 **中华人民共和国国家标准**

**GB xxx/xx**

|  |
| --- |
|  |

建筑消能减震加固技术标准

Technical specification for seismic energy

dissipation of retrofit structure

征求意见稿

**XXX-XX-XX发布 XXX-XX-XX实施**

**中华人民共和国住房和城乡建设部 发布**

**目录**

[1 总 则 1](#_Toc103088811)

[2 术语和符号 2](#_Toc103088812)

[2.1 术语 2](#_Toc103088813)

[2.2 符号 4](#_Toc103088814)

[3 基本规定 5](#_Toc103088815)

[3.1一般规定 5](#_Toc103088816)

[3.2 消能器 5](#_Toc103088817)

[3.3 计算方法 5](#_Toc103088818)

[3.4 加固方案 6](#_Toc103088819)

[3.5 消能部件与连接 6](#_Toc103088820)

[3.6 性能化加固设计 6](#_Toc103088821)

[4 消能减震加固计算 9](#_Toc103088822)

[4.1 一般规定 9](#_Toc103088823)

[4.2 地震作用 9](#_Toc103088824)

[4.3 计算模型与分析 12](#_Toc103088825)

[4.4 结构承载力验算 15](#_Toc103088826)

[4.5 结构变形验算 17](#_Toc103088827)

[5 消能器的技术性能及检验 19](#_Toc103088828)

[5.1 一般要求 19](#_Toc103088829)

[5.2 黏滞消能器和黏滞阻尼墙 19](#_Toc103088830)

[5.3 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙 20](#_Toc103088831)

[5.4 金属消能器 23](#_Toc103088832)

[5.5 屈曲约束耗能支撑 24](#_Toc103088833)

[5.6 摩擦消能器 25](#_Toc103088834)

[5.7 复合型消能器 26](#_Toc103088835)

[5.8 消能器性能检验 27](#_Toc103088836)

[6 多高层钢筋混凝土结构 28](#_Toc103088837)

[6.1 一般规定 28](#_Toc103088838)

[6.2 计算要点 29](#_Toc103088839)

[6.3 基本构造措施 29](#_Toc103088840)

[6.4 消能子结构加固方法 31](#_Toc103088841)

[7 多高层钢结构 34](#_Toc103088842)

[7. 1 一般规定 34](#_Toc103088843)

[7. 2 计算要点 35](#_Toc103088844)

[7. 3 构造要求 37](#_Toc103088845)

[8 木结构 39](#_Toc103088846)

[8.1 一般规定 39](#_Toc103088847)

[8.2 计算要点 39](#_Toc103088848)

[8.3 构造要求 39](#_Toc103088849)

[9 工业厂房 41](#_Toc103088850)

[9.1 一般规定 41](#_Toc103088851)

[9.2 抗震措施 41](#_Toc103088852)

[10 村镇民居 43](#_Toc103088853)

[11 消能部件连接构造与设计 44](#_Toc103088854)

[11.1 一般规定 44](#_Toc103088855)

[11.2 支撑和支墩设计 44](#_Toc103088856)

[11.3 连接节点计算 44](#_Toc103088857)

[11.4 连接节点构造 46](#_Toc103088858)

1[2 施工、验收和维护 48](#_Toc103088859)

[12.1 一般规定 48](#_Toc103088860)

[12.2 消能部件施工 48](#_Toc103088861)

[12.3 验 收 49](#_Toc103088862)

[12.4 维 护 50](#_Toc103088863)

[12.5 灾后检验 50](#_Toc103088864)

[附 录A 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构 51](#_Toc103088865)

[附 录B 建筑消能阻尼器性能检测表 52](#_Toc103088866)

[附 录C 复振型分解反应谱法计算公式 55](#_Toc103088867)

Contents

[1 General Provisions 1](#_Toc103088811)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc103088812)

[2.1 Terms 2](#_Toc103088813)

[2.2 Symbols 4](#_Toc103088814)

[3 Basic Requirements 5](#_Toc103088815)

[3.1 General Requirements 5](#_Toc103088816)

[3.2 Energy Dissipation Devices 5](#_Toc103088817)

[3.3 Calculation Method 5](#_Toc103088818)

[3.4 Reinforcement Plan 6](#_Toc103088819)

[3.5 Energy Dissipating Parts and Connections 6](#_Toc103088820)

[3.6 Performance-based Reinforcement Design 6](#_Toc103088821)

[4 Calculation Model of Seismic Energy Dissipation 9](#_Toc103088822)

[4.1 General Requirements 9](#_Toc103088823)

[4.2 Earthquake Effect 9](#_Toc103088824)

[4.3 Computational Models and Analysis 12](#_Toc103088825)

[4.4 Structural Bearing Capacity Check 15](#_Toc103088826)

[4.5 Structural Deformation Check 17](#_Toc103088827)

[5 Technical Characteristics of Energy Dissipation Devices and Inspection Requirements 19](#_Toc103088828)

[5.1 General Requirements 19](#_Toc103088829)

[5.2 Viscous Dissipators and Viscous Damping Walls 19](#_Toc103088830)

[5.3 Viscoelastic Energy Dissipators and Viscoelastic Damping Walls 20](#_Toc103088831)

[5.4 Metal Dissipation Devices 22](#_Toc103088832)

[5.5 Buckling Restrained Dissipative Bracing 23](#_Toc103088833)

[5.6 Friction Energy Dissipator 24](#_Toc103088834)

[5.7 Composite Energy Dissipator 25](#_Toc103088835)

[5.8 Energy Dissipator Performance Inspection 26](#_Toc103088836)

[6 Multi-high-rise Reinforced Concrete Structure 27](#_Toc103088837)

[6.1 General Requirements 27](#_Toc103088838)

[6.2 Calculation Points 28](#_Toc103088839)

[6.3 Basic structural Measures 28](#_Toc103088840)

[6.4 Reinforcement Method of Energy Dissipating Substructure 30](#_Toc103088841)

[7 Multi-rise Steel Structure 33](#_Toc103088842)

[7. 1 General Requirements 33](#_Toc103088843)

[7. 2 Calculation Points 34](#_Toc103088844)

[7. 3 Construction Requirements 36](#_Toc103088845)

[8 Wood Structure 38](#_Toc103088846)

[8.1 General Requirements 38](#_Toc103088847)

[8.2 Calculation Points 38](#_Toc103088848)

[8.3 Construction Requirements 38](#_Toc103088849)

[9 Industrial Plants 40](#_Toc103088850)

[9.1 General Requirements 40](#_Toc103088851)

[9.2 Seismic Measures 40](#_Toc103088852)

[10 Village Dwellings 42](#_Toc103088853)

[11 Connecting and Details of Energy Dissipation Parts 43](#_Toc103088854)

[11.1 General Requirements 43](#_Toc103088855)

[11.2 Calculation of Brace, Pier and Shearwall 43](#_Toc103088856)

[11.3 Connected Node Computing 43](#_Toc103088857)

[11.4 Connection Node Construction 45](#_Toc103088858)

1[2 Construction,Quality Acceptance and Maintenance 47](#_Toc103088859)

[12.1 General Requirements 47](#_Toc103088860)

[12.2 Construction of Energy Dissipation Components 47](#_Toc103088861)

[12.3 Site Acceptance of Energy Dissipation Parts 48](#_Toc103088862)

[12.4 Maintenance of Energy Dissipation Parts 49](#_Toc103088863)

[12.5 Post Disaster Investigation 49](#_Toc103088864)

[APPENDIX A Reinforced Concrete Frame - Buckling Restrained Braced Structure 50](#_Toc103088865)

[APPENDIX B Building Energy Dissipation Damper Performance Test Table 51](#_Toc103088866)

[APPENDIX C Calculation Formula of Complex Vibration Type Decomposition Response Spectrum Method 54](#_Toc103088867)

Addition:Explanation of Provision**s…………………………………………………………………..58**

1. 总 则

**1.0.1**为规范消能减震技术在既有建筑抗震加固中的应用，贯彻执行国家技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本标准。

**1.0.2**本标准适用于抗震设防地区的既有建筑采用消能减震技术进行抗震加固的设计、施工、验收、维护以及消能减震产品检测。

**1.0.3**既有建筑应根据后续工作年限分为三类：后续工作30年（含30年）的建筑，简称A类建筑；后续工作40年（含40年）的建筑，简称B类建筑；后续工作50年（含50年）的建筑，简称C类建筑。

**1.0.4**符合本标准要求的采用消能减震技术加固后的建筑，其基本设防目标是：当遭受低于本地区与后续使用年限相应的抗震设防烈度的多遇地震时，主体结构一般不受损坏或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区与后续使用年限相应的设防烈度的地震时，主体结构可能发生损坏，但经一般修理仍可继续使用；现有建筑当遭受相当于本地区与其后续使用年限相应的抗震设防烈度的罕遇地震时，主体结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏，消能器应能正常发挥消能作用。

**1.0.5**当既有建筑有更高的抗震设防需求或有加固性能需求时，可采用消能减震加固性能化设计方法。

**1.0.6**采用消能减震技术加固的设计、施工、验收、维护，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关规范和标准的规定。

1. 术语和符号

2.1 术语

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

在既有建筑中安装消能部件，使其达到抗震鉴定要求所进行的设计及施工。

**2.1.2** 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性滞回变形来耗散或吸收能量的装置。包括金属型消能器、摩擦消能器、屈曲约束支撑、黏滞消能器和黏弹性消能器。

**2.1.3**消能部件 energy dissipation part

由消能器和支撑或连接消能器构件组成的部分。

**2.1.4** 金属消能器 metal energy dissipation device

由各种不同金属材料元件或构件制成，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。

**2.1.5** 摩擦消能器 friction energy dissipation device

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

**2.1.6**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。

**2.1.7** 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。

**2.1.8**黏弹消能器 viscoelastic energy dissipation device

由黏弹性材料和钢板或圆形、方形或矩形钢筒等组成，利用黏弹性材料的剪切变形来耗散能量的减震装置。

**2.1.9**附加阻尼比 additional damping ratio

采用消能减震技术的结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效阻尼比。

**2.1.10**附加刚度 additional stiffness

采用消能减震技术的结构往复运动时消能器附加给主体结构的有效刚度。

**2.1.11**设计阻尼力design damping force of energy dissipation device

采用消能减震技术的结构在罕遇地震作用下消能器产生的阻尼力。

**2.1.12**设计位移 design displacement of energy dissipation device

采用消能减震技术的结构在罕遇地震作用下消能器达到的位移值。

**2.1.13**设计速度 design velocity of energy dissipation device

采用消能减震技术的结构在罕遇地震作用下消能器达到的速度值。

**2.1.14**极限位移 ultimate displacement of energy dissipation device

消能器能达到的最大变形量，消能器的变形超过该值后认为消能器失去消能功能。

**2.1.15**极限速度 ultimate velocity of energy dissipation device

消能器能达到的最大速度，消能器的速度超过该值后认为消能器失去消能功能。

**2.1.16**极限阻尼力ultimate damping force of energy dissipation device

消能器在达到极限位移或极限速度时，所能达到的最大阻尼力。

**2.1.17** 增大截面加固法 structure member strengthening with increasing section area

增大原构件截面面积并增配钢筋，以提高其承载力和刚度，或改变其自振频率的一种直接加固法。

**2.1.18** 外包型钢加固法 structure member strengthening with externally wrapped shaped steel

对钢筋混凝土梁、柱外包型钢及钢缀板焊成的构架，以达到共同受力并使原构件受到约束作用的加固方法。

**2.1.19** 碳纤维布加固法 structure member strengthening with carbonic fibre reinforced polymer

在原有的钢筋混凝土梁柱表面用胶粘材料粘贴碳纤维片材等的加固方法。

2.2 符号

**2.2.1** 结构参数

|  |  |
| --- | --- |
|  | —设置消能部件的主体结构层间屈服剪力； |
|   | —结构抗扭刚度； |
|  | —采用消能减震技术的结构的第i阶振型周期； |
|  | —采用消能减震技术的结构总阻尼比； |
|  | —主体结构阻尼比； |
|  | —结构自振频率； |
|  | —消能部件在水平方向的屈服位移或起滑位移； |
|  | —设置消能部件的主体结构层间屈服位移。 |

**2.2.2** 消能器参数

|  |  |
| --- | --- |
|  | —消能器的线性阻尼系数； |
|   | —第个消能器由试验确定的线性阻尼系数； |
|  | —消能器在相应位移下的阻尼力； |
|  | —支撑构件沿消能方向的刚度； |
|  | —第个消能部件在结构预期层间位移下往复循环一周所消耗的能量； |
|  | —消能部件附加给结构的有效阻尼比； |
|  | —沿消能方向消能器最大可能的位移； |
|  | —沿消能方向消能器的位移。 |

1. 基本规定

3.1一般规定

**3.1.1** 既有建筑加固前，应根据设防烈度、抗震设防分类、后续工作年限和结构类型等，按国家现行相关标准的规定进行鉴定。

**3.1.2** 采用消能减震技术加固的结构应满足本标准的相关要求或符合国家现行有关标准的相关规定。

**3.1.4**  采用钢筋混凝土框架结构或钢框架结构的学校、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、广播电视的建筑，抗震加固采用消能减震技术时，罕遇地震下弹塑性层间位移角钢筋混凝土框架结构不应大于1/100，钢框架结构不应大于1/70。

**3.1.5** 需满足设防烈度地震后正常使用要求的建筑应按C类房屋加固，并验算设防烈度地震下的变形，层间位移角应满足结构构件受力变形限值和填充墙变形要求。

**3.1.6** 多遇地震下，单个消能部件承担的水平剪力不宜大于楼层剪力的1/4。

3.2 消能器

**3.2.1**消能器应符合下列规定：

**1** 消能器应具备良好的变形能力、耗能能力、耐久性和环境适应性；

**2** 设计风荷载作用下金属消能器不宜发生屈服变形；

**3** 多遇地震作用下消能器应能提供附加阻尼或附加刚度，罕遇地震作用下消能器应正常发挥作用；

**4** 消能器应采用可靠的连接方法，应留足够工作空间；

**5** 消能器性能参数应满足设计文件要求。

**3.2.2**加固使用的消能器应满足本标准附录B的型式检验要求，并符合下列规定:

**1** 构造应与型式检验试件一致；

**2** 截面尺寸不大于型式检验试件的20%，长度偏差+50%以内；

**3** 消能器型式检验的力学性能与加固使用的消能器力学性能设计值偏差在+50%以内；阻尼力型式检验值宜不小于加固使用消能器的50%；

**4** 型式检验极限位移下疲劳性能的工作位移应大于加固使用消能器的设计位移。

3.3 计算方法

**3.3.1** 不同后续工作年限A、B类建筑的地震作用折减系数取0.8、0.9。

**3.3.2**  A、B、C类建筑设防烈度地震加速度应符合表3.3.2的规定。

表3.3.2 抗震设计基本地震加速度（g）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设防地震加固结构类别 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 0.040 | 0.080（0.120） | 0.160（0.240） | 0.320 |
| B | 0.045 | 0.090（0.135） | 0.180（0.270） | 0.360 |
| C | 0.050 | 0.100（0.150） | 0.200（0.300） | 0.400 |

