

美国 ANSI/AISC SSPEC-2002

《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(二)

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(一)之续编,对《规定》中“钢结构建筑”部分的第8章—构件、第9章—特殊抗弯框架(SMF)的具体内容作了详细的介绍和必要的说明。其后章节内容将陆续刊出。

关键词 LRFD 规范 允许宽厚比 特殊抗弯框架 设计地震动 梁柱节点和连接节点域

8. 构件

8.1 适用范围

地震荷载抗力体系中的所有构件应符合《荷载和抗力分项系数设计规范》(LRFD 规范)[1]和本章的规定。

8.2 局部屈曲

地震荷载抗力体系中的所有构件应符合LRFD 规范第二章(Chapter B)表B5.1中 λ_p 限值的规定,并满足本节表5对 λ_{ps} 限值的要求。

表5 受压构件的允许宽厚比 λ_{ps}

| 构件类别 | | 宽厚比 | 允许宽厚比 |
|----------|---------------------------------|-------|------------------------------------|
| | | | λ_{ps} (使用利于全截面发展塑性的型材) |
| 未设加劲肋的构件 | 轧制工字型、组合或焊接梁的翼缘 [a],[b],[f] | b/t | $0.30\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 轧制工字型、组合或焊接梁、柱的翼缘 [a],[c] | b/t | $0.30\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 槽钢、角钢和轧制工字型、组合或焊接梁及支撑的翼缘[a],[d] | b/t | $0.30\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 轧制工字型、组合或焊接梁柱的翼缘 [a],[e] | b/t | $0.38\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 宽翼缘H型钢桩翼缘 | b/t | $0.45\sqrt{E_s/F_y}$ |

| | | | |
|------------|--|-----------------------|--|
| | 光面钢筋[g] | b/t | 2.5 |
| | 单肢角钢、带缀板的双肢角钢或T型钢翼缘[h] | b/t | $0.30\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | T型钢腹板[h] | b/t | $0.30\sqrt{E_s/F_y}$ |
| 设置加劲肋的构件 | 在第9章特殊抗弯框架(SMF)中受压弯作用的梁腹板, 除非另有说明。[a] | b/t_w | $2.45\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 其它受压弯作用的构件腹板[a] | b/t_w | $3.14\sqrt{E_s/F_y}$ |
| | 受弯曲和轴向受压作用的构件腹板 [a],[b],[c],[e],[f] | b/t_w | 对 $p_u/f_b p_y \leq 0.125$ $3.14\sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \left[1 - 1.54 \frac{P_u}{f_b P_y} \right]$ |
| | | | 对 $p_u/f_b p_y > 0.125$ $1.12\sqrt{\frac{E_s}{F_y}} \left[2.23 - \frac{P_u}{f_b P_y} \right]$ |
| | 受轴力和/或弯曲压缩的圆形结构管材[d] | D/t | $0.044 E_s / F_y$ |
| | 受轴力和/或弯曲压缩的矩形结构管材[d] | b/t 或 b/t_w | $0.64\sqrt{E_s/F_y}$ |
| 宽翼缘H型-钢桩腹板 | b/t_w | $0.94\sqrt{E_s/F_y}$ | |

[a] 对组合梁, 使用翼缘的屈服强度 F_{yf} 代替 F_y ;

[b] 用于特殊抗弯框架(SMF) 的梁 (见本《规定》第9章);

[c] 用于特殊抗弯框架(SMF) 的柱 (见本《规定》第9章), 除了当节点处柱-梁弯矩比值大于2.0时 (见本《规定》式9-3), 则可采用LRFD 规范第2章(Chapter B)表B5.1中的 ϕ_p 值;

[d] 用于特殊中心支撑框架(SCBF) 的梁和支撑 (见本《规定》第13章);

[e] 对特殊桁架式抗弯框架 (STMF) 的柱 (见本《规定》第12章)、偏心支撑框架 (EBF) 的柱 (见本《规定》15章), 可采用LRFD 规范第2章(Chapter B)表B5.1中的 ϕ_p 值;

[f] 用于偏心支撑框架 (EBF) 的耗能连梁 (见本《规定》第15章);

[g] 用于特殊桁架式抗弯框架 (STMF) 特别区段中的斜腹杆 (见本《规定》第12章);

