

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 5181—2025

装配式混凝土结构减震隔震技术规程

Technical code of practice for seismic energy dissipation and
seismic isolation of precast concrete structures

2025-07-30 发布

2026-02-01 实施

江苏省市场监督管理局
江苏省住房和城乡建设厅
中国标准出版社

发布
出版

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、符号 2

4 总则 5

5 基本规定 6

6 地震作用和结构抗震验算 7

7 消能器及隔震支座的技术性能 11

8 装配式混凝土消能减震结构设计 24

9 装配式消能部件的连接与构造 31

10 消能部件的施工、验收和维护 33

11 装配式混凝土隔震结构设计 38

12 装配式混凝土隔震结构连接与构造 43

13 隔震支座的施工、验收和维护 45

附录 A(资料性) 推荐地震动 51

附录 B(规范性) 计算位移减震率的参数取值 52

附录 C(规范性) 计算加速度减震率的参数取值 53

附录 D(资料性) 装配式混凝土隔震建筑标识 56

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：南京工业大学、东南大学、南京长江都市建筑设计股份有限公司、常州格林电力机械制造有限公司、上海堃熠工程减震科技有限公司、云南煤化工应用技术研究院有限公司

本文件主要起草人：杜东升、吴刚、江韩、宋宝玺、许伟志、冯德成、赵学斐、张云龙、王春林、马明、唐均、戴轶苏、尹彬、何成卫。

装配式混凝土结构减震隔震技术规程

1 范围

本文件规定了装配式混凝土结构减震隔震的基本规定,地震作用和结构抗震验算,消能器及隔震支座的技术性能,装配式混凝土消能减震结构设计,装配式消能部件的连接与构造,消能部件的施工、验收和维护,装配式混凝土隔震结构设计,以及隔震支座的施工、验收和维护。

本文件适用于江苏省采用消能减震、隔震技术的新建装配式混凝土结构工程的结构设计、施工、验收和维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 7314 金属材料 室温压缩试验方法

GB/T 8162 结构用无缝钢管

GB/T 12771 流体输送用不锈钢无缝钢管

GB/T 20688.1 橡胶支座 第1部分:隔震橡胶支座试验方法

GB/T 20688.3 橡胶支座 第3部分:建筑隔震橡胶支座

GB/T 28905 建筑用低屈服强度钢板

GB/T 37358 建筑摩擦摆隔震支座

GB/T 50010 混凝土结构设计标准

GB/T 50011 建筑抗震设计标准

GB 50017 钢结构设计标准

GB 50026 工程测量标准

GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准

GB 50223 建筑工程抗震设防分类标准

GB 50661 钢结构焊接规范

GB 50868 建筑工程容许振动标准

GB/T 51231 装配式混凝土建筑技术标准

GB/T 51408 建筑隔震设计标准

JGJ 1 装配式混凝土结构技术规程

JGJ 3 高层建筑混凝土结构技术规程

JGJ 8 建筑变形测量规范

JGJ 33 建筑机械使用安全技术规程
JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程
JGJ 99 高层民用建筑钢结构技术规程
JGJ 138 组合结构设计规范
JGJ 145 混凝土结构后锚固技术规程
JGJ 297 建筑消能减震技术规程
JGJ 360 建筑隔震工程施工及验收规范
JG/T 209 建筑消能阻尼器

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

装配式混凝土结构 **precast concrete structure**

由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构。

注 1：包括装配整体式混凝土结构、全装配混凝土结构等。

注 2：在建筑工程中，简称装配式建筑；在结构工程中，简称装配式结构。在无特殊说明时，本文件中的装配式混凝土结构指装配整体式混凝土结构。

3.1.2

装配整体式混凝土结构 **monolithic precast concrete structure**

由预制混凝土构件通过可靠的方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的装配式混凝土结构。

注：简称装配整体式结构。

3.1.3

装配式混凝土消能减震结构 **energy dissipation precast concrete structure**

设置消能器的装配式混凝土结构。

注：包括主体结构和消能部件。

3.1.4

装配式混凝土隔震结构 **isolated precast concrete structure**

设置隔震层的装配式混凝土结构。

注：包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

3.1.5

关键构件 **key component**

失效即可能使结构发生连续破坏或危及生命安全的严重破坏的结构构件。

3.1.6

普通竖向构件 **normal vertical component**

除关键构件之外的结构柱、抗震墙等竖向结构构件。

3.1.7

重要水平构件 **important horizontal component**

关键构件之外不宜提早屈服的水平构件。

注：包括对结构整体性有较大影响的水平构件、承受较大集中荷载的楼面梁（框架梁、抗震墙连梁）、承受竖向地震的悬臂梁、消能子结构的框架梁等。

3.1.8

普通水平构件 normal horizontal component

除关键构件、重要水平构件之外的水平结构构件。

3.1.9

消能器 energy dissipation device

通过内部材料或构件的摩擦，弹塑性滞回变形或黏（弹）性滞回变形来耗散或吸收能量的装置。

注：包括位移相关型消能器、速度相关型消能器和复合型消能器。

3.1.10

消能子结构 energy dissipation substructure

结构中消能器及与消能器相关联的结构。

注：子结构中的竖向构件往下延伸一层。

3.1.11

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。

注：如金属消能器、摩擦消能器和屈曲约束支撑等。

3.1.12

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。

注：如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

3.1.13

位移减震率 displacement seismic-reduction rate

结构减震后与减震前某楼层的最大位移反应之比。

3.1.14

加速度减震率 acceleration seismic-reduction rate

结构减震后与减震前某楼层的最大加速度反应之比。

3.1.15

附加阻尼比 additional damping ratio

装配式混凝土消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

3.1.16

附加刚度 additional stiffness

装配式混凝土消能减震结构往复运动时消能器及其连接部件附加给主体结构的刚度。

3.1.17

隔震层 isolation layer

由隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置、抗拉装置、附属装置及相关的支承或连接构件等组成，设置在装配式混凝土隔震结构的基础、底部或下部结构与上部结构之间的楼层。

3.1.18

上部结构 superstructure

装配式混凝土隔震结构位于隔震层以上的部分。

3.1.19

下部结构 substructure

装配式混凝土隔震结构位于隔震层以下的不包括基础的部分。

3.1.20

极罕遇地震 very rare earthquake

在设计基准期内年超越概率为 10^{-4} 的地震动。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

3.2.1 作用和作用效应

S ——结构构件内力组合的设计值；
 S_E ——地震作用效应(弯矩、轴向力、剪力、力和变形)；
 S_{wk} ——风荷载标准值的效应；
 S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
 S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；
 S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应；
 S_e ——预制构件受到的地震荷载效应；
 S_d ——预制构件受到阻尼器的附加荷载效应；
 V_{Rw} ——隔震层抗风承载力设计值；
 V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值；
 F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值；
 u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移。

3.2.2 结构参数

ξ ——结构弹性状态下的总阻尼比；
 ξ_d ——消能部件附加给结构的有效阻尼比；
 ξ_{eq} ——隔震层等效阻尼比；
 ξ_{ve} ——结构弹性状态下黏滞阻尼器的附加阻尼比；
 Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；
 Δu_e ——设防地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移；
 Δu_p ——罕遇地震、极罕遇地震作用下弹塑性层间位移；
 T ——结构自振周期；
 T_1 ——结构基本自振周期；
 W_s ——结构在水平地震作用下的总应变能；
 R ——构件承载力设计值；
 $[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值；
 $[\theta_p]$ ——弹塑性位移角限值；
 K_{eq} ——隔震层水平等效刚度。

3.2.3 消能器参数

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；
 C_D ——消能器的线性阻尼系数；
 F_{dmax} ——消能器最大阻尼力；
 F_{djmax} ——第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力；

- K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度；
 t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度；
 W_{ej} ——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；
 $[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变；
 Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移；
 Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；
 Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移；
 η_d ——位移减震率；
 η_a ——加速度减震率。
 θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角；
 α ——阻尼器指数。

3.2.4 隔震支座参数

- K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100% 时的水平等效刚度；
 k_j ——第 j 隔震支座(含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度；
 t_r ——隔震支座橡胶层总厚度；
 $[u_{hi}]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；
 u_{hi} ——第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；
 γ_u ——极限剪应变。

3.2.5 计算系数

- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数；
 γ_G ——重力荷载分项系数；
 γ_w ——风荷载分项系数；
 ϕ_w ——风荷载组合值系数；
 γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；
 μ ——摩擦面的抗滑移系数。

4 总则

4.1 按本文件设计与施工的装配式混凝土结构,除有特殊要求外,其抗震设防目标应满足下列规定。

- a) 装配式混凝土消能减震结构:当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震时,消能部件正常工作,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时,消能部件正常工作,主体结构可能发生损坏,但经一般修理仍可继续使用;当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震时,消能部件不应丧失功能,主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。
- b) 装配式混凝土隔震结构:当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震时,主体结构基本不受损坏或不需修理即可继续使用;当遭受罕遇地震时,结构可能发生损坏,经修复后可继续使用;特殊设防类结构遭受极罕遇地震时,不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。
- c) 需要保持正常使用功能的装配式混凝土消能减震、隔震结构:遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震时,主体结构不需修理可继续使用。

4.2 采用消能减震、隔震技术的装配式混凝土结构的设计、施工、验收和维护,除应符合本文件外,尚应

符合国家、行业及江苏省有关标准的规定。

5 基本规定

5.1 一般要求

5.1.1 装配式混凝土消能减震、隔震结构的结构构件、非结构构件和附属设备的使用功能如有专门要求时,除应符合 4.1 的规定外,尚应符合结构构件、非结构构件和附属设备的抗震性能标准的规定。

5.1.2 装配式混凝土消能减震、隔震结构的抗震设防类别应按照 GB 50223 的有关规定确定。

5.1.3 当装配式混凝土消能减震、隔震结构采用抗震性能化设计时,应根据结构的实际需求,针对整个结构、关键构件、普通竖向构件、重要水平构件、普通水平构件、消能子结构和隔震支座及其连接构件等,分别明确性能目标。

5.1.4 有正常使用要求的装配式混凝土消能减震、隔震结构的性能水准和性能目标,应按本文件中抗震性能化设计相关要求执行。

5.1.5 装配式混凝土结构的消能减震设计和隔震设计方案,应根据结构抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、结构类型和使用要求,综合考虑技术、经济和使用条件来确定。

5.1.6 装配式混凝土结构在进行消能减震和隔震分析时,应符合下列规定。

- a) 弹性、弹塑性分析时,当预制构件之间采用后浇混凝土连接且构造措施及承载力满足国家、行业及江苏省标准规定时,可按现浇混凝土结构进行模拟。
- b) 不符合上述特征的连接形式,或进行抗震性能化设计时,宜根据节点和接缝在受力全过程中的特征进行节点和接缝的模拟。材料的非线性行为可根据 GB/T 50010 确定,节点和接缝的非线性行为可根据试验研究确定。
- c) 内力和变形计算时,应计入非承重墙体对结构刚度的影响。当采用轻质墙板填充墙时,可采用周期折减的方法考虑其对结构刚度的影响,对于框架结构,周期折减系数可取 0.7~0.9,对于剪力墙结构,周期折减系数可取 0.8~1.0;当采用砌体墙时,周期折减系数应按 JGJ 3 的有关规定取值;当采用外挂墙板时,墙体对结构刚度的影响应符合 GB/T 51231 的有关规定。

5.1.7 消能器、隔震支座的设计工作年限应符合以下规定。

- a) 消能器的设计工作年限不宜低于结构的设计工作年限。当消能器达到使用年限时应及时检测,重新确定消能器后续工作年限或更换。
- b) 隔震支座的设计工作年限不应低于结构的设计工作年限。当隔震层中的其他装置的设计工作年限低于结构的设计工作年限时,在设计中应注明并预设可更换措施。

5.1.8 装配式混凝土结构中设置填充墙时宜采取以下措施:

- a) 填充墙板宜采用轻质墙板填充墙;
- b) 填充墙板与柱、梁之间宜预留缝隙并使用柔性材料填充;
- c) 当采用轻质墙板填充墙时,应设置防止墙板面外失稳的构造措施。

5.1.9 进入施工现场的消能减震、隔震装置应进行见证检验,对检验判定为不合格的产品不应使用。

5.1.10 装配式混凝土消能减震、隔震建筑的使用方或管理方应制定维护管理手册;消能减震、隔震装置生产、检验、维护等信息保存期限不应少于装配式混凝土结构设计工作年限。

5.1.11 建筑产权人、使用权人或者受委托的物业服务企业应对装配式混凝土结构的消能减震、隔震装置进行日常维护和定期检查,发现异常情况时,应联系相关生产企业或者施工单位进行处置。

5.1.12 当装配式混凝土消能减震、隔震结构遭遇设防地震和罕遇地震后,应对消能减震、隔震装置进行检查和维护。

5.2 场地、地基和基础

5.2.1 装配式混凝土消能减震、隔震结构的场地宜选择对抗震有利地段,应避免不利地段;当无法避开时,应采取有效措施。

5.2.2 装配式混凝土隔震结构的地基应稳定可靠,所在场地宜为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类;当场地为Ⅳ类时,应采取有效措施。

5.2.3 装配式混凝土隔震结构地基基础的设计和抗震验算,应满足本地区抗震设防烈度地震作用的要求。

5.2.4 装配式混凝土隔震结构地基基础的抗震构造措施,应符合 GB/T 50011 的规定。对重点设防类结构的地基抗液化措施,应按提高一个液化等级确定;对特殊设防类结构的地基抗液化措施应进行专门研究,且不应低于重点设防类结构的相应要求,直至全部消除液化沉陷。

5.3 试验和观测

5.3.1 对特殊设防类、体型复杂或有特殊要求装配式混凝土消能减震、隔震结构,可采用结构模型的模拟地震振动台试验对消能减震、隔震方案进行补充验证。

5.3.2 对较重要或有特殊要求的装配式混凝土隔震结构以及大型装配式混凝土消能减震公共结构,宜设置地震反应观测系统。位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑,当采用装配式混凝土隔震、减震技术时,宜选择部分消能器和隔震支座设置长期监测系统。

5.3.3 装配式混凝土隔震结构宜设置记录隔震层地震变形响应的装置。

6 地震作用和结构抗震验算

6.1 一般规定

6.1.1 装配式混凝土消能减震、隔震结构的地震作用,应符合下列规定。

- a) 一般情况下,应至少在结构的两个主轴方向分别计算水平地震作用,各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。
- b) 有斜交抗侧力构件的结构,当相交角度大于 15° 时,应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。
- c) 质量和刚度分布明显不对称的结构,应计入双向水平地震作用下的扭转影响;其他情况,可采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响。
- d) 装配式混凝土隔震结构的扭转效应宜根据整体模型进行计算。
- e) 抗震设防烈度 7 度($0.15g$)、8 度时的长悬臂或大跨度结构,应计算竖向地震作用。
- f) 当结构处于发震断层 10 km 以内时,应计入近场效应对设计地震动参数的影响。
- g) 计算模型宜采用空间结构有限元模型。消能减震装置和隔震装置的计算模型应与产品试验结果相符。

6.1.2 装配式混凝土消能减震、隔震结构的地震作用计算,根据主体结构的工作状态,计算分析方法应符合下列规定:

- a) 当主体结构处于弹性工作状态,且消能器、隔震支座处于非线性工作状态时,可将消能器、隔震支座进行等效线性化,采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、时程分析法。
- b) 对于高度大于 60 m 的结构、不规则的结构或隔震层由多种装置组合的复杂隔震结构,应采用时程分析法进行补充计算,当主体结构进入弹塑性状态时,应采用非线性时程分析法。

- c) 时程分析宜取不少于5组的实际强震加速度记录和不少于2组的人工模拟加速度时程曲线,实际强震加速度记录的数量不应少于地震动加速度时程总数量的2/3,计算结果可取时程分析法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。

