

山东省工程建设标准

建筑消能减震与隔震技术规程

Technical Specification for Seismic Energy Dissipation
and Seismic Isolation of Buildings

(备案稿)

DB37/T 5246-2023

住房和城乡建设部备案号: **J XXXXX-20XX**

批准部门: 山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局
施行日期: **2023年08月01日**

2023 济南

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局
公 告

2023 年 第 5 号

山东省住房和城乡建设厅
山东省市场监督管理局
关于批准发布《建筑消能减震与隔震技术规程》
等 9 项山东省工程建设标准的公告

《建筑消能减震与隔震技术规程》《城市道路智慧多功能杆建设标准》《城镇污水处理设施臭气处理技术规程》《城市园林绿化精细化养护管理标准》《中小型桥梁承载力快速评定标准》《装配式城市桥梁技术标准》《装配式建筑预制混凝土构件制作与验收标准》《建设工程优质结构评价标准》和《房屋建筑施工扬尘防治技术规程》等 9 项山东省工程建设标准，业经审定通过，批准为山东省工程建设标准，现予以发布，自 2023 年 8 月 1 日起施行。原《装配整体式混凝土结构工程预制构件制作与验收规程》DB37/T 5020-2014 同时废止。

以上标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位

负责具体技术内容的解释。

附件：山东省工程建设标准发布名单

山东省住房和城乡建设厅 山东省市场监督管理局
2023 年 7 月 3 日

附件

山东省工程建设标准发布名单

序号	标准名称	标准编号	主编单位
1	《建筑消能减震与隔震技术规程》	DB37/T 5246-2023	山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司
2	《城市道路智慧多功能杆建设标准》	DB37/T 5247-2023	青岛市市政工程设计研究院有限责任公司 青岛市城市交通研究院有限公司
3	《城镇污水处理设施臭气处理技术规程》	DB37/T 5248-2023	济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司
4	《城市园林绿化精细化养护管理标准》	DB37/T 5249-2023	山东省园林绿化行业协会 山东汇友市政园林集团有限公司
5	《中小型桥梁承载力快速评定标准》	DB37/T 5250-2023	山东泉建工程检测有限公司 哈尔滨工业大学

6	《装配式城市桥梁技术标准》	DB37/T 5251-2023	济南城建集团有限公司 山东泉建工程检测有限公司
7	《装配式建筑预制混凝土构件制作与验收标准》	DB37/T 5020-2023	山东省住房和城乡建设发展研究院 山东省建筑科学研究院有限公司
8	《建设工程优质结构评价标准 第一部分：房屋建筑工程》	DB37/T 5000.1-2023	山东省建设工程质量安全中心 淄博市建筑工程质量安全环保监督站
	《建设工程优质结构评价标准 第二部分：市政工程》	DB37/T 5000.2-2023	济南城建集团有限公司 山东省建设工程质量安全中心
	《建设工程优质结构评价标准 第三部分：交通工程》	DB37/T 5000.3-2023	山东省交通运输厅工程建设事务中心 山东省建设工程质量安全中心
	《建设工程优质结构评价标准 第四部分：水利工程》	DB37/T 5000.4-2023	水发规划设计有限公司 山东省建设工程质量安全中心
9	《房屋建筑施工扬尘防治技术规程》	DB37/T 5252-2023	山东省建设工程质量安全中心 中建八局第二建设有限公司

前 言

根据山东省住房和城乡建设厅和山东省质量技术监督局关于印发《2018 年第二批山东省工程建设标准制修订计划》的通知（鲁建标字〔2018〕17 号）要求，标准编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程主要内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 消能减震结构设计；5. 消能部件的施工、验收和维护；6. 隔震结构设计；7. 隔震装置的施工、验收和维护。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请反馈至山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司（地址：济南市历山路 96 号；邮政编码：250013，电话：0531-86367232，邮箱：994730878@qq.com）。

主 编 单 位：山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司

参 编 单 位：山东省建筑设计研究院有限公司
潍坊市建筑设计研究院有限责任公司
山东华科规划建筑设计有限公司
临沂市建筑设计研究院有限责任公司
山东省建筑科学研究院有限公司
山东建筑大学设计集团有限公司
山东大卫国际建筑设计有限公司
柳州东方工程橡胶制品有限公司

主要起草人：张 鑫 范夕森 夏风敏 张玉明(女) 周广强 闫 凯 王 琴
岳庆霞 赵考重 李 莹 张维汇 李当生 陈 亮 蒋世林
徐承强 于明武 闵建新 张玉明 王中民 崔士起 孙永志
王 健 张红良 张 琳 程始信 张玉峰

主要审查人：吕西林 付安元 胡海涛 谢 群 嵇 飙 王方英 陈守章
梁汝鸣 邢庆毅

目次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 主要符号	3
3 基本规定	6
4 消能减震结构设计	7
4.1 一般规定	7
4.2 地震作用与结构抗震验算	7
4.3 消能器的类型与技术性能	9
4.4 消能部件设计	10
4.5 消能部件的连接与构造	12
5 消能部件的施工、验收和维护	13
5.1 一般规定	13
5.2 消能部件进场验收	13
5.3 消能部件的施工安装顺序	13
5.4 施工测量和消能部件的安装、校正	14
5.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接	14
5.6 施工安全和施工质量验收	14
5.7 消能部件的维护	15
6 隔震结构设计	17
6.1 一般规定	17
6.2 地震作用及结构抗震计算	18
6.3 隔震支座的技术性能	20
6.4 隔震层的设计	21
6.5 上部结构的设计	22
6.6 下部结构及地基基础的设计	26
6.7 构造要求	27
7 隔震装置的施工、验收和维护	29
7.1 一般规定	29
7.2 隔震部件进场验收	30
7.3 隔震支座安装	32
7.4 阻尼器安装	33
7.5 隔震层构（配）件及隔震缝施工	33
7.6 隔震工程施工质量验收	34
7.7 隔震建筑标识与维护	36
附录 A 隔震工程质量验收记录	37
附录 B 材料进场检验记录	39
本规程用词说明	40
引用标准名录	41

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Basic Requirements	6
4 Design of Energy Dissipation Structures	7
4.1 General Requirements	7
4.2 Earthquake Action and Seismic Checking for Structures	7
4.3 Type and Technical Characteristics of Energy Dissipation Devices	9
4.4 Design of Energy Dissipation Parts	10
4.5 Connecting and Details of Energy Dissipation Parts	12
5 Construction、Quality Acceptance and Maintenance of Energy Dissipation Parts	13
5.1 General Requirements	13
5.2 Site Acceptance of Energy Dissipation Parts	13
5.3 Installation Sequence of Energy Dissipation Parts	13
5.4 Construction Survey, Installation and Correction of Energy Dissipation Parts	14
5.5 Weld and Fasten Connection of Energy Dissipation Parts	14
5.6 Construction Safety and Acceptance of Construction Quality	14
5.7 Maintenance of Energy Dissipation Parts	15
6 Design of Energy Isolation Structures	13
6.1 General Requirements	18
6.2 Earthquake Action and Seismic Checking for Structures	18
6.3 Technical Characteristics of Energy Isolation Bearing	20
6.4 Design of Isolation Layer	21
6.5 Design of Super-structure Above the Isolation Layer	22
6.6 Design of Sub-structure Below the Isolation Layer	26
6.7 Details for Energy Isolation Structures	27
7 Construction、Quality Acceptance and Maintenance of Energy Isolation Parts	29
7.1 General Requirements	29
7.2 Site Acceptance of Energy Isolation Parts	30
7.3 Installation of Energy Isolation Bearing	32
7.4 Installation of Damping Device	33
7.5 Construction of Isolation Layer Structure (fitting) and Isolation Joint	33
7.6 Acceptance of Construction Quality of Energy Isolation Projects	34
7.7 Indication and Maintenance of Energy Isolation Structures	36
Appendix A Type of Energy Dissipation Devices	37
Appendix B Calculation of Connecting Members of Energy Dissipation Parts	39
Explanation of Wording in This Specification	40
List of Quoted Standards	41

1 总 则

1.0.1 为规范建筑工程减隔震技术应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于山东省新建建筑以及既有建筑消能减震和隔震的设计、施工、监理、验收和维护。

1.0.3 消能减震和隔震建筑的设计、施工、监理、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家和山东省现行有关标准中强制性条文的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 消能器 energy dissipation device

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

2.1.2 消能减震结构 energy dissipation structure

设置消能器的结构。消能减震结构包括主体结构和消能部件。

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

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

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

耗能能力与消能器两端的相对速度有关的消能器，如黏滞消能器、黏弹性消能器等。

2.1.5 复合型消能器 composite energy dissipation device

耗能能力与消能器两端的相对位移和相对速度有关的消能器，如铅黏弹性消能器等。

2.1.6 金属消能器 metal energy dissipation device

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

2.1.7 摩擦消能器 friction energy dissipation device

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

2.1.8 屈曲约束支撑 buckling-restrained brace

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

2.1.9 黏滞消能器 viscous energy dissipation device

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

2.1.10 黏弹性消能器 viscoelastic energy dissipation device

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

2.1.11 消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

2.1.12 消能子结构 energy dissipation substructure

与消能部件直接连接的主体结构单元。

2.1.13 附加阻尼比 additional damping ratio

消能减震结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

2.1.14 附加刚度 additional stiffness

消能减震结构往复运动时消能部件附加给主体结构的刚度。

2.1.15 消能器极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器能达到的最大变形量，变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能器能达到的最大速度值，速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

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

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的位移值。

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

消能减震结构在罕遇地震作用下消能器达到的速度值。

2.1.19 隔震结构 isolated structure

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。

2.1.20 隔震层 isolation layer

设置在上部结构与下部结构（或基础）之间的设置隔震装置的层，隔震装置包括全部隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置以及其他附属装置。

2.1.21 上部结构 super-structure above the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以上的部分。

2.1.22 下部结构 sub-structure below the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以下的部分，不包括基础。

2.1.23 隔震支座 seismic isolation bearing

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。

2.1.24 阻尼装置 damping device

隔震层中用于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。

2.1.25 抗风装置 anti-wind device

隔震结构中抵抗风荷载的装置。可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.26 限位装置 stopper

限制隔震层在最不利状态下产生超过容许位移的部件。

2.1.27 等效阻尼比 equivalent damping ratio

隔震结构往复运动时，与隔震层（或隔震支座）所耗散的能量相对应的等效阻尼与临界阻尼的比值。

2.1.28 等效刚度 equivalent stiffness

隔震层（或隔震支座）所承受的荷载与相应位移的比值。其值可取荷载—位移曲线在对应位移点的割线刚度。

2.1.29 底部剪力比 base shear ratio

设防地震作用下隔震建筑隔震后与隔震前上部结构底部剪力的比值。

2.2 主要符号

本规程所采用的主要符号如下：

F_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服剪力；

K_t ——结构抗扭刚度；

T_i ——消能减震结构的第 i 阶振型周期；

ζ ——消能减震结构总阻尼比；

ζ_1 ——主体结构阻尼比；

ζ_d ——消能部件附加给结构的有效阻尼比；

ω ——结构自振频率；

Δu_{py} ——消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移；

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移；

C_D ——消能器的线性阻尼系数；

C_j ——第 j 个消能器由试验确定的线性阻尼系数；

F_d ——消能器在相应位移下的阻尼力；

G' ——黏弹性材料剪切模量；

G'' ——黏弹性材料储存模量；

K_b ——支撑构件沿消能方向的刚度；

t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料的总厚度；

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

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器最大可能的位移；

Δu ——沿消能方向消能器的位移；

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；

$\alpha_1 (\zeta_{eq})$ ——罕遇地震下的地震影响系数；

η_2 ——地震影响系数的阻尼调整系数；

γ ——地震影响系数的曲线下降段衰减指数；

T_g ——特征周期；

T_{gm} ——砌体结构采用隔震方案时的设计特征周期；

T_1 ——隔震后体系的基本周期；

T_0 ——非隔震结构的计算周期；

G ——隔震层以上结构的重力荷载代表值；

ζ_{eq} ——隔震层等效黏滞阻尼比；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

ζ_f ——隔震支座由试验确定的等效黏滞阻尼比；

K_j ——隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度；

u_i ——罕遇地震作用下，第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；

$[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；

u_c ——罕遇地震下隔震层质心处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；

V_c ——隔震层在罕遇地震下的水平剪力；

λ_s ——近场系数。

3 基本规定

3.0.1 按本规程设计与施工的消能减震建筑，当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，消能部件正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，消能部件正常工作，主体结构可能发生损坏，但经一般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，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。

3.0.2 按本规程设计与施工的隔震建筑，当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，隔震装置正常工作，主体结构不受损坏或不需要修理可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，隔震装置不应丧失功能，主体结构可能发生损坏，但经一般性修理仍可继续使用。特殊设防类建筑遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

3.0.3 使用功能和其他方面有专门要求的消能减震与隔震建筑，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定，应采用抗震性能化设计，抗震性能目标应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

3.0.4 既有建筑按后续工作年限分为 A 类建筑、B 类建筑、C 类建筑。既有建筑采用消能减震或隔震加固改造时，抗震设防目标不应低于现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 和《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定。

3.0.5 既有建筑采用消能减震或隔震加固改造前，应根据国家现行有关标准进行结构安全性鉴定和抗震鉴定，必要时应补充地质勘察。

3.0.6 抗震设防烈度为 7 度、8 度、9 度时，高度分别超过 160m、120m、80m 的大型消能减震公共建筑，特殊设防类或有特殊要求的隔震建筑，应按规定设置建筑结构的地震反应观测系统，建筑设计应预留观测仪器和线路的位置和空间。

3.0.7 确定减隔震设计方案时，宜与采用抗震设计的方案进行对比分析。

4 消能减震结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震结构适用的最大高度宜按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行。

4.1.2 消能减震结构主体结构构造措施应符合下列规定：

1 新建建筑主体结构确定构造措施时对应的抗震等级应按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 取值；

2 既有 C 类建筑消能减震加固时，主体结构确定构造措施时对应的抗震等级按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 确定。对于加固后抗震等级需要提高的结构，可进行抗震性能化设计。按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 附录 M 根据不同的抗震性能要求确定抗震构造措施；

3 既有 A、B 类建筑消能减震加固时，主体结构的构造措施应按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 和《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 确定。主体结构构件抗震构造措施不满足相关规定时，可按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 和《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定，采用楼层综合能力指数法进行综合抗震评定。

4.2 地震作用与结构抗震验算

4.2.1 消能减震结构地震作用，应符合下列规定：

1 应在结构的各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应由该方向消能部件和抗侧力构件承担；

2 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用；

3 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；其他情况，应允许采用调整地震作用效应的方法计入扭转影响；

4 抗震设防烈度不低于 7 度（0.15g）的大跨度、长悬臂的混凝土结构和抗震设防烈度 9 度的高层结构，应计算竖向地震作用。

4.2.2 消能减震结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和消能器附加给主体结构的阻尼比的总和，消能减震结构在多遇和罕遇地震作用下的总阻尼比应根据主体结构处于弹性和弹塑性工作状态分别确定。消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 25% 时，宜按 25% 计算。

4.2.3 消能减震结构的总刚度应为结构刚度和消能部件附加给结构的有效刚度之和。

4.2.4 消能减震结构的地震影响系数，可根据结构总阻尼比按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行。水平地震影响系数最大值按表 4.2.4 采用。既有建筑物 A 类、B 类、C 类建筑的水平地震影响系数最大值按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 确定。

采用振型分解反应谱法计算水平地震作用及竖向地震作用应按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行。任一楼层的水平地震剪力应满足现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定。

表 4.2.4 水平地震影响系数最大值取值表

地震影响	6 度	7 度		8 度		9 度
		0.10 g	0.15 g	0.20 g	0.30 g	
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
------	------	------	------	------	------	------

4.2.5 消能减震结构的分析方法应根据主体结构、消能器的工作状态选择，并应符合下列规定：

- 1 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于线性工作状态时，可采用振型分解反应谱法、弹性时程分析法；
- 2 当消能减震结构主体结构处于弹性工作状态，且消能器处于非线性工作状态时，可将消能器进行等效线性化，采用附加有效阻尼比和有效刚度的振型分解反应谱法、弹性时程分析法，也可采用弹塑性时程分析法；
- 3 当消能减震结构主体结构进入弹塑性状态时，应采用静力弹塑性分析方法或弹塑性时程分析方法。

4.2.6 消能器的恢复力模型宜按下列规定选取并应经足尺试验验证：

- 1 软钢消能器和屈曲约束支撑可采用双线性模型、三线性模型或 Wen 模型；
- 2 摩擦消能器、铅消能器可采用理想弹塑性模型；
- 3 黏滞消能器可采用麦克斯韦模型；
- 4 黏弹性消能器可采用开尔文模型；
- 5 其他类型消能器模型可根据组成消能器的元件是采用串联还是并联具体确定。

