



T/CECS xxx —202x

中国工程建设标准化协会标准

钢结构大承载力端板连接节点 技术规程

Technical specification for large capacity end-plate joints
of steel structures

（征求意见稿）

中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

钢结构大承载力端板连接节点技术规程

Technical specification for large capacity end-plate joints
of steel structures

T/CECS xxx - 202x

主编单位: 清 华 大 学

批准单位: 中国工程建设标准化协会

施行日期: 2 0 2 x 年 x 月 x 日

中国建筑工业出版社

202x 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第二批工程建设协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字〔2019〕022 号）的要求，规程编制组通过开展广泛的调研和科研，总结和采用了国内外近期的研究成果和有关工程设计经验，参考国内外相关技术标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 8 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、宽端板连接节点、高端板连接节点、超大承载力端板连接节点、抗震设计要求、制作、施工和质量验收。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

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，由清华大学负责具体技术内容的解释。本规程在使用中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市海淀区清华大学土木工程系，邮政编码：100084），以供修订时参考。

主 编 单 位： 暂略

参 编 单 位： 暂略

主要起草人： 暂略

主要审查人： 暂略

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
3.1	设计原则	6
3.2	材料选用	10
3.3	节点分类和设计假定	11
4	宽端板连接节点	17
4.1	一般规定	17
4.2	节点承载力	18
4.3	节点转动刚度	21
5	高端板连接节点	24
5.1	一般规定	24
5.2	节点承载力	25
5.3	节点转动刚度	27
6	超大承载力端板连接节点	30
6.1	一般规定	30
6.2	节点承载力	31
6.3	节点转动刚度	33
7	抗震设计要求	35
8	制作、施工和质量验收	37
8.1	一般规定	37
8.2	制 作	37

8.3 施 工	38
8.4 质量验收	39
本规程用词说明	40
引用标准名录	41

Contents

1	General provisions.....	(1)
2	Terms and symbols.....	(2)
2.1	Terms.....	(2)
2.2	Symbols.....	(3)
3	Basic requirements.....	(6)
3.1	Design requirements.....	(6)
3.2	Selection of materials.....	(10)
3.3	Classification and assumption of joints.....	(12)
4	Wide end-plate joint.....	(16)
4.1	General requirements.....	(16)
4.2	Loading capacity.....	(17)
4.3	Rotational stiffness.....	(20)
5	Long end-plate joint.....	(23)
5.1	General requirements.....	(23)
5.2	Loading capacity.....	(24)
5.3	Rotational stiffness.....	(26)
6	Ultra-large capacity end-plate joint.....	(29)
6.1	General requirements.....	(29)
6.2	Loading capacity.....	(30)
6.3	Rotational stiffness.....	(32)
7	Seismic design requirements.....	(34)
8	Fabrication, construction and quality acceptance.....	(36)
8.1	General requirements.....	(36)
8.2	Fabrication.....	(36)
8.3	Construction.....	(37)
8.4	Quality acceptance.....	(38)

Explanation of wording in this specification.....	(39)
List of quoted standards.....	(40)

1 总则

1.0.1 为在钢结构大承载力端板连接节点的工程应用及设计、制作、施工和验收中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，并充分发挥钢结构大承载力端板连接在快速施工、节能减排、质量控制方面的优势，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于钢结构大承载力端板连接节点的设计、制作、施工与验收。

1.0.3 钢结构大承载力端板连接节点的设计、制作、施工和验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】本规程仅适用于钢结构大承载力端板连接节点的设计、制作、施工和验收。在采用钢结构大承载力端板连接节点的结构设计时，结构、构件和其他类型节点的设计和验算需要符合国家现行相关标准、规范和规程的有关规定。

2 术语和符号

【条文说明】本章所用的术语和符号是参照现行国家标准《工程结构设计通用符号标准》GB/T 50132 和《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 的规定编写的，并根据需要增加了一些内容。