6.1.3 计算地震作用时,结构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1采用。

表 1 可变荷载的组合值系数

可变荷载种类		组合值系数
雪荷载		0.5
屋面积灰荷载		0.5
屋面活荷载		不计入
按实际情况计算的楼面活荷载		1.0
按等效均布荷载计算的 楼面活荷载	藏书库、档案库	0.8
	其他民用建筑	0.5
起重机悬吊物重力	硬钩吊车	0.3
	软钩吊车	不计入
注:硬钩吊车的吊重较大时,组合值系数根据实际情况采用。		

6.1.4 除特殊规定外,应对装配式混凝土消能减震结构进行多遇地震作用下的截面抗震承载力验算;应对装配式混凝土隔震结构进行设防地震作用下的截面抗震承载力验算。

6.2 地震作用计算

6.2.1 装配式混凝土消能减震结构地震作用计算的地震影响系数曲线应符合 GB/T 50011 的规定。

6.2.2 装配式混凝土隔震结构地震作用计算的地震影响系数曲线应符合 GB/T 51408 的规定。

6.2.3 地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分组、结构自振周期以及阻尼比确定。水平地震影响系数最大值应按表2采用,特征周期应按表3采用,计算罕遇地震和极罕遇地震作用时,特征周期应分别增加0.05s和0.10s。

表 2 水平地震影响系数最大值 α_{\max}

地震影响	6度	7度	8度
多遇地震	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)
设防地震	0.12	0.23(0.34)	0.45(0.68)
罕遇地震	0.28	0.50(0.72)	0.90(1.20)
极罕遇地震	0.36	0.72(1.00)	1.35(2.00)
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 3 特征周期值

单位为秒

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

6.2.4 当采用时程分析法时,应按地震烈度、建筑场地类别和设计地震分组选用实际地震记录和人工模拟的加速度时程曲线,多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符,其加速度时程的最大值可按表 4 采用,基底剪力要求应按 GB/T 50011 的规定执行。

表 4 时程分析所用地震加速度时程的最大值

单位为厘米每二次方秒

地震影响	6 度	7 度	8 度
多遇地震	18	35(55)	70(110)
设防地震	50	100(150)	200(300)
罕遇地震	125	220(310)	400(510)
极罕遇地震	160	320(460)	600(840)
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。			

6.2.5 选用实际地震加速度记录时,根据建筑场地类别和建筑结构基本自振周期所处的频段,可在附录 A 表中所推荐的设计地震动中选取 2~3 条。

6.2.6 选择人工模拟加速度时程时,以 0.05 阻尼比的反应谱与场地设计谱各周期点的最大差异,在 T 不大于 3.0 s 时不宜大于 15%,在 T 大于 3.0 s 时不宜大于 20%;平均差异不宜大于 10%。

6.2.7 装配式混凝土减震、隔震结构地震作用计算当采用振型分解反应谱法时,应符合 GB/T 50011 的规定。

6.3 截面抗震验算

6.3.1 结构构件的截面抗震承载力,应符合式(1)的规定:

$$S \leq R/\gamma_{RE} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- S ——结构构件内力组合的设计值,按 6.3.2 的规定确定;
- R ——结构构件承载力设计值;
- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数,除另有规定外,应按表 5 采用。

表 5 承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	柱、梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80

表 5 承载力抗震调整系数（续）

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
砌体	两端均有构造柱、芯柱的抗震墙	受剪	0.9
	其他抗震墙	受剪	1.0
混凝土	梁	受弯	0.75
	轴压比小于 0.15 的柱	偏压	0.75
	轴压比不小于 0.15 的柱	偏压	0.80
	抗震墙	偏压	0.85
	各类构件	受剪、偏拉	0.85

6.3.2 在多遇地震作用下,装配式混凝土消能减震结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合,应按式(2)计算:

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \phi_w \gamma_w S_{wk} \dots\dots\dots (2)$$

- 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 1.3,当重力荷载效应对构件承载能力有利时,不应大于 1.0;
 - $\gamma_{Eh}、\gamma_{Ev}$ ——分别为水平、竖向地震作用分项系数,应按表 6 采用;
 - γ_w ——风荷载分项系数,应采用 1.5;
 - S_{GE} ——重力荷载代表值的效应,可按 6.1.3 采用,但有吊车时,尚应包括悬吊物重力标准值的效应;
 - 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_{Evk} ——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;
 - ϕ_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。

表 6 地震作用分项系数

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

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

6.3.4 满足正常使用功能的消能减震建筑,构件验算除应按国家、行业标准设计外,尚应满足以下规定:

a) 设防地震下,竖向抗侧力构件的抗震承载力按不计抗震等级调整地震效应的设计值计算,并应符合式(3)规定:

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}^* + \gamma_{Ev} S_{Evk}^* \leq R / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (3)$$

- 式中:
- S_{Ehk}^* ——水平地震作用标准值的效应,不考虑与抗震等级有关的增大系数;

S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的效应,不考虑与抗震等级有关的增大系数。

- b) 设防地震作用下,水平构件的抗震承载力可按材料强度标准值计算,应符合式(4)和式(5)规定:

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4S_{Evk}^* \leq R_k \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R_k ——构件承载力标准值。

6.3.5 隔震结构构件根据性能要求可分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件。在设防地震作用下,隔震结构构件的截面抗震验算应符合下列要求:

- a) 关键构件的抗震承载力应按式(6)确定:

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \leq R/\gamma_{RE} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

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_{Evk} ——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;

- b) 除关键构件外的普通竖向构件和重要水平构件的抗剪承载力应符合式(6)(6.3.5-1)的规定,正截面承载力应符合式(7)和式(8)的下式规定:

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leq R_k \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

R_k ——构件承载力标准值,按材料强度标准值计算。

- c) 普通水平构件的抗剪承载力应符合式(7)的规定,其正截面承载力应符合式(9)的规定:

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leq R_k^* \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中: R_k^* ——考虑材料超强系数的构件承载力标准值。

- d) 对钢筋混凝土梁支座或节点边缘正截面的正截面承载力计算,可考虑将钢筋的强度标准值提高 25% 进行计算;对钢梁支座或节点边缘截面可考虑将钢材屈服强度标准值提高 25% 进行计算。

7 消能器及隔震支座的技术性能

7.1 一般规定

7.1.1 装配式混凝土结构中的消能器应符合下列要求。

- 设计文件中应注明对消能器的性能要求,安装前应按规定进行检测,确保性能符合要求。
- 设计文件中应注明消能器使用的环境、检查和维护要求。
- 消能器应具有良好的耐久性和环境适应性。
- 当消能器需进行防腐、除锈和防火处理时,应外涂防腐、防锈漆、防火涂料或进行其他相应处理,但不应影响消能器的正常工作。
- 正常使用状态下非承载型消能器不需要做防火处理,承载型消能器应防火处理;消能器经过火灾高温环境后,应对消能器进行检查和试验,以判定继续使用或更换。

7.1.2 消能器的极限位移、极限速度应不小于消能器设计位移、设计速度的 1.2 倍。对于设计位移小于 100 mm 的黏滞消能器,极限位移应不小于设计位移的 1.5 倍。

7.1.3 消能器的性能应符合下列规定:

- 消能器中非消能构件的材料应满足设计强度要求,设计时荷载应按消能器 1.5 倍设计阻尼力选取,应保证消能器及附属构件在罕遇地震作用下能正常工作;

b) 消能器在要求的性能检测试验工况下,试验滞回曲线应平滑、无异常。

7.1.4 消能器工作环境应同时满足 JG/T 209 和 JGJ 297 中相关规定,不满足时应作保温、除湿等相应处理。

7.1.5 设计文件应明确注明消能器的设计参数和数量,各类消能器的设计参数见表 7 的规定。

表 7 各类消能器的设计参数

消能器类型	设计参数
金属消能器	屈服承载力、屈服位移、屈服后刚度、最大承载力、设计位移
摩擦消能器	起滑摩擦力、起滑位移、初始刚度、滑动摩擦力、设计位移
黏滞消能器	设计位移、最大阻尼力、设计速度、阻尼指数、阻尼系数
黏弹性消能器	设计应变、最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子
屈曲约束支撑	屈服承载力、屈服位移、屈服后刚度、最大承载力、设计位移

7.1.6 装配式混凝土隔震结构的设计文件上应注明对隔震支座的性能要求,隔震支座安装前应具有符合设计要求的型式检验报告及出厂检验报告。

7.1.7 隔震支座的产品要求除满足本文件相关要求外,还应符合国家、行业及江苏省有关标准的规定。

7.2 速度相关型消能器

7.2.1 黏滞消能器

7.2.1.1 黏滞消能器的外观应符合下列规定:

- a) 黏滞消能器产品外观应表面平整、无机械损伤、外表应采用防锈措施,涂层应均匀。
- b) 黏滞消能器密封应制作精细、无渗漏。
- c) 黏滞消能器各构件尺寸允许偏差应符合 8 的规定。

表 8 黏滞消能器各部件尺寸偏差

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

7.2.1.2 黏滞消能器的材料应符合下列规定。

- a) 黏滞阻尼材料要求黏温关系稳定、闪点高、不易燃烧、不易挥发、无毒、抗老化性能强。
- b) 用于制作黏滞消能器的钢材应根据设计需要进行选择,缸体和活塞杆一般宜采用优质碳素结构钢、合金结构钢或不锈钢。优质碳素结构钢应符合 GB/T 699 的规定;合金结构钢应符合 GB/T 3077 的规定;结构用无缝钢管应符合 GB/T 8162 的规定;不锈钢棒应符合 GB/T 1220 的规定,不锈钢管应符合 GB/T 12771 的规定。
- c) 密封材料应选择高强度、耐磨、耐高温、耐老化的密封材料。

7.2.1.3 黏滞消能器的力学性能要求,应符合表 9 的规定,其力学性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 9 黏滞消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限位移	每个产品极限位移实测值应不小于极限位移设计值
2	最大阻尼力	实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内
3	极限速度	每个实测产品极限速度值应不小于极限速度设计值
4	阻尼指数	实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内
5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内

7.2.1.4 黏滞消能器的耐久性应符合表 10 的规定，且要求消能器在试验后无渗漏、无裂纹，其耐久性性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 10 黏滞消能器耐久性要求

项目		性能要求
疲劳性能	最大阻尼力	实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内
	滞回曲线	任一循环中位移在 0 时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在 0 时的最大、最小阻尼力平均值的偏差应在±15%范围内；任一循环中阻尼力在 0 时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在 0 时的最大、最小位移平均值的偏差应在±15%范围内
	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内
密封性能	最大阻尼力	阻尼力的衰减不超过 5%，消能器不漏油

7.2.1.5 黏滞消能器的加载频率相关性能和温度相关性能要求，应符合表 11 的规定，其加载频率相关性能和温度相关性能试验方法应符合 JGJ 297 的规定。

表 11 黏滞消能器加载频率相关性能和温度相关性能要求

项目		性能要求
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%
温度相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%

7.2.2 黏弹性消能器

7.2.2.1 黏弹性消能器的外观应符合下列规定：

- a) 黏弹性消能器钢板应平整、光滑、无锈蚀、无毛刺，涂刷防锈涂料两次，钢板坡口焊接，焊缝一级、平整；
- b) 黏弹性材料表面应密实、平整；
- c) 黏弹性材料与薄钢板之间应密实、无裂缝；
- d) 黏弹性消能器的尺寸偏差符合表 12 的规定。

表 12 黏弹性消能器各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
黏弹性消能器长度	不超过产品设计值 ± 3 mm
黏弹性消能器截面有效尺寸	不超过产品设计值 ± 2 mm
黏弹性层厚度	$\pm 3\%$

7.2.2.2 黏弹性消能器的主要材料应符合下列规定：

- a) 橡胶类黏弹性材料质量指标应符合表 13 的规定。

表 13 黏弹性材料质量指标

项目	指标
拉伸强度/MPa	≥ 15
扯断伸长率/%	≥ 380
扯断永久变形/%	≤ 22
热空气老化 72℃ 72 h	拉伸强度变化率/%
	扯断伸长变化率/%
	≥ -20 且 ≤ 20
	≥ -20 且 ≤ 20
0℃~40℃工作频率材料损耗因子 β	≥ 0.5
钢板和阻尼材料之间的黏合强度/MPa	≥ 4.3

- b) 黏弹性消能器的钢材质量指标应符合 GB/T 700 中碳素结构钢 Q235 或低合金钢的要求；

- c) 黏弹性材料在火灾发生过程中不应产生有毒气体。

7.2.2.3 黏弹性消能器的力学性能要求,应符合表 14 的规定,其力学性能试验方法应符合《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的规定。

表 14 黏弹性消能器力学性能要求

序号	项目	性能要求
1	极限表观剪切应变	每个产品极限表观剪切应变实测值应不小于极限表观剪切应变设计值
2	最大阻尼力	实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 范围内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 范围内
3	表观剪切模量	
4	损耗因子	
5	滞回曲线	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 $\pm 15\%$ 范围内,实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 范围内

7.2.2.4 黏弹性消能器的耐久性(老化性能、疲劳性能和防腐性能)应符合表 15 的规定,其耐久性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 15 黏弹性消能器的耐久性要求

项目		性能要求
老化性能	极限变形	老化后实测值偏差的平均值应在老化前数值的±15%范围内
	最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	老化后实测值偏差的平均值应在老化前数值的±15%范围内
	外观	目测无变化
疲劳性能	变形	变化率不大于±15%
	最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子	变化率不大于±15%
	外观	倒数第2圈的实测值应在第3圈实测值的±15%范围内
	滞回曲线	任一循环中位移在0时的最大、最小阻尼力与所有循环中位移在0时的最大、最小阻尼力平均值的偏差应在±15%范围内；任一循环中阻尼力在0时的最大、最小位移与所有循环中阻尼力在0时的最大、最小位移平均值的偏差应在±15%范围内
	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内
防腐性能	外观	目测无锈蚀

7.2.2.5 黏弹性消能器的变形相关性能、加载频率相关性能和温度相关性能应符合表 16 的规定，其变形相关性能、加载频率相关性能和温度相关性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 16 黏弹性消能器变形性能、加载频率相关性能和温度相关性能要求

项目		性能要求
变形相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%
加载频率相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%
温度相关性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%

7.3 位移相关型消能器

7.3.1 金属消能器

7.3.1.1 金属消能器的外观应符合下列规定：

- a) 金属消能器产品外观应标记清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀；
- b) 消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷；
- c) 金属消能器尺寸偏差应为±2 mm。

7.3.1.2 金属消能器的材料应符合下列规定：

- a) 金属消能器可采用钢材、铅等材料制作；
- b) 采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板的厚度不宜超过 80 mm，钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑性变形能力和良好的焊接性能；
- c) 金属消能器中材料应符合 JG/T 209 的规定。

7.3.1.3 金属消能器的力学性能要求，应符合表 17 的规定，其力学性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 17 金属消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	屈服承载力	实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内； 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内
	2	屈服位移	
	3	最大承载力	
	4	极限位移	每个产品极限位移实测值应不小于极限位移设计值
	5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%
疲劳性能	1	最大承载力	实测产品在设计位移下连续加载60圈，任一个循环的最大、最小承载力与所有循环的最大、最小承载力平均值的偏差应在±15%范围内
	2	滞回曲线	任一循环中位移在0时的最大、最小承载力与所有循环中位移在0时的最大、最小承载力平均值的偏差应在±15%范围内；任一循环中承载力在0时的最大、最小位移与所有循环中承载力在0时的最大、最小位移平均值的偏差应在±15%范围内
	3	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差应在±15%范围内