4.2.7 消能减震结构采用时程分析法时应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定。

4.2.8 在弹性时程分析和弹塑性时程分析中，消能减震结构的恢复力模型应包括结构恢复力模型和消能部件恢复力模型。

4.2.9 消能减震结构采用弹塑性时程分析法计算时，根据主体结构构件弹塑性参数和消能部件的参数确定消能减震结构非线性分析模型。

4.2.10 消能减震结构采用静力弹塑性分析方法分析时应满足下列要求：

- 1 结构目标位移的确定应根据结构的不同性能来选择，宜采用结构总高度的 1.5% 作为顶点位移的界限值；
- 2 消能部件中消能器和支撑根据连接形式不同，可采用串联模型或并联模型，将消能器刚度和支撑的刚度进行等效，在计算中消能部件采用等刚度的连接杆代替，位移相关型消能器可采用等刚度的杆单元代替，并根据消能器的力学特性于该杆单元上设置塑性铰，以模拟位移相关型消能器的力学特性；
- 3 主体结构阻尼比应取结构弹塑性状态时的阻尼比，其中消能器附加给主体结构的阻尼比应由实际分析计算确定，不能采用预估值。

4.2.11 消能减震设计应保证主体结构，符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 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。

4.2.12 消能减震结构分析模型应正确地反映不同荷载工况的传递途径、在不同地震动水准下主体结构和消能器所处的工作状态。

4.2.13 地震作用下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。

4.2.14 多遇地震作用下，新建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的效应设计值和截面抗震验算应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011 执行。既有建筑物结构构件应按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 和现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 执行。

4.2.15 消能减震结构在多遇地震作用下弹性层间位移角限值不应大于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的限值要求。

4.2.16 消能减震结构中消能子结构在罕遇地震作用下，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合效应，应按下式进行抗震验算：

$$S_d < R_u \quad (4.2.16-1)$$

$$S_d = S_{GE} + \psi_e S_{Ek} \quad (4.2.16-2)$$

式中： S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

S_{Ek} ——罕遇地震作用标准值的效应；

ψ_e ——地震作用的频率系数，一般结构取 1.0；

R_u ——按材料强度极限值计算的承载力。

4.2.17 消能减震结构在罕遇地震作用下弹塑性层间位移角限值不应大于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的限值要求。

4.2.18 消能子结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计，在罕遇地震作用下承载力按本规程 4.2.16 条进行验算；

2 消能子结构中的梁、柱和墙截面设计应考虑消能器在极限位移或极限速度下的阻尼力作用；

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

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

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

4.2.19 当柱在两个垂直相交的平面内都布置消能器，且分别按不同水平方向进行结构地震作用分析时，应考虑柱在双向地震作用下的受力。

4.2.20 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。

4.3 消能器的类型与技术性能

4.3.1 消能器的设计工作年限不宜小于建筑物的设计工作年限，当消能器设计工作年限小于建筑物的设计工作年限时，消能器达到工作年限应及时检测，重新确定消能器工作年限或更换。

4.3.2 消能器的外观应符合下列规定：

1 外表应光滑，无明显缺陷；

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

3 尺寸偏差应符合本规程有关规定；

4 外观应符合本规程有关规定。

4.3.3 消能器的选择应考虑结构类型、使用环境、结构控制参数等因素，根据结构在地震作用时预期的结构位移或内力控制要求，选择不同类型的消能器。

4.3.4 消能器的性能应符合下列规定：

1 应具备良好的变形能力和消耗地震能量的能力。消能器的极限位移应大于消能器设计位移的 120%。速度相关型消能器极限速度应大于消能器设计速度的 120%。罕遇地震作用下消能器的设计位

移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定；

2 应具有良好的抗疲劳、抗老化性能，应具有良好的耐久性和环境适应性。消能器工作环境应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的要求，不满足时应作保温、除湿等相应处理；

3 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；

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

5 消能型屈曲约束支撑和屈曲约束支撑型消能器应满足位移相关型消能器性能要求；

6 消能器中非消能构件的设计荷载应按消能器 1.5 倍极限阻尼力选取，应保证消能器中构件在罕遇地震作用下都能正常工作。

4.3.5 应用于消能减震结构中的消能器应符合下列规定：

1 应具有型式检验报告或产品合格证；

2 性能参数和数量应在设计文件中注明；

3 应经过消能减震结构或子结构动力试验，验证消能器的性能和减震效果。

4.3.6 当消能减震结构遭遇设防地震和罕遇地震后，应对消能器进行检查和维护。消能器经过火灾高温环境后，应对消能器进行检查和试验；承受竖向荷载作用的消能器应按主体结构的要求进行防火处理。

4.4 消能部件设计

4.4.1 消能部件的布置应符合下列规定：

1 消能部件的布置宜使结构在两个主轴方向的动力特性相近；

2 消能部件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀；

3 消能部件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；

4 消能部件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层；

5 消能部件的布置应尽量缩小质量中心和刚度中心几何位置的差异。

4.4.2 消能部件的设计参数应符合下列规定：

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

$$\Delta u_{py} / \Delta u_{sy} \leq 2 / 3 \quad (4.4.2-1)$$

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

Δu_{sy} ——设置消能部件的主体结构层间屈服位移（ m ）。

2 黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度应符合下式规定：

$$t_v \geq \Delta u_{dmax} / [\gamma] \quad (4.4.2-2)$$

式中： t_v ——黏弹性消能器的黏弹性材料总厚度（ m ）；

Δu_{dmax} ——沿消能方向消能器的最大可能的位移（ m ）；

$[\gamma]$ ——黏弹性材料允许的最大剪切应变。

3 速度线性相关型消能器与斜撑、墙体（支墩）或梁等支承构件组成消能部件时，支承构件沿

消能器消能方向的刚度应符合下式规定：

$$K_b \geq 6\pi C_D / T_1 \quad (4.4.2-3)$$

式中： K_b ——支撑构件沿消能器消能方向的刚度（ kN/m ）；

C_D ——消能器的线性阻尼系数 [$kN/(m/s)$]；

T_1 ——消能减震结构的基本自振周期（ s ）。

4.4.3 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效线性化方法确定。

4.4.4 消能部件附加给结构的有效阻尼比可按下式计算：

$$\zeta_d = \sum_{j=1}^n W_{c_j} / 4\pi W_s \quad (4.4.4-1)$$

式中： ζ_d ——消能减震结构的附加有效阻尼比；

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

W_s ——消能减震结构在水平地震作用下的总应变能（ $kN \cdot m$ ）。

1 不计扭转影响时，消能减震结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (4.4.4-2)$$

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

u_i ——质点 i 对应于水平地震作用标准值的位移（ m ）。

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

$$W_{c_j} = (2\pi^2 / T_1) \sum C_j \cos^2(\theta_j) \Delta u_j^2 \quad (4.4.4-3)$$

式中： T_1 ——消能减震结构的基本自振周期（ s ）；

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

θ_j ——第 j 个消能器的消能方向与水平面的夹角（°）；

Δu_j ——第 j 个消能器两端的相对水平位移（ m ）。

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

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

$$W_{c_j} = \lambda_1 F_{d_{j\max}} \Delta u_j \quad (4.4.4-4)$$

式中： λ_1 ——阻尼指数的函数，可按表 4.4.4 取值；

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

表 4.4.4 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 值可线性插值。

4 位移相关型和速度非线性相关型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下列公式计算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (4.4.4-5)$$

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

4.4.5 采用振型分解反应谱法计算多遇地震作用时，结构有效阻尼比可采用附加阻尼比进行迭代计算。

4.5 消能部件的连接与构造

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

4.5.2 消能器与主体结构的连接分为：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。

4.5.3 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现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的要求。

4.5.4 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、构造要求应符合现行国家标准《钢结构通用规范》GB 55006 和《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

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

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

4.5.7 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。预埋件、支撑和支墩、剪力墙、节点板按照现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 规定进行计算。

4.5.8 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，并应符合以下要求：

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

2 支撑长细比、宽厚比应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 中心支撑的规定；

3 剪力墙暗柱、支墩沿长度方向应全截面箍筋加密，并配置网状钢筋。

4.5.9 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，且计算分析时应考虑消能部件安装次序的影响。

5 消能部件的施工、验收和维护

5.1 一般规定

5.1.1 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建筑工程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。主体结构中包含消能部件工程和隔震工程时，消能部件工程和隔震工程可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。

5.1.2 消能部件子分部工程的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、消能部件及施工条件，编制专项施工方案。

5.1.3 消能部件子分部工程的施工作业，宜划分为消能部件进场验收和消能部件安装、验收、防护两个阶段。

5.1.4 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、表面防锈漆等制作安装与防护，应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定，并满足设计文件的要求。

5.2 消能部件进场验收

5.2.1 消能部件进场时，应进行进场验收，并经监理单位核准。

5.2.2 消能器进场验收包括产品出厂合格证明文件检查、出厂检验报告检查、型式检验报告检查、产品第三方力学性能抽检报告检查、外观尺寸检查。当设计有其他要求时，尚应进行相应的检验。

5.2.3 消能部件包括消能器和钢连接件。消能器进场验收时，应具有产品的第三方力学性能抽样检测合格报告；消能器类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209、《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 和本规程相关条文的规定。

1 对黏滞流体消能器，第三方抽样检验数量为同一工程同一类型同一规格数量的 20%，但不少于 2 个，检测合格率为 100%，检测后的消能器可用于主体结构；对于其他类型消能器，抽检数量为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，可以在同一类型消能器中抽检总数的 3%，但不应少于 2 个，检测合格率为 100%，检测后的消能器不能用于主体结构；

2 对于速度相关型消能器，在消能器设计位移和设计速度幅值下，以结构基本频率往复循环 30 圈后，消能器的主要设计指标误差和衰减量不应超过 15%；对于位移相关型消能器，在消能器设计位移幅值下往复循环 30 圈后，消能器的主要设计指标误差和衰减量不应超过 15%，且不应有明显的低周疲劳现象。

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

5.2.5 钢连接件的制作安装中，所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料，应具有质量合格证书，并符合设计文件规定。

5.3 消能部件的施工安装顺序

5.3.1 消能部件的施工安装顺序，应由设计单位、施工单位、监理单位和消能器生产厂家共同商讨确定，并符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 和《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 的规定。

5.3.2 消能减震结构的施工安装顺序制定，应符合下列规定：

1 划分结构的施工流水段；

- 2 确定结构的消能部件及主体结构构件的总体施工顺序，并编制总体施工安装顺序表；
 - 3 确定同一部位各消能部件及主体结构构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。
- 5.3.3** 对于钢结构，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序宜采用平行安装法，平面上应从中部向四周开展，竖向应从下向上依次进行。
- 5.3.4** 对于现浇混凝土结构，消能部件的安装宜采用后装法进行，消能器预埋件应在专业人员指导下进行。
- 5.3.5** 消能减震加固既有结构，消能部件的总体施工安装顺序可按本规程相关结构形式的消能部件安装方法进行。
- 5.3.6** 同一部位各消能部件的局部安装顺序编制应符合下列规定：
- 1 确定同一部位各消能部件的现场安装单元、安装连接顺序；
 - 2 编制同一部位各消能部件的局部安装连接顺序，包括消能器、支撑、支墩、连接件的类型、规格和数量。
- 5.3.7** 同一部位消能部件的现场安装单元及局部安装连接顺序，应符合下列规定：
- 1 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；
 - 2 消能部件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接，宜采用现场原位连接。

5.4 施工测量和消能部件的安装、校正

- 5.4.1** 消能部件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行国家标准《工程测量标准》GB 50026 和现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的要求。
- 5.4.2** 消能部件安装前，准备工作应包括下列内容：
- 1 对消能部件的定位轴线、标高点等应进行复核；
 - 2 消能部件的运输进场、存储及保管应符合制作单位提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定；
 - 3 按照消能器制作单位提供的施工操作说明书的要求，应核查安装方法和步骤；
 - 4 对消能部件的制作质量应进行全面复查。
- 5.4.3** 消能部件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件的要求。

5.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

- 5.5.1** 消能部件安装接头节点的焊接、螺栓连接，应符合设计文件和现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定。
- 5.5.2** 消能部件采用铰接连接时，消能部件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙应符合设计文件要求，当设计文件无要求时，间隙不应大于 0.3mm。
- 5.5.3** 消能部件安装连接完成后，应符合下列规定：
- 1 消能器没有形状异常及损害功能的外伤；
 - 2 消能器的黏滞材料、黏弹性材料未泄漏或剥落，未出现涂层脱落和生锈；
 - 3 消能部件的临时固定件应予撤除。

5.6 施工安全和施工质量验收

- 5.6.1** 消能部件的施工应符合国家现行标准的有关规定，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。

5.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目应按表 5.6.2 的规定执行。

表 5.6.2 消能部件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目

项次	项目	抽检数量及检验方法	合格质量标准
1	见证取样送样检测项目： (1) 消能部件钢材复验； (2) 高强度螺栓预拉力和扭矩系数复验； (3) 摩擦面抗滑移系数复验。	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。	《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。
2	焊缝质量： (1) 焊缝尺寸； (2) 内部缺陷； (3) 外观缺陷。	一、二级焊缝按焊缝处数随机抽检 3%，且不应少于 3 处；检验采用超声波或射线探伤及量规、观察。	
3	高强度螺栓施工质量： (1) 终拧扭矩； (2) 梅花头检查。	按节点数随机抽检 3%，且不应少于 3 个节点；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。	
4	消能部件平面外垂直度。	随机抽查 3 个部位的消能部件。	符合设计文件及《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

5.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目应按表 5.6.3 的规定执行。

表 5.6.3 消能部件子分部工程观感质量检查项目

项次	项目	抽检方法、数量	合格质量标准
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

5.7 消能部件的维护

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

5.7.2 消能部件应根据消能器的类型、使用期间的具体情况、消能器设计工作年限和设计文件要求等进行定期检查。金属消能器、屈曲约束支撑和摩擦消能器在正常使用情况下，可不进行定期检查；黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下，一般 10 年或二次装修时应进行目测检查，在设计工作年限时应进行抽样检验。消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害后应进行抽样检验。

5.7.3 消能器目测检查时，应观察消能器、支撑及连接构件等的外观、变形及其他问题，目测检查内容及维护方法应符合表 5.7.3 的规定。

表 5.7.3 消能器检查内容及维护方法

序号	检查内容	维护方法
1	黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄漏	更换消能器
2	黏弹性材料层龟裂、老化	更换消能器
3	金属消能器产生明显的累积损伤和变形	更换消能器
4	摩擦消能器的摩擦材料磨损、脱落，接触面施加压力的装置产生松弛	更换相关材料和压力装置
5	消能器连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤	拧紧、补焊

6	黏滞消能器的导杆、摩擦消能器的外露摩擦界面出现腐蚀、表面污垢硬化结斑结块	及时清除
7	消能器被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐或防火涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等	重新涂装
8	消能器产生弯曲、局部变形	更换消能器
9	消能器周围存在可能限制消能器正常工作的障碍物	及时清除

5.7.4 支撑目测检查时，应检查支撑、连接部位变形和外观及其他问题等，目测检查内容及维护处理方法应符合表 5.7.4 的规定。

表 5.7.4 支撑目测检查内容及维护处理方法

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

5.7.5 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，并应能推定是否达到预定的工作年限。

6 隔震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 建筑结构采用隔震设计应满足下列要求：

1 结构的高宽比不应大于相关规范规程对非隔震结构的具体规定，最大高度应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 非隔震结构的要求；

2 建筑场地宜为 I、II、III 类，并应选用稳定性较好的基础类型；

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 隔震层宜设置在结构的底部或下部。隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；穿过隔震层的机电配管、配线，应采用柔性连接，其预留的水平变形量不小于隔震缝宽度的 1.4 倍。

6.1.2 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。

6.1.3 隔震设计应根据预期的竖向承载力、水平向减震和位移控制要求，选择适当的隔震装置及抗风装置以及必要的消能装置和限位装置组成结构的隔震层。隔震装置应进行竖向承载力验算和罕遇地震下水平位移的验算。隔震建筑应具有足够的抗倾覆能力，高层建筑尚应进行罕遇地震下整体倾覆承载力计算。

6.1.4 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。

6.1.5 建筑结构隔震设计的计算分析，应符合下列规定：

1 隔震体系的计算简图，应增加由隔震支座及其顶部梁板组成的质点；对变形特征为剪切型的结构可采用剪切模型（图 6.1.5）；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；

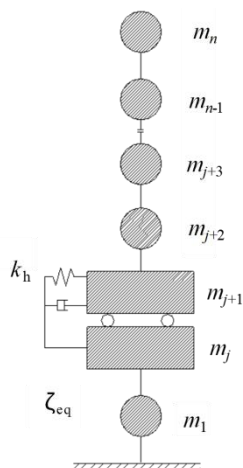


图 6.1.5 隔震结构计算简图

2 隔震结构应采用振型分解反应谱法计算；

3 砌体结构及基本周期与其相当的结构可采用底部剪力法计算；

4 对于房屋高度大于 60m 的隔震建筑，不规则的建筑，或隔震层隔震支座、阻尼装置及其他装置的组合复杂的隔震建筑，尚应采用时程分析法进行补充计算；输入地震波的反应谱特征和数量，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的相关规定，计算结果宜取其包络值；