2.1 术语

2.1.1 端板连接节点 end-plate joint

在构件端部焊接端板，并通过高强度螺栓将端板和另一构件连接的节点构造。

2.1.2 大承载力端板连接节点 large-capacity end-plate joint

节点受弯时，端板的外伸部分承受拉力的螺栓数量多于 4 个的端板连接。

2.1.3 宽端板连接节点 wide end-plate joint

节点受弯时，端板的外伸部分承受拉力的螺栓数量为 4 个，并且螺栓布置为 1 排 4 列构造的端板连接。

2.1.4 高端板连接节点 long end-plate joint

节点受弯时，端板的外伸部分承受拉力的螺栓数量为 4 个，并且螺栓布置为 2 排 2 列构造的端板连接。

2.1.5 超大承载力端板连接节点 ultra-large capacity end-plate joint

节点受弯时，端板的外伸部分承受拉力的螺栓数量为 6 个或 8 个的端板连接节点。

2.1.6 节点转角 joint rotation

在荷载作用下，节点所连接构件的轴线夹角相对于无荷载作用时的改变值。

2.1.7 刚接节点 rigid joint

设计中认为可以传递弯矩，且在传递弯矩时不产生节点转角的节点形式。

2.1.8 转动刚度 rotational stiffness

节点传递的弯矩与该弯矩作用下产生的节点转角的比值。

2.1.9 半刚性节点 semi-rigid joint

设计中认为可以传递弯矩且具有一定的转动刚度、在传递弯矩时产生的节点转角不可忽略的节点形式。

2.1.10 完全强度节点 full-strength joint

设计中认为可以传递弯矩，且在至少一个所连接构件失效前不发生失效的节点形式。

2.1.11 部分强度节点 partial-strength joint

设计中认为可以传递一定的弯矩，且先于所连接构件失效的节点形式。

2.1.12 铰接节点 pinned joint

设计中认为不能传递弯矩、可自由发生节点转角的节点形式。

【条文说明】本规程给出了 12 个与钢结构大承载力端板连接节点工程应用与设计相关的专用术语，并参照国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的规定编写。所汇总专业术语从钢结构设计和端板连接节点设计的角度赋予其特定的涵义，但不一定是其严密的定义。所给出的英文译名是参考国内外相关标准拟定的，亦不一定是国际上的标准术语。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应设计值

M ——弯矩；

N ——轴向力；

V ——剪力。

2.2.2 计算指标

A_c ——柱的截面面积；

E ——钢材的弹性模量；

G ——钢材的剪切模量；

K_b ——螺栓变形对应的转动刚度；

K_{cf} ——柱翼缘变形对应的转动刚度;
 K_{ep} ——端板变形对应的转动刚度;
 K_j ——端板连接节点的转动刚度;
 K_{pz} ——节点域剪切变形对应的转动刚度;
 M_b ——节点所连梁的抗弯承载力设计值;
 M_j ——端板连接节点的抗弯承载力;
 N_t^b ——一颗高强度螺栓的受拉承载力设计值;
 N_v^b ——一颗高强度螺栓的受剪承载力设计值;
 V_b ——节点所连梁最大弯矩达到 M_b 时对应的梁剪力;
 V_j ——节点的抗剪承载力设计值;
 f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
 f_{ps} ——节点域的抗剪强度;
 f_y ——钢材屈服强度;
 f_u ——钢材抗拉强度;
 f_u^b 、 f_t^b ——高强度螺栓的抗拉强度和抗拉强度设计值;
 k_b ——节点刚度界限值;
 θ ——节点转角;
 θ_y ——节点达到设计承载力时的转角。

2.2.3 几何参数

b_{ep} ——端板的宽度;
 d ——高强度螺栓的公称直径;
 h_1 ——梁截面翼缘中心线间的距离;
 h_{c1} ——柱截面翼缘中心线间的距离;
 h_s 、 l_s 、 l_{s1} ——端板加劲肋尺寸;
 t_{cf} ——柱翼缘厚度;
 t_{ep} ——端板厚度;
 t_{pz} ——节点域厚度。

2.2.4 计算系数

n_e ——端板连接节点等效受拉螺栓数量;
 α ——受剪变形系数;

ξ ——强螺栓系数；

η ——强柱系数。

【条文说明】给出了本规程中常用符号并分别作出了定义，这些符号都是本规程各章节中所引用的，并按拉丁字母和希腊字母顺序排列。每个符号由主体符号或主体符号带上、下标构成。主体符号一般代表物理量，上、下标代表物理量以外的术语、说明语，用以进一步说明符号的涵义。本节未列出的其他符号及其含义均在各章节的条文中列出。

