非隔震结构的高宽比限制要求。现行规范、规程有关非隔震结构高宽比的规定如下：高宽比大于 4 的结构小震下基础不应出现拉应力；砌体结构，6、7 度不大于 2.5，8 度不大于 2.0，9 度不大于 1.5；混凝土框架结构，6、7 度不大于 4，8 度不大于 3，9 度不大于 2；混凝土抗震墙结构，6、7 度不大于 6，8 度不大于 5，9 度不大于 4。对高宽比大的结构，需进行整体倾覆验算，防止支座压屈或出现拉应力超过 1MPa。

3 隔震层防火措施和穿越隔震层的配管、配线，有与隔震要求相关的专门要求。2008 年汶川地震中，位于 7~8 度区的隔震建筑，上部结构完好，但隔震层的管线受损，故需要特别注意改进。

5.1.7~5.1.9 隔震支座、阻尼器和消能减震部件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。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。按照国家产品标准《建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3-2006 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，其要求是：采用随机抽样方式确定检测试件。若有一件抽样的一项性能不合格，则该次抽样检验不合格。对一般建筑，每种规格的产品抽样数量应不少于总数的 20%；若有不合格，应重新抽取总数的 30%，若仍有不合格，则应 100%检测。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。对黏滞流体消能器等可重复利用的消能器，抽检数量适当增多，抽检的消能器可用于主体结构；对金属屈服位移相关型消能器等不可重复利用的消能器，在同

一类型中抽检数量不少于 2 个,抽检合格率为 100%,抽检后不能用于主体结构。型式检验和出厂检验应由第三方完成。

5.1.10 本条明确提出,可采用隔震、减震技术进行结构的抗震性能化设计。此时,本章的规定应依据性能化目标加以调整。

5.2 隔震层上部结构设计

5.2.3 结构在罕遇地震作用下薄弱层的弹塑性变形验算,应符合下列要求:

1) 下列结构应进行弹塑性变形验算:

- 1) 8 度 III、IV 类场地和 9 度时,高大的单层钢筋混凝土柱厂房的横向排架;
- 2) 7~9 度时楼层屈服强度系数小于 0.5 的钢筋混凝土框架结构和框排架结构;
- 3) 高度大于 150m 的结构;

4) 甲类建筑和 9 度时乙类建筑中的钢筋混凝土结构和钢结构;

5) 采用隔震和消能减震设计的结构。

2) 下列结构宜进行弹塑性变形验算:

- 1) 在规定高度范围且属于竖向不规则类型的高层建筑结构;
- 2) 7 度 III、IV 类场地和 8 度时乙类建筑中的钢筋混凝土结构和钢结构;
- 3) 板柱-抗震墙结构和底部框架砌体房屋;
- 4) 高度不大于 150m 的其他高层钢结构;
- 5) 不规则的地下建筑结构及地下空间综合体。

注:楼层屈服强度系数为按钢筋混凝土构件实际配筋和材料强度标准值计算的楼层受剪承载力和按罕遇地震作用标准值计算的楼层弹性地震剪力的比值;对排架柱,指按实际配筋面积、材料强度标准值和轴向力计算的正截面受弯承载力与按罕遇地震作用标准值计算的弹性地震弯矩的比值。

5.2.4 结构在罕遇地震作用下薄弱层(部位)弹塑性变形计算,可采用下列方法:

1) 不超过 12 层且层刚度无突变的钢筋混凝土框架结构和框排架结构、单层钢筋混凝土柱厂房可采用本节 4.5.1 的简化算法;

2) 除 1 款以外的建筑结构,可采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析法等;

3 规则结构可采用弯剪层模型或平面杆系模型，不规则结构应采用空间结构模型。

5.3 下部结构和地基基础设计

5.3.3 引述《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010，2016 版）“4.2.2 天然地基基础抗震验算时，应采用地震作用效应标准组合，且地基抗震承载力应取地基承载力特征值乘以地基抗震承载力调整系数计算。”

5.3.5 在工程勘察过程中，只有采用多种判别方法才能准确判定液化土的存在与分布。标准贯入试验作为目前阶段液化判别主要手段之一，初步满足了液化土层的评价。

利用原位测试法（现场标准贯入试验），根据经验公式导入标贯击数，得出结果是否液化。

静力触探和标准贯入试验均可对液化进行判别，最常用的是用标准贯入击数来判定。

土的液化：松散的砂土和粉土，在地下水的作用之下达到饱和状态。如果在这种情况下土体受到震动，会有变得更紧密的趋势，这种趋于紧密的作用使孔隙水压力骤然上升，而在这短暂的震动过程中，骤然上升的孔隙水压力来不及消散，这就使原来由土颗粒间接触点传递的压力（有效压力）减小，当有效压力完全消失时，土层会完全丧失抗剪强度和承载能力，变成像液体一样，这就是土的液化现象。发生液化现象，土质多是松散的砂土和粉土，而且受到震动和水的作用。

对各项抗液化措施的要求：

1 采用桩基时，桩端伸入液化深度以下稳定土层中的长度（不包括桩尖部分）应按计算确定，对碎石土、砾、粗、中砂、坚硬粘性土应不小于 500mm，其他非岩石土应不小于 2m。

2 采用深基础时，基础底面埋入可液化深度以下稳定土层中的深度应不小于 500mm。

3 采用加密法（如振冲、振动加密、砂桩挤密、强夯等）处理可液化地基时：（处理后土层的实测标准贯入锤击数 $N_{63.5}$ 应大于临界值 N_{cr} ）要求全部消

除地基液化沉降时，有效处理深度应不浅于液化深度下界。要求部分消除地基液化沉降时，有效处理深度以下未处理的残留液化土层的液化指数应不大于 4，对独立基础与条形基础的有效处理深度应不浅于地基主要受力层深度。

5.4 截面抗震验算

5.4.1~5.4.3 在设防烈度的地震作用下，结构构件承载力按《建筑结构可靠度设计统一标准》计算的可靠指标 β 是负值，难于按《统一标准》的要求进行设计表达式的分析。因此，89 规范以来，在第一阶段的抗震设计时取相当于众值烈度下的弹性地震作用作为额定设计指标，使此时的设计表达式可按《统一标准》的要求导出。

1 地震作用分项系数的确定。在众值烈度下的地震作用，应视为可变作用而不是偶然作用。这样，根据《统一标准》中确定直接作用(荷载)分项系数的方法，通过综合比较，本规范对水平地震作用，确定 $\gamma_{Eh} = 1.3$ ，至于竖向地震作用分项系数，则参照水平地震作用，也取 $\gamma_{Ev} = 1.3$ 。当竖向与水平地震作用同时考虑时，根据加速度峰值记录和反应谱的分析，二者的组合比为 1: 0.4，故 $\gamma_{Eh} = 1.3$ ， $\gamma_{Ev} = 0.4 \times 1.3 \approx 0.5$ 。

2 此外，按照《统一标准》的规定，当重力荷载对结构构件承载力有利时，取 $\gamma_G = 1.0$ 。

3 抗震验算中作用组合值系数的确定。本规范在计算地震作用时，已经考虑了地震作用与各种重力荷载（恒荷载与活荷载、雪荷载等）的组合问题，规范规定了一组组合值系数，形成了抗震设计的重力荷载代表值，本规范继续沿最新抗震规范在验算和计算地震作用时（除吊车悬吊重力外）对重力荷载均采用相同的组合值系数的规定，可简化计算，并避免有两种不同的组合值系数。因此，本条中仅出现风荷载的组合值系数，并按《统一标准》的方法，将最新抗震规范的取值予以转换得到。这里，所谓风荷载起控制作用，指风荷载和地震作用产生的总剪力和倾覆力矩相当的情况。