[h] 用于特殊桁架式抗弯框架 (STMF) 的弦杆 (见本《规定》第12章)。

8.3 柱承载力

当不考虑放大地震荷载, 柱的 P_u/fP_n 值大于0.4时 (式中 P_u 为柱承载力, P_n 为柱轴向强度标准值, f 为抗力系数), 其承载力应符合本节8.3.1和8.3.2条的规定。

8.3.1 在不考虑任何外加弯矩作用的情况下, 可按有关现行建筑规范中包括放大地震荷载的荷载组合来确定柱的轴向抗拉和抗压承载力。

8.3.2 由8.3.1条确定的柱承载力不应超过以下任何一款:

- 1) 把与柱相连的梁或支撑的强度标准值的(1.1 R_y) 倍作为传递到柱构件上的最大荷载;
- 2) 从基础对倾覆提高的反力来确定的限值。

8.4 柱拼接接头

柱拼接接头的设计强度应等于或大于按8.3节要求确定的柱承载力。

8.4.1 采用贴角焊或部分熔透坡口焊制成的柱拼接接头不应设在距梁-柱节点4ft (1.2m) 或二分之一柱净高处 (取其小者) 的范围内, 当焊接柱拼接接头承受由包括放大地震荷载的荷载组合确定的拉应力时, 应按7.3节第2款的要求检查焊缝金属的冲击韧性, 并应同时符合下述两款规定:

- 1) 采用部分熔透坡口焊缝的焊接节点的设计强度应至少等于其承载力的两倍;
- 2) 设计强度应大于或等于($R_y F_y A_f$)的50%, 其中 $R_y F_y$ 是柱材料的屈服强度期望值, A_f 是相连柱中较小者的翼缘面积。

8.4.2 当拼接接头处的柱翼缘和腹板的厚度和腹板有变化时, 可不用斜坡过渡, 允许按8.4.1条要求采用部分熔透坡口焊缝。

- 8.4.3 对不属于地震荷载抗力体系的抗弯框架结构柱的拼接接头，可设在柱长的中间三分之一范围内。柱接头在承受剪力的两个正交方向上应有足够的抗剪设计强度，剪力取值为 M_{pc}/H ，式中 M_{pc} 是柱截面在上述方向的塑性抗弯强度标准值 (kip-in, (N-mm))， H 是层高(in, (mm))。
- 8.4.4 按第9、10、11或12章设计的抗弯框架柱拼接接头，其拼接接头的设计强度应高于柱的承载力。应按可承受 $2M_{pc}/H$ 剪力的要求设计柱腹板的拼接接头。

例外：在考虑了合适的应力集中系数时，柱拼接接头的设计强度可不超过基于弹塑性分析确定的柱承载力。

拼接接头的构造设计必须足以承担轴向荷载、弯矩和剪力，并考虑到柱的预期材料屈服强度和所采用节点形式的应力集中影响。

翼缘焊接拼接接头应采用全熔透坡口焊缝或在接头板与柱翼缘间采用贴角焊缝。焊缝金属应满足7.3.2条规定的最小额定冲击韧性要求，并应去除引弧板。当注册工程师无特殊要求时，可不去除焊缝托板。栓接柱翼缘拼接接头设计应符合7.2条规定。

柱腹板拼接接头应采用焊接或栓接，亦可一端焊接一端栓接，当使用栓接接头时，应在柱腹板的两侧设置接头板。

8.5 柱脚

框架结构构件与柱脚的连接、柱脚与基础的连接应有利于结构构件向柱脚和基础传力。柱脚处的混凝土构件（包括锚栓和配筋）的设计，应符合ACI 318 [1]的规定。传递到基础基底的地震荷载应由各现行建筑规范确定。

8.6 H-型钢桩

8.6.1 H-型钢桩设计

H-型钢桩的设计应符合AISC LRFD 规范中关于承受组合荷载的杆件设计要求，其允许宽厚比应符合本“规定”表1中关于 p_s 限值的规定。

8.6.2 H-型钢斜桩

若在群桩中同时使用斜桩和直桩，则应由直桩承受全部静荷载和活荷载的荷载组合效应，而不考虑斜桩的参与。

8.6.3 受拉H-型钢桩

桩中拉力应通过剪力键、插入桩帽部分的焊接钢筋或栓钉等方法传至桩帽。从桩帽底部算起，在至少一倍截面高的桩长范围内不能有附着物和焊缝及焊点。

9. 特殊抗弯框架 (SMF)