7.3.1.4 金属消能器整体稳定和局部稳定应符合 GB 50017 的规定，消能器在消能方向运动时，平面外应具有足够的刚度，不应产生翘曲和侧向失稳。

7.3.2 摩擦消能器

7.3.2.1 摩擦消能器的外观应符合下列规定：

- a) 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等；
- b) 摩擦消能器尺寸偏差应为±2 mm。

7.3.2.2 摩擦消能器的材料应符合下列规定：

- a) 摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等；
- b) 摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的 10%；
- c) 摩擦消能器预压螺栓宜采用高强度螺栓，高强度螺栓的数量 n 可由式(10)确定，且不应少于 2 个：

$$n \geq \frac{1.2F_{d\max}}{0.9n_t\mu P} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- n_t ——传力摩擦面数；
- μ ——摩擦面的抗滑移系数，应由试验确定；
- P ——每个高强度螺栓的预拉力，单位为千牛(kN)，可按表 18 采用；
- $F_{d\max}$ ——摩擦消能器最大阻尼力，单位为千牛(kN)。

表 18 每个高强度螺栓预拉力 P 值

单位为千牛

螺栓性能等级	螺栓规格					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

- d) 摩擦消能器中采用的摩擦材料应具有稳定的摩擦系数,不应生锈,并应满足消能器预压力作用下的强度要求;
- e) 摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度,不应产生翘曲和侧向失稳。

7.3.2.3 摩擦消能器力学性能要求,应符合表 19 的规定。

表 19 摩擦消能器力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	起滑摩擦力	起滑摩擦力的实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 范围内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 范围内
	2	起滑位移	起滑位移的实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 范围内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 范围内
	3	滑动摩擦力	滑动摩擦力的实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 范围内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的 $\pm 10\%$ 范围内
	4	极限位移	每个产品极限位移实测值应不小于极限位移设计值
	5	滞回曲线面积	产品在设计位移下连续加载不少于 3 圈,任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在设计值的 $\pm 15\%$ 范围内;实测值偏差的平均值应在设计值的 $\pm 10\%$
老化性能	1	滑动摩擦力	老化前后滑动摩擦力的变化率应为 $\pm 15\%$
	2	外观	目视无变化
疲劳性能	1	滑动摩擦力	实测产品在设计位移下连续加载 60 圈,任一个循环的最大、最小摩擦力与所有循环的最大、最小摩擦力平均值的偏差应在 $\pm 15\%$ 范围内
	2	滞回曲线	实测产品在设计位移下连续加载 60 圈,任一循环中位移在 0 时的最大、最小摩擦力与所有循环中位移在 0 时的最大、最小摩擦力平均值的偏差应在 $\pm 15\%$ 范围内;任一循环中摩擦力在 0 时的最大、最小位移与所有循环中摩擦力在 0 时的最大、最小位移平均值的偏差应在 $\pm 15\%$ 范围内
	3	滞回曲线面积	实测产品在设计位移下连续加载 60 圈,任一个循环的滞回曲线面积与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差应在 $\pm 15\%$ 范围内

7.3 屈曲约束支撑

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

7.3.3.2 屈曲约束支撑的外观应符合下列规定:

- a) 屈曲约束支撑外观应标记清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤,外表应采用防锈措施,涂层应均匀;
- b) 消能段与非消能段应光滑过渡,不应出现缺陷;
- c) 屈曲约束支撑尺寸偏差应符合表 20 的规定。

表 20 屈曲约束支撑各部件尺寸偏差

检验项目	允许偏差
屈曲约束支撑长度	不超过产品设计值 $\pm 3\text{ mm}$
屈曲约束支撑截面有效尺寸	不超过产品设计值 $\pm 2\text{ mm}$

- 7.3.3.3 屈曲约束支撑核心单元应符合下列规定。
- a) 核心单元的材料宜采用屈服点低和高延伸率的钢材。
 - b) 核心单元截面可设计成“一”字形、“H”字形、“十”字形、环形和双“一”字形等,宽厚比或径厚比限值应符合下列规定:
 - 1) 一字型板截面宽厚比取 10~20;
 - 2) 十字型截面宽厚比取 5~10;
 - 3) 环形截面径厚比不宜超过 22;
 - 4) 其他截面形式,取 GB/T 50011 中心支撑的径厚比或宽厚比的限值。
 - c) 核心单元截面采用“一”字形、“十”字形、“H”字形和环形时,钢板厚度宜为 10 mm~80 mm。
- 7.3.3.4 屈曲约束支撑外约束单元应具有足够的抗弯刚度。
- 7.3.3.5 屈曲约束支撑连接段及过渡段的板件应保证不发生局部失稳破坏。
- 7.3.3.6 屈曲约束支撑的材料应符合下列规定。
- a) 核心单元宜采用低屈服点和高延性钢材。核心单元采用其他钢材时,质量指标应符合 GB/T 700、GB/T 3077 或 GB/T 28905 的要求。芯材应符合 GB/T 228.1 和 GB/T 7314 的规定。
 - b) 约束单元一般采用碳素结构钢或合金结构钢,钢材质量指标应符合 GB/T 700 或 GB/T 3077 的要求。混凝土材料等级不宜小于 C25。
- 7.3.3.7 屈曲约束支撑的力学性能要求,应符合表 21 的规定,其力学性能试验方法应符合 JG/T 209 的规定。

表 21 屈曲约束支撑力学性能要求

	序号	项目	性能要求
常规性能	1	屈服承载力	实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内; 实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内
	2	屈服位移	
	3	最大承载力	
	4	极限位移	每个产品极限位移实测值应不小于极限位移设计值
	5	滞回曲线面积	任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%范围内;实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%范围内
疲劳性能	1	最大承载力	实测产品在设计位移下连续加载 60 圈,任一个循环的最大、最小承载力与所有循环的最大、最小承载力平均值的偏差应在±15%范围内
	2	滞回曲线	任一循环中位移在 0 时的最大、最小承载力与所有循环中位移在 0 时的最大、最小承载力平均值的偏差应在±15%范围内;任一循环中承载力在 0 时的最大、最小位移与所有循环中承载力在 0 时的最大、最小位移平均值的偏差应在±15%范围内
	3	滞回曲线面积	任一个循环的滞回曲线面积与所有循环的滞回曲线面积平均值的偏差应在±15%范围内

7.4 消能器性能检验

7.4.1 型式检验应由第三方进行检验,型式检验抽样试件数目不应少于 3 件,型式检验项目及性能要求除应符合本文件外,尚应符合国家、行业及江苏省相关标准的规定。当有以下情况之一时应当进行型式检验:

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

- c) 正常生产时,每5年检验一次;
- d) 停产一年以上恢复生产时;
- e) 国家质量监督机构提出型式检验要求时;
- f) 因特殊需要而应进行型式检验时;
- g) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

7.4.2 出厂检验由产品供应商自身完成。产品出厂受检率为 100%。

7.4.3 见证检验的样品应在监理单位见证下从项目的产品中随机抽取,并做永久性标识。见证检验应由第三方进行检验。见证检验的抽样数量,应符合下列规定。

- a) 对于黏滞消能器,标准设防类、重点设防类、特殊设防类工程,试件抽样比例分别不应少于同一工程同一类型同一规格总数的 20%、50%、100%,且不应少于 2 件。检测合格率为 100%,该批次产品可用于主体结构。检测合格后,消能器若无任何损伤、力学性能仍满足正常使用要求时,可用于主体结构,否则不应用于主体结构。
- b) 对于黏弹性消能器,抽检数量不应少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%,当同一类型同一规格的消能器数量较少时,可在同一类型消能器中抽检总数的 3%,但不应少于 2 件。检测合格率为 100%,该批次产品可用于主体结构。常规力学性能检测后的消能器可以继续使用,疲劳和极限应变检测后的消能器不应用于主体结构。
- c) 对于金属消能器、摩擦消能器和屈曲约束支撑,抽检数量不应少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%,当同一类型同一规格的消能器数量较少时,可在同一类型消能器中抽检总数的 3%,但不应少于 2 件。检测合格率为 100%,该批次产品可用于主体结构,检测后的消能器不应用于主体结构。。

7.4.4 产品检测合格率未达到 100% 时,应在同批次抽检产品数量加倍抽检;加倍抽检的检测合格率为 100%,该批次产品可用于主体结构;加倍抽检的检测合格率仍未达到 100%,该批次消能器不能在主体结构中使用。

7.4.5 全部产品均应进行外观质量检验,检验方法为目测及常规量具测量评定。

7.5 隔震支座性能

7.5.1 装配式混凝土隔震结构中宜使用的隔震支座主要包括天然橡胶隔震支座(LNR)、铅芯橡胶隔震支座(LRB)、高阻尼橡胶隔震支座(HDR)、弹性滑板隔震支座(ESB)、摩擦摆隔震支座(FPS)或其他隔震支座。

7.5.2 隔震橡胶支座按构造分为 3 类,按表 22 采用。

表 22 隔震橡胶支座按构造的分类

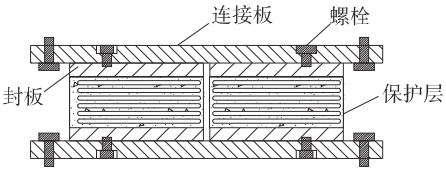
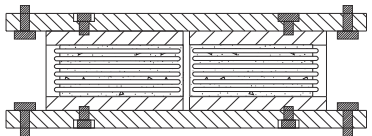
分类	说明	图示
I 型	连接板和封板用螺栓连接。封板与内部橡胶黏合。橡胶保护层在支座硫化前包裹	
	连接板和封板用螺栓连接。封板与内部橡胶黏合。橡胶保护层在支座硫化后包裹	

表 22 隔震橡胶支座按构造的分类（续）

分类	说明	图示
Ⅱ型	连接板直接与内部橡胶黏合	
Ⅲ型	支座与连接板用凹槽或暗销连接	

7.5.3 隔震橡胶支座按极限性能分类见表 23。应用于装配式混凝土结构中的隔震支座类别不宜低于 C 类。

表 23 隔震橡胶支座按极限性能的分类

极限剪应变	类别
$\gamma_u \geq 350\%$	A
$350\% > \gamma_u \geq 300\%$	B
$300\% > \gamma_u \geq 250\%$	C
$250\% > \gamma_u \geq 200\%$	D
$200\% > \gamma_u \geq 150\%$	E
$\gamma_u < 150\%$	F

7.5.4 隔震橡胶支座按剪切性能允许偏差分类见表 24。

表 24 隔震橡胶支座按剪切性能允许偏差的分类

分类	单个试件测试值	一批试件平均测试值
S-A	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$
S-B	$\pm 25\%$	$\pm 20\%$

7.5.5 隔震橡胶支座的力学性能试验项目应按表 25 的规定执行。试验方法应符合 GB/T 20688.1—2007 第 6 章的规定。

表 25 隔震橡胶支座力学性能试验项目

性能	试验项目
压缩性能	竖向压缩刚度
	压缩位移
剪切性能	水平等效刚度
	等效阻尼比
	屈服后刚度
	屈服力

表 25 隔震橡胶支座力学性能试验项目（续）

性能	试验项目
剪切性能相关性	剪应变相关性
	压应力相关性
	加载频率相关性
	反复加载次数相关性
	温度相关性
压缩性能相关性	剪应变相关性
	压应力相关性
极限剪切性能	破坏剪应变、破坏剪力
	屈曲剪应变、屈曲剪力
	滚翻剪应变、滚翻剪力
拉伸性能	破坏拉力
	屈服拉力
	拉伸破坏或屈服时对应的剪应变
耐久性能	老化性能
	徐变性能
	疲劳性能
低速率变形的反力性能	低速率变形时的剪切模量
注 1：天然橡胶支座的剪切性能测试项目为水平等效刚度。 注 2：高阻尼橡胶支座的剪切性能测试项目为水平等效刚度、等效阻尼比。 注 3：铅芯橡胶支座的剪切性能测试项目为水平等效刚度、等效阻尼比或者屈服后刚度、屈服力。	

7.5.6 隔震橡胶支座竖向压缩刚度允许偏差为±30%；隔震橡胶支座剪切性能允许偏差见表 24。

7.5.7 隔震橡胶支座在最大和最小竖向荷载作用下，剪切位移达到设计最大值之前，不应出现破坏、屈曲或翻滚。

7.5.8 隔震橡胶支座拉伸性能、老化后的水平等效刚度和等效阻尼比变化率等均应满足设计要求。

7.5.9 隔震橡胶支座尺寸测量的标准温度为(23±5)℃。支座硫化后应在(23±5)℃的温度中放置至少 24 h，放置时间应根据支座的尺寸进行调整，应以支座内部温度为调整依据。

7.5.10 隔震橡胶支座尺寸测量项目应按表 26 的规定执行。测量方法应符合 GB/T 20688.1—2007 第 7 章的规定。

表 26 隔震橡胶尺寸测量

对象	试验项目
支座	支座平面尺寸
	支座高度
	支座平整度
	支座水平偏差

表 26 隔震橡胶尺寸测量（续）

对象	试验项目
连接板	连接板平面尺寸
	连接板厚度
	连接板螺栓孔位

7.5.11 I 型、II 型和设暗销的 III 型支座的平面尺寸的偏差应符合表 27 的规定。对于设凹槽的 III 型支座,其平面尺寸允许偏差可取 2 mm 或 0.4% 中的较大值。

表 27 支座平面尺寸的允许偏差

公称平面尺寸(D' , a' 和 b')/mm	允许偏差
D' , a' 和 b' ≤500	5 mm
$500 < D'$, a' 和 b' ≤1 500	1%
D' , a' 和 $b' < 1 500$	15 mm
注: D' 为圆形支座包括保护层厚度的直径, a' 为矩形支座包括保护层厚度的长边长度, b' 为矩形支座包括保护层厚度的短边长度。	

7.5.12 隔震橡胶支座高度的允许偏差应为设计值的±1.5% 与±6.0 mm 两者中的较小值。

7.5.13 隔震橡胶支座的平整度偏差,即相距 180°的两点所测的支座高度之差不应大于 3.0 mm;高度差与连接板或外部直径之比不应大于 0.25%。

7.5.14 隔震橡胶支座产品的水平偏移不应超过 5.0 mm。

7.5.15 连接板平面尺寸的允许偏差应符合表 28 的规定。

表 28 连接板直径和边长允许偏差

单位为毫米

连接板厚度 t	D (或 L)<1 000	$1 000 < D$ (或 L)<3 150	$3 150 < D$ (或 L)<6 000
$6 < t \leq 27$	±2.0	±2.5	±3.0
$27 < t \leq 50$	±2.5	±3.0	±3.5
$50 < t \leq 100$	±3.5	±4.0	±4.5
注: D 为圆形连接板的直径, L 为正方形连接板的边长。			

7.5.16 连接板厚度允许偏差应符合表 29 的规定。

表 29 连接板厚度允许偏差

单位为毫米

连接板厚度 t	允许偏差	
	D (或 L)<1 600	$1 600 \leq D$ (或 L)<2 000
$16.0 < t \leq 25.0$	±0.65	±0.75
$25.0 < t \leq 40.0$	±0.70	±0.80

表 29 连接板厚度允许偏差（续）

连接板厚度 t	允许偏差	
	$D(\text{或}L) < 1\,600$	$1\,600 \leq D(\text{或}L) < 2\,000$
$40.0 < t \leq 63.0$	± 0.80	± 0.95
$63.0 < t \leq 100.0$	± 0.90	± 1.10

7.5.17 连接板螺栓孔位置(包括封板螺纹孔位置)的允许偏差应符合表 30 的规定。

表 30 螺栓孔位置的允许偏差

单位为毫米

$D(\text{或}L)$	允许偏差
$400 < D(\text{或}L) \leq 1\,000$	± 0.8
$1\,000 < D(\text{或}L) \leq 2\,000$	± 1.2
$D(\text{或}L) > 2\,000$	± 2.0