4 地震作用标准值的效应。规范的作用效应组合是建立在弹性分析叠加原理基础上的，考虑到抗震计算模型的简化和塑性内力分布与弹性内力分布的差

异等因素，本条中还规定，对地震作用效应，当本规范各章有规定时尚应乘以相应的效应调整系数 η ，如突出屋面小建筑、天窗架、高低跨厂房交接处的柱子、框架柱，底层框架—抗震墙结构的柱子、梁端和抗震墙底部加强部位的剪力等的增大系数。

5 关于重要性系数。根据地震作用的特点、抗震设计的现状，以及抗震设防分类与《统一标准》中安全等级的差异，重要性系数对抗震设计的实际意义不大，本规范对建筑重要性的处理仍采用抗震措施的改变来实现，不考虑此项系数。

5.5 隔震设计要点

5.5.1 本规范对隔震的基本要求是：通过隔震层的大变形来减少其上部结构的地震作用，从而减少地震破坏。隔震设计需解决的主要问题是：隔震层位置的确定，隔震垫的数量、规格和布置，隔震层在罕遇地震下的承载力和变形控制，隔震层不隔离竖向地震作用的影响，上部结构的水平向减震系数及其与隔震层的连接构造等。

隔震层的位置通常位于第一层以下。当位于第一层及以上时，隔震体系的特点与普通隔震结构可有较大差异，隔震层以下的结构设计计算也更复杂。为便于我国设计人员掌握隔震设计方法，本规范提出了“水平向减震系数”的概念。按减震系数进行设计，隔震层以上结构的水平地震作用和抗震验算，构件承载力留有一定的安全储备。对于丙类建筑，相应的构造要求也可有所降低。但必须注意，结构所受的地震作用，既有水平向也有竖向，目前的橡胶隔震支座只具有隔离水平地震的功能，对竖向地震没有隔震效果，隔震后结构的竖向地震力可能大于水平地震力，应予以重视并做相应的验算，采取适当的措施。

5.5.2 本条规定了新型预制装配整体式模块化建筑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。如下图 5.5.2，是对应于底部剪力法的等效剪切型结构的示意图；其他情况，质点 j 可有多个自由度，隔震装置也有相应的多个自由度。

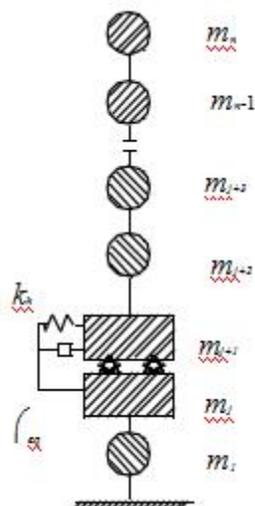


图 5.5.2 等效剪切型结构的示意图

根据 2010 版本的建筑抗震设计的修订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即考虑近场影响系数，5km 以内宜取 1.5，5km 以外可取不小于 1.25。

5.5.3 本条是根据《建筑抗震设计规范》的隔震层的橡胶隔震支座。具体要求如下：

- 1 隔震支座在下表 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不应超过下表的规定。

表 5.5.3 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(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 5.0 时应降低压应力限值：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。

本条规定了隔震层设计的基本要求。

1 关于橡胶隔震支座的压应力和最大拉应力限值。

根据 Haringx 弹性理论，按稳定要求，以压缩荷载下叠层橡胶水平刚度为零的压应力作为屈曲应力 σ_{cr} ，该屈曲应力取决于橡胶的硬度、钢板厚度与橡胶厚度的比值、第一形状参数 s_1 (有效直径与中央孔洞直径之差 $D - D_0$ 与橡胶层 4 倍厚度 $4t_r$ 之比) 和第二形状参数 S_2 (有效直径 D 与橡胶层总厚度 $n t_n$ 之比) 等。通常，隔震支座中间钢板厚度是单层橡胶厚度的一半，取比值为 0.5。对硬度为 30~60 共七种橡胶，以及 $S_1=11、13、15、17、19、20$ 和 $S_2=3、4、5、6、7$ ，累计 210 种组合进行了计算。结果表明：满足 $S_1 \geq 15$ 和 $S_2 \geq 5$ 且橡胶硬度不小于 40 时，最小的屈曲应力值 34.0MPa。

将橡胶支座在地震下发生剪切变形后上下钢板投影的重叠部分作为有效受压面积，以该有效受压面积得到的平均应力达到最小屈曲应力作为控制橡胶支座稳定的条件，取容许剪切变形为 $0.55D$ (D 为支座有效直径)，则可得本条规定的丙类建筑的压应力限值

$$\sigma_{\max} = 0.45, \sigma_{cr} = 15.0 \text{MPa}$$

对 $s_2 < 5$ 且橡胶硬度不小于 40 的支座，当 $S_2=4$ ， $\sigma_{\max} = 12.0 \text{MPa}$ ；当 $S_2=3$ ， $\sigma_{\max} = 9.0 \text{MPa}$ 。因此规定，当 $S_2 < 5$ 时，平均压应力限值需予以降低。

2 规定隔震支座控制拉应力，主要考虑下列三个因素：

- ①橡胶受拉后内部有损伤，降低了支座的弹性性能；
- ②隔震支座出现拉应力，意味着上部结构存在倾覆危险；

③规定隔震支座拉应力 $\sigma_t < 1 \text{MPa}$ 。理由是：1) 广州大学工程抗震研究中心所作的橡胶垫的抗拉试验中，其极限抗拉强度为 2.0~2.5MPa；2) 美国 UBC 规范采用的容许抗拉强度为 1.5MPa。

5.5.4 本条规定了预制装配整体式模块化建筑隔震层的水平等效刚度和等效黏滞阻尼比的基本要求。关于隔震层水平刚度和等效粘滞阻尼比的计算方法，系根据振动方程的复阻尼理论得到的。其实部为水平刚度，虚部为等效粘滞阻尼比。

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。故在 2010 版《建筑抗震设计规范》里对其进行了修订。

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。隔震支座直径较大时，如直径不小于 600mm，考虑实际工程隔震后的位移和现有试验设备的条件，对于罕遇地震位移验算时的支座设计参数，可取水平剪切变形 100% 的刚度和阻尼。

还需注意，橡胶材料是非线性弹性体，橡胶隔震支座的有效刚度与振动周期有关，动静刚度的差别甚大。因此，为了保证隔震的有效性，最好取相应于隔震体系基本周期的刚度进行计算。2010 规范的修订，将 2001 规范隐含加载频率影响的“动刚度”改为“等效刚度”，用语更明确，方便同国家标准《橡胶支座》接轨；之所以去掉有关频率对刚度影响的语句，因相关的产品标准已有明确的规定。

5.5.5、5.5.6 这两条规定了预制装配整体式模块化建筑水平向力的抗力验算。隔震后，隔震层以上结构的水平地震作用可根据水平向减震系数确定。对于多层结构，层间地震剪力代表了水平地震作用取值及其分布，可用来识别结构的水平向减震系数。考虑到隔震层不能隔离结构的竖向地震作用，隔震结构的竖向地震力可能大于其水平地震力，竖向地震的影响不可忽略，故至少要求 9 度和 8 度水平向减震系数为 0.30 时应进行竖向地震作用验算。2010 版建筑抗震规范对水平向减震系数的概念作某些调整：直接将“隔震结构与非隔震结构最大水平剪力的比值”改称为“水平向减震系数”，采用该概念力图使其意义更明确，以方便设计人员理解和操作。（美国、日本等国也同样采用此方法。）隔震后上部结构按本规范相关结构的规定进行设计时，地震作用可以降低，降低后的地震影响系数曲线形式按本规范取，仅地震影响系数最大值 α_{max1} 减小。