3 基本规定

3.1 设计原则

3.1.1 钢结构大承载力端板连接节点可应用于梁、柱之间的现场连接或构件之间的现场拼接，并宜在以下情况下优先应用：

- (1) 现场不便使用焊接连接时；
- (2) 设计要求使用半刚接节点时。

【条文说明】钢结构大承载力端板连接节点具有工期短、有利于节能减排和绿色施工等优势，并且其承载力和转动刚度可通过节点构造参数灵活调整，便于施工质量控制和验收。本条基于钢结构大承载力端板连接节点的特点和优势，结合国内外研究和工程应用经验，提出了推荐应用大承载力端板连接节点的工程情况。

由于钢结构大承载力端板连接节点是在普通端板连接节点基础上提高承载能力的连接形式，所以可以作为承载力要求提高时改进的端板连接节点构造供设计选用。

3.1.2 应用大承载力端板连接节点的钢结构进行内力分析时，应依据节点的刚度分类使用合理的节点模型；当按半刚性节点设计，应在结构分析时计入节点转动刚度的影响。

【条文说明】随着参数的变化，钢结构大承载力端板连接节点的转动刚度可能在较大的范围内变化。节点转动刚度的变化会对实际结构的内力分布产生影响，当节点转动刚度较小、满足本规程 3.3.2 节对半刚性节点的要求时，在结构分析中应考虑节点刚度对内力分布的影响。由于实际的节点均无法做到完全刚接，所以即便属于刚接节点分类时，也可视其为半刚性节点进行结构分析和设计。

3.1.3 应用大承载力端板连接节点的钢结构，其变形应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定；当按半刚性节点设计时，应计入节点转角对结构和构件变形的影响。

【条文说明】节点转动刚度的变化会对实际结构的变形和构件的变形产生影响。当节点转动刚度较小、满足本规程 3.3.2 节对半刚性节点的要求时，在结构变形验算中应考虑节点刚度对结构和构件变形的影响。

3.1.4 钢结构大承载力端板连接节点中的螺栓宜采用高强度螺栓摩擦型连接，螺栓孔宜使用标准圆孔。

【条文说明】由于高强度螺栓承压型连接同时承受拉力和剪力时，其受拉承载力受剪力影响很大，会对设计的经济性产生较大影响，所以建议在钢结构大承载力端板连接节点中优先使用高强度螺栓的摩擦型连接。在使用摩擦型连接时，如果采用大圆孔或槽孔，需要采取措施保证构件的安装定位的精度，并按照国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定计入孔型对承载力的影响。

3.1.5 钢结构大承载力端板连接节点中，螺栓的间距、边距和端距应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的相关规定；受拉螺栓的间距、螺栓和构件受拉侧翼缘和腹板之间的距离宜在符合要求的条件下取较小值；对于超大承载力端板连接节点，当采用六栓构造时，如螺栓的间距、边距和端距不满足上述要求，应采取端板外伸段切角等构造措施。

【条文说明】根据相关研究结果，在端板连接节点中，螺栓位置距离构件翼缘越远，节点转动刚度越小，且同承载力条件下要求更高的端板厚度。所以本规程建议在满足施工要求的条件下尽量缩小上述距离，以实现经济、合理的设计。

3.1.6 梁和柱之间的大承载力端板连接中，端板直接和柱翼缘相连时，端板厚度应小于柱翼缘厚度，且柱应在节点处梁翼缘对应位置设置节点域水平加劲肋，加劲肋厚度不应小于梁翼缘厚度，加劲肋与柱翼缘围隔成的节点域应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的抗剪强度要求，强度不足时宜设斜加劲肋加强。

【条文说明】本条规定限制了节点的失效模式，避免柱翼缘先于端板发生失效。《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 中规定柱翼缘的厚度不应小于端板厚度。但是，由于柱内通常还存在轴力，所以即使柱翼缘厚度等于端板厚度时，也可能无法完全避免柱翼缘先于端板失效的情况。本条在《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 已有规定的基础上进一步提高要求，即柱翼缘厚度应严格大于端板厚度。即便如此，在有条件时也应该根据柱的实际轴力状态对钢结构大承载力端板连接节点所连的柱翼缘进行分析校核。一般情况下大承载力端板连接节点具有较高的承载力，应设置节点域水平加劲肋以保证柱节点域和柱翼缘的承载力。