5 当处于发震断层 10km 以内时，隔震结构地震作用计算应考虑近场影响系数，5km 以内宜取 1.25，5km 以外可取不小于 1.15。

6.1.6 对于特殊设防类建筑、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。

6.2 地震作用及结构抗震计算

6.2.1 隔震建筑结构的地震作用应符合下列规定：

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

2 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15° 时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用；

3 质量和刚度分布明显不对称的隔震建筑，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；

4 抗震设防烈度 7 度（0.15g）、8 度时的长悬臂或大跨度结构，9 度和 8 度且水平向减震系数不大于 0.3 的结构，应进行竖向地震作用计算。

6.2.2 隔震层以上结构的总水平地震作用不得低于 6 度设防时非隔震结构的总水平地震作用，并进行抗震验算；各楼层的水平地震剪力应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 关于本地区设防烈度的最小地震剪力系数的规定。

6.2.3 当隔震结构阻尼比为 0.05 时，地震影响系数应根据烈度、场地类别、特征周期和隔震结构自振周期按地震影响系数曲线（图 6.2.3）确定，其水平地震影响系数最大值 α_{max} 应按表 6.2.3 采用。

场地特征周期应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行，计算罕遇地震和极罕遇地震作用时，场地特征周期应分别增加 0.05s 和 0.10s。

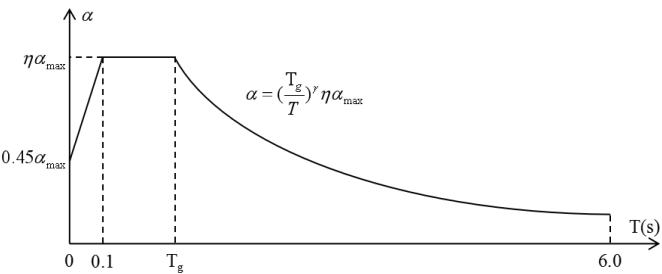


图 6.2.3 地震影响系数曲线

注： α —地震影响系数； α_{max} —地震影响系数最大值； T —隔震结构自振周期； T_g —特征周期； γ —曲线下降段衰减系数； η —阻尼调整系数

表 6.2.3 水平地震影响系数最大值 α_{max}

抗震设防烈度	6 度	7 度	8 度	9 度
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
极罕遇地震	0.36	0.72（1.00）	1.35（2.00）	2.43

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

6.2.4 隔震结构自振周期、等效刚度和等效阻尼比，应根据隔震层中隔震装置及阻尼装置经试验所得滞回曲线对应不同地震烈度作用时的隔震层水平位移值计算，并应符合下列规定：

- 1 可按对应不同地震烈度作用时的设计反应谱进行迭代计算确定，也可按时程分析法计算确定；
- 2 采用底部剪力法时，隔震层隔震橡胶支座水平剪切位移可按下述取值：设防地震作用时可取支座总厚度的 100%，罕遇地震作用时可取支座橡胶总厚度的 250%，极罕遇地震作用时可取支座橡胶总厚度的 400%。

6.2.5 当隔震结构的阻尼比不等于 0.05 时，其水平地震影响系数 α 曲线应按地震影响曲线（图 6.2.3）确定，但形状参数和阻尼调整系数应按下列规定调整：

- 1 应按地震影响曲线（图 6.2.3）确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \quad (6.2.5-1)$$

式中： γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——阻尼比，取隔震结构振型阻尼比。

- 2 阻尼调整系数应按下式确定：

$$\eta = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 3\zeta} \quad (6.2.5-2)$$

式中： η ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时取 0.55。

6.2.6 砌体结构及与砌体结构周期相当的结构，隔震体系的基本周期可按下式计算：

$$T_1 = 2\pi\sqrt{G/K_h g} \quad (6.2.6)$$

式中： T_1 ——隔震体系的基本周期；

G ——隔震层以上结构的重力荷载代表值；

K_h ——隔震层的水平等效刚度，可按本规程第 6.3.5 条的规定计算；

g ——重力加速度。

6.2.7 砌体结构及与砌体结构周期相当的结构，当隔震支座的平面布置为矩形或接近于矩形，但上部结构的质心与隔震层刚度中心不重合时，隔震支座扭转影响系数可按下列方法确定：

- 1 仅考虑单向地震作用的扭转时，扭转影响系数可按下列公式估计：

$$\eta = 1 + 12es_i(a^2 + b^2) \quad (6.2.7-1)$$

式中： e ——上部结构质心与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的偏心距；

s_i ——第 i 个隔震支座与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的距离；

a 、 b ——隔震层平面的两个边长。

对边支座，其扭转影响系数不宜小于 1.15；当隔震层和上部结构采取有效的抗扭措施后或扭转周期小于平动周期的 70%，扭转影响系数可取 1.15。

- 2 同时考虑双向地震作用的扭转时，扭转影响系数可仍按式 6.2.7-1 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：

$$e = \sqrt{e_x^2 + (0.85e_y)^2} \quad (6.2.7-2)$$

$$e = \sqrt{e_y^2 + (0.85e_x)^2} \quad (6.2.7-3)$$

式中： e_x ——y 方向地震作用时的偏心距；

e_y ——x 方向地震作用时的偏心距。

对边支座，其扭转影响系数不宜小于 1.2。

6.2.8 砌体结构及其基本周期相当的结构，隔震层在罕遇地震下的水平剪力可按式 (6.2.8) 计算，水平地震作用沿高度可按重力荷载代表值分布。

$$V_c = \lambda_s \alpha_1 (\zeta_{eq}) G \quad (6.2.8)$$

式中： V_c ——隔震层在罕遇地震下的水平剪力；

λ_s ——近场系数；

$\alpha_1 (\zeta_{eq})$ ——罕遇地震下的地震影响系数。

6.2.9 当采用时程分析法时，计算模型的确定应满足下列条件：

1 对特殊设防类、重点设防类的建筑或标准设防类的不规则隔震建筑，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；

2 对规则隔震建筑，可采用层间模型；

3 设防地震作用下，隔震房屋上部结构和下部结构的荷载—位移关系特性可采用线弹性力学模型；罕遇地震下或极罕遇地震作用下采用弹塑性模型。隔震层采用隔震产品试验提供的滞回模型，按非线性阻尼特性以及非线性荷载—位移关系特性进行分析；

4 隔震支座单元应能够合理模拟隔震支座非线性特性，计算分析时，应按实际荷载工况顺序合理加载；

5 对于特殊设防类与高度大于 60m 的重点设防类隔震建筑，宜有不少于两种程序的地震作用计算结果进行比较分析。

6.3 隔震支座的技术性能

6.3.1 隔震装置的设计工作年限不应小于 50 年。设计工作年限内，应具有良好的工作性能。

6.3.2 橡胶隔震支座性能要求除应满足现行国家标准《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》GB/T 20688.3 的要求外，并应满足下列要求：

1 隔震支座在表 6.3.2 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始值的±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表 6.3.2 的规定。

表 6.3.2 橡胶隔震支座压应力限值

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

注：1 压应力设计值应按永久荷载和可变荷载的组合验算；其中，楼面活荷载应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001 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的组合；

- 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，标准设防类建筑的压应力限值为 10MPa。

6.3.3 弹性滑板支座的性能要求应满足现行国家标准《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》GB/T 20688.5 的相关要求。

6.3.4 阻尼装置中阻尼器应满足现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 及本规程的相关要求。

6.3.5 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：

$$K_h = \sum K_j \tag{6.3.5-1}$$

$$\zeta_{eq} = \sum K_j \zeta_j / K_h \tag{6.3.5-2}$$

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

K_j ——隔震支座（含消能器）由试验确定的水平等效刚度。

6.4 隔震层的设计

6.4.1 隔震层的布置应符合下列要求：

- 1 隔震层可由隔震支座、阻尼装置和抗风装置组成。阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体，亦可单独设置，必要时可设置限位装置；
- 2 隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合，偏心率不宜大于 3%；
- 3 橡胶隔震支座的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应。隔震支座底面宜布置在相同标高位置上，必要时也可布置在不同的标高位置上，应保证不同标高的隔震装置共同工作，且罕遇地震作用下，相邻隔震层的层间位移角不应大于 1/1000；
- 4 隔震支座应设置在受力较大的位置，间距不宜过大，其规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定；
- 5 同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距应大于安装和更换时所需的空间尺寸；
- 6 设置在隔震层的阻尼装置或抗风装置宜对称、分散布置在建筑物的周边。

6.4.2 橡胶隔震支座在重力荷载代表值作用下的竖向压应力不应超过表 6.3.2 的规定。弹性滑板支座在重力荷载代表值作用下的竖向压应力不应超过表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 弹性滑板支座压应力限值

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

注：竖向压应力设计值应按恒荷载和活荷载的组合计算；其中，楼面活荷载应按现行国家标准《工程结构通用规范》GB55001 的规定乘以折减系数；

6.4.3 橡胶隔震支座在罕遇地震作用下，拉应力不应大于 1MPa，同一地震波时程作用下出现拉应力的支座数量不宜超过支座总数的 30%。橡胶隔震支座和弹性滑板隔震支座在罕遇地震作用下的最大竖向压应力分别不应超过表 6.4.3-1 和 6.4.3-2 所规定的限值。

表 6.4.3-1 橡胶隔震支座在罕遇地震作用下的压应力限值

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

表 6.4.3-2 弹性滑板支座在罕遇地震作用下的压应力限值

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

6.4.4 隔震支座的水平剪力应根据隔震层在罕遇烈度地震及极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，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，应符合下式要求：

$$u_i \leq [u_i]$$

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，在罕遇地震作用下不应超过该支座有效直径的 0.55 倍和支座各橡胶总厚度 3.0 倍二者的较小值，在极罕遇地震作用下不应超过支座各橡胶总厚度 4.0 倍；对弹性滑板支座，在罕遇地震作用下不应大于产品水平极限位移的 0.75 倍，在极罕遇地震作用下不应大于产品水平极限位移；

6.4.5 砌体结构及其基本周期相当的结构，隔震层质心处在罕遇地震下的水平位移可按下式计算：

$$u_e = \lambda_s \alpha_1 (\zeta_{eq}) G / K_h \quad (6.4.5)$$

式中： G ——隔震层以上结构的重力荷载代表值；

K_h ——隔震层水平等效刚度；

λ_s ——近场系数：距发震断层 5km 以内取 1.25；（5~10）km 取不小于 1.15；

$\alpha_1 (\zeta_{eq})$ ——罕遇地震下的地震影响系数，可根据隔震层参数，按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定进行计算。

6.4.6 隔震层的抗风承载力，应符合下式要求：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (6.4.6)$$

式中： V_{Rw} ——隔震层抗风承载力设计值。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；

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。

6.4.7 隔震建筑抗倾覆验算，应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 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。隔震支座在罕遇水平和竖向地震共同作用下，其最大拉、压应力应满足本规程第 6.4.3 条的要求。

6.5 上部结构的设计

6.5.1 上部结构的截面抗震验算，除应满足现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 对非隔震结构的规定外，尚应满足本规程第 6.5.2 条的要求。

6.5.2 在设防地震作用下，隔震结构构件应按下列规定进行设计：

1 关键构件的抗震承载力应满足弹性设计的要求：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} \leq R / \gamma_{RE} \quad (6.5.2-1)$$

式中： R ——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

γ_G ——重力荷载代表值的分项系数，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定；

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

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定；

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

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的规定。

2 普通竖向构件及重要水平构件的抗剪承载力应符合式（6.5.2-1）的规定，正截面承载力应符合式（6.5.2-2）、式（6.5.2-3）的规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4 S_{Evk} \leq R_k \quad (6.5.2-2)$$

$$S_{GE} + 0.4 S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k \quad (6.5.2-3)$$

式中： R_k ——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算。

3 普通水平构件的抗剪承载力应符合式（6.5.2-2）的规定，正截面承载力应符合式（6.5.2-4）的规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4 S_{Evk} \leq R_k^* \quad (6.5.2-4)$$

式中： R_k^* ——构件承载力标准值，按材料强度标准值计算，对钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面可考虑钢筋的超强系数 1.25。

6.5.3 隔震层顶部梁、板的刚度和承载力，应满足框支梁和转换层楼板的设计要求；砌体结构的隔震层顶部各纵、横梁均可按承受均布荷载的单跨简支梁或多跨连续梁计算。均布荷载可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的规定取值；当按连续梁算出的正弯矩小于单跨简支梁跨中弯矩的 0.8 倍时，应按 0.8 倍单跨简支梁跨中弯矩配筋。

6.5.4 既有建筑物隔震加固时，承重柱的托换设计应符合下列要求：

- 1 柱宜采用四面包裹式托换方式（见图 6.5.4（a））；
- 2 柱表面应凿毛，并用插筋连接托换梁与柱；
- 3 当采用单梁托换时，梁宽宜大于柱宽，梁内纵筋不应截断（见图 6.5.4（b））；
- 4 四面包裹式托换，托换梁与柱结合面的高度 h_j 可按式 6.5.4-1 确定：

$$h_j = \frac{N}{0.6 f_t C_j} \quad (6.5.4-1)$$

式中： C_j ——托换柱的周长；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，取结合面处新旧混凝土轴心抗拉强度设计值的较小值；

h_j ——托换梁与柱结合面的高度；

N ——托换柱的轴力设计值。

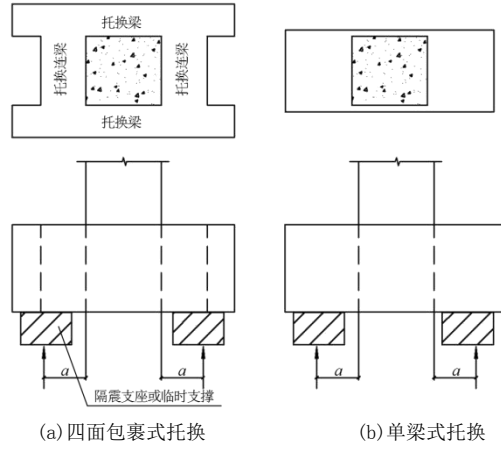


图 6.5.4 柱托换示意图

5 四面包裹式柱托换节点，其承载力应满足：

$$kN \leq \sum_{i=1}^n V_{ui} \quad (6.5.4-2)$$

式中： k ——系数，取 1.2；

n ——托换柱周围托换梁受力截面的数量；

V_{ui} ——第 i 个托换梁的受剪承载力。

6 托换梁的受剪承载力，当 a/h_0 在 0.5~1.0 范围内可采用下式计算：

$$V_{ui} = 0.42f_t b h_0 + \beta_s \rho f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (6.5.4-3)$$

式中： β_s ——系数，纵筋采用 HRB335，HRB400 时，取 66；

ρ ——托换梁纵向受拉钢筋配筋率，大于 1.5% 时，取 1.5%；

A_{sv} ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积；

a ——支撑反力合力作用点至柱边的距离，见图 6.5.4；

b ——托换梁截面宽度；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{yv} ——箍筋抗拉强度设计值；

h_0 ——托换梁截面的有效高度；

s ——沿构件长度方向箍筋间距。

7 根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，托换梁截面应符合下列条件：

当 $h_0/b \leq 4$ 时
$$V_{ui} \leq 0.25\beta_c f_c b h_0 \quad (6.5.4-4)$$

当 $h_0/b \geq 6$ 时 (6.5.4-5)

$$V_{ui} \leq 0.2\beta_c f_c b h_0$$

当 $4 < h_0/b < 6$ 时，按线性内插法确定。

式中： β_c ——混凝土强度影响系数：当混凝土强度等级不超过 C50 时，取 $\beta_c=1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\beta_c=0.8$ ；其间接线性内插法确定；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

h_0 ——托换梁截面有效高度。

6.5.5 既有建筑物隔震加固时，墙体的托换可采用墙下混凝土单梁或夹墙式双梁的托换方式，见图 6.5.5。夹墙式托换梁与墙体的结合面的高度可按式 6.5.5 确定，托换梁可与被托换的墙体一起，按墙梁进行承载力计算。

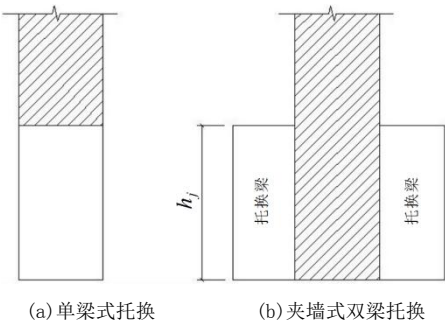


图 6.5.5 墙体托换示意图

$$h_j = \frac{N}{2\tau}$$
(6.5.5)

式中： h_j ——夹墙梁与墙体结合面的高度；

N ——单位长度的墙体轴力设计值；

τ ——夹墙梁与墙体的界面剪切强度，砖强度不低于 MU10 时，可取 0.5MPa。

6.5.6 砌体隔震结构墙体截面抗震验算时，其抗震抗剪强度的正应力影响系数宜按减去竖向地震作用效应后的平均压应力取值。

6.5.7 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。

6.5.8 上部结构的抗震变形验算应符合下列规定：

- 1 对框架、抗震墙和框架—抗震墙结构应进行设防地震和罕遇地震作用下的层间位移验算；砌体房屋可不进行层间位移验算；
- 2 在设防地震作用下，上部结构的层间弹性位移角限值应符合表 6.5.8-1 的规定；
- 3 在罕遇地震作用下，上部结构的层间弹塑性位移角限值应符合表 6.5.8-2 的规定；
- 4 在极罕遇地震作用下，特殊设防类隔震建筑上部结构的层间弹塑性位移角限值应符合表 6.5.8-3 的规定。