9.1 适用范围

特殊抗弯框架 (SMF) 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, 要求 SMF 符合本节各条款规定的要求。

设计地震动 (Design Earthquake) 即是根据现行建筑规范给定的设计反应谱所表征的地震作用。

9.2 梁柱节点和连接

9.2.1 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) 连接必须能承受至少 0.04rad 的层间侧移角;
- 2) 在梁柱连接处柱表面的弯曲强度必须大于在层间侧移角达到 0.04rad 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。

允许节点连接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。

9.2.2 在地震荷载抗力体系中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 9.2.1 条规定的要求:

- 1) 按照附录 P 的要求, 对特殊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。试验至少进行两次, 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。

9.3 梁柱连接的节点域 (梁腹板与柱腹板平行)

9.3.1 剪切强度: 节点域实际板厚的确定应采用与连接试验中确定节点域厚度相一致的方法。确定节点域抗剪强度设计值 $f_v R_v$ 时, 取 $f_v = 1.0$ 。其中, f_v 是梁柱连接节点域的剪切强度抗力系数, R_v 是梁柱连接节点域的剪切强度标准值。

当 $P_u \leq 0.75P_y$ 时

$$R_v = 0.6F_y d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \quad (9-1)$$

当 $P_u > 0.75P_y$ 时, R_u 应按LRFD 规范中K1-12式计算。

式(9-1)中, t_p ——节点域(包括补强板)的总厚度, in (mm)

d_c ——柱高, in (mm)

b_{cf} ——柱翼缘宽度, in (mm)

t_{cf} ——柱翼缘厚度, in (mm)

d_b ——梁高, in (mm)

F_y ——节点域钢材的最小屈服强度, Ksi (MPa)

9.3.2 节点域厚度: 柱腹板或补强板的厚度 t 应分别满足下式要求:

$$t \geq (d_z + w_z) / 90 \quad (9-2)$$

式中, t ——柱腹板或补强板的厚度, in (mm)

d_z ——节点域在横向加筋肋间的净距, in (mm)

w_z ——节点域在柱翼缘间的净距, in (mm)

另外, 为了防止柱腹板和补强板的局部屈曲而在其间采用塞焊时, 节点域的总厚度应满足(9-2)式要求。

9.3.3 节点域补强板: 补强板和柱翼缘连接应采用全熔透坡口焊缝或贴角焊缝以发挥补强板全部厚度的抗剪设计强度。当补强板贴紧柱腹板设置时, 要求沿补强板从上至下焊透, 当补强板与柱腹板分开时, 补强板应在腹板两侧对称设置并与横向加劲肋焊接, 以提高向补强板的传力作用。

9.4 梁、柱限制

9.4.1 梁翼缘截面积: 在梁的塑性铰区域内, 梁翼缘截面不应有突变。如果根据9.2.2规定的梁柱节点和连接试验结果可以证明所使用的翼缘形状有利于塑性铰的稳定发展, 则可在梁翼缘上钻孔和切边。被削弱的梁截面应符合9.2.1条、第2)款的有关强度设计值的规定。

9.4.2 宽厚比: 梁和柱均应满足本《规定》表5的允许宽厚比要求。

9.5 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）。

9.6 柱-梁弯矩比

梁柱连结节点，应满足下述关系：

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (9-3)$$

式中， $\sum M_{pc}^*$ ——梁柱中心线交点上下处的柱弯矩之和。可按 $\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc} / A_g)$ 确定。若节点处相交梁的中心线不重合，可取两相交梁中心线的中点。

$\sum M_{pb}^*$ ——梁柱中心线交点处的梁弯矩之和。可按 $\sum M_{pb}^* = \sum Z_c (1.1R_y M_p + M_v)$ 确定。其中， M_v 是从塑性铰处到柱中心线因剪力增大而产生的附加弯矩。也可根据9.2.2规定的试验结果或基于计算分析来确定 $\sum M_{pb}^*$ 。当连接处梁截面有削弱时，可按 $\sum M_{pb}^* = \sum Z_c (1.1R_y F_y z + M_v)$ 确定，其中 z 是梁截面削弱处的柱的塑性截面模量。