5.5.7、5.5.8 当前，在国家产品标准《建筑隔震橡胶支座》GB 20688.3-2006 中，橡胶支座按剪切性能允许偏差分为 S-A 和 S-B 两类，其中 S-A 类的允许偏差为 $\pm 15\%$ ，S-B 类的允许偏差为 $\pm 25\%$ 。因此，随着隔震支座产品性能的提高，该系数可适当减少。目前确定设计用的水平地震作用的降低程度，需根据概率可靠度分析提供一定的概率保证，一般考虑 1.645 倍变异系数。

于是，依据支座剪切刚度与隔震后体系周期及对应地震总剪力的关系，由支座刚度的变异导出地震总剪力的变异，再乘以 1.645，则大致得到不同支座的 ψ 值，S-A 类为 0.85，S-B 类为 0.80。当设置阻尼器时还需要附加与阻尼器有关的变异系数， ψ 值相应减少，对于 S-A 类，取 0.80，对于 S-B 类，取 0.75。

5.5.10 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 0.40 为界划分，并明确降低的要求不得超过一度，对于不同的设防烈度如下表 5.5.10 所示：

表 5.5.10 水平向减震系数与隔震后结构水平地震作用所对应烈度的分档

| 本地区设防烈度(设计基本地震加速度) | 水平向减震系数 | | |
|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| | $0.53 \geq w \geq 0.40$ | $0.40 > w > 0.27$ | $w \leq 0.27$ |
| 9 (0.40g) | 8 (0.30g) | 8 (0.20g) | 7 (0.15g) |
| 8 (0.30g) | 8 (0.20g) | 7 (0.15g) | 7 (0.10g) |
| 8 (0.20g) | 7 (0.15g) | 7 (0.10g) | 7 (0.10g) |
| 7 (0.15g) | 7 (0.10g) | 7 (0.10g) | 6 (0.05g) |
| 7 (0.10g) | 7 (0.10g) | 6 (0.05g) | 6 (0.05g) |

注意：根据抗震规范的抗震措施规定，一般没有 8 度（0.30g）和 7 度（0.15g）的具体规定。此外，当 $\beta \geq 0.40$ 时抗震措施不降低，对于 7 度（0.15g）设防时，即使 $\beta < 0.40$ ，隔震后的抗震措施基本上不降低。

5.5.11 根据最新建筑抗震规范，删去 2001 规范关于墙体下隔震支座的间距不宜大于 2m 的规定，使大直径的隔震支座布置更为合理。为了保证隔震层能够整体协调工作，隔震层顶部应设置平面内刚度足够大的梁板体系。当采用装配整体式钢筋混凝土楼盖时，为使纵横梁体系能传递竖向荷载并协调横向剪力在每个隔震支座的分配，支座上方的纵横梁体系应为现浇。为增大隔震层顶部梁板的平面内刚度，需加大梁的截面尺寸和配筋。隔震支座附近的梁、柱受力状态复

杂，地震时还会受到冲切，应加密箍筋，必要时配置网状钢筋。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、隔震支座与基础的连接件应具有传递上部结构最大底部剪力的能力。

5.5.12 对隔震层以下的结构部分，主要设计 requirements 是：保证隔震设计能在罕遇地震下发挥隔震效果。因此，需进行与设防地震、罕遇地震有关的验算，并适当提高抗液化措施。建筑抗震规范中增加了隔震层位于下部或大底盘顶部时对隔震层以下结构的规定，进一步明确了按隔震后而不是隔震前的受力和变形状态进行抗震承载力和变形验算的要求。

6 隔震层部件技术性能

6.1 一般规定

6.1.1 隔震支座作为支承建筑物上部结构和地震时发挥隔震作用的关键结构元件，必须严格进行进场检验。应提供必要的质量证明文件，如材料检测报告、出厂检验报告、型式检验报告等。此外，本规范对剪切性能要求的试验加载最低频率（不得低于 0.02Hz）进行了专门规定，以保证试验检测结果具有实用价值。相关标准编制时国内试验条件尚不具备，未对频率作强制性要求或要求过低，与地震时支座的工作状态相差甚远。日本相关规定为不低于 0.3Hz，即考虑隔震周期不低于 3s。另一方面，水平极限变形能力是检测支座在较大地震时能否可靠有效发挥作用的重要指标，同时也是检验支座生产质量控制能力的关键性指标，亦作明确要求，以区别于出厂检验要求，并对支座性能进行高标准复验。

6.1.3 隔震层宜留有便于观测和更换隔震支座的空間。隔震层所形成的縫隙可根据使用功能要求，采用柔性材料封堵、填塞。

6.1.4 隔震层设置在有防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。

6.1.5 试验确定设计参数时，竖向荷载应保持平均压应力极限值对多遇地震验算，宜采用水平加载频率为 0.3Hz 且隔震支座剪切变形为 50%的水平刚度和等效粘滞阻尼比；对罕遇地震验算，直径小于 600mm 的隔震支座宜采用水平加载频率为 0.1Hz 且隔震支座剪切变形不小于 250%时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比，直径不小于 600mm 的隔震支座可采用水平加载频率为 0.2Hz 且隔震支座剪切变形为 100%时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比。

6.2 隔震支座的技术性能

6.2.1 应力设计值应按永久荷载和可变荷载组合计算，对需验算倾覆的结构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；当橡胶支座的第二形状系数（有效直径与各橡胶层总厚度

之比)小于 5.0 时应降低平均压应力限值:小于 5 不小于 4 时降低 20%,小于 4 不小于 3 时降低 40%;外径小于 300mm 的橡胶支座,其平均压应力限值对丙类建筑为 12MPa。

6.2.2 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刚度分配当按扭转耦联计算时,尚应计及隔震支座的扭转刚度。

6.3 隔震支座连接部件技术性能

6.3.2 隔震层以下结构(包括地下室)的地震作用和抗震验算,应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行计算。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。

6.3.3 丙类建筑在隔震层以上结构的抗震措施,当水平向减震系数为 0.75 时不应降低非隔震时的有关要求;水平向减震系数不大于 0.50 时,可适当降低本规范有关章节对非隔震建筑的要求,但与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。此时,对砌体结构,可按 2016 版《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 附录 L 采取抗震构造措施;对钢筋混凝土结构,柱和墙肢的轴压比控制应仍按非隔震的有关规定采用。

7 隔震层构造要求

7.1 一般规定

7.1.1 国家现行的规范为 GB 50011-2010《建筑抗震设计规范理解与应用》、JGJ360-2015《建筑隔震工程施工及验收规范》、CECS126-2001《叠层橡胶支座隔震技术规程》相关规定。

7.1.2 隔震层与上部结构的连接，应符合下列规定：

1 隔震层顶部应设置梁板式楼盖，且应符合下列要求：

1) 隔震支座的相关部位应采用现浇混凝土梁板结构，现浇板厚度不应小于 160mm；

2) 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力，宜大于一般楼盖梁板的刚度和承载力；

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。

2 隔震支座和阻尼装置的连接构造，应符合下列要求：

1) 隔震支座和阻尼装置应安装在便于维护人员接近的部位；

2) 隔震支座与上部结构、下部结构之间的连接件，应能传递罕遇地震下支座的最大水平剪力和弯矩；

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

7.1.3 管线穿越隔震层。穿越隔震层及隔离缝的配管、配线均应采用柔性连接或其他有效措施以适应隔震层在地震作用下的水平位移。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不会遭到破坏。避雷导体穿越隔震层，应按下图 7.1.3 进行安装。