表 6.5.8-1 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	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/400
底部框架结构、钢筋混凝土框架—抗震墙、钢筋混凝土框架—核心筒结构	1/500
钢筋混凝土抗震墙、板柱—抗震墙结构	1/600
钢结构	1/250

表 6.5.8-2 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	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构、钢结构	1/100
底部框架结构、钢筋混凝土框架—抗震墙、钢筋混凝土框架—核心筒结构	1/200
钢筋混凝土抗震墙、板柱—抗震墙结构	1/250

表 6.5.8-3 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	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构、钢结构	1/50
底部框架结构、钢筋混凝土框架—抗震墙、钢筋混凝土框架—核心筒结构	1/100
钢筋混凝土抗震墙、板柱—抗震墙结构	1/120

6.6 下部结构及地基基础的设计

6.6.1 隔震层支墩、支柱及相连构件，应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行承载力验算，且应按抗剪弹性、抗弯不屈服考虑。

6.6.2 隔震层以下的结构（包括地下室和隔震塔楼下的底盘）中直接支承塔楼结构的相关构件，应满足隔震后设防地震下的抗震承载力要求，层间位移角限值应符合表 6.6.2-1 的规定；并按罕遇地震进行抗剪承载力验算。下部结构在罕遇地震下的层间位移角限值应满足表 6.6.2-2 要求；特殊设防类建筑尚应进行极罕遇地震作用下的变形验算，下部结构在极罕遇地震下的层间位移角限值应满足表 6.6.2-3 要求。

表 6.6.2-1 下部结构设防地震作用下层间弹性位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构	1/500
底部框架结构、钢筋混凝土框架—抗震墙、钢筋混凝土框架—核心筒结构	1/600
钢筋混凝土抗震墙、板柱—抗震墙结构	1/700
钢结构	1/300

表 6.6.2-2 下部结构罕遇地震作用下层间弹塑性位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构和钢结构	1/100
钢筋混凝土框架—抗震墙	1/200
钢筋混凝土抗震墙	1/250

表 6.6.2-3 下部结构极罕遇地震作用下层间弹塑性位移角限值

下部结构类型	$[\theta_p]$
钢筋混凝土框架结构和钢结构	1/60
钢筋混凝土框架—抗震墙	1/100
钢筋混凝土抗震墙	1/1500

6.6.3 隔震房屋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。其承载力验算应考虑上

部结构传来的轴力、弯矩、水平剪力及由于隔震层的水平变形产生的附加弯矩。

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

6.7 构造要求

6.7.1 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 300mm。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 600mm；
- 2 上部结构与下部结构之间，应设置完全贯通的水平隔离缝，缝高可取 20mm，并用柔性材料填充；当设置水平隔离缝确有困难时，应设置可靠的水平滑移垫层；
- 3 穿越隔震层的门廊、楼梯、电梯、车道等部位，应采取隔震脱离措施防止可能的碰撞；
- 4 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。

6.7.2 隔震层以上结构的抗震措施，当底部剪力比大于 0.50 时，应按本地区设防烈度采用相应的抗震措施，并应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求；底部剪力比不大于 0.5 时，可按本地区设防烈度降低一度采用抗震措施。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，可按本规程第 6.7.7 条采取抗震构造措施。

6.7.3 隔震层顶部应设置梁板式楼盖，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。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与承载力。

6.7.4 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。

6.7.5 对于砌体结构，当底部剪力比不大于 0.50 时，标准设防类建筑的多层砌体结构，房屋的层数、总高和高宽比限值，可按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 降低一度的有关规定采用。

6.7.6 砌体结构隔震层的构造应符合下列规定：

- 1 多层砌体房屋的隔震层位于地下室顶部时，隔震支座不宜直接放置在砌体墙上，并应验算砌体的局部承压；
- 2 隔震层顶部纵、横梁的构造应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的要求。

6.7.7 标准设防类建筑隔震后上部砌体结构的抗震构造措施应符合下列要求：

- 1 承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离及圈梁的截面和配筋构造，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；
- 2 多层砖砌体房屋的钢筋混凝土构造柱设置，底部剪力比大于 0.50 时，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；7 度～9 度，底部剪力比不大于 0.50 时，应符合表 6.7.7-1 的规定；
- 3 混凝土小砌块房屋芯柱的设置，底部剪力比大于 0.50 时，应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；7 度～9 度，当底部剪力比不大于 0.50 时，应符合表 6.7.7-2 的规定；

4 上部结构的其他抗震构造措施，底部剪力比大于 0.50 时，应按现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 和《建筑抗震设计规范》GB 50011 的相应规定采用；7 度～9 度，底部剪力比不大于 0.50 时，可按降低一度采用相关措施。

表 6.7.7-1 隔震后砖房构造柱设置要求

房屋层数			设置部位	
7 度	8 度	9 度		
三、四	二、三		楼、电梯间四角，楼梯斜段上下端对应的墙体处；外墙四角和对应的转角；错层部位横墙与外纵墙交接处，较大洞口的两侧，大房间内外墙交接处。	每隔 12m 或单元横墙与外墙交接处
五	四	二		每隔三开间的横墙与外墙交接处
六	五	三、四		隔开间横墙（轴线）与外墙交接处，山墙与内纵墙交接处；9 度四层，外纵墙与内墙（轴线）交接处
七	六、七	五		内墙（轴线）与外墙交接处，内墙局部较小墙垛处；内纵墙与横墙（轴线）交接处

表 6.7.7-2 隔震后混凝土小砌块房屋构造柱设置要求

房屋层数			设置部位	
7 度	8 度	9 度		
三、四	二、三		外墙转角，楼梯间四角，楼梯段上下端对应的墙体处；大房间内外墙交接处；每隔 12m 或单元横墙与外墙交接处。	外墙转角，灌实 3 个孔，内外墙交接处，灌实 4 个孔
五	四	二	外墙转角，楼梯间四角，楼梯段上下端对应的墙体处；大房间内外墙交接处，山墙与内纵墙交接处，隔三开间横墙（轴线）与外纵墙交接处。	
六	五	三	外墙转角，楼梯间四角，楼梯段上下端对应的墙体处；大房间内外墙交接处，隔开间横墙（轴线）与外纵墙交接处，山墙与内纵墙交接处；8、9 度时，外纵墙与横墙（轴线）交接处，大洞口两侧。	外墙转角，灌实 5 个孔，内外墙交接处，灌实 5 个孔，洞口两侧各灌实 1 个孔
七	六	四	外墙转角，楼梯间四角，楼梯段上下端对应的墙体处；各内外墙（轴线）与外墙交接处；内纵墙与横墙（轴线）交接处；8、9 度时洞口两侧。	外墙转角，灌实 7 个孔，内外墙交接处，灌实 4 个孔，内墙交接处，灌实 4～5 个孔，洞口两侧各灌实 1 个孔

7 隔震装置的施工、验收和维护

7.1 一般规定

7.1.1 建筑隔震工程施工前，应由建设单位组织设计、施工、监理等单位进行隔震专项施工技术交底，施工单位应编制隔震专项施工组织设计或施工技术方案。

7.1.2 隔震工程应作为建筑工程主体结构分部工程的子分部工程进行施工和质量验收。主体结构中包含消能部件工程和隔震工程时，消能部件工程和隔震工程可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。隔震工程施工和质量验收应符合以下规定：

- 1 分项工程可按支座安装、阻尼器安装、柔性连接安装、隔震缝进行划分；
- 2 检验批可按楼层、结构缝或施工段进行划分；
- 3 支座和阻尼器等材料进场检验，可按进场批次、生产厂家、规格划分检验批。

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

7.1.4 隔震工程验收程序应符合下列规定：

- 1 隔震工程的检验批及分项工程应有专业技术及质量负责人和设计人员进行验收；
- 2 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。

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

- 1 工程施工质量应符合本规程和设计要求；
- 2 参加工程施工质量验收的各方人员应具备规定的资格；
- 3 隐蔽工程在隐蔽前，应由相关单位进行隐蔽工程验收，确认合格后，形成隐蔽验收文件；
- 4 检验批的质量应按主控项目和一般项目进行验收；
- 5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

7.1.6 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。

7.1.7 检验批质量验收合格应符合下列规定：

- 1 主控项目的质量经抽样检验应合格；
- 2 一般项目的质量经抽样检验应合格；当采用计数检验时，除本规程另有规定外，对于合格质量水平的错判概率不宜超过 5%，漏判概率不宜超过 10%；
- 3 应具有完整的施工操作依据、质量检查记录及质量证明文件。

7.1.8 分项工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 分项工程所含的各检验批，其质量均应符合本规程的合格质量规定；
- 2 分项工程所含的各检验批，其质量验收记录和有关合格证明文件应完整。

7.1.9 子分部工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 所含分项工程的质量均应检验合格；
- 2 质量控制资料应完整；
- 3 安全、节能、环境保护与主要使用功能抽样检验结果应符合相应规定；
- 4 观感质量检查应符合规定。

7.1.10 隔震工程的检验批、分项工程、子分部工程应进行质量验收，可按本规程附录 A 记录。

7.1.11 隔震工程质量验收时，应提供下列文件和记录：

- 1 工程相关设计文件及设计变更文件；
- 2 支座、阻尼器及相关材料质量合格证明文件、中文标识、性能检测报告和复验报告；
- 3 施工现场质量管理检查记录；

- 4 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；
 - 5 有关观感质量检验项目检查记录；
 - 6 分项工程所含各检验批质量验收记录；
 - 7 工程重大质量问题的处理方案和验收记录；
 - 8 隔震装置使用维护手册、维修管理及计划；
 - 9 其他必要的文件和记录。
- 7.1.12 当隔震工程施工质量不符合本规程要求时，应按下列规定进行处理：
- 1 经返工重做或更换构（配）件的检验批，应重新进行验收；
 - 2 经有资质的检测单位检测鉴定能达到设计要求的检验批，应予以验收；
 - 3 经有资质的检测单位检测鉴定达不到设计要求的，但经原设计单位核算认可能满足结构安全和使用功能的检验批，可予以验收；
 - 4 经返修或加固处理的分项、子分部工程，对改变外形尺寸尚能安全使用要求时，可按处理技术方案和协商文件进行验收；
 - 5 通过返修或加固处理仍不能满足安全使用要求的隔震工程，严禁验收。

7.2 隔震部件进场验收

7.2.1 支座和阻尼器的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。

7.2.2 应对隔震工程的支座、阻尼器及其连接件等进行进场验收，可按本规程附录 B 记录。

7.2.3 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。支座见证检验技术要求应符合下列规定，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/T 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/T 20688.3 要求进行检验；同时试验加载频率宜为设计频率，除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/T 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、同一规格的产品，取总数量的 2%且不少于 3 个进行支座位力学性能试验，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。

检验方法：检查检验报告。

7.2.4 支座外观质量要求应符合表 7.2.4 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。

表 7.2.4 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 30mm ²
缺胶	缺胶面积不超过 150mm ² ，不得多于 2 处，且内部嵌件不得外露

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

7.2.5 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/T 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 个不同位置测量其直径值；对矩形支座，应在每边的 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，应在截面的 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。

7.2.6 支座连接件尺寸偏差应符合表 7.2.6 的规定。

表 7.2.6-1 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

表 7.2.6-2 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	±0.80
40.0~60.0	±0.80	±0.90
60.0~100.0	±0.90	±1.10

表 7.2.6-3 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

表 7.2.6-4 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%

表 7.2.6-5 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%。

检验方法：支座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 4 边上测量长短边尺寸，还应测量对角线尺寸，厚度应在 4 边中点测量；对圆形支座连接板，其直径、厚度应至少测量 4 次，测点应垂直交叉。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。

7.2.7 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 进行不平整度的测量来代替全长不平整度的测量。

7.2.8 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/T 700 和《合金结构钢》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：全数的 10%。

检验方法：检查检测报告。

7.2.9 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/T 209 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。

7.2.10 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。

7.2.11 阻尼器各部件尺寸偏差应符合表 7.2.11 的规定。

表 7.2.11 阻尼器部件尺寸允许偏差（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。

7.2.12 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。

7.3 隔震支座安装

7.3.1 施工单位应制定详细的隔震支座安装施工流程，并经设计、监理、建设单位确认。

7.3.2 隔震支座的安装施工应由经过专门培训的人员实施，并应有监理进行旁站。

7.3.3 支座安装应在上道工序交接检验合格后进行施工；支座安装工程质量验收合格后，方可进行后续工程施工。相关施工要求应符合下列规定：

- 1 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；
- 2 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；
- 3 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，并应用连接螺栓对螺栓孔进行临时旋拧封闭；
- 4 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；
- 5 浇筑下支墩（柱）混凝土时，应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；
- 6 模板拆除后，应采用同强度的水泥砂浆进行找平，找平后应对砂浆面层标高进行复核；
- 7 安装支座时，应用全站仪或水准仪复测支座标高及平面位置，并应拧紧螺栓；
- 8 上支墩（柱）连接件在安装过程中，应对其轴线、标高和水平度进行精确地测量定位。

7.3.4 支座下支墩（柱）施工应符合下列规定：

- 1 支座下支墩（柱）钢筋安装、绑扎时，应确定支座下预埋套筒或锚筋的位置，不应相互阻挡；
- 2 支座下连接板预埋就位后，应校核其标高、平面位置、水平度，并应符合本规程及设计要求；
- 3 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；
- 4 混凝土浇筑前，应对螺栓孔采取临时封闭措施，不应灌入混凝土。混凝土浇筑完成后应及时将下连接板表面清理干净；
- 5 混凝土初凝前，应校核下连接板的平面位置、标高和水平度，发现问题应立即采取处理措施以满足要求，并应保留相应记录。

7.3.5 支座安装应符合下列规定：

- 1 下支墩（柱）混凝土强度达到设计强度的 75%以上时方可进行支座安装；
- 2 支座安装前应先将下连接板表面清理干净，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；吊运过程中宜保持支座水平；
- 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、顶面标高和顶面水平度；
- 6 螺栓应对称拧紧；
- 7 支座安装后，支座与下支墩（柱）顶面的连接板应贴合紧密；
- 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。

7.3.6 支座相邻上部结构施工应符合下列规定：

- 1 支座安装验收合格后，方可进行后续工程施工；
- 2 支座上连接板安装后，将锚定螺栓就位，应校核其位置、标高等，并应保留相应记录；
- 3 支座安装后应立即采取保护措施，后续施工过程不得污染、损伤；
- 4 支座上部相邻结构的模板和混凝土工程施工时，应对隔震层采取临时固定措施，不应发生水平位移；
- 5 对单层面积较大或长度超过 100m 的支座相邻上部混凝土结构、大跨度的钢结构或设计有特殊要求的，应制定专项施工方案，不应产生过大的温度变形或混凝土干缩变形；
- 6 当支座相邻上部结构为钢结构和钢骨结构时，应对全部支座采取临时固定措施；
- 7 支座相邻上部结构施工过程中，应定期观测支座竖向变形，并保留相应记录。

7.4 阻尼器安装

7.4.1 阻尼器的安装施工应由经过专门培训的人员实施，并应有监理进行旁站。

7.4.2 阻尼器安装应在支座安装及上部梁板体系施工验收合格后进行，或在上部结构施工验收合格后进行。

7.4.3 阻尼器与主体结构的连接方案应经确认后实施。

7.4.4 阻尼器的平面布置、吊装就位应符合设计要求。

7.4.5 阻尼器安装接头的高强度螺栓连接，应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 的有关规定，并应符合设计要求。

7.4.6 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。

7.4.7 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。

7.4.8 阻尼器安装完成后应撤除临时固定件。

7.5 隔震层构（配）件及隔震缝施工

7.5.1 对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。

- 7.5.2** 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。
- 7.5.3** 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。
- 7.5.4** 利用构件钢筋做避雷线时，应采用柔性导线连通隔震层上下部分的钢筋。
- 7.5.5** 上部结构与下部结构之间的水平隔震缝的高度应满足设计要求。当设计无要求时，缝高不应小于 20mm。
- 7.5.6** 上部结构周边设置的竖向隔震缝宽度应满足设计要求。当设计无要求时，缝宽不应小于各支座在罕遇地震下的最大水平位移值的 1.2 倍，且不应小于 300mm。对两相邻隔震结构，其竖向隔震缝宽度应取两侧结构的支座在罕遇地震下的最大水平位移之和，且不应小于 600mm。
- 7.5.7** 当门厅入口、室外踏步、室内楼梯节点、楼梯扶手、电梯井道、地下室坡道、车道入口处等穿越隔震层时，应采取隔震脱离措施，并应符合设计要求。
- 7.5.8** 对水平隔震缝封闭处理，宜采用柔性材料或者脆性材料填充；对竖向隔震缝的封闭处理，宜采用柔性材料覆盖，且均不应阻碍隔震缝发生自由水平位移。

