

美国 ANSI/AISC SSPEC-2002

《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(三)

摘要 2002年1月31日,美国钢结构协会(AISC)和AISC规范委员会正式批准发布《钢结构建筑抗震设计规定》。本文为《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(二)之续编,对《规定》“钢结构建筑”部分的10、11、12各个章节,包括中等抗弯框架(IMF)、普通抗弯框架(OMF)、特殊桁架式抗弯框架(STMF)等方面的有关内容进行了介绍并作了必要的说明。其后章节内容将陆续刊出。

关键词 中等抗弯框架(IMF) 普通抗弯框架(OMF) 特殊桁架式抗弯框架(STMF) 特殊桁架区段

10. 中等抗弯框架(IMF)

10.1 适用范围

中等抗弯框架(IMF)应能承受在设计地震动(Design Earthquake)作用下所产生的有限的弹塑性变形。

要求IMF符合本章各条款规定的要求。

在2000 NEHRP规范中,对中等抗弯框架(IMF)的使用高度和结构体系作了以下限制:(1)对属于建筑物抗震设计类别(SDC)B类或C类的建筑物,无高度限制;(2)在属于建筑物抗震设计类别(SDC)D类的建筑物中,不论其楼板或墙体的重量,允许使用中等抗弯框架(IMF),其高度可至35ft(10.7m);(3)在属于建筑物抗震设计类别(SDC)E或F类的建筑物中,不允许使用中等抗弯框架(IMF),但符合下述(4)、(5)两款情况除外;(4)当单层房屋的抗弯连接节点采用现场拼装的栓接节点,而且其屋面的静荷载不超过15psf(0.72kPa)时,则允许使用普通抗弯钢框架和中等抗弯钢框架,该单层房屋的层高可至60ft(18.3m);(5)当楼板、墙体和屋面的静荷载不超过15psf(0.72kPa)时,允许在房屋建筑中采用中等抗弯钢框架,其建筑高度可至35ft(10.7m)。

10.2 梁柱节点和连接

1. 地震荷载抗力体系中的所有梁柱节点和连接应满足下列三条要求:

- 1) 节点和连接必须能承受至少0.02rad的层间侧移角;
- 2) 在梁柱连接处,柱表面处的弯曲强度必须大于在层间侧移角达到0.02rad时相连梁的塑性弯矩标准值的80%;

- 3) 梁柱连接的抗剪承载力 V_u ，应根据荷载组合 $(1.2D + 0.5L + 0.2S)$ 来确定，再加上由作用弯矩 $(2 \times [1.1R_y F_y Z / \text{塑性铰间的距离}])$ 所产生的剪力。如经过计算分析，亦允许采用较小的 V_u 值。抗剪承载力不可超过有放大地震荷载参与组合的剪力计算结果。

允许连接节点吸收被连接构件间的层间侧移转角并提供弯曲和剪切承载能力。经框架的整体稳定性分析（包括二阶效应分析）证明，建筑物是可以吸纳因节点连接变形而产生的附加侧移的。

2. 在地震荷载抗力体系中所采用的全部梁柱节点和连接，均应按下列方法之一进行试验，以符合 10.2.1 条规定的要求：

- 1) 按照附录P的要求，对中等抗弯框架所使用的连接作预评定；
- 2) 按照附录S的要求提供反复加载试验结果。至少进行2次不全相同的试验，允许根据下述任何一种方法提供结果：
 - a. 使用与实际工程条件相同的其它项目的研究成果或试验报告，该实际工程条件应符合附录S限定的要求；
 - b. 为实际工程进行试验，其构件材料、材料强度、连接形状和连接的加工等均符合附录S限定的要求。

10.3 梁柱连接的节点域（梁腹板与柱腹板平行）

无附加要求。

10.4 梁、柱限制

无附加要求。

10.5 水平加劲肋（或隔板）

应按节点连接试验结果，在梁翼缘的对应位置设置柱的水平加劲肋（或隔板）。

10.6 柱-梁弯矩比

无附加要求。

10.7 梁对柱的连接约束

无附加要求。

10.8 梁的侧向支承

无附加要求。

10.9 柱拼接接头

柱拼接接头应符合本《规定》8.4.4条的要求。

11 . 普通抗弯框架 (OMF)