3.1.7 钢结构大承载力端板连接节点中，端板与构件之间的焊接应采用等强连接，焊接工艺应符合《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定，且应满足以下要求：

- 1 当节点主要承担弯矩时，端板与构件翼缘之间的焊接应采用全熔透对接焊缝，焊缝的质量等级不应低于二级；
- 2 当节点主要承担拉力时，端板与构件之间的焊接应采用全熔透对接焊缝，焊缝的质量等级不应低于二级。

【条文说明】当有可靠依据时，端板与梁腹板的连接可采用等强角焊缝、不开坡口的直接熔透对接焊缝或其他焊缝形式。

3.1.8 钢结构大承载力端板连接节点的设计应采用概率论为基础的极限状态设计方法，用分项系数设计表达式进行计算。

【条文说明】钢结构大承载力端板连接节点应按下列极限状态准则进行设计：

- 1 承载能力极限状态应符合下列规定之一：

(1) 节点中的高强度螺栓连接达到《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 规定的承载能力极限状态；

(2) 节点中端板或与端板连接的柱翼缘的应力达到设计强度；

(3) 构件与端板间焊缝的应力达到设计强度；

(4) 当设置端板加劲肋时, 端板加劲肋或其连接焊缝的应力达到设计强度, 或端板加劲肋发生局部失稳;

2 正常使用极限状态应符合下列规定之一:

(1) 节点中的高强度螺栓连接达到《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 规定的正常使用极限状态;

(2) 节点产生了较大的节点转角。

对于正常使用极限状态下节点转角的限值, 应根据实际需求具体确定; 针对主梁与柱之间的节点, 基于均布荷载作用下简支梁的变形曲线, 当节点转角达到 0.008rad 时, 梁的跨中挠度为 $1/400$ 。考虑到现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中主梁的挠度限值为 $1/400$, 故可将 0.008rad 作为半刚性节点在正常使用极限状态的转角限值。

3.1.9 应用钢结构大承载力端板连接节点传递弯矩或拉力时, 当端板外伸部分受拉螺栓为两排时, 应设置端板外伸加劲肋; 当端板外伸部分受拉螺栓为一排时, 也宜设置端板外伸加劲肋。当设置端板外伸加劲肋时, 加劲肋的厚度应不小于构件腹板厚度, 加劲肋与端板之间应采用全熔透对接焊缝连接, 且加劲肋端部与端板边缘的距离应取为 $1.5t$ 或 10mm , t 为加劲肋厚度。

【条文说明】研究表明, 端板的外伸部分设置端板加劲肋可以显著提高节点的刚度; 参照美国规范 ANSI/AISC 358, 在外伸部分螺栓数量较多时, 采用端板加劲肋可以提高外伸端板部分螺栓的平均拉力水平。端板加劲肋的推荐形状参考国家现行规范及美国规范 ANSI/AISC 358 的规定确定, 见图 1, 其中 h_s 、 l_s 为加劲肋高度、长度, l_{s1} 为加劲肋平直段长度。加劲肋高度 h_s 的取值需保证加劲肋端部与端板边缘的距离为 $1.5t$ 或 10mm , t 为加劲肋厚度, 其目的是留出焊接作业时的焊道空间。

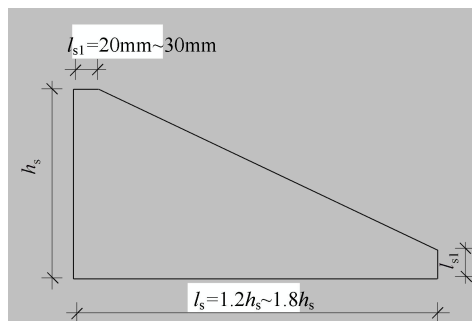


图 1 端板外伸加劲肋的建议形状

当端板的外伸部分布置的螺栓数量为两排时，如果不设置端板加劲肋，最外排螺栓在受拉侧的传力贡献很小。因此，端板外伸部分设置两排螺栓的高端板连接节点和超大承载力端板连接节点应设置端板加劲肋。