7.5.18 弹性滑板支座的力学性能试验项目及要求应按表 31 的规定执行。试验方法可参考 GB/T 20688.1—2007 的第 6 章。

表 31 隔震滑板支座的力学性能试验项目及要求

性能	试验项目	要求
压缩性能	竖向压缩刚度	允许偏差 $\pm 30\%$
剪切性能	初始刚度	允许偏差 $\pm 15\%$
	动摩擦系数	动摩擦系数不大于 0.06 时,允许偏差 $\pm 50\%$;动摩擦系数大于 0.06 时,允许偏差 $\pm 30\%$
剪切性能相关性	压应力相关性	同动摩擦系数的允许偏差值
	加载速度相关性	同动摩擦系数的允许偏差值
	反复加载次数相关性	基准反复加载次数取第 3 次,50 次摩擦系数变化率不应大于 30%
	温度相关性	同动摩擦系数的允许偏差值
压缩性能相关性	压应力相关性	竖向压缩刚度具有规律性,竖向保持稳定性
极限性能	水平极限性能	a)隔震滑移支座在设计面压下,水平位移达到设计最大位移之前,不应出现破坏、屈曲或翻滚;其他组成部分不应出现破坏情况;
	竖向极限抗压性能	b)隔震滑板支座极限抗压能力不应小于 60 MPa
耐久性能	老化性能	初始刚度变化不应超过 30%
	徐变性能	60 年徐变量不应超过 10%

7.5.19 摩擦摆支座的性能要求及试验方法应按 GB/T 37358 的规定执行。

7.6 隔震支座性能检验

7.6.1 隔震层采用的隔震支座产品应通过型式检验和出厂检验。型式检验除应满足相关的产品要求外,

使用产品的型式检验报告有效期不应超过 6 年。出厂检验报告只对采用该产品的项目有效,不应重复使用。

7.6.2 隔震层中的隔震支座等安装前进行的出厂检验,出厂检验数量应符合下列要求:

- a) 特殊设防类、重点设防类建筑,每种规格产品抽样数量应为 100%;
- b) 标准设防类建筑,每种规格产品抽样数量不应少于总数的 50%;若有不合格试件时,应 100% 检测;
- c) 一般情况下,每项工程抽样总数不应少于 20 件,每种规格的产品抽样数量不应少于 4 件,当产品少于 4 件时,应全部进行检测。

7.6.3 隔震橡胶支座检验时,剪切性能应考虑温度修正和加载频率修正。

8 装配式混凝土消能减震结构设计

8.1 一般规定

8.1.1 装配式混凝土消能减震结构设计应保证主体结构符合 GB/T 50011 的规定;楼(屋)盖宜满足平面内无限刚性的要求。当楼(屋)盖平面内无限刚性要求不满足时,应考虑楼(屋)盖平面内的弹性变形,并建立符合实际情况的力学分析模型。抗震计算分析模型应同时包括主体结构与消能部件。

8.1.2 装配式混凝土消能减震结构分析模型应正确地反映不同荷载的传递途径、在不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态。消能器的恢复力模型应采用成熟的模型并经试验验证。

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

8.1.4 装配式混凝土消能减震结构的高度超过 JGJ 1 规定时,应进行专项研究。

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

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

8.1.7 罕遇地震作用下装配式混凝土消能减震结构与非减震结构的水平位移之比应小于 0.75。

8.1.8 地震作用下装配式混凝土消能减震结构的内力和变形分析,宜采用不少于两个不同软件进行对比分析,计算结果应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。当采用不同的计算软件进行设计时,各计算模型应保持一致。在弹性模型条件下,各软件计算所得的质量相对误差不大于 5%;振型分解反应谱法所得的周期、层间剪力(除顶部个别楼层外)相对误差不大于 10%。

8.1.9 装配式混凝土消能减震结构的自振周期应根据装配式混凝土消能减震结构的总刚度确定,总刚度应为结构刚度和消能部件有效刚度的总和。

8.1.10 在装配式混凝土结构中,可根据结构特性同时采用两种或两种以上的消能部件,也可与隔震技术配合使用。

8.1.11 在不考虑消能器附加阻尼比的情况下,装配式混凝土结构仍应满足本文件规定的罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值要求。

8.1.12 屈曲约束支撑在多遇地震作用下不应屈服耗能。

8.2 消能部件布置原则

8.2.1 消能部件的布置应符合下列规定:

- a) 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,尽量减少结构的扭转;
- b) 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀;

- c) 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的技术措施,提高消能器的减震效率;
- d) 当在梁柱节点区设置消能部件时,消能部件宜布置在梁柱相对转角较大的节点,且宜左右对称布置;
- e) 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层;
- f) 外墙处的消能部件及其支承构件应设置于围护墙体内侧,当消能部件及其支承构件与内墙处于同一平面时,应采取有效措施确保消能部件及其支承构件在地震作用下的变形不受阻碍;
- g) 可在抗震墙的连接梁位置设置位移相关型消能部件,将抗震墙设计成双肢或多肢消能抗震墙;
- h) 装配式高层混凝土框架结构的减震设计宜将位移相关型消能器和速度相关型消能器组合使用,且底部楼层宜设置位移相关型消能器,上部楼层宜设置速度相关型消能器;
- i) 长周期结构的减震设计应以位移相关型消能器为主;
- j) 消能部件的布置位置应便于检查、维护和替换。

8.2.2 消能部件的布置宜使装配式混凝土消能减震结构的设计参数符合下列规定:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 采用黏弹性消能器时,各楼层的消能部件刚度与结构层间刚度的比值宜接近,各楼层的消能部件零位移时的阻尼力与主体结构的层间剪力和层间位移的乘积之比的比值宜接近;
- d) 装配式混凝土消能减震结构布置消能部件的楼层中,消能器的最大阻尼力在水平方向上分量之和不宜大于楼层层间屈服剪力的60%。

8.2.3 装配式混凝土消能减震结构在罕遇地震作用下,消能器耗能与地震总输入能量的比值不应小于表 32 的限值要求。

表 32 罕遇地震作用下消能器的耗能占比限值

结构类型	房屋高度 H/m	耗能占比/%	
		按多遇地震设计	按设防地震设计
装配整体式框架结构	—	20.0	25.0
装配整体式框架-剪力墙结构、装配整体式剪力墙结构	$H\leqslant 60$	8.0	10.0
	$60<H\leqslant 80$	6.0	8.0
	$H>80$	应进行专门研究和论证	
注：房屋高度指室外地面到主要屋面板顶的高度(不包括局部突出屋顶部分)。			

8.3 消能部件设计及附加阻尼比

8.3.1 消能部件设计参数中的设计位移、设计速度、设计应变、最大阻尼力、最大承载力、滑动摩擦力应根据罕遇地震作用下弹塑性时程分析结果确定。

8.3.2 消能部件的设计参数应符合下列规定。

- a) 位移相关型消能器与斜撑、支墩等附属构件组成消能部件时,消能部件的恢复力模型参数应符合式(11)规定:

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2/3 \dots\dots\dots (11)$$

式中：

Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移，单位为米(m)；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移，单位为米(m)。

- b) 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合式(12)规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度，单位为米(m)；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移，单位为米(m)；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

- c) 速度线性相关型消能器与斜撑、墙体(支墩)或梁等支承构件组成消能部件时，支承构件沿消能器消能方向的刚度应符合式(13)规定：

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度，单位为千牛每米(kN/m)；

C_D ——消能器的线性阻尼系数，单位为千牛每米秒[kN/(m·s)]；

T_1 ——装配式混凝土消能减震结构的基本自振周期，单位为秒(s)。

8.3.3 计算有效阻尼比时，装配式混凝土消能减震结构总应变能和消能器耗能应按地震输入方向和垂直方向的总和计算。

8.3.4 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。

- a) 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。
- b) 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按式(14)计算：

$$\zeta_d = \sum_{j=1}^n W_{ej} / 4\pi W_s \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

ζ_d ——装配式混凝土消能减震结构的附加有效阻尼比；

W_{ej} ——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，单位为千牛米(kN·m)；

W_s ——装配式混凝土消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，单位为千牛米(kN·m)；

n ——消能部件的总个数。

- c) 不计及扭转影响时，装配式混凝土消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按式(15)计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

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)，单位为千牛(kN)；

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移，单位为米(m)。

- d) 速度线性相关型消能器在水平地震作用下所往复一周所消耗的能量，可按式(16)计算：

$$W_{ej} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

T_1 ——装配式混凝土消能减震结构的基本自振周期，单位为秒(s)；

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数，单位为千牛每米秒[kN/(m·s)]；

θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角,单位为摄氏度($^{\circ}$);

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移,单位为米(m)。

e) 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,可按式(17)计算:

$$W_{ej} = \lambda_1 F_{dj\max} \Delta u_j \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

λ_1 ——阻尼指数的函数,可按表 33 取值;

$F_{dj\max}$ ——第 j 个消能器在水平地震作用下的最大阻尼力,单位为千牛(kN)。

表 33 λ_1 值

阻尼指数 α	λ_1 值
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1	3.1
注: 其他阻尼指数对应的 λ_1 值可按线性插值。	

f) 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,可按式(18)计算:

$$W_{ej} = \sum A_j \quad \dots\dots\dots (18)$$

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,单位为千牛米(kN·m)。

8.3.5 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。附加黏滞消能器的装配式混凝土消能减震结构的有效阻尼比亦可采用等效对比的方法近似确定作为补充验证。

8.3.6 采用时程分析法计算消能器附加给结构的有效阻尼比时,消能器两端的相对水平位移 Δu_{dj} 、质点 i 的水平地震作用标准值 F_i 、质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移 u_i ,应采用符合 6.1.2 规定的时程分析结果的包络值。分析出的阻尼比和结构地震反应的结果应符合 6.1.2 的规定。

8.3.7 结构进入非线性状态后黏滞阻尼器的附加阻尼比可通过式(19)计算:

$$\zeta_v = \zeta_{ve} \mu^{1 - \frac{1}{2}\alpha} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

μ ——结构的延性系数;

α ——阻尼器指数;

ζ_{ve} ——结构弹性状态下黏滞阻尼器的附加阻尼比。

8.3.8 装配式混凝土消能减震结构的总阻尼比应为结构阻尼比和消能部件附加给结构的有效阻尼比的总和;多遇、设防地震和罕遇地震作用下的总阻尼比应分别计算,多遇和设防地震实际采用的附加阻尼比不宜高于计算值的 80% 和 90%;且当消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 5% 时,宜按 5% 计算。

8.4 主体结构设计

8.4.1 进行减震设计时,结构在弹性状态下的位移减震率可按式(20)进行估算:

$$\eta_d = \sqrt{\frac{b}{\xi + a}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

系数 a 、 b 可由下列式(21)和式(22)确定:

$a = \gamma_1 T^2 + \gamma_2 T + 0.02$ (21)

$b = \gamma_1 T^2 + \gamma_2 T + 0.07$ (22)

式中：

η_d ——位移减震率；

ξ ——结构弹性状态下的总阻尼比；

T ——结构自振周期。

式中系数 γ_1 、 γ_2 由表 34、表 35 确定：

表 34 系数 γ_1 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
第一组	0.010 00	0.006 40	0.003 27	0.001 98	0.000 95
第二组	0.006 40	0.004 44	0.002 50	0.001 32	0.000 71
第三组	0.003 27	0.003 27	0.001 98	0.000 95	0.000 49

表 35 系数 γ_2 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
第一组	0.025 00	0.020 00	0.014 30	0.011 10	0.007 69
第二组	0.020 00	0.016 70	0.012 50	0.009 09	0.006 67
第三组	0.014 30	0.014 30	0.011 10	0.007 69	0.005 56

8.4.2 进行减震设计时，结构在弹性状态下的加速度减震率可按式(23)进行计算：

$\eta_a = A\xi^3 + B\xi^2 + C\xi + D$ (23)

系数 A、B、C、D 可由式(24)~式(27)确定：

$A = \alpha_1 T^4 + \alpha_2 T^3 + \alpha_3 T^2 + \alpha_4 T^4 - 74.853$ (24)

$B = \beta_1 T^4 + \beta_2 T^3 + \beta_3 T^2 + \beta_4 T^4 + 44.808$ (25)

$C = \chi_1 T - 8.33$ (26)

$D = \kappa_1 T + 1.348$ (27)

式中：

η_a ——加速度减震率；

ξ ——结构弹性状态下的总阻尼比；

T ——结构自振周期。

位移减震率的参数取值按附录 B。加速度减震率的参数取值按附录 C。

8.4.3 在进行设防地震或罕遇地震作用下的结构分析时，应采用实际截面尺寸和配筋。

8.4.4 主体结构的截面抗震验算应符合下列规定：

- a) 主体结构的截面抗震验算，应按 GB/T 50011 的规定执行；
- b) 振型分解反应谱法计算地震作用效应时，宜按多遇地震或设防地震作用下消能器的附加阻尼比取值。

8.4.5 装配式混凝土消能减震结构的抗震变形验算应符合下列规定：

- a) 装配式混凝土消能减震结构在多遇地震作用下的弹性层间位移角限值应按表 36 取值；

表 36 弹性层间位移角限值

结构类型	弹性层间位移角限值
装配整体式框架结构、装配整体式框架-斜撑结构	1/550
装配整体式框架-现浇剪力墙结构、装配整体式框架-现浇核心筒结构	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	1/1 000

b) 装配式混凝土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宜按表 37 取值；

表 37 弹塑性层间位移角限值

结构类型	弹塑性层间位移角限值
装配整体式框架结构、装配整体式框架-斜撑结构	1/50
装配整体式框架-现浇剪力墙结构、装配整体式框架-现浇核心筒结构	1/100
装配整体式剪力墙结构、装配整体式部分框支剪力墙结构	1/120

c) 需要满足设防地震下正常使用要求的装配式混凝土消能减震结构的最大层间位移角限值宜按表 38 取值。

表 38 满足设防地震下正常使用要求的层间位移角限值

结构类型	设防地震	罕遇地震
装配整体式框架结构、装配整体式框架-斜撑结构	1/300	1/100
装配整体式框架-现浇剪力墙结构、装配整体式框架-现浇核心筒结构	1/400	1/150
装配整体式剪力墙结构、装配整体式部分框支剪力墙结构	1/500	1/200

8.4.6 主体结构的构造措施应符合下列规定：

- a) 主体结构的抗震等级应按 JGJ 1 取值；
- b) 当装配式混凝土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，降低程度可根据装配式混凝土消能减震结构在罕遇地震作用下的层间位移角与本文件规定的弹塑性层间位移角限值之比确定，最大降低程度应控制在 1 度以内。

8.4.7 消能子结构的设计应重点加强节点、构件的承载能力，使构件在罕遇地震下保持弹性状态，可采用延构件全长提高配筋率、增设型钢等方法。

8.4.8 消能子结构的截面抗震验算应符合下列规定：

- a) 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应，其值应小于构件极限承载力；在罕遇地震作用下材料强度可采用 GB/T 50011—2010 附录 M.1.2 第 4 款规定的极限值；
- b) 消能子结构中的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用；
- c) 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，消能子结构节点部位组合弯矩设计值应考虑消能部件端部的附加弯矩；
- d) 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；
- e) 消能部件的布置不宜使相邻构件产生扭转效应，当消能部件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。

8.4.9 与消能部件相连的预制构件，在地震作用下的地震效应 S_E 可通过自身地震效应 S_e 和阻尼器附加

荷载效应 S_d 组合计算,组合方法如下:

