



T/CECS xxx-20xx

---

中国工程建设标准化协会标准

## 承载-消能减震技术规程

Technical specification for seismic mitigation of loading-bearing  
and energy-dissipating

(征求意见稿)

中国计划出版社

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

## 承载-消能减震技术规程

Technical specification for seismic mitigation of  
loading-bearing and energy-dissipating

**T/CECS xxx-20xx**

(征求意见稿)

主编单位：同济大学

哈尔滨工业大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：

中国计划出版社

征求意见稿

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2019 年第二批协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字[2019]22 号）文件要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程共分 9 章，主要技术内容包括：总则、术语与符号、基本规定、抗震减震结构性能目标要求、承载-消能构件的性能要求、承载-多级消能构件的性能要求、结构的抗震减震设计、承载-消能构件的连接与构造、采用承载-消能构件的结构施工、验收和维护。

本规程由中国工程建设标准化协会钢结构专业委员会归口管理，由同济大学和哈尔滨工业大学负责具体技术内容的解释。本规程在执行过程中，如有需要修改和补充之处，请将相关资料和建议寄送解释单位（上海市四平路 1239 号，同济大学土木工程学院建筑工程系，邮编：200092，或者哈尔滨市南岗区黄河路 73 号，哈尔滨工业大学二校区土木工程学院，邮编：150090，以供修订时参考。

**主编单位：**同济大学

哈尔滨工业大学

**参编单位：**中国建筑科学研究院有限公司

清华大学

大连理工大学

广州大学

武汉理工大学

中国建筑设计研究院有限公司

华东建筑设计研究总院

奥雅纳工程咨询（上海）有限公司

上海蓝科建筑减震科技股份有限公司

智性科技南通有限公司

**主要起草人：**欧进萍 李国强

**主要审查人：**

# 目 次

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 1   | 总 则 .....              | 1  |
| 2   | 术语与符号 .....            | 3  |
| 2.1 | 术 语 .....              | 3  |
| 2.2 | 符 号 .....              | 4  |
| 3   | 基本规定 .....             | 9  |
| 3.1 | 一般要求.....              | 9  |
| 3.2 | 结构体系要求.....            | 9  |
| 3.3 | 材料要求.....              | 12 |
| 3.4 | 承载-（多级）消能构件要求.....     | 14 |
| 3.5 | 连接与节点要求.....           | 15 |
| 4   | 抗震减震结构的性能目标要求 .....    | 16 |
| 5   | 承载-消能构件的性能要求 .....     | 18 |
| 5.1 | 一般要求.....              | 18 |
| 5.2 | 性能要求.....              | 18 |
| 5.3 | 性能检验与性能参数确定.....       | 20 |
| 6   | 承载-多级消能构件的性能要求 .....   | 24 |
| 6.1 | 一般要求.....              | 24 |
| 6.2 | 承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件.....  | 24 |
| 6.3 | 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件..... | 24 |
| 6.4 | 承载-多级消能金属阻尼器组合构件.....  | 25 |
| 6.5 | 性能检测与性能参数确定.....       | 27 |

|      |                             |    |
|------|-----------------------------|----|
| 7    | 结构的抗震减震设计 .....             | 31 |
| 7.1  | 一般规定.....                   | 31 |
| 7.2  | 结构分析.....                   | 31 |
| 7.3  | 设计方法.....                   | 33 |
| 7.4  | 主体结构设计要求.....               | 35 |
| 7.5  | 承载-（多级）消能构件连接件及相邻构件设计 ..... | 38 |
| 7.6  | 构造措施.....                   | 39 |
| 8    | 承载-消能构件的连接与构造 .....         | 40 |
| 8.1  | 一般规定.....                   | 40 |
| 8.2  | 节点板的验算要求.....               | 41 |
| 8.3  | 预埋件计算.....                  | 43 |
| 8.4  | 连接构造要求.....                 | 44 |
| 8.5  | 局部验算.....                   | 45 |
| 9    | 采用承载-消能构件的结构施工、验收和维护 .....  | 47 |
| 9.1  | 一般规定.....                   | 47 |
| 9.2  | 承载-消能构件进场验收.....            | 49 |
| 9.3  | 承载-消能构件的施工安装顺序.....         | 50 |
| 9.4  | 施工测量和承载-消能构件的安装、校正 .....    | 51 |
| 9.5  | 承载-消能构件安装的焊接和紧固件连接 .....    | 52 |
| 9.6  | 施工安全和施工质量验收.....            | 52 |
| 9.7  | 承载-消能构件的维护.....             | 53 |
| 附录 A | 承载-消能钢支撑单元模型和恢复力模型 .....    | 56 |
| 附录 B | 承载-消能钢板墙单元模型和恢复力模型 .....    | 59 |
| 附录 C | 承载-消能钢连梁单元模型与恢复力模型 .....    | 64 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 附录 D 承载-消能节点的恢复力模型.....   | 66 |
| 附录 E 承载-多级消能构件的恢复力模型..... | 67 |
| 附录 F 连接方法.....            | 70 |
| 本规程用词说明 .....             | 77 |
| 引用标准名录 .....              | 78 |

征求意见稿



# 1 总 则

**1.0.1** 为了贯彻执行国家的技术经济政策，在抗震减震工程中做到安全适用、技术先进、经济合理，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于抗震设防烈度为 6~9 度地区的新建现浇钢筋混凝土结构、装配式建筑结构以及既有建筑结构抗震加固的抗震减震设计、施工、验收和维护。

抗震设防烈度大于 9 度地区有特殊要求的新建建筑结构和既有建筑结构抗震加固的抗震减震设计、施工、验收和维护，应按有关专门规定执行。

**1.0.3** 按本规程设计与施工的抗震减震结构，其设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，承载-消能构件应保持弹性，承载-多级消能构件中的附加阻尼器应屈服工作和发挥消能减震作用，主体结构应不受损坏或不需修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震时，承载-（多级）消能构件宜屈服工作和发挥消能减震作用，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时，承载-（多级）消能构件应屈服消能减震，主体结构应不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

## 条文说明：

本条是关于采用承载-（多级）消能构件的抗震减震结构的设防目标，体现了以下基本原则：

- 1 主体结构应做到“小震不坏、中震可修、大震不倒”；
- 2 保证结构满足上述要求，不仅需要结构抗震，还可采取措施减震；
- 3 承载-消能构件既是一种能抗震的结构构件，又是一种可通过屈服塑性变形消能的减震构件，可利用承载-消能构件的特性，在多遇的小震（多遇地震）下，承载-消能构件参与主体结构的抗震，在少遇的中震（设防地震）和罕遇的大震（罕遇地震）下，承载-消能构件消耗地震能量，减小主体结构的地震作用效应，减轻主体结构的破坏；
- 4 承载-消能减震结构除采用承载-消能构件减震，还可以同时采用消能阻尼

器减震。消能阻尼器可以在小震就发挥消能减震作用；

5 承载-多级消能构件是一种承载-消能构件与消能阻尼器组合的特殊承载-消能构件，承载-消能减震结构如果采用承载-多级消能构件，可以在小震下允许其中的附加阻尼器发挥减震作用，但其中的承载-消能构件应不屈服，仅发挥抗震作用。

**1.0.4** 既有建筑采用承载-消能构件进行加固时，主体结构抗震设防目标不应低于现行国家标准《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定。

**1.0.5** 承载-消能构件抗震减震结构设计、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 承载-消能构件 bi-functional member of load-bearing and energy-dissipating

在承载-消能减震结构中设置的同时具有承载功能和消能减震功能的构件，具有小震或风荷载下提供刚度和承载力、中震和大震下消耗能量的性能，一般可采用金属材料（钢材）制作。

#### 2.1.2 承载-多级消能构件 bi-functional member of loading-bearing and mutli-level-energy-dissipating

承载-多级消能构件一般指承载-多级消能承载-消能构件与摩擦、粘弹以及金属等阻尼器复合组成的一体化构件，必要时也可采用承载-消能构件和其它多级别消能构件分离式布置。承载-多级消能构件具有小震、中震、大震等多级别消能能力。

#### 2.1.3 承载-（多级）消能构件 bi-functional member of loading-bearing and energy-dissipating or mutli-level-energy-dissipating

指承载-消能构件或承载-多级消能构件。

#### 2.1.4 承载-消能钢支撑 bi-functional steel brace of load-bearing and energy-dissipating

同时具有（小震和风荷载下）承载功能和（中震和大震下）消能减震功能的支撑型钢构件，如屈曲约束钢支撑。

#### 2.1.5 承载-消能钢板墙 bi-functional steel shear wall of load-bearing and energy-dissipating

同时具有（小震和风荷载下）承载功能和（中震和大震下）消能减震功能并以剪切屈服消能为主的钢板墙构件，可采用屈曲约束钢板墙、无屈曲波纹钢板墙等形式。

### 2.1.6 承载-消能钢连梁 bi-functional steel coupling beam of load-bearing and energy-dissipating

同时具有承载功能和消能减震功能的钢梁构件，主要用于联肢剪力墙中的连梁、偏心支撑钢框架中的偏心梁段等，承载-消能钢连梁的消能段可为整个梁段，或为整个梁的中间部分区段。

### 2.1.7 承载-消能联肢剪力墙 bi-functional coupled shear wall of load-bearing and energy-dissipating

同时具有承载功能和消能减震功能的联肢剪力墙，可将普通联肢剪力墙的混凝土连梁替换为承载-消能钢连梁而成，其整体可以作为一种大型承载-消能构件。

### 2.1.8 承载-消能节点 bi-functional connection of load-bearing and energy-dissipating

同时具有承载功能和消能减震功能的节点，一般用于框架结构的梁柱节点。

### 2.1.9 抗震减震结构 Load-bearing and energy-dissipating structure for earthquake-resistance

采用承载-（多级）消能构件，具有抗震和消能减震能力的结构。

### 2.1.10 承载-（多级）消能构件消能比 energy-dissipating ratio of bi-functional member of loading-bearing and energy-dissipating or mutli-level-energy-dissipating

承载-（多级）消能构件耗散的地震能量占整个结构耗散的地震能量的比值。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用和作用效应设计值：

- $F_c$  —— 承受承载-消能钢支撑轴力的连接承载力设计值；
- $M_{bmax}$ 、 $\sum M_{bmax}$  —— 梁端极限弯矩、弯矩之和；
- $N$  —— 所计算构件段范围内的轴心压力；
- $N_v$ 、 $N_t$  —— 某个高强度螺栓所承受的剪力和拉力；
- $P$  —— 一个高强度螺栓的预拉力；
- $P_0$  —— 上部无屈曲波纹钢板墙作用于本层铰接端柱的竖向力；

|                  |    |                                                                          |
|------------------|----|--------------------------------------------------------------------------|
| $S$              | —— | 荷载作用效应组合值；                                                               |
| $S_{\text{Ehk}}$ | —— | 多遇水平地震作用标准值的效应；                                                          |
| $S_{\text{Evk}}$ | —— | 多遇竖向地震作用标准值的效应；                                                          |
| $S_{\text{Gk}}$  | —— | 永久荷载效应标准值；                                                               |
| $S_{\text{Qk}}$  | —— | 楼（屋）面活载效应标准值；                                                            |
| $V_1$            | —— | 承载-消能钢支撑的设计轴向力在水平方向上分量之和；                                                |
| $V_0$            | —— | 对于框架柱从下到上基本不变的规则结构，取地震作用下的结构底部总剪力；对于框架柱从下到上有变化的结构，取地震作用下的每变化段最下一层结构的总剪力； |
| $\sum V_c$       | —— | 延性联肢剪力墙中，连系构件沿结构高度范围内的弹性分析得到的剪力计算值之和。                                    |

### 2.2.2 计算指标：

|                                  |    |                                                                                                         |
|----------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_c$                            | —— | 面外约束部件的平面外抗弯刚度；                                                                                         |
| $E$                              | —— | 钢材弹性模量；                                                                                                 |
| $G$                              | —— | 钢材剪切模量；                                                                                                 |
| $M_{\text{bp}}^+$                | —— | 组合梁正弯矩承载力；                                                                                              |
| $M_{\text{by}}^-$                | —— | 组合梁梁端屈服负弯矩；                                                                                             |
| $M_{\text{ct}}, M_{\text{cb}}$   | —— | 梁的上柱和下柱端弯矩设计值；                                                                                          |
| $M_d$                            | —— | 梁跨中截面最大正弯矩设计值；                                                                                          |
| $M_x$                            | —— | 所计算构件段范围内的最大弯矩设计值；                                                                                      |
| $M_u$                            | —— | 框架梁柱节点的极限弯矩承载能力；                                                                                        |
| $M_{\text{wua}}$                 | —— | 剪力墙截面地震下抗弯承载力；                                                                                          |
| $N_{\text{c0}}^b$                | —— | 未计入螺栓孔变形的高强螺栓承压承载力设计值；                                                                                  |
| $N_{\text{c1}}^b$                | —— | 计入螺栓孔变形的高强螺栓承压承载力设计值；                                                                                   |
| $N'_{\text{Ex}}, N'_{\text{Ey}}$ | —— | 参数， $N'_{\text{Ex}} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_x^2)$ , $N'_{\text{Ey}} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_y^2)$ ； |
| $N_{\text{ysc}}$                 | —— | 承载-消能钢支撑屈服承载力；                                                                                          |
| $N_v^b, N_t^b, N_c^b$            | —— | 一个高强度螺栓的受剪、受拉和承压承载力设计值；                                                                                 |
| $Q$                              | —— | 承载-消能钢板墙剪力设计值；                                                                                          |
| $Q_b$                            | —— | 承载-消能钢板墙的设计承载力；                                                                                         |

|                             |    |                                       |
|-----------------------------|----|---------------------------------------|
| $Q_{b1}$                    | —— | 双阶屈服连梁第一阶屈服承载力设计值；                    |
| $Q_u$                       | —— | 承载-消能钢板墙的极限承载力；                       |
| $R$                         | —— | 结构构件承载力设计值；                           |
| $\sum V_s$                  | —— | 延性联肢剪力墙中,连系构件沿结构高度范围内的实际设计截面的抗剪承载力之和； |
| $f$                         | —— | 钢材的抗拉、抗压、和抗弯强度设计值,屈服强度设计值；            |
| $f_{ay}$                    | —— | 钢材屈服强度标准值；                            |
| $F_{ce}$                    | —— | 钢材断面承压强度设计值；                          |
| $f_f^w$                     | —— | 角焊缝的抗拉、抗剪和抗压强度设计值；                    |
| $f_t^b, f_v^b, f_c^b$       | —— | 螺栓抗拉、抗剪和抗压强度设计值；                      |
| $f_t^w, f_v^w, f_c^w$       | —— | 对接焊缝抗拉、抗剪和抗压强度设计值；                    |
| $f_u$                       | —— | 钢材（螺栓）极限抗拉强度最小值；                      |
| $f_u^w, f_u^b, f_u^{joint}$ | —— | 为焊缝金属抗拉强度设计值、母材抗拉强度设计值、对接接头抗拉强度设计值；   |
| $f_v$                       | —— | 钢材抗剪强度设计值；                            |
| $f_y$                       | —— | 钢材屈服强度；                               |
| $f_{yc}$                    | —— | T 型转换件的屈服强度；                          |
| $\rho$                      | —— | 钢材质量密度；                               |
| $\sigma_{max}$              | —— | 腹板计算高度边缘的最大压应力；                       |
| $\sigma_{min}$              | —— | 腹板计算高度另一边缘相应的应力；                      |
| $\Delta_y$                  | —— | 屈曲约束支撑初始塑性变形。                         |

### 2.2.3 几何参数：

|                               |    |                                       |
|-------------------------------|----|---------------------------------------|
| $A_{cc}$                      | —— | 边缘构件宽度范围内的 T 型转换件截面积；                 |
| $A_e, f_j$                    | —— | 承载-消能钢支撑等效截面积；                        |
| $B$                           | —— | 承载-消能钢板墙的宽度；                          |
| $H$                           | —— | 承载-消能钢板墙的高度；                          |
| $I_{c1}, I_{c2}$              | —— | 梁的上柱和下柱截面惯性矩；                         |
| $I_{wp}, I_{wpx}$ 和 $I_{wpy}$ | —— | 角焊缝有效截面对焊缝形心的极惯性矩、角焊缝有效截面对 x、y 轴的惯性矩； |

|                             |    |                               |
|-----------------------------|----|-------------------------------|
| $L_{cs}$ 、 $L_e$ 、 $L_{em}$ | —— | 钢连梁的净跨度、有效计算跨度、钢连梁嵌入混凝土墙中的长度； |
| $W_{lx}$                    | —— | 在弯矩作用平面内对较大受压边缘的毛截面模量；        |
| $d_0$                       | —— | 螺栓或铆钉的孔径；                     |
| $h_0$ 、 $t_w$               | —— | 工字形及 H 形截面的受压构件中腹板计算高度与厚度；    |
| $h_f$                       | —— | 角焊缝焊脚尺寸；                      |
| $k$                         | —— | 承载-消能钢支撑的轴向刚度；                |
| $k_{cr}$                    | —— | 剪切屈曲系数；                       |
| $l_{c1}$ 、 $l_{c2}$         | —— | 梁的上柱和下柱高度；                    |
| $t$                         | —— | 外层较薄板件的厚度；                    |
| $\lambda$                   | —— | 构件长细比。                        |

#### 2.2.4 计算系数及其他：

|                                                           |    |                            |
|-----------------------------------------------------------|----|----------------------------|
| $n_f$                                                     | —— | 传力摩擦面数目；                   |
| $n_v$                                                     | —— | 螺栓受剪面数目；                   |
| $q$                                                       | —— | 芯材的强化系数，可取为 1%；            |
| $\alpha$                                                  | —— | 钢材线膨胀系数；                   |
| $\alpha_b$                                                | —— | 高强螺栓承压承载力计算承压系数；           |
| $\alpha_D$                                                | —— | 限制螺栓孔变形系数；                 |
| $\alpha_f$ 、 $\beta_f$                                    | —— | 折减系数；                      |
| $\gamma_{sp}$                                             | —— | 高强螺栓承压承载力计算中计入不同破坏模式影响的系数； |
| $\beta_{mx}$ 、 $\beta_{my}$ 、 $\beta_{tx}$ 、 $\beta_{ty}$ | —— | 等效弯矩系数；                    |
| $\gamma_0$                                                | —— | 结构重要性系数；                   |
| $\gamma_{Eh}$                                             | —— | 水平地震作用分项系数；                |
| $\gamma_{Rs}$                                             | —— | 地震作用延性调整系数；                |
| $\gamma_{RE}$                                             | —— | 结构构件承载力的抗震调整系数；            |
| $\gamma_{Ev}$                                             | —— | 竖向地震作用分项系数；                |
| $\gamma_x$                                                | —— | 截面塑性发展系数；                  |
| $\eta$                                                    | —— | 钢构件截面影响系数；                 |

- $\eta_y$  —— 芯材的超强系数；
- $\varphi_x$ 、 $\varphi_y$  —— 轴心受压构件稳定系数；
- $\varphi_b$ 、 $\varphi_{bx}$ 、 $\varphi_{by}$  —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数；
- $\varphi_n$  —— 节点超强系数；
- $\mu$  —— 摩擦系数；
- $\delta$  —— 结构延性系数；
- $\omega$  —— 应变强化调整系数。