3.2 材料选用

3.2.1 钢结构大承载力端板连接节点的构件、端板和加劲肋的钢材，应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《高强度钢结构设计标准》JGJ/T 483 对材料选用的规定；端板和加劲肋选用的钢材牌号应不低于构件；当端板厚度不低于 40mm 时，端板采用的钢材应增加对厚度方向性能级别的要求，并按现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的有关规定进行材料选用。

【条文说明】由于钢结构大承载力端板连接节点属于承重结构，并且端板和构件之间需要可靠焊接，应符合承重结构和焊接结构的选材要求。

端板与构件之间的焊接连接为典型的 T 形接头，按照《钢结构焊接规范》GB 50661 的要求，在 T 形接头中的翼缘板厚度不小于 40mm 时，宜采用对厚度方向性能有要求的钢板。

3.2.2 抗震设计时，钢材性能应符合下列要求：

1 钢材抗拉性能应有明显的屈服台阶，其断后伸长率不应小于 20%；

2 钢材的实测屈强比不应大于 0.85。

【条文说明】本条参照现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011。

3.2.3 钢结构大承载力端板连接节点中的高强度螺栓应选用性能等级 10.9 级或 8.8 级的高强度大六角头螺栓，或性能等级 10.9 级的扭剪型高强度螺栓，并应符合下列规定：

1 高强度大六角头连接副的材质、性能等应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231；

2 扭剪型高强度螺栓连接副的材质、性能等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。

【条文说明】本条参照现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82。

3.2.4 钢结构大承载力端板连接节点中的使用的焊接材料应符合下列规定：

1 手工焊接所用的焊条应符合现行国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 的规定，所选用的焊条型号应与主体金属力学性能相适应；

2 自动焊或半自动焊用焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110、《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045、《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493 的规定；

3 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293、《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470 的规定。

3.2.5 钢结构大承载力端板连接节点中，钢材、焊缝和高强度螺栓的强度设计值和物理性能指标应按国家现行标准《钢结构设计标准》GB 50017、《高强钢结构设计标准》JGJ/T 483 的有关规定采用。