- a) 对于位移相关型消能器,可按式(28)组合:

$$S_E = S_e + S_d \dots\dots\dots (28)$$
- b) 对于速度相关型消能器,可按式(29)组合:

$$S_E = \sqrt{S_e^2 + S_d^2} \dots\dots\dots (29)$$

式中:
 S_E ——与消能器相连预制构件地震荷载效应值;
 S_e ——预制构件受到的地震荷载效应;
 S_d ——预制构件受到消能器的附加荷载效应。

8.4.10 消能子结构的构造措施应符合下列规定。

- a) 消能子结构的抗震构造措施要求应按设防烈度要求执行。
- b) 消能子结构为混凝土或型钢混凝土构件时,构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径,应满足 GB/T 50010 和 JGJ 3 的要求,当混凝土或型钢混凝土构件为预制构件时,尚应满足 JGJ 1 的构造要求;消能子结构为剪力墙时,其端部宜设暗柱,其箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径,不应低于 GB/T 50010 和 JGJ 3 中框架柱的要求,当剪力墙为预制剪力墙时,尚应满足 JGJ 1 中预制剪力墙的构造要求。
- c) 消能子结构为钢结构构件时,钢梁、钢柱节点的构造措施应按照 GB 50017 和 JGJ 99 中中心支撑的要求确定。

8.5 装配式混凝土消能减震结构抗震性能化设计

8.5.1 同时考虑位移和加速度的减震率,并采用黏滞消能器进行减震设计时,结构附加阻尼比可按图 1 确定。

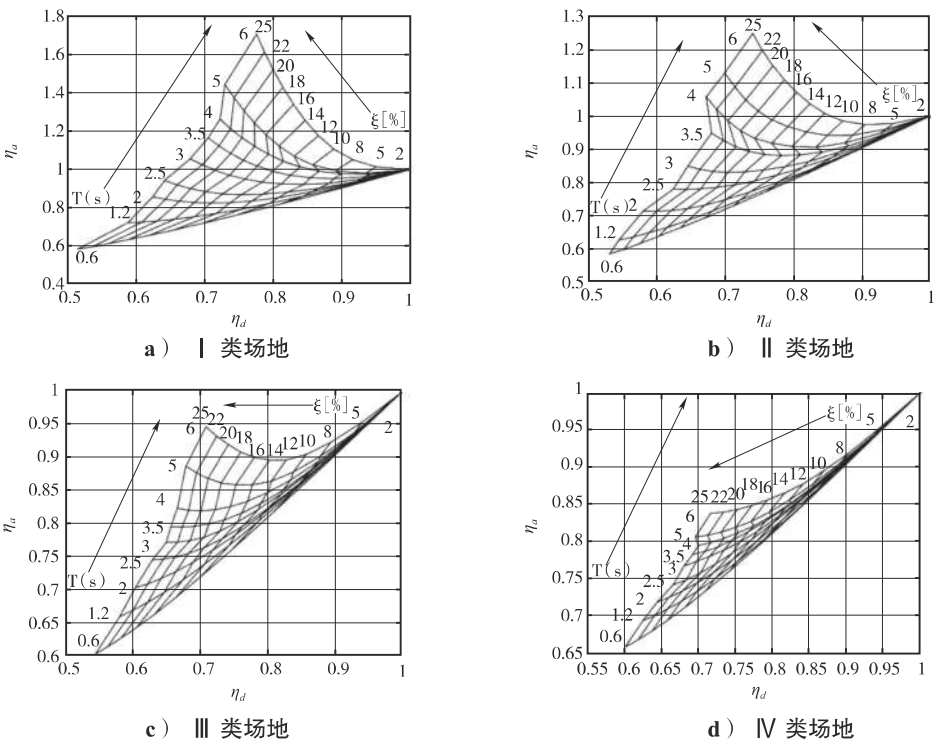


图1 性能曲线图

8.5.2 装配式混凝土消能减震结构抗震性能化设计宜采用三维模型的弹塑性时程分析进行多遇地震、设防地震、罕遇地震作用下的内力和变形计算。

9 装配式消能部件的连接与构造

9.1 一般规定

9.1.1 消能器与支撑、支承构件的连接,应符合钢构件连接、钢与钢筋混凝土构件连接、钢与钢管混凝土构件连接构造的规定。

9.1.2 消能器与支撑、连接件之间宜采用高强度螺栓连接或销轴连接,也可采用焊接。

9.1.3 在消能器极限位移或极限速度对应的阻尼力作用下,与消能器连接的支撑、墙、支墩应处于弹性工作状态;消能部件与主体结构相连的预埋件、节点板等应处于弹性工作状态,且不应出现滑移或拔出等破坏。

9.1.4 消能器所用支撑及支墩的详细构造和力学性能应在设计文件中注明。

9.1.5 消能器与主体结构的连接一般分为:支撑型、墙型、柱型、门架式和腋撑型等,设计时应根据工程具体情况和消能器的类型合理选择连接形式,消能器的安装形式不应影响装配式混凝土建筑的使用功能。

9.1.6 当消能器采用支撑型连接时,可采用单斜支撑布置、“V”字形和人字形等布置,不宜采用“K”字形布置。支撑宜采用双轴对称截面,宽厚比或径厚比应满足 JGJ 99 的要求。

9.1.7 消能器与支撑、节点板、预埋件的连接可采用高强度螺栓、焊接或销轴,高强度螺栓及焊接的计算、构造要求应符合 GB 50017 的规定。预埋件、节点板可与预制构件进行整体预制。

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

9.1.9 与消能器相连的预埋件、支撑、支墩、剪力墙及节点板的作用力取值应考虑位移相关型消能器在设计位移或速度相关型在设计速度下对应阻尼力的 1.2 倍。

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

9.1.11 应对连接件、焊缝、螺栓或铆钉等紧固件在不同设计状况下的承载力进行验算,并应符合 GB 50017 和 GB 50661 的规定。

9.1.12 预埋件和连接件等外露金属件应按不同环境类别进行封闭或防腐、防锈处理,并应符合耐久性要求。

9.2 预埋件及节点板计算

9.2.1 预埋件的锚筋应按拉剪构件或纯剪构件计算总截面面积。

9.2.2 预埋件的锚筋和锚板设计应符合 GB/T 50010 和 JGJ 145 和 16G362 的规定,并根据实际受力情况适当加强。

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

9.2.4 节点板的强度和稳定性验算应符合 GB 50017 的相关要求。

9.2.5 屈曲约束支撑连接节点应能够承担“V”字形、“人”字形支撑产生的竖向力差值。

9.3 支撑和支墩、剪力墙计算

9.3.1 与消能器相连的支墩、剪力墙应按 7.1.9 消能器附加的水平剪力进行截面验算。

9.3.2 支撑和支墩、支撑剪力墙的计算长度应符合下列规定:

- a) 采用单斜消能部件时,支撑计算长度应取支撑与消能器连接处到主体结构连接板连接中心处的距离;
- b) 采用“人”字形支撑时,支撑计算长度应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构连接板连接中心处的距离;
- c) 采用柱型支撑时,支撑计算长度应取消能器上连接板或下连接板到主体结构梁底或顶面的距离。

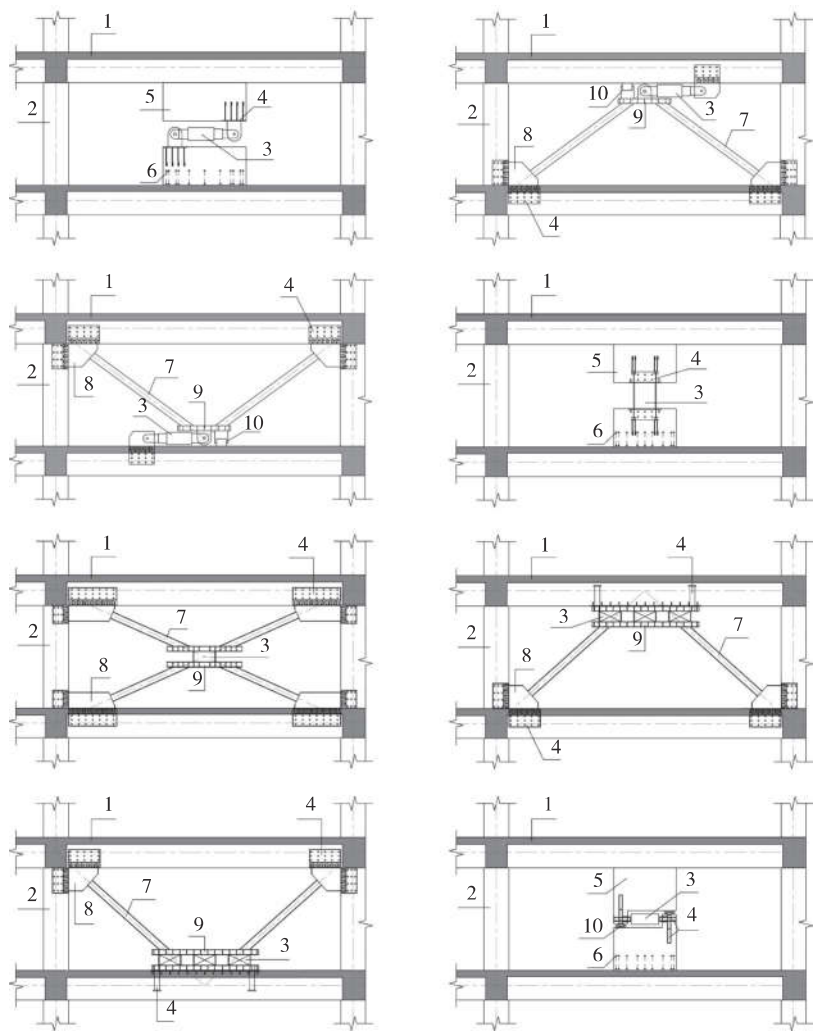
9.3.3 与速度线性相关型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度应满足 8.3.2 的要求,与其他类型消能器连接的支撑、支墩、剪力墙的刚度不宜小于消能器有效刚度的 2 倍。

9.4 消能器与结构连接的构造要求

- 9.4.1 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 250 mm。
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。
- 9.4.2 支撑长细比、宽厚比应符合 GB 50017 和 JGJ 99 中中心支撑的规定。
- 9.4.3 消能部件中支撑剪力墙、支墩沿长度方向全截面箍筋应加密,并配置网状钢筋。
- 9.4.4 连接筒式阻尼器及屈曲约束支撑端头的节点板宜设置加劲肋以保证其平面外稳定性。
- 9.4.5 连梁消能器深入梁端锚固段型钢构件与混凝土的连接应满足 JGJ 138 中型钢混凝土梁的规定。

9.5 消能器与装配式结构的连接示意

9.5.1 黏滞消能器、金属消能器、摩擦消能器与装配式混凝土结构的连接示意如图 2 所示。

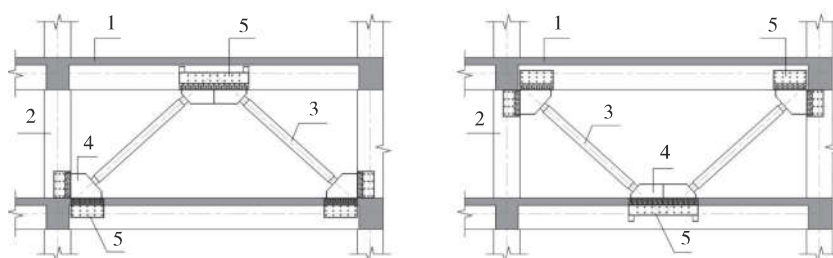


标引序号说明:

- | | |
|--------------------------------|-------------|
| 1——后浇叠合层混凝土; | 6——套筒连接灌浆孔; |
| 2——预制混凝土构件(包括预制混凝土柱和预制混凝土叠合梁); | 7——支撑; |
| 3——消能器; | 8——节点板; |
| 4——预埋锚件; | 9——连接梁; |
| 5——预制混凝土支墩; | 10——限位装置。 |

图2 黏滞消能器、金属消能器、摩擦消能器与装配式混凝土结构的连接示意

9.5.2 屈曲约束支撑与装配式混凝土结构的连接示意如图 3 所示。



标引序号说明：

- | | |
|--------------------------------|----------|
| 1——后浇叠合层混凝土； | 4——节点板； |
| 2——预制混凝土构件(包括预制混凝土柱和预制混凝土叠合梁)； | 5——预埋锚件。 |
| 3——屈曲约束支撑； | |

图 3 屈曲约束支撑与装配式混凝土结构的连接示意

10 消能部件的施工、验收和维护

10.1 一般规定

10.1.1 消能部件的制作单元,宜根据制作、安装和运输条件及消能部件的特点确定。消能部件工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工和质量验收。

10.1.2 消能部件子分部工程的施工,宜根据本文件的规定,结合主体结构的体系、消能部件及施工条件,编制专项施工方案。

10.1.3 消能部件子分部工程的施工作业,宜划分为两个阶段: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:

- 消能器出厂检验报告和出厂合格证;
- 全部规格消能器的型式检验报告;
- 监理单位、建设单位对消能器检验的确认单。

10.1.4 消能部件中附加钢构件的制作,可划分为钢零件及钢组件的加工、钢构件组装、组装的焊接连接、紧固件连接、钢构件预拼装、钢构件防腐涂料涂装等六个分项工程。消能部件的安装和维护,可划分为消能部件安装、安装和焊接连接、紧固件连接、消能部件防腐防火涂装等四个分项工程。

10.1.5 检验批可根据与施工方式一致且便于质量控制的原则划分。

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

10.1.7 在装配式混凝土消能减震结构施工全过程中,应采取防止消能器及与消能器相连部件损伤或污染的保护措施。

10.1.8 在发生地震及其他外部扰动作用后应按与主结构同样的要求对消能部件实施应急检查。应急检查应由建筑物的管理单位组织,由专业技术人员进行检查。

10.1.9 装配式混凝土消能减震结构应编制维护管理计划书,在维护管理计划书中应明确标识消能部件的设置位置和检查路线。

10.2 消能部件进场验收

10.2.1 消能器进场验收时,消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数,应符合设计文件和 JG/T 209、JGJ 297 和本文件相关规定。

10.2.2 消能器所用的钢材、焊接材料、紧固件、涂料等原材料,应具有质量合格证书,并应符合设计文件规定。

10.2.3 支撑或连接件等附属支承构件的制作单位应提供原材料、产品的质量合格证书。

10.3 消能部件的施工安装、校正

10.3.1 消能部件的安装可在主体结构完成后进行或在主体结构施工时进行,消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形,且计算分析时宜考虑消能部件安装次序的影响。

10.3.2 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 GB 50204 和 GB 50205 的规定。

10.3.3 装配式混凝土消能减震结构的施工安装顺序制定,应符合下列规定:

- a) 划分结构的施工流水段;
- b) 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;
- c) 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。

10.3.4 对于装配式混凝土结构,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。

10.3.5 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应符合下列规定:

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

10.3.6 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接,当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。

10.3.7 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 GB 50026 和 JGJ 8 的要求。

10.3.8 消能部件安装前,准备工作应包括下列内容:

- a) 消能部件的定位轴线、标高点等应进行复查;
- b) 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家、行业有关标准的规定;
- c) 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;
- d) 对消能部件的制作质量应进行全面复查。

10.3.9 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。

10.3.10 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 GB 50661 及 JGJ 82 的规定。

10.3.11 消能部件安装连接完成后,应符合下列规定:

- a) 消能器没有形状异常及损害功能的外伤;
- b) 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;
- c) 消能部件的临时固定件应予撤除。

10.4 施工安全和施工质量验收

10.4.1 消能部件的施工应符合 JGJ 80 和 JGJ 33 的有关规定,并根据消能部件的施工安装特点,在施工组织设计中制定施工安全措施。

10.4.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按照 JGJ 297 的规定执行。

10.4.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目可按表 39 的规定执行。

表 39 消能部件子分部工程观感质量检查项目

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

10.4.4 装配式混凝土消能减震工程验收程序应符合下列规定：

- a) 检验批及分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目专业技术负责人等进行验收；
- b) 消能部件子分部工程完工后,应由总监理工程师组织设计单位结构专业技术负责人、施工单位项目负责人和项目技术负责人等进行验收并提交子分部工程验收报告。