7.6 隔震工程施工质量验收

I 主控项目

- 7.6.1** 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。
- 7.6.2** 支座与下支墩（柱）顶面密贴。
检查数量：全数检查。
检验方法：观察，检查施工记录。
- 7.6.3** 支座下支墩（柱）混凝土强度不应低于设计要求。
检查数量：全数检查。
检验方法：试件强度试验报告。
- 7.6.4** 阻尼器型号、数量、安装位置应满足设计要求。
检查数量：全数检查。
检验方法：观察，检查施工记录。
- 7.6.5** 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标准》GB50205 的有关规定。
检查数量：一级焊缝全数抽查；二级焊缝抽查全数的 20%。
检验方法：检查超声波或射线探伤见证试验报告。
- 7.6.6** 可能泄漏有害介质或可燃介质管道的柔性接头或柔性连接段，应确认其具有满足设计要求的水平变形能力。
检查数量：全数检查。
检验方法：观察查看性能保证书和相关证明文件。
- 7.6.7** 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝的宽度应符合本规程 7.5 节的规定。
检查数量：全数检查。
检验方法：塞尺、米尺测量。
- 7.6.8** 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。
检查数量：全数检查。
检验方法：观察。
- 7.6.9** 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。
检查数量：全数检查。
检验方法：观察。
- 7.6.10** 隔震缝的密封构造措施不得阻碍隔震层发生相对水平位移。
检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

II 一般项目

7.6.11 支座安装位置的允许偏差和检验方法应符合表 7.6.11 的规定。

表 7.6.11 支座安装位置的允许偏差和检验方法

项目		允许偏差	检查数量	检验方法
支座标高 (mm)		±5	全数检查	用水准仪、钢尺测量
支座水平位置偏差 (mm)		±5		用经纬仪、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

7.6.12 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。

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

7.6.13 支座不应出现较大侧鼓。当出现侧鼓时，侧鼓尺寸不宜大于 3mm。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

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

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

7.6.15 支座下支墩 (柱) 不应有蜂窝、麻面。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

7.6.16 支座防火封闭应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

7.6.17 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标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：安装节点总数的 5%，且不少于 3 个。

检验方法：观察，检查施工记录。

7.6.18 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标准》GB 50205 的有关规定。

检查数量：安装节点总数的 20%，且不少于 3 个。

检验方法：观察，检查施工记录。

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

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检验方法：观察，检查施工记录和试件试验报告。

7.6.20 阻尼器安装平面外垂直度要求应满足设计要求。

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检验方法：观察，测量，检查施工记录。

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

检查数量：安装节点总数的 50%，且不少于 3 个。

检验方法：观察，卡尺测量，检查施工记录。

7.6.22 当阻尼器表面出现破损、锈蚀，不影响使用功能时，应及时修复；影响使用功能时，应及时更换。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

7.6.23 穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其他有效措施。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

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

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

7.6.25 水平隔震缝的高度及竖向隔震缝宽度应均匀。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，钢尺测量。

7.7 隔震建筑标识与维护

7.7.1 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。

7.7.2 隔震建筑的标识设置应符合下列规定：

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

2 水平隔震缝处应标明此处为上部结构与下部结构完全分开的水平缝；

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

4 标识设置的位置应便于识读和维护，不得遮挡、覆盖。

7.7.3 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。

7.7.4 隔震建筑工程除对建筑常规维护项目进行检验、检查外，还应对隔震建筑特有的项目进行检验、检查。检查项目可包括支座、阻尼器、隔震缝、柔性连接；检查方法应按本规程第 7.6 节相关规定执行。

7.7.5 常规检查每年应进行一次，可采用观察的方式进行检查。

7.7.6 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，其他项目均可通过观察方式进行检查。

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

附录 A 隔震工程质量验收记录

A.0.1 检验批的质量验收可按表 A. 0. 1 记录。

表 A.0.1 检验批质量验收记录

单位（子单位）工程名称				分部位（子分部）工程名称			分项工程名称		
施工单位				项目负责人			检验批容量		
分包单位				分包单位项目负责人			检验批部位		
施工依据						验收依据			
主控项目	验收项目		设计要求及规范规定	最小/实际抽检数量		检查记录		检查结果	
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
一般项目	10								
	1								
	2								
	3								
	4								
5									
施工单位检查结果			项目专业技术负责人： 项目专业质量负责人： 年 月 日						
监理单位验收结论			专业监理工程师： 年 月 日						

A.0.2 分项工程质量验收可按表 A. 0. 2 记录。

表 A.0.2 分项工程质量验收记录

单位（子单位）工程名称			分部位（子分部）工程名称			
分项工程数量			检验批数量			
施工单位			项目负责人			项目技术负责人
分包单位			分包单位项目负责人			分包内容
序号	检验批名称	检验批容量	部位/区段	施工单位检查结果		监理单位验收结论
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
施工单位检查结果		项目专业技术负责人： 年 月 日				

设计单位 验收结论	设计单位项目技术负责人： 年 月 日
监理单位 验收结论	专业监理工程师： 年 月 日

A.0.3 建筑隔震子分部工程质量验收可按表 A. 0. 3 记录。

表 A.0.3 建筑隔震子分部工程质量验收记录

单位（子单位）工程名称			分部位（子分部）工程名称		分项工程数量	
施工单位			项目负责人		技术（质量）负责人	
分包单位			分包单位项目负责人		分包内容	
序号	分项工程名称	检验批数量	施工单位检查结果		监理单位验收结论	
1	支座安装					
2	阻尼器安装					
3	柔性连接					
4	隔震缝					
5						
6						
7						
8						
9						
质量控制资料						
安全和功能检验结果						
观感质量检验结果						
综合验收结论						
施工单位： 项目负责人： 年 月 日		分包单位： 项目负责人： 年 月 日		设计单位： 项目负责人： 年 月 日		监理单位： 总监理工程师： 年 月 日

附录 B 材料进场检验记录

表 B 材料进场检验记录

工程名称					检测日期		
序号	名称	规格型号	进场数量	生产厂家	检测项目	检查结果	备注
				合格证号			
1	支座				外观		
2					尺寸偏差		
3					力学性能		
4							
5							
1	连接板				平面尺寸偏差		
2					厚度偏差		
3					螺栓孔位置偏差		
4					地脚螺栓长度尺寸偏差		
5					平整度偏差		
6							
7							
1	阻尼器				外观		
2					尺寸偏差		
3					高强螺栓		
4					力学性能		
5							
6							
7							
施工单位 检查结果		项目专业技术负责人： 项目专业质量负责人： 年 月 日					
监理单位 验收结论		专业监理工程师： 年 月 日					

本规程用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
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，在条件许可时首先应这样做的用词：
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 标准中指明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 《工程结构通用规范》 GB 55001
- 2 《建筑与市政工程抗震通用规范》 GB 55002
- 3 《建筑与市政地基基础通用规范》 GB 55003
- 4 《钢结构通用规范》 GB 55006
- 5 《砌体结构通用规范》 GB 55007
- 6 《混凝土结构通用规范》 GB 55008
- 7 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 8 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 9 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 10 《建筑抗震鉴定标准》 GB 50023
- 11 《工程测量标准》 GB 50026
- 12 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 13 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB 50205
- 14 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 15 《橡胶支座第 3 部分：建筑隔震橡胶支座》 GB/T 20688.3
- 16 《橡胶支座第 5 部分：建筑隔震弹性滑板支座》 GB/T 20688.5
- 17 《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》 GB/T 228.1
- 18 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 19 《金属材料室温压缩试验方法》 GB/T 7314
- 20 《建筑隔震设计标准》 GB/T 51408
- 21 《高层建筑混凝土结构技术规程》 JGJ 3
- 22 《建筑变形测量规范》 JGJ 8
- 23 《建筑机械使用安全技术规程》 JGJ 33
- 24 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ 80
- 25 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
- 26 《高层民用建筑钢结构技术规程》 JGJ 99
- 27 《混凝土结构后锚固技术规程》 JGJ 145
- 28 《建筑消能减震技术规程》 JGJ 297
- 29 《建筑隔震工程施工及验收规范》 JGJ 360
- 30 《建筑消能阻尼器》 JG/T 209

山东省工程建设标准

建筑消能减震与隔震技术规程

(备案稿)

DB37/T 5246-2023

住房和城乡建设部备案号: **J XXXXX-20XX**

条 文 说 明

目 次

1 总 则	44
3 基 本 规 定	44
4 消能减震结构设计	44
4.1 一般规定	44
4.2 地震作用与结构抗震验算	45
4.3 消能器的类型与技术性能	46
4.4 消能部件设计	47
4.5 消能部件的连接与构造	48
5 消能部件的施工、验收和维护	48
5.1 一般规定	48
5.2 消能部件进场验收	49
5.3 消能部件的施工安装顺序	49
5.4 施工测量和消能部件的安装、校正	51
5.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接	53
5.6 施工安全和施工质量验收	53
5.7 消能部件的维护	53
6 隔震结构设计	54
6.1 一般规定	54
6.2 地震作用及结构抗震计算	54
6.3 隔震支座的技术性能	55
6.4 隔震层的设计	55
6.5 上部结构的设计	56
6.6 下部结构及地基基础的设计	58
6.7 构造要求	58
7 隔震装置的施工、验收和维护	59
7.1 一般规定	59
7.2 隔震部件进场验收	59
7.4 阻尼器安装	64
7.5 隔震层构（配）件及隔震缝施工	64
7.6 隔震工程施工质量验收	64
7.7 隔震建筑标识与维护	65

1 总 则

3.0.1 《建筑工程抗震管理条例》（中华人民共和国国务院令第 744 号）要求，位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用隔震减震等技术。《山东省住房和城乡建设厅关于积极推进建筑工程减隔震技术应用的通知》（鲁建设函〔2015〕12 号）要求，山东省内抗震设防烈度 8 度及 8 度以上地区的新建医疗建筑中三级医院用房，新建 3 层以上（含 3 层）中小学、幼儿园的教学用房、学生宿舍、学生食堂等人员密集的公共建筑以及部分特殊设防类工程，必须采用减隔震技术；抗震设防烈度 8 度区的二级医院的门诊、医技、住院用房，县级及以上的独立采供血机构的建筑，和抗震设防烈度 7 度（0.15g）区的三级医院的门诊、医技、住院用房，以及抗震设防烈度 7 度 0.15g、III 类或 IV 类场地土以及 8 度的重点设防类工程，应优先采用减隔震技术。根据以上要求，编制本规程，推广和发展减隔震技术在山东省内的应用。

3 基本规定

3.0.4 既有建筑按后续使用年限分为 A 类建筑、B 类建筑、C 类建筑。A 类建筑后续使用年限为 30 年以内（含 30 年），B 类建筑后续使用年限为 40 年（含 40 年），C 类建筑后续使用年限为 50 年（含 50 年）。

3.0.6 对于高度较大的消能减震公共建筑、特殊设防类或有特殊要求的隔震结构，为验证其在实际地震中的减震效果，宜设置强震观测系统。

4 消能减震结构设计

4.1 一般规定

4.1.1 消能减震结构通过设置消能器可减少结构地震反应。从理论上讲，结构的最大适用高度可适当增加。但就目前研究水平，为安全起见，消能减震结构适用的最大高度仍按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行。高度超过规定应进行时，应通过专门研究，并按有关规定进行专项审查。

当框架结构采用屈曲约束支撑进行消能减震时，若满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 附录 G 钢支撑—钢筋混凝土框架结构的抗震设计要求时（底层钢框架的地震倾覆力矩大于总地震倾覆力矩的 50%），其建筑适用的最大高度可取现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 钢筋混凝土框架结构和框架—抗震墙结构二者最大适用高度的平均值。

4.1.2 结构的抗震等级根据设防烈度、结构类型、房屋高度进行区分。消能减震结构通过设置消能器可减少结构地震反应。现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ297 规定：当消能减震结构的抗震性能明显提高时，可适当降低。当消能减震的地震影响系数不到非消能减震的 50% 时，可降低一度。但现阶段，消能减震结构可减少地震反应 20%~40%，减震效果不明显，抗震构造措施按设防烈度降低一度偏于不安全。因此新建建筑偏安全地按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 取值。

根据现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021，C 类建筑应按现行标准的要求进行抗震鉴定；当限于技术条件限制，难以按现行标准执行时，允许调低其后续工作年限，并按 B

类建筑的要求从严进行处理，因此 C 类建筑主体结构构造措施应区别对待。C 类建筑按现行标准的要求进行抗震鉴定时，常出现抗震等级提高、原构造措施不满足要求的问题。利用“高承载力，低延性”的思路，可参照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010 性能化设计中附录 M 表 M.1.1-3 中规定确定抗震构造措施。

现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 A、B 类建筑按规定进行抗震承载力验算，若主体结构抗震构造措施不满足相关规定，可估算构造的影响，考虑体系影响系数和局部影响系数，按楼层综合能力指数法进行抗震鉴定。

4.2 地震作用与结构抗震验算

4.2.1 消能器布置于结构中，一般情况下不改变主体结构的结构形式和竖向承载能力，只是通过消能器消耗部分地震能量来减小结构在水平荷载作用下的反应，对于不同方向的水平地震作用由该方向的主体结构抗侧力构件和消能器共同承担。为此，消能减震结构地震作用计算的基本要求还是应满足现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求。

4.2.2 消能减震结构的阻尼比由主体结构阻尼比 ζ_1 和消能部件附加给主体结构的有效阻尼比 ζ_d 组成。当结构处于弹性状态时， ζ_1 为一定值（混凝土结构为 0.05、钢结构为 0.02/0.03）；当主体结构进入塑性状态后，部分结构构件发生塑性变形，阻尼比相对于弹性状态有所提高， ζ_1 应重新计算，并考虑结构构件塑性变形的影响。消能部件附加给主体结构的有效阻尼比的计算是消能减震结构体系设计中的关键问题。

4.2.3 消能减震结构中部分消能器为结构提供附加刚度，部分消能器不提供附加刚度。位移相关型消能器附加刚度大小与消能器的相对位移有关。速度相关型消能器中的黏滞消能器不提供附加刚度，黏弹性消能器提供附加刚度。在计算结构地震反应和振动周期时应考虑附加刚度的影响，消能器为结构提高的附加刚度一般采用有效刚度。

4.2.4 对于既有建筑物的地震作用，根据中国建筑科学研究院工程抗震 2004 年研究表明，按后续使用年限内具有相同的概率保证，A 类、B 类、C 类建筑物的地震作用相对比例大致是 0.75、0.88 和 1.00。现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 还没有针对不同使用年限给出地震作用计算折减系数取值。但现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》在 A 类结构构件抗震验算时，抗震承载力调整系数按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 抗震承载力调整系数值的 0.85 倍采用，在一定程度上对地震作用进行了折减。因此，对于 A 类和 B 类既有建筑物，本规程在地震作用计算偏安全地按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 执行，抗震验算按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 执行。

4.2.5 消能减震结构分析必须考虑主体结构和消能部件在不同工作状态下的性能特征。在多遇地震作用时，主体结构保持弹性状态，消能器未进入或已进入工作状态，消能部件为主体结构提供刚度、阻尼；在设防地震，主体结构进入弹塑性变形之前消能器进入耗能阶段，将表现出较强的非线性特征；在罕遇地震作用下，主体结构将产生较大的弹塑性变形，消能器进入强烈的非线性工作状态。消能器工作时表现的强非线性特性使消能减震结构的分析复杂化。

消能减震结构的抗震计算分析，一般情况下宜采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法。但当主体结构构件基本处于弹性工作阶段时，可采取弹性分析方法，如用基于等价线性化的振型分解反应谱法作简化估算。消能器的等效线性刚度取割线刚度，等效阻尼按能量相等原理等效为线性阻尼。

目前研究对象大多是中低层建筑、模型简单、无刚度突变的结构（常为规则结构或平面框架），且消能器的布置较为均匀，当主体结构构件基本处于弹性工作阶段时，振型分解反应谱法仍是基本方法，时程分析法作为补充计算方法，不规则、重要和高度较高的高层建筑要求采用。

4.2.6 消能器的恢复力模型参照现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。

4.2.9 为了简化计算，结构弹塑性模型比弹性模型有所简化，但在多遇地震下的线性分析结果，如模型的嵌固端、主要振动周期、振型和总地震作用应一致。在弹塑性阶段，结构及构件抵抗地震作用的承载力不因计算方法、输入地震波形的不同而改变。若计算得到的承载力明显异常，应仔细排查，改变模型。

4.2.10 静力弹塑性分析方法是一种静力的分析方法，在分析过程中无法直接体现出消能器的滞回耗能减震作用。因此需要对消能器的刚度和阻尼进行等效，并布置在结构中进行分析。消能器附加给结构的有效阻尼比应根据 4.4 节公式进行计算得到，不应采用预估值。

4.2.14 既有建筑物中 A 类、B 类建筑结构地震作用效应调整系数，承载力抗震调整系数等参数与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 不同。应按现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 和《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 执行。