注：括号数值分别是7度0.15g和8度0.30g地区的不同使用年限的设防地震加速度。

**3.3.3**采用消能减震技术加固设计的结构，应进行罕遇地震作用下的非线性分析。计算结果应经分析判断确定其合理、有效后方可用于工程设计。

3.4 加固方案

**3.4.1** 消能减震加固应符合下列规定：

**1** 消能减震加固方案应根据抗震鉴定结果综合分析后确定，减少对原结构构件的加固

量；

**2** 不规则建筑加固后的结构刚度宜分布均匀；

**3** 单跨框架结构可采用金属消能器的消能减震加固方案，消能部件布置

间距不宜大于12m；

**4** 原结构采用预制楼板时应加强楼、屋盖整体性；

**5** 结构地基和基础抗震加固应符合现行行业标准《建筑抗震加固技术规程》JGJ116的有关规定。

**3.4.2** 确定消能减震加固方案时，消能部件的布置应符合下列规定：

**1** 消能部件宜根据需要沿结构两个主轴方向设置，形成均匀合理的受力体系；

**2** 消能部件宜设置在层间相对变形或速度较大的位置；

**3** 采用金属消能器时，宜沿结构上下连续布置，当受建筑方案影响无法连续布置时，可在邻跨布置；

**4** 消能部件的设置，应便于检查、维护和替换。

3.5 消能部件与连接

**3.5.1** 消能部件与原结构连接方法可采用直接连接、嵌套式连接或外贴式连接等。

**3.5.2** 消能器与支撑、支承构件的连接，以及消能部件与主体结构的连接，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。

**3.5.3** 消能器与支撑和连接件之间宜采用焊接或法兰连接，也可采用销轴连接或高强螺栓连接。销轴连接时应严格控制安装间隙。

**3.5.4** 在消能器设计阻尼力作用下，消能部件中的支撑、支承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。

3.6 性能化加固设计

**3.6.1** 进行消能减震性能化加固设计时，应结合建筑实际需求选择抗震性能目标，并采取满足预期性能目标的抗震措施。

**3.6.2** 消能减震加固的抗震性能目标设为 A、B、C、D 四个等级，见表3.6.2-1，结构抗震性能分为 1、2、3、4、5五个水准，见表3.4.2-2。

表3.6.2-1 结构抗震性能目标

|  |  |
| --- | --- |
| 地震水准 | 性能目标 |
| A | B | C | D |
| 多遇地震  | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 设防地震 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 罕遇地震 | 2 | 3 | 4 | 5 |

表3.6.2-2 各性能水准结构预期的震后损坏状态

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能水准 | 宏观损坏程度 | 损坏部位 | 继续使用可能性 |
| 竖向构件 | 水平构件 |
| 1 | 无损坏 | 无损坏 | 无损坏 | 不需修理即可继续使用 |
| 2 | 轻微损坏 | 无损坏 | 轻微损坏 | 不需修理即可继续使用 |
| 3 | 轻度损坏 | 轻微损坏 | 轻度损坏 | 一般修理后可继续使用 |
| 4 | 中度损坏 | 轻度损坏 | 中度损坏 | 修复后可继续使用 |
| 5 | 比较严重损坏 | 中度损坏 | 比较严重损坏 | 需排险加固 |

**3.6.3** 结构各性能水准的楼层层间位移角与构件承载能力宜符合表3.6.3规定。

表3.6.3 消能减震抗震加固性能水准的层间位移指标和构件承载力要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能水准 | 宏观损坏程度 | 楼层层间位移角 | 承载力 |
| 竖向构件 | 水平构件 |
| 1 | 无损坏 | ≤[Δue] | 设计值 | 设计值 |
| 2 | 轻微损坏 | （1.0～1.5][Δue] | 小于标准值 | 标准值 |
| 3 | 轻度损坏 | （1.5～2.0][Δue] | 标准值 |  小于极限值 |
| 4 | 中度损坏 | （2.0～4.0][Δue] | 极限值 |  极限值 |
| 5 | 比较严重损坏 | ≤0.9[Δup] | 极限值下降10% | 极限值下降10% |

注：1 区间符号“（”表示不包括下限数据，“]”表示包括上限数据。

 2 [Δue]为弹性层间位移，[Δup]为弹塑性层间位移。

 3 楼层层间位移计算时可扣除非受力层间位移或变形。

**3.6.4** 性能化加固应根据采取的性能目标，进行多遇地震、设防地震和罕遇地震下不同性能水准的构件承载力复核和结构变形验算。性能水准1、2、3可按弹性分析计算，性能水准4和5应按非线性分析。

**3.6.5** 复杂结构、高层结构等建筑可通过构件反弯点位移计算构件受力变形，可按表3.6.5-1或表3.6.5-2确定结构的性能水准。

表3.6.5-1混凝土结构构件不同情能状态的受力位移角限值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 构件类型 | 无损坏1 | 轻微损坏2 | 轻度损坏3 | 中等破坏4 | 比较严重破坏5 |
| 钢筋混凝土梁 | 1/250 | 1/100 | 1/90 | 1/80 | 1/70 |
| 剪力墙连梁 | 1/300 | 1/200 | 1/150 | 1/120 | 1/90 |
| 钢筋混凝土柱 | 1/550 | 1/300 | 1/220 | 1/100 | 1/70 |
| 钢筋混凝土剪力墙 | 1/2000 | 1/800 | 1/450 | 1/140 | 1/120 |

表3.6.5-2钢结构构件不同性能状态的受力位移角限值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 构件类型 | 无损坏1 | 轻微损坏2 | 轻度损坏3 | 中等破坏4 | 比较严重破坏5 |
| 钢梁 | 1/200 | 1/150 | 1/100 | 1/50 | 1/30 |
| 钢柱 | 1/300 | 1/250 | 1/150 | 1/70 | 1/50 |

**3.6.6** 结构高度超过本标准规定的适用高度时，应按性能化进行加固设计。

1. 消能减震加固计算

4.1 一般规定

**4.1.1** 采用消能减震技术对既有建筑进行抗震加固设计时，地震作用应符合下列规定：

**1** 应至少在结构两个主轴方向分别计算水平地震作用；有斜交抗侧力构件或消能器的结构，当相交角度大于15°时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用；

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

**3**采用消能减震技术加固的大跨度、长悬臂结构，8、9度时应计算竖向地震作用；

**4** 9度时的高层建筑采用消能减震技术加固时应计算竖向地震作用。

**4.1.2** 采用消能减震技术加固的结构的地震作用效应计算，应根据结构所处的状态选择下列方法：

**1** 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或线性时程分析法；

**2** 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，可将消能器等效线性化，采用振型分解反应谱法分析；采用时程分析时，可采用主体结构线性、消能器非线性的时程分析方法；

**3** 主体结构进入弹塑性状态时，应采用非线性时程分析法或静力非线性分析法进行计算。

**4.1.3** 当楼、屋盖平面内刚度不满足无限刚性要求时，应计入楼、屋盖平面内和平面外的变形影响。

4.2 地震作用

**4.2.1**消能减震加固进行多遇地震作用效应计算时，可采用振型分解反应谱法，消能器附加阻尼比不大于15%，以及消能器竖向布置均匀时，可采用实振型分解反应谱法；消能器附加阻尼比大于15%时或消能器竖向布置不均匀时，宜按附录C采用复振型分解反应谱法。

**4.2.2**多遇地震下应根据设防烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定地震影响系数，水平地震影响系数（图4.2.2）最大值应根据后续工作年限按表4.2.2-1采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分组按表4.2.2-2采用。周期大于6.0s的既有建筑结构所采用的地震影响系数应专门研究。地震影响系数曲线的调整系数和形状参数应符合下列规定：

**1** 当消能减震加固后结构的阻尼比为0.05时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应取1.0，形状参数应符合下列规定：



图4.2.2 多遇地震影响系数

-地震影响系数；-地震影响系数最大值；-直线下降段的下降斜率调整系数；

-衰减系数；-特征周期；-阻尼调整系数；-结构自振周期

1) 直线上升段为周期小于0.1s的区段；

2) 水平段为自0.1s至特征周期区段，应取最大值*α*max；

3) 曲线下降段为特征周期至5倍特征周期区段，衰减指数应取0.9；

4) 直线下降段为自5倍特征周期至6s区段，下降斜率调整系数应取0.02。

**2** 当消能减震加固后结构的阻尼比不等于0.05时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数和形状参数应符合下列规定：

1）曲线及直线下降段的衰减指数应按下式确定：

 （4.2.2-1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——曲线下降段的衰减指数； |
|  | ——消能减震加固后结构总阻尼比。 |

2）直线下降段的下降斜率调整系数应按下式确定：

 （4.2.2-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——曲线下降段的衰减指数； |

3）阻尼调整系数应按下式确定：

 （4.2.2-3）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——曲线下降段的衰减指数； |

表4.2.2-1 多遇地震水平地震影响系数最大值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设防烈度加固结构类别 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 0.032 | 0.064（0.096） | 0.128（0.192） | 0.256 |
| B | 0.036 | 0.072（0.108） | 0.144（0.216） | 0.288 |
| C | 0.040 | 0.080（0.12） | 0.160（0.240） | 0.320 |

注：括号内数值分别用于设计基本地震加速度为0.15g和0.30g的地区。

表4.2.2-2 多遇地震反应谱特征周期（s）

|  |  |
| --- | --- |
| 设计地震分组 | 场地类别 |
| Ⅰ0 | Ⅰ1 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 第一组 | 0.20 | 0.25 | 0.35 | 0.45 | 0.65 |
| 第二组 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.55 | 0.75 |
| 第三组 | 0.30 | 0.35 | 0.45 | 0.65 | 0.90 |

**4.2.3**罕遇地震水平地震影响系数（图4.2.3）最大值应根据后续工作年限按表4.2.3-1采用，特征周期应根据场地类别和设计地震分组按本标准表4.2.3-2采用。地震影响系数曲线的调整系数和形状参数应符合下列规定：

1. 当消能减震加固后结构的阻尼比为0.05时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数应取1.0，形状参数应符合下列规定：



-地震影响系数；-地震影响系数最大值；-直线下降段的下降斜率调整系数；

-衰减系数；-特征周期；-阻尼调整系数；-结构自振周期

1. 直线上升段为周期小于0.1s的区段；
2. 水平段为自0.1s至特征周期区段，应取最大值*α*max；
3. 曲线下降段为特征周期至6s区段，衰减指数应取0.9。

2. 当消能减震加固后结构的阻尼比不等于0.05时，地震影响系数曲线的阻尼调整系数按式4.2.2-3取值，衰减指数按式4.2.2-1取值。

表4.2.3-1 罕遇地震水平地震影响系数最大值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 设防烈度加固结构类别 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| A | 0.224 | 0.400（0.576） | 0.720（0.960） | 1.120 |
| B | 0.252 | 0.450（0.648） | 0.810（1.080） | 1.260 |
| C | 0.280 | 0.500（0.720） | 0.900（1.200） | 1.400 |

表4.2.3-2 罕遇地震反应谱特征周期（s）

|  |  |
| --- | --- |
| 设计地震分组 | 场地类别 |
| Ⅰ0 | Ⅰ1 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 第一组 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.70 |
| 第二组 | 0.30 | 0.35 | 0.45 | 0.60 | 0.80 |
| 第三组 | 0.35 | 0.40 | 0.50 | 0.70 | 0.95 |

**4.2.4**多遇地震下线性时程法补充计算时，宜取三组人工模拟加速度时程计算，结果取包络值，与振型分解反应谱法结果取较大值。罕遇地震下非线性时程分析时，宜取七组加速度时程曲线，其中实际强震记录不应少于2/3，计算结果取平均值。

**4.2.5** 应按建筑场地类别和设计地震分组选实际强震记录，多组时程曲线的平均地震影响系数曲线应与振型分解反应谱法采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符且持续时间不应小于结构基本周期的5倍和15秒较大值，地震加速度时程曲线的最大值可按表4.2.5 采用。每条时程曲线计算所得主体结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算主体结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%。

表4.2.5 时程分析用地震加速度时程曲线最大值（cm/s2）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地震水准 | 加固结构类别 | 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.3g |
| 多遇地震 | A | 14.4 | 28.0 | 44.0 | 56.0 | 88.0 | 112.0 |
| B | 16.2 | 31.5 | 49.5 | 63.0 | 99.0 | 126.0 |
| C | 18.0 | 35.0 | 55.0 | 70.0 | 110.0 | 140.0 |
| 罕遇地震 | A | 100.0 | 176.0 | 248.0 | 320.0 | 408.0 | 496.0 |
| B | 112.5 | 198.0 | 279.0 | 360.0 | 459.0 | 558.0 |
| C | 125.0 | 220.0 | 310.0 | 400.0 | 510.0 | 620.0 |

**4.2.6** 多遇地震下的人工模拟加速度时程曲线可按本标准图4.2.2曲线拟合；罕遇地震下的人工模拟加速度时程曲线可按本标准图4.2.3曲线拟合。 人工模拟加速度时程曲线的反应谱与给定水准的加速度反应谱在各周期点的误差平均值不应超过5%，最大偏差不应超过10%。

**4.2.7** 在条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩石的陡坡、河岸和边坡边缘等不利地段，水平地震作用应乘以1.1~1.6倍的增大系数。

**4.2.8** 当处于发震断层 10km 以内时，地震作用计算应考虑近场影响，乘以增大系数，5km 及以内宜取1.25，5km以外可取不小于 1.15。

**4.2.9** 结构任一楼层的水平地震剪力应按下式进行：

　　　　　　　　　　　　　　　　（4.2.9）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——第层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力，kN； |
|  | ——剪力系数，不应小于表3.3.6规定的楼层最小地震剪力系数值； |
|  | ——第层的重力荷载代表值。 |

表4.2.9 楼层最小地震剪力系数值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 类别 | 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| 基本周期小于3.5s的结构 | 0.008 | 0.016(0.024) | 0.032(0.048) | 0.064 |
| 基本周期大于5.0s的结构 | 0.006 | 0.012(0.018) | 0.024(0.036) | 0.048 |

注：1 基本周期介于3.5s和5.0s之间的结构，按插入法取值；

2 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。

3 附加阻尼比不小于2%的超高层建筑，表中数值可折减0.85。

4.3 计算模型与分析

**4.3.1** 消能器采用非线性模型时，应根据其工作状态以及力学特性选择适宜的单元模拟，其计算模型宜按下列规定选取：

**1** 金属消能器可采用双线性模型、三线性模型或Wen模型；

**2** 摩擦消能器可采用理想弹塑性模型；

**3** 液体黏滞消能器可采用麦克斯韦尔模型；

**4** 其他类型消能器的计算模型可根据实际力学特性确定；

**5** 消能器恢复力模型参数应通过试验确定或验证。

**4.3.2** 消能部件应具有足够的刚度，并宜符合下列规定：

**1** 金属消能器和摩擦型消能器与斜撑、墙墩和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宜符合下式规定：

   （4.3.2-1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——消能部件沿消能器消能方向的刚度； |
|  | ——消能器有效刚度。 |

**2** 液体黏滞消能器与斜撑、墙墩和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宜符合下式规定：

   （4.3.2-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——消能部件沿消能器消能方向的刚度； |
|  | ——消能器的线性阻尼系数，非线性消能器可采用等效线性阻尼系数； |
|  | ——消能建筑结构的基本自振周期。 |