图 7.1.3 避雷导体

7.1.4 隔震层设置在有耐火要求的使用空间时，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。

7.3.1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接。进行隔震支座连接件截面设计时，需要考虑以下因素：

- 1 水平方向承受支座发生 350% 剪切变形时的最大水平剪力；
- 2 节点板局部承压验算；
- 3 竖向拉应力不应大于 1MPa。

7.3.2 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱开，应合理设置防震缝和水平隔离缝，并应满足下列设置要求：

1 体型基本规则的隔震房屋可不设置防震缝。体型复杂的房屋不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

2 一般情况下，上部结构周围应设置防震缝。隔震房屋设置伸缩缝、隔离缝或防震缝时，应符合下述要求：

① 仅在上部结构隔震层楼面以上设置伸缩缝或防震缝时，缝的宽度应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 对不同房屋防震缝宽度的要求。

② 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱开，合理设置防震缝。与水平方向固定物的脱开距离不宜少于隔震层在罕遇地震作用下最大位移(d)的 1.2 倍，且不小于 200mm；与竖直方向固定物的脱开距离可取所采用的隔震支座中橡胶层总厚度最大者的 1/25 加上 10mm，且不宜小于 20mm。对两相邻隔震结构，防震缝缝宽取最大水平位移值之和，且不小于 400mm。

③ 隔震建筑需要设置沉降缝时，其宽度应满足上述防震缝的要求。

7.4.2 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱开，应合理设置防震缝和水平隔离缝，并应满足下列设置要求，隔震建筑防震缝可按下述规定设置：

体型基本规则的隔震房屋可不设置防震缝。体型复杂的房屋不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

7.4.3 隔震层顶部纵、横梁的构造应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 第 7.5.8 条关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的要求，亦即：

1 梁的截面宽度不应小于 300mm，梁的截面高度不应小于跨度的 1/10。

2 箍筋的直径不应小于 8mm，间距不应大于 200mm，梁端在 1.5 倍梁高，且不小于 1/5 梁净跨范围内，以及上部墙体的洞口处和洞口两侧各 500mm，且不小于梁高的范围内，箍筋间距不应大于 100mm。

3 沿梁高应设腰筋，数量不应少于 2Φ14，间距不应大于 200mm。

4 梁的主筋和腰筋应按受拉钢筋的要求锚固在柱内，且支座上部的纵向钢筋在柱内的锚固长度应符合钢筋混凝土框支梁的有关要求。

8 隔震结构的施工维护

8.1 结构材料一般规定

8.1.1 凡出现下列情况之一，本项目核定为“不符合要求”。

无出厂合格证和检验报告。

应见证的原材料、连接件检验未按规定见证取样送检；见证取样送检的材料种类、数量与规定不符。

检验项目缺项或检验结果不符合标准要求。

8.1.2 雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤会影响抗震支座和阻尼器的质量。支座和阻尼器长期暴露在雨淋、日晒条件中，会造成其刚度和阻尼的下降，进而影响阻尼耗能减震和对上部结构的支撑效果。磕碰和锐器划伤会造成支座和阻尼器表面变形，从而对装配式施工造成不利的影响。

8.1.3 以上措施均为保护支座和阻尼器表面质量的措施，以避免实际施工时连接件不能充分可靠连接。

8.1.4 为了确定支座、阻尼器及其连接件无质量问题，三者之间可达到可靠连接，符合施工工程的要求。

8.1.5 测量仪器及工具主要是为了保证安装的精度，需要准备的仪器或工具主要有：全站仪（定位轴线）、水准仪（抄平）、水平尺（粗略检查和复核）、施工线、水平管、（石笔）粉笔、卷尺、线坠、扭矩扳手等。

8.1.6 支座安装应在上道工序交接检验合格后进行施工；支座安装工程施工经验收合格后，方可进行后续工程施工。相关施工要求应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.1.2 条相关规定要求。

具体规定如下：

支座的支墩（柱）与承台或底板分开施工，承台或底板混凝土应振捣平整；参建各方应联合对支座、阻尼器及其连接件、预埋件等进行进场验收；

当承台、底板混凝土初凝前，应进行测量定位，绑扎支墩（柱）的钢筋及周边钢筋，应预留预埋锚筋或锚杆、套筒的位置；

下支墩（柱）上的连接板在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确的测量定位，并用连接螺栓对螺栓孔进行临时旋拧封闭；

安装下支墩（柱）侧模，应用水准仪测定模板高度，并在模板上弹出水平线；

浇筑下支墩（柱）混凝土时，应尽量减少对预埋件的影响。混凝土浇筑完毕后，应对支座中心的平面位置和标高进行复测并记录，若有移动，应立即校正；

模板拆除后，应采用同强度的水泥砂浆进行找平，找平后应对砂浆面进行标高复核；

安装支座，并对其进行调平、固定；

上支墩（柱）连接件定位；

绑扎上支墩（柱）的钢筋；

安装上支墩（柱）模板；

参建各方对隔震层施工进行联合验收。

8.2 隔震支座基本规定

8.2.1 支座作为支承建筑物上部结构和地震时发挥隔震作用的关键结构元件，必须严格进行进场检验。其中，剪切性能要求对试验加载最低频率进行了专门规定，以保证试验检测结果具有实用价值。相关标准编制时国内试验条件尚不具备，未对频率作强制性要求或要求过低（仅为 0.001Hz），与支座地震时工作状态相差甚远。日本相关规定为不低 0.3Hz，即考虑隔震周期不低于 3s。考虑现在国内试验条件和高层建筑隔震应用时，隔震周期常常大于 3s，为保证试验具有实际验证作用，特提出压剪试验加载频率的明确规定。另一方面，水平极限变形能力是检测支座在较大地震时能否可靠有效发挥作用的重要指标，同时也是检验支座生产质量控制能力的关键性指标，亦作明确要求，以区别于出厂检验要求，并对支座性能进行高标准复验。支座见证检验技术要求应符合表 8.2.1。