10.4.5 装配式混凝土消能减震工程施工质量验收应在自检合格基础上,按检验批、分项工程、子分部工程验收,并符合下列规定：

- a) 工程施工质量应符合本文件 and 设计要求；
- b) 参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应资格；
- c) 隐蔽工程在隐蔽前,应进行隐蔽工程验收,形成隐蔽验收文件；
- d) 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收,主控项目合格率应为 100%,一般项目的合格率应不小于 80%；
- e) 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

10.4.6 主控项目验收内容应符合表 40 的规定。

表 40 主控项目验收内容

位置	验收项目	检查数量	检验方法
消能器	消能器类型、型号、数量、安装位置	全数	观察,检查施工记录
螺栓连接	外观、数量	全数	观察,检查施工记录
焊接连接	外观、尺寸、内部缺陷	全数	观察,量规和钢尺测量,检查超声波或射线探伤记录

10.4.7 一般项目验收内容应符合表 41 和表 42 的规定。

表 41 墙型连接一般项目验收内容

位置	验收项目	允许偏差		检查数量	检验方法
		混凝土结构	钢结构		
悬臂墙	轴线	±5 mm	±2 mm	全数	丈量
	高度	±5 mm	±2 mm	全数	水准仪、全站仪或拉线、丈量
	垂直度	H/1 000	H/1 000	全数	经纬仪、全站仪或吊线、丈量
	上、下悬臂墙(柱)轴线相对偏差	±5 mm	±2 mm	全数	吊线、丈量
	上、下预埋件间净高	+5 mm +2 mm	+5 mm +2 mm	全数	丈量四角(混凝土结构量预埋板四角)及中心,取最大值
预埋件	轴线	±5 mm	±2 mm	全数	丈量
	标高	±5 mm	±2 mm	全数	水准仪或拉线、丈量
	水平度	3‰	3‰	全数	水准仪或水平尺、塞尺量测

表 41 墙型连接一般项目验收内容（续）

位置	验收项目	允许偏差		检查数量	检验方法
		混凝土结构	钢结构		
消能器	轴线	±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	垂直度	$H_1/1\ 000$	$H_1/1\ 000$	全数	经纬仪或吊线、尺量
	标志、标记和编号应清晰完整	—		全数	观察
销轴、球铰	间隙	0.1 mm		全数的 50%， 且不少于 3 个	观察，千分塞尺量测、检查施工记录
连接部位	漆面应完整均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡	—		全数	观察
注：H 为悬臂墙高度； H_1 为消能器本体净高。					

表 42 支撑式连接一般项目验收内容

位置	验收项目		允许偏差		检查数量	检验方法
			混凝土结构	钢结构		
预埋板	轴线		±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	标高		±5 mm	±2 mm	全数	水准仪或拉线、尺量
	垂直度	≤2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪、全站仪或吊线、尺量
		>2 m	5 mm	5 mm		
	水平度		3‰	3‰	全数	水准仪、全站仪或水平尺、塞尺量测
节点板	轴线		±5 mm	±2 mm	全数	尺量
	垂直度	≤2 m	3 mm	3 mm	全数	经纬仪或吊线、尺量
		>2 m	5 mm	5 mm		
	上、下节点板平面相对偏移		±2 mm	±2 mm	全数	吊线、尺量
消能器或支撑	安装净空		+8 mm +3 mm	+8 mm +3 mm	全数	尺量
	弯曲矢高		≤ $L/1\,000$ 且≤10 mm	≤ $L/1\,000$ 且≤10 mm	全数	拉线、尺量
	标志、标记和编号应清晰完整		—		全数	观察
销轴、球铰	间隙		0.1 mm		全数的50%，且 不少于3个	观察，千分塞尺量测、 检查施工记录
连接部位	漆面应完整均匀，无明显皱皮、 流坠、针眼和气泡		—		全数	观察
注：L为消能器或支撑本体长度。						

10.5 消能部件的维护

10.5.1 装配式混凝土消能减震建筑工程竣工验收前,应提交由消能器生产厂家、设计、施工等单位共同编写的使用维护手册及维护管理计划书;将竣工验收的各测量值作为消能部件维护管理的初始值;消能部件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查。

- a) 常规检查应至少每年进行一次,检查单位为建筑使用或管理单位,或委托专业人员检查;
- b) 定期检查应根据消能器类型、使用期间的具体情况、消能器设计工作年限和设计文件要求等进行,设计无要求时为竣工验收后的第3年、第5年、第10年,第10年以后每10年进行一次,定期检查由专业人员进行,并提供相关报告;
- c) 当发生地震、强风、火灾、洪水等可能会损伤消能器及其相关部件的灾害后,应及时进行应急检查,应急检查由专业人员进行,并提供相关报告。

10.5.2 金属消能器、屈曲约束支撑的检查内容和维护方法应符合表 43 的规定。

表 43 金属消能器、屈曲约束支撑的检查内容和维护方法

检查内容	检查位置	检查方法	维护目标	维护方法
变形、损伤	连接部位	观察、小锤敲击	不出现破损;不产生螺栓松动、焊缝开裂	拧紧螺栓、补焊
	消能器部位	观察和量测	不出现破损;不产生明显的累积损伤和变形	更换消能器

10.5.3 摩擦消能器的检查内容和维护方法应符合表 44 的规定。

表 44 摩擦消能器的检查内容和维护方法

检查内容	检查位置	检查方法	维护目标	维护方法
损伤	外观	观察	不出现破损、变形	更换相关材料、压力装置,更换消能器
剥落	摩擦材料	观察	不出现摩擦材料磨损、脱落	
生锈	钢板部分	观察	不出现对性能有害的生锈	
松弛	施加压力的装置、两端连接螺栓	观察	螺栓螺纹不出现松弛	

10.5.4 黏滞消能器的检查内容和维护方法应符合表 45 的规定。

表 45 黏滞消能器的检查内容和维护方法

检查项目	检查位置	检查方法	维护目标	维护方法
黏滞体泄漏	外观	观察	不出现黏滞体泄漏	拧紧螺栓、更换销轴、更换消能器
生锈	各部位金属件	观察	不出现对性能有害的生锈	
损伤	外观	观察	不出现破损、变形	
松弛	连接部位的螺栓、销轴	观察和量测	螺栓不出现松弛;销轴不产生变形	

10.5.5 黏弹性消能器的检查内容和维护方法应符合表 46 的规定。

表 46 黏弹性消能器的检查内容和维护方法

检查项目	检查位置	检查方法	维护目标	维护方法
损伤	外观	观察	不出现破损、变形	更换消能器
老化	外观	观察	不出现黏弹材料老化、龟裂	

10.5.6 对消能部件进行维护时,消能器及其连接件表面涂层的污损应及时清除、涂装,应清除消能器周围可能限制消能器正常工作的障碍物。

10.5.7 消能部件抽样检验时,应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,测试内容应能反映消能器在使用期间可能发生的性能参数变化,并应能推定可否达到预定的使用年限。

10.5.8 装配式混凝土建筑结构宜设置一定数量具备监测功能的消能器,用于监测消能器的日常工作状态和震时耗能状态。特殊设防类、重点设防类工程设置数量不少于同一工程总数的 20% 和 10%,且都不宜少于 5 个。

11 装配式混凝土隔震结构设计

11.1 一般规定

11.1.1 装配式混凝土隔震建筑设计,应根据建筑抗震设防类别、设计地震动参数、场地条件、建筑结构类型和使用要求,确定合理的隔震方案。

11.1.2 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼,侧向刚度应能保证隔震层在罕遇地震作用下的弹性复位能力。

11.1.3 装配式混凝土隔震结构高宽比宜小于 4,且不应大于相关规范规程对非隔震结构的具体规定,其变形特征接近剪切变形,最大高度应满足 JGJ 1 的规定;高宽比大于 4 或不满足非隔震结构相关规定的装配式结构采用隔震设计时,应进行专门研究。

11.1.4 装配式混凝土隔震结构抗震性能化设计宜采用三维模型的弹塑性时程分析进行设防地震、罕遇地震、极罕遇地震作用下的内力和变形计算。其中内力计算应符合 GB/T 51408 的规定,变形计算应按本文件要求执行。

11.1.5 风荷载和其他非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力,不宜超过上部结构总重力的 10%。

11.1.6 装配式混凝土隔震结构的抗震措施,应符合 GB/T 50011 和 GB/T 51408 的要求。

11.2 隔震层设计

11.2.1 隔震层设计应符合下列规定:

- a) 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;
- b) 同一隔震层选用多种类型、规格的隔震装置时,每个隔震装置的承载力和水平变形能力应能充分发挥,所有隔震装置的竖向变形应保持基本一致,橡胶类支座不宜与摩擦摆等钢支座在同一隔震层中混合使用;
- c) 隔震层采用摩擦摆隔震支座时,应考虑支座水平滑动时产生的竖向位移,及其对隔震层和结构的影响;
- d) 当隔震层采用隔震支座和阻尼器时,应使隔震层在地震后基本恢复原位,隔震层在罕遇地震作用下的水平最大位移所对应的恢复力,不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和的 1.2 倍;

- e) 隔震层位置的选择应使结构形成合理的隔震计算模型、并获得有效的隔震效果,隔震层宜设置在结构的底部或中下部,对于有地下室的建筑,宜优先考虑隔震层置于首层与地下一层之间;
- f) 隔震层刚度中心与质量中心宜重合,设防烈度地震作用下的偏心率不宜大于3%;
- g) 隔震层的消能部件宜在两个水平方向均匀布置,且宜对称、分散地布置在隔震层的周边;隔震层的抗风装置也宜对称、分散地布置在隔震层的周边。

11.2.2 隔震支座的布置应符合下列规定:

- a) 隔震支座应设置在受力较大的位置,隔震支座的规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求由计算确定;
- b) 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,不能相对应时,应采用可靠的结构转换措施;
- c) 隔震支座底面宜布置在相同标高位置上;当隔震层的隔震装置处于不同标高时,应采取有效措施保证隔震装置共同工作,且罕遇地震作用下,相邻隔震层的层间位移角不应大于1/1 000;
- d) 同一支承处采用多个隔震支座时,隔震支座之间的净距应能满足安装和更换所需的尺寸;
- e) 铅芯橡胶支座宜布置在结构角部和周边的柱下,以增大结构整体抗扭转能力;
- f) 隔震支座的布置应便于检查、维护和替换。

11.2.3 隔震层的受压承载力验算应符合下列规定:

- a) 隔震层总受压承载力设计值应大于上部结构总重力荷载代表值的1.1倍;
- b) 每个隔震支座的受压承载力设计值应大于上部结构传递到隔震支座的总重力荷载代表值。

11.2.4 隔震支座的压应力、拉应力和徐变性能应符合下列规定:

- a) 隔震支座在重力荷载代表值作用下,竖向压应力设计值不应超过表47的规定;
- b) 对于隔震橡胶支座,当第二形状系数(有效直径与橡胶层总厚度之比)小于5.0时,应降低平均压应力限值:小于5且不小于4时降低20%,小于4且不小于3时降低40%;标准设防类建筑外径小于300 mm的支座,其压应力限值为10 MPa;
- c) 对于弹性滑板支座,橡胶支座部及滑板材料的压应力限值均应满足表47的规定,支座部外径不宜小于300 mm;
- d) 对于摩擦摆隔震支座,摩擦材料的压应力限值也应满足表47的规定;
- e) 在建筑设计使用年限内,隔震支座刚度、阻尼特性变化不应超过初期值的±20%;橡胶支座的徐变量不应超过内部橡胶总厚度的5%;
- f) 隔震支座的竖向压应力不应超过表48所规定的限值;
- g) 隔震橡胶支座竖向拉应力不应超过表49所规定的限值,且同一地震动加速度时程曲线作用下出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的30%;弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座或其他不能承受竖向拉力的支座宜保持受压状态。

表 47 隔震支座在重力荷载代表值作用下的压应力限值

单位为兆帕

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
隔震橡胶支座	10	12	15
弹性滑板支座	12	15	20
摩擦摆隔震支座	20	25	30

表 48 隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力限值

单位为兆帕

支座类型	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
隔震橡胶支座	20	25	30
弹性滑板支座	25	30	40
摩擦摆隔震支座	40	50	60
隔震橡胶支座的直径小于 300 mm 时其压应力限值可适当降低。 弹性滑板隔震支座中的橡胶支座部及滑移材料的压应力限值均应满足本表。 摩擦摆隔震支座中的摩擦材料的压应力限值均应满足本表。			

表 49 隔震橡胶支座在罕遇地震作用下的竖向拉应力限值

建筑类别	特殊设防类建筑	重点设防类建筑	标准设防类建筑
拉应力限值/MPa	0	1.0	1.0
隔震支座验算最大压应力和最小压应力时,应考虑水平及竖向地震同时作用产生的最不利轴力;其中水平和竖向地震作用产生的应力应取标准值,竖向地震作用可以近似取重力荷载代表值的 0.3 倍			

11.2.5 隔震层的水平刚度和阻尼应符合下列规定。

a) 隔震层的水平等效刚度和等效阻尼比,可按式(30)、式(31)计算:

$$K_{eq} = \sum k_j \dots\dots\dots (30)$$
$$\zeta_{eq} = \sum k_j \zeta_j / K_{eq} \dots\dots\dots (31)$$

式中:

- ζ_{eq} ——隔震层等效阻尼比;
- K_{eq} ——隔震层水平等效刚度,单位为牛每毫米(N/mm);
- ζ_j —— j 隔震支座的等效阻尼比;
- k_j ——隔震支座 j (含阻尼器)由试验确定的水平等效刚度,单位为牛每毫米(N/mm)。

- b) 当隔震层设有附加阻尼装置时,尚应计入阻尼装置的阻尼。
- c) 隔震支座和阻尼装置的设计参数,应与产品型式检验的结果相符,检验时支座竖向荷载应采用表 47 规定的压应力限值,对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移可求得等效刚度和等效阻尼比。

11.2.6 罕遇地震、极罕遇地震作用下隔震支座的水平位移可根据以下原则确定:一般情况下,应采用振型分解反应谱法结合迭代的方法或时程分析法,对隔震体系整体进行分析,确定不同设防地震作用下隔震层位移幅值。

11.2.7 隔震支座地震作用下的水平位移应符合式(32)的规定:

$$u_{hi} \leq [u_{hi}] \dots\dots\dots (32)$$

式中:

- u_{hi} ——第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移,单位为毫米(mm);
- $[u_{hi}]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值,单位为毫米(mm)。

隔震支座在地震作用下的水平位移按如下规定取值:

- a) 除特殊规定外,在罕遇地震作用下隔震橡胶支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于支座直径的 0.55 倍和各层橡胶厚度之和 3.0 倍二者的较小值;弹性滑板支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的

0.75倍;摩擦摆隔震支座的 $[u_{hi}]$ 取值不应大于其产品水平极限位移的0.85倍。

- b) 对特殊设防类建筑,在极罕遇地震作用下隔震橡胶支座的 $[u_{hi}]$ 值可取各层橡胶厚度之和的4.0倍;弹性滑板支座、摩擦摆隔震支座的 $[u_{hi}]$ 值可取产品水平极限位移;隔震层宜设置超过极罕遇地震下位移的限位装置。

11.2.8 隔震层的抗风承载力应符合式(33)规定:

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

γ_w ——风荷载分项系数,可取1.5;

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值,单位为牛(N);