4.2.16 消能减震结构在罕遇地震作用时消能部件不丧失功能，需要保证消能子结构在罕遇地震作用时具有足够的承载能力，为此，消能子结构抗震验算应考虑罕遇地震作用效应。通过对消能子结构进行专门的设计，在结构可能承受罕遇地震作用时，消能子结构具有抵抗破坏的承载能力。罕遇地震作用计算时可按偶然荷载进行效应组合，不考虑风荷载。抗震验算时构件承载力调整系数取 1.0。按材料强度极限值计算承载力时，钢材强度可取最小极限值，钢筋强度可取屈服强度的 1.25 倍，混凝土强度可取立方体强度的 0.88 倍。

4.2.17 消能减震结构的层间位移角限值应与现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 保持一致，但又要体现出消能减震技术提高结构抗震能力的优势，消能减震结构的层间位移角限值可比不设置消能减震的结构适当减小，从而更容易实现基于性能抗震设计要求。

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

4.3 消能器的类型与技术性能

4.3.1 每类消能器出厂前应由具有资质的第三方进行型式检验，并给出详细的型式检验报告，明确消能器使用年限。为了保证消能减震结构在使用年限内的安全性，消能器必须和建筑具有相同的使用年限，不满足建筑设计使用年限要求时，则在消能器达到其使用年限之前应进行重新检测，确定消能器新的使用年限，当不能满足原有设计要求时应进行更换。

4.3.3 消能器根据与位移和速度的相关性分为位移相关型、速度相关型和复合型消能器。各类型的消能器的外观、各项性能要求及消能器性能检验与性能参数确定详见现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。

消能器的选择包括消能器类型和规格的选择。在概念设计阶段，消能器类型的选择应综合考虑结构类型、周围环境、设防目标、消能器耗能机理、价格及安装、施工、维修费用等因素，可从以下消能器力学性能角度、周围环境影响的角度、经济性角度考虑三个方面综合考虑选择消能器。具体参照现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。

4.3.4 由于地震动的不确定性，地震作用及结构在地震作用下的反应也是不确定的，同时结构计算模型的各种假定和实际情况存在一定差异，根据规定的地震作用进行结构抗震验算，不论计算理论和工具如何先进、计算如何严格，实际地震作用时结构的地震反应与计算结果仍存在较大的差异。为使消能减震结构实现大震不倒的设防目标，需保证大震作用下消能器不致丧失功能而产生破坏（如超过本地区结构抗震设防要求的汶川地震、青海玉树地震）。为此，消能器的极限位移不应小于罕遇地震作用时消能器最大变形的 1.2 倍。如果采用现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定的结构在弹塑性变形限值为标准时，消能器的极限位移不应小于结构弹塑性变形限值反算出消能器的位移。同样，对于速度相关型消能器，其极限速度也应满足类似要求。

国内外众多学者对黏弹性消能器和黏滞消能器进行了试验研究，得出了影响其耗能性能的主要因素是温度、频率和应变幅值。而影响位移相关型消能器如金属消能器、摩擦消能器等的耐久性因影响主要包括腐蚀、磨耗及钢材在高温下的软化和低温下的脆性断裂等。摩擦消能器中的金属摩擦材料虽强度高，不易破裂，但经过多次反复滑动后摩擦系数下降快，胶合趋势增大。为此，消能器的耗能性能很大程度上受温度、徐变、腐蚀、紫外线照射等因素的影响，要求在设计及使用消能器时应考虑到其所处的工作环境因素，必要时须采取特殊的措施消除环境因素的影响。

对于位移相关型消能器和屈曲约束支撑，随着循环圈数的不断增加，可能会出现低周疲劳失效的问题，为此，位移相关型消能器和屈曲约束支撑应保证在弹性范围内具有足够的抵抗设计风荷载的能力，以避免过早出现非预期的破坏。

消能器一般由消能元件或构件和非消能构件组成，如金属消能器由连接板和消能板组成；黏滞消能器由消能黏滞材料和非消能的缸体、活塞、密封圈等组成。为避免因材料缺陷、安装偏差、超强地震作用的突增等因素引起的非消能构件失效而导致消能器无法正常工作的情形，消能器中非消能构件必须具有足够的安全储备，为此，在消能器设计时，非消能元件或构件承载能力应大于消能器 1.5 倍极限阻尼力选取。

4.3.5 无论哪类消能器生产厂家都应提供消能器型式检验报告或产品合格证，同时还需对生产并应用于实际工程中的消能器产品进行抽检，产品的抽样应在监理监督下抽取，检测应由具有检测资质的第三方完成，以验证应用于实际工程中消能器检测出的性能参数与设计文件中的参数是否吻合，确保设计出的消能减震结构的安全性。

消能器的型式检验应根据现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 的要求对产品各项指标进行全面检验，报告中应详细注明消能器的各项性能参数指标。

由于消能器的性能试验仅能反应消能器的性能，并不能充分体现出消能器在结构中的真实性能和耗能减震效果。即使是同类型的消能器，不同生产厂家消能器制作工艺的不同，其性能也会有所差异。为此，要求生产厂家对每类消能器至少应进行一次消能器布置于二层及以上的整体结构或子结构中进行动力性能试验或地震模拟振动台试验，验证下列性能：

- 1 消能减震结构的整体工作性能和消能器的工作性能及减震效果；
- 2 消能器和主体结构的连接是否可靠；
- 3 消能部件是否会出现平面外失稳；
- 4 消能器的连接形式对减震效果的影响。

4.3.6 消能器在使用过程中如遇变形缝被外物堵塞或消能器本身出现性能问题将会影响消能器对结构地震反应的控制效果，为避免该现象发生，设计文件中应注明可由生产厂家的消能器正常使用期间和地震发生后对消能器进行回访检查，以确保消能器正常使用；或设计文件中注明由业主在消能器正常使用期间和地震发生后对消能器进行检查。

4.4 消能部件设计

4.4.1 消能器一般是和支撑（支承构件）一起布置在结构中，支撑（支承构件）和消能器构成消能部件。

消能器的布置以使结构平面两个主轴方向动力特性相近，或竖向刚度均匀为原则；对于规则结构，平面上可在两个主轴方向上分别采用对称布置，并且使结构竖向刚度均匀。当结构平面两个主轴动力特性相差较大时，可根据需要分别在两个主轴方向布置，也可以只在较弱的—个主轴方向布置，这时结构设计时应只考虑单个方向的消能作用。对于结构竖向存在薄弱层可优先在薄弱层布置，然后再考虑沿竖向每层或隔层或跨层布置。承载型屈曲约束支撑宜上下连续布置。

消能部件宜设置在结构相对变形或速度较大的部位，其数量和分布应通过综合分析合理确定，以为结构提供适当的附加阻尼和刚度，并保证消能器在地震作用下具有良好的消能能力。

消能部件在沿主体结构两个主轴方向布置时，应考虑结构的平面和立面上的规则性，不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层。消能部件布置后应尽量缩小质量中心和刚度中心的差异，减少结构的扭转。为此，美国 NEHRP2000 规范要求设置消能器应逐层每一方向至少两个，以免产生扭转效应。当然，实际设计中也可以按结构本身的设计需要做出适合的调整。设计人员可根据具体情况进行综合分析确定；结构侧向刚度沿竖向宜均匀变化、避免侧向刚度和承载力突变，对于竖向规则的结构，要尽量从下到上均匀布置。

4.4.5 对于消能减震结构，无法预先估计主体结构在加入消能部件后的最终变形情况，只能是预先假设一个阻尼比，将消能部件布置于结构中，并调整消能器的数量和位置，再对消能减震结构进行计算，反算出消能器在相应的阻尼比情况下的位移，通过消能器的恢复力模型和相应的公式求解消能减震结构的附加阻尼比，并反复迭代，使计算出的附加阻尼比与预先假设的阻尼比接近时，则计算结束。采用附加阻尼比的迭代方法计算方法参照现行行业标准《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。

4.5 消能部件的连接与构造

4.5.2 消能器与主体结构的连接，根据消能器的不同，可采用不同的连接形式。

4.5.3 K 形支撑布置时会在框架柱中部交点处给柱带来侧向集中力的不利作用，在地震作用下，可能因受压斜杆屈曲或受拉斜杆屈服，引起较大的侧向变形，使柱发生屈曲甚至造成倒塌，故不宜采用“K”字形布置。支撑斜杆宜采用双轴对称截面。当采用单轴对称截面（双角钢组合 T 形截面），应采取防止绕对称轴屈曲的构造措施。板件局部失稳、影响支撑斜杆的承载力和消能能力，其宽厚比需要加以限制。

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

4.5.6 与消能器相连的支撑应具有足够刚度，以保证消能部件中的变形绝大部分发生在消能器上，消能器支撑的刚度应根据计算确定。节点板在支撑力（考虑附加弯矩）作用下，除具有足够的承载力和刚度外，还应防止其发生面外失稳、破坏，可采用增加节点板厚度或设置加劲肋的措施。

当使用无刚度黏滞消能器，且采用人字形支撑时，可同时考虑与橡胶支座的合理组合，通过橡胶支座或其他提供平面刚度装置给支撑提供一定的平面外刚度，以保持支撑平面外的稳定。位移相关型消能器和复合型消能器都能提供两个方面的水平刚度，可利用消能器自身的性能使其满足支撑平面外稳定性要求。

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

5 消能部件的施工、验收和维护

5.1 一般规定

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

收。

消能部件工程主要是钢部件的制作安装施工，采用消能减震技术的结构材料类型除钢结构外，还有混凝土结构和竹木结构等，消能器是一种专门技术部件，具有多种类型和不同的构造特点，其设计呈多样化，安装工种和工序较多，施工工艺和施工技术复杂，同时，消能部件又是涉及安全的重要部件。因此，在消能部件的施工质量管理和竣工验收中，若将其视为几个分项工程并分别归结到主体结构的相应分项工程验收批中，是难以适应质量验收要求的。故本规程提出在主体结构分部工程中，不论上部主体结构为钢结构、混凝土结构还是其他结构，均将消能部件作为主体结构分部工程的一个子分部工程，以利于施工质量管理和验收。

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

消能部件子分部工程的分项工程可按消能器产品类别、消能器施工工艺进行划分，检验批可按楼层、结构缝或施工段划分。

5.1.2 消能部件子分部工程施工前，专项施工方案报监理单位、建设单位审核，并在消能器安装前进行专项技术交底。

5.1.3 根据施工方法和主要工序，将消能部件子分部工程的施工作业内容划分为两个阶段。

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

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

消能部件的安装和维护，可划分为消能部件安装、安装和焊接连接、紧固件连接、消能部件防腐防火涂装等四个分项工程。其中，安装分项工程的内容包括制定安装次序、吊装就位、测量校正定位及临时固定等工序，涂装分项工程的内容包括安装连接后普通防腐涂料局部补充涂装、防火涂料涂装等工序。各阶段的施工作业，应根据具体工程设计情况确定其所含的分项工程或工序。

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

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

5.2 消能部件进场验收

5.2.2~5.2.5 消能器制造常为是一项专门技术，其采用的材料除钢材、焊接材料和紧固件外，还有油、橡胶及其他黏滞材料和黏弹性材料，还有摩擦材料、矿质材料、涂料等消能材料，为此，产品在进场时各类材料应具有质量合格证。进场时还应提供制作偏差等，这些材料的品种、规格和性能指标应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209及设计文件中的规定。

5.3 消能部件的施工安装顺序

5.3.1 该条既考虑了已有不同类型及构造特点的消能器安装施工，也有利于新型消能器及相关部件的研制、开发和推广应用。消能减震结构施工安装前，应确定结构的各类普通构件和消能部件的总体

及局部施工安装顺序，这对施工安装质量有重要影响，应遵循本条规定的要求，以确保施工安装质量。

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

消能减震钢结构的安装顺序可采用以下顺序进行：

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

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

3 进行钢构件的涂装和内外墙板施工。

5.3.4 消能减震的现浇混凝土结构施工中，消能部件和主体结构构件的总体安装顺序，应根据结构特点、施工条件等确定，本规程在编制过程中，研究并总结出两种安装方法：消能部件平行安装法和后装法。

消能部件平行安装法便于消能器的吊装进位和测量校正，各层消能部件和混凝土构件一次施工安装齐备，避免后期补装，缺点是每层施工工种多，存在交叉影响。

消能部件后装法，优点是混凝土构件施工快，不受消能部件安装影响。但混凝土构件浇筑完成后，重量较重或尺寸较长的消能部件吊装会受到楼板、水暖管网、外脚手架、施工安全网等的影响，可能加大安装难度；而且后装法对部件的制作、安装精度要求高，也可能增加难度；后装法的各层消能部件在混凝土构件施工完成后再进行，可能会延长施工工期。

消能减震混凝土结构的后装法可先施工一个或多个结构层的混凝土墙柱和梁板等构件，包括混凝土构件上与消能部件相连的节点预埋件；然后安装消能部件，并与混凝土构件的预埋件连接。当设计中不考虑消能部件的抗风作用时，可在各层混凝土柱墙、梁、板以及节点预埋件全部施工完毕后，再安装消能部件。

5.3.6~5.3.7 同一部位的消能部件，当仅有消能器时直接作为安装单元，当还设有附加支撑，或与结构为销栓铰接、球面铰接时，各制作单元及铰接件在现场地面拼装成扩大安装单元后，再与结构进行安装连接。

安装单元与结构的安装连接，精度要求高，连接施工较困难。如何进行安装连接，是消能部件安装中的一个普遍问题，例如黏滞消能器通过专门铰接件与结构连接时要求无间隙连接，经分析研究，总结了有关方法，制定本条款并独立列出。

对于消能减震的钢结构，在消能部件设置部位，柱的安装单元宜采用带悬臂梁段的柱，且在柱与消能部件连接处设置柱上连接件。对于黏滞消能器，其两端与节点连接件为球面铰接、销栓铰接或螺栓连接，其同一部位消能部件的局部安装顺序为：将地面拼装后的消能器及附加连接件一起起吊，并将附加连接件在柱或基础的连接板上初步定位、校正和临时固定，再连接牢固。

对于消能减震的现浇混凝土结构：

1 采用消能部件平行安装法时，同一部位各消能部件的安装，应在其下层混凝土构件浇筑完毕以及其同层周围柱的钢筋、预埋件和模板安装后进行。黏滞消能器安装时，其两端与附加铰接件在地面拼装连接为扩大安装单元后一起起吊，再将消能器下方位端的附加连接件在已浇筑梁或基础预埋板上定位和临时固定（连接件在柱钢筋骨架中留出锚筋），将上方位端在柱的钢筋骨架上定位和临时固定，两端连接牢固之后，安装上部梁板的钢筋骨架、模板和浇筑混凝土；

2 采用消能部件后装法时，在地面或楼面将消能部件进行拼装，检查测量拼装后的总尺寸和锚栓孔位置，并与安装部位的相应空当尺寸、锚栓位置进行对照核查，凡是预拼装尺寸大于安装位置预留尺寸，或锚栓与栓孔错位大于本规程或现行国家有关规范的允许偏差，导致不能就位时，安装

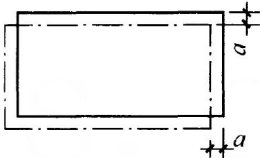
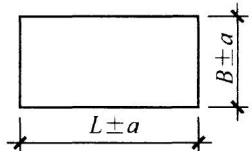
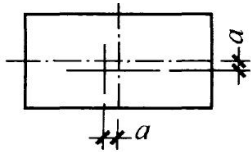
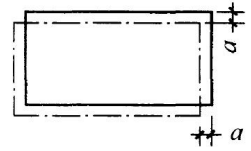
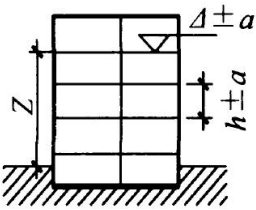
前应在地面进行修理。

对于黏滞消能器，两端与附加铰接件地面拼装后，安装时在已浇筑的混凝土结构上初步定位、校正、临时固定，最后用焊接或锚栓连接牢固。

5.4 施工测量和消能部件的安装、校正

5.4.1 多高层建筑结构四廓主轴线及标高点施工测量放样的允许偏差，根据目前国内建筑施工测量水平，建筑物施工放线的允许偏差应符合表1规定，表中的允许偏差是根据现行国家标准《砌体结构工程施工质量验收规范》GB 50203和现行行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的有关规定，对外廓主轴线及标高点相对于地面或首层的偏差控制，除控制顶部偏差外，增加了每层相对地面的偏差控制，以避免偏差的积累。

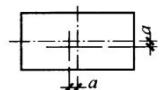
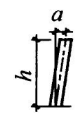
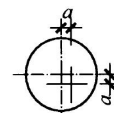
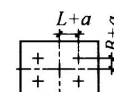
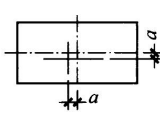
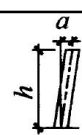
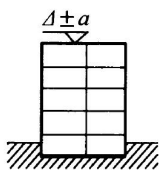
表1 建筑物施工放线的允许偏差