表 8.2.1 支座见证检验技术要求

| 性能要求 | 技术要求 | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|----------------------------|---|-----------|-----------------------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|--------------------------|---|
| | 要求 | 试件 | 试验方法和条件 | | | | | | | | | |
| 压缩性能 | 竖向压缩刚度 K_v 允许偏差为 $\pm 30\%$ | 型式检验, 应采用足尺支座; 出厂检验应采用支座产品 | 1. 以设计压力 p_0 的 $\pm 30\%$ 进行加载, 加载方法采用 $0-p_0-1.3p_0-0.7p_0$, $0.7p_0-p_0-1.3p_0-p_0-0.7p_0$, $0.7p_0-p_0-1.3p_0-p_0-0.7p_0$. 加载 3 次, 竖向压缩刚度 K_v 应按第 3 次加载循环测试值计算。 2. 加载标准温度为 23°C , 否则应对试验结果进行温度修正 | | | | | | | | | |
| 剪切性能 | <p>1. 剪切性能允许偏差</p> <table border="1" data-bbox="359 857 817 1279"> <thead> <tr> <th>类别</th> <th>单个试件测试值</th> <th>一批试件平均测试值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\gamma_v \geq 350\%$</td> <td>$\pm 15\%$</td> <td>$\pm 10\%$</td> </tr> <tr> <td>$300\% \leq \gamma_v \leq 350\%$</td> <td>$\pm 25\%$</td> <td>$\pm 20\%$</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 测量项目 1) 天然橡胶支座, 水平等效刚度 k_h; 2) 高阻尼橡胶支座水平等效刚度 k_h 等效阻尼比为 h_{eq}; 3) 铅芯橡胶支座, 水平等效刚度 k_h, 等效阻尼比为 h_e, 或者屈服后刚度 K_d 屈服力 Q_d。</p> | 类别 | 单个试件测试值 | 一批试件平均测试值 | $\gamma_v \geq 350\%$ | $\pm 15\%$ | $\pm 10\%$ | $300\% \leq \gamma_v \leq 350\%$ | $\pm 25\%$ | $\pm 20\%$ | 型式检验应采用足尺支座, 出厂检验应采用支座产品 | <p>1. 加载方法采用 3 次加载循环法, 加载 3 次。剪切性能应按第 3 次加载循环测试值计算, 剪应变变为 γ_0 或 100%。</p> <p>2. 试验加载频率宜为设计频率, 除设计特殊要求外, 不得低于 0.02Hz。</p> <p>3. 试验标准温度为 23°C, 否则应对试验结果进行温度修正。</p> |
| 类别 | 单个试件测试值 | 一批试件平均测试值 | | | | | | | | | | |
| $\gamma_v \geq 350\%$ | $\pm 15\%$ | $\pm 10\%$ | | | | | | | | | | |
| $300\% \leq \gamma_v \leq 350\%$ | $\pm 25\%$ | $\pm 20\%$ | | | | | | | | | | |
| 水平极限变形能力 | <p>支座直径小于 800mm 时, 水平极限变形剪切变形不应小于橡胶总厚度的 350%</p> <p>支座直径大于 800mm 时, 水平极限变形可取支座在罕遇地震下的最大设计水平位移值</p> | 支座产品 | 当支座在产品的设计压应力的作用下, 水平缓慢或分级加载, 绘出水平荷载和水平位移曲线, 同时观察支座四周的表现, 当支座外观出现明显异常或实验曲线异常时, 视为破坏。 | | | | | | | | | |

8.2.2 支座外观质量要求应符合表规定

支座外观质量影响着支座的使用寿命,同时也间反映了支座预制生产工艺的质量,支座外观质量检查项目包括表面、气泡、杂质、缺胶、连接板直径或边长、凹凸不平、胶钢粘接不牢(上、下端)、裂纹(侧面)、钢板外露(侧面),具体要求见表 8.2.2。

表 8.2.2 支座外观质量要求

| 缺陷名称 | 质量指标 |
|--------------|--|
| 表面 | 光滑平整,防腐涂层均匀光洁,无漏刷 |
| 气泡 | 单个表面气泡面积不超过 50mm ² |
| 杂质 | 杂质面积不超过 30mm ² |
| 缺胶 | 缺胶面积不超过 150mm ² ,不得多于 2 处,且内部嵌件不得外露 |
| 连接板直径或边长 | 允许偏差 |
| 400—1000 | ±0.80 |
| 凹凸不平 | 凹凸不超过 5mm,面积不超过 50mm ² ,不得多于 3 处 |
| 胶钢粘接不牢(上、下端) | 裂纹长度不超过 30mm,深度不超过 3mm,不得多于 3 处 |
| 裂纹(侧面) | 不应出现 |
| 钢板外露(侧面) | 不应出现 |

8.2.3 基本项目包括: 隔震橡胶支座及下预埋板的中心标志齐全、清晰;隔震橡胶支座的表面洁净,无油污、泥沙、破损;焊缝外观无夹渣、漏焊;丝扣无裂纹损毁;防腐涂层均匀、光洁、无漏刷。以上项目检查数量为总数的 10%,且不少于两个。允许偏差项目见表 8.2.3。

表 8.2.3 允许偏差项目

| 项次 | 项目 | | 允许偏差 | 检查方法 | 检验数量 |
|----|------------|--------|---------|-------|---------------|
| 1 | 下预埋 钢板 | 顶面标高 | ±5mm | 水准仪测量 | 10%且不少 于两处 |
| 2 | | 水平度 | 0.2% | 水平尺测量 | |
| 3 | 橡胶隔 震支座 | 中心平面位置 | 5mm | 钢尺测量 | |
| 4 | | 顶面水平 | 0.3 | 水平尺测量 | |
| 5 | 预留螺 | 栓孔直径 | 0mm—1mm | 钢尺测量 | |
| 6 | 栓孔 | 栓孔位置 | ±1mm | 钢尺测量 | |

8.2.4 支座链接件尺寸偏差应符合下列规定：支座链接件尺寸偏差的检查项目包括连接板平面尺寸、连接板厚度、连接板螺栓孔位置、地脚螺栓外径、地脚螺栓长度。这些连接件的施工质量直接决定了抗震结构的抗震性能，抗震支座对上部结构的保护能力，对地震能量的吸收能力，与工程质量相关，是预制装配整体模块化建筑隔震施工技术中必不可少的一环。隔震支座连接示意图见图 8.2.4。

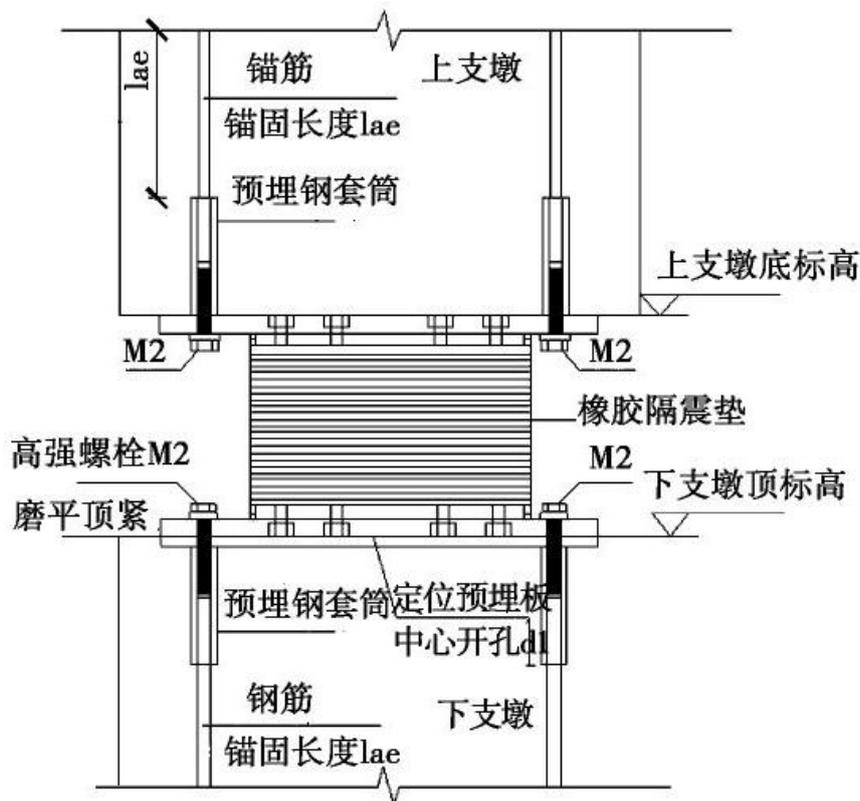


图 8.2.4 隔震支座连接示意图

8.2.7 支座下支墩（柱）和下连接板安装是建筑隔震工程施工的难点和重点。关键是下连接板的定位和板下混凝土浇筑质量。下支墩(柱)的节点处钢筋密集，常与下连接板的套筒或锚筋位置冲突，施工方案须充分研究。必要时与设计人员沟通，根据现场和实际情况，出具设计变更文件。为保证混凝土浇筑质量和支座密贴，建议采用二次浇筑法并且第二次浇筑的支座下混凝土强度宜提高一个等级。