3.3 节点分类和设计假定

3.3.1 钢结构大承载力端板连接节点应按照节点分类选择合适的设计假定，并应符合如下要求：

1 设计假定节点传递弯矩时，节点按承载力分类应符合完全强度节点或部分强度节点的要求，且节点按转动刚度分类应符合刚接或半刚性节点的要求；

2 设计假定节点不传递弯矩时，节点应符合铰接节点的要求；

3 大承载力端板连接节点不应按铰接节点设计。

【条文说明】钢结构大承载力端板连接节点的承载力和转动刚度可以在较大的范围内进行调整，所以在设计时应根据结构具体要求确定合理的设计假定：

(1) 需要节点传递弯矩、同时不允许发生明显的节点转角时，可根据设计成节点先失效或设计成构件先失效的不同要求，选择部分强度刚接节点或完全强度刚接节点；

(2) 需要节点传递弯矩、同时允许发生明显的节点转角时，可根据设计成节点先失效或设计成构件先失效的不同要求，选择部分强度半刚性节点或完全强度半刚性节点；

(3) 当不需要节点传递弯矩时，应选择铰接节点。

此外，由于钢结构大承载力端板连接的构造是在普通端板连接节点的弯矩传递能力不足情况下的一种改进形式，所以在设计中不应将其设计为铰接节点。

3.3.2 钢结构大承载力端板连接节点按承载力分类时，应符合如下规定：

1 完全强度节点应同时满足式 3.3.2-1 和 3.3.2-2 的规定。

$$M_j \geq M_b \quad (3.3.2-1)$$

$$V_j \geq V_b \quad (3.3.2-2)$$

式中： M_j ——节点的抗弯承载力设计值；

M_b ——所连接构件的抗弯承载力设计值，在梁柱连接节点中为梁截面的抗弯承载力设计值；

V_j ——节点的抗剪承载力设计值；

V_b ——节点所连构件截面的最大弯矩为 M_b 时的构件剪力。

2 部分强度节点应不满足完全强度节点要求，同时应满足式 3.3.2-3 和 3.3.2-4 的规定。

$$M_j \geq 0.25M_b \quad (3.3.3-3)$$

$$V_j \geq 0.25V_b \quad (3.3.3-4)$$

3 当节点不满足式 3.3.3-3 或式 3.3.3-4 中任意一项时，应按铰接节点设计。

4 当钢结构大承载力端板连接节点为部分强度节点时，其端板屈服对应的承载力应低于高强度螺栓控制的屈服承载力。

【条文说明】本条参照欧洲规范 EN 1993-1-8，并考虑抗剪承载力和端板加劲肋的影响。

对于梁柱连接节点，欧洲规范中定义的完全强度节点同时包括节点的承载力不低于柱承载力的情况。但是，考虑到端板连接节点通常将端板设置在梁端，且柱的承载力一般高于梁的承载力，所以本规程中节点的承载力分类仅考虑节点承载力与梁的承载力的相对关系。在梁承载力很高、柱承载力相对较低的情况下，如果节点承载力相对于梁的承载力较低而相对于柱的承载力较高时，仍然按照部分强度节点进行设计，在设计验算中将梁端截面的承载力折减为节点的承载力。

3.3.3 钢结构大承载力端板连接节点按转动刚度分类时，应符合如下规定：

1 刚接节点应满足下式的规定：

$$K_j \geq k_b \frac{EI_b}{L_b} \quad (3.3.3-1)$$

2 半刚性节点应满足下式的规定：

$$\frac{EI_b}{2L_b} < K_j < k_b \frac{EI_b}{L_b} \quad (3.3.3-2)$$

3 铰接节点应满足下式的规定：

$$K_j \leq \frac{EI_b}{2L_b} \quad (3.3.3-3)$$

式中： K_j ——节点的转动刚度；

E ——梁钢材的弹性模量；

I_b ——梁的毛截面惯性矩；

L_b ——梁的跨度；

k_b ——节点刚度界限值，当结构中设置支撑且支撑可以减小80%或以上的水平侧移时，应取 $k_b=8$ ；其余情况下应取 $k_b=25$ 。

【条文说明】本条参照欧洲规范 EN 1993-1-8。在进行节点分类时，节点的承载力很低，或转动刚度很小时，均应视为铰接节点。

3.3.4 设计中采用分类为半刚性节点的大承载力端板连接节点时，在结构分析中可采用转动弹簧的方式进行模拟；对于梁柱连接节点，可采用剪切弹簧模拟节点域的转动刚度，也可采用将转动弹簧设置在梁端、梁通过转动弹簧与柱连接的模型考虑整个节点的转动刚度；当采用其他的模拟方式时，应具有可靠的研究依据。

【条文说明】对于构件间的拼接节点，考虑节点的转动刚度主要来源于连接的转动刚度，因此采用转动弹簧的方式可以实现节点性能的合理模拟；对于梁柱节点，根据已有研究结果（陈学森. 高强度钢材板式加强型梁柱节点抗震性能及设计方法[博士学位论文]. 北京：清华大学. 2018.），节点的分析模型见图2，对于节点域刚度的不同考虑方式对结构内力分析结果的影响并不显著。因此，采用柱侧转动弹簧的模拟方式可满足一般情况下的模拟精度需求。