A_g ——柱的毛截面面积， in^2 (mm^2)

F_{yc} ——柱钢材的屈服强度标准值，ksi (MPa)

P_{uc} ——柱轴向抗压承载力（取正值），kips (N)

Z_c ——柱的塑性截面模量， in^3 (mm^3)

当柱满足9.4节要求时，对符合下述9.6.1及9.6.2条规定的可不再应用本条（9-3）式。

9.6.1 在各种荷载组合作用下，轴向抗压承载力符合 $P_{uc} < 0.3F_{yc}A_g$ 的柱，除了当有放大地震荷载参与组合并符合以下任何一款条件的柱可以例外：

- 1) 单层房屋柱或多层房屋顶层柱；
- 2) 处于下列情况的柱：a.在楼层中所有已被抽除的柱的剪切强度设计值之和小于楼层剪切承载力的20%；b.在一柱轴线的的所有已被抽除的柱的剪切强度设计值之和小于该轴线楼层剪切承载力的33%。在此，柱轴线定义为一列柱的连线，或柱虽不在同一列但其偏离柱轴

线的距离小于与相邻柱轴线间距的10%。

9.6.2 任一楼层柱的剪切强度设计值与柱的剪切承载力之比应大于上一层柱该比值的50%。

9.7 梁对柱的连接约束

9.7.1 受约束连接：

- 1) 如果可以证明柱在节点域之外保持弹性，则只需在对应梁的上翼缘位置处，设柱翼缘侧向支承。当按式(9-3)的计算结果大于2.0时，可以假定柱保持弹性。
- 2) 如果无法证明柱在节点域之外保持弹性，则应符合下述要求：
 - a. 在对应梁上下翼缘的位置，设柱翼缘侧向支承；
 - b. 每一个侧向支承都应按梁翼缘强度标准值($F_y b_f t_{bf}$)的2%为其承载力进行设计；
 - c. 对柱翼缘的支承应水平设置，可借助于柱腹板或正交梁的翼缘直接或间接地实施。

9.7.2 无约束连接：当某柱上的梁柱节点处对抗震框架未设横向水平支承，设计时考虑平面外屈曲的柱计算长度应取相临侧向支承间的距离，并应符合LRFD 规范第八章(Chapter H)的要求。但以下三款可作例外：

- 1) 柱承载力应根据LRFD 规范确定，但其中地震荷载 E 应按下述a、b两款中的较小者取值：
 - a. 放大地震荷载；
 - b. 基于梁抗弯设计强度或节点域剪切设计强度确定的框架设计强度的1.25倍。
- 2) 柱的长细比 L/r 不超过60；
- 3) 对抗震框架的柱抗弯承载力应包括9.7.1条2)、b.款所指定大小的梁翼缘作用力产生的弯矩，要扣除因柱翼缘位移引起的二阶弯矩。

9.8 梁的侧向支承

可采用直接或间接的方法对梁的上下翼缘实施侧向支承。未设支撑的侧向支承间的距离不应超过 $0.086r_y E_s / F_y$ 。支承的设计强度应大于等于梁翼缘强度标准值($F_y b_f t_f$)的2%。

此外，侧向支承应设置于靠近集中力作用点、截面变化处和根据结构分析得出的特殊抗弯框架经受弹塑性变形时形成塑性铰的部位，要根据梁柱节点连接试验(符合附录S)进行梁侧向支承设计，其构造应与试验一致。在靠近塑性铰处设置

的侧向支承，其设计强度应为梁翼缘强度标准值($R_y F_y b_f t_f$)的6%。应按LRFD 规范的(C3-8)式或(C3-10)式计算全部侧向支承的刚度，此两式中的 M_u 取值 $R_y Z F_y$ 。

9.9 柱拼接接头

柱拼接接头应符合本《规定》8.4.4条的要求。

参考文献

[1] LRFD规范：《荷载和抗力分项系数设计规范》(Load and Resistance Factor Design Specification for the Structural Steel buildings)，1999年12月27日发布。

[2] ACI 318《混凝土结构建筑设计规范ACI 318-02》：美国混凝土学会(American concrete Institute ACI)发布的《混凝土结构建筑设计规范》(Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-02)。

(未完待续，见《钢结构建筑抗震设计规定》介绍(三))