**4.3.3** 振型分解反应谱法计算时，金属消能器和摩擦型消能器取有效阻尼和有效刚度；黏滞消能器取有效阻尼。消能器附加给主体结构的有效刚度和有效阻尼应按下列规定计算：

1 金属消能器和摩擦型消能器有效刚度可取消能器目标位移时的割线刚度；

2 按能量法确定消能器有效阻尼时，应符合下列规定：

**1）**有效阻尼比可按下式计算：

  (4.3.3-1)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——采用消能减震技术的结构的附加有效阻尼比； |
|  | ——第j个消能部件在结构预期层间位移下往复循环一周所消耗的能量； |
|  | ——设置消能部件的结构在预期位移下的总应变能。 |

**2）** 不计扭转影响时，采用消能减震技术的结构在水平地震作用下的总应变能，可按下式估算：

 (4.3.3-2)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——第层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力，kN； |
|  | ——剪力系数，不应小于表3.3.6规定的楼层最小地震剪力系数值； |

**3）** 速度线性液体黏滞消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

 (4.3.3-3)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——消能减震结构的基本自振周期； |
|  | ——第个消能器的线性阻尼系数； |
|  | ——第个消能器的消能方向与水平面的夹角； |
|  | ——第个消能器两端的相对水平位移。 |

**4）**非线性液体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：

  （4.3.3-4）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——第层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力，kN； |
|  | ——剪力系数，不应小于表3.3.6规定的楼层最小地震剪力系数值； |

表4.3.3值

|  |  |
| --- | --- |
| 阻尼指数 | 值 |
| 0.10 | 3.82 |
| 0.15 | 3.78 |
| 0.20 | 3.74 |
| 0.25 | 3.70 |
| 0.30 | 3.66 |
| 0.40 | 3.58 |
| 0.50 | 3.50 |
| 0.75 | 3.30 |
| 1.00 | 3.10 |

注：其他阻尼指数对应的值可线性插值。

**5）** 金属消能器和摩擦型消能器在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下式估算：

 (4.3.3-5)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——第层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力，kN； |

**3** 采用自由振动衰减法确定消能器等效阻尼时，等效阻尼比可按下列公式计算：

 (4.3.3-6)

  (4.3.3-7)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——振幅对数衰减率； |
|   | ——第*n*周期和第*n+m*周期振幅，*m*为两振幅间相隔的周期数。； |

**4**  采用消能器消能与模态阻尼消能比法确定消能器有效阻尼时，有效阻尼比可按下列公式计算：

 （4.3.4-8）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——消能减震主体结构的固有模态阻尼比； |
|  | ——时间段内消能器消耗的能量； |
|  | ——时间段内主体结构固有模态阻尼消耗的能量； |
|  | ——消能减震结构附加有效阻力比，取震动最大时段的数值； |
|  | ——有效阻尼比折减系数，一般取0.9-0.95。 |

**5** 采用振型分解反应谱法计算时，消能部件附加给结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%取值。

**6** 多遇地震和罕遇地震下消能器附加给主体结构的有效阻尼比应分别计算。

**4.3.4** 采用液体黏滞消能器时，多遇地震作用下消能子结构的内力宜按弹性时程分析法确定，地震波采用不少于3条人工模拟加速度时程，并取包络值。

**4.3.5**下列情况应采用弹性时程分析进行多遇地震下的补充验算：

**1** 特别不规则结构、甲类建筑及表4.3.5所列高度范围的高层建筑；

**2** 消能器附加给结构的有效阻尼比大于20%的建筑；

**3** 消能器沿竖向布置不均匀时。

表4.3.5 采用时程分析的房屋高度范围

|  |  |
| --- | --- |
| 烈度、场地类别 | 房屋高度范围 |
| 7度和8度I、II类场地 | >90m |
| 8度III、IV类场地 | >70m |
| 9度 | >50m |

4.4 结构承载力验算

**4.4.1** 结构构件的抗震验算应按下式进行：

   （4.4.1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——结构构件内力设计值；有关的作用分项系数和组合值系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定或按本标准规定采用。A类和B类建筑的构件内力设计值按《建筑抗震鉴定标准》GB50023调整，C类建筑的构件内力设计值按《建筑抗震设计规范》GB50011调整。； |
|  | ——结构构件承载力设计值，按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定采用。 |
|  | ——抗震承载力调整系数，除本标准各章节另有规定外，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定采用。 |

**4.4.2** 采用消能减震技术进行结构加固设计时，消能子结构的截面抗震验算应符合下列规定：

**1** 丙类建筑消能子结构的地震作用效应调整、结构构件承载力抗震调整系数和结构构件内力设计值均应按国家现行规范乙类建筑的有关规定确定；

**2** 消能子结构的性能应满足罕遇地震下极限承载力的要求；

**3** 消能部件由梁单独承载时，梁的承载力应符合下式规定：

 (4.4.2)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中   | ——重力荷载代表值作用的效应标准值； |
|  | ——罕遇水平地震作用标准值的效应，不考虑与抗震等级有关的调整系数； |
|  | ——按材料最小极限强度计算的承载力；混凝土强度可取立方强度0.88倍、钢筋强度可取屈服强度标准值的1.25倍、钢材强度可取屈服强度标准值的1.5倍。 |

**4** 消能部件采用高强度螺栓或焊接连接时，消能子结构节点设计应计入附加内力影响；

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

**4.4.3** 既有A、B、C类钢筋混凝土房屋的抗震构造措施不符合本标准相关规定时，可采用楼层综合抗震能力指数法按下式进行验算：

  (4.4.3-1)  (4.4.3-2)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——平面结构楼层综合抗震能力指数。大于等于1.0时，应认为满足要求；当小于1.0时，应采取加固或其他相应措施； |
|  | ——体系影响系数，A类建筑可按本标准第4.4.4条确定；B类建筑可按本标准4.4.5条确定；C类建筑可按本标准第4.4.6条确定； |
|  | ——局部影响系数，按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023的有关规定取值； |
|  | ——楼层屈服强度系数； |
|  | ——楼层既有受剪承载力，可按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023附录C计算，同时计入消能部件的承载力； |
|  | ——多遇地震下楼层弹性地震剪力设计值。 |

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

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

**2** 当各项构造均符合非抗震设计规定时，可取0.8；

**3** 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，体系影响系数在第1、2款基础上再乘以0.8~1.0。

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

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

**2** 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 A类房屋鉴定规定时，可取0.8。

**3** 结构受损伤或发生倾斜但已修复纠正的，体系影响系数在第1、2款基础上再乘以0.8~1.0。

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

**1** 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定时，可取1.0。

**2** 当各项构造均符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 B类房屋鉴定规定时，可取0.7。

**3** 当各项构造均符合国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 的有关规定时，框架结构可取0.8；其他结构可取0.9。

**4** 结构受损伤或发生倾斜但已修复（加固）纠正的，体系影响系数在第1、2款基础上再乘以0.8~1.0。

4.5 结构变形验算

**4.5.1** 在预期的罕遇地震作用下，加固后结构应进行弹塑性计算，弹塑性变形计算应符合下列规定：

**1** 采用黏滞消能器加固的建筑应采用动力弹塑性分析方法。

**2** 除第1款以外的建筑结构可采用静力弹塑性分析方法或动力弹塑性分析方法。弹塑性时程分析应采用双向或三向地震输入。

**4.5.2**结构进行弹塑性计算分析应符合下列规定：

**1** 主体建筑的梁、柱、斜撑、抗震墙、楼板等结构构件，应根据实际情况和分析精度要求采用合适的计算模型。

**2** 计算模型中构件的几何尺寸、混凝土构件所配的钢筋和型钢、钢构件等应按实际情况计算。

**3** 应合理取用钢筋、钢材、混凝土材料的力学性能指标以及本构关系。钢筋和混凝土材料的本构关系可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的有关规定采用；钢材的本构关系可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017的有关规定采用。

**4** 应计入几何非线性影响。

**5** 应计入消能器的非线性特性，计算模型应满足本标准第4.3.1条的规定。

**6** 应计入加固措施对结构及构件内力重分布的影响。

**4.5.3** 采用消能减震技术加固后，结构的抗震变形验算应符合下列规定：

**1** 多遇地震作用下的结构弹性层间位移角限值应按表4.5.3-1取值。

表4.5.3-1结构消能减震加固后弹性层间位移角限值

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | [θe] |
| 钢筋混凝土框架 | 1/550 |
| 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑、板柱-屈曲约束支撑 | 1/550 |
| 钢筋混凝土框架－抗震墙、板柱－抗震墙、框架－核心筒 | 1/800 |
| 钢筋混凝土抗震墙、筒中筒 | 1/1000 |
| 钢筋混凝土框支层 | 1/1000 |
| 多、高层钢结构 | 1/250 |

**2** A类建筑消能减震加固后弹塑性层间位移角限值不应大于表4.5.3-2的限值要求。B和C类建筑消能减震加固后弹塑性层间位移角限值不应大于表4.5.3-3的限值要求。

表4.5.3-2 A类建筑消能减震加固后弹塑性层间位移角限值

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | [θp] |
| 钢筋混凝土框架 | 1/100 |
| 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑、板柱-屈曲约束支撑 | 1/100 |
| 钢筋混凝土框架－抗震墙、板柱－抗震墙、框架－核心筒 | 1/130 |
| 钢筋混凝土抗震墙、筒中筒 | 1/140 |
| 多、高层钢结构 | 1/70 |

表4.5.3-3 B、C类建筑消能减震加固后弹塑性层间位移角限值

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | [θp] |
| 钢筋混凝土框架 | 1/50 |
| 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑、板柱-屈曲约束支撑 | 1/50 |
| 钢筋混凝土框架－抗震墙、板柱－抗震墙、框架－核心筒 | 1/100 |
| 钢筋混凝土抗震墙、筒中筒 | 1/120 |
| 多、高层钢结构 | 1/50 |

**4.5.4** 复杂结构、超高层结构等建筑可计算构件受力变形，按3.6.5条性能水准1确定结构多遇地震下弹性位移角限值。

1. 消能器的技术性能及检验

5.1 一般要求

**5.1.1** 消能器的设计工作年限不宜小于建筑物加固后续工作年限。当消能器设计工作年限小于建筑物的后续工作年限时，消能器达到工作年限时应及时检测，重新确定消能器后续工作年限或更换。

**5.1.2** 应用于消能减震加固工程中的消能器应符合下列规定：

 **1** 消能器应具有型式检验报告、出厂检验报告和见证检验报告；

  **2** 消能器的见证试验及型检试验应由独立的第三方检验机构完成；

 **3** 检测的数量和要求应符合设计文件和本规程相关规定的要求。

**5.1.3**  消能器的外观应符合下列规定：

**1**消能器外表应光滑，无明显缺陷。

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

**3** 消能器的尺寸偏差应符合本标准有关规定。

**4** 消能器外观应符合本标准有关规定。

**5.1.4**消能器的性能应符合下列规定：

**1** 消能器中非消能构件的材料应达到设计强度要求，设计时荷载应按消能器1.5倍设计阻尼力选取，应保证消能器中构件在罕遇地震作用下能正常工作。

**2** 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。

**5.1.5**消能器应具有良好的抗疲劳、抗老化性能，相关指标应同时满足《建筑消能消能器》JG/T 209和《建筑消能减震技术规程》JGJ 297中相关规定要求；消能器工作环境应满足环境适应性的要求，不满足时应有保温、除湿、防紫外线、定期防锈等措施。

**5.1.6**消能器宜经过消能减震结构或子结构力学性能试验，验证消能器的性能和减震效果。

5.2 黏滞消能器和黏滞阻尼墙

**5.2.1** 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的外观应符合下列规定：

**1** 产品外观应表面平整，无机械损伤，无锈蚀，无渗漏，标记清晰。

**2** 产品各构件尺寸允许偏差应符合表5.2.1规定。

表5.2.1 黏滞消能器和黏滞阻尼墙各部件尺寸偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 检验项目 | 允许偏差 |
| 黏滞消能器长度、黏滞阻尼墙高度 | 不超过产品设计值的±3mm |
| 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的截面有效尺寸 | 不超过产品设计值的±2mm |

**5.2.2** 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的材料应符合下列规定：

**1**产品的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、无毒和抗老化性能强。

**2** 用于制作产品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现行国家标准《优质碳素结构钢》GB/T 699的规定；合金结构钢应符合现行国家标准《合金结构钢》GB/T 3077的规定；结构用无缝钢管应符合现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162的规定；不锈钢棒应符合现行国家标准《不锈钢棒》GB/T 1220的规定，不锈钢管应符合现行国家标准《流体输送用不锈钢无缝钢管》GB/T 14796的规定。

**3**产品的密封材料应选择高强度、耐磨、耐老化的密封材料。

**5.2.3** 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的力学性能要求，应符合表5.2.3的规定。

表5.2.3黏滞消能器和黏滞阻尼墙力学性能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 极限位移和摩擦力 | 当设计容许位移小于80mm时，实测值不应小于黏滞消能器设计容许位移的1.5倍；当设计容许位移大于等于80mm小于等于100mm时，实测值不应小于120mm；当设计容许位移大于100mm时实测值不应小于黏滞消能器设计容许位移的1.2倍。摩擦力不应超过最大阻尼力设计值的10%。 |
| 最大阻尼力 | 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 |
| 阻尼指数 |
| 滞回曲线 | 实测滞回曲线应光滑，无异常 |

**5.2.4** 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的耐久性能要求，应符合表5.2.4的规定，且要求消能器在试验后无渗漏、无裂纹。若为无密封的黏滞阻尼墙可不做密封性能试验。

表5.2.4黏滞消能器和黏滞阻尼墙疲劳性能和耐久性要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | 变化率在±15%以内 |
| 滞回曲线 | 工作位移下进行60次循环加载，滞回曲线光滑饱满、无异常 |
| 密封性能 | 无渗漏，且阻尼力的衰减值不大于5% |
| 耐腐蚀性能 | 目测无锈蚀 |

注：表中的“工作位移”，型式检验时取消能器的极限位移，出厂检验和抽样检验时取设计容许位移。

**5.2.5** 黏滞消能器和黏滞阻尼墙的加载频率相关性能和温度相关性能要求，应符合表5.2.5的规定。

表5.2.5黏滞消能器和黏滞阻尼墙加载频率相关性能和温度相关性能要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 加载频率相关性温度相关性 | 最大阻尼力 | 变化率在±15%以内 |
| 滞回曲线 | 滞回曲线应光滑，无异常 |

5.3 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙

**5.3.1** 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的外观应符合下列规定：

**1**要求产品钢板应平整、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。

**2**黏弹性材料表面应密实、平整。

**3**黏弹性材料与薄钢板之间应密实、无裂缝。

**4**产品的尺寸偏差符合表5.3.1规定。

表5.3.1 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙各部件尺寸偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 允许偏差 |
| 黏弹性消能器长度、黏弹性阻尼墙高度 | 产品设计值的±3mm以内 |
| 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的截面有效尺寸 | 产品设计值的±3mm以内 |