V_{Rw} ——隔震层抗风承载力设计值,单位为牛(N),隔震层抗风承载力由抗风装置和隔震支座的屈服力构成,按屈服强度设计值确定。

11.2.9 隔震支座的弹性恢复力,应符合式(34)规定:

$$K_{100} t_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad \dots\dots\dots (34)$$

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 ——隔震支座橡胶层总厚度。

11.2.10 装配式混凝土隔震建筑抗倾覆验算应符合下列规定:

- a) 装配式混凝土隔震建筑应进行结构整体抗倾覆验算和隔震支座拉压承载能力验算;
- b) 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,抗倾覆力矩与倾覆力矩之比不应小于1.1;
- c) 隔震层在罕遇地震作用下应保持稳定,不宜出现不可恢复的变形。隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下,最大拉应力、压应力应符合11.2.4的规定。

11.2.11 隔震支座连接预埋件和连接螺栓的验算应取支座在轴向力、水平剪力和弯矩共同作用下的受力状态,且宜按现行标准 GB/T 51408 的规定执行。

11.3 隔震层上部结构设计

11.3.1 装配式混凝土隔震结构的抗震措施可按底部剪力比及相应的抗震设防烈度确定;除应符合 GB/T 50011 相应设防烈度的规定外,尚应符合下列规定:

- a) 隔震结构底部剪力比大于0.5时,隔震结构应按本地区设防烈度规定采取相应的抗震措施,并应符合 GB/T 50011 的规定;
- b) 隔震结构底部剪力比不大于0.5时,上部结构可按本地区设防烈度降低1度确定抗震措施;
- c) 与竖向地震作用有关的抗震措施,应符合按本地区设防烈度的规定,不应降低。

11.3.2 装配式混凝土隔震建筑内部放置对振动有特殊要求的仪器设备而需限制楼层绝对加速度响应时,容许加速度应符合 GB 50868 的规定。

11.3.3 对相邻装配式混凝土隔震结构,上部结构之间竖向隔离缝宽度需考虑罕遇地震作用下隔震层变形和上部结构变形的叠加效应。

11.3.4 上部结构在设防地震作用下,结构楼层内最大的弹性层间位移应符合式(35)的规定。

$$\Delta u_e < [\theta_e] h \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

Δu_e ——设防地震作用标准值产生的楼层内最大的弹性层间位移,单位为毫米(mm);

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值,应符合表50的规定;

h ——计算楼层层高,单位为毫米(mm)。

表 50 上部结构设防地震作用下弹性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_e]$
装配式混凝土框架结构	1/400
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/500
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/600

11.3.5 上部结构在罕遇地震作用下,楼层内最大的弹塑性层间位移应符合式(36)的规定:

$$\Delta u_p < [\theta_p] h \dots\dots\dots (36)$$

式中:

Δu_p ——弹塑性层间位移,宜采用动力弹塑性时程分析方法;对规则建筑,也可采用静力弹塑性分析方法或等效线性化方法;

$[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值,罕遇地震作用下应符合表 51 的规定。

表 51 上部结构罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_p]$
装配式混凝土框架结构	1/100
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/250

11.3.6 特殊设防类装配式混凝土隔震建筑上部结构的结构楼层内最大弹塑性层间位移,尚应按式(36)进行极罕遇地震作用下的验算,且弹塑性层间位移角限值应符合表 52 的规定。

表 52 上部结构极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

上部结构类型	$[\theta_p]$
装配式混凝土框架结构	1/50
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/100
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/120

11.3.7 地震时有正常使用要求的装配式混凝土隔震结构,其上部结构的最大层间位移角限值应符合表 50 和表 51 的规定,且应满足表 38 的要求。

11.3.8 隔震层上部结构的设计应符合以下规定:

- a) 适当放松上部结构扭转效应的控制,剪力墙不宜布置在周边;
- b) 上部结构抗侧力构件设计以提高刚度为主要目标,可适当放松对结构的延性要求;
- c) 剪力墙尽量设置为整片墙;
- d) 框架柱宜采用大柱距布置形式,如果柱距较小可采用托换方式取消部分柱下支座,以增大隔震支座间距。

11.4 隔震层下部结构设计

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

11.4.2 隔震层支墩、支柱及相连构件应采用在罕遇地震作用下隔震支座底部的竖向力、水平力和弯矩进行承载力验算,且应按抗剪弹性、抗弯不屈服考虑。

11.4.3 隔震层以下的地下室,或塔楼底盘结构中直接支撑隔震塔楼的部分及其相邻一跨的相关构件,应满足设防烈度地震作用下的抗震承载力要求,层间位移角限值应符合表 53 的规定。隔震层以下且地面以上的结构在罕遇地震下的层间位移角限值尚应符合表 54 的规定。特殊设防类装配式混凝土建筑尚应进行极罕遇地震作用下的变形验算,其层间位移角限值应符合表 55 的规定。

表 53 下部结构在设防烈度地震作用下弹性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_e]$
装配式混凝土框架结构	1/500
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/600
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/700

表 54 下部结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
装配式混凝土框架结构	1/100
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/250

表 55 下部结构在极罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
装配式混凝土框架结构	1/60
装配式混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/130
装配式混凝土抗震墙、板柱-抗震墙结构	1/150

12 装配式混凝土隔震结构连接与构造

12.1 一般规定

12.1.1 隔震层设计应能保证避免上部结构及隔震部件正常位移或变形受到阻挡。特殊设防类装配式隔震建筑考虑极罕遇地震作用时,可采用相应的限位保护措施。

12.1.2 隔震层设置在有耐火要求的使用空间时,隔震支座及其连接应根据使用空间的耐火等级采取相应的防火措施,且耐火极限不应低于与其连接的竖向构件的耐火极限。

12.1.3 隔震层的顶部应设置梁板式楼盖,且应符合下列要求:

- a) 楼盖在罕遇地震作用下应保持弹性;
- b) 隔震支座的上部楼盖宜采用现浇混凝土梁板结构,现浇板厚度不应小于 160 mm;
- c) 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;
- d) 与隔震支座连接的上、下支墩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。

12.1.4 在隔震层上、下楼盖设计时,应考虑隔震支座需要更换的情况,隔震支座两侧的主框架梁应能承

担进行托换时千斤顶的作用力。

12.2 隔震支座与结构的连接

12.2.1 隔震支座的连接宜按 GB/T 51408 进行设计。

12.2.2 隔震支座连接螺栓、连接板和相关预埋件的设计应符合 GB 20688.3、GB/T 50010 和 GB 50017 的规定。

12.2.3 隔震支座与上部结构及下部结构的连接应可靠,应使隔震支座在达到极限破坏状态时仍不产生连接的破坏。

12.2.4 隔震支座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 250 mm。隔震支座外露的金属部件表面应进行防腐处理。

12.2.5 设置隔震支座的柱头应有防止局部受压破坏的构造措施。

12.3 隔离缝

12.3.1 上部结构与周围固定物之间应设置完全贯通的竖向隔离缝以避免罕遇地震作用下可能的阻挡和碰撞,隔离缝宽度不应小于隔震支座在罕遇地震作用下最大水平位移的 1.2 倍,且不应小于 300 mm。对相邻隔震结构之间的隔离缝,缝宽取最大水平位移值之和,且不应小于 600 mm。对特殊设防类建筑,隔离缝宽度尚不应小于隔震支座在极罕遇地震下最大水平位移。

12.3.2 上部结构与下部结构或室外地面之间应设置完全贯通的水平隔离缝,水平隔离缝高度宜不小于 20 mm,并应采用柔性材料填塞,进行密封处理。

12.3.3 采用悬吊式方案穿越隔震层的电梯井时,在电梯井底部可设置隔震支座,亦可直接悬空,电梯井与下部结构之间的隔离缝宽度不应小于所在结构与周围固定物的隔离缝宽度。

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

12.4 穿过隔震层的固定设施和管线

12.4.1 穿越隔震层的楼梯、扶手、门厅入口、踏步、电梯、地下室坡道、车道入口及其他固定设施,应避免地震作用下可能的阻挡和碰撞,做断开或可变形的构造措施。

12.4.2 穿越隔震层的一般管线在隔震层处应采用柔性措施,其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度。

12.4.3 穿越隔震层的重要管道、可能泄漏有害介质或可燃介质的管道,在隔震层处应采用柔性措施,其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度的 1.4 倍。

12.4.4 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,其预留的水平变形量不应小于隔离缝宽度的 1.4 倍。

12.5 伸缩缝

12.5.1 装配式隔震结构上部结构设置的伸缩缝,其间距可比 GB/T 50010 的相关规定适当延长,但应经过详细计算确定;缝宽应符合国家和行业相关标准的规定,且不应小于罕遇地震或极罕遇地震作用下缝两侧结构最大相对位移的 1.2 倍。

12.5.2 当伸缩缝贯穿隔震层顶板及上部结构各层楼板,使上部结构分为多个独立的装配式隔震结构时,伸缩缝应按相邻隔震结构的隔离缝考虑。

12.6 检修及隔震标识

12.6.1 隔震层应设置进入检查口,进入检查口的尺寸应便于人员进入,且符合运输隔震支座、连接部件及其它施工器械的规定。进入检查口应设置防止人员误入或坠落的设施。

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

12.6.3 装配式隔震建筑应设置标识,标识内容应包括隔震装置的型号,规格及维护要求,以及隔离缝的检查和维护要求。

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

12.6.5 在装配式隔震建筑周围竖向隔离缝位置,应采用地面隔震间距标识或标线,标明地震时此处为建筑物的移动空间。

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

13 隔震支座的施工、验收和维护

13.1 一般规定

13.1.1 装配式混凝土建筑隔震工程施工现场管理,应有健全的质量管理体系、施工质量控制与检验制度。

13.1.2 装配式混凝土建筑隔震工程应作为主体结构分部工程的一个子分部工程,并应符合下列规定:

- a) 分项工程可按隔震支座安装、阻尼器安装、柔性连接安装、隔离缝进行划分;
- b) 检验批可按楼层、结构缝或施工段进行划分;
- c) 隔震支座等材料进场检验,可按进场批次、生产厂家、规格划分检验批。

13.1.3 装配式混凝土建筑隔震工程施工前应进行隔震专项施工技术交底,并应编制隔震专项施工组织设计或施工技术方案。

13.1.4 装配式混凝土建筑隔震工程施工的每道工序完成后应按隐蔽工程要求检查验收,并形成记录。对重要工序应留有图像资料,经设计人员确认合格后,方可进行下道工序的施工。

13.1.5 装配式混凝土建筑隔震工程的检验批、分项工程、子分部工程应进行质量验收并做好质量验收记录。

13.2 隔震部件进场验收

13.2.1 隔震支座的进场应提供下列质量证明文件:

- a) 原材料检测报告;
- b) 连接件检测报告;
- c) 产品合格证;
- d) 出厂检验报告;
- e) 型式检验报告;
- f) 其他必要证明文件。

13.2.2 隔震支座外观质量应进行全数检查,且符合表 56 规定。

表 56 隔震支座外观质量要求

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 50 mm ²
杂质	杂质面积不超过 30 mm ²
缺胶	缺胶面积不超过 150 mm ² ,不应多于 2 处,且内部嵌件不应外露
凹凸不平	凹凸不超过 5 mm,面积不超过 50 mm ² ,不应多于 3 处
胶钢粘结不牢(上、下端面)	裂纹长度不超过 30 mm,深度不超过 3 mm,不应多于 3 处
裂纹(侧面)	不应出现
钢板外露(侧面)	不应出现

13.2.3 隔震支座的尺寸偏差及相应的检查数量、检验方法应符合相关国家标准及本文件的规定。

13.2.4 隔震支座连接件检查数量应为总数的 10%,检验方法应符合 JGJ 360 的规定,尺寸偏差应符合下列规定:

- a) 连接板平面尺寸允许偏差、连接板厚度允许偏差、连接板螺栓孔位置允许偏差应符合第 5 章的规定;
- b) 地脚螺栓外径尺寸允许偏差应符合表 57 的规定;

表 57 地脚螺栓外径尺寸允许偏差

单位为毫米

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%

- c) 地脚螺栓长度尺寸允许偏差应符合表 58 的规定;

表 58 地脚螺栓长度尺寸允许偏差

单位为毫米

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

- d) 隔震支座连接板平整度偏差应小于 1/300。

13.2.5 隔震支座连接板的机械性能应符合 GB/T 700 和 GB/T 3077 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,检查数量应为全数的 10%。

13.2.6 隔震支座和消能器搬运时应有防止雨淋、日晒、磕碰和锐器划伤等措施。

13.2.7 隔震支座和消能器应储存在干燥、通风、无腐蚀性气体、无紫外线直接照射并远离热源的场所,码置应整齐牢固,不应混放、散放。严禁与酸碱、油类、有机溶剂或腐蚀性化学品等接触。开封验货后,应进

行包装防护。

13.3 隔震支座的施工安装、校正

13.3.1 装配式混凝土建筑隔震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。

13.3.2 隔震支座安装前应向工人讲明隔震支座的构造及对结构的重要性,不应损坏隔震支座及配件。

13.3.3 隔震支座相邻下部结构施工应符合下列规定。

- a) 隔震支座的支墩(柱)与承台或底板宜分开施工,承台或底板混凝土应振捣平整。
- b) 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。
- c) 隔震支座下连接板预埋就位后,应校核其标高、平面位置、水平度。
- d) 安装下支墩(柱)侧模,应用水准仪测定模板高度,并应在模板上弹出水平线。
- e) 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。
- f) 支座下支墩(柱)的混凝土宜分两次浇筑,浇筑时应有排气措施。第一次宜浇筑至支座下连接板以下,第二次浇筑前应复核支座下连接板的平面位置、标高和水平度。二次浇筑的混凝土宜采用高流动性且收缩小的混凝土、微膨胀或无收缩高强砂浆,其强度等级宜比原设计强度等级提高一级。混凝土不应有空鼓。
- g) 浇筑下支墩(柱)混凝土时,应减少对预埋件的影响,工人不应踩踏预埋连接板;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。
- h) 混凝土浇筑完成后应及时将下连接板表面清洗干净。
- i) 混凝土初凝前,应校核下连接板的标高、平面位置和水平度,发现问题应立即采取处理措施以满足要求,并应保留相关记录。
- j) 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。

13.3.4 隔震支座安装应符合下列规定:

- a) 支座安装宜由经过专门培训的人员实施;
- b) 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,隔震支座安装应有监理旁站;
- c) 隔震支座安装前,应先清理下支墩(柱)的上表面,然后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;
- d) 隔震支座吊装时,应按厂家提供的吊点安装吊具,不应将钢丝绳等穿于螺栓孔内;吊运过程中,支座宜水平;
- e) 隔震支座安装过程中应采取措施,不应发生水平变形;
- f) 隔震支座安装就位后,应复核其平面位置、顶面高程和顶面水平度;
- g) 螺栓应对称拧紧,高强螺栓的拧紧过程应分初拧、复拧、终拧三个阶段,并应在同一天完成,复拧扭矩等于初拧扭矩,初拧扭矩宜为终拧扭矩的50%,螺栓安装时不应用重锤敲打,不应雨中作业;
- h) 隔震支座安装后,支座与下支墩(柱)顶面的连接板应密贴;
- i) 当同一支墩(柱)下采用多个支座组合时,应采用同一厂家产品。

13.3.5 隔震支座相邻上部结构施工应符合下列规定:

- a) 隔震支座安装验收合格后,方可进行后续工程施工;
- b) 隔震支座上连接板安装后,将锚定螺栓就位,应校核其位置、高程等,并应保留记录;
- c) 隔震支座安装后应立即采取保护措施,后续施工过程中不应污染、损伤;