### 3 基本规定

#### 3.1 一般要求

**3.1.1** 结构抗震减震设计可采用承载-（多级）消能构件。应根据结构类型、使用要求、抗震设防烈度、结构变形和内力控制要求等，选择不同形式的承载-（多级）消能构件。

**3.1.2** 承载-消能构件可与消能阻尼器组合，构成承载-多级消能构件。其中消能阻尼器可作为承载-多级消能构件的一级消能元件，承载-消能构件可作为二级消能元件。承载-多级消能构件可作为一种特殊形式的承载-消能构件使用。

**条文说明：**

可采用承载-消能构件与各种消能阻尼器组合，制成下列承载-多级消能构件：

- 1 与摩擦阻尼器组合，制成承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件；
- 2 与粘弹性阻尼器组合，制成承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件；
- 3 与金属阻尼器组合，制成承载-多级消能金属阻尼器组合构件。

**3.1.3** 确定承载-（多级）消能构件抗震减震结构的设计方案时，承载-（多级）消能构件的布置应符合下列规定：

- 1 承载-（多级）消能构件宜根据需要沿结构主轴方向设置，形成均匀合理的结构体系。
- 2 承载-（多级）消能构件宜设置在层间相对变形较大的位置。
- 3 承载-（多级）消能构件的设置，应便于检查、维护和替换，设计文件中应注明承载-（多级）消能构件使用的环境、检查和维护要求。

**3.1.4** 在地震作用下，承载-（多级）消能构件应在主体结构的其他构件屈服前发挥消能作用。

**3.1.5** 采用承载-（多级）消能构件的抗震减震结构，可同时采用具有自恢复功能的结构措施或者方案。

#### 3.2 结构体系要求

**3.2.1** 可对传统主体结构附加承载-（多级）消能构件，或将主体结构中的部分构件替换为承载-（多级）消能构件，构成抗震减震结构。

**3.2.2** 可根据不同抗震减震结构体系的需求,采用承载-消能梁柱节点、承载-消能钢支撑、承载-消能钢板墙、承载-消能钢连梁和承载-消能联肢剪力墙等承载-消能构件形式,以及承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件、承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件和承载-多级消能金属阻尼器组合构件等承载-多级消能构件形式。

**3.2.3** 抗震减震结构体系可采用下列形式:

1 框架型抗震减震结构:在传统钢筋混凝土框架或钢框架中,附加承载-消能梁柱节点;

2 支承框架型抗震减震结构:在传统钢筋混凝土框架或钢框架中,附加承载-消能钢支撑或承载-消能钢板墙;

3 剪力墙型抗震减震结构:在传统钢筋混凝土剪力墙结构的联肢剪力墙中,将其中的混凝土连梁替换为承载-消能钢连梁,构成承载-消能联肢剪力墙;

4 框架-剪力墙型抗震减震结构:针对传统钢筋混凝土框架-剪力墙或钢框架-剪力墙结构,在其中的剪力墙中采用承载-消能联肢剪力墙,还可同时在框架中附加承载-消能钢支撑或承载-消能钢板墙。

**3.2.4** 抗震减震结构应满足下列规定:

1 在多遇地震作用下,某一楼层承载-(多级)消能构件承担的地震水平剪力之和不宜小于该楼层地震剪力的 25%。

2 在罕遇地震作用下,承载-(多级)消能构件在整个结构中的消能比不宜小于 25%。

**条文说明:**

1 承载-(多级)消能构件在某一楼层的布置不能太小或太少,应布置在结构层间变形较大的位置,承受较多的楼层地震剪力,让承载-(多级)消能构件充分发挥承载和消能减震作用;

2 对于框架结构,可在结构层间变形较大的楼层布置承载-消能钢支撑或承载-消能钢板墙,构件的大小和数量需满足本条第 1 款的要求;

3 在框架-剪力墙结构中,结构底部位置楼层剪切变形较小,此时如果在结构底部位置的框架中布置承载-消能钢支撑或承载-消能钢板墙,承受的地震剪力会很小,难以满足本条第 1 款的要求,说明这种承载-消能钢支撑或承载-消能钢

板墙的布置发挥的作用不大，此时就没有必要在这些部位布置承载-消能钢支撑或承载-消能钢板墙，但可以选择剪力墙中合适的联肢剪力墙，做成承载-消能联肢剪力墙，承载-消能联肢墙应满足本条第1款的要求，而其中的承载-消能钢连梁无需满足本条第1款的要求；

4 采用承载-（多级）消能构件更重要的目的，是承载-（多级）消能构件能够充分发挥消能减震的作用，从而减小结构在罕遇地震作用下的响应，可通过承载-（多级）消能构件在整个结构中的消能比来进行判断。消能比指承载-（多级）消能构件耗散的地震能量占整个结构耗散地震能量的比值，可通过有效附加阻尼比与总阻尼比的比值进行估算，其中主结构在目标位移下的滞回阻尼比 $\xi_{hys}$ 可通过延性系数来确定，根据结构类型的不同，可按以下公式分别计算：

$$\text{混凝土剪力墙结构: } \xi_{hys} = 0.444 \left( \frac{\delta-1}{\delta\pi} \right)$$

$$\text{混凝土框架结构: } \xi_{hys} = 0.565 \left( \frac{\delta-1}{\delta\pi} \right)$$

$$\text{钢框架结构: } \xi_{hys} = 0.577 \left( \frac{\delta-1}{\delta\pi} \right)$$

式中： $\delta$ —结构延性系数，建议由静力弹塑性分析得到。

本条第2款是针对承载-（多级）消能构件在罕遇地震作用下发挥消能减震作用提出的最低要求。

**3.2.5** 在风荷载、多遇地震和罕遇地震作用下，抗震减震结构的层间位移角应符合表3.2.5规定的限值。

表 3.2.5 抗震减震结构的层间位移角限值

| 抗震减震结构形式      | 主体结构形式  | 风载                         | 多遇地震                       | 罕遇地震 |
|---------------|---------|----------------------------|----------------------------|------|
| 框架型、<br>支承框架型 | 钢框架     | 1/250                      | 1/250                      | 1/50 |
|               | 钢筋混凝土框架 | 1/550                      | 1/550                      |      |
|               | 钢管混凝土框架 | 1/300 (钢梁)<br>1/450 (混凝土梁) | 1/300 (钢梁)<br>1/450 (混凝土梁) |      |
|               | 型钢混凝土框架 | 1/550                      | 1/550                      |      |

|         |        |                                            |                                            |       |
|---------|--------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| 剪力墙型    | 剪力墙    | 1/800(结构高度不大于 150m)<br>1/600(结构高度不小于 250m) | 1/800(结构高度不大于 150m)<br>1/600(结构高度不小于 250m) | 1/100 |
| 框架-剪力墙型 | 框架-剪力墙 | 1/600(结构高度不大于 150m)<br>1/400(结构高度不小于 250m) | 1/600(结构高度不大于 150m)<br>1/400(结构高度不小于 250m) | 1/75  |

注：高度在 150m～250m 之间的框架-剪力墙或者剪力墙结构，其楼层最大层间位移角限值可取线性插值。

### 3.2.6 装配式结构宜采用抗震减震结构。

#### 条文说明：

装配式结构宜采用抗震减震结构的原因主要有三点：

- 1 采用抗震减震结构可解决装配式结构中节点连接需求过高的问题，并有效提高装配式结构的抗震安全性；
- 2 承载-（多级）消能构件本身就是装配式预制构件，可实现标准化和规格化，本身非常适合装配式结构；
- 3 抗震减震结构可降低主体结构的造价，减少结构总体装配量。

3.2.7 对于采用承载-（多级）消能构件进行抗震加固的钢筋混凝土结构，可根据罕遇地震下的楼层弹塑性位移角确定相应的构造措施。

## 3.3 材料要求

3.3.1 采用承载-（多级）消能构件的抗震减震结构，其主体结构可采用钢结构、钢筋混凝土结构、钢-混凝土组合结构，主体结构采用的材料应符合相关结构设计规范的规定。

3.3.2 抗震减震结构中的承载-消能构件，其消能元件可采用强度为 Q235 和 Q355 等级的结构钢，也可以采用 LY100、LY160 或 LY225 等级的低屈服点钢；其非消能元件可采用强度为 Q235、Q355、Q390、Q420 和 Q460 等级的结构钢。钢材质量应分别符合现行国家标准《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905、《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《建筑结构用钢板》GB 19879 和《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270 的有关规定。

**3.3.3** 抗震减震结构中的承载-多级消能构件，如采用特殊钢材、其他特殊金属材料或非金属材料，应经严格试验检验，并满足本规程对承载-消能构件和相关规范对消能阻尼器的规定。

**3.3.4** 抗震减震结构中的焊接材料和紧固件材料，应符合相关规范的要求。

**条文说明：**

焊接材料应符合下列规定：

1 手工焊接采用的焊条，应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 或《热强钢焊条》GB/T 5118 的有关规定，选择的焊条型号应与主体金属力学性能相适应。

2 焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045 和《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493 的有关规定。

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳素钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 的有关规定。

4 气体保护焊使用的氩气应符合现行国家标准《氩》GB/T 4842 的有关规定，其纯度不应低于 99.95%。气体保护焊使用的二氧化碳应符合现行行业标准《焊接用二氧化碳》HG/T 2537 的有关规定。

紧固件材料应符合下列规定：

1 强度等级不超过 Q420 的钢构件连接宜采用 8.8 级及 10.9 级高强度螺栓，强度等级超过 Q420 的钢构件连接宜采用 10.9 级及 12.9 级高强度螺栓。高强度螺栓性能和质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的有关规定。

2 钢结构用大六角高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定。钢结构用扭剪型高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的有关规定。

### 3.4 承载-（多级）消能构件要求

#### 3.4.1 承载-消能构件应符合下列要求：

- 1 在 50 年一遇风荷载或多遇地震作用的基本组合下，承载-消能构件应保持弹性。
- 2 在罕遇地震下，承载-消能构件应具有良好和稳定的滞回性能。
- 3 承载-消能构件的变形能力，应大于罕遇地震下结构达到规范规定的极限位移限值时构件变形的 1.2 倍。
- 4 承载-消能构件应具有良好的耐低周疲劳性能，并应符合本规程 5.3.7 条和 5.3.8 条的相关规定。

#### 条文说明：

3 本条款主要针对布置在结构薄弱层的承载-消能构件，其极限变形应大于《建筑抗震设计规范》GB50011 所规定的弹塑性层间位移角限值所对应的构件变形的 1.2 倍。对于布置在结构非薄弱楼层的承载-消能构件，其极限变形可小于上述要求。

#### 3.4.2 应根据结构不同的抗震减震需求，确定合理的承载-（多级）消能构件的设计目标：

- 1 针对改善结构整体刚度分布不规则的要求，承载-消能构件可以承载功能为主，不宜过早发生屈服，宜确保整个结构在设防地震作用下刚度分布基本合理。
- 2 针对改善结构关键部位的延性和保护结构的关键部件、重要构件的要求，承载-消能构件的承载功能与消能功能宜并重，多遇地震下承载-消能构件应保持弹性，设防地震下宜屈服，且控制罕遇地震下承载-消能构件的最大承载力不大于相关部位、部件和构件的屈服承载力。
- 3 可根据多遇地震和设防地震下结构的预期减震需求，以及罕遇地震下结构的弹塑性位移控制要求，设置承载-多级消能构件。

#### 3.4.3 承载-（多级）消能构件不宜承担重力荷载，应采取可靠措施减少重力荷载的影响。

#### 3.4.4 承载-（多级）消能构件的抽样和检测应符合下列规定：

- 1 承载-（多级）消能构件的抽样应由监理单位根据设计文件和本规程的有

关规定进行。

**2** 承载-（多级）消能构件的检测应由具备资质的第三方进行。

**3.4.5** 承载-（多级）消能构件的设计使用年限应与建筑物的设计使用年限相一致，当抗震减震结构遭遇设防地震、罕遇地震或火灾后，应对承载-（多级）消能构件进行检查和维护。

### **3.5 连接与节点要求**

**3.5.1** 承载-（多级）消能构件与主体结构的连接节点构造，应根据主体结构的材料类型，符合钢构件连接、钢构件与钢筋混凝土构件连接、钢构件与钢管混凝土构件连接和钢构件与型钢混凝土构件连接的构造的规定。

**3.5.2** 在承载-（多级）消能构件达到最大承载力时，与其相连的连接件、预埋件、节点板等应处于弹性工作状态，且不应发生滑移或拔出等破坏。

## 4 抗震减震结构的性能目标要求

**4.0.1** 抗震减震结构应结合建筑实际需求选择性能水准和性能目标，并采取满足预期抗震性能目标的措施。

**4.0.2** 抗震减震结构可采用承载-消能构件和承载-多级消能构件消能减震，也可同时采用各种消能阻尼器消能减震。

**4.0.3** 抗震减震结构性能目标可按照《建筑抗震设计规范》GB 50011 中的相关规定进行确定。

### 条文说明：

对于超过《建筑抗震设计规范》GB 50011 中规定的性能目标，应综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、承载-消能构件以及结构的特殊性等各项因素，可参照表4.0.3 确定，并进行专项研究。

**表 4.0.3 超过《建筑抗震设计规范》要求的性能目标**

| 地震水准  | 性能 1 | 性能 2    | 性能 3    | 性能 4    |
|-------|------|---------|---------|---------|
| 设防地震  | 完好   | 基本完好    | 基本完好    | 轻微至中等破坏 |
| 罕遇地震  | 基本完好 | 基本完好    | 轻微至中等破坏 | 中等破坏    |
| 极罕遇地震 | 轻微损坏 | 轻微至中等破坏 | 中等破坏    | 严重破坏    |

以上性能目标要高于《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 中“小震不坏、中震可修、大震不倒”的性能目标要求，同时对应地还有极罕遇地震下的性能目标要求。对于极罕遇地震的规定可参照《建筑隔震设计规范》（征求意见稿）。

**4.0.4** 针对性能 3 和性能 4，在多遇地震、设防地震和罕遇地震下，抗震减震结构应满足以下性能要求：

### 1 在多遇地震下

- 1) 主体结构和承载-消能构件应为弹性状态；
- 2) 承载-多级消能构件中的附加阻尼器可进入消能减震工作状态；

### 2 在设防地震下



- 1) 主体结构可屈服损伤，但应可修复；
- 2) 承载-消能构件宜进入消能减震工作状态；
- 3) 承载-多级消能构件的附加阻尼器可保持消能减震工作状态，也可退出工作。

### 3 在罕遇地震下

- 1) 主体结构可损坏，但不应倒塌；
- 2) 承载-消能构件应进入消能减震工作状态；
- 3) 承载-多级消能构件的附加阻尼器可退出工作。

**4.0.5** 不同性能目标的抗震减震结构设计及模型计算应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 的要求。

**4.0.6** 在性能 3 和性能 4 下，结构中的承载-消能构件在罕遇地震下进入塑性的数量比例不小于总数的 85%和 90%，承载-消能构件的消能比不宜小于 25%和 30%。

#### **条文说明：**

罕遇地震下承载-消能构件发挥主要作用，对于抗震性能要求不高的性能目标，罕遇地震下要求尽可能多的承载-消能构件进入塑性，这要求承载-消能构件满足一定的优化布置规则并且成本合适。承载消能构件在罕遇地震下所耗散的能量占比尽可能的大，也相当于给结构附加更大的阻尼比，是为了更好的保护主体结构安全，最大化承载-消能构件的耗散能量比建议通过优化布置和成本控制找到最佳布置方案。

本条文消能比可作为性能设计前期的估计指标，可根据静力弹塑性分析进行估算；若性能设计已完成，可进行弹塑性时程分析，承载-消能构件的消能比也可通过结构分析软件后处理得到。

## 5 承载-消能构件的性能要求

### 5.1 一般要求

**5.1.1** 承载-消能构件的材料应符合下列要求：

1 消能元件（部位）钢材的伸长率应大于 25%，屈服比应小于 0.80，在工作温度下冲击韧性应大于 34J，超强系数应不大于 1.3。

2 非消能元件（部位）钢材的伸长率应大于 15%，屈服比应小于 0.85，在工作温度下冲击韧性应大于 27J。

3 非消能元件（部位）混凝土的强度等级不低于 C30。

**5.1.2** 承载-消能构件应具有良好的耐疲劳性能和耐久性，其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。

### 5.2 性能要求

**5.2.1** 承载-消能构件的屈服变形、极限变形、屈服承载力以及极限承载力应符合设计要求，承载-消能节点的屈服转角、极限转角、屈服弯矩以及极限弯矩应符合设计要求。

**5.2.2** 承载-消能构件的滞回曲线应丰满、稳定、平滑、无异常。

**5.2.3** 承载-消能钢板墙整体稳定性和局部稳定性应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定，承载-消能钢板墙在消能方向运动时，平面外应具有足够的刚度，不能产生翘曲和侧向失稳。

**5.2.4** 承载-消能构件的极限变形能力应不小于承载-消能构件本身设计位移的 1.2 倍。

#### 条文说明：

布置于结构薄弱层的承载-消能构件，其本身的设计位移应不小于该结构倒塌极限位移对应的构件变形量；布置于结构非薄弱层的承载-消能构件，其本身的设计位移应不小于该结构在罕遇地震作用下达到设计位移时所对应的构件变形量，可小于薄弱层承载-消能构件的设计位移，有利于提高结构抗震减震设计的经济性和合理性。

**5.2.5** 承载-消能钢连梁应具有足够的承载力，其初始抗弯刚度及抗剪刚度应满足：

$$\gamma_{k,\min} K_M \leq K_{e,M} \leq \gamma_{k,\max} K_M \quad (5.2.5-1)$$

$$\gamma_{k,\min} K_V \leq K_{e,V} \leq \gamma_{k,\max} K_V \quad (5.2.5-2)$$

式中： $\gamma_{k,\min}$  — 连梁初始刚度折减系数最小值，宜取 0.6；

$\gamma_{k,\max}$  — 连梁初始刚度折减系数最大值，宜取 0.9；

$K_{e,M}$ 、 $K_{e,V}$  — 承载-消能钢连梁的初始抗弯刚度、初始抗剪刚度；

$K_M$ 、 $K_V$  — 未设置消能段的等截面通长钢连梁的初始抗弯刚度、初始抗剪刚度。

**5.2.6** 承载-消能钢连梁的塑性变形应集中在消能段，但承载-消能钢连梁采用部分中间段的消能形式时，端部梁段弹性刚度与消能段弹性刚度之比应满足：

$$\frac{K_b}{K_d} = \frac{2\Omega\lambda}{(1-\lambda)\left(1+\frac{\Omega-1}{\eta}\right)} \quad (5.2.6)$$