**5.3.2** 黏弹性消能器的主要材料应符合下列规定：

**1**橡胶类黏弹性材料质量指标应符合表5.3.2规定。

表5.3.2黏弹性材料质量指标

| 项 目 | 性能指标 |
| --- | --- |
| 拉伸强度，MPa | ≥13 |
| 扯断伸长率，% | ≥500 |
| 扯断永久变形（70℃，24h），% | ≤35 |
| 热空气老化70℃168h | 拉伸强度变化率，% | ≤25 |
| 扯断伸长变化率，% | ≤40 |
| (0~40)℃ 工作频率材料损耗因子 | ≥0.3 |
| 钢板与阻尼材料之间的黏合强度（90°剥离法），kN/m | ≥6 |

**2**产品的钢材质量指标应符合GB /T700中碳素结构钢Q235或低合金钢的要求。

**3**黏弹性材料在火灾发生过程中不应产生有毒气体。

**5.3.3** 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的力学性能应符合表5.3.3的规定。

表5.3.3黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙力学性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 极限变形 | 实测值不小于产品设计值，且不应小于设计位移的1.2倍 |
| 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 |
| 表观剪切模量 |
| 损耗因子 |
| 滞回曲线 | 实测滞回曲线应光滑，无异常 |

**5.3.4** 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的耐久性（老化性能、疲劳性能和防腐性能）应符合表5.3.4的规定。

表5.3.4 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的疲劳性能和耐久性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 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%以内 |
| 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%以内 |
| 外观 | 目测无变化 |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力、表观剪切模量、损耗因子 | 倒数第2圈的实测值应在第3圈实测值的±15%以内 |
| 滞回曲线 | 工作位移下进行两次连续往复加载，每次加载30圈，两次加载间隔不超过24h，滞回曲线光滑饱满、无异常，且倒数第2圈与第3圈相比形状无明显变化。 |
| 外观 | 目测无变化 |
| 耐腐蚀性能 | 外观 | 目测无锈蚀 |

注：表中的“工作位移”，型式检验时取消能器的极限位移，出厂检验和抽样检验时取设计容许位移。

**5.3.5** 黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙的最大阻尼力的变形相关性能、频率相关性能和温度相关性能的试验值应分别随变形、频率和温度的变化而连续变化，其试验值不应发生突变。

5.4 金属消能器

**5.4.1**金属消能器的外观应符合下列规定：

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

**2**金属消能器尺寸偏差应为±2mm。

**5.4.2**金属消能器的材料应符合下列规定：

**1**金属消能器可采用钢材、铅等材料制作。

**2**采用钢材制作的金属消能器的消能部分宜采用屈服点较低和高延伸率的钢材，钢板的厚度不宜超过80mm，钢棒直径根据实际情况确定，应具有较强的塑形变形能力和良好的焊接性能。

**3** 软钢屈服型消能器耗能段宜采用低屈服点钢制作，其材料基本力学性能指标应符合《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905的规定，见表5.4.2；软钢屈服型消能器的低屈服点钢力学性能指标应符合GB/T 700或GB/T 3077的规定。

表5.4.2 低屈服点钢基本力学性能

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌号 | 下屈服强度（MPa） | 抗拉强度（MPa） | 屈强比 | 断后伸长率（％） |
| LY100 | 80～120 | 200～300 | ≤0.60 | ≥50 |
| LY160 | 140～180 | 220～320 | ≤0.80 | ≥45 |
| LY225 | 205～245 | 300～400 | ≤0.80 | ≥40 |

**4**金属消能器中材料应符合现行行业标准《建筑消能消能器》JG/T 209的规定。

**5.4.3**金属消能器的力学性能要求，应符合表5.4.3规定。

表5.4.3 金属消能器力学性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 屈服承载力 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 最大承载力 |
| 屈服位移 |
| 极限位移 | 实测值不应小于1.2倍产品设计值 |
| 弹性刚度 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 第2刚度 |
| 滞回曲线 | 实测滞回曲线光滑、无异常 |

**5.4.4**金属屈服型消能器的耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能。其耐久性能应符合表5.4.4的规定。

表5.4.4 金属屈服型消能器疲劳性能和耐久性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 疲劳性能 | 工作位移下进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h，滞回曲线光滑饱满、无异常，最大承载力变化率在±15%以内。 |
| 耐腐蚀性能 | 暴露在空气中的部位，涂层干漆膜厚度应不小于150μm |

注：表中的“工作位移”，型式检验时取消能器的极限位移，出厂检验和抽样检验时取设计容许位移。

**5.4.5**金属消能器整体稳定和局部稳定应符合现行国家标准《钢结构设计规范》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，不能产生翘曲和侧向失稳。

5.5 屈曲约束耗能支撑

**5.5.1**屈曲约束耗能支撑的外观应符合下列规定：

**1**屈曲约束耗能支撑产品外观应标志清晰、表面平整、无锈蚀、无毛刺、无机械损伤，外表应采用防锈措施，涂层应均匀。

**2**消能段与非消能段应光滑过渡，不应出现缺陷。

**3**屈曲约束耗能支撑各部件尺寸偏差应符合表5.5.1的规定。

表5.5.1 屈曲约束耗能支撑各部件尺寸偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 允许偏差 |
| 支撑长度 | 产品设计值（-5~0）mm |
| 支撑横截面有效尺寸 | 产品设计值的±2mm以内 |
| 支撑侧弯矢量 | L/1000，且≤10mm |
| 支撑扭曲 | h(d)/250，且≤5mm |
| 注：L——支撑长度；h——支撑套管截面较大边长；d——支撑外径 |

**4** 用于制作屈曲约束耗能支撑的钢材应根据设计需要进行选择，核心单元宜采用低屈服点钢材和碳素结构钢，也可采用合金结构钢，其质量指标应符合国家标准GB/T 28905、GB/T 700、GB/T 3077或GB/T19879的规定，且伸长率应大于25%，屈强比应小于80%，常温下冲击功韧性应大于27J。

约束单元一般采用炭素结构钢或合金结构钢，钢材性能指标应符合GB/T 700或GB/T 3077的规定。

**5.5.2**屈曲约束耗能支撑力学性能应符合表5.5.2的规定。

表5.5.2 屈曲约束耗能支撑力学性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 屈服承载力 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 最大承载力 | 实测值不应超过产品设计值的1.1倍 |
| 屈服位移 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 极限位移 | 不应小于支撑长度的1/80 |
| 弹性刚度 | 实测值偏差应在产品设计值的±15%以内；实测值偏差的平均值应在产品设计值的±10%以内 |
| 第2刚度 |
| 滞回曲线 | 实测滞回曲线光滑饱满、无异常,且每一级变形的最后一次循环所测得承载力不低于当级加载中最大承载力的85%。历经最大承载力不高于屈曲约束耗能支撑最大承载力设计值的1.1倍 |

**5.5.3**屈曲约束耗能支撑的耐久性包括疲劳性能和耐腐蚀性能。其耐久性能应符合表5.5.3的规定。

表5.5.3 屈曲约束耗能支撑疲劳性能和耐久性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性 能 指 标 |
| 疲劳性能 | 工作位移下进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h，滞回曲线光滑饱满、无异常，最大承载力变化率在±15%以内。 |
| 耐腐蚀性能 | 支撑暴露在空气中的部位，涂层干漆膜厚度应不小于150μm |

注：表中的“工作位移”，型式检验时取消能器的极限位移，出厂检验和抽样检验时取设计容许位移。

5.6 摩擦消能器

**5.6.1**摩擦消能器的外观应符合下列规定：

**1** 钢板平整、无锈蚀、无毛刺，标记清晰。钢板坡口焊接，焊缝一级、平整。

**2** 摩擦材料表面密实、平整。

**3** 摩擦消能器各部件尺寸偏差应符合表5.6.1的规定。

表5.6.1 摩擦消能器各部件尺寸允许偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 允许偏差 |
| 摩擦消能器长度 | 产品设计值的±3mm以内 |
| 摩擦消能器截面有效尺寸 | 产品设计值的±2mm以内 |
| 封闭外筒或外箱尺寸 | 产品设计值的±2mm以内 |

**5.6.2**摩擦消能器的材料应符合下列规定：

**1**摩擦材料可采用复合摩擦材料、金属类摩擦材料和聚合物类摩擦材料等。

**2** 摩擦材料可采用模压树脂基或橡胶基类摩擦材料，性能指标应符合《工农业机械用摩擦片》（GB/T 11834）中相关摩擦材料的要求，也可采用烧结金属类摩擦材料，性能指标应符合《烧结金属摩擦材料技术条件》（JB/T3063）要求。

**3**钢材性能指标应符合《耐候结构钢》GB/T 4171中的要求。冷轧不锈钢性能指标应符合《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280中的要求。热轧不锈钢性能指标应符合《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237中的要求。

1. **4** 螺栓性能指标应符合《六角头螺栓》（GB/T 5782）或《六角头螺栓全螺纹》（GB/T 5783）中的要求。

**5** 弹性垫片采用碟形弹簧，性能指标应符合《碟形弹簧》（GB/T 1972）中的要求。

**6**摩擦消能器的性能主要由预压力和摩擦片的动摩擦系数确定，摩擦型消能器在正常使用过程中预压力变化不宜超过初始值的10%。消能器在间隔不小于180天内进行两次检测的试验结果，其主要性能指标偏差不能大于规范要求15%。

**7**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可由下式确定，且不应少于2个：

 （5.6.2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——传力摩擦面数； |
|  | ——摩擦面的抗滑移系数，可按表5.6.2-1采用； |
|  | ——每个高强度螺栓的预压力（kN），可按表5.6.2-2采用； |
|  | ——摩擦消能器最大阻尼力（kN）。 |

表5.6.2-1 摩擦面的抗滑移系数值

|  |  |
| --- | --- |
| 连接处构件表面处理方法 | 构件的钢号 |
| Q235 | Q324 | Q390 |
| 喷砂（丸） | 0.45 | 0.50 | 0.55 |
| 喷砂（丸）后涂无机富锌漆 | 0.35 | 0.40 | 0.40 |
| 喷砂（丸）后生赤锈 | 0.45 | 0.50 | 0.50 |
| 钢丝刷消除浮锈或未经处理的干净轧制表面 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |

表5.6.2-2 每个高强度螺栓预拉力P值

|  |  |
| --- | --- |
| 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 |

**8**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。

**9**摩擦消能器中的受力元件应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

**5.6.3**摩擦消能器力学性能要求，应符合表5.6.3规定。

表5.6.3 摩擦消能器力学性能

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 性能指标 |
| 起滑摩擦力 | 起滑摩擦力的实测值不宜大于最大滑动摩擦力的1.1倍 |
| 初始刚度 | 初始刚度的实测值不应小于设计值的85% |
| 极限位移 | 极限位移值不应小于极限位移设计值 |
| 滑动摩擦力 | 滑动后每级加载的第2～5个循环，每个循环的滑动摩擦力实测值与设计值相比，偏差在±15%以内；各循环的滑动摩擦力实测平均值与设计值相比，偏差在±10%以内。每级加载最大位移处的摩擦力实测值与零位移处摩擦力实测值相比，偏差在±5%以内 |
| 滞回曲线 | 实测滞回曲线光滑、无异常。在同一测试条件下，第2圈以后的任一循环中滞回曲线包络面积实测值与产品设计值相比，偏差不应超过±15%；各循环中滞回曲线包络面积实测平均值与产品设计值相比，偏差不应超过±10% |

**5.6.4** 摩擦消能器的耐久性包括疲劳性能、耐久性能，应符合表5.6.4的规定。

表5.6.4 摩擦消能器疲劳性能和耐久性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 疲劳性能 | 滑动摩擦力 | 循环加载自第2圈起，任一循环的最大、最小滑动摩擦力实测值与设计值相比，偏差在±20%以内。循环加载自第2圈起，任一循环的最大、最小滑动摩擦力实测值与所有循环的最大、最小滑动摩擦力实测平均值相比，偏差在±15%以内 |
| 滞回曲线 | 工作位移下进行两次连续往复加载，每次加载不少于30圈，两次加载间隔不超过24h，任一循环的滞回曲线面积实测值与所有循环的滞回曲线面积实测平均值相比，偏差在±15%以内 |
| 耐久性能 | 滑动摩擦力 | 滑动摩擦力平均值与初次检测滑动摩擦力平均值相比，偏差在±10%以内 |
| 滞回曲线 | 所有循环的滞回曲线形状不应明显异常 |

注：表中的“工作位移”，型式检验时取消能器的极限位移，出厂检验和抽样检验时取设计容许位移。

**5.6.5**摩擦消能器宜实施保养，定期检查摩擦片的氧化、磨耗和锈蚀。

5.7 复合型消能器

**5.7.1** 复合型消能器的外观应符合下列规定：

**1** 消能器外观应平整、光滑、无锈蚀、无明显缺陷，标识清晰；

**2** 消能器的防腐、除锈和防火应满足本标准第5.1.2节规定；

**3** 消能器的尺寸偏差应根据复合消能器的具体特点，并参考本标准第5.2-5.6节相关类型消能器的规定综合考虑确定。

**5.7.2**复合型消能器的性能应满足本标准第5.1节规定，并参考本标准第5.2-5.6节相关类型消能器的性能综合考虑确定。

5.8 消能器性能检验

**5.8.1**消能器出厂检验和第三方抽样检验应符合下列规定：

**1**对于黏滞消能器和黏滞阻尼墙，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的20%，且不应少于2个，检验合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检验合格后，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。

**2**对于黏弹性消能器和黏弹性阻尼墙，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的3%，但不应少于2个，检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的消能器不应用于主体结构。

**3**对于金属剪切型消能器、金属弯曲型消能器、摩擦消能器和复合型消能器，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类型消能器中抽检总数量的3%，但不应少于2个，检测合格率为100%，该批次产品可用于主体结构，检测后的消能器不应用于主体结构。

**4**对于屈曲约束耗能支撑，抽检数量不少于同一工程同一类型同一规格数量的3%，当同一类型同一规格的消能器数量较少时，可在同一类的屈曲约束支撑中抽检总数量的3%，但不少于2个，检验支撑的工作性能和拉压反复荷载作用下的滞回性能，检验合格率为100%，该批次产品可用于主体结构。检测后的屈曲约束支撑不应用于主体结构。

**5** 消能器出厂检验可与第三方抽样检验共同进行。

**6** 检测内容见附录B。

**5.8.2**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。

**5.8.3**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。

1. 多高层钢筋混凝土结构

6.1 一般规定

**6.1.1**本章可用于现浇及装配式钢筋混凝土框架结构、框架－抗震墙结构、抗震墙结构、框架－核心筒结构、筒体结构、板柱－抗震墙结构以及板柱结构的消能减震加固。

**6.1.2**消能减震加固后房屋适用高度应符合下列规定：

**1** 后续工作年限少于50年的A、B类房屋应符合表6.1.2的规定；

**2** 后续工作年限50年的C类房屋应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定。

表6.1.2 A、B类钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | 烈度 |
| 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| 框架结构 | 70 | 55 | 45 | 25 |
| 框架－抗震墙结构 | 150 | 120 | 100 | 50 |
| 抗震墙结构 | 150 | 120 | 100 | 60 |
| 框架－核心筒结构 | 150 | 130 | 100 | 90 |
| 部分框支抗震墙结构 | 130 | 100 | 80 | / |
| 板柱－抗震墙结构 | 110 | 70 | 55 | / |
| 板柱－屈曲约束支撑结构 | 60 | 50 | 40 | 20 |