11.1 适用范围

普通抗弯框架 (OMF) 应能承受在设计地震动 (Design Earthquake) 作用下所产生的最小弹塑性变形。

要求OMF符合本章各条款规定的要求。

在2000 NEHRP规范中，对普通抗弯框架 (OMF) 有以下规定：(1) 对属于建筑物抗震设计类别 (SDC) B类或C类的建筑物，无高度限制；(2) 不允许在属于建筑物抗震设计类别 (SDC) D、E或C类的建筑物中使用普通抗弯框架 (OMF) ，但符合下述 (3)、(4) 两款者除外；(3) 当单层房屋的抗弯连接节点采用现场拼装的栓接节点，而且其屋面的静荷载不超过15psf(0.72kPa)时，则允许使用普通抗弯钢框架和中等抗弯钢框架，该单层房屋的层高可至60ft (18.3m) ；(4) 当楼板、墙体和屋面的静荷载不超过15psf(0.72kPa)时，允许在房屋建筑中采用中等抗弯钢框架，其建筑高度可至35ft (10.7m) 。

11.2 梁柱节点和连接

1. 地震荷载抗力体系中的梁柱节点和连接应采用焊接或高强螺栓连接。可以采用符合下述条件的完全刚接型 (FR) 或部分刚接型 (PR) 抗弯连接节点。完全刚接型 (FR) 连接是指节点连接具有足够的刚度可保持相连构件间的夹角不变。部分刚接型 (PR) 连接是指节点连接不具有足够的刚度来保持相连构件间的夹角不变。

1) 地震荷载抗力体系中的完全刚接型 (FR) 抗弯连接的抗弯承载力 M_u 应至少等于由主梁、次梁或结构体系传递过来的最大弯矩的1.1倍，取其中小者，即 $1.1R_y M_p$ (其中 R_y 值见“钢结构建筑抗震规定介绍 (一) [1] ” 6.2节中表4所列， M_p 为塑性抗弯强度标准值) 。

a. 当梁的上翼缘与柱采用全熔透坡口焊的焊缝衬板与柱为连续贴角焊时，可不去除焊缝衬板，其余应遵照以下要求去除焊缝衬板和引、熄弧板：

a) 去除焊缝衬板后，应从焊件背面刨槽，清理焊根直至露出无疵焊缝金属，再采用加固贴角焊进行背焊。加固贴角焊缝的最小焊脚高度应为5/16in.(8mm)；

b) 割去焊缝衬板后，焊缝端部应做到光洁和平整，其粗糙度不应

超过500micro-in(13 μ m)，除了在水平加劲肋（隔板）处的打磨后的端部增强量不应超过1/4in.(6mm)外，其它部位的打磨后的端部增强量不应超过1/8in.(3mm)。在焊缝衬板割去后不能留有凿痕和切口。在打磨凿痕和切口的部位，应修整为不超过1: 5的过渡坡面。当打磨的部位低于母材表面超过1/16in.(2mm)时，则应施焊填补。焊道两端的焊缝形状应光滑、无缺口和尖角。

- b. 在设有焊缝检查孔的部位，应参照图1要求执行。孔边应磨削光滑，其粗糙度应不超过500micro-in(13 μ m)，孔边无凿痕和切口。若有凿痕和切口，应按注册工程师的要求进行修复。

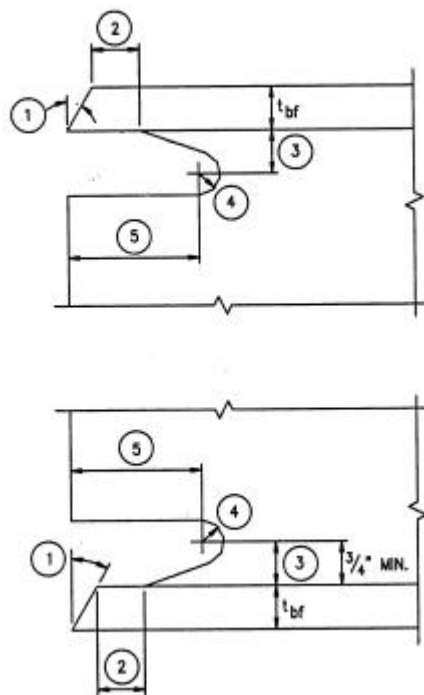


图1 焊缝检查孔详图

说明： 根据美国焊接学会《钢结构焊接规范》（AWS D1.1）要求的坡口焊焊接工艺确定的坡口角度；

取 t_{bf} 或 3/4in(13mm) 中大者，公差： $+1/2 t_{bf}$ ， $-1/4 t_{bf}$ （其中 t_{bf} 为梁翼缘厚度）；

取 $3/4 t_{bf}$ 至 t_{bf} ，最小取 3/4in(19mm)，公差： $\pm 1/4in(\pm 6mm)$ ；

取最小半径 3/8in(19mm) 圆弧过渡，公差： $+无规定$ ， -0 ；

取 $3t_{bf}$ ，公差： $\pm 1/2\text{in}$ ($\pm 13\text{mm}$)