8.2.8 支座安装应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 5.2.2 条相关规定要求。

- 1 下支墩(柱)混凝土强度达到设计强度的 75% 以上时方可进行支座安装；
- 2 支座安装前应复核下连接板的平面位置、标高和水平度，并应保留相关记录；

- 3 支座吊装时，应按厂家提供的吊点安装吊具；吊运过程中，支座宜水平；
- 4 支座安装过程中应采取措施，不得发生水平变形；
- 5 支座就位后，应复核其平面位置、顶面高程和顶面水平度；
- 6 螺栓应对称拧紧；
- 7 支座安装后，支座与下支墩(柱)顶面的连接板应密贴；
- 8 当同一支墩（柱）下采用多个支座组合时，必须采用同一厂家产品。附隔震支座安装流程图（图 8.2.8）。

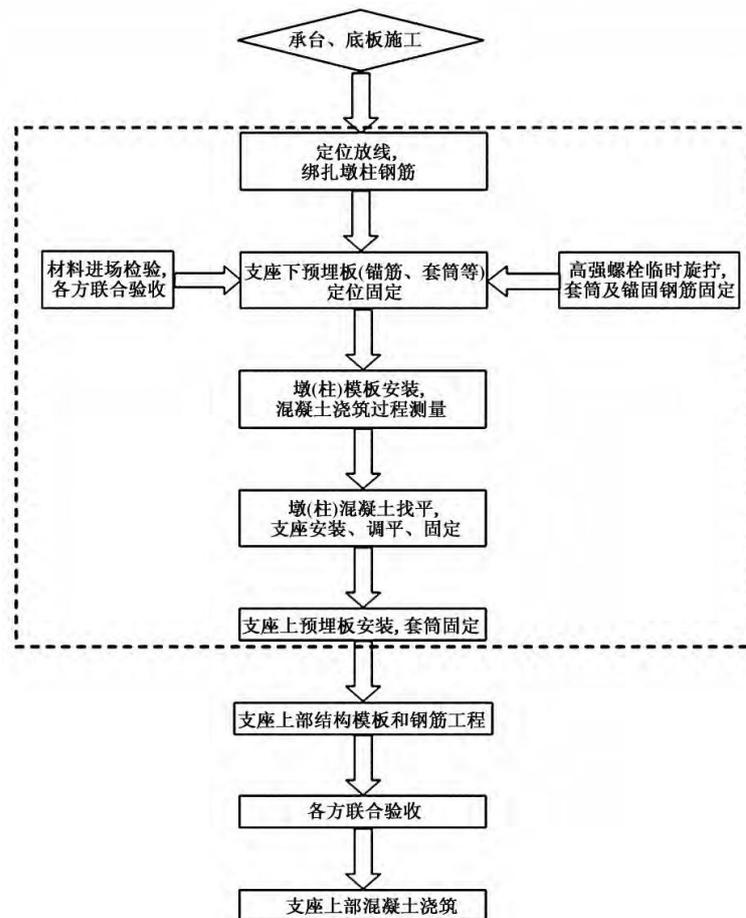


图 8.2.8 隔震支座安装流程图

8.2.9 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和混凝土工程施工时，混凝土的振捣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

8.2.10 可采用软碰撞保护、变刚度保护及软着陆保护。

8.3 阻尼器基本规定

8.3.1 阻尼器应进行见证检验，并按现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209中的相关要求，对最大阻尼力、阻尼系数、阻尼指数、滞回曲线及耐久性能进行检验，检测后合格的阻尼器方可使用。阻尼器的性能要求见表 8.3.1。

表 8.3.1 阻尼器性能要求

| 项目 | | 性能指标 |
|------|-------|---|
| 力学性能 | 最大阻尼力 | 实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内 |
| | 阻尼系数 | 实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内 |
| | 阻尼指数 | 实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内 |
| | 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 $\pm 15\%$ 以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 以内 |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | 变化率不大于 $\pm 15\%$ |
| | 阻尼系数 | 变化率不大于 $\pm 15\%$ |
| | 阻尼指数 | 变化率不大于 $\pm 15\%$ |
| | 滞回曲线 | 光滑，无异常，包络面积变化率不大于 $\pm 15\%$ |
| 密封性能 | | 无渗漏，且阻尼力的衰减率不大于 5% |

采用阻尼器是一种被动控制系统，是通过增加结构阻尼、耗散振动能量来减小结构响应。由于其装置简单、材料经济、减振效果好等特点，在实际结构控制中具有广泛的应用前景。阻尼器种类繁多，我国现行抗规将其分为位移相关型和速度相关型。位移相关型阻尼器的耗能与其自身变形和相对滑动位移有关，常用的有金属阻尼器和摩擦阻尼器。速度相关型阻尼器的阻尼特性与加载频率有关，常用的有粘滞阻尼器和粘弹性阻尼器。

8.3.2 新制造的仪表外部和零部件表面不应有明显的锈蚀和伤痕，使用中和修理后的仪表其外观不应有影响计量性能的缺陷。

8.3.4 确保高强度螺栓连接复验合格，连接摩擦面已进行处理，摩擦面抗滑移系数试验合格，其抗滑移系数最小值满足设计要求，且板面平整无油污。

8.3.5 应用阻尼器和钢支撑加固结构工艺流程如下：施工准备→预制阻尼器、钢支撑→加工钢板、螺栓→卸除楼层活荷载→清除抹灰层、碎块→结构节点加固修理→注入高一强度等级的砂浆→安装节点钢套→安装钢支撑→安装阻尼器→安装结构梁底橡胶支座→节点抹灰装饰→钢支撑防锈防火→检查验收。应用钢支撑和阻尼器加固的结构示意图如图 8.3.5。

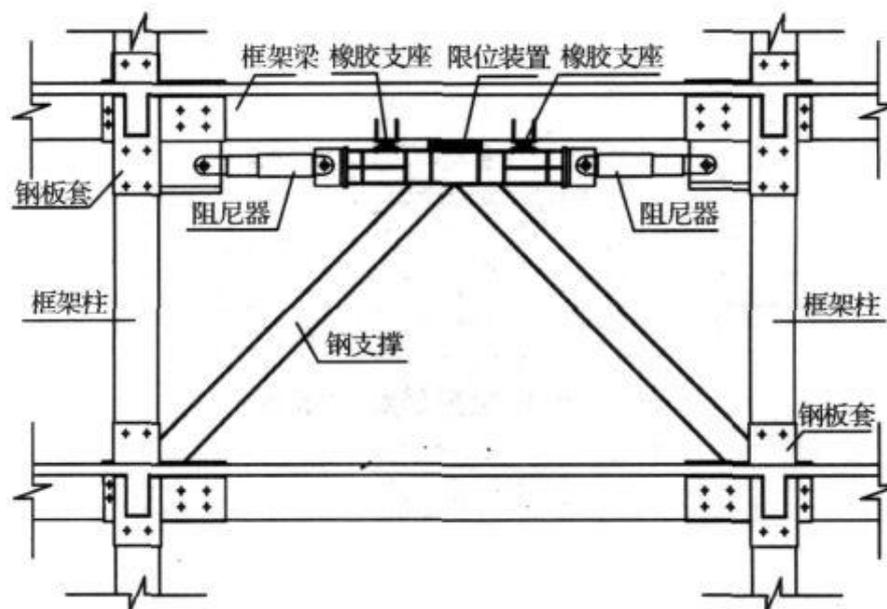


图 8.3.5 应用阻尼器和钢支撑加固结构立面图

8.3.6 一般粘滞阻尼器的布置原则是在阻尼器两端具有较大的相对位移楼层设置；对于有扭转的结构，尚应根据地震作用下结构扭转的情况不对称设置抗扭转的阻尼器。另外随着阻尼器在结构抗震、抗风等项目上应用的发展，很多结构上都采用了不同安装方式、组成不同类型的安置模型。总结目前阻尼器在结构上的安装方式，主要有对角支撑、人字型支撑、套索式支撑、剪刀式支撑等几种。