注： 1、房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度，不包括局部突出屋顶部分；

2、本章中的“抗震墙”指结构抗侧力体系中的钢筋混凝土抗震墙，不包括只承担重力荷载的混凝土墙；

3、乙类建筑可按本地区抗震设防烈度确定适用的最大高度；

4、当框架高度超过表中规定时，采用屈曲约束支撑加固的结构高度可按附录A的规定取值。

**6.1.3**现有钢筋混凝土房屋根据后续工作年限确定应采取的抗震措施，并应符合下列规定：

**1** 后续工作年限为50年的C类建筑应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定确定抗震等级。

**2** 后续工作年限为40年的B类建筑应按表6.1.3确定抗震等级。

**3** 后续工作年限为30年的A类建筑应按《建筑抗震鉴定标准》GB50023 的有关规定执行。

**4** 乙类建筑可按规定提高一度确定其抗震措施，房屋高度超过相应规定的上限时，应采取更有效的抗震构造措施。

表6.1.3 B类钢筋混凝土结构的抗震等级

|  |  |
| --- | --- |
| 结构类型 | 烈度 |
| 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| 框架结构 | 房屋高度（m） | ≤25 | >25 | ≤35 | >35 | ≤35 | >35 | ≤25 |
| 框架 | 四 | 三 | 三 | 二 | 二 | 一 | 一 |
| 框架－抗震墙结构 | 房屋高度（m） | ≤50 | >50 | ≤60 | >60 | <50 | 50~80 | >80 | ≤25 | >25 |
| 框架 | 四 | 三 | 三 | 二 | 三 | 二 | 一 | 二 | 一 |
| 抗震墙 | 三 | 二 | 二 | 一 | 一 |
| 抗震墙结构（部分框支抗震墙结构） | 房屋高度（m） | ≤60 | >60 | ≤80 | >80 | <35 | 35~80 | >80 | ≤25 | >25 |
| 一般抗震墙 | 四 | 三 | 三 | 二 | 三 | 二 | 一 | 二 | 一 |
| 有框支层的落地抗震墙 | 三 | 二 | 二 | 二 | 一 | / | / |
| 框支层框架 | 三 | 二 | 二 | 一 | 二 | 一 |
| 框架－核心筒结构 | 框架 | 三 | 二 | 二 | 一 |
| 核心筒 | 二 | 二 | 一 | 一 |
| 板柱－抗震墙 | 高度（m） | ≤35 | >35 | ≤35 | >35 | ≤35 | >35 | 不宜采用 |
| 框架、板柱的柱 | 三 | 二 | 二 | 二 | 一 |
| 抗震墙 | 二 | 二 | 二 | 二 | 二 | 一 |
| 板柱－屈曲约束支撑结构 | 房屋高度 | ≤40 | >40 | ≤30 | >30 | ≤25 | >25 | ≤25 |
| 柱 | 三 | 二 | 三 | 二 | 二 | 一 | 一 |

**6.1.4** 当房屋高度超过6.1.2条规定的钢筋混凝土框架结构最大适用高度，采用屈曲约束支撑加固时，应按附录A的规定进行抗震设计。

**6.1.5** 采用消能减震技术加固后，仍需要加固的钢筋混凝土结构构件可按国家现行标准的有关方法进行加固。

6.2 计算要点

**6.2.1**后续工作年限为40年的B类房屋应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023的规定进行内力调整。

**6.2.2**后续工作年限为50年的C类房屋应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定进行内力调整。

6.3 基本构造措施

**6.3.1** 后续工作年限30年的A类房屋的构造措施宜满足现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023的 A类钢筋混凝土房屋抗震鉴定中第一级鉴定的相关要求。消能子结构的构造措施宜符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023的 B类钢筋混凝土房屋抗震鉴定中抗震措施鉴定的相关规定。

**6.3.2** 后续工作年限为40年的B类房屋的构造措施宜符合现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023的 B类钢筋混凝土房屋抗震鉴定中抗震措施鉴定的相关规定。

**6.3.3** 后续工作年限为50年的C类房屋的构造措施应符合国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB50011、《混凝土结构设计规范》GB 50010和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3的有关规定。

**6.3.4** 当抗震墙的翼墙长度不小于其3倍厚度或端柱截面不小于2倍墙厚时，其对应位置的构造边缘构件或约束边缘构件的抗震构造措施可按抗震等级降低一级考虑。

**6.3.5** 当连梁跨高比小于5时，双肢墙洞口两侧构造边缘构件或约束边缘构件的抗震构造措施可适当降低，但降低不宜超过一级且不得低于6度的抗震等级要求。

**6.3.6** 钢筋混凝土结构采用消能减震技术进行加固设计时，可根据罕遇地震作用下的楼层弹塑性位移角确定相应的抗震构造措施，并宜符合下列规定：

**1** 罕遇地震下最大层间位移角不大于1.2[Δue]时，可按非抗震的构造措施采用。

**2** 罕遇地震下最大层间位移角不大于2.0[Δue]时，B、C类钢筋混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低二度且不低于6度采用，A类钢筋混凝土房屋宜按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 不低于A类建筑的构造措施采用。

**3** 罕遇地震下最大层间位移角不大于4.0[Δue]时，B、C类钢筋结构混凝土房屋可按常规设计的有关规定降低一度且不低于6度采用，A类钢筋结构混凝土房屋应按现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB50023 的A类房屋构造措施采用。

**4** 弹性层间位移角限值[Δue]应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的规定。

**6.3.7** 钢筋混凝土柱箍筋加密区最小配箍特征值可根据罕遇地震下楼层弹塑性位移角，按表6.3.7取值。

表6.3.7 钢筋混凝土柱箍筋加密区最小配箍特征值

|  |  |
| --- | --- |
| 位移角 | 柱轴压比 |
| ≤0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 1/50 | 0.110 | 0.130 | 0.150 | 0.170 | 0.200 | 0.230 |
| 1/75 | 0.043 | 0.057 | 0.072 | 0.086 | 0.101 | 0.115 |
| 1/100 | 0.024 | 0.035 | 0.046 | 0.057 | 0.068 | 0.079 |
| 1/150 | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.032 | 0.040 |

**6.3.8** 钢筋混凝土梁加密区的最小配箍特征值可根据罕遇地震下梁反弯点处弹塑性位移角，按表6.3.8取值。

表6.3.8钢筋混凝土梁加密区最小配箍特征值

|  |  |
| --- | --- |
| 位移角 | λv |
| ξu=0.15 | ξu=0.20 | ξu=0.25 | ξu=0.30 | ξu=0.35 |
| 1/50 | 0.051  | 0.064  | 0.077  | 0.090  | 0.103  |
| 1/75 | 0.022  | 0.031  | 0.039  | 0.048  | 0.057  |
| 1/100 | 0.008  | 0.014  | 0.021  | 0.027  | 0.034  |

 注：ξu为框架梁相对受压区高度

**6.3.9** 钢筋混凝土抗震墙约束边缘构件最小配箍特征值可根据罕遇地震下楼层弹塑性位移角，按表6.3.9取值。

表6.3.9钢筋混凝土抗震墙约束边缘构件最小配箍特征值

|  |  |
| --- | --- |
| 位移角 | λv |
| ξ=0.10 | ξ=0.15 | ξ=0.20 | ξ=0.25 |
| 1/100 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.20 |
| 1/150 | 0.08 | 0.10 | 0.14 | 0.17 |

 注：ξ为抗震墙相对受压区高度

**6.3.10**子结构框架柱加密区箍筋间距不小于200mm且轴压比大于0.6时，应进行加固。

6.4 消能子结构加固方法

**6.4.1** 采用消能减震技术加固后钢筋混凝土柱承载力不满足本标准相关规定时，可按下列情况确定加固方法：

**1** 受弯承载力不符合本标准规定时，可采用增大截面、外包型钢或粘贴钢板等加固方法。

**2** 柱小偏心受拉承载力不符合本标准规定时，可采用外包型钢或粘贴钢板等加固方法。

**3** 抗剪承载力不符合本标准规定时，可采用增大截面、外包型钢、粘贴纤维复合材、钢丝绳网片－聚合物砂浆面层或粘贴钢板加固方法。

**4** 柱轴压比不符合规定时，可采用增大截面法加固。

**6.4.2**采用消能减震技术加固后钢筋混凝土梁承载力不满足本标准相关规定时，可按下列情况确定加固方法：

1 受弯承载力不符合本标准规定时，可采用外包型钢、粘贴钢板的加固方法。

2 抗剪承载力不符合本标准规定时，可采用外包型钢、粘贴纤维复合材、钢丝绳网片－聚合物砂浆面层加固方法。

**6.4.3**采用消能减震技术加固后钢筋混凝土抗震墙承载力不满足本标准相关规定时，可加厚原有墙体或增设端柱加固。

**6.4.4**采用消能减震技术加固后基础承载力不满足要求时，可按现行国家标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ123的有关规定进行加固。

**6.4.5**钢筋混凝构件构造措施不符合规定时，可采用现行有关标准的加固方法或通过罕遇地震下的弹塑性变形验算结果确定加固方案。

**6.4.6** 采用外包型钢加固时，应符合下列规定：

1外包型钢加固梁时，应在梁的阳角外贴角钢，角钢两端应与柱有可靠连接，角钢应与钢缀板焊接；预制楼板中钢缀板应穿过楼板形成封闭环形；现浇楼板中钢缀板宜穿过楼板形成封闭环形。角钢不宜小于L75mm×8 mm，钢缀板截面不宜小于100mm×8mm，缀板净距，加密区不宜大于150mm，非加密区不宜大于300mm。

2 外包型钢加固柱时，应在柱四角外贴角钢，角钢应穿过楼板，结构顶层角钢应与屋面板可靠连接，结构底层角钢应与基础锚固；角钢不宜小于L100mm×10mm，钢缀板截面不宜小于100mm×10mm；缀板净距，加密区不宜大于200mm，非加密区不宜大于400mm。

3 外包型钢与梁柱混凝土之间应注胶粘剂填实。

1. 外包型钢加固柱按组合截面进行抗震验算时，应符合下列规定：

1) 柱加固后的初始刚度可按下式计算：

  （6.4.6-1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——加固后的初始刚度； |
|  | ——原柱截面的弯曲刚度； |
|  | ——外包角钢的弹性模量； |
|  | ——外包角钢对柱截面形心的惯性矩。 |

2) 柱加固后的正截面受弯承载力可按下式计算：

  （6.4.6-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——加固后柱正截面受弯承载力； |
|  | ——原柱现有正截面受弯承载力； |
|  | ——柱一侧外包角钢的截面面积； |
|  | ——角钢的抗拉强度设计值； |
|  | ——验算方向柱截面高度。 |

3) 柱加固后的斜截面受剪承载力可按下式计算：

  （6.4.6-3）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：   | ——柱加固后的斜截面受剪承载力； |
|  | ——原柱现有斜截面受剪承载力； |
|  | ——原柱现有斜截面受剪承载力； |
|  | ——同一柱载面缀板的截面面积； |
|  | ——缀板的间距（中心距）。 |

**6.4.7** 采用增大截面加固时，应符合下列规定：

1 加固梁时，应将新增纵向钢筋设在梁底面和梁上部，梁纵筋应与柱有可靠的连接；应在纵向钢筋外围设置箍筋，A类钢筋混凝土房屋箍筋直径不宜小于8mm，加密区间距不宜大于100mm，非加密区不宜应大于200mm，B、C类钢筋混凝土房屋，应符合其抗震等级的相关要求。加密区的箍筋应有一半穿过楼板后弯折形成封闭箍。

2 加固柱时，应在柱周围设置纵向钢筋；纵向钢筋遇楼板时应凿洞穿过并上下连接，其根部应伸入基础并符合锚固规定，其顶部应在屋面板处封闭锚固；纵筋应采用锚筋与原框架柱拉结；纵向钢筋周围应设置封闭箍筋，A类钢筋混凝土房屋箍筋直径不宜小于8mm，加密区间距不宜大于100mm，非加密区不宜大于200mm，B、C类钢筋混凝土房屋，应符合其抗震等级的相关要求。

3 宜采用细石混凝土，其强度宜高于原构件一个等级，且不低于C20。

4 加固后的梁柱可作为整体构件进行抗震验算，其现有承载力可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010规定的方法确定。

**6.4.8** 采用粘贴钢板加固时，应符合下列规定：

1 原构件的混凝土实际强度等级不应低于C13；混凝土表面的受拉粘结强度不应低于1.5MPa。粘贴钢板应采用粘结强度高且耐久的胶粘剂；钢板可采用Q235或Q355钢，厚度宜为3mm~5mm。

2 钢板应在加固范围以外进行锚固，受拉时锚固长度不宜小于钢板厚度的200倍，且不宜小于600mm；受压时锚固长度不宜小于钢板厚度的150倍，且不宜小于500mm。

3 粘贴钢板与原有构件应有可靠的连接和固定。

4 胶粘剂的材料性能、加固的构造和承载力验算，可按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367的有关规定执行。

5 被加固构件长期使用的环境和防火要求，应符合国家现行标准的有关规定。

6 粘贴钢板加固时，应卸除作用在梁上的活荷载。

**6.4.9** 粘贴粘贴纤维复合材加固梁柱时，应符合下列规定：

1 梁柱可采用粘贴纤维复合材进行构件抗剪承载力和延性加固。

2 提高构件受剪承载力时，原构件的混凝土实际强度等级不应低于C13；混凝土表面的受拉粘结强度不应低于1.5MPa。提高梁的受剪承载力时，纤维复合材应采用U形箍加纵向压条或封闭箍的方式；提高柱受剪承载力时，纤维复合材宜沿环向螺旋粘贴并封闭，当矩形截面采用封闭环箍时，至少缠绕3圈且搭接长度不应小于200mm。

3 替代箍筋进行柱延性加固时，应采用环形粘贴方法，在柱箍筋加密区范围内满贴，层数不宜少于3层且搭接长度不应小于200mm。

4 纤维复合材和胶粘剂的材料性能、加固的构造和承载力验算，可按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367的有关规定执行。

5 被加固构件长期使用的环境和防火要求，应符合国家现行有关标准的规定。

6 粘贴纤维复合材加固时，应卸除作用在梁上的活荷载。

1. 多高层钢结构

7. 1 一般规定

**7. 1. 1** 本章适用于钢框架结构、钢框架-支撑结构，以及钢框架-抗震墙、钢框架-筒体结构中钢结构部分的消能减震加固。

**7. 1. 2** 采用消能减震技术进行加固的钢结构，A、B类钢结构房屋适用的最大高度应符合表7.1.2的规定，C类钢结构房屋适用的最大高度应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99取用。

表7. 1. 2 A、B类钢结构房屋适用的最大高度（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构类型 | 结构体系 | 抗震设防烈度 |
| 6、7度 | 8度 | 9度 |
| 钢结构 | 框架 | 110 | 90 | 70 |
| 框架-支撑框架-屈曲约束支撑 | 220 | 200 | 140 |
| 框架-筒体（不包括混凝土筒体） | 300 | 260 | 180 |
| 有混凝土抗震墙的钢结构 | 钢框架-混凝土抗震墙钢框架-混凝土筒体 | 180 | 100 | 70 |
| 钢框筒-混凝土核心筒 | 180 | 150 | 70 |