式中， $K_b$  — 承载-消能钢连梁梁端的弹性刚度；

$K_d$  — 承载-消能钢连梁消能段的弹性刚度；

$\lambda$  — 承载-消能钢连梁消能段变形与连梁总变形的目标比值；

$\eta$  — 承载-消能钢连梁消能段塑性刚度与弹性刚度的比值；

$\Omega$  — 超强系数，即承载-消能钢连梁最大剪力与屈服剪力之比，取 1.5~2.0。

**5.2.7** 承载-消能节点应具有足够的抗弯承载力和抗剪承载力：

$$\phi_b M_c \geq M_{DLE} \quad (5.2.7-1)$$

$$\phi_v V_c \geq \frac{M_{DLE}}{l_o} \quad (5.2.7-2)$$

式中： $\phi_b$  — 抗弯强度折减系数，取 0.75~0.9；

$M_c$  — 承载-消能节点的极限弯矩设计值；

$M_{DLE}$  — 多遇地震作用效应和其它荷载效应组合确定的承载-消能节点处弯矩设计值；

$\phi_v$  — 抗剪强度折减系数，取为 0.7~0.85；

$V_c$  — 承载-消能节点的极限剪力设计值。

$l_o$  — 承载-消能节点中心到梁中反弯点的距离。

**5.2.8** 承载-消能节点应有足够的抗剪能力，且在消能阶段节点的剪切变形不宜影响其消能能力。

**5.2.9** 为保证结构变形集中在承载-消能节点处，节点弯矩和梁端弯矩应满足如下关系：

$$M_c \frac{l}{l_0} < M_{b,y} \quad (5.2.9)$$

式中：  $M_c$  — 承载-消能节点的弯矩；

$l$  — 梁端到梁中反弯点的距离；

$l_0$  — 承载-消能节点中心到梁中反弯点的距离。

$M_{b,y}$  — 梁端屈服弯矩设计值。

### 5.3 性能检验与性能参数确定

**5.3.1** 承载-消能构件产品检验分为型式检验、出厂检验和进场检验。

**5.3.2** 型式检验应符合本规程的内容和要求，且型式检验应由第三方完成。

**5.3.3** 出厂检验由产品生产厂家自身完成，检验内容为外观检验，受检率为 100%。

**5.3.4** 进场检验为抽检检验，应由第三方完成，且应符合下列要求：

1 承载-消能构件性能的进场见证检验应包括力学性能和耐低周疲劳性能，可采用拟静力试验进行性能检验。

2 承载-消能构件力学性能的抽检数量应不少于同一工程同一类型同一规格数量的 3%，且不应少于 2 个；当同一类型同一规格的承载-消能构件数量较少时，可以在同一类型构件中抽检总数量的 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。

3 用于性能检测的承载-消能构件，不应再用于主体结构。

**5.3.5** 产品检测合格率未达到 100%，应按同批次抽检产品数量加倍抽检；加倍抽检的检测合格率应为 100%，否则该批次消能器不得在主体结构中使用。

**5.3.6** 承载-消能构件钢材的性能试验应符合现行国家标准《金属材料拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228 和《金属材料室温压缩试验方法》GB/T 7314

的规定。承载-消能构件所采用混凝土的材料性能试验应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

**5.3.7** 承载-消能构件的力学性能试验应在加载试验机上进行，试验应模拟其使用环境，且应按表 5.3.7 的规定进行。

**表 5.3.7 承载-消能构件的力学性能试验方法**

| 项 目         | 试验方法                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 初始弹性<br>刚度  | <p>试验采用位移控制的加载制度，承载-消能构件依次在其结构所在层的层间位移角弹性限值、1/150、1/100、1/75 和 1/50 所对应的构件变形下往复加载各 3 次变形；在上述试验完成后，在层间位移角 1/40 所对应的构件变形下往复 1 次变形。</p>                                                                                                          |
| 初始屈服<br>承载力 | <p>承载-消能构件的基本特性应通过骨架曲线的试验结果确定。</p> <p>骨架曲线由层间位移角弹性限值所对应变形幅值进行加载 3 圈确定的初始弹性刚度和每级幅值加载中第 3 圈承载力最大值点的连线确定。</p>                                                                                                                                    |
| 最大<br>承载力   | <p>初始弹性刚度由多遇地震下承载-消能构件所在层的层间位移角设计值所对应的构件变形幅值进行加载 3 圈，并根据第 3 圈得到的力-位移曲线的直线段斜率进行确定。</p> <p>用二折线模型来代替骨架曲线，将二折线拐点的承载力作为初始屈服承载力。首先，根据骨架曲线中层间位移角 1/150 对应的变形值点至层间位移角 1/50 对应的变形值点之间的曲线，由最小二乘法回归确定第二折线的斜率；然后，根据包络面积相等的原则，确定二折线拐点的位置，从而确定初始屈服承载力。</p> |
| 极限变形        | <p>最大承载力为试验过程中历经的最大载荷。</p> <p>极限变形由 1/40 层间位移角所对应的构件变形值确定。</p>                                                                                                                                                                                |
| 延性系数        | <p>延性系数由层间位移角 1/50 所对应的构件变形值与初始屈服变形确定。其中，初始屈服变形由上述二折线拐点的位移值确定。</p>                                                                                                                                                                            |

## 条文说明:

本规程建议以我国《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 对罕遇地震作用下结构的弹塑性层间变形限值为标准, 乘以不小于 1.2 的安全系数来确定布置于结构薄弱层的承载-消能构件的极限变形要求, 在一定程度上有利于提高结构在极罕遇地震下的安全储备, 具体如下:

- 1) 承载-消能钢支撑构件不应小于结构支撑位置轴线长度的  $1/80$ ;
- 2) 承载-消能钢板墙构件不应小于层高的  $1/40$ ;
- 3) 承载-消能钢连梁构件不应小于连梁所在楼层  $1/60$  层高相对位移相应的变形。

对于布置于结构非薄弱层的承载-消能构件, 其极限变形应不小于该结构在罕遇地震作用下达到设计位移时所对应的构件变形量的 1.2 倍。当该结构设计位移不明确时, 其极限变形可参照薄弱层承载-消能构件的要求。

另一方面, 美国标准《Seismic Provisions for Structural Steel Buildings》ANSI/AISC-341-16 要求对屈曲约束支撑试件进行拟静力往复加载试验, 其累积塑性变形应超过 200 倍屈服变形; 我国《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010、《高层建筑钢结构设计规程》JGJ 99-2015 规定: 依次按  $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$  支撑长度的变形各 3 次, 对应的层间位移角分别为  $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ , 试验和理论分析表明, 以上加载制度下的累计塑性变形不小于 200 倍屈服变形。

同济大学对不同场地条件、结构跨数、结构层数、抗震设防烈度等条件下采用承载-消能构件的抗震减震结构(钢框架-屈曲约束支撑结构), 并进行了罕遇地震下弹塑性时程分析, 得到了承载-消能构件在不同条件下的地震响应。分析结果表明: 经历一次大震, 承载-消能构件(Q235 钢材)发生的累积塑性变形的均值加 1 倍均方差为屈服变形的 282 倍。

综合考虑承载-消能构件的极限变形要求和消能性能(耐低周疲劳性能)要求, 同时为更为准确地确定承载-消能构件的初始弹性刚度, 可先在层间位移角弹性限值加载 3 圈, 因此, 本规程建议采用下列“3+12+1 圈”的试验加载制度:

首先, 承载-消能构件在层间位移角弹性限值加载 3 圈; 然后, 依次在层间位移角  $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$  和  $1/50$  对应的构件变形下往复加载各 3 次变形; 最后, 在上述试验完成后, 在  $1/40$  层间位移角对应的构件变形下往复 1 次变形。

按照上述加载制度，并不计入前 3 圈的累积塑性变形量，对于不同强度等级钢材的承载-消能构件，其累积塑性变形要求如下表所示。

**表 5.3.7 “12+1 圈” 试验加载制度对承载-消能构件的累积塑性变形要求**

| 承载-消能构件<br>钢材屈服强度<br>(MPa) | 按 1/300、1/200、1/150、1/100 变形反复加载各 3 次，加上 1/80 变形加载 1 次，所经历的累积塑性变形量与屈服变形之比 |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 100                        | 896.5                                                                     |
| 160                        | 541.3                                                                     |
| 225                        | 367.7                                                                     |
| 235                        | 351.6                                                                     |
| 345                        | 222.4                                                                     |

**5.3.8** 承载-消能构件的力学性能试验测试结果应符合表 5.3.8 的要求。

**表 5.3.8 承载-消能构件力学性能试验测试结果要求**

| 项 目         | 测试结果要求                                                                                      |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 初始弹性<br>刚度  | 同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内                                                        |
| 初始屈服<br>承载力 | 同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内                                                        |
| 最大承载力       | 循环加载后同一型号单个产品的实测值不应低于实测最大值的 85%；<br>循环加载后同一型号单个产品的实测值不应高于设计值的 10%；<br>最大承载力受压值与受拉值之比应小于 1.3 |
| 极限变形        | 循环加载后同一型号单个产品的实测值不应小于设计值的 85%                                                               |
| 延性系数        | 循环加载后同一型号单个产品的实测值不低于产品设计值的 85%，<br>且应不小于 5                                                  |

## 6 承载-多级消能构件的性能要求

### 6.1 一般要求

**6.1.1** 承载-多级消能构件应具有良好的耐低周疲劳性能和抗老化性能，承载-多级消能构件中的附加阻尼器应满足相关阻尼器的设计与性能要求，承载-多级消能构件中的承载-消能构件应满足承载-消能构件的设计与性能要求。

**6.1.2** 承载-多级消能构件中承载-消能构件的材料应满足本规程 5.1.1 条的要求，消能阻尼器的材料应满足相关规范的要求。

### 6.2 承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件

**6.2.1** 承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件，在多遇地震下摩擦阻尼器应摩擦消能，承载-消能构件保持弹性，在罕遇地震下承载-消能构件应屈服消能。

**6.2.2** 摩擦阻尼器的摩擦材料应选用静摩擦力与滑动摩擦力差别小、滑动摩擦力稳定且长期性能稳定的摩擦材料。

**6.2.3** 摩擦阻尼器应采用合适的构造方式使其施加的正压力精确、稳定且长期稳定。

**6.2.4** 承载-多级消能摩擦型阻尼器组合构件，主要设计指标为摩擦型阻尼器起滑力与起滑位移，承载-消能构件的屈服承载力、极限承载力、屈服变形和极限变形，其主要性能设计指标应使结构满足相应的性能目标。

### 6.3 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件

**6.3.1** 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件，在风振和多遇地震下粘弹性阻尼器应消能工作，承载-消能构件保持弹性，在罕遇地震下承载-消能构件应屈服消能。

**6.3.2** 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件的性能参数受工作频率和温度的影响，其性能参数与其震动频率有关，设计时应取结构振型频率对应的粘弹性阻尼器的性能参数。



**6.3.3** 粘弹性材料与钢板间应具有良好的粘结性能,在极限变形下不应发生粘结界面的破坏。

**6.3.4** 粘弹性材料的主要力学性能参数包括剪切模量  $G$  和损耗因子  $\eta$ ,上述力学性能参数需通过试验确定。试验所采用的加载频率,小震所对应的频率应参考结构弹性周期,大震对应的频率应参考结构等效塑性周期。

**6.3.5** 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件,主要设计指标为粘弹性阻尼器的出力(包括弹性力与阻尼力),承载-消能构件的屈服力、屈服位移,其主要性能设计指标应使结构满足相应的性能目标。

## **6.4 承载-多级消能金属阻尼器组合构件**

**6.4.1** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件中的金属阻尼器,在 50 年一遇风荷载作用下应不屈服,进行结构分析时可考虑其刚度。

**6.4.2** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件中的金属阻尼器,在多遇地震下可屈服消能,在罕遇地震下可退出工作。

### **条文说明:**

承载-多级消能金属阻尼器组合构件中的金属阻尼器,是承载-消能构件的一个附加阻尼器,主要目的是在多遇地震下能屈服消能减震。但在罕遇地震下,允许金属阻尼器退出工作,此时主要由组合构件中的承载-消能构件屈服消能,其消能减震作用也远远大于金属阻尼器。

**6.4.3** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件的力学性能指标可按下列方式确定(参见图 6.4.3):

**1** 一级屈服力可取为金属阻尼器屈服力与金属阻尼器屈服时承载-消能构件的承载力之和,一级刚度可取为金属阻尼器的弹性刚度与承载-消能构件的弹性刚度之和。

**2** 二级屈服力的上限可取为承载-消能构件屈服力与承载-消能构件屈服时金属阻尼器的承载力之和,下限可取为承载-消能构件屈服力;二级刚度可取为承载-消能构件的弹性刚度与金属阻尼器的二级刚度之和。

3 三级刚度的上限可取为承载-消能构件的二级刚度与金属阻尼器的二级刚度之和，下限可取为承载-消能构件的二级刚度。

4 最大承载力，可取其中承载-消能构件的极限承载力。

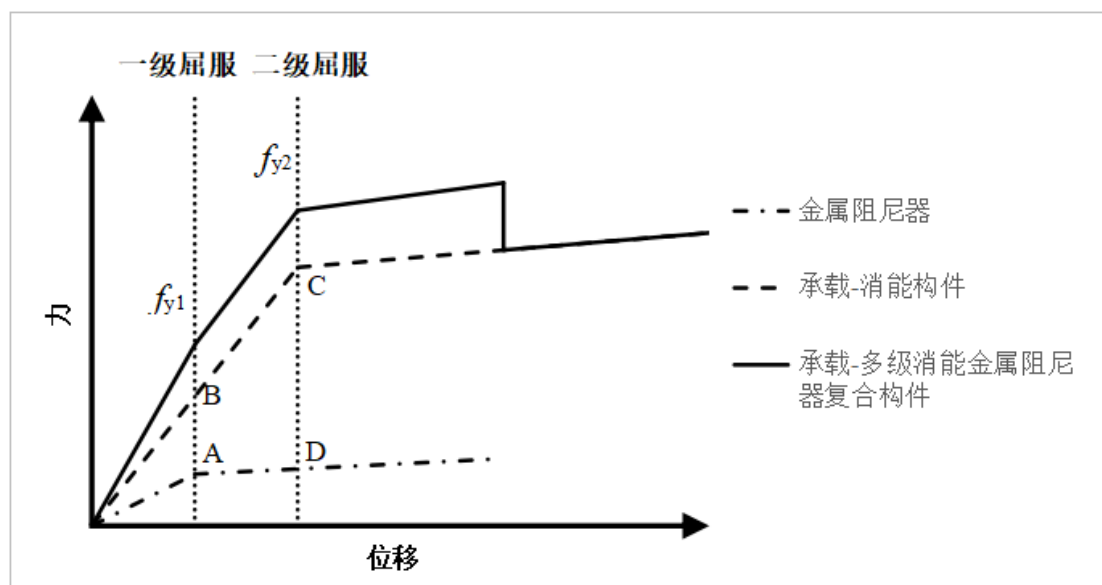


图 6.4.3 承载-多级消能金属阻尼器组合构件分级屈服机制

条文说明:

承载-多级消能金属阻尼器组合构件的分级屈服机制如图 6.4.3 所示，金属阻尼器率先屈服，承载-消能构件随后屈服，其一级屈服力  $F_{y1}$  和二级屈服力  $F_{y2}$  分别为：

$$F_{y1} = F_{yA} + F_B \quad (6.4.3-1)$$

$$F_{y2} = F_{yC} + F_D \quad (6.4.3-2)$$

式中， $F_{yA}$ ， $F_{yC}$  分别为图中金属阻尼器和承载-消能构件屈服时各自的屈服力， $F_B$ ， $F_D$  分别为图中 B 点和 D 点，金属阻尼器屈服时承载-消能构件的承载力和承载-消能构件屈服时金属阻尼器的承载力。

若在承载-消能构件屈服时金属阻尼器已经破坏而退出工作，则此时二级屈服承载力应仅考虑承载-消能构件的贡献，按式 6.4.3-3 计算。

$$F_{y2} = F_{yC} \quad (6.4.3-3)$$

因此，由式 (6.4.3-2) 确定的值可作为二级屈服力的上限，由式 (6.4.3-3) 确定的值可作为二级屈服力的下限。

承载-多级消能金属阻尼器组合构件的三级刚度，也可视承载-消能构件屈服

时金属阻尼器是否破坏退出工作，其上限为承载-消能构件的二级刚度与金属阻尼器的二级刚度之和，下限为承载-消能构件的二级刚度。

承载-多级消能金属阻尼器组合构件的最大承载力,一般为构件达到极限变形的承载力，此时可不再考虑金属阻尼器的作用，故可取其中承载-消能构件的极限承载力。

**6.4.4** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件的主要力学性能指标应符合表 6.4.4 的要求。

**表 6.4.4 承载-多级消能金属阻尼器组合构件力学性能要求**

| 项 目         | 允许偏差                                                                                        |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 二级刚度        | 同一型号单个产品的实测值偏差应在产品设计值的±15%以内                                                                |
| 二级屈服<br>承载力 | 同一型号单个产品的实测值偏差的应在产品设计值上限的+15%和下<br>限的-15%以内                                                 |
| 极限变形        | 循环加载后同一型号单个产品的实测值不应小于设计值的 85%                                                               |
| 最大承载力       | 循环加载后同一型号单个产品的实测值不应低于实测最大值的 85%；<br>循环加载后同一型号单个产品的实测值不应高于设计值的 10%；<br>最大承载力受压值与受拉值之比应小于 1.3 |

**6.5 性能检测与性能参数确定**

**6.5.1** 承载-多级消能构件的性能检测应分两阶段进行，第一阶段为对其中阻尼器的性能检测，第二阶段为对其中承载-消能构件的性能检测。

**6.5.2** 对承载-多级消能构件中粘弹性阻尼器的性能检测应满足下列要求：

1 对于承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件，应制作与组合构件类似的、不含承载构件的粘弹性阻尼器，单独进行四阶段性能试验并提供检验。

第一阶段检测，应以结构多遇地震下层间位移角设计值对应的构件变形量为加载幅值进行正弦加载，加载频率为结构弹性基础频率，加载圈数不少于 30 圈；

第二阶段检测,应以结构罕遇地震下层间位移角设计值对应的构件变形量为加载幅值进行正弦加载,加载频率取结构相应层间位移处所对应的等效频率,加载圈数不少于 30 圈;

第三阶段检测,应以结构罕遇地震下层间位移角设计值对应的构件变形量为加载幅值进行拟静力加载,加载圈数不少于三圈;

第四阶段检测,应以结构 1/40 层间位移角对应的构件变形量为加载幅值进行正弦加载,加载频率取结构相应层间位移处所对应的等效频率,加载圈数不少于 1 圈。

2 粘弹性阻尼器第一阶段、第二阶段测试中,在最后一次往复加载下测得的阻尼器承载力不应低于此前加载最大承载力的 85%;第三阶段测试中,粘弹性阻尼器弹性刚度实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内;第四阶段测试中,粘弹性阻尼器最大承载力实测值偏差应在产品设计值的 $\pm 15\%$ 以内。

#### 条文说明:

粘弹性阻尼器试件应与承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件中粘弹性阻尼器部件保持一致,若试验条件不允许,可采用缩尺试件。

第一阶段和第二阶段测试分别检测粘弹性阻尼器在多遇地震和罕遇地震下的疲劳性能;通过第三阶段检测可以得到粘弹性阻尼器的弹性刚度,与 6.5.3 条的检测结果结合可得到承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件中承载-消能构件的力学性能;通过第四阶段检测可得到粘弹性阻尼器的最大承载力,与 6.5.3 条的检测结果结合可得到承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件考虑粘弹性阻尼器动力性能的最大承载力。