8.3.9 阻尼器采用销栓或球铰连接时（如双球铰座销轴式阻尼器，结构见图 8.3.9），其间隙应满足设计文件要求。当设计无要求时，间隙不得大于 0.3mm。阻尼器两端各有一单耳环座，单耳环座内装有关节轴承，通过销轴将阻尼器与耗能结构相连接。

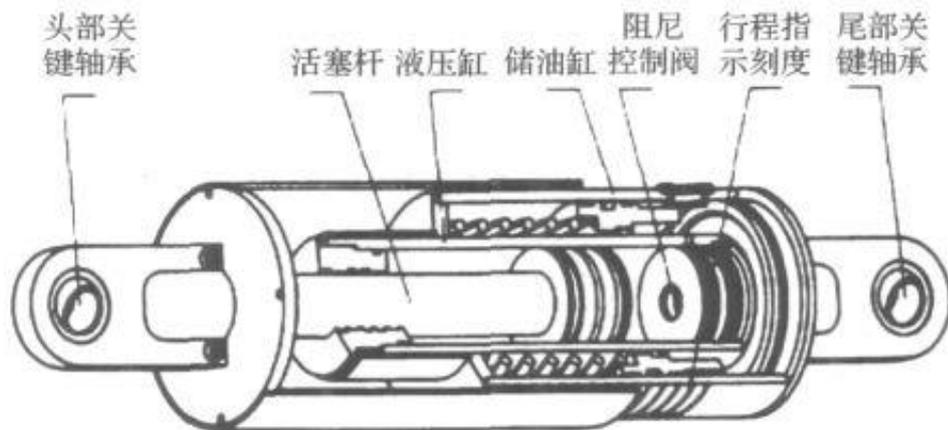


图 8.3.9 双球铰座销轴式阻尼器结构示意图

8.4 柔性连接

8.4.1 柔性连接的优势在于，减小对结构主体的影响，使设计模型更为合理，并且减轻了非结构构件的破坏程度，空间划分更自由。隔震层采用柔性连接允许隔震层的管线可以伸缩、转动、上升、下降等。一方面确保隔震层的管线不会阻碍隔震建筑产生位移；另一方面保证地震时隔震层的管线不会因为隔震层产生位移导致管线拉断、扭曲、挤压破坏丧失使用功能。采用柔性连接，震后隔震建筑的水暖电不会在隔震层处产生破坏可以确保地震时隔震层管线完好。

8.4.2 为防止在地震来临时，因管道破坏使有害介质或可燃介质泄露，导致二次灾害或火灾，造成更大的人员伤亡和财产损失。

8.4.3 穿过隔震层的柔性管线，应在隔震缝处预留足够的伸展长度。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。

8.5 维护标识设置及要求

8.5.2 预制装配整体式隔震建筑的标识设置范围和应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 8.1.2 条相关规定要求。

1 门厅入口处：应标明隔震建筑并简单阐述隔震原理、房屋使用者注意问题、标明建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔震沟布置图以及隔震产品描述等；

- 2 隔震缝：应标明地震时隔震缝为建筑物的移动空间；
- 3 楼梯断缝处：应标明楼梯为断缝楼梯；
- 4 隔震沟：应在建筑物周围隔震沟范围内设置标线或警示线。

8.5.3 隔震建筑在地震中隔震层会产生较大的位移，因此需要在建筑周边必须留有一定的空间（可动范围），在该范围内停有的车辆及放置杂物等，在地震中不仅会受到撞击而破损，而且会妨碍隔震建筑正常发挥隔震功能；在隔震层内部的结构、隔震装置、管道及管线的移动范围内同样不能有障碍物；隔震建筑的安全性主要依靠隔震装置，而使用时间的持续以及灾害（地震、强风、火灾、水灾）的影响，都有可能影响隔震装置在地震中正常发挥隔震功能。

8.5.4 检查项目可包括支座、阻尼器、隔震缝、柔性连接；检查方法应按《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6 章相关规定执行。具体检查项目及方案见本书第九章。

8.5.6 定期检查应为竣工后的 3 年、5 年、10 年，10 年以后每 10 年进行一次。除支座的水平变形和竖向压缩变形应使用仪器测量外，其它项目均可通过观察方式进行检查。其余各年的检查可适当简化，以目测及拍照为主，并做好相关记录，如果隔震建筑周边环境无较大变化，其余各年的检查可不进行。此外，隔震建筑宜备有同批生产且不安装的隔震装置，每 10 年对该类装置进行一次性能检测试验，将所测得的性能指标（竖向刚度、水平刚度、等效阻尼比、摩擦系数等）与出厂检验时的测试结果进行对比。

8.5.7 灾害发生后进行应急检查，对地震及强风来说，当隔震层发生较大变形时进行的检查。根据不同的建筑物，由设计者来确定相关的地震烈度及强风风速，检查方法为目测。

9 隔震结构的检测

9.1 一般规定

9.1.1 由于隔震技术的特殊性，隔震构造与传统抗震构造有较大区别，为保证隔震工程质量，应要求隔震设计、咨询单位全程跟踪。检测程序相关规定要求：

建筑隔震工程的检验批及分项工程应由专业技术及质量负责人和设计人员进行验收；

建筑隔震工程完工后，应提交子分部工程验收报告，并应组织相关单位进行验收。

9.1.2 预制装配整体式建筑隔震工程检测应在基础自检合格后，按检验批分别对分项工程、子分部工程进行检测，且应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6.1.2 条相关规定要求。

1 工程施工质量应符合本规范和设计要求；

2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；

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

4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

9.1.3 预制装配整体式建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时，均应对隔震缝和柔性连接进行验收检查。本条为强制性条文。隔震子分部工程通过验收后，尚可能有上部结构施工、设备安装、室外工程等其他分部（子分部）的后续工程。如果后续工程实施时处理不当，可能会发生如竖向隔震沟填充、水平隔震缝堵塞、柔性连接破坏等情况，导致隔震缝和柔性连接措施不能正常发挥作用，造成较大安全隐患。因此，强调在建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收中，各方尚应对隔震缝和柔性连接等按照相关要求进行检查。

9.2 支座安装

9.2.1 支座的型号、数量、安装位置涉及隔震建筑日常使用和震时安全，不允许出现任何偏差。

9.2.2 安装隔震支座前，应先清理下支墩（或柱）上表面。安装支座后，拧紧套筒与法兰螺栓。上法兰板与套筒上紧后，套筒螺纹钢应与上支墩钢筋连接固定。

基本项目包括：隔震橡胶支座及下预埋板的中心标志齐全、清晰；隔震橡胶支座的表面洁净，无油污、泥沙、破损；焊缝外观无夹渣、漏焊；丝扣无裂纹损毁；防腐涂层均匀、光洁、无漏刷。允许偏差项目见表 9.2.2。