**7. 1. 3** 钢结构应根据加固目的和效果选择合适的消能器。拟增加或调整结构层间刚度时，宜采用位移相关型消能器；拟增加结构阻尼比时，可采用速度相关型、位移相关型消能器。

**7. 1. 4** 钢结构房屋的抗震等级，应符合下列规定：

**1**钢结构房屋应根据设防分类、设防烈度和房屋高度采用不同的抗震等级，标准设防类建筑的抗震等级应按表7.1.4确定，特殊设防类、重点设防类、适度设防类建筑的抗震设防要求应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223的有关规定。

表7. 1. 4 钢结构房屋抗震等级

|  |  |
| --- | --- |
| 房屋高度 | 抗震设防烈度 |
| 6度 | 7度 | 8度 | 9度 |
| ≤50m |  | 四 | 三 | 二 |
| >50m | 四 | 三 | 二 | 一 |

**2**当消能减震加固后，原结构承担的楼层地震剪力下降超过50%时，原结构的抗震等级可降低一级，对C类钢结构房屋不应低于四级。

**3** 钢框架结构消能减震加固后，如框架部分按计算分配的地震剪力不大于结构底部总剪力的25%时，框架部分的抗震等级可降低一级，对C类钢结构房屋不应低于四级。

**4** 对于A、B类钢结构房屋，当原房屋构造措施低于四级对应的要求时，如满足本条第2或第3款规定，加固后可认为满足四级要求。

**7. 1. 5** 压型钢板现浇钢筋混凝土组合楼板或钢筋混凝土楼板应与钢梁有可靠连接；装配式楼板应有钢筋混凝土面层，面层厚度不宜小于50mm，钢筋双向布置，直径不宜小于8mm，间距不宜大于200mm。

**7. 1. 6** 采用屈曲约束支撑加固时，宜采用人字形支撑、成对布置的单斜杆中心支撑，不应采用K形支撑和X形支撑。

**7. 1. 7** 采用屈曲约束支撑加固偏心支撑结构时，屈曲约束支撑宜先于耗能梁段屈服。

**7. 1. 8** 加固采用的消能器构件的防腐应符合现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251的有关规定。

7. 2 计算要点

**7. 2. 1** 钢结构抗震计算时主体结构的阻尼比宜符合下列规定：

**1** 多遇地震下的计算，结构高度不大于50m时阻尼比可取0.04；结构高度大于50m且小于200m时，阻尼比可取0.03；结构高度不小于200mm时，阻尼比宜取0.02；

**2** 当偏心支撑框架部分承担的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的50%时，其阻尼比可比本条1款相应增加0.005；

**3** 在罕遇地震下的弹塑性分析，阻尼比可取0.05。

**7. 2. 2** 后续工作年限为50年的C类建筑，钢结构构件、连接和节点的验算应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《钢结构通用规范》GB 55006、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定；属于高层建筑时，钢结构构件、连接和节点的验算同时应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的有关规定。

**7. 2. 3** 后续工作年限为30年的A类建筑或后续工作年限为40年的B类建筑，钢结构构件、连接和节点的验算应符合下列规定：

**1** 钢结构构件、连接和节点的承载力计算、变形验算应符合现行国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021、《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定；属于高层建筑时，同时应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的有关规定。

**2**节点左右梁端和上下柱端的全塑性承载力关系，以及梁柱节点域的屈服承载力，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。计算时与抗震等级相关的系数，可根据消能减震加固后的抗震等级确定，但不应低于四级。

**3** 梁与柱刚性连接应符合下列规定：

  （7.2.3-1）

  （7.2.3-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——基于极限强度最小值的节点连接最大受弯承载力（kN·m），仅由翼缘的连接承担； |
|  | ——基于极限强度最小值的节点连接最大受剪承载力（kN），仅由腹板的连接承担； |
|  | ——梁的塑性受弯承载力（kN·m）； |
|  | ——梁在重力荷载代表值（9度尚应包括竖向地震作用标准值）作用下，按简支梁分析的梁端截面剪力设计值（kN）； |
|  | ——梁的净跨（m）。 |

**4** 支撑连接应符合下列规定：

  （7.2.3-3）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——基于极限强度最小值的支撑连接最大承载力（N）； |
|  | ——支撑净截面面积（mm2）； |
|  | ——支撑钢材的屈服强度（N/mm2）。 |

**5** 梁、柱构件的拼接节点承载力，应符合本条第3款的规定。当考虑轴力的影响时，式中*M*p应以*M*pc代替，并应符合下列规定：

1）对绕强轴的工字形截面和箱形截面：

当*N* / *N*y ≤0.13时：

  （7.2.3-4）

当*N* / *N*y > 0.13时：

 （7.2.3-5）

2）对绕弱轴的工字形截面：

当*N* / *N*y ≤ *A*wn/ *A*n时：

  （7.2.3-6）

当*N* / *N*y > *A*wn/ *A*n时：

  （7.2.3-7）

3）圆形空心截面：

当*N* / *N*y ≤ 0.2时：

  （7.2.3-8）

当*N* / *N*y > 0.2时：

  （7.2.3-9）

式中：*N* ——构件轴力（N）；

 *N*y ——构件轴向屈服承载力（N）；

 *A*n ——构件截面净面积（mm2 )；

 *A*wn——构件截面腹板净面积（mm2 )；

 *f*y ——构件腹板钢材的屈服强度（N/mm2 )。

**6** 柱脚与基础的连接极限承载力，应按下列公式计算：

  （7.2.3-10）

式中：——柱脚的极限受弯承载力；

 *M*c——考虑轴力影响时柱的塑性受弯承载力；

*η* j ——柱脚连接系数，按本标准表7.2.3-1确定。

表7. 2. 3-1 柱脚连接系数

|  |  |
| --- | --- |
| 建筑类别 | 柱脚 |
| 埋入式 | 外包式 | 外露式 |
| A类建筑 | 1.2 (1.0) | 1.2 (1.0) | 1.0 |
| B类建筑 | 1.2 (1.0) | 1.2 (1.0) | 1.0 |

注：括号内的数字用于箱型柱和圆管柱；外露式柱脚是指刚接柱脚，只适用于房屋高度50m以下。

**7. 2. 4** 钢结构构件、连接、节点不满足验算要求时，应采用有效方式进行加固，加固构造可依据现行国家标准《钢结构加固设计标准》GB 51637确定。

7. 3 构造要求

Ⅰ C类建筑

**7. 3. 1** C类建筑，钢结构构件、连接和节点的构造要求应满足国家现行标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002、《钢结构通用规范》GB 55006、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《钢结构设计标准》GB 50017的有关规定；属于高层建筑时，同时应符合现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99的有关规定。

Ⅱ A、B类建筑

**7. 3. 2** 框架柱的长细比，一级不应大于60*ε*k，二级不应大于80*ε*k，三级不应大于100*ε*k，四级不应大于120*ε*k，其中*ε*k为钢号修正系数，其值为235与钢材牌号中屈服点数值的比值的平方根。

**7. 3. 3** 框架柱板件宽厚比不应大于表7.3.3的规定：

表7. 3. 3 框架柱板件宽厚比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 工字形柱翼缘外伸部分 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 工字形柱腹板 | 43 | 45 | 48 | 52 |
| 箱形柱壁板 | 33 | 36 | 38 | 40 |

注：表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以*ε*k。

**7. 3. 4** 框架梁中可能出现塑性铰的区段，板件宽厚比不应大于表7. 3. 4规定的限值：

表7. 3. 4 框架梁塑性铰区段板件宽厚比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 工字形截面和箱形截面翼缘外伸部分 | 9 | 9 | 10 | 11 |
| 箱形截面翼缘在两腹板之间的部分 | 30 | 30 | 32 | 36 |
| 工字形截面和箱形截面腹板 |  |  |  |  |

注：1、表中N为梁的轴向力，A为梁的截面面积，f为梁的钢材强度设计值；

2、表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以εk。

**7. 3. 5** 工字形截面柱和箱形截面柱腹板在节点域范围的稳定性，应满足下式规定：

  （7.3.4）

式中：*t*wc ——柱在节点域的腹板厚度（mm）；

*h*b1 ——梁翼缘厚度中点间的距离（mm）；

*h*c2 ——柱翼缘厚度中点间的距离（mm）。

**7. 3. 6** 工字形和箱形截面受压构件的腹板，其宽厚比不符合本标准第7.3.3 条的规定时，可用纵向加劲肋加强。

**7. 3. 7** 中心支撑应符合下列规定：

**1**  支撑杆件的长细比，按压杆设计时，不应大于120*ε*k；抗震等级一、二、三级时不得采用拉杆设计，四级采用拉杆设计时，其长细比不应大于180*ε*k；

**2** 支撑杆件的板件宽厚比，不应大于表7. 3. 7规定的限值：

表7. 3. 7中心支撑板件宽厚比限值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 板件 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
| 翼缘外伸部分 | 8 | 9 | 10 | 13 |
| 工字形截面腹板 | 25 | 26 | 27 | 33 |
| 箱形截面壁板 | 18 | 20 | 25 | 30 |
| 圆管外径与壁厚比 | 38 | 40 | 40 | 42 |

注：表列数值适用于Q235钢，采用其他牌号应乘以εk，圆管应乘以235/fy。

**3** 支撑节点的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。

**7. 3. 8** 偏心支撑中的耗能梁段不得加焊贴板提高强度，也不得在腹板上开洞，并应符合下列规定：

**1** 翼缘板自由外伸宽度*b*1与其厚度*t*f之比，应满足下式规定：

  （7.3.9-1）

**2** 腹板计算高度*h*0与其厚度*t*w之比，应满足下式规定：

当*N*1b/ *A*1b *f*≤ 0.14时：

  （7.3.9-2）

当*N*1b/ *A*1b *f*> 0.14时：

  （7.3.9-3）

式中：*N*1b ——耗能梁段内的轴向力（N）；

*A*1b ——耗能梁段的截面面积（mm2）。

**7. 3. 9** 偏心支撑框架支撑杆件的长细比不应大于120*ε*k，支撑杆件的板件宽厚比不应超过现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017规定的轴心受压构件在弹性设计时的宽厚比限值。

**7. 3. 10** 当框架梁与柱翼缘刚性连接时，梁翼缘与柱应采用全熔透对接焊缝连接，梁腹板与柱宜采用高强度螺栓摩擦型连接；悬臂梁段与柱应采用全焊接连接。

**7. 3. 11** 梁与工字形柱（绕弱轴）刚性连接时，应在梁翼缘的对应位置设置柱的横向加劲肋，加劲肋与柱的焊接应采用全熔透对接焊缝，加劲肋应伸至柱翼缘以外不少于75mm，并以变宽度形式伸至梁翼缘；在梁高范围内设置柱的竖向连接板；梁与柱的现场连接中，梁翼缘与柱横向加劲肋采用全熔透对接焊缝连接，腹板与柱连接板采用高强度螺栓连接。

**7. 3. 12** 框架梁与柱刚性连接时，宜在梁翼缘对应部位设置柱的水平加劲肋或隔板，水平加劲肋厚度不应低于梁翼缘厚度。工字形柱水平加劲肋与柱翼缘焊接时，宜采用全熔透对接焊缝，与柱腹板连接时可采用角焊缝。

**7. 3. 13** 当柱两侧梁高不等时，每个梁翼缘对应位置均宜设置柱的水平加劲肋。

1. 木结构

8.1 一般规定

**8.1.1** 本章适用于传统木结构以及现代木结构的消能减震加固。

**8.1.2** 采用消能减震技术加固的木结构，传统木结构房屋的适用的最大高度应符合表8.1.2条的规定，现代木结构房屋适用高度应按现行国家标准取用。

表8.1.2 传统木结构房屋适用的最大高度（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 结构体系 | 抗震设防烈度 |
| 6 | 7 | 8 | 9 |
| 高度（m） | 层数 | 高度（m） | 层数 | 高度（m） | 层数 | 高度（m） | 层数 |
| 抬梁式 | 9 | 3 | 6 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 |
| 穿斗式 | 9 | 3 | 6 | 2 | 6 | 2 | 3 | 1 |
| 密梁平顶式 | 6 | 2 | 6 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 |

注：1、抬梁式、穿斗式坡屋面建筑的高度指的是房屋地面到屋面檐口的高度；

 2、木楼阁式建筑的适用高度不在本条规定中。

**8.1.3** 对于文保建筑中的木结构建筑采取的消能减震加固措施应具有可逆性。

**8.1.4** 传统木结构建筑消能建筑加固措施宜符合传统建筑形制。

8.2 计算要点

**8.2.1** 木结构抗震计算时主体结构的阻尼比应符合下列规定：

**1** 多遇地震下的计算，木结构阻尼比可取0.03；

**2** 罕遇地震下的计算，木结构阻尼比可取0.05。

**8.2.2** 消能器的附加阻尼比的计算按本规程第四章内容计算确定，当消能部件附加给结构的有效阻尼比超过 20%时，宜按 20%取值。

**8.2.3** 采用消能减震措施后，木结构建筑弹性层间位移角和弹塑性层间位移角应符合表8.2.4的规定。

表8.2.4 木结构建筑层间位移角限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 结构体系 | 弹性层间位移角 | 弹塑性层间位移角 |
| 传统木结构 | 1/250 | 1/30 |
| 轻型木结构 | 1/250 | 1/50 |
| 其他纯木结构 | 1/350 | 1/50 |