结构进入塑性后刚度降低,此时结构频率应取刚度下降后的等效频率,即结构相应层间位移下对应的等效频率。可采用静力弹塑性方法,将结构力-位移曲线双线性化,得到等效刚度(参见图 6.5.2),进而得等效频率,具体为:

$$f_{eq} = \sqrt{\frac{1+\beta\delta-\beta}{\delta}} f_1 \quad (6.5.2)$$

式中:  $f_{eq}$  — 结构等效频率;

$f_1$  — 结构弹性基础频率;

$\beta$  — 结构屈服后刚度与弹性刚度的比值;

$\delta$ — 结构延性系数;

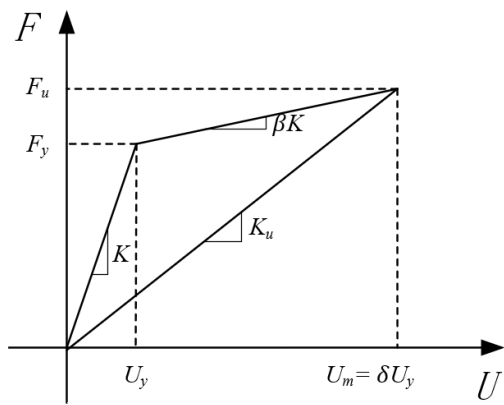


图 6.5.2 等效刚度示意图

其中,  $F_y$  为结构屈服承载力;  $F_m$  为结构极限承载力;  $U_y$  为结构屈服位移;  $U_m$  为结构极限位移。

**6.5.3** 对承载-多级消能构件中摩擦阻尼器和金属阻尼器的性能检测应满足下列要求:

- 1 对于承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件和承载-多级消能金属阻尼器组合构件, 第一阶段检测应以结构弹性层间位移角限值对应的构件变形量为加载幅值, 加载圈数不少于 30 圈。
- 2 在第一次往复加载下测得的构件一级 (起滑) 屈服力和一级刚度, 与产品设计值的偏差应在±15%以内, 在最后一次往复加载下测得的构件承载力不应低于此前加载最大承载力的 85%。

**条文说明:**

承载-多级消能构件的力学性能检测第一步为以弹性层间位移角限值对应的变形量为加载幅值进行往复加载试验, 主要目的为检测阻尼器的耐低周疲劳性能, 同时检验组合构件的一级 (起滑) 屈服力和一级刚度等力学性能指标。

对于不同的结构类型, 不同类型的构件所适用的结构弹性层间位移限值如表 6.5.3 所示。

表 6.5.3 不同结构类型对应的弹性层间位移角限值

| 结构类型 | 构件类型 | 弹性层间位移限值      |
|------|------|---------------|
| 框架结构 | 支撑、墙 | 1/550 (混凝土框架) |
|      |      | 1/250 (钢框架)   |

|          |      |                              |
|----------|------|------------------------------|
| 剪力墙结构    | 连梁   | 1/800                        |
| 框架-剪力墙结构 | 支撑、墙 | 1/550 (混凝土框架)<br>1/250 (钢框架) |
|          | 连梁   | 1/800                        |

**6.5.4** 对承载-多级消能构件中承载-消能构件的性能检测，应对承载-多级消能构件按照本规程 5.3.7 方法进行试验，其测试结果应满足本规程 5.3.8 的要求。

**条文说明：**

第二阶段试验按照承载-消能构件的力学性能检测试验要求进行，这一步试验的主要目的为检测其中承载-消能构件在设防地震和罕遇地震下的力学性能指标。其中，计算承载-多级消能粘弹阻尼器组合构件最大承载力容许偏差时，应先在最大承载力中扣除粘弹性阻尼器在此级别的承载力，再计算偏差；承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件中，承载-消能构件的最大承载力容许偏差为，偏差总量扣除摩擦阻尼器最大摩擦力的 15%。

**6.5.5** 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件和承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件，在试验中阻尼器应与承载-消能构件协同工作；在极限变形下粘弹性阻尼器界面不应出现明显脱离现象。

**6.5.6** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件可根据 5.3.7 条确定其一阶屈服力和一阶刚度。

**条文说明：**

承载-多级消能金属阻尼器组合构件的一阶屈服力为阻尼器的屈服承载力和相应位移下承载-消能构件的承载力之和，一阶刚度为组合构件的初始弹性刚度。

## 7 结构的抗震减震设计

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 抗震减震结构应进行结构在多遇地震下的承载力和弹性变形验算,以及罕遇地震下的弹塑性变形验算,并满足国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的设计要求。

**7.1.2** 楼(屋)盖宜满足平面内无限刚性的要求,承载-消能构件及消能阻尼器设计应符合现行《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的要求。计算分析模型应同时包括主体结构与承载-消能构件。

**7.1.3** 抗震减震结构的地震作用和作用效应组合,可按国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定计算。

**7.1.4** 当抗震减震结构的主体结构高度超过现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 规定时,应进行专项研究。

**7.1.5** 对于抗震减震结构,在罕遇地震下承载-(多级)消能构件在整个结构中的消能比大于 25%,且结构最大层间位移角与弹塑性层间位移角限值的比值小于《建筑抗震设计规范》GB50011 规定限值的 65%时,则主体结构的适用高度可按《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定降低设防烈度 1 度确定,降低后的设防烈度应不低于 6 度。

**7.1.6** 如无特殊说明,本章条例也适用于采用承载-多级消能构件的抗震减震结构。

### 7.2 结构分析

**7.2.1** 结构分析模型应正确反映不同水准地震动下主体结构和承载-(多级)消能构件的工作性能。

**7.2.2** 采用承载-(多级)消能构件的抗震减震结构,可采用有限单元分析模型。可以主体结构的构件、承载-消能构件或承载-多级消能构件、以及同时独立设置的消能阻尼器构件为对象划分单元,结构单元应正确反映主体结构、承载-消能

构件和消能阻尼器的受力工作状态。

**7.2.3 抗震减震结构的地震作用效应计算，应采用下列方法：**

1 当主体结构处于弹性工作状态，且承载-消能构件仅处于线性承载状态，或者承载-多级消能构件含有的阻尼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 当主体结构处于弹性工作状态，且承载-消能构件或者阻尼器处于非线性工作状态时，可将承载-消能构件或者阻尼器进行等效线性化，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，且静力弹塑性分析方法应计入重力二阶效应的影响。

4 对超过 20 层的结构，可采用数值子结构分析方法进行设计分析。

**7.2.4 抗震减震结构地震作用效应的详细计算和规定应参照《建筑消能减震技术规程》JGJ 297。**

**7.2.5 采用振型分解反应谱法、时程分析法、静力弹塑性分析法分析时应参考现行《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013 中 4.1.4-4.1.7 条的相关规定。时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值可按表 7.2.5 使用。**

**表 7.2.5 时程分析所用的地震加速度时程曲线的最大值（cm/s<sup>2</sup>）**

| 地震影响  | 6度  | 7度    |       | 8度    |       | 9度    |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |     | 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g | 0.40g |
| 多遇地震  | 18  | 35    | 55    | 70    | 110   | 140   |
| 设防地震  | 50  | 100   | 150   | 200   | 300   | 400   |
| 罕遇地震  | 125 | 220   | 310   | 400   | 510   | 620   |
| 极罕遇地震 | 160 | 320   | 460   | 600   | 840   | 1080  |

注：设计地震加速度峰值相当于现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306-2015 中的地震动峰值加速度。



**7.2.6** 采用振型分解反应谱法或等效线性化分析法进行结构地震反应分析时,应根据不同水准地震下结构的工作状态,确定结构的总阻尼比。结构的总阻尼比应为主体结构阻尼比和承载-消能构件、承载-多级消能构件及同时独立设置的消能阻尼器的附加有效阻尼比之和。

**7.2.7** 在弹性时程分析和弹塑性时程分析中,抗震减震结构的恢复力模型应包括主体结构恢复力模型和承载-消能构件以及承载-多级消能构件中阻尼器的恢复力模型,并应经过试验验证。

**7.2.8** 承载-消能钢支撑的单元模型和恢复力模型可参考附录 A, 承载-消能钢板墙的单元模型和恢复力模型可参考附录 B, 承载-消能钢连梁的单元模型和恢复力模型可参考附录 C, 承载-消能节点的单元模型和恢复力模型可参考附录 D, 承载-多级消能构件的恢复力模型可参考附录 E。

**7.2.9** 承载-消能构件与连接部件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现行《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013 中 6.3.1 的规定。

**7.2.10** 可将承载-多级消能构件单元分解为并联的承载-消能构件单元和阻尼器单元,进行结构分析。

**7.2.11** 采用了承载-消能构件和阻尼器的大型复杂结构,在地震作用下的内力、变形分析及减震效果评价,应采用不少于两个成熟、独立的软件进行对比分析,计算结果应经分析判断合理后,方可用于结构设计。

### 7.3 设计方法

**7.3.1** 承载-消能减震结构的设计主要分为多遇地震下的弹性设计和罕遇地震下的弹塑性设计,以满足不同地震水准下的性能目标。

#### **条文说明:**

由结构的减震控制目标确定承载-消能构件的设计参数,并选用满足要求的既有承载-消能构件产品。所选用的承载-消能构件应满足在多遇地震下不屈服,利用其附加弹性刚度减小结构地震响应;在罕遇地震下屈服并吸收地震能量,从而减小主体结构的地震响应。

**7.3.2** 依据承载-消能减震结构的性能目标要求确定结构在多遇地震和罕遇地震

下的性能指标。其中，承载-消能构件附加给结构的弹性刚度应使结构满足多遇地震下的性能指标，承载-消能构件的耗能能力应使结构满足罕遇地震下的性能指标。

**7.3.3** 承载-消能减震结构在多遇地震下的弹性设计需根据结构在多遇地震下的性能指标，初步确定承载-消能构件的布置形式并选用具有合理性能参数（初始刚度）的承载-消能构件产品。基于振型分解法，确定承载-消能构件的布置形式和初始刚度满足多遇地震下的性能指标。应使用弹性时程分析方法对设计结果进行验算。

**条文说明：**

承载-消能减震结构在多遇地震下的弹性设计可按以下步骤进行。

1 根据结构在多遇地震下的性能指标和刚度需求，选用具有合理初始刚度的承载-消能构件产品，确定承载-消能构件的位置并布置于结构中；

2 应用振型分解法计算结构响应，包括结构的层间位移、地震作用力和承载-消能构件的变形等；

3 校核结构的响应是否满足多遇地震下性能指标的要求。如满足则结束设计；如果不满足需更换不同初始刚度的承载-消能构件，重新计算结构响应直至满足要求为止；

4 经多遇地震弹性设计的承载-消能构件，尚需满足罕遇地震下弹塑性设计要求，并通过弹塑性时程分析对设计结果进行验证。承载-消能构件的变形能力应满足罕遇地震下的变形能力要求。

**7.3.4** 承载-消能减震结构在罕遇地震下的弹塑性设计需根据结构在罕遇或极罕遇地震下的性能指标，初步选用具有合理性能参数（屈服变形、屈服力、极限力和极限变形）的承载-消能构件产品。基于静力弹塑性分析，确定承载-消能构件的性能参数（屈服变形、屈服力、极限力和极限变形）满足罕遇或极罕遇地震下的性能指标。宜使用弹塑性时程分析方法对设计结果进行验算。

**条文说明：**

承载-消能减震结构罕遇地震下弹塑性设计可按以下步骤进行。

1 根据结构在罕遇地震或极罕遇地震下的性能指标，初步选定具有合理性

能参数（屈服变形、屈服力、极限力和极限变形）的承载-消能构件产品；

2 根据选用的承载-消能构件的性能参数，确定承载-消能构件的恢复力模型并建立结构的分析模型；

3 对结构进行静力弹塑性分析，得到结构的荷载-位移曲线并转化为能力谱；

4 由结构的能力谱和对应地震动强度水准的弹塑性需求谱，根据能力谱法基本原理得到结构的性能点。校核性能点是否满足结构在罕遇地震（或极罕遇地震）下的性能指标。如满足性能指标要求，当前选用型号的承载-消能构件可作为待验证的设计方案；如不满足，更换不同性能参数的承载-消能构件并重复上述分析过程，直至满足性能指标为止；

5 对结构进行罕遇地震下的弹塑性时程分析以校核承载-消能构件的设计参数是否满足结构性能指标；对超过 20 层的高层结构，可采用数值子结构分析方法；

6 选用的承载-消能构件的变形能力应满足罕遇地震下的变形能力要求，即极限变形能力不小于 1.2 倍罕遇地震下承载-消能构件的最大变形；

7 选用的承载-消能构件还应满足低周疲劳的性能要求，即在最大应变下的低周疲劳循环次数应能满足规范的要求。

## 7.4 主体结构设计要求

7.4.1 承载-消能构件在主体结构中的布置应符合下列规定：

1 承载-消能构件的竖向布置宜使结构沿高度方向刚度均匀；

2 承载-消能构件宜布置在层间相对位移和相对速度较大的楼层，同时可采用合理形式增加承载-消能构件两端的相对变形或相对速度，提高承载-消能构件的减震效率；

3 单跨框架可采用承载-消能构件抗地震作用侧力，形成多道防线，其中消能构件应逐层布置，且消能构件之间的楼屋盖的长宽比应满足表 7.4.1 的要求。

4 仅在结构平面一个方向布置承载-多级消能减震构件时，可仅计算该方向的附加阻尼比。

表 7.4.1 承载-消能构件之间的楼屋盖的长宽比

| 楼、屋盖类型    | 设防烈度 |   |   |      |
|-----------|------|---|---|------|
|           | 6    | 7 | 8 | 9    |
| 现浇或叠合楼、屋盖 | 4    | 4 | 3 | 2    |
| 预制板楼、屋盖   | 3    | 3 | 2 | 不宜采用 |

**条文说明:**

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承载-消能构件,也可以只在结构平面较弱的-一个主轴方向布置承载-消能构件,这时结构设计应只考虑布置承载-消能构件方向的消能减震作用。

当结构竖向存在薄弱层时,应优先在薄弱层布置承载-消能构件,然后再考虑沿结构竖向的其他楼层布置。承载-消能构件宜上下连续布置,实际工程中由于建筑功能限制,当少数(10~15%)承载-消能构件不能连续布置时,其下一跨应满足子结构设计的相关要求。

进行结构位移和舒适度验算时,结构平面不同方向的附加阻尼比可根据承载-多级消能减震构件实际布置情况进行确定,进行结构承载力验算时,可以按照结构两个方向的不同阻尼比分别验算,当软件无法实现时,阻尼比可采用两个方向的较低值。

**7.4.2** 承载-消能构件的布置不宜使结构出现薄弱构件或薄弱层,且宜使结构各楼层的层间刚度接近。

**7.4.3** 承载-消能钢支撑可采取单斜杆支撑、人字形支撑或 V 字形支撑等布置形式,不宜采用“K”字形布置,支撑的水平夹角宜为  $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。

**7.4.4** 承载-消能钢支撑采用人字形或 V 形布置形式时,相交于同一节点的两根承载-消能钢支撑的截面、长度和材料等应相同。

**条文说明:**

承载-消能钢支撑采用人字形或 V 形布置形式时,相交于同一节点的两根承

载-消能钢支撑的内力会有差异，在节点处产生竖向不平衡力，这个不平衡力需由节点和节点处结构横梁承受。为减小这种不平衡力对节点和结构横梁的作用，要求相交于同一节点的两根承载-消能钢支撑应采用同一型号，即支撑的截面、长度和材料等应相同。

**7.4.5** 承载-消能钢板墙宜沿结构竖向连续布置，且宜布置在梁跨中间，当钢板墙的宽度小于梁计算跨度的 1/3 倍时，可靠近梁端部布置。

**7.4.6** 承载-消能构件（包括承载-多级消能构件）附加给主体结构的实际有效刚度和有效阻尼比，可按下列方法确定：

- 1 承载-消能构件附加给结构的实际有效刚度可按等价线性化方法确定。
- 2 承载-消能构件附加给主体结构的有效阻尼比可按下列公式估算：

$$x_a = \frac{\sum_j W_{cj}}{4pW_s} \quad (7.4.6-1)$$

式中： $x_a$  为附加有效阻尼比； $W_{cj}$  为第  $j$  个承载-消能构件在结构预期层间位移  $D_{uj}$  下往复循环一周所消耗的能量； $W_s$  为设置承载-消能构件结构在预期位移下的总应变能。

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

- 3 不计及扭转影响时，采用承载-消能构件的结构在水平地震作用下的总应变能，可按下列公式计算：

$$W_s = \sum F_i u_i / 2 \quad (7.4.6-2)$$

式中： $F$ —质点  $i$  的水平地震作用标准值（一般取相应于第一振型的水平地震作用即可，kN）； $u$ —质点  $i$  对应于水平地震作用标准值的位移(m)。

- 4 承载-消能构件在水平地震作用下往复循环一周所消耗的能量，可按下列公式估算：

$$W_{cj} = \sum A_j \quad (7.4.6-3)$$

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

**7.4.7** 采用振型分解反应谱法、时程分析法、静力弹塑性分析方法分析时，承载-消能构件的附加阻尼比计算应符合现行《建筑消能减震技术规程》JGJ 297-2013 中 6.3.3-6.3.5 的规定。

**7.4.8** 采用承载-消能构件和承载-多级消能构件的结构，在多遇地震和设防地震作用下结构总阻尼比应分别计算，承载-消能构件附加给结构的有效阻尼比超过25%时，宜按25%计算。

**7.4.9** 当抗震减震结构中承载-消能构件沿结构高度布置使得结构竖向刚度较均匀时，承载-消能构件附加给结构的有效阻尼比也可采用自由振动衰减法计算。

**7.4.10** 主体结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 主体结构的截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定执行。

2 当抗震减震结构采用振型分解反应谱法计算地震作用效应时，宜按多遇地震作用下多级消能中阻尼器的附加阻尼比取值。

## **7.5 承载-（多级）消能构件连接件及相邻构件设计**

**7.5.1** 抗震减震结构中，承载-（多级）消能构件连接件及相邻构件的抗震设计验算，包括承载-（多级）消能构件与主体结构的连接节点及与该节点相邻的结构构件，并宜符合现行《建筑消能减震技术规程》JGJ 297 的规定。

**7.5.2** 承载-（多级）消能构件与主体结构的连接节点应符合下列规定：

1 连接节点的极限承载力应不小于承载-（多级）消能构件在极限位移下阻尼力作用的1.2倍；

2 进行连接节点设计时，应考虑承载-（多级）消能构件端部内力偏心产生的附加弯矩。

**条文说明：**

*连接节点的极限承载力，可以采用连接节点材料的极限强度标准值进行计算。*

**7.5.3** 与承载-（多级）消能构件相邻的结构构件应符合下列规定：

1 这些构件的承载力，应不小于多遇地震下内力效应的1.5倍与其他作用效应组合的设计值；

2 这些构件在罕遇地震下，应能正常工作。

**条文说明:**

与承载-（多级）消能构件相邻的结构构件在罕遇地震作用下，可以进入屈服，但在地震作用与重力荷载代表值组合作用下的内力不宜超过构件的极限承载力，性能化设计时，不宜超过中度损坏。