- d) 隔震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;
 - e) 对单层面积较大或长度超过 100 m 的隔震支座相邻上部装配式混凝土结构或设计有特殊要求时,应制定专项施工方案,不应产生过大的温度变形和混凝土干缩变形;
 - f) 在隔震支座相邻上部结构施工过程中,应定期观测隔震支座竖向变形,并应保留相应记录。
- 13.3.6 装配式混凝土隔震建筑上部结构施工时,模板支撑不应架设于隔震支座上。
- 13.3.7 装配式混凝土隔震建筑上部结构施工时考虑施工中发生地震的情况,宜满足下列规定:
- a) 经常注意建筑物周边材料、设施的放置位置,确保净空间距;
 - b) 脚手架设置于隔震层上部或脚手架的脚部能随上部结构的强制位移而移动;
 - c) 隔震支座的移动对上部结构的施工有妨碍时,对隔震支座进行水平约束处理;
 - d) 施工中发生地震后,对隔震部件进行检查,确认其是否受到地震的影响。

13.4 工程验收

- 13.4.1 装配式混凝土建筑隔震工程验收程序应符合下列规定:
- a) 装配式混凝土建筑隔震工程的检验批及分项工程应由专业技术和质量负责人进行验收;
 - b) 装配式混凝土建筑隔震工程完工后,应提交子分部工程验收报告,并应组织验收。
- 13.4.2 装配式混凝土建筑隔震工程施工质量验收应在自检合格基础上,按检验批、分项工程、子分部工程验收,应符合下列规定:
- a) 工程施工质量应符合本文件 and 设计要求;
 - b) 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格;
 - c) 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;
 - d) 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行检查;
 - e) 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认;
 - f) 子分部工程验收应符合 JGJ 360 的规定。
- 13.4.3 装配式混凝土建筑隔震工程上部结构验收和竣工验收时,均应对隔离缝和柔性连接进行验收检查。
- 13.4.4 主控项目验收内容应符合表 59 的规定。

表 59 主控项目验收内容

位置	验收项目	检查数量	检验方法
隔震支座	支座型号、数量、安装位置	全数	观察,检查施工记录
	支座与下支墩(柱)顶面密贴	全数	观察,检查施工记录
	支座下混凝土强度	全数	试件强度试验报告
柔性连接	可能泄漏有害介质或可燃介质管道的柔性接头或柔性连接段	全数	观察,查看性能保证书和相关证明文件
隔离缝	水平隔离缝的高度及竖向隔离缝的宽度	全数	塞尺、米尺测量
	隔离缝内及周边不应有影响隔震层发生相对水平位移的障碍物	全数	观察
	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、车道入口等,应采取隔震脱离措施并符合设计要求	全数	观察
	隔离缝的密封构造措施不应阻碍隔震层发生相对水平位移	全数	观察

13.4.5 一般项目验收内容应符合表 60 的规定。

表 60 一般项目验收内容

位置	验收项目	验收数量	验收方法
隔震支座	支座安装位置的允许偏差	全数	用水准仪、钢尺、经纬仪、千分塞尺测量
	单个支座的倾斜度不宜大于支座直径的 1/300	全数	观察、测量、检查施工记录
	支座侧鼓尺寸不宜大于 3 mm	全数	观察、测量、检查施工记录
	支座表面不应出现破损、锈蚀	全数	观察、测量、检查施工记录
	支座下支墩(柱)不应有蜂窝、麻面	全数	观察
	支座防火封闭应满足设计要求	全数	观察、检查施工记录
柔性连接	穿越隔震层的设备配管、配线,应采用柔性连接或其他有效措施	全数	观察、钢尺测量
	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	全数	观察、钢尺测量
隔离缝	隔离缝的密封构造措施不应阻碍隔震层发生相对水平位移	全数	观察
隔震标识	安装稳固、字迹清楚、未受污损	全数	确认、观察

13.4.6 支座安装位置的允许偏差应符合表 61 的规定。

表 61 支座安装位置的允许偏差

项目		允许偏差
支座标高/mm		±5
支座水平位置偏差/mm		±5
水平度	下支墩(柱)顶面	3‰
	支座顶面	8‰

13.5 隔震层的维护

13.5.1 装配式混凝土隔震建筑应设置标识,见附录 D,并应标明其功能特殊性、使用及维护注意事项。

13.5.2 装配式混凝土隔震建筑的标识设置范围和应符合下列规定:

- a) 门厅入口处应标明装配式混凝土隔震建筑,并应简单阐述隔震原理、房屋使用者注意问题,同时给出主要建筑结构平面图、剖面图、隔震层布置图、隔离缝布置图以及隔震产品描述等;
- b) 水平隔离缝处应标明此处为上部结构与下部结构完全分开的水平缝。

13.5.3 装配式混凝土隔震建筑工程竣工验收前,应提交由隔震支座和消能器生产厂家、设计、施工等单位共同编写的使用维护手册及维护管理计划书;将竣工验收的各测量值作为隔震支座维护管理的初始值;装配式隔震建筑的维护检查可分为常规检查、定期检查、应急检查。

13.5.4 常规检查应每年进行一次,检查方式可采用观察方式。

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

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

13.5.7 隔震层维护管理的检查内容和维护方法应符合表 62 的规定。

表 62 隔震层的检查内容和维护方法

检查内容	检查项目	检查位置	检查方法	维护目标
净空间距	周边环境	建筑物	目测、确认	无障碍物
障碍物	周边状况	隔震构件管线	目测、确认	无障碍物
可燃物			目测、确认	无可燃物
排水条件			目测、确认	排水状况良好
变色	橡胶保护层外观	隔震支座	目测	无异常、无异物
损伤	钢材部位状况		目测、测量	无损伤
锈蚀			目测	无浮锈、无锈迹
安装部位			目测	螺栓、铆钉无松动
液体渗漏	柔性连接部位	设备管线	目测	无异常
增加、更换			确认	不增加、更换
增加、更换	变形部位	电气线路	确认	不增加、更换
稳固、污损	稳定性及外观	隔震标识	目测、确认	稳固、无污损

13.5.8 隔震层部件的改装和更换宜优先采用原厂家隔震部件,其中部件性能参数应与原部件一致,建设单位应组织施工单位编制专项施工方案,施工前应由有资质的设计单位确认,或由原设计单位确认。

13.5.9 建筑物所有者不应随意改变隔震建筑物的用途或增加建筑面积。

附 录 A
(资料性)
推荐地震动

推荐地震动见表 A.1。

表 A.1 推荐地震动

场地类别	用于短周期结构输入 (0.0 s~0.5 s)		用于中周期结构输入 (0.5 s~1.5 s)		用于长周期结构输入 (1.5 s~5.5 s)	
	组号	记录名称	组号	记录名称	组号	记录名称
I	F1	1985, La Union, Michoacán Mexico	F1	1985, La Union, Michoacán Mexico	F1	1985, La Union, Michoacán Mexico
	F2	1994, Los Angeles Griffith Observation, Northridge	F2	1994, Los Angeles Griffith Observation, Northridge	F2	1994, Los Angeles Griffith Observation, Northridge
	N1	1988, 竹塘 A 浪琴	N1	1988, 竹塘 A 浪琴	N1	1988, 竹塘 A 浪琴
II	F3	1971, Castaic Old ridge Route, San Fernando	F4	1979, El Centro, Array#10, Imperial valley	F4	1979, El Centro, Array#10, Imperial valley
	F4	1979, El Centro, Array#10, Imperial valley	F5	1952, Taft, Kern County	F5	1952, Taft, Kern County
	N2	1988, 耿马 1	N2	1988, 耿马 1	N2	1988, 耿马 1
III	F6	1984, Coyote Lake Dam, Morgan Hill	F7	1940, El Centro-Imp. Vall. Irr. Dist, EI Centro	F7	1940, El Centro-Imp. Vall. Irr. Dist, EI Centro
	F7	1940, El Centro-Imp. Vall. Irr. Dist, EI Centro	F12	1966, Cholame Shandon Array2, Parkfield	F5	Taft, Kern County
	N3	1988, 耿马 2	N3	1988, 耿马 2	N3	1988, 耿马 2
IV	F8	1949, Olympia Hwy Test Lab, Western Washington	F8	1949, Olympia Hwy Test Lab, Western Washington	F8	1949, Olympia Hwy Test Lab, Western Washington
	F9	1981, Westmor and, Westmoreland	F10	1981, Westmor and, Westmoreland	F11	1981, Westmor and, Westmoreland
	N4	1976, 天津医院, 唐山地震	N4	1976, 天津医院, 唐山地震	N4	1976, 天津医院, 唐山地震
注: 组号中符号 F 代表国外的记录, N 代表国内的记录。						

附 录 B

(规范性)

计算位移减震率的参数取值

计算位移减震率的参数取值见表 B.1、表 B.2。

表 B.1 系数 γ_1 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.010 00	0.006 40	0.003 27	0.001 98	0.000 95
第二组	0.006 40	0.004 44	0.002 50	0.001 32	0.000 71
第三组	0.003 27	0.003 27	0.001 98	0.000 95	0.000 49

表 B.2 系数 γ_2 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.025 00	0.020 00	0.014 30	0.011 10	0.007 69
第二组	0.020 00	0.016 70	0.012 50	0.009 09	0.006 67
第三组	0.014 30	0.014 30	0.011 10	0.007 69	0.005 56

附 录 C
(规范性)
计算加速度减震率的参数取值

计算加速度减震率的参数取值见表 C.1~表 C.10。

表 C.1 参数 α_1 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	−10.250	−4.198	−1.093	−0.400	−0.091 9
第二组	−4.198	−2.025	−0.641	−0.179	−0.051 8
第三组	−1.093	−1.093	−0.400	−0.091 9	−0.025 0

表 C.2 参数 α_2 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	67.5	34.56	12.595	5.926	1.966
第二组	34.56	20	8.438	3.246	1.280
第三组	12.595	12.595	5.926	1.966	0.741

表 C.3 参数 α_3 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	−147.325	−94.288	−48.106	−29.101	−13.948
第二组	−94.288	−65.478	−36.831	−19.481	−10.476
第三组	−48.106	−48.106	−29.101	−13.948	−7.275

表 C.4 参数 α_4 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	124.14	99.31	70.94	55.17	38.20
第二组	99.31	82.76	62.07	45.14	33.10
第三组	70.94	70.94	55.17	38.20	27.59

表 C.5 参数 β_1 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	4.375	1.792	0.466	0.171	0.039 2
第二组	1.792	0.864	0.273	0.076 5	0.022 1
第三组	0.466	0.466	0.171	0.039 2	0.010 7

表 C.6 参数 β_2 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	—30.125	—15.424	—5.621	—2.645	—0.878
第二组	—15.424	—8.926	—3.766	—1.449	—0.571
第三组	—5.621	—5.621	—2.645	—0.878	—0.331

表 C.7 参数 β_3 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	68.875	44.080	22.490	13.605	6.521
第二组	44.080	30.611	17.219	9.107	4.898
第三组	22.490	22.490	13.605	6.521	3.401

表 C.8 参数 β_4 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	—62.07	—49.66	—35.47	—27.59	—19.10
第二组	—49.66	—41.38	—31.04	—22.57	—16.55
第三组	—35.47	—35.47	—27.59	—19.10	—13.79

表 C.9 参数 χ_1 取值

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	1.705	1.364	0.974	0.758	0.525
第二组	1.364	1.136 7	0.853	0.620	0.455
第三组	0.974	0.974	0.758	0.525	0.379

表 C.10 参数 κ_1 取值

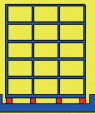
设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	−0.075	−0.06	−0.042 9	−0.033 3	−0.023 1
第二组	−0.06	−0.05	−0.037 5	−0.027 3	−0.02
第三组	−0.042 9	−0.042 9	−0.033 3	−0.023 1	−0.016 7

附 录 D

(资料性)

装配式混凝土隔震建筑标识


- D.1 装配式混凝土隔震建筑标识,包括装配式隔震建筑标识、隔震支座标识、隔离缝标识、隔震层标识、隔震管线标识和隔震楼梯标识。
- D.2 装配式隔震建筑标识应设置于装配式建筑主要入口的显著位置,其他标识应设置于隔震装置或隔震构造的临近位置。
- D.3 装配式混凝土隔震建筑标识应采用耐久性好,易于清洁,不易腐蚀、生锈、变质、燃烧、损坏的材料,同一工程项目应采用统一的标识材料。
- D.4 装配式混凝土隔震建筑标识图样示意见图D.1~图D.6。



装配式隔震建筑

项目名称: _____
建设单位: _____
设计单位: _____
施工单位: _____
监理单位: _____
支座厂家: _____
隔震工程验收时间: _____

图 D.1 装配式隔震建筑标识



隔震支座

注意事项:
禁止在隔震支座上涂抹有腐蚀性物质,
禁止在隔震支座周围摆放易燃、易爆
物品。

生产厂家: _____
产品标准: _____
生产时间: _____

图 D.2 隔震支座标识

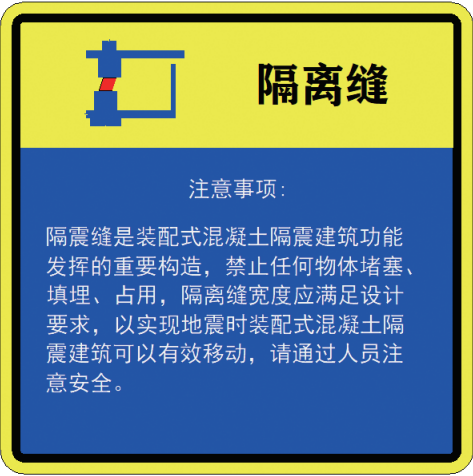


图 D.3 隔离缝标识

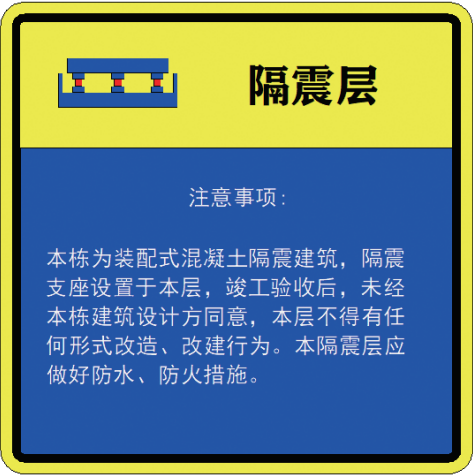


图 D.4 隔震层标识

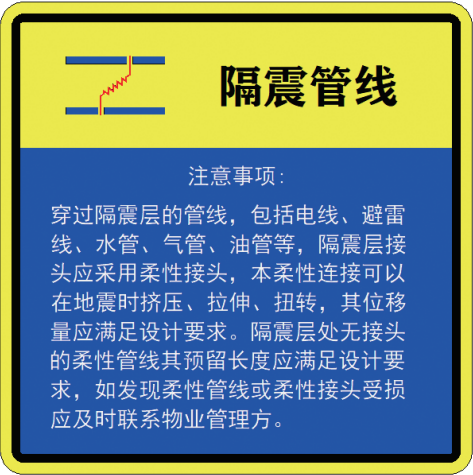


图 D.5 隔震管线标识

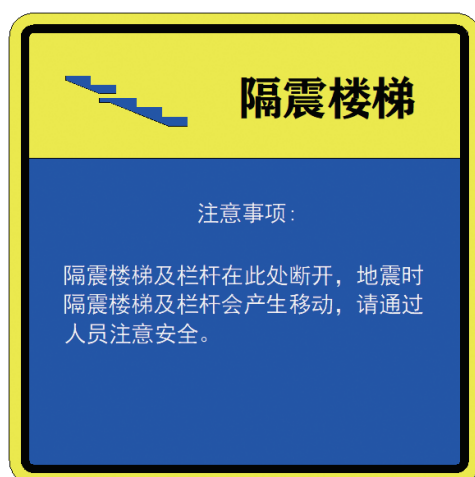


图 D.6 隔震楼梯标识