因误差积累，焊缝检查孔斜切边与翼缘表面的夹角不应超过 25°

- c. 在节点中用于受拉的双面部分熔透坡口焊缝和双面贴角焊缝应按节点连接杆件（或构件）承载力的1.1倍设计，即 $1.1R_y F_y A_g$ 。在节点中不应使用单面部分熔透坡口焊缝和单面贴角焊缝来承受拉力。

2) 当满足下列要求时，允许采用部分刚接型（PR）抗弯连接节点：

- a. 该节点可以提供在本“规定”第11.2节第1条第1)款所要求的设计强度；
- b. 该节点的抗弯强度标准值 M_n 不应低于所连接的梁、柱构件的塑性抗弯强度标准值 M_p （取其中小者）的50%；
- c. 在设计中应根据框架的整体稳定性来考虑部分刚接型（PR）抗弯连接节点的强度和刚度。

2. 对部分刚接型（PR）抗弯连接节点，其梁柱连接的抗剪承载力 V_u 应根据荷载组合（ $1.2D + 0.5L + 0.2S$ ）来确定，再加上由作用弯矩（ $2 \times [1.1R_y F_y Z / \text{塑性较间的距离}]$ ）所产生的剪力。如果经过计算分析验证， V_u 亦可取较小值。对完全刚接型（FR）抗弯连接节点，其梁柱连接的抗剪承载力 V_u 也应根据上述荷载组合来确定，再加上该完全刚接型（FR）抗弯连接节点所能承受的最大杆端弯矩所产生的剪力。

11.3 梁柱连接的节点域（梁腹板与柱腹板平行）

无附加要求。

11.4 梁、柱限制

无附加要求。

11.5 水平加劲肋（或隔板）

当完全刚接型（FR）抗弯连接节点是通过梁翼缘或梁翼缘盖板直接与柱翼缘焊接而成时，应在梁翼缘的对应位置设置柱的水平加劲肋（或隔板）以向柱腹板传力。水平加劲肋（或隔板）的最小厚度应和翼缘或梁翼缘盖板厚度相等。水平加劲肋（或隔板）与柱翼缘的焊缝应采用全熔透坡口焊、双面部分熔透坡口焊加补强贴角焊或双面贴角焊，其焊缝设计强度应不低于与柱腹板焊连的母材的设计强度。

水平加劲肋（或隔板）和柱腹板的焊接连接的抗剪强度设计值应不低于下列各款中的较小者：

1. 水平加劲肋与柱翼缘连接的设计强度之和；

2. 水平加劲肋与柱腹板连接的接触区域的抗剪强度设计值（说明：接触区域定义为水平加劲肋（或隔板）的厚度 \times （水平加劲肋-焊缝检查孔）的长度）；
3. 用于计算节点域抗剪强度设计值的焊缝设计强度；
4. 通过加劲肋实际传递的作用力。

11.6 柱-梁弯矩比

无附加要求。

11.7 梁对柱的连接约束

无附加要求。

11.8 梁的侧向支承

无附加要求。

11.9 柱拼接接头

柱拼接接头应符合本“规定”第8.4.4条的要求。

12 . 特殊桁架式抗弯框架（STMF）

12.1 适用范围

特殊桁架式抗弯框架（STMF）设有专门设计的特殊桁架区段，该特殊桁架区段应能承受在设计地震动(Design Earthquake)作用下所产生的显著的弹塑性变形。特殊桁架式抗弯框架的跨度不大于65ft(20m)，桁架高度不超过6ft(1.8m)。当经受使特殊桁架区段进入完全屈服和应变硬化阶段的作用效应时，框架柱和特殊桁架区段以外的其它部位仍应处于弹性状态。