表 9.2.2 支座检验基本项目允许偏差表

| 项次 | 项目 | | 允许偏差 | 检查方法 | 检验数量 |
|----|-----|--------|---------|-------|-----------|
| 1 | 下预埋 | 顶面标高 | ±5mm | 水准仪测量 | 10%且不少于两处 |
| 2 | 钢板 | 水平度 | 0.2% | 水平尺测量 | |
| 3 | 橡胶隔 | 中心平面位置 | 5mm | 钢尺测量 | |
| 4 | 震支座 | 顶面水平 | 0.3 | 水平尺测量 | |
| 5 | 预留螺 | 栓孔直径 | 0mm—1mm | 钢尺测量 | |
| 6 | 栓孔 | 栓孔位置 | ±1mm | 钢尺测量 | |

9.2.3 支座下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计要求。安装隔震支座时（对螺栓进行终拧时），下支墩（或柱）混凝土强度不应小于 10Mpa，且养护时间不少于 5 天。

9.2.4 支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合《建筑隔震工程施工及验收规范》JGJ 360-2015 第 6.2.3 条相关规定要求。具体见表 6.2.4。

表 9.2.4 隔震支座安装位置的允许偏差及检验方法

| 项目 | | 允许偏差 | 检查数量 | 检验方法 |
|-------------|----------|------|------|-------------|
| 支座标高 | | ±5 | 全数检查 | 用水准仪、钢尺测量 |
| 支座水平位置偏差/mm | | ±5 | | 用水准仪、钢尺测量 |
| 水平度 | 下支墩（柱）顶面 | 3‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |
| | 支座顶面 | 8‰ | | 用水准仪、千分塞尺测量 |

9.2.5 支座不应出现较大倾斜。当出现倾斜时，单个支座的倾斜度不宜大于支座直径的 $1/300$ 。支承隔震支座的支墩（或柱），其顶面水平度误差不宜大于 5%；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%。

9.2.8 在混凝土浇筑完毕拆模后，当出现蜂窝、麻面时，应及时采取处理措施进行修补。

9.3 阻尼器安装

9.3.1 阻尼器的型号、数量、安装位置涉及隔震建筑震时安全，不允许出现任何偏差。

9.3.2 当设计文件无要求时，焊缝等级不应低于二级。检测质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。焊缝外观无夹渣、漏焊。检查方法：检查超声波或射线探伤见证试验报告。

9.3.3 阻尼器安装连接部位的高强度螺栓的终拧扭矩和梅花头检查应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。扭矩法检验：在螺尾端头和螺母相对位置划线，将螺母退回 60° 左右，用扭矩扳手测定拧回至原来位置时的扭矩值。该扭矩值与施工扭矩值的偏差在 10% 以内为合格。检验方法 2：观察尾部梅花头拧掉情况。尾部梅花头被拧掉者视其终拧扭矩达到合格质量标准；尾部梅花头未被拧掉者应按上述扭矩法检验。

9.3.4 阻尼器连接件与混凝土构件连接的锚栓、垫板安装应满足设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。锚栓的安装方式有预插式安装、穿透式安装、间隔式安装。

9.3.5 阻尼器连接件与混凝土构件连接需二次灌浆时，其浇注质量应满足设计要求。现场灌浆料凝固后，必须对基础板进行锤击检测，发现空洞声时，应进行补灌处理。如试块强度不合格时，需凿掉重灌。

应做好施工记录资料，包括：灌浆部位、日期、水温、灌浆材料、配合比、搅拌后的浆温、流动性试验等，实验员、质检员、施工员均应签字，作为交工资料。二次灌浆时，应从一侧或相邻的两侧多点进行灌浆，直至从另一侧溢出为止，以利于灌浆过程中的排气。不得从四侧同时进行灌浆。

9.4 柔性连接

9.4.1 可能泄露有害介质或可燃介质管道的柔性接头（见图 9.4.1）或柔性连接段，应确认其具有满足设计要求的水平变形能力。应检查全部柔性接头的连接状况、有无损伤、泄漏；应检查全部管线是否预留够长度，管道、管线应能够随隔震层移动。设计文件应明确要求穿越隔震层的重要管道应采用柔性连接或采用柔性连接段进行连接。施工前应检查柔性连接或柔性连接段的质量和性能，以及提供必要的试验证明报告，确定其满足设计文件的水平位移要求。



图 9.4.1 柔性接头示意图

9.4.2 穿越隔震层上的水管应采用柔性连接；穿越隔震层的电线、网线、通信系统的配线应采用绕曲柔性连接并应留有不小于水平隔震缝宽度的多余长度。穿过隔震层的竖向管线（含柔性导线，见图 9.4.2），直径较小的柔性管线在隔震层处应预留足够的伸展长度直径较大的管道在隔震层应采用柔性接头并能保证发生 30 mm 以上的水平变形。穿越隔震支座的配线都要放在隔震支座防火构造内，避免遭遇地震时隔震层配线破坏引发火灾。

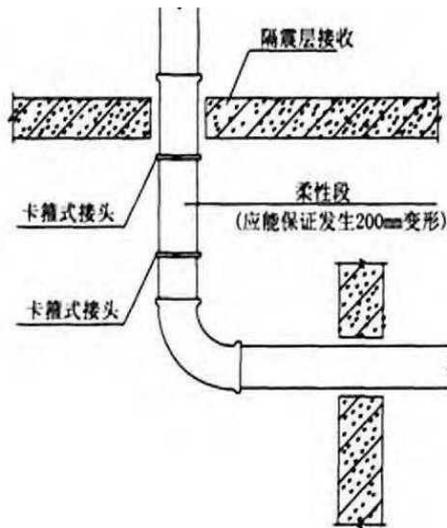


图 9.4.2 竖向管线接头连接示意图

9.4.3 利用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋。导雷体冒出不小于水平隔震缝的多余长度,主筋与预埋件焊接预埋件与导雷体焊接。

9.5 隔震缝

9.5.1 水平隔震缝的高度不应小于设计文件要求。上部结构与下部结构之间，应设置完全贯通的水平隔震缝，并用柔性材料填充。设计文件无要求时，缝高应不小于 20mm。竖向隔震缝的宽度不应小于设计文件要求。上部结构的周边应设置竖向隔震缝，设计文件无要求时，缝宽不应小于各隔震支座在罕遇地震下的最大水平位移值的 1.2 倍且不小于 200mm。对两相邻隔震结构，其缝宽应取最大水平位移值之和，且不应小于 400mm。设计文件应明确要求设置完全贯通的、具有一定水平高度的水平隔震缝以及一定宽度的竖向隔震缝。施工时应精心处理，验收时可通过观察、检查施工记录、塞尺测量、米尺测量等手段检查是否满足相关设计要求，确定地震时上部结构的相对水平变形不受阻碍。

9.5.2 隔震层、建筑物周边应检查隔震距离、建筑物位置标记、建筑物位置、不均匀沉降、可燃物及排水状况。水平隔震距离及竖向隔震缝应大于设计值，建筑物周边无障碍物，隔震建筑物在地震时不会发生夹到人的状况。

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

等在隔震部位采取断开处理，并用柔性材料填充，使其不妨碍使用功能。特别是电梯的隔震处理，应留有检修与更替隔震支座时所需的空间。穿越隔震层的楼梯、电梯采取措施，防止碰撞。

9.5.4 隔震缝的密闭构造措施不得阻碍隔震层发生相对水平位移。地震发生时，隔震层能否与上部结构发生相对水平位移是防震抗震的关键，隔震层与上部结构发生水平位移，阻尼器发挥阻尼作用充分消耗地震能量，减少上部结构震动，起到保护上部结构的作用。