## 7.6 构造措施

**7.6.1** 采用承载-（多级）消能构件的抗震减震结构，其主体结构的抗震等级可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定，并采取相应的构造措施。

**7.6.2** 在罕遇地震作用下，当承载-（多级）消能构件在整个结构中的消能比超过 25%，且最大层间位移角与弹塑性层间位移角的比值比小于《建筑抗震设计规范》GB50011 规定限值的 65%时，则确定该楼层主体结构（消能子结构除外）构造措施的抗震等级可按设防烈度降低 1 度确定，降低后的设防烈度应不低于 6 度。

**7.6.3** 承载-（多级）消能构件相邻构件的抗震等级应按照主体结构的设防烈度确定，相应的构造措施应符合下列要求：

**1** 承载-（多级）消能构件相邻构件为混凝土或型钢混凝土构件时，构件的箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 的要求；

**2** 承载-（多级）消能构件相邻构件为混凝土剪力墙时，其端部宜设暗柱，其箍筋加密区长度、箍筋最大间距和箍筋最小直径，应不低于《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 中对框架柱的要求；

**3** 承载-（多级）消能构件相邻构件为钢构件时，构件的宽厚比和长细比，应满足《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《钢结构设计标准》GB50017 的要求。

## 8 承载-消能构件的连接与构造

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 承载-消能构件与主体结构的连接一般分为：支撑型和墙型等，设计时应根据工程具体情况和承载-消能构件的类型合理选择连接形式。

**8.1.2** 当承载-消能构件采用支撑型连接时，可采用单斜撑支撑布置、“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。

**8.1.3** 承载-消能构件与节点板、预埋件的连接可采用高强螺栓连接、焊接或销轴连接等形式。高强螺栓连接、焊接或销轴连接的计算、构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。高强螺栓应按摩擦型连接进行设计。

**8.1.4** 连接承载-消能构件的连接件在承载-消能构件达到极限承载力状态下均应保持弹性。

**8.1.5** 预埋件和节点板应具有足够的刚度、强度和稳定性。

**8.1.6** 承载-消能构件与节点板或连接板的连接承载力设计值不应低于承载-消能构件的承载力设计值，其极限承载力应大于承载-消能构件极限承载力的 1.2 倍。

**条文说明：**

承载-消能构件与节点板的焊缝连接极限承载力，可采用焊缝的抗拉强度计算。

**8.1.7** 与承载-消能构件相连的节点板、预埋件的承载力设计值不应低于承载-消能构件的承载力设计值，其极限承载力应大于承载-消能构件极限承载力的 1.2 倍。

**8.1.8** 当承载-消能构件采用低屈服点钢材时，与普通低碳钢、合金钢进行焊接可采用与被连接钢材相配套的焊剂。焊接强度需根据焊接工艺评定结果确定。

**条文说明：**

焊接工艺评定结果表明，LY225 与 Q355B 对接焊缝、T 型焊缝，当采用 E50 系列焊剂时，焊缝强度超过母材 Q355B 的极限强度。

**8.1.9** 承载-消能构件与结构连接时，宜采用附录 F 的节点连接形式。



## 8.2 节点板的验算要求

**8.2.1** 节点板设计时应验算节点板的截面、连接焊缝或高强度螺栓的强度。

**8.2.2** 节点板与预埋件连接焊缝验算的作用力可按拉剪法、纯剪法或按预埋件刚度分配法计算得到的分力值。

**8.2.3** 连接节点焊缝的相关要求应满足《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11 章 第 2 节第 1~8 条的要求。

**8.2.4** 节点板在拉剪作用下的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f \quad (8.2.4-1)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha_i}} \quad (8.2.4-2)$$

式中： $N$  ——作用于节点板上承载-消能构件的拉力组合效应设计值；

$A_i$  ——第  $i$  段破坏面的截面积， $A_i = t l_i$ ；当为螺栓连接时，应取净截面面积（ $\text{m}^2$ ）；

$\eta_i$  ——第  $i$  段的拉剪折算系数；

$f$  ——钢材的抗拉强度设计值（ $\text{N}/\text{mm}^2$ ）；

$\alpha_i$  ——第  $i$  段破坏线与拉力轴线的夹角；

$t$  ——板件厚度（ $\text{mm}$ ）；

$l_i$  ——第  $i$  段破坏段的长度（ $\text{mm}$ ），应取板件中最危险的破坏线的长度（图 8.2.4）。

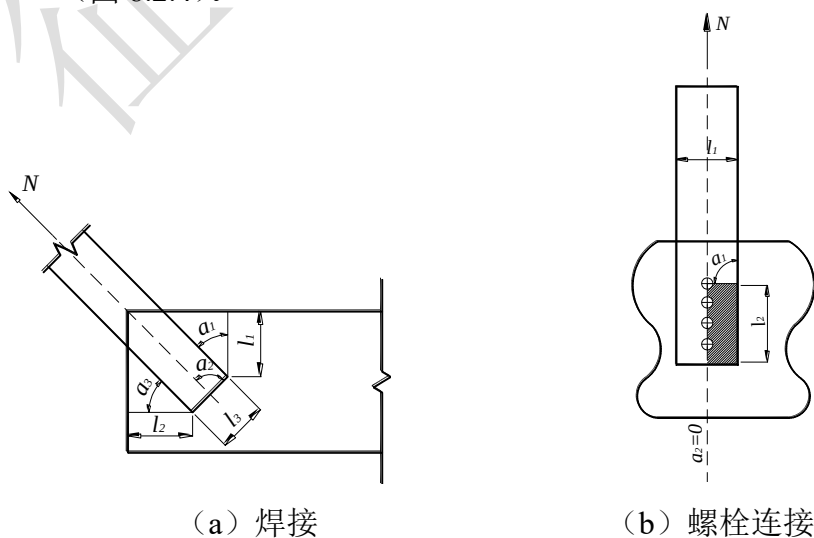


图 8.2.4 节点板的拉剪撕裂

**8.2.5** 节点板在压力作用下的稳定性，应符合下列规定：

1 对梁柱相交处有斜向支撑或消能构件的节点，其节点板  $c/t$  不得大于  $22\sqrt{235/f_y}$ 。当  $c/t$  不大于  $15\sqrt{235/f_y}$  时，可不进行稳定验算。否则，按本条第3款进行计算。

2 对框架梁上的节点，其节点板  $c/t$  不得大于  $17.5\sqrt{235/f_y}$ 。当  $c/t$  不大于  $10\sqrt{235/f_y}$  时，节点板的稳定承载力可取为  $0.8b_e t f$ ；当  $c/t$  大于  $10\sqrt{235/f_y}$  时，按本条第3款进行计算。

3 设有斜向支撑或消能构件的节点板，在其轴向压力作用下，节点板  $\overline{BA}$ 、 $\overline{AC}$  和  $\overline{CD}$  的稳定性应满足下列要求（图 8.2.5-1 和图 8.2.5-2）

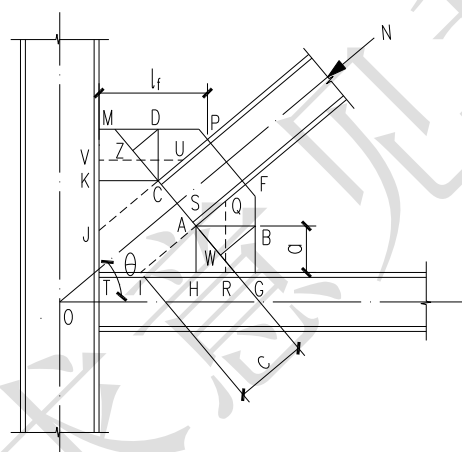


图 8.2.5-1 单斜撑节点板

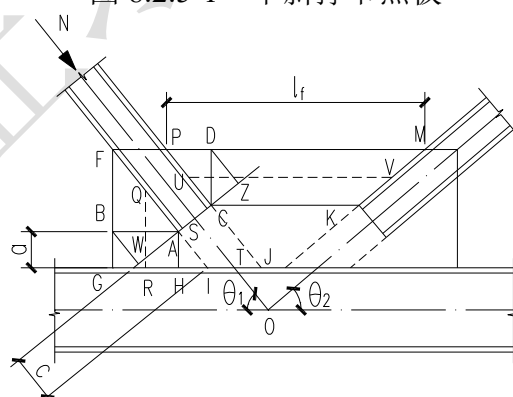


图 8.2.5-2 双斜撑节点板

$$\overline{BA} \text{ 区: } \frac{b_1}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \sin \theta_1 \leq l_1 t_s \varphi_1 f \quad (8.2.5-1)$$

$$\overline{AC} \text{ 区: } \frac{b_2}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \leq l_2 t_s \varphi_2 f \quad (8.2.5-2)$$

$$\overline{CD} \text{ 区: } \frac{b_3}{(b_1 + b_2 + b_3)} N \cos \theta_1 \leq l_3 t_s \varphi_3 f \quad (8.2.5-3)$$

式中：\$N\$——作用于节点板上的轴力（一般为消能器的极限承载力，kN）；

\$t\_s\$——节点板厚度（mm）；

\$l\_1\$、\$l\_2\$、\$l\_3\$——分别为屈折线 \$\overline{BA}\$、\$\overline{AC}\$、\$\overline{CD}\$ 的长度（mm）；

\$\varphi\_1\$、\$\varphi\_2\$、\$\varphi\_3\$——各受压区板件的轴心受压稳定系数，可按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中 b 类截面查取；其相应的长细比分别为：

$$\lambda_1 = 2.77 \frac{\overline{QR}}{t}, \lambda_2 = 2.77 \frac{\overline{ST}}{t}, \lambda_3 = 2.77 \frac{\overline{UV}}{t}; \text{ 式中 } \overline{QR}、\overline{ST}、\overline{UV} \text{ 为 } \overline{BA}、\overline{AC}、\overline{CD}$$

三区受压板件的中线长度；其中 \$\overline{ST} = C\$；\$b\_1\$、\$b\_2\$、\$b\_3\$ 为各屈折线段在有效宽度在线的投影长度，\$b\_1\$、\$b\_2\$、\$b\_3\$ 分别为 \$\overline{WA}\$、\$\overline{AC}\$、\$\overline{CZ}\$ 的长度。

**8.2.6** V 形、人字形布置的承载-消能钢支撑的连接节点，应能够承担支撑节点处产生的竖向力差值。该竖向力差值应不小于单根承载-消能钢支撑极限承载力竖向分量的 15%。

## 8.3 预埋件计算

**8.3.1** 预埋件应按拉剪构件或纯剪构件计算承受拉力和剪力所需的总截面面积。

**条文说明：**

预埋件的构造形式应根据受力性能和施工条件确定，力求构造简单，传力直接。预埋件可分为受力预埋件与构造预埋件两种。均由两部分组成：埋设在混凝土中的锚筋和外露在混凝土表面部分的锚板。锚筋和锚板都采用可焊性良好的结构钢。锚筋常用钢筋，对于受力较大的预埋件常采用角钢。对于 L 形预埋板相互垂直方向的预埋板承担的内力宜按支撑角度分解轴向力获取。

**8.3.2** 预埋件的设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《组合结构设计规范》JGJ 138 的规定。

**8.3.3** 由锚板 and 对称配置的直锚筋所组成的受力预埋件其锚筋的总截面面积 \$A\_s\$ 应符合《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 9 章第 7 节第 2 条的规定。

## 8.4 连接构造要求

**8.4.1** 预埋件的锚筋或钢板条应与锚板牢固连接,锚件与锚板应采用等强连接。锚筋的锚固长度宜大于 20 倍钢筋直径,且不应小于 250mm,钢板条的锚固长度宜大于 6 倍钢板条宽度,且不应低于 400mm,钢板条的厚度不宜小于 10mm。

**8.4.2** 预埋件的端部宜采取机械锚固措施。

**8.4.3** 与承载-消能构件相连接的钢梁或钢柱相关范围内宜设置加劲肋。

### 条文说明:

相关范围指的是钢梁或钢柱与节点板相连的部位。

**8.4.4** 承载-消能构件与连接板的连接:

1 高强锚栓连接相关计算应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11 章第 5 节第 1~6 条的规定。

2 焊接连接的相关计算要求应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11 章第 3 节第 1~8 条的内容。

**8.4.5** 连接板与预埋件的连接计算应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 11 章第 3 节第 1~8 条内容的要求。

**8.4.6** 承载-消能构件与主体结构的连接:

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 倍钢筋直径,且不应小于 250mm。当无法满足锚固长度要求时,应采取其他有效的锚固措施。

2 剪力墙(支墩)沿高度方向全截面箍筋加密,并配置网状钢筋。

### 条文说明:

承载-消能构件的附加内力通过预埋件或剪力墙(支墩)传递给主体结构构件,因此,要求预埋件和剪力墙(支墩)在承载-消能构件达到极限变形时的附加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。

**8.4.7** 预埋件的构造应满足《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 9 章第 7 节第 1、4 条的相关规定。

## 8.5 局部验算

**8.5.1 承载-(多级)消能构件相邻构件的强度应满足下列要求:**

1 相邻梁、柱、墙构件宜按重要构件设计, 并应考虑罕遇地震作用效应和其他荷载作用标准值的效应, 其值应小于构件极限承载力; 在罕遇地震作用下其材料强度可采用如下表所示的极限值。

**表 8.5.1 相邻构件材料强度极限值**

| 材料  | 强度等级   | 极限值 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|--------|--------------------------|
| 钢筋  | HRB400 | 500                      |
|     | HRB500 | 625                      |
| 混凝土 | C30    | 26.4                     |
|     | C35    | 30.8                     |
|     | C40    | 35.2                     |
|     | C45    | 39.6                     |
|     | C50    | 44.0                     |
|     | C55    | 48.4                     |
|     | C60    | 52.8                     |
| 钢材  | Q235   | 370                      |
|     | Q355   | 470                      |
|     | Q390   | 490                      |
|     | Q420   | 520                      |
|     | Q345GJ | 490                      |

2 相邻框架柱在两个方向都应满足上述强度要求。

3 承载-(多级)消能构件下方至少一层的对应竖向构件也应满足上述强度要求。

**8.5.2** 当采用多遇地震作用下处于非线性工作状态的承载-多级消能构件时, 抗震减震结构可利用近似计算模型进行初步的构件配筋设计, 但应采用能够实际模拟其非线性性能的计算模型, 利用非线性时程分析进行各构件的配筋校核。

**8.5.3** 承载-(多级)消能构件周围的框架及节点, 以大震下构件的弹性内力进行配筋, 材料强度采用标准值(极限值); 与之相邻的框架梁、柱根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 要求计算设计满足“强柱弱梁”的要求, 混凝土结

构还应满足“强剪弱弯”的要求。

**8.5.4** 相邻梁、柱和墙截面设计应考虑承载-（多级）消能构件端部的附加弯矩。

**8.5.5** 承载-（多级）消能构件采用高强度螺栓或焊接连接时，其节点部位组合弯矩设计值应考虑承载-（多级）消能构件端部的附加弯矩。

**8.5.6** 与承载-（多级）消能构件连接的节点应进行承载-（多级）消能构件极限位移或极限速度下引起的阻尼力作用下的截面验算。

**8.5.7** 当承载-（多级）消能构件的轴心与结构构件的轴线有偏差时，结构构件应考虑附加弯矩或因偏心而引起的平面外弯曲的影响。

征求意见稿

## 9 采用承载-消能构件的结构施工、验收和维护

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 采用承载-消能构件的工程应将承载-消能构件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，当承载-消能构件工程规模较大时，也可划分若干个子分部工程进行施工和质量验收。

#### 条文说明：

抗震减震结构中承载-消能构件是关键部分。由于承载-消能构件有多种类型，构造多样，制作和施工安装方法各有特点。因此，承载-消能构件及主体结构的施工安装组织设计或施工安装方案编制是组织结构施工的重要前期工作，应结合承载-消能构件和主体结构的特点以及结构施工安装组织设计的基本要求编制。当既有建筑抗震加固采用消能减震技术时，可参照本规程的有关规定进行。

**9.1.2** 承载-消能构件子分部工程项目的施工，宜根据本规程规定，结合主体结构的材料、体系、承载-消能构件及施工条件，编制专项施工方案，确定施工技术。

#### 条文说明：

结合抗震减震结构的特点，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，将承载-消能构件作为上部主体结构分部工程的一个子分部工程进行施工质量管理和竣工验收。

虽然承载-消能构件工程主要是钢部件的制作安装施工，但采用抗震减震技术的结构材料类型除钢结构外，还有混凝土结构和木结构等，而且承载-消能构件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，承载-消能构件又是涉及安全的重要部件。因此，在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，均将承载-消能构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 and 验收。

承载-消能构件子分部工程，根据结构材料和施工方法可分为：现浇混凝土结

构、装配整体式混凝土结构、钢结构和木结构等建筑的承载-消能构件子分部工程，以及抗震加固建筑的承载-消能构件子分部工程。

**9.1.3** 承载-消能构件子分部工程的施工作业，宜划分为二个阶段：承载-消能构件进场验收和承载-消能构件安装、验收、维护。承载-消能构件进场验收应提供下列资料：

- 1 承载-消能构件的型检报告和检测报告；
- 2 监理单位、建设单位对承载-消能构件检验的确认单。

**条文说明：**

承载-消能构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，原材料和成品的进场验收，是指进入承载-消能构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的进场及验收。

承载-消能构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。承载-消能构件的安装和维护，可划分为承载-消能构件安装、焊接连接、紧固件连接、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。承载-消能构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、变形缝或空间刚单元等划分。

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

**条文说明：**

承载-消能构件大多为钢材预制部件，在主体结构中的安装精度要求较高，其精度随主体结构类型和安装顺序的不同而有所不同。因此，对承载-消能构件的制作尺寸及其他加工质量应严格要求。在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。

## 9.2 承载-消能构件进场验收

**9.2.1** 承载-消能构件的制作单元，宜根据制作、安装和运输条件及承载-消能构件的特点确定。

**条文说明：**

承载-消能构件的制作单元一般将现场的安装单元、两个或多个制作单元在工地地面拼装为扩大的安装单元，因此，制作单元除根据生产、运输条件确定外，还要尽量便于安装连接，以保证安装质量。

**9.2.2** 承载-消能构件进场验收时，应具有产品检验报告；承载-消能构件类型、规格、尺寸偏差和性能参数，应符合设计文件和本规程的规定。

**9.2.3** 承载-消能构件所用的钢材、焊接材料、紧固件和涂料，应具有质量合格证书，并应符合设计文件规定。

**9.2.4** 承载-消能构件和构件附属部件的制作单位应提供产品的质量合格证明书。

**9.2.5** 承载-消能构件外观应符合下列要求：

- 1 表面应平整，无机械损伤，无毛刺，标记清晰。
- 2 消能段与承载段应光滑过渡、不应出现缺陷。
- 3 外露部位的钢质表面应有防腐涂层，涂层干漆膜厚度应不小于 150 $\mu\text{m}$ 。

承载-消能钢构件各部件尺寸偏差应符合表 9.2.6 的规定。

**9.2.6** 承载-消能构件的外观尺寸应符合表 9.2.6 的要求。

**表 9.2.6 承载-消能构件各部件尺寸允许偏差** 单位：mm

| 项 目                           | 允许偏差                   |
|-------------------------------|------------------------|
| 长度和宽度                         | -5~0                   |
| 截面宽度和高度（外径）                   | $\pm 2$                |
| 面外挠度                          | $L/1000$ ，且 $\leq 10$  |
| 两端截面扭曲                        | $h(d)/250$ ，且 $\leq 5$ |
| 注：L—长度和宽度较大值；h—截面较大边长；d—截面外径。 |                        |