项 目		允许偏差 a (mm)	图 例
外廓主轴线位置的放线 偏差	相邻层主轴线的 相对位置	3.0	
	高 Z 处楼面与首层 相对位置		
	$Z \leq 30\text{m}$	5.0	
	$30\text{m} < Z \leq 60\text{m}$	10.0	
	$60\text{m} < Z \leq 90\text{m}$	15.0	
	$90\text{m} < Z \leq 120\text{m}$	20.0	
	$120\text{m} < Z \leq 150\text{m}$	25.0	
基础及各层外廓主轴线 长度 L 、 B 的放线偏差	$L(B) \leq 30\text{m}$	± 5.0	
	$30\text{m} < L(B) \leq 60\text{m}$	± 10.0	
	$60\text{m} < L(B) \leq 90\text{m}$	± 15.0	
	$Z > 90\text{m}$	± 20.0	
墙、柱、梁及消能部件 定位轴线位置的放线偏移		2.0	
墙、柱、梁及消能部件 边线位置的放线偏移		3.0	
结构层标高点 放样偏差	相邻楼层或柱节 的相对标高	± 3.0	
	高 Z 处楼面与地面 相对标高		
	$Z \leq 30\text{m}$	± 5.0	
	$30\text{m} < Z \leq 60\text{m}$	± 10.0	

	60m<Z≤90m	±15.0	
	90m<Z≤120m	±20.0	
	120m<Z≤150m	±25.0	
	Z>150m	±30.0	

消能减震结构的施工安装及连接完成后，消能减震结构施工安装的允许偏差应符合表2规定。

表2消能减震结构施工安装的允许偏差

项目			允许偏差 <i>a</i> (mm)		图例
			多高层 混凝土结构	多高层 钢结构	
消能部件底板中心线 对定位轴线的安装偏移			10.0	5.0	
消能器的人字形附加支撑 的平面外垂直度			10.0	<i>h</i> /1000	
消能部件锚栓 位置	锚栓预留孔中心 对定位轴线偏移		10.0		
	锚栓中心 对定位轴线偏移		2.0		
消能部件底板螺栓孔 对底板中心线的偏移			1.5	1.5	
墙柱中心线 对定位轴线 偏移	底层柱的柱底		5.0	3.0	
	上部层柱的柱底		5.0	2.0	
梁轴线对定位轴线的偏移			5.0	2.0	
墙柱 垂直度	每层或 每节柱高	≤5.0m	8.0	<i>h</i> /1000 且≤10.0	
		>5.0m	10.0		
		主体结构全高		<i>H</i> /1000, 且≤30.0	(<i>H</i> /2500)+10.0 且≤50.0
结构标高对 标高线偏移	基础上柱底安装标高偏移		±5.0		
	每层或每节柱的标高偏移		±10.0		
	结构顶部标高偏 移	用相对标高控制 安装	±30.0	$\pm \sum_{i=1}^n ah + az$ + <i>aw</i>	
用设计标高控制 安装		+ <i>H</i> /1000, 且≤+30.0 - <i>H</i> /1000 且≥-30.0			

5.5 消能部件安装的焊接和紧固件连接

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

5.6 施工安全和施工质量验收

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

5.6.2~5.6.3 在消能部件子分部工程的质量验收中，为便于该子分部工程有关安全及使用功能的见证取样检测和检验的可操作性，本条根据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205，结合消能部件子分部工程的施工安装特点，规定了具体检测项目。

5.7 消能部件的维护

5.7.1 为保证消能部件在地震作用下能正常发挥其预定功能，确保建筑结构的安全，并为以后工程应用和标准修订积累经验，业主或房产管理部门等应在建筑结构使用过程中进行维护管理。

本条根据美国《新建房屋抗震设计推荐性规范》FEMA 3682000、日本JSSI《被动减震结构设计及施工手册》等文献关于消能减震结构的规定，经综合整理而制定。

定期检查是由物业管理部门对消能部件本身及其与建筑物连接的状况进行的正常检查，其目的是力求尽早发现可能的异常以避免消能部件不能正常使用。

应急检查是指在发生强震、强风、火灾等灾害后立即实施的检查，目的是检查确认上述灾害对消能部件性能有无影响。

其中，抽样检查是消能部件的检查方法之一。所谓抽样检查，是指在定期检查或应急检查中，在结构中抽取在役的典型消能器，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，目的是反映消能器在使用过程中可能发生的性能参数变化，并推定消能器能否达到设计使用年限等。

5.7.2~5.7.5 消能部件正常维护中，定期目测检查的周期主要根据消能部件中关键部件及消能器的设计使用年限，并参照现有一般结构构件的维护实践经验确定。一般结构构件实际检查周期大致为10年~15年，约为结构设计使用年限的 $1/5 \sim 1/3$ 。在正常使用与正常维护下，不同类型消能器的设计使用年限虽然不同，然而，定期检查的周期以消能器的设计使用年限为基础取其 $1/5 \sim 1/3$ ，即约为10年，应该属于一个较正常的时间间隔。但由于建筑使用的特殊性，进行定期检查时会影响建筑使用，为此，对于金属消能器和屈曲约束支撑等金属材料耗能的消能器，在正常使用情况下可不进行定期检查；黏滞消能器和黏弹性消能器在正常使用情况下一般10年或二次装修时应进行目测检查，在达到设计使用年限时应进行抽样检查。

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

6 隔震结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 从理论上讲,隔震房屋的地震反应中,上部结构近似平动,结构的层间变形较小,大部分的地震作用由隔震层消耗,上部结构的延性要求可比非隔震房屋降低,因而,隔震房屋只要确保达到隔震效果,对其高度、层数和高宽比不必严格限制。但是,隔震设计的方案比较和选择时仍应注意:

1 隔震技术对于短周期结构的隔震效果好于长周期结构,即对底层和多层建筑效果较好,日本和美国的经验表明,不隔震时基本周期小于 1.0s 的建筑物效果最佳;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 $T_1=0.05H^{3/4}$;

2 根据一般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的高宽比小于 4 的相关规定或有关规范、规程对非隔震结构的高宽比限制要求。对于高宽比大的结构,需进行整体倾覆验算,防止支座压屈或出现超过 1MPa 的拉应力;

3 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;软土地滤掉了地震波中的中高频分量,延长结构的周期将增大而不是减小其地震作用。当在 IV 类场地建造隔震房屋时,应进行专门的研究和专项审查;

4 隔震层防火措施和穿越隔震层的配管、配线,需满足本规程的相关要求。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。

6.1.2 为确保隔震的效果,隔震支座的性能参数应按相关标准严格检验;隔震装置在长期使用过程中需要检查和维护。因此,其安装位置应便于维护人员接近和操作。

6.1.3 隔震建筑的隔震原理就是通过隔震层的大变形来减小其上部结构的地震作用,从而减小地震破坏。隔震设计需解决的主要问题是:隔震层位置的确定,隔震支座的数量、规格和布置,隔震层在罕遇地震下的承载力和变形控制,上部结构的水平减震系数及其与隔震层的连接构造等。应注意,结构所受的地震作用,既有水平也有竖向,目前的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。

6.1.4 对于建筑结构平面不规则或竖向不规则的情况,从概念上讲,隔震房屋可以通过调整隔震层部件的布置,使各部分的一阶振型基本接近(即各部分的刚度基本匹配),从而减小各部分振动变形不协调引起的结构破坏。也可以通过调整隔震层部件的布置使隔震层的刚度中心和上部结构的质量中心基本一致,避免结构扭转破坏。但是,隔震层以上的楼面要承受水平剪力重分布引起的剪力传递作用,由高阶振型引起的各部分振动变形不协调依然存在。因此,虽然隔震结构一般可以不设防震缝,但应选择符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析,且对结构的局部构件采取必要的加强措施。

6.1.5 本条文的振型分解反应谱法,指考虑非比例阻尼矩阵的复振型分解反应谱法。

6.1.6 对于特殊设防类建筑及体型过于复杂或有特殊要求的结构,考虑到重要性及复杂性,为了确保其隔震效果,宜通过振动台试验加以验证。

6.2 地震作用及结构抗震计算

6.2.2 由于地震影响系数在长周期段下降较快,对于基本周期大于 3.5s 的结构,由此计算所得的水平地震作用下的结构效应可能太小。而对于长周期结构,地震动态作用中的地面运动速度和位移可能对结构的破坏具有更大影响,但规范所采用的振型分解反应谱法尚无法对此做出评估。出于结构安全的考虑,提出了对结构总水平地震剪力及各楼层水平地震剪力最小值的要求,规定了不同烈度

下的剪力系数，当不满足时，需改变结构布置或调整结构总剪力和各楼层的水平地震剪力使其满足要求。

6.2.8 对砌体结构及上部结构的层间刚度较大的结构，其基本振型近似为平动，地震作用的分布可近似按集中于质点的重力代表值分配。 G 值近似按质点取值。

对于其他一般结构，由于上部结构的层间刚度相对较小，隔震结构的基本振型仍需考虑上部结构各质点的不同侧移。因此，地震作用的分布需同时考虑质点重力分布和质点高度分布。

6.2.9 对重要隔震结构，为了反映隔震层位移、结构扭转和倾覆力矩对地震作用的影响，宜按条文要求选取隔震结构的计算模型。紧靠隔震支座的上部结构层可简化为刚性层。

6.3 隔震支座的技术性能

6.3.1 隔震结构的隔震装置应保证在设计基准期内具有正常使用功能。实践表明，隔震支座的设计工作寿命能够达到甚至可能超过 50 年。目前已有超过 50 年的工程记录，如澳大利亚墨尔本某铁路桥使用橡胶支座，于 1889 年建成，已使用 100 多年，老化深度仅为 5mm。英国伦敦佩列姆大桥已使用 42 年，因在橡胶支座中加入抗老化剂，现场检验未发现有老化迹象。目前，在隔震支座的制作技术中均采用了加抗老化剂、保护层、阻燃剂等措施，其设计工作寿命是有保障。

隔震支座在隔震结构的使用期间内，应具有良好的工作性能，不能因老化或在重复荷载下的疲劳，而使其工作性能降低。

超过设计使用年限时，需对隔震装置进行检测鉴定，检测鉴定合格可继续使用。

6.3.2 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 和第二形状参数 s_2 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 $s_2 \geq 5$ 且橡胶厚度不小于 40 时，最小的屈曲应力值为 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），可得本条规定的标准设防类建筑的压应力限值 $\sigma_{max}=0.45$ ， $\sigma_{cr}=15.0$ MPa。

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

对于 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。建议使用大直径支座。

6.3.4 隔震结构的消能阻尼器性能也应满足消能减震结构中消能阻尼器的要求。

6.3.5 因弹性滑板支座没有恢复力，因此弹性滑板支座必须与有恢复力的装置组合使用。

6.4 隔震层的设计

6.4.1 隔震层的限位装置只在必要时才设置。若设置限位装置，要避免产生碰撞的不利影响。当隔震支座有较大的水平变形能力，有较大的阻尼，并且与上、下部结构有要靠的连接时，一般可不单独设置限位装置。

6.4.3 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 $\sigma_t < 1$ MPa 理由是：
 - 1) 广州大学工程抗震研究中心所做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。

6.5 上部结构的设计

6.5.3 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。

6.5.4 原混凝土构件新旧混凝土结合面的凿毛程度，应满足叠合构件的要求。

托换梁与柱结合面的高度 h_j 的计算公式，是根据山东建大工程鉴定加固研究院对 30 余个柱托换节点结合面的试验结果得出的，试验中原混凝土构件新旧混凝土结合部分凿毛，假设柱的全部轴力由所有结合面均匀承担。根据试验结果的回归公式为：

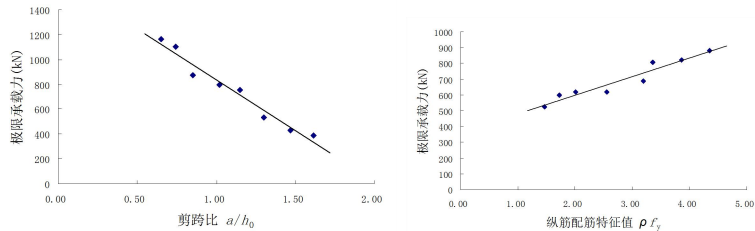
$$h_j = \frac{N}{0.7f_t C_j} \tag{1}$$

试验值与回归公式计算值之比为：0.89—1.58。

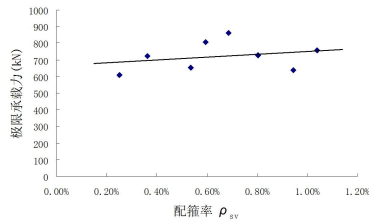
经过十余栋移位建（构）筑物的检验，考虑施工现场条件与试验室条件的差异，新旧混凝土结合面的凿毛程度，构件受力的均匀性等，将上式调整为：

$$h_j = \frac{N}{0.6f_t C_j} \tag{2}$$

为确保柱内钢筋的锚固还规定了 h_j 不宜小于柱内纵向钢筋的锚固长度和柱短边尺寸。



(a) a/h_0 对节点承载力的影响 (b) 托换梁纵筋配筋特征值对节点承载力的影响



(c) 托换梁配箍率对节点承载力的影响

图 1 各因素对节点承载力的影响

本条中式 (6.5.4-2) 的系数 k 的取值主要考虑施工过程中，各施力点受力的不均匀性。当地基土压缩变形较小、托换梁及基础平整度控制较好时， k 值可取 1.5，否则应取较大值。

柱四面包裹式托换节点的受剪承载力公式是山东建大工程鉴定加固研究院对大量柱托换节点的

试验结果结合十余栋建筑移位的现场实测数据确定的。托换节点形式见图 6.5.4。

试验结果表明：

(1) 托换节点中，在配筋相同的情况下，托换梁先于托换连梁破坏；且托换梁的 a/h_0 越大，托换梁相对于托换连梁的破坏越提前。

(2) 在托换梁的 a/h_0 不超过 1.2 时，托换节点的破坏主要是托换梁的弯剪破坏。随着 a/h_0 的增加，托换节点的破坏逐渐变为托换梁的受弯破坏。

(3) 托换节点的承载力主要受混凝土强度，托换梁 a/h_0 ，纵筋强度和配筋率及箍筋强度与配箍率的影响，其中托换节点的受剪承载力受托换梁 a/h_0 和纵筋配筋率影响较为明显。托换节点的承载力与托换梁 a/h_0 、纵筋配筋率和箍筋配箍率近似满足线性关系。

(4) 托换节点托换梁的破坏近似于拉杆拱。如图 2。

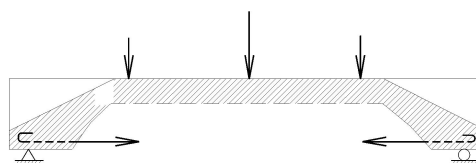


图 2 托换梁破坏示意图

公式 (6.5.4-3) 是参考小 $a/h_0 < 1.5$ 情况下，普通混凝土梁的抗剪承载力计算公式：

$$V_u = 0.7f_tbh_0 + f_{yv}\rho_{sv}bh_0 \quad (3)$$

考虑到柱与托换梁的结合面处混凝土的抗拉强度偏低，而试验中大多数构件的破坏均起源于结合面的开裂，根据结合面的试验数据，结合面处混凝土的抗拉强度约为较低构件混凝土抗拉强度的 0.7 倍左右，保守的将公式中前一项的系数调为 0.42；由于纵筋对托换梁斜截面承载力的影响较大，公式在第二项中考虑了纵筋的影响，其系数根据试验结果采用待定系数法确定。

根据试验回归分析，托换梁的抗剪承载力计算公式为：

$$V_{ui} = 0.42f_tbh_0 + \beta_s\rho f_{yv}\frac{A_{sv}}{s}h_0 \quad (4)$$

β_s 的取值为：纵筋采用 HRB335，HRB400 时，取 66，纵筋采用 HPB235 时，取 45。纵筋配筋率应参考按倒置牛腿或悬臂梁的计算结果。

试验值与回归公式计算值之比为：1.32~2.24。计算结果与试验结果的对比如图 3 所示：

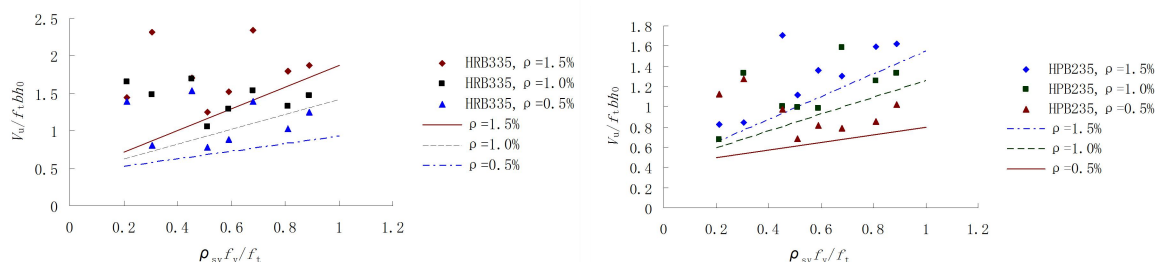


图 3 柱托换节点公式计算结果与试验结果对比图

试验结果表明，大多数柱托换节点试件发生了托换梁的弯剪破坏，因而根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010，提出托换梁截面的限制条件，防止托换梁发生斜压破坏。