要求STMF符合本章各条款规定的要求。

12.2 特殊桁架区段

地震荷载抗力体系中的每一个水平桁架应设有一个特殊桁架区段，该区段设于桁架的1/4跨度位置，长度可取(0.1~0.5)倍的桁架跨度，特殊桁架区段的任何一个节间的长高比均不宜超出0.67~1.5。

特殊桁架区段中的各个节间可采用全空腹或全交叉撑型式，不应两者混用或采用其它斜腹杆形式。在特殊桁架区段中的斜杆应布置成X-交叉型并由竖杆分成区间。斜杆应在交叉处相连，连接的设计强度应不低于被连接斜杆抗拉强度标准值的25%。不宜在特殊桁架区段的斜腹杆连接中采用栓接。

特殊桁架区段的上、下弦杆和距特殊桁架区段两端的1/2节间范围内不应有拼接接头。由（静+活）荷载设计值所产生的特殊桁架区段中的斜腹杆的轴力，不应超过 $0.03F_y A_g$ 。

12.3 特殊桁架区段构件的强度标准值

当进入完全屈服阶段，特殊桁架区段可以通过弦杆提供的设计抗弯强度和斜腹杆提供的设计抗拉（压）强度来获取竖向剪切承载力。上、下弦杆应采用相同的截面，并在完全屈服阶段至少承担25%的竖向剪切承载力。弦杆的抗拉承载力不应超过 $0.45\Phi F_y A_g$ （式中，抗力分项系数 $\Phi=0.9$ ）。各个节间的斜杆应采用相同的截面。斜腹杆端头连接的设计强度应不低于腹杆的抗拉强度标准值（取值为 $R_y F_y A_g$ ）。

12.4 非特殊桁架区段构件的强度标准值

除本“规定”第12.2节所述的特殊桁架区段的构件外，特殊桁架式抗弯框架（STMF）中的其它构件和连接在重力和水平力的荷载组合作用下都应处于弹性状态，从该项水平力可以得出在特殊桁架区段进入完全屈服和应变硬化阶段时的实际竖向抗剪强度标准值 V_{nc} ：

$$V_{nc} = \frac{3.75R_y M_{nc}}{L_s} + 0.075EI \frac{(L-L_s)}{L_s^3} + R_y (P_{nt} + 0.3P_{nc}) \sin a \quad (12-1)$$

式12-1中， R_y ——屈服应力修正系数，参见“《钢结构建筑抗震规定介绍（一）》^[1]”6.2节中表4所列值

M_{nc} ——特殊桁架区段中弦杆的抗弯强度标准值，kip-in(N-mm)

EI ——特殊桁架区段中弦杆的弹性抗弯刚度，kip-in²(N-mm²)

L ——桁架跨度，in(mm)

L_s ——特殊桁架区段的长度，in(mm)

P_{nt} ——特殊桁架区段中斜杆的轴向抗拉强度标准值，kips(N)

P_{nc} ——特殊桁架区段中斜杆的轴向抗压强度标准值，kips(N)

a ——斜杆与水平线的夹角

12-1式是基于近似分析和实验研究得到的经验公式，考虑了钢材实际屈服强度的不确定性和腹杆屈服及弦杆转动的应变硬化的作用。

12.5 采用利于全截面发展塑性的型材

特殊桁架区段中的斜腹杆应采用具有高延性的光面钢筋。有研究表明，当采用宽厚比小于 $0.18\sqrt{E_s/E_y}$ 的单角钢用作X型斜腹杆，亦能提供相当大的延性。特殊桁

架区段中的上、下弦杆应采用利于全截面发展塑性的型材，以保证形成塑性铰。

12.6 侧向水平支撑

应在特殊桁架区段端部位置对其上、下弦设置侧向水平支撑，在桁架的全长范围内，支撑间距不可超过 L_p (L_p 应按LRFD 规范^[2]，第6章取值)。在特殊桁架区段端部或其间的每一个侧向水平支撑的设计强度，均不应低于特殊桁架区段弦杆的抗压强度标准值 P_{nc} 的5%。特殊桁架区段以外的侧向水平支撑的设计强度均不应低于相邻的弦杆抗压强度标准值 P_{nc} 的2.5%。

参考文献

[1] 李志明.美国ANSI/SISC SSPEC-2002《钢结构建筑抗震设计规定》(1).钢结构，2003 (2)

[2] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC. Load and Resistance Factor Design Specification for the Structural Steel buildings, 1999

(未完待续，见《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(四))