## 9.3 承载-消能构件的施工安装顺序

**9.3.1** 承载-消能构件的施工安装顺序应由承载-消能构件的施工安装单位根据设计要求确定方案，并经设计单位确认，符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

**9.3.2** 抗震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 确定结构的承载-消能构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 确定同一部位各承载-消能构件及主体结构构件的局部安装顺序，并编制安装顺序表。

**9.3.3** 对于钢结构和现浇混凝土结构，承载-消能构件和主体结构构件总体施工安装顺序宜采用后装法进行。

### 条文说明：

后装法的优点是混凝土构件施工快，不受承载-消能构件安装影响。但混凝土构件浇筑完成后，重量较重或尺寸较长的承载-消能构件吊装会受到楼板、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；后装法的各层承载-消能构件在混凝土构件施工完成后再进行，可能会延长施工工期。

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；然后安装承载-消能构件，并与混凝土构件的预埋件连接。当设计中不考虑承载-消能构件的抗风作用时，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，再安装承载-消能构件。

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

**9.3.5** 既有消能减震加固结构，承载-消能构件的总体施工安装顺序可按本规程相关结构形式的承载-消能构件安装方法进行。

**9.3.6** 同一部位各承载-消能构件的局部安装顺序编制应符合下列规定：

- 1 确定同一部位各承载-消能构件的现场安装单元、安装连接顺序；

2 编制同一部位各承载-消能构件的局部安装连接顺序,包括承载-消能构件、支撑、支墩、连接件的类型、规格和数量。

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

**9.3.8** 承载-消能构件的现场安装单元或扩大安装单元与主体结构的连接,采用现场原位连接。

#### **条文说明:**

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,是承载-消能构件安装中的一个普遍问题。

对于钢结构,在承载-消能构件设置部位,柱的安装单元宜采用带悬臂梁段的柱,且在柱与承载-消能构件连接处设置柱上连接件。对于需要使用铰接连接时,其两端与节点连接件为球面铰接、销栓铰接或螺栓连接,其同一部位承载-消能构件的局部安装顺序为:将地面拼装后的承载-消能构件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。

采用后装法时,在地面或楼面将承载-消能构件进行拼装,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。

### **9.4 施工测量和承载-消能构件的安装、校正**

**9.4.1** 承载-消能构件平面与标高的测量定位、施工测量放样和安装测量定位应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 和《建筑变形测量规程》JGJ8 的要求。

**9.4.2** 承载-消能构件安装前,准备工作应包括下列内容:

1 承载-消能构件的定位轴线、标高点等应进行复查;  
承载-消能构件的运输进场、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;

2 按照承载-消能构件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;

3 对承载-消能构件的制作质量应进行全面复查。

9.4.3 承载-消能构件安装的吊装就位、测量校正应符合设计文件要求。

## 9.5 承载-消能构件安装的焊接和紧固件连接

9.5.1 承载-消能构件安装接头节点的焊接、螺栓连接,应符合设计文件和国家现行标准《钢结构焊接规范》GB50661 及《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ82 的规定。

9.5.2 承载-消能构件和承载-多级消能构件不宜采用销栓或球铰连接。

### 条文说明:

若采用销栓或球铰连接,对于承载-消能构件,其与销栓或球铰等铰接件之间的间隙不宜大于 2.0mm;对于承载-多级消能构件,由于其在较小位移下就开始消能,因此,承载-多级消能构件与销栓或球铰等铰接件之间的间隙不应大于 1.0mm。

9.5.3 承载-消能构件安装连接完成后,应符合下列规定:

- 1 承载-消能构件没有形状异常及损害功能的外伤;
- 2 承载-消能构件未出现涂层脱落和生锈;
- 3 承载-消能构件的临时固定件应予撤除。

## 9.6 施工安全和施工质量验收

9.6.1 承载-消能构件的施工应符合国家现行标准《建筑施工高处作业安全技术规程》JGJ 80 和《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33 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。

### 条文说明:

抗震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,并根据抗震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。

**9.6.2** 承载-消能构件子分部工程有关安全及功能的见证取样检测项目和检验项目可按表 9.6.2 的规定执行。

**表 9.6.2 承载-消能构件子分部工程见证取样检测和检验项目**

| 项次 | 项目                           | 抽检数量及检验方法                                                 | 合格质量标准                              |
|----|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | 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           | 《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定        |
| 2  | 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规范》GB 50205 规定 | 《钢结构工程施工质量验收 规范》GB50205 的有关规定       |
| 3  | 承载-消能构件平面外垂直度                | 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规范》GB50205 的有关规定 |

**9.6.3** 承载-消能构件子分部工程的观感质量检查项目可按表 9.6.3 的规定执行。

**表 9.6.3 承载-消能构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   |

## 9.7 承载-消能构件的维护

**9.7.1** 承载-消能构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，根据检查方法也可分为目测检查和抽样检验。

**条文说明:**

本条根据美国《新建房屋抗震设计推荐性规范》FEMA368-2000、日本JSSI《被动减震结构设计与施工手册》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承载-消能构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承载-消能构件不能正常使用。

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承载-消能构件性能有无影响。

其中，抽样检查是承载-消能构件的检查方法之一。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承载-消能构件，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，目的是反映承载-消能构件在使用过程中可能发生的性能参数变化，并推定承载-消能构件能否达到设计使用年限等。

**9.7.2** 承载-多级消能构件应根据其附加阻尼器的类型、使用期间的具体情况、设计使用年限和设计文件要求等进行定期检查。金属阻尼器、摩擦阻尼器等在正常使用情况下可不进行定期检查；黏滞阻尼器和黏弹性阻尼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验。承载-（多级）消能构件在遭遇地震、强风、火灾等灾后应进行抽样检验。

**9.7.3** 承载-消能构件目测检查时，应观察其外观、变形及其它问题。目测检查内容及维护方法应符合表 9.7.3 的规定。

**表 9.7.3 承载-消能构件目测检查内容及维护方法**

| 序号 | 检查内容                           | 维护方法        |
|----|--------------------------------|-------------|
| 1  | 承载-消能构件产生明显的累积损伤和变形            | 更换承载-消能构件   |
| 2  | 摩擦消能器的摩擦材料磨损、脱落、接触面施加压力的装置发生松弛 | 更换相关材料和压力装置 |
| 3  | 承载-消能构件连接部位的螺栓出现松动，或焊缝有损伤      | 紧固、补焊       |
| 4  | 外露表面出现锈蚀、表面污垢硬化结块              | 及时清除        |

|   |                                                |           |
|---|------------------------------------------------|-----------|
| 5 | 承载-消能构件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      |
| 6 | 承载-消能构件产生弯曲、局部变形                               | 更换承载-消能构件 |
| 7 | 承载-消能构件周围存在可能限制承载-消能构件正常工作的障碍物                 | 及时清除      |

**9.7.4** 承载-消能构件抽样检验时，应在结构中抽取在役的典型承载-消能构件，对其基本性能进行原位测试或实验室测试，测试内容应能反映承载-消能构件在使用期间可能发生的性能参数变化，并应能推定可否达到预定的使用年限。

## 附录 A 承载-消能钢支撑单元模型和恢复力模型

**A.0.1** 进行结构弹性设计时，承载-消能钢支撑可采用轴向二力杆单元进行计算。  
弹塑性分析时，可采用非线性轴向弹簧单元（连接单元）进行计算。

**A.0.2** 进行结构弹塑性分析时，承载-消能钢支撑的恢复力模型可采用双线性模型（图 A.0.2-1）或 Bouc-Wen 模型（图 A.0.2-2）。

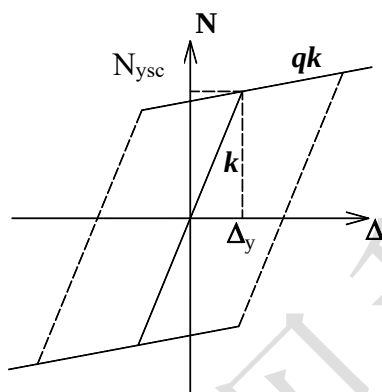


图 A.0.2-1 双线性恢复力模型

图中： $N_{ysc}$ —承载-消能钢支撑屈服承载力；  
 $\Delta_y$ —承载-消能钢支撑屈服位移；  
 $k$ —承载-消能钢支撑的轴向刚度；  
 $q$ —承载-消能钢支撑的屈服后刚度比，可取为 2%。

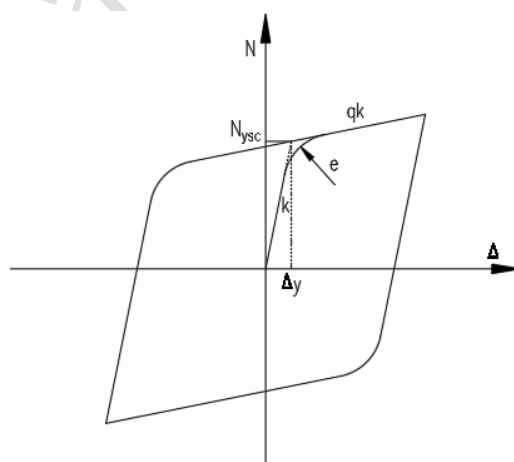


图 A.0.2-2 Bouc-Wen 恢复力模型

图中： $N_{ysc}$ —承载-消能钢支撑屈服承载力；  
 $\Delta_y$ —承载-消能钢支撑屈服位移；  
 $k$ —承载-消能钢支撑的轴向刚度；



$e$ —屈服指数，可取为 5~10；

$q$ —承载-消能钢支撑的屈服后刚度比，可取为 2%。

**A.0.2** 承载-消能钢支撑的骨架曲线和恢复力模型如 B.0.2 图所示。

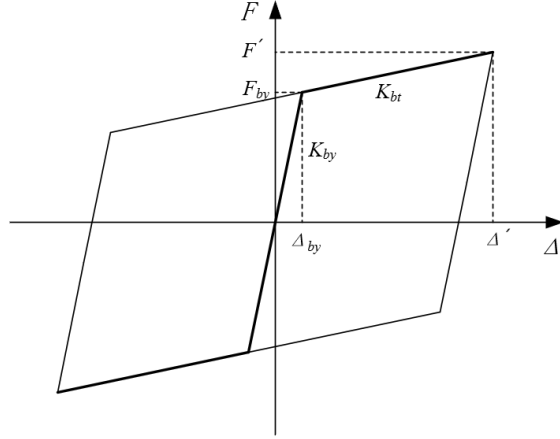


图 A.0.2 承载-消能钢支撑的骨架曲线和恢复力模型

1) 承载-消能钢支撑骨架曲线为：

$$\text{屈服前 } F_b = K_{by} \Delta_b$$

$$\text{屈服后 } F_b = K_{by} \Delta_{by} \operatorname{sgn}(\Delta) + K_{bt} (\Delta_b - \Delta_{by} \operatorname{sgn}(\Delta))$$

(A.0.2-1)

式中： $F_b$  — 承载-消能钢支撑恢复力；

$K_{by}$ — 承载-消能钢支撑的弹性刚度，由试验确定；

$K_{bt}$ — 承载-消能钢支撑的塑性刚度，由试验确定；

$\Delta_{by}$ — 承载-消能钢支撑的屈服位移；

$\Delta$  — 承载-消能钢支撑轴向变形；

$\operatorname{sgn}$ — 符号函数， $\operatorname{sgn}(\Delta) = \begin{cases} 1 & \Delta \geq 0 \\ -1 & \Delta < 0 \end{cases}$ 。

2) 承载-消能钢支撑的滞回曲线符合以下规律：

$$\begin{aligned} \text{上行段} & \begin{cases} F_b = (\Delta + \Delta') K_{by} - F' & -\Delta' \leq \Delta \leq 2\Delta_{by} - \Delta' \\ F_b = (\Delta + \Delta' - 2\Delta_{by}) K_{bt} + 2F_{by} - F' & 2\Delta_{by} - \Delta' \leq \Delta \leq \Delta' \end{cases} \\ \text{下行段} & \begin{cases} F_b = (\Delta - \Delta') K_{by} + F' & \Delta' - 2\Delta_{by} \leq \Delta \leq \Delta' \\ F_b = (\Delta - \Delta' + 2\Delta_{by}) K_{bt} - 2F_{by} + F' & -\Delta' \leq \Delta \leq \Delta' - 2\Delta_{by} \end{cases} \end{aligned} \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中： $F'$  — 加载过程中反向时的恢复力；

$\Delta'$  — 加载过程中反向时的位移；

**A.0.3** 承载-消能钢支撑的屈服承载力可按式（A.0.3）计算。

$$N_{ysc} = \eta_y f_{ay} A_1 \quad (\text{A.0.3})$$

式中：

$N_{ysc}$ ——承载-消能钢支撑的屈服承载力；

$A_1$ ——约束屈服段的钢材截面面积；

$f_{ay}$ ——芯板钢材的屈服强度标准值；

$\eta_y$ ——芯板钢材的超强系数，按照表 A.0.3 确定。

**表 A.0.3 芯材的超强系数**

| 材料牌号      | $\eta_y$ |
|-----------|----------|
| LY100     | 1.25     |
| LY160     | 1.15     |
| LY225     | 1.10     |
| Q235      | 1.15     |
| Q345      | 1.10     |
| Q390、Q420 | 1.05     |

**A.0.4** 承载-消能钢支撑的轴向刚度可按照式(B.0.4)确定。

$$\frac{EA_e}{L_x} = k = \frac{1}{1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_3} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$k_1 = \frac{1}{1/k_4 + 1/k_5} \quad (\text{A.0.4-2})$$

式中：

$A_e$ ——结构模型中承载-消能钢支撑的等效截面积（ $\text{m}^2$ ）

$E$ ——钢材的弹性模量（Pa）；

$L_x$ ——承载-消能钢支撑的轴线长度（m）；

$k_1$ ——承载-消能钢支撑的轴向刚度（N/m）；

$k_2$ ——承载-消能钢支撑两端连接节点段线刚度（N/m）， $k_2 = \frac{EA_j}{L_j}$ ；

$k_3$ ——承载-消能钢支撑两端连接节点域的刚度（N/m）；

$k_4$ ——承载-消能钢支撑两端连接段与过渡段的刚度（N/m）；

$k_5$ ——承载-消能钢支撑屈服耗能段的刚度（N/m）；

$A_j$ ——节点段的等效截面积，可按经验或有限元方法确定；

$L_j$ ——节点段的长度（m）。

## 附录 B 承载-消能钢板墙单元模型和恢复力模型

**B.0.1** 进行结构弹性设计时, 承载-消能钢板墙可根据不同的钢板墙形式, 采用相应的简化单元模型进行计算。

**1** 屈曲约束钢板墙可采用等效支撑模型 (图 B.0.1-1) 进行计算。

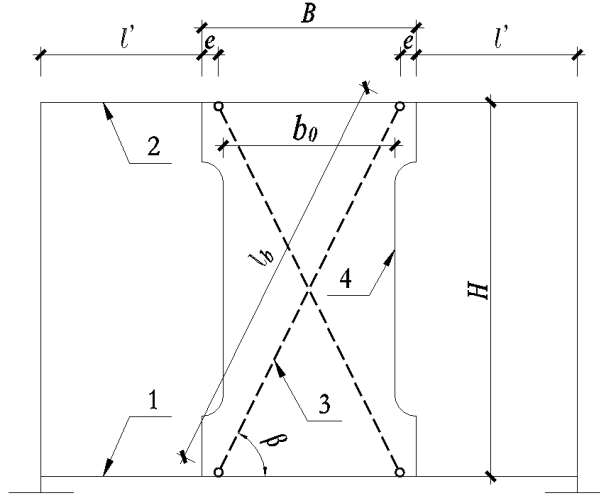


图 B.0.1-1 屈曲约束钢板墙等效支撑模型

1—底梁；2—顶梁；3—等效支撑；4—屈曲约束钢板墙

等效支撑的截面面积  $A_b$  可按下式计算：

$$A_b = \frac{Kl_b}{2E \cos^2 \beta} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$K = \frac{Et}{2.6l' + l'^3} = \frac{Et}{2.6\frac{H}{b'_0} + (\frac{H}{b'_0})^3} = \frac{Et}{2.6\frac{H}{b_b b_0} + (\frac{H}{b_b b_0})^3} \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中,  $K$ ——屈曲约束钢板墙弹性抗侧刚度, 可根据式 (B.0.1-2) 进行计算;

$l_b$ ——等效支撑长度;

$E$ ——钢材弹性模量;

$t$ ——屈曲约束钢板墙芯板厚度;

$b_0$ ——屈曲约束钢板墙削弱段宽度;

$\beta_b$ ——宽度修正系数;