**8.2.4** 采用消能减震措施后，木结构构件、连接和节点的验算应符合下列规定：

**1** 木结构构件、连接和节点的承载力、变形验算应符合现行国家标准《木结构通用规范》GB 55005、《木结构设计标准》GB 50005的有关规定。

**2** 木构件内力计算中，应考虑施加于榫卯节点处的消能器的节点刚度增强作用。

**8.2.5** 木结构建筑在罕遇地震下的非线性分析，采用的节点以及消能器的非线性模型宜进行试验验证。

8.3 构造要求

**8.3.1**木结构建筑消能器的选择应根据结构类型和加固部位合理选择连接形式。

**8.3.2** 木结构榫卯节点宜选用位移相关型消能器，消能器与榫卯节点相连时，宜在榫卯节点两侧对称布置。

**8.3.3**加固榫卯节点的消能器中用于消能的钢材宜采用低屈服点钢材，消能器应先于榫卯节点发生屈服。

**8.3.4** 当消能器采用螺栓或螺钉等紧固件与木梁、木柱相连时，紧固件在木构件中端距、边距应满足《木结构设计标准》GB 50005的规定。

**8.3.5**木框架支撑结构采用屈曲约束型消能支撑部件时，宜采用人字形支撑、成对布置的单斜杆中心支撑，不宜采用偏心支撑、K形支撑和X形支撑。

**8.3.6**传统木结构建筑采用调谐质量阻尼器（TMD）时，宜施加于屋架大梁两侧且与屋架大梁应进行可靠连接。

1. 工业厂房

9.1 一般规定

**9.1.1**本章适用于既有单层钢筋混凝土工业厂房的消能减震加固。

**9.1.2**既有钢筋混凝土厂房应进行横向和纵向抗震计算，并符合下列规定：

**1** 应考虑空间工作、扭转及吊车桥架的影响。

**2** 屋盖应按平面内弹性考虑。

**3** 可考虑围护墙的有效刚度。

**4** 计算应考虑突出屋面的天窗架及其支撑系统。

**5** 厂房侧边贴建建筑，如果未设防震缝分开时，计算时应一并考虑。

**6** 轻型屋盖厂房可按平面排架计算。

**9.1.3** 原排架柱支撑宜替换成消能支撑，也可增设消能支撑，其布置应符合以下规定：

**1** 消能支撑宜采用金属消能器、摩擦型消能器或复合型消能器。

**2** 6、7（0.1g）度区可在纵向排架两端上下柱间设置消能支撑。

**3** 7度（0.15g）、8度和9度时，可在纵向排架两端和中间位置的上下柱间设置消能支撑。

**4** 7度（0.15g）、8度和9度时，设置消能支撑的下柱柱间和两侧柱间，支撑下端应设置地梁。地梁底面与基础顶等高，并与基础和柱有可靠连接。厂房有刚性地面时，地梁底面与地面等高，并与刚性地面和柱有可靠连接。

**5** 支撑上端应设置通长水平连杆，连杆应承载拉压地震作用效应，并与柱有可靠连接。

**9.1.4** 屋架支承锚固不满足要求或厂房横向需减震时，可采用屋架与柱角加腋（腑形消能器）的方法进行加固，并进行屋架和柱局部强度验算。

**9.1.5** 后续工作年限少于50年的A、B类厂房的抗震措施按本标准采用，C类厂房的抗震措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011的有关规定。 乙类建筑可按规定提高一度确定其抗震措施，9度时应采用更有效的抗震措施。

**9.1.6** 在厂房内进行内部加建结构改造时，厂房部分应按性能化方法加固，性能目标不低于C级。地震作用按后继工作50年C类取值；抗震措施，A类和B类厂房按本标准B类厂房采用，C类厂房不低于原设计标准要求。

9.2 抗震措施

**9.2.1** A类厂房排架柱构造应符合下列规定：

1 排架柱顶下500mm范围箍筋应加密。8度和9度时，变截面上柱牛腿面（或柱肩）至吊车梁顶面以上300mm范围内，箍筋直径不宜小于Φ8，间距不宜大于100，不符合时应加固。

2 7度III、IV类场地、8度和9度时，有柱间支撑或消能支撑的排架柱，柱顶以下500mm范围内和柱底至设计地坪以上500mm范围内，以及柱变位受平台、嵌砌内隔墙、水平连杆等约束的部位，其上下各300mm范围内，箍筋直径不宜小于Φ8，间距不宜大于100，不符合时应加固。

**9.2.2**  B类厂房排架柱构造应符合下列规定：

 1 下列范围内排架柱的箍筋间距应加密；

1. 柱顶以下500mm，并不小于柱截面长边尺寸；
2. 上柱取阶形柱自牛腿面至吊车梁顶面以上300mm高；
3. 牛腿或柱肩全高；
4. 下柱柱底至室内地坪以上500mm;;
5. 柱间消能支撑与柱连接节点和柱变位受平台、嵌砌内隔墙、水平连杆等约束的部位，上下各300mm。

2加密区的箍筋间距不应大于100mm，最小箍筋直径应符合表9.2.2的规定。不满足时应加固。

表9.2.2 加密区最小箍筋直径

|  |  |
| --- | --- |
| 加密区位置 | 烈度和场地类别 |
| 6度和7度I、II类场地 | 7度III、IV类场地和8度I、II类场地 | 8度III、IV类场地和9度 |
| 柱头、柱根 | Φ6 | Φ8 | Φ8 |
| 上柱、牛腿、有支撑的柱根 | Φ8 | Φ8 | Φ10 |
| 有支撑的柱头、柱变位受约束部位 | Φ8 | Φ10 | Φ10 |

注：当柱截面满足罕遇地震下中等损坏条件时，箍筋直径可降2mm，Φ6不再降低。

**9.2.3**  厂房的屋盖、屋盖支撑、围护墙、屋架与柱连接等构造措施应符合《建筑抗震鉴定标准》GB50023的相关规定。

1. 村镇民居

**10.1** 本章适用于3层及以下，采用钢筋混凝土框架结构或砌体结构的民居。

**10.2** 村镇民居采用消能减震技术加固时，框架结构宜采用附设外框架加固方法。砌体结构宜采取附设周圈框架加固方法。

**10.3** 消能器可采用金属消能器、摩擦型消能器或复合型消能器等。消能部件应进行防护处理。

**10.4** 附设框架可采用混凝土框架，也可采用钢框架。附设框架与原结构应有可靠连接。

**10.5** 木屋架构造措施应符合《建筑抗震鉴定标准》GB50023的相关规定。

1. 消能部件连接构造与设计

11.1 一般规定

**11.1.1**本章适用于消能部件与钢结构、混凝土结构之间的连接与设计。

**11.1.2**消能部件的形式一般分为：支撑型、门架型、墙柱型和腋撑型等，设计时应根据工程具体情况和消能器类型选择合理的形式。

**11.1.3** 当消能部件采用支撑型连接时，宜采用单斜杆、“V”字形和人字形等中心布置方式，亦可采用位移增效机构，不应采用“K”字形布置方式；支撑杆件与框架梁、柱的中心线宜交汇于一点。

**11.1.4** 消能器与支撑、支承构件的连接以及消能部件与既有结构上预设节点板之间的连接可采用高强螺栓、销轴或焊接连接，其相关计算、构造应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017的规定。

**11.1.5**与消能器相连的支撑、支墩及相关预埋件、节点板等的作用力应取消能器的极限阻尼力。

11.2 支撑和支墩设计

**11.2.1** 支撑型、门架型连接内的支撑和墙柱型连接内的支墩，计算长度应符合下列规定：

**1)** 采用支撑型连接时，支撑计算长度应取支撑与消能器连接处到主体结构预埋件连接中心处的距离；

**2)** 采用门架型连接时，支撑计算长度应取布置消能器水平梁平台底部到主体结构预埋连接板连接中心处的距离；

**3)** 采用墙柱型连接时，墙柱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。

**11.2.2** 与消能器相连的支撑和支墩等支承构件的刚度应满足本标准第4.3.2条的要求。

**11.2.3** 支撑和支墩的构造要求应符合下列规定：

1 支撑宜采用钢支撑，钢材强度等级不应低于Q235；支撑宜采用双轴对称截面，杆件长细比及板件宽厚比应满足现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99有关中心支撑的规定。

2 支墩可采用钢筋混凝土结构或钢结构。当采用混凝土结构时，混凝土强度等级不应低于C30，沿阻尼器受力方向全截面箍筋应加密，并配置网状钢筋。

11.3 连接节点计算

**11.3.1** 当消能部件与既有结构、嵌套钢框或附加框架采用节点板连接时， 需要验算的内容包括：节点板有效宽度和截面强度验算，节点板在压力作用下的稳定性验算，节点板与预埋板（后锚固板）间高强螺栓或焊缝的强度等。

**11.3.2** 节点板在拉、压作用下的强度应按下列公式计算：

  （11.3.2-1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——消能器的极限阻尼力（kN）； |
|  | ——板件的有效宽度（图11.3.2）（mmm）；当采用螺栓连接时，应减去孔径，孔径应取比螺栓标称尺寸大4mm； |
|  | ——节点板的厚度（mm）。 |

  

（a）焊接连接 （b）单排螺栓连接 （c）多排螺栓连接

θ—应力扩散角，焊接及单排螺栓时可取30 o，多排螺栓时可取22o

图11.3.2 板件的有效宽度

**11.3.3** 节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

1. 梁与柱连接处，支撑节点板受压稳定验算时的计算长度系数可按下列规定取值：

**1)** 当0.5≤*L/b*e时，；

**2)** 当*L/b*e>0.71时，可取0.82。

式中：*µ*br——支撑节点板计算长度系数；

 *L* ——支撑节点板最长受压板条长度，取*L*1、*L*2、*L*3中最大值（图XX）（mm）；

 *b*e ——节点板的有效宽度（mm）,为自第一排螺栓处沿支撑轴线两侧各30o角线至最后一排螺栓处形成的宽度（图XX）（mm）；

** **

（a）节点板与梁、柱连接 （b） “V”字形和人字形支撑节点板与梁连接

图11.3.3支撑节点板稳定验算简图

**2** 节点板的受压稳定承载力应符合下式规定：

  （11.3.2-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中： | ——消能器的极限阻尼力（kN）； |
|  | ——支撑节点板的稳定系数，采用本条第一款规定的计算长度系数、支撑节点板最长受压板条长度L和有效截面面积确定的长细比，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017中的b类截面确定。 |

**11.3.4** 节点板与后锚固钢板（或节点板与既有钢梁、柱）、后锚固钢板与既有混凝土的连接内力符合下列规定：

**1** 对于支撑与梁和柱连接的节点，应将支撑内力向节点板与梁和柱连接边进行分解；

**2** 对于“V”字形、人字形及门架型支撑与梁连接的节点 ，应计入支撑不平衡力对连接产生的作用效应。

11.4 连接节点构造

**11.4.1** 当消能部件与既有结构采用直接连接时：既有混凝土结构，连接节点宜采用整体钢套箍连接或对拉锚固连接，当仅采用后锚固技术即可实现连接节点在罕遇地震水准下仍处于弹性状态时，连接节点也可采用直接锚固连接；既有钢结构，节点板与既有钢梁、柱宜采用焊接。

  

（1）三维示意图 （2）梁连接节点 （3）柱连接节点

图11.4.1-1整体钢套箍连接方法

  

（1）三维示意图 （2）梁连接节点 （3）柱连接节点

图11.4.1-2对拉锚固连接方法

  

（1）三维示意图 （2）梁连接节点 （3）柱连接节点

图11.4.1-3直接锚固连接方法

**11.4.2** 消能部件与既有结构采用直接连接时，尚应符合下列规定：

**1** 支撑与主体结构宜采用单节点板连接；当支撑与节点板之间采用高强螺栓连接时，其连接件可采用角钢或钢板；节点板与后锚固钢板之间宜采用焊接；节点板边缘与支撑轴线的夹角不宜小于30 o。

**2**应采取措施保证后锚固板与既有结构表面可靠连接，界面处理应符合《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB50550要求；后锚固板与既有结构表面之间应留设间隙：当采用压力注射结构胶时，间隙宜控制在3~5mm；当采用不低于C40的微膨胀细石混凝土或灌浆料进行二次浇筑时, 间隙不宜小于20mm。

**3** 后锚固板宜采用Q235、Q345级钢，后锚固板的厚度应根据受力情况计算确定，且不宜小于锚筋直径的60%；与节点板直接相连的后锚固板厚度尚宜大于b/8,b为锚筋的间距。

**11.4.3**消能部件与既有混凝土结构采用嵌套式连接时，应符合下列规定：

**1** 钢框可嵌入混凝土框架中，消能部件可通过节点板与钢框连接；

**2** 可由栓钉和植筋承担全部钢框传至混凝土框架的内力；

**3** 钢框可采用H型钢或槽形钢，混凝土过渡区内应配置纵筋和箍筋，锚筋应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145要求设计。

**11.4.4**消能部件与既有混凝土结构采用外贴式附加框架连接时，应符合下列规定：

**1** 附加框架宜采用钢框架或现浇混凝土框架。

**2** 现浇混凝土附加框架与既有结构可采用贯穿螺栓连接或采用后锚固抗剪键连接，与附加框架相连的既有结构构件表面应凿毛。抗剪键锚筋应在附加框架内设置拉结弯钩或其它可靠拉结措施。

**3** 后锚固抗剪键可采用植筋或化学锚栓，或后锚固抗剪键加钢筋混凝土抗剪键等形式。

**4** 附加框架采用现浇钢筋混凝土时，其抗震构造应满足相同抗震等级的新建混凝土框架的要求，箍筋宜通高或全跨加密。

**5** 附加框架采用钢结构时，钢框架与既有结构构件采用后锚固抗剪键连接，并应采取防锈措施。

**6** 附加框架宜上下连通设置，宜与既有建筑基础连为整体。

**7** 后锚固抗剪键的施工应考虑附加框架自重变形的影响。

**8** 附加框架施工宜在既有结构构件或节点的加固完成后进行。

1. 施工、验收和维护

12.1 一般规定

**12.1.1** 建筑结构消能减震加固工程施工现场质量管理，应有健全的质量管理体系、施工质量控制及检验制度，应有经审批的施工组织设计、施工方案等技术文件。

**12.1.2** 建筑结构消能减震加固工程可作为建筑工程的一个分部工程进行施工和质量验收；消能部件工程应作为结构加固分部的一个或若干个子分部工程，其他子分部工程的划分应符合国家现行标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550的相关规定。

**12.1.3** 消能部件子分部工程宜划分为消能器支撑及连接件加工与安装、消能器安装、焊接、紧固件连接、防腐涂料涂装等分项工程，各分项工程检验批的划分应符合《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300的相关规定，并应经监理单位或建设单位确认。

**12.1.4** 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、消能器支撑及连接件加工与安装、消能器安装、消能部件防护四个阶段。

**12.1.5** 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、施工等单位编写的使用维护手册，内容应包括消能器类型、参数、安装时间、安装部位、正常使用年限、消能器周边预留的变形空间要求、使用及维护注意事项等。

12.2 消能部件施工

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

**12.2.2**消能器进场验收时，应提供下列资料：

**1** 产品合格证；

**2** 出厂检验报告；

**3** 同类产品型式检验报告；

**4** 其他必要证明文件。

**12.2.3** 消能器类型、规格、外观质量、材料和性能参数应符合设计文件和本标准的规定。

**12.2.4**消能器进场后应按本标准规定进行见证取样检验，并提供检验报告，检验合格后方可使用。

见证检验应符合以下规定：

**1** 见证检验抽检数量，同一工程不少于总数的3%，各种规格的消能器兼顾，且不宜少于1件，检验合格率为100%；

**2** 见证检验项目见附录B；

**3** 检验后的屈曲约束支撑和金属消能器试件不能应用于主体结构。

**12.2.5**消能器的运输、现场存储及保管，应符合生产厂家提供的施工操作说明书和国家现行有关标准的规定。

**12.2.6** 设置消能部件的消能子结构应先按设计要求进行原结构构件的加固施工，验收合格后方可进行消能部件的施工。

**12.2.7**消能部件施工前，应对消能子结构的构件尺寸、定位轴线、标高等进行复测，如与设计文件差异较大应及时通知设计单位。

**12.2.8**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；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拼装为扩大安装单元后，再与主体结构进行连接。

**12.2.9**消能器安装完成后不应出现影响消能器正常工作的变形或损伤，消能器的黏滞材料、黏弹性材料不应泄漏或剥落，不应出现涂层脱落和生锈，黏滞消能器采用销轴连接时的安装间隙应控制在0.1mm以内。

**12.2.10** 消能部件尺寸、变形、连接件位置及角度、螺栓孔位置及直径、高强度螺栓连接、焊接、表面防护等应符合设计文件规定。

**12.2.11** 消能部件中钢制构件的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB 50755的相关规定。

**12.2.12** 消能部件中混凝土构件的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666的相关规定。

**12.2.13** 消能部件的施工安全应符合现行国家标准《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870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。