试验结果表明，在配筋相同的情况下，托换梁先于托换连梁破坏，因而在设计托换连梁时，建议托换连梁的配筋不少于托换梁的配筋。

6.5.5 托换梁与墙体结合面的高度 h_f 的计算公式,是根据山东建筑大学工程鉴定加固研究院有限公司对 20 余个夹墙式托换梁的试验结果得出的,试验采用 MU10 的砖,试验中去除墙体表面抹灰,连接面充分湿润,并涂刷一层水泥浆,假设墙体的轴力由所有结合面均匀承担。其界面剪切强度:

$$\tau = N_u / 2A \tag{5}$$

试验确定的界面剪切强度平均值为 0.86MPa,方差为 0.127,置信区间为 95%时,强度标准值为 0.65MPa。经过十余栋移位建(构)筑物的检验,考虑结构的可靠度,当砖强度不低于 MU10 时,界面剪切强度设计值可取为 0.5MPa。

试验结果表明:在不发生界面冲切滑移破坏情况下,托换结构的破坏形态与砌体墙梁一致。

6.6 下部结构及地基基础的设计

6.6.1 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。

6.6.3~6.6.4 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。

6.7 构造要求

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

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

实际上隔震支座在建筑物使用年限内一般不需要更换。之所以要求在隔震层留有可供检查和更换隔震支座的空间,是为了在出现异常情况时便于检查和在房屋使用功能上有变化时便于对结构进行改造。

6.7.5 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表 3 所示:

表 3 水平向减震系数与隔震后上部结构抗震措施所对应烈度的分档

本地区设防烈度(设计基本地震加速度)	水平向减震系数	
	$\beta \geq 0.40$	$\beta < 0.40$
9 (0.40g)	8 (0.30g)	8 (0.20g)
8 (0.30g)	8 (0.20g)	7 (0.15g)
8 (0.20g)	7 (0.15g)	7 (0.10g)
7 (0.15g)	7 (0.10g)	7 (0.10g)
7 (0.10g)	7 (0.10g)	7 (0.05g)

需注意,本规程的抗震措施,一般没有 8 度(0.30g)和 7 度(0.15g)的具体规定。因此,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。

6.7.7 考虑到隔震层对竖向地震作用没有隔震效果,上部砌体结构的构造应保留与竖向抗力有关的要求。对砌体结构的局部尺寸、圈梁配筋和构造柱、芯柱的最大间距作了原则规定。

7 隔震装置的施工、验收和维护

7.1 一般规定

7.1.1 大部分施工单位技术人员对隔震技术都不熟悉，因此必须进行深入技术交底，编制建筑隔震工程专项施工方案，经审查批准后报监理单位（建设单位）审批后方可组织实施。设计变更须经设计单位确认，必要时经施工图审查机构确认后实施。

7.1.2 隔震工程是通过在建筑物的基础和上部结构之间设置水平方向完全断开的隔震层，将建筑物分为上部结构、隔震层和下部结构三部分，如图 4 所示。平时支座支承上部结构，地震时隔震层（包括上部结构）与地面发生水平向相对移动。地震能量经由下部结构传到隔震层，大部分被隔震装置隔断或吸收，仅有少部分传到上部结构，从而大大减轻地震作用，提高建筑抗震性能甚至保证震后建筑物使用功能。

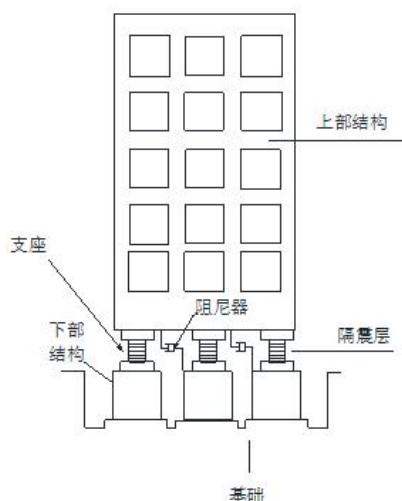


图 4 建筑隔震工程各部分示意图

隔震工程的隔震层通常由支座和阻尼器以及其他相关构件组成，如图 4 所示。

由隔震工程的工作原理可以看出，隔震层作为上部主体结构的一部分，不同于电梯设备安装等，应作为主体结构分部工程的子分部工程进行施工和验收，其主要分项工程包括支座和阻尼器安装。

既有建筑物隔震加固时，原有结构构件的加固施工和质量验收，应符合现行国家相关标准的要求。

7.1.4 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。

7.1.6 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。

7.2 隔震部件进场验收

7.2.1 产品在进场时应具有质量合格证。支座和阻尼器进场时，应由厂家提供产品的出厂检验报告和型式检验报告，且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/T 20688.3 和现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T209 及设计文件的规定。其他必要证明文件包括业主要求提供的产品认证证书等。

7.2.2 隔震工程的参建各方应联合对支座、阻尼器及其连接件、预埋件等进行现场验收。

7.2.3 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，其质量是保证建筑物的使用和地震时安全性和功能完好的关键因素，应严格进行进场检验，必须由专业监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）见证取样、送样，经第三方检测机构复验。复验判定不合格的产品不能应用于工程。其中，剪切性能要求对试验加载最低频率进行了专门规定，以保证试验检验结果具有实用价值。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于 0.3Hz，即考虑隔震周期不低于 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 4。

表 4 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±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_o 的±30%进行加载，加载方法采用 $0—P_o—1.3 P_o—0.7 P_o$ ， $0.7 P_o—P_o—1.3 P_o—P_o—0.7 P_o$ ， $0.7 P_o—P_o—1.3 P_o—P_o—0.7 P_o$ ，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. 试验标准温度为 23℃，否则应对试验结果进行温度修正
剪切性能	1. 剪切性能允许偏差		
	类别	单个试件测试值	一批试件平均测试值
	$r_u \geq 350\%$	±15%	±10%
	$300\% \leq r_u < 350\%$	±25%	±20%
	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 h_{eq} 3) 铅芯橡胶支座：水平等效刚度 k_h 、等效阻尼比 h_{eq} 或者，屈服后刚度 k_d 、屈服力 Q_d		
水平极限变形能力	支座直径小于 800mm 时，水平极限剪切变形不应小于橡胶总厚度的 350% 支座直径大于 800mm 时，水平极限剪切变形可取支座在罕遇地震下的最大设计水平位移值	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，同时观察支座四周表现，当支座外观出现明显异常或试验曲线异常时，视为破坏

7.2.6 本规程综合工程要求和国内产品情况，特对其进行从严要求。

7.2.9 阻尼器作为隔震工程的主要耗能元件，同支座共同工作，其质量是保证建筑物的使用和地震时安全性和功能完好的关键因素，应严格进行进场检验，必须由专业监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）见证取样、送样，经第三方检测机构复验。复验判定不合格的产品不能应用于工程。阻尼器性能要求及试验方法见表 5 和表 6。阻尼器进场时应提供制作偏差等数据，材料的品种、规格和性能指标尚应符合现行行业标准《建筑消能阻尼器》JG/T 209 及设计文件中的规定。

表 5 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±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	阻尼系数	实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	阻尼指数	实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
	滞回曲线	实测滞回曲线应光滑，无异常，在同一测试条件下，任一循环中滞回曲线包络面积实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内
疲劳性能	最大阻尼力	变化率不大于±15%
	阻尼系数	变化率不大于±15%
	阻尼指数	变化率不大于±15%
	滞回曲线	光滑，无异常，包络面积变化率不大于±15%
密封性能		无渗漏，且阻尼力的衰减率不大于 5%

表 6 阻尼器性能试验方法

项目		试验方法
力学性能	最大阻尼力	采用正弦激励法，用安装正弦波规律变化的输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，对阻尼器施加频率为 f_1 、位移幅值为 u_0 的正弦力，连续进行 5 个循环，记录第 3 个循环所对应的最大阻尼力作为实测值
	阻尼系数 阻尼指数 滞回曲线	a) 采用正弦激励法，用安装正弦波规律变化的输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ 来控制试验机的加载系统； b) 阻尼器分别施加频率为 f_1 ，输入位移幅值为 $0.1u_0$ 、 $0.2u_0$ 、 $0.5u_0$ 、 $0.7u_0$ 、 $1.0u_0$ 、 $1.2u_0$ ，连续进行 5 个循环，每次均绘制阻尼力一位移滞回曲线，并计算各工况下第 3 个循环所对应的阻尼系数、阻尼指数作为实测值
疲劳性能		先测定产品的设计容许位移 u_0 和最大阻尼力，然后在同样的环境下采用正弦激励法，对阻尼器施加频率为 f_1 的正弦力，当地震控制为主时，输入位移 $u = u_0 \sin(\omega t)$ ，连续加载 30 个循环，位移大于 100mm 时加载 5 个循环；当以风振控制为主时，输入位移 $u = 0.1u_0 \sin(\omega t)$ ，连续加载 60000 个循环，每 20000 次可暂停休整
密封性能		以 1.5 倍的最大阻尼力作为控制力持续加载 3min，记录结果

注： $\omega = 2\pi f_1$ ， ω 为圆频率， f_1 为结构基频， u_0 为阻尼器设计位移。

7.3.1～7.3.3 施工单位应制定详细的支座安装的施工流程，可参见图 5，并应由设计单位、监理单位、建设单位相关人员确认。

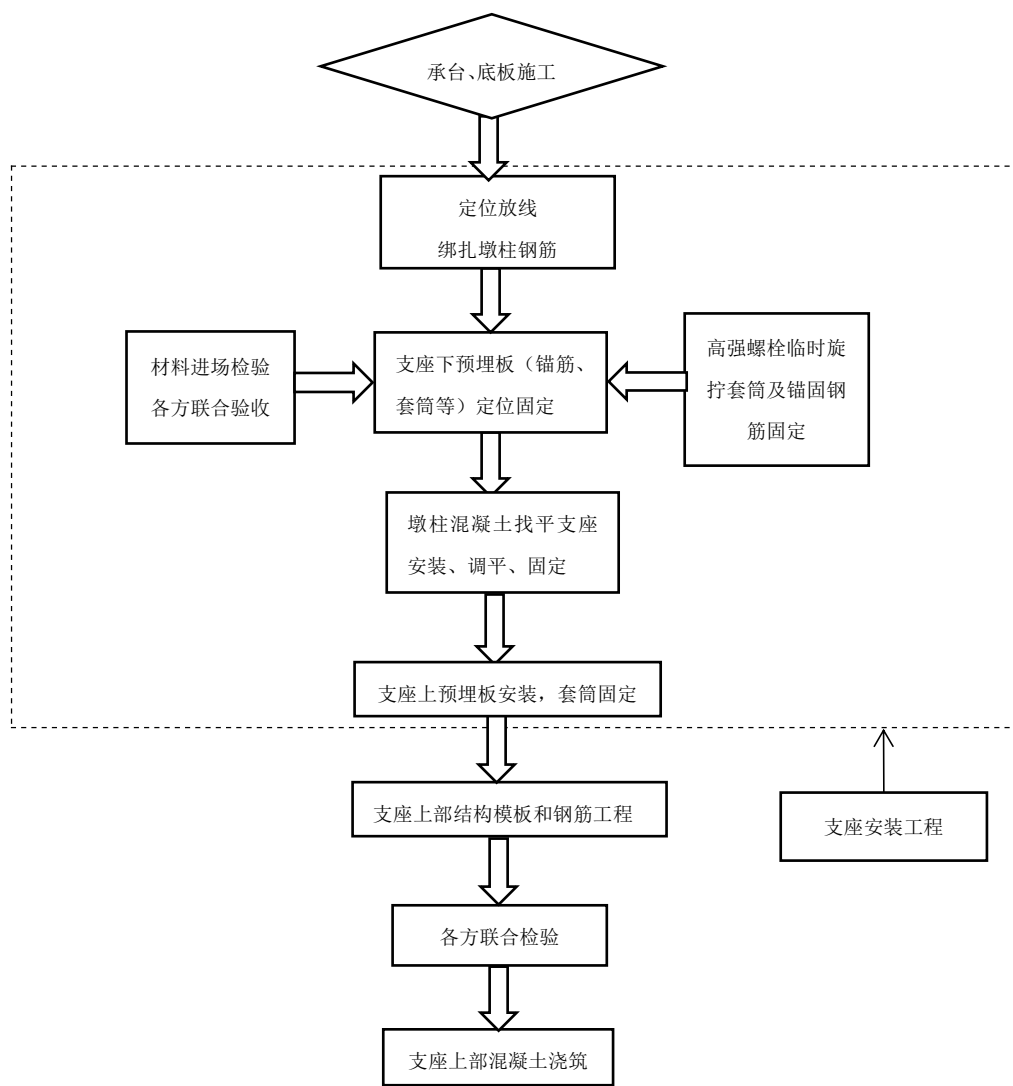


图 5 支座安装的施工流程

7.3.4 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。

7.3.6 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。

7.4 阻尼器安装

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

7.5 隔震层构（配）件及隔震缝施工

7.5.1 采用柔性连接的设备配管、配线，地震时管道的柔性连接部位不发生破坏，避免发生次生灾害和丧失使用功能。

7.5.2 燃气、给水等类型管道柔性连接地震时不应发生破坏，避免重要功能丧失或引发火灾等次生灾害。

隔震建筑中穿越隔震层的燃气、有害介质等管道，如果柔性连接措施不到位，地震时发生破坏，将会造成介质泄露，引发火灾、爆炸等严重的次生灾害，后果严重。因此，对于该类型管道的柔性处理措施进行规定，必须采用柔性接头或柔性连接段等可靠性高的处理措施，保证地震时隔震建筑的管道能够发挥正常使用功能。

7.5.3 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。

7.5.5 应确保地震时水平隔震缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动。隔震层的上、下部结构之间应按照设计要求设置完全贯通的水平隔震缝，并采用柔性材料进行填充。在地震时，才能保证隔震建筑的正常使用功能。在施工过程中，往往忽视水平隔震缝的处理，不能保证完全贯通或密闭采用刚性材料封死等情况。缝高的高度要求是为了防止支座沉降或构件变形导致隔震层上、下部结构相互接触，而对建筑物的安全带来隐患。因此，必须强调水平隔震缝完全贯通的问题。

7.5.6 应确保地震时向隔震缝不会阻碍隔震建筑上部结构的相对自由水平运动。竖向隔震缝，也称隔震沟。设置一定宽度的隔震沟，对于隔震作用发挥至关重要。如设置不满足要求，将在地震或罕遇地震时上部结构与周边建筑或障碍物发生碰撞，产生破坏冲击力，限制隔震效用发挥，甚至危及建筑物安全。施工过程中，常常发生隔震沟宽度预留不足或空间被填充封死。施工过程中必须保证隔震沟宽度和空间清空，并进行重点检查。

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

7.6 隔震工程施工质量验收

I 主控项目

7.6.1 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。

7.6.4 阻尼器的型号、数量、安装位置涉及隔震建筑地震时的安全，不允许出现任何偏差。

7.6.6 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柔性连接段进行连接。施工前应检查柔性连接段的质量和性能保证书以及必要的试验证明报告，确认其满足设计文件的水平位移要求。

7.6.7 设计文件应明确要求设置完全贯通的、具有一定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，米尺量测等手段检查是否满足相关设计要求，确认地震时上部结构的相对水平变形不受阻碍。

II 一般项目

7.6.15 支座下支墩（柱）是隔震层的重要构件，不应出现蜂窝、麻面等缺陷。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。

7.6.22 实际阻尼器项目验收过程中，发现有施工单位安装时不注意，活塞杆上有污染物甚至混凝土，一方面影响活塞杆伸缩，另一方面严重时破坏密封导致渗漏。

7.7 隔震建筑标识与维护

7.7.1 隔震建筑应设置标识，描述隔震建筑的功能及其功能发挥的特殊性，提醒业主及其他人员对隔震层支座、阻尼器及隔震构造的维护。隔震建筑的标识设置应符合下列规定：

- 1 标识应醒目；
- 2 标识内容应简单明了；
- 3 标识设置宜统一，并有警示作用。

7.7.2 本条提出了隔震建筑标识的具体内容及位置。

1 门厅入口处的标识应注明隔震产品的型号、规格以及功能、特性等，并简要描述其特殊使用要求。

2 水平隔震缝处的标识应注明严禁在此地堆放物品及地震时不要在此处逗留等内容。楼梯隔震缝处的标识应注明当地震来临时在隔震缝处的楼梯会发生滑动，勿在滑动范围内堆放能阻止楼梯滑动的物体，且提醒行人在地震来临时注意。

3 在建筑物周围的竖向隔震缝处的标识应注明地震时建筑将在该范围内移动，禁止往隔震沟倾倒垃圾、堆放杂物等，并且周围停放物应该和建筑物保持一定的避让距离，避免地震时发生碰撞。