$\beta$ ——等效支撑与水平面的夹角,  $\beta = \arctan(\frac{H}{B-2e})$ 。

**2** 无屈曲波纹钢板墙可采用等效支撑框架模型 (图 B.0.1-2) 进行计算。

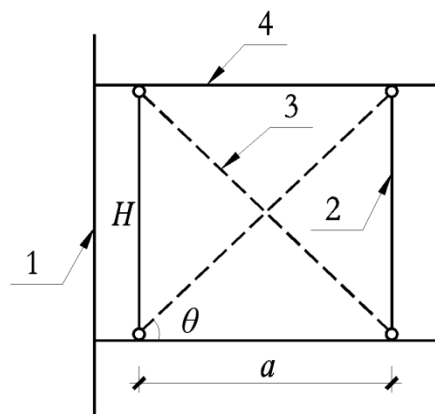


图 B.0.1-2 无屈曲波纹钢板墙等效支撑框架模型示意图

1——框架柱；2——竖向边缘构件；3——等效支撑；4——框架梁

等效支撑的截面面积 ( $A_b$ ) 应按下式计算：

$$A_b = \frac{K(H^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}{2Ea^2} \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$K = \frac{1}{n(\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_d}) + \frac{1}{K_m}} \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$K_s = \frac{EtB}{4a_1(1+\nu)(1+\cos\varphi)} \quad (\text{B.0.1-5})$$

$$K_d = \frac{1}{\Delta_d} = \frac{Et^3H^3}{144Dd^3a_1^2} \quad (\text{B.0.1-6})$$

$$D = \frac{a_1^2}{8da_1(1+\cos\theta)} \quad (\text{B.0.1-7})$$

$$K_m = \frac{12EI}{H^3} \quad (\text{B.0.1-8})$$

式中： $K$ ——无屈曲波纹钢板墙弹性抗侧刚度，可根据式 (B.0.1-4) 进行计算；

$a$ ——无屈曲波纹钢板墙竖向边缘构件中心距；

$H$ ——波纹钢板高度；

$n$ ——波纹钢板波纹数量；

$B$ ——波纹钢板宽度；

$\nu$ ——钢材泊松比；

$I$ ——无屈曲波纹钢板墙面内惯性矩；

其余参数为波型参数，如图 B.0.1-3 所示。

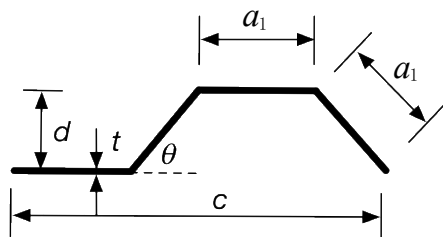


图 B.0.1-3 无屈曲波纹钢板墙波型参数

竖向边缘构件截面面积 ( $A_c$ ) 应按下式计算：

$$A_c = \frac{N_c}{f_c} \quad (\text{B.0.1-9})$$

式中： $N_c$ ——大震下竖向边缘构件最大内力；

$f_c$  ——竖向边缘构件的钢材强度设计值。

**B.0.2** 进行结构弹塑性分析时，承载-消能钢板墙可采用非线性剪切单元（连接单元）进行模拟，其恢复力模型可采用如图 C.0.2 所示的双线性模型。

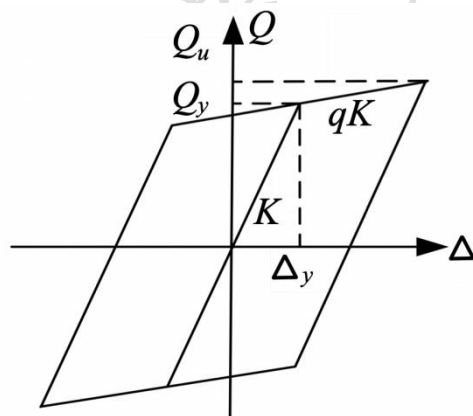


图 B.0.2 承载-消能钢板墙双线性恢复力模型

式中， $Q_y$ ——承载-消能钢板墙的屈服承载力；

$K$ ——承载-消能钢板墙的弹性抗侧刚度，可由式 (B.0.1-2) 或式 (B.0.1-4) 计算得到；

$q$ ——承载-消能钢板墙的屈服后刚度比，可取为 2%。

**1** 屈曲约束钢板墙的屈服承载力可由式 (B.0.2-1) 计算得到。

$$Q_y = \frac{M_p Q_p}{\sqrt{Q_p^2 \left(\frac{H}{2} - y_0\right)^2 + M_p^2}} = \frac{M_p Q_p}{\sqrt{Q_p^2 H_y^2 + M_p^2}} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$Q_p = A_0 \times f_y = t \times b_0 \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad (\text{B.0.2-2})$$

$$M_p = W_{p0} \times f_y = \frac{tb_0^2}{4} \times f_y \quad (\text{B.0.2-3})$$

式中,  $f_y$ ——屈曲约束钢板墙芯板屈服强度。

2 无屈曲波纹钢板墙的屈服承载力可由式 (B.0.2-4) 计算得到。

$$Q_y = \eta_{yc} t \tau_{yc} B \quad (\text{B.0.2-4})$$

式中,  $\eta_{yc}$ ——波纹钢板材料超强系数, 可按照表 B.0.3 确定;

$\tau_{yc}$ ——波纹钢板材料剪切强度。

**B.0.2** 承载-消能钢板墙的恢复力模型如 B.0.2 图所示:

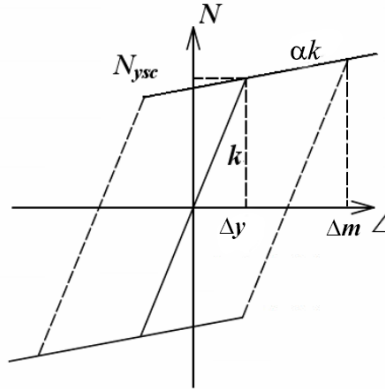


图 B.0.2 承载-消能钢板墙的骨架曲线和恢复力模型

承载-消能钢板墙的骨架曲线为:

$$\text{屈服前: } N = k\Delta, \quad |\Delta| \leq \Delta_y \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$\text{屈服后: } N = k\Delta_y \operatorname{sgn}(\Delta) + \alpha k(\Delta - \Delta_y \operatorname{sgn}(\Delta)), \quad \Delta_y < |\Delta| \leq \Delta_m \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中:  $N_{y_{sc}}$  — 承载-消能钢板墙的屈服载荷, 即承载-消能钢板墙芯板侧向剪切屈服时的外加载荷;

$\Delta_y$  — 承载-消能钢板墙的屈服位移, 即承载-消能钢板墙芯板屈服时产生的侧向弹性变形;

$k$  — 承载-消能钢板墙的等效刚度;

$\alpha$  — 承载-消能钢板墙的屈服后刚度比，即承载-消能钢板墙屈服后刚度与屈服前刚度之比；

$\Delta_m$  — 承载-消能钢板墙的设计位移；

$\text{sgn}$  — 符号函数， $\text{sgn}(\Delta) = \begin{cases} 1 & \Delta \geq 0 \\ -1 & \Delta < 0 \end{cases}$ 。

征求意见稿

## 附录 C 承载-消能钢连梁单元模型与恢复力模型

**C.0.1** 承载-消能钢连梁可采用剪切型连接单元进行模拟（图 C.0.1-1），并可采用图 C.0.1-2 所示的双折线随动强化滞回模型。

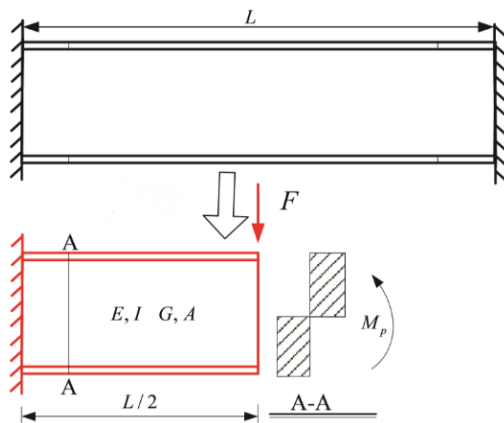


图 C.0.1-1 承载-消能钢连梁的单元模型

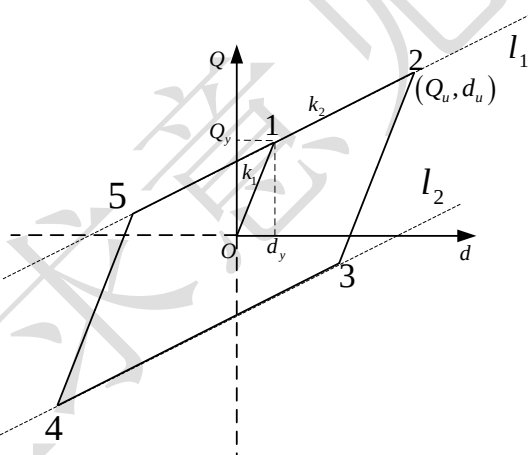


图 C.0.1-2 双折线随动强化滞回模型

图中， $Q_y$  为连梁剪切屈服力， $k_1$  为连梁弹性剪切刚度， $k_2$  为连梁屈服强化刚度。

### 条文说明：

承载-消能钢连梁是一个承受弯剪作用的梁。一般承载-消能钢连梁的剪切变形较大，进行结构计算时，可将其当做剪切型连接单元。

**C.0.2** 承载-消能钢连梁的骨架曲线和恢复力模型如 C.0.2 所示：



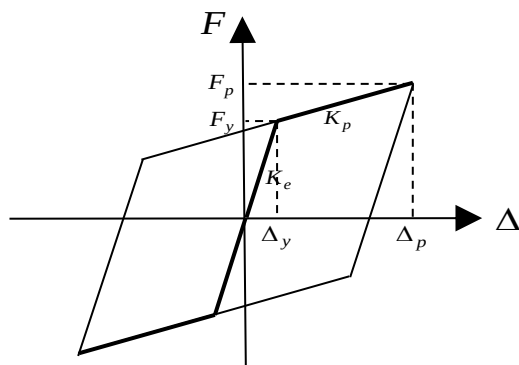


图 C.0.2 承载-消能钢连梁骨架曲线和恢复力模型

承载-消能钢连梁的骨架曲线为：

$$\text{屈服前： } F = K_e \Delta, \quad |\Delta| \leq \Delta_y \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$\text{屈服后： } F = K_e \Delta_y \text{sgn}(\Delta) + K_p (\Delta - \Delta_y \text{sgn}(\Delta)), \quad \Delta_y < |\Delta| \leq \Delta_p \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中：  $F$  — 承载-消能钢连梁恢复力；

$K_e$  — 承载-消能钢连梁的弹性刚度；

$K_p$  — 承载-消能钢连梁的塑性刚度；

$\Delta_y$  — 承载-消能钢连梁的竖向屈服位移；

$\Delta$  — 承载-消能钢连梁的竖向变形；

$\Delta_p$  — 承载-消能钢连梁的极限位移；

$\text{sgn}$  — 符号函数，  $\text{sgn}(\Delta) = \begin{cases} 1 & \Delta \geq 0 \\ -1 & \Delta < 0 \end{cases}$ 。

**C.0.3** 承载-消能钢连梁的剪切屈服承载力  $Q_y$  可取为其全截面弯曲屈服时对应的连梁剪力  $Q_{by}$  或腹板截面剪切屈服时的连梁剪力  $Q_{vy}$  较小值，可按式(C.0.3)计算。

$$Q_{by} = 2f_y W_p / L \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$Q_{vy} = 0.6f_y A_w \quad (\text{C.0.3-2})$$

其中  $f_y$  为承载-消能钢连梁的屈服强度；  $W_p$  为塑性截面模量；  $L$  为钢连梁的长度；  $A_w$  为钢连梁的长度腹板的截面积。

**C.0.4** 承载-消能钢连梁的弹性剪切刚度  $k_1$  可按式(C.0.4)计算。

$$k_1 = 1 / (L^3 / 12EI + L / GA) \quad (\text{C.0.4})$$

式中：  $I$  和  $A$  分别为承载-消能钢连梁的截面抗弯惯性矩和截面面积；  $L$  是承载-消能钢连梁的长度，  $E$  和  $G$  分别是承载-消能钢连梁所用钢材的弹性模量和剪切模量。

承载-消能钢连梁的屈服后刚度  $k_2$ ，可取为其弹性剪切刚度的 2%。

## 附录 D 承载-消能节点的恢复力模型

**D.0.1** 承载-消能节点的骨架曲线和恢复力模型如 D.0.1 所示：

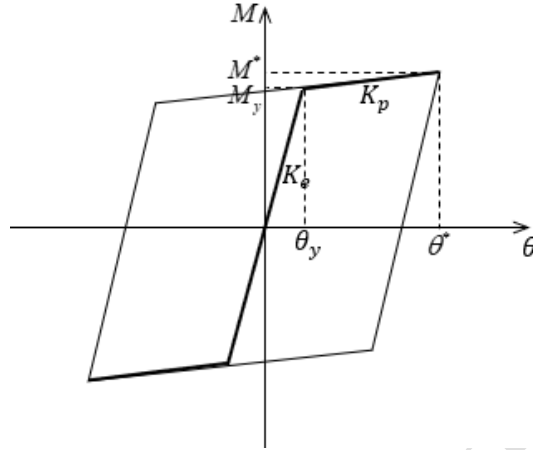


图 D.0.1 承载-消能节点的恢复力模型

承载-消能节点的骨架曲线为：

$$\text{屈服前： } M = K_e \theta, \quad |\theta| \leq \theta_y \quad (\text{D.0.1-1})$$

$$\text{屈服后： } M = K_e \theta_y \text{sgn}(\theta) + K_p (\theta - \theta_y \text{sgn}(\theta)), \quad \theta_y < |\theta| \leq \theta_p \quad (\text{D.0.1-2})$$

式中：  $M$  — 承载-消能节点的弯矩；

$\theta$  — 承载-消能节点的转角；

$\theta_y$  — 承载-消能节点的屈服转角；

$\theta_p$  — 承载-消能节点的极限转角；

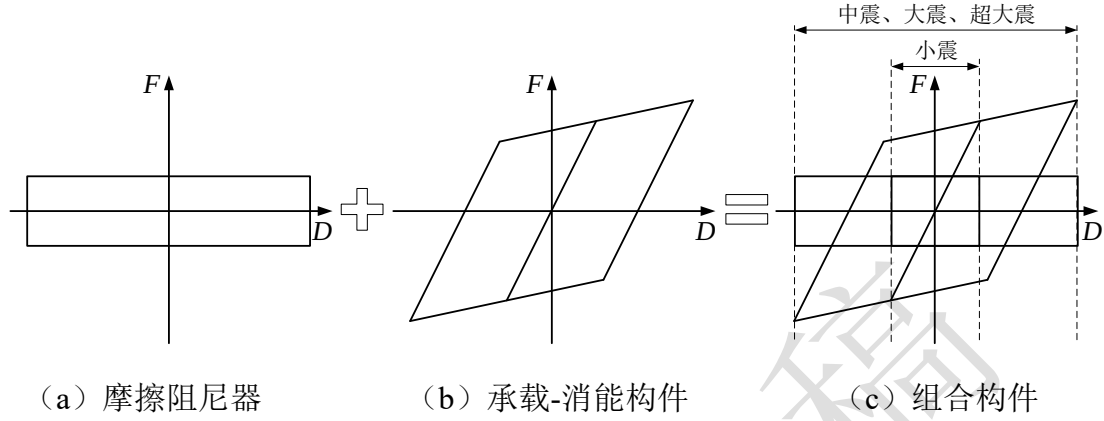
$K_e$  — 承载-消能节点的弹性转动刚度；

$K_p$  — 承载-消能节点的塑性转动刚度；

$\text{sgn}$  — 符号函数，  $\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta \geq 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases}$ 。

## 附录 E 承载-多级消能构件的恢复力模型

**E.0.1** 承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件的恢复力模型如下图所示：



**图 E.0.1 承载-多级消能摩擦阻尼器组合构件的恢复力模型**

**1** 承载-消能构件与摩擦阻尼器的组合构件，其恢复力由承载-消能构件与摩擦阻尼器并联构成，计算公式为：

$$F = F_b + F_f \quad (\text{E.0.1-1})$$

式中：  $F$  — 承载-消能构件与摩擦型阻尼器的组合构件恢复力；

$F_b$  — 承载-消能构件的恢复力；

$F_f$  — 摩擦型阻尼器的恢复力；

**2** 承载-消能构件的恢复力可参考附录 A～附录 D。

**3** 摩擦型阻尼器的恢复力为：

$$F_f = \mu N \operatorname{sgn}(\dot{x}) \quad (\text{E.0.1-2})$$

式中：  $\mu$  — 摩擦阻尼器的摩擦系数，由试验确定；

$N$  — 摩擦阻尼器的正压力；

$$\operatorname{sgn} \text{ — 符号函数, } \operatorname{sgn}(\dot{x}) = \begin{cases} 1 & \dot{x} \geq 0 \\ -1 & \dot{x} < 0 \end{cases} \text{。}$$

**E.0.2** 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件的恢复力模型如下图所示：

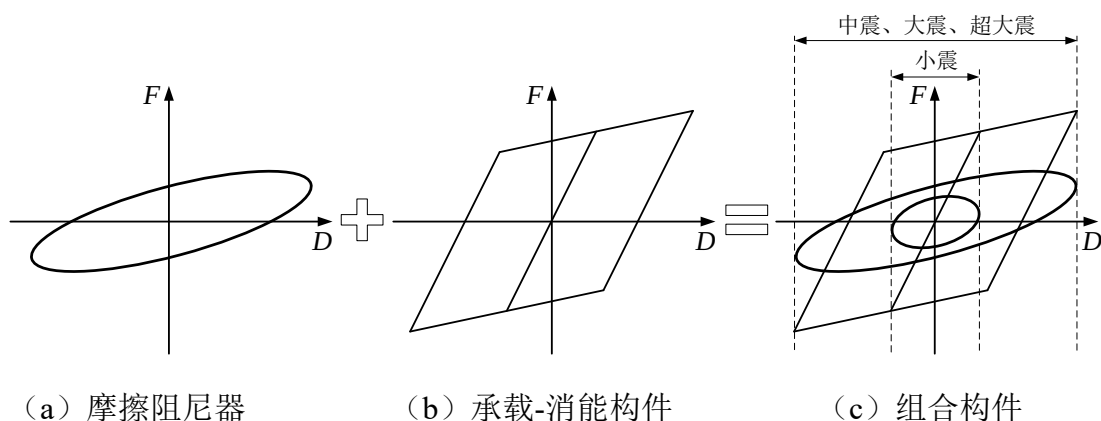


图 E.0.2 承载-多级消能粘弹性阻尼器组合构件的恢复力模型

1 承载-消能构件与粘弹性阻尼器的组合构件，其恢复力由承载-消能构件与粘弹性阻尼器并联构成，计算公式为：

$$F = F_b + F_v \quad (\text{E.0.2-1})$$

式中：\$F\$ — 承载-消能构件与摩擦阻尼器的组合构件恢复力；

\$F\_b\$ — 承载-消能构件的恢复力；

\$F\_v\$ — 粘弹性阻尼器的恢复力；

2 承载-消能构件的恢复力可参考附录 A～附录 D。

3 粘弹性阻尼器的恢复力：

$$F_v = k_v x + c_v \dot{x} \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中：\$k\_v\$ — 粘弹性阻尼器的弹性刚度，由试验确定；

\$c\_v\$ — 粘弹性阻尼器的等效阻尼系数，由试验确定；

\$x\$ — 组合构件的变形；

\$\dot{x}\$ — 组合构件的速度。

**E.0.3** 承载-多级消能金属阻尼器组合构件的恢复力模型如下图所示：

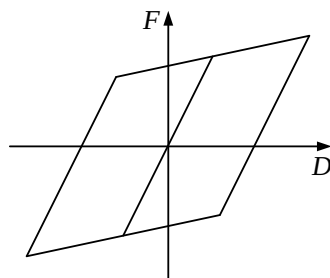


图 E.0.3 承载-多级消能金属阻尼器组合构件的恢复力模型

1 在小震作用下，其恢复力由承载-消能构件与金属阻尼器并联构成，计算公

式为:

$$F = F_b + F_m \quad (\text{E.0.3-1})$$

式中:  $F$  — 承载-消能构件与金属阻尼器的组合构件恢复力;

$F_b$  — 承载-消能构件的恢复力;

$F_m$  — 金属阻尼器的恢复力;

2 在中、大震作用下, 偏于安全地不考虑金属阻尼器的有利贡献, 计算公式为:

$$F = F_b \quad (\text{E.0.3-2})$$

式中:  $F$  — 承载-消能构件与金属阻尼器的组合构件恢复力;

$F_b$  — 承载-消能构件的恢复力;

3 承载-消能构件的恢复力可参考附录 A~附录 D。

4 金属阻尼器的恢复力为:

$$\text{屈服前: } F_m = K_e \Delta, \quad |\Delta| \leq \Delta_y \quad (\text{E.0.3-3})$$

$$\text{屈服后: } F_m = K_e \Delta_y \text{sgn}(\Delta) + K_p (\Delta - \Delta_y \text{sgn}(\Delta)), \quad \Delta_y < |\Delta| \leq \Delta_p \quad (\text{E.0.3-4})$$

式中:  $F_m$  — 金属阻尼器的恢复力;

$K_e$  — 金属阻尼器的弹性刚度;

$K_p$  — 金属阻尼器的塑性刚度;

$\Delta_y$  — 金属阻尼器的屈服位移;