**12.2.14** 消能部件中的钢制构件应涂刷防腐涂料，其施工质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的相关规定。

**12.2.15** 消能部件安装完成后应进行成品保护。

12.3 验 收

**12.3.1** 结构加固工程施工质量应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550、《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116的相关规定，且混凝土结构及钢结构施工质量尚应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的相关规定。

**12.3.2**消能部件子分部工程检验项目可按表12.3.2的规定执行。

表12.3.2消能部件子分部工程检验项目表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 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 | 应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205  | 现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 |
| 2 | 焊缝质量：1) 焊缝尺寸2) 内部缺陷3) 外观缺陷 | 一级焊缝抽检100%，二级焊缝按位置随机抽检20%；检验采用超声波或射线探伤、量规及观察 | 现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 |
| 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%，且不应小于3个节点；检验方法应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定 | 现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 |
| 4 | 消能部件平面外垂直度 | 随机抽查3个部位的消能部件 | 设计文件及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 |

**12.3.3** 消能部件子分部工程观感质量检查项目可按表12.3.3的规定执行。

表12.3.3 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 | 随机抽检3个部位的消能部件 | 均匀、无气泡、无皱纹 |
| 2 | 连接节点 | 随机抽检30% | 连接牢固，无明显外观缺陷 |
| 3 | 消能器工作范围内的障碍物避让 | 抽检100% | 在工作范围内无障碍物 |

12.4 维 护

**12.4.1** 消能减震建筑应根据结构安全等级、消能器类型及使用环境，建立全寿命周期内的结构使用、维护管理制度，应遵守预防为主、防治结合的原则进行日常维护。

**12.4.2** 消能器应根据消能器的类型、使用期间的具体情况、消能器设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。金属消能器、屈曲约束支撑、摩擦消能器和黏弹消能器在正常使用和维护情况下可不进行检查；黏滞消能器在正常使用情况下每十年应进行目测检查。所有消能器在二次装修时应进行目测检查。消能器达到设计使用年限时应进行抽样检验，抽样率不小于3%。

**12.4.3** 目测检查时，应观察消能器、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12.4.3的规定。

表12.4.3 目测检查内容及维护方法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项次 | 检查内容 | 维护方法 |
| 1 | 黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄露 | 更换消能器 |
| 2 | 黏滞消能器的导杆出现腐蚀，表面污垢硬化、结斑、结块 | 及时清除 |
| 3 | 消能部件连接部位的螺栓出现松动 | 拧紧 |
| 4 | 消能部件被涂装的金属表面外露、锈蚀或损伤，防腐涂装层出现裂纹、起皮、剥落、老化等 | 重新涂装 |
| 5 | 消能器周围存在可能限制其正常工作的障碍物 | 及时清除 |

**12.4.4** 消能器抽样检验时，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，测试内容和要求应符合本标准对消能器性能的规定。

12.5 灾后检验

**12.5.1** 消能部件在遭遇地震、强风、火灾等灾害或事故后应进行目测检查，在遭遇罕遇地震或火灾后尚应进行抽样检验。

**12.5.2** 灾后目测检查的内容及维护方法应符合表12.5.2的规定。

表12.5.2 灾后目测检查的内容及维护方法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 检查内容 | 维护方法 |
| 1 | 黏滞消能器的导杆上漏油，黏滞阻尼材料泄露 | 更换消能器 |
| 2 | 金属消能器产生较大变形时进行抽样检验 | 不合格时全部更换 |
| 3 | 消能部件连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤 | 拧紧、补焊 |
| 4 | 消能部件产生弯曲、局部变形 | 更换消能部件 |
| 5 | 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 |

附 录A 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构

**A.1** 抗震设防烈度为6度~9度，且房屋高度超过本标准第6.1.2条规定的钢筋混凝土框架结构最大适用高度，采用屈曲约束支撑加固时，按本附录规定进行抗震设计。

**A.2** 钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构适用高度应符合表A.2的规定。

表A.2钢筋混凝土框架-屈曲约束支撑结构适用高度（m）

|  |
| --- |
| 烈度 |
| 6 | 7 | 8（0.2g） | 8（0.3g） | 9 |
| 90 | 80 | 70 | 50 | 30 |

**A.3** 采用屈曲约束支撑加固混凝土框架结构房屋时，应根据设防类别、烈度和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施的规定。丙类建筑中消能子结构按抗震设防烈度提高一度的要求确定抗震等级；乙类建筑中消能子结构的竖向构件按地震作用效应提高一倍进行设计；钢筋混凝土框架部分抗震等级按本标准第6.1.3条框架结构确定。

**A.4** 屈曲约束支撑的布置应符合下列规定：

**1** 屈曲约束支撑宜在结构主轴方向布置。

**2** 屈曲约束支撑宜上下连续布置，当受建筑方案影响无法连续布置时，可在邻近框架中布置，并保证两榀框架间楼板的整体性。

**3** 支撑宜采用人字支撑、V形支撑或单向斜支撑。

**4** 支撑在平面内的布置应避免增大扭转效应；竖向布置应避免导致出现薄弱层；楼梯间宜布置支撑。

**5** 底层支撑框架按刚度分配的地震倾覆力矩宜大于结构总地震倾覆力矩的40%。

**A.5** 屈曲约束支撑加固混凝土框架结构的抗震验算尚应符合下列规定：

**1** 结构的阻尼比不宜大于0.045，或可按混凝土框架部分和支撑部分在结构总变形能所占的比例折算为等效阻尼比。

**2** 支撑可按端部铰接杆计算。当支撑斜杆的轴线偏离混凝土柱轴线超过柱宽1/4时，应计入附加弯矩作用。

**3** 混凝土框架承担的地震作用，应按支撑框架结构模型计算。

**4** 屈曲约束支撑-混凝土框架的层间位移限值按本标准第4.5.3条执行。

**A.6** 屈曲约束支撑与混凝土柱的连接应符合本标准第11章相关规定，支撑与混凝土梁、柱的连接不应先于支撑破坏。

**A.7** 钢筋混凝土框架部分尚应按本标准第6章的规定进行加固设计。

**A.8** 罕遇地震下结构楼层弹塑性层间位移角不大于1/120时，框架结构抗震措施可按降低一度采用。

附 录B 建筑消能阻尼器性能检测表

| **阻尼器类型** | **检测项目** | **检测参数** | **出厂检验** | **型式检验** | **见证检验** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 黏弹性阻尼器和黏弹性阻尼墙 | 外观尺寸 | 长度 | √ | √ | √ |
| 截面有效尺寸 | √ | √ | √ |
| 材料 | 拉伸强度 | × | √ | × |
| 扯断伸长率 | × | √ | × |
| 扯断永久变形 | × | √ | × |
| 热空气老化后拉伸强度变化率 | × | √ | × |
| 热空气老化后扯断伸长变化率 | × | √ | × |
| 材料损耗因子 | × | √ | × |
| 钢板与阻尼材料之间黏合强度 | × | √ | × |
| 钢材 | × | √ | × |
| 力学性能 | 最大阻尼力 | √ | √ | √ |
| 表观剪切模量 | √ | √ | √ |
| 损耗因子 | √ | √ | √ |
| 极限变形 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 老化性能 | 最大阻尼力 | △ | √ | × |
| 表观剪切模量 | △ | √ | × |
| 损耗因子 | △ | √ | × |
| 极限变形 | △ | √ | × |
| 疲劳试验 | 最大阻尼力 | √ | √ | √ |
| 表观剪切模量 | √ | √ | √ |
| 损耗因子 | √ | √ | √ |
| 耐腐蚀性能 | 外观 | × | √ | × |
| 其他相关性能 | 最大阻尼力 | △ | √ | × |
| 黏滞阻尼器和黏滞阻尼墙 | 外观尺寸 | 长度 | √ | √ | √ |
| 截面有效尺寸 | √ | √ | √ |
| 材料 | 黏滞材料 | × | √ | × |
| 钢材 | × | √ | × |
| 密封材料 | × | √ | × |
| 力学性能 | 极限位移 | √ | √ | √ |
| 摩擦力 | √ | √ | √ |
| 最大阻尼力 | √ | √ | √ |
| 阻尼系数 | √ | √ | √ |
| 阻尼指数 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 疲劳性能 | 最大阻尼力 | △ | √ | √ |
| 滞回曲线 | △ | √ | √ |
| 密封性能 | 最大阻尼力 | △ | √ | √ |
| 加载频率相关性 | 最大阻尼力 | △ | √ | × |
| 温度相关性 | 最大阻尼力 | △ | √ | × |
| 金属阻尼器 | 外观 | 部件有效尺寸 | √ | √ | √ |
| 材料 | 低屈服点钢材 | × | √ | × |
| 碳素结构钢 | × | √ | × |
| 合金结构钢 | × | √ | × |
| 力学性能 | 屈服承载力 | √ | √ | √ |
| 最大承载力 | √ | √ | √ |
| 屈服位移 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |
| 弹性刚度 | √ | √ | √ |
| 第2刚度 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 疲劳性能 | △ | √ | √ |
| 耐腐蚀性能 | △ | √ | × |
| 屈曲约束耗能支撑 | 外观 | 支撑长度 | √ | √ | √ |
| 支撑横截面有效尺寸 | √ | √ | √ |
| 支撑侧弯矢量 | √ | √ | √ |
| 支撑扭曲 | √ | √ | √ |
| 材料 | 低屈服点钢材 | × | √ | × |
| 碳素结构钢 | × | √ | × |
| 合金结构钢 | × | √ | × |
| 力学性能 | 屈服承载力 | √ | √ | √ |
| 最大承载力 | √ | √ | √ |
| 屈服位移 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |
| 弹性刚度 | √ | √ | √ |
| 第2刚度 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 疲劳性能 | △ | √ | √ |
| 耐腐蚀性能 | △ | √ | × |
| 摩擦阻尼器 | 外观尺寸 | 长度 | √ | √ | √ |
| 截面有效尺寸 | √ | √ | √ |
| 封闭外筒或外箱尺寸 | √ | √ | √ |
| 材料 | 摩擦材料 | × | √ | × |
| 金属材料 | × | √ | × |
| 螺栓 | × | √ | × |
| 弹性垫片 | × | √ | × |
| 力学性能 | 起滑摩擦力 | √ | √ | √ |
| 初始刚度 | √ | √ | √ |
| 极限位移 | √ | √ | √ |
| 滑动摩擦力 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线 | √ | √ | √ |
| 疲劳性能 | 滑动摩擦力 | √ | √ | √ |
| 滞回曲线面积 | √ | √ | √ |
| 耐久性 | 滑动摩擦力 | △ | √ | × |
| 滞回曲线面积 | △ | √ | × |

附 录C 复振型分解反应谱法计算公式

**C.0.1** 水平地震作用下，建筑结构的扭转耦联地震作用应符合下列要求：

**1** 振型层的水平地震作用标准值，应按下列公式确定：

   (=1,2,…,, =1,2,…,) (C.0.1-1)

 (=1,2,…,, =1,2,…,) (C.0.1-2)

 (=1,2,…,, =1,2,…,) (C.0.1-3)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：、 | ——分别为振型层的方向、方向的地震作用标准值； |
|  | ——振型层的转角方向的地震作用标准值； |
| 、 | ——分别为振型层质心在、方向的水平相对位移，应按式（C.0.2-2）计算； |
|  | ——振型层的相对扭转角； |
|  | ——层转动半径，可取层绕质心的转动惯量除以该层质量的商的正二次方根； |
|  | ——计入扭转的振型的参与系数，应按式（C.0.2-2）计算。 |

**2** 单向水平地震作用下的扭转耦联效应，可按下列公式确定：

  (C.0.1-4)



(C.0.1-5)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——地震作用标准值的扭转效应； |
|  | ——分别为、振型地震作用标准值的效应，可取前9～15个振型； |
| 、 | ——分别为、振型的阻尼比； |
|  | ——振型与振型的耦联系数，应按式（C.0.2-1）计算； |
|  | ——振型与振型的自振周期比。 |

**3** 双向水平地震作用的扭转耦联效应，可按下列公式中的较大值确定：

  (C.0.1-6)

或  (C.0.1-7)

式中：、分别为向、向单向水平地震作用按式（A.0.1-4）计算的扭转效应。

**C.0.2** 复振型分解反应谱法中第j阶振型向量和参与系数可按下式计算：：

 (C.0.2-1)

 (C.0.2-2)

 $c\_{ji}=c\_{ji}^{0}\frac{η\_{j}λ\_{j}}{Re\left(η\_{j}λ\_{j}\right)}$ (C.0.2-3)

 $η\_{j}=\frac{-λ\_{j}^{2}φ\_{j}^{T}Mr}{-λ\_{j}^{2}φ\_{j}^{T}Mφ\_{j}^{}+φ\_{j}^{T}Kφ\_{j}^{}}$ (C.0.2-4)

  (C.0.2-5)

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——集中于质点i的重力荷载代表值（kN）； |
|  | ——集中于隔震层的重力荷载代表值（kN）； |
| $$λ\_{j}$$ | ——第阶振型对应的特征值；  |
| $$η\_{j}$$ | ——第阶振型对应的复数形式的振型参与系数； |
| $$φ\_{ji}^{}$$ | ——第阶振型向量中第i个位移分量； |
|  | ——第阶振型地震作用非比例阻尼影响系数，当隔震结构为比例阻尼时等于1； |
|  | ——隔震层频率，等于隔震层刚度除以上部结构和隔震层重量之和的平方根； |
|  | ——上部结构瑞利阻尼对应质量矩阵系数； |
|  | ——上部结构瑞利阻尼对应刚度矩阵系数。 |

**C.0.3**  振型水平地震作用效应非比例阻尼影响系数可按下式计算：

  （C.0.3-1）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：  | ——振型速度相关水平地震作用效应（N），由相应速度相关水平地震作用确定； |

振型质点速度相关水平地震作用可按下式计算：

(=1,2,…,n, =1,2,…,m) （C.0.3-2）

本标准用词说明

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：

 正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

* 1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

* 1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

* 1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”：

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

引用标准名录

**1** 《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002

**2** 《工程结构通用规范》GB55001

**3** 《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB55021

**4** 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223

**5** 《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068

**6** 《混凝土结构设计规范》GB50010

**7** 《建筑抗震设计规范》GB50011

**8** 《钢结构设计标准》GB50017

**9** 《建筑抗震鉴定标准》GB50023

**10** 《混凝土结构加固设计规范》GB50367

**11** 《混凝土结构施工质量验收规范》GB 50204

**12** 《建筑消能减震技术规程》JGJ297

**13** 《工程测量规范》GB50026

**14** 《钢结构焊接规范》GB50661

**15** 《金属材料拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1

**16** 《碳素结构钢》GB/T700

**17** 《金属材料室温压缩试验方法》GB/T7314

**18** 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3

**19** 《建筑变形测量规范》JGJ 8

**20** 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33

**21** 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80

**22** 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99

**23** 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145

**24** 《建筑消能阻尼器》JG/T 209

**25** 《钢结构加固技术规范》CECS77

**26** 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB500550

**27** 《建筑抗震加固技术规程》JGJ116