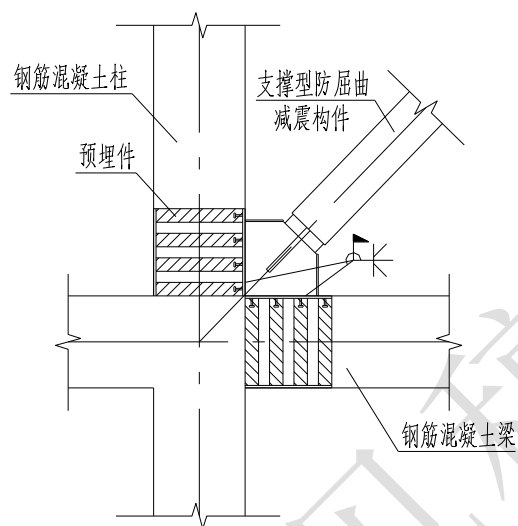
$\Delta$  — 金属阻尼器的变形;

$\Delta_p$  — 金属阻尼器的极限位移;

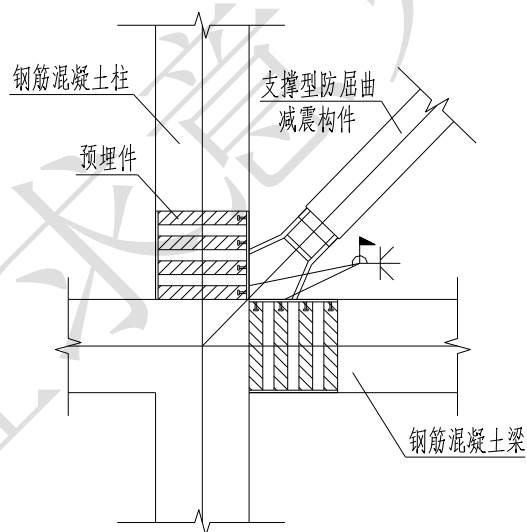
$\text{sgn}$  — 符号函数,  $\text{sgn}(\Delta) = \begin{cases} 1 & \Delta \geq 0 \\ -1 & \Delta < 0 \end{cases}$ 。

## 附录 F 连接方法

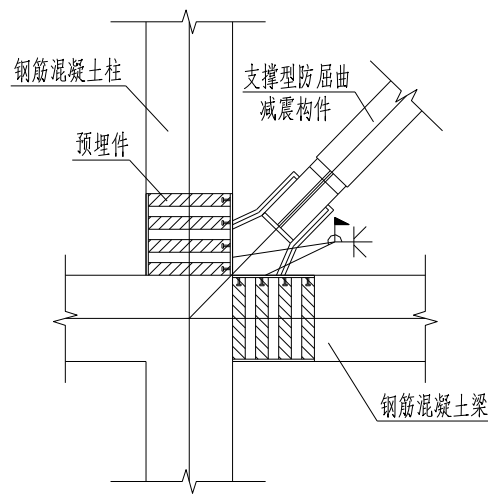
**F.0.1** 承载-消能钢支撑与主体结构的连接，可采用焊接连接（图 F.0.1-1）、螺栓连接（图 F.0.1-2）和销轴连接（图 F.0.1-3）。



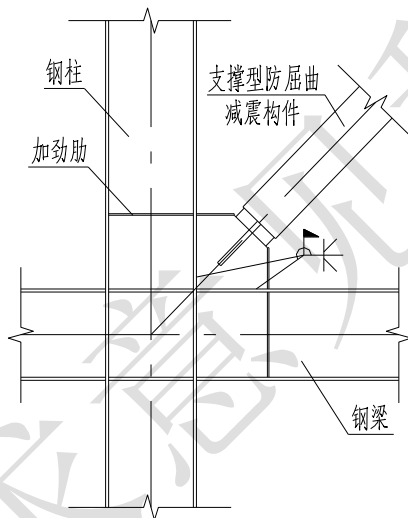
a)与钢筋混凝土框架连接-1



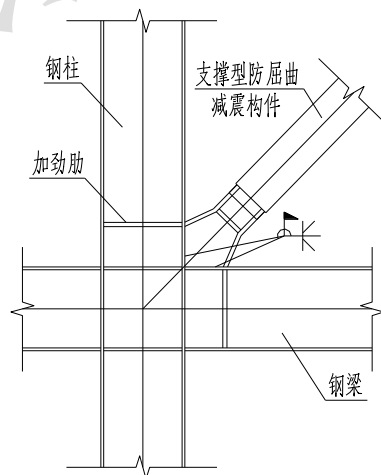
b)与钢筋混凝土框架连接-2



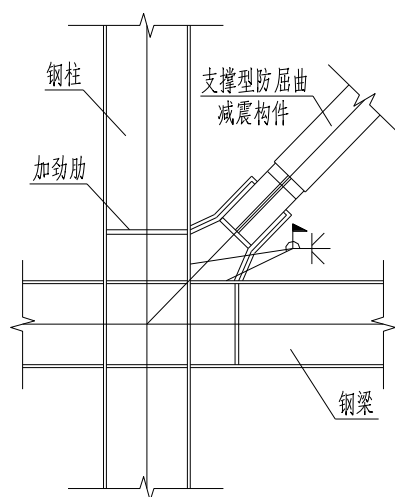
c)与钢筋混凝土框架连接-3



d)与钢框架连接-1

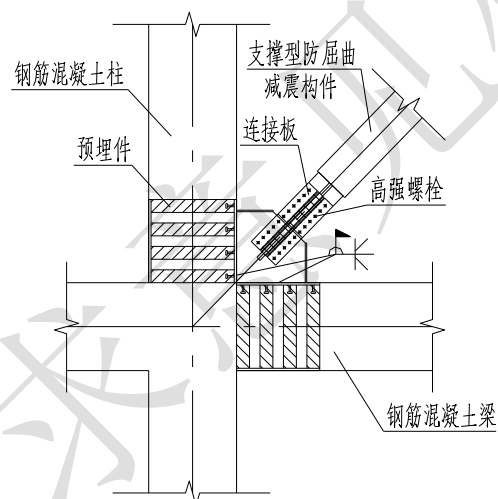


e)与钢框架连接-2

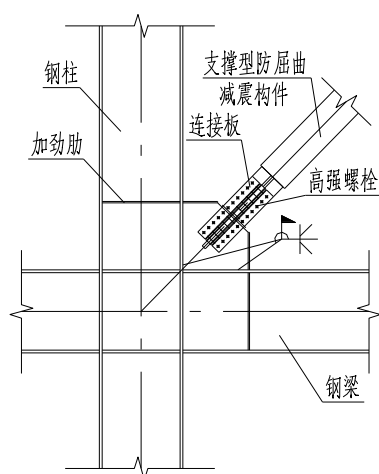


f)与钢框架连接-3

图 F.0.1-1 承载-消能钢支撑与主体结构的焊接连接



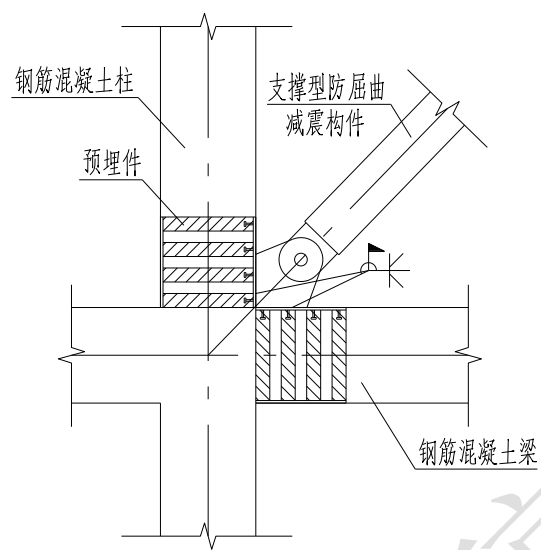
a)与钢筋混凝土框架连接



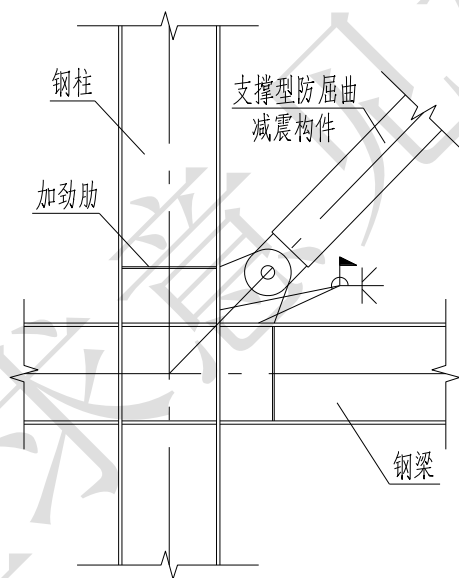
b)与钢框架连接

图 F.0.1-2 承载-消能钢支撑与主体结构的螺栓连接





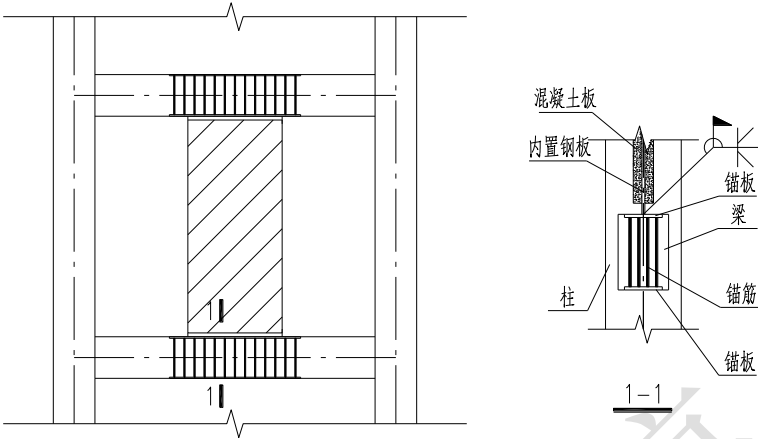
a)与钢筋混凝土框架连接



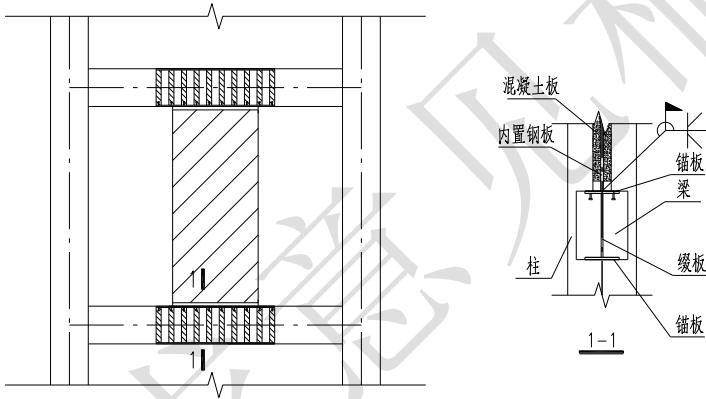
b)与钢框架连接

图 F.0.1-3 承载-消能钢支撑与主体结构的销轴连接

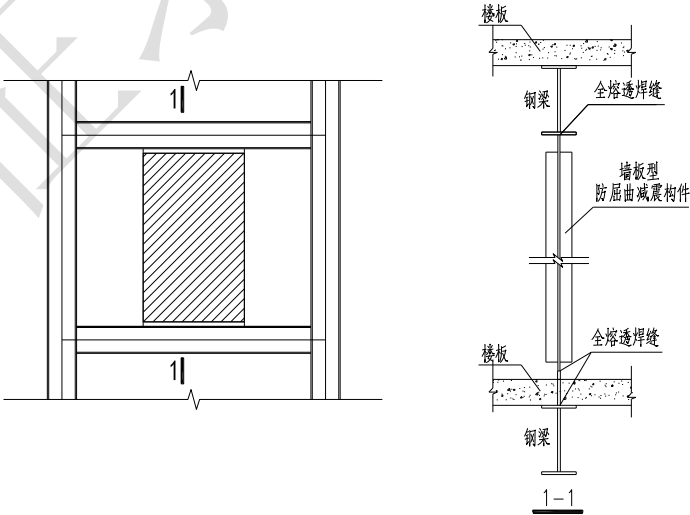
**F.0.2** 承载-消能钢板墙与主体结构的连接，可采用焊接连接（图 F.0.2-1）和销轴连接（F.0.2-2）



a)与钢筋混凝土框架连接-预埋锚筋



b)与钢筋混凝土框架连接-预埋腹板栅格



c)与钢框架连接

**图 F.0.2-1** 承载-消能钢板墙与主体结构的焊接连接

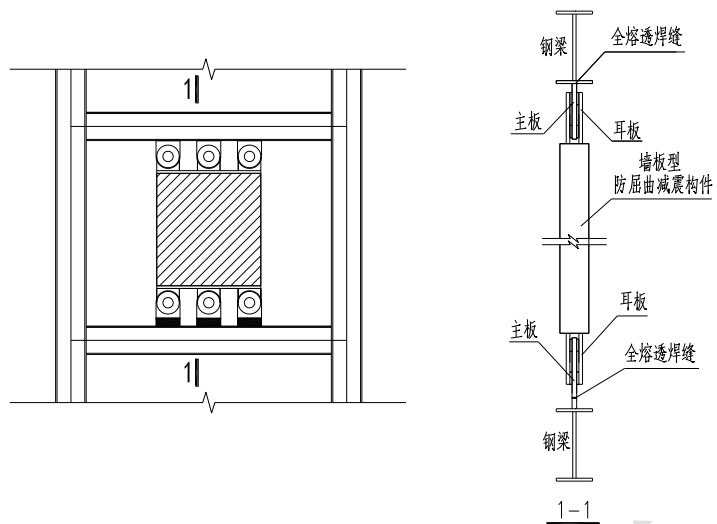
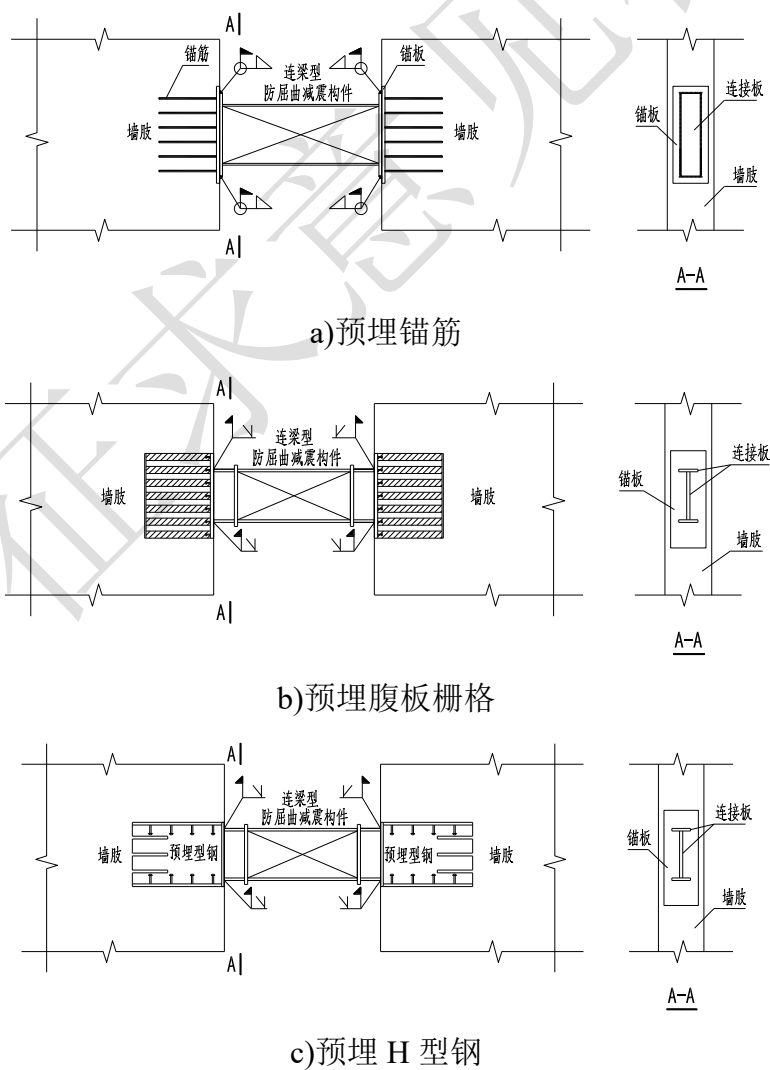
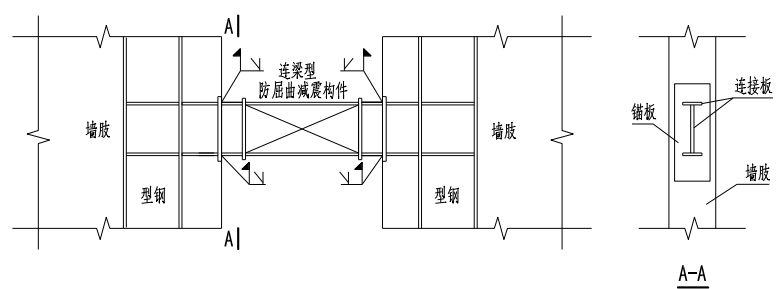


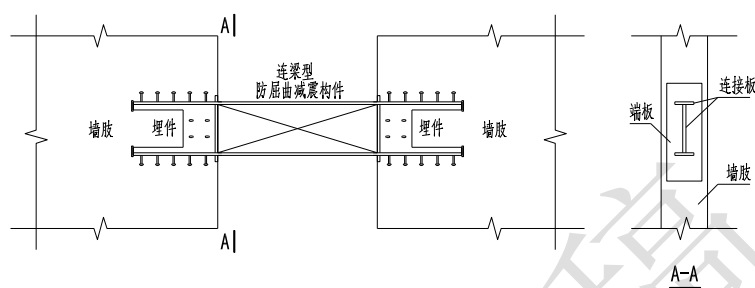
图 F.0.2-2 承载-消能钢板墙与主体结构的销轴连接

F.0.3 承载-消能钢连梁与主体结构的连接，可采用图 F.0.3 的连接方式





d)预埋钢骨柱



e)先装法连接

图 F.0.3 承载-消能钢连梁与主体结构的连接

## 本规程用词说明

**1** 为便于执行本规程条文时区别对待,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”;

2) 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”;

3) 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”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”或“可以”。

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

## 引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《钢结构设计标准》GB 50017
- 5 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 6 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 7 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 8 《碳素结构钢》GB/T 700
- 9 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709
- 10 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 11 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 12 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
- 13 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231
- 14 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 15 《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1
- 16 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 17 《耐候结构钢》GB/T 4171
- 18 《氩》GB/T 4842
- 19 《碳钢焊条》GB/T 5117
- 20 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 21 《埋弧焊用碳素钢焊丝和焊剂》GB/T 5293
- 22 《厚度方向性能钢板》GB/T 5313
- 23 《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
- 24 《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045
- 25 《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470
- 26 《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
- 27 《高强度结构用调质钢板》GB/T 16270
- 28 《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493

- 29 《建筑结构用钢板》GB/T 19879
- 30 《建筑用低屈服强度钢板》GB/T 28905
- 31 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 32 《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99
- 33 《端板式半刚性连接钢结构技术规程》CECS 260
- 34 《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 35 《组合结构设计规范》JGJ 138
- 36 《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3
- 37 《钢管混凝土结构技术规范》GB 50396
- 38 《建筑消能减震技术规程》JGJ 297
- 39 《高性能建筑钢结构应用技术规程》T/CECS 599