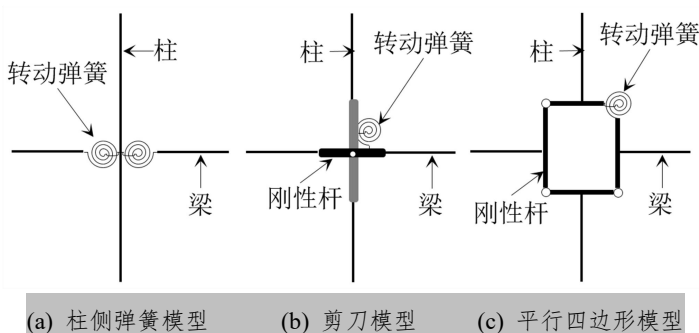


图 2 节点分析模型

3.3.5 当采用钢结构大承载力端板连接节点时，可采用图 3.3.5 和式 3.3.5 中的弯矩-转角关系。

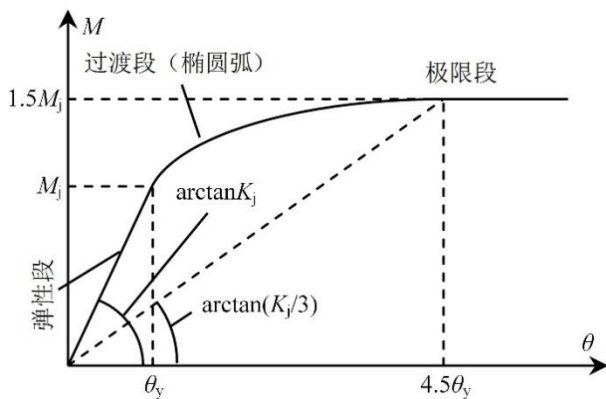


图 3.3.5 弯矩-转角关系曲线

$$M = \begin{cases} K_j \theta & \theta \leq \theta_y \\ 0.9M_j + \frac{K_j}{\sqrt{35}} \sqrt{12.6\theta^2 - (\theta - 4.5\theta_y)^2} & \theta_y < \theta \leq 4.5\theta_y \\ 1.5M_j & \theta > 4.5\theta_y \end{cases} \quad (3.3.5)$$

式中： θ ——节点转角；

θ_y ——节点达到设计承载力时的转角，取为 M_j 与 K_j 的比值；

M ——节点转角为 θ 时节点传递的弯矩。

4 宽端板连接节点

4.1 一般规定

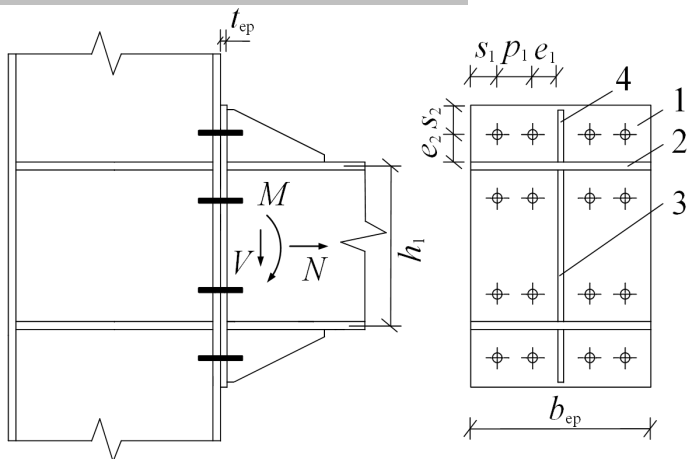
4.1.1 宽端板连接节点的端板应焊接在工字形构件端部，且端板上的高强度螺栓应关于工字形截面的两条对称轴对称布置；

4.1.2 在宽端板连接节点中，每侧伸出翼缘外部分的端板上应布置 4 颗螺栓，且 4 颗螺栓应布置成 1 排 4 列的构造；

4.1.3 在宽端板连接节点中，每侧翼缘内的端板上应至少布置 4 颗螺栓，且当布置 4 颗螺栓时，螺栓的布置排列应与外侧相同；

4.1.4 当宽端板连接节点上两排螺栓间的最大距离大于 400mm 时，应在中间增设一排构造螺栓。

【条文说明】宽端板连接节点构造见图 3。



1—端板；2—梁翼缘；3—梁腹板；4—端板加劲肋

图 3 宽端板连接节点构造

依据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，采用端板连接的节点，螺栓应成对称布置。因此，当宽端板连接节

点的螺栓布置不满足对称性要求时,需要基于可靠的研究依据进行节点设计。另外,依据现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022,当端板上两对螺栓间的最大距离大于 400mm 时,应在中间增设一对构造螺栓。

4.2 节点承载力

4.2.1 宽端板连接节点的承载力验算应符合下列要求。

$$M_j \geq M + \frac{N}{2} h_1 \quad (4.2.1-1)$$

$$V_j \geq V \quad (4.2.1-2)$$

式中: M ——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的弯矩;

h_1 ——与端板连接的构件截面上、下翼缘中心线间的距离;

N ——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的拉力;当节点承担压力或不承担轴力时,取 $N=0$;

V ——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的剪力。

4.2.2 宽端板连接节点的抗弯承载力设计值 M_j 应按以下规定计算:

1 由高强度螺栓控制的节点抗弯承载力 M_{j1} 应按下列公式计算:

$$M_{j1} = n_{e1} h_1 N_t^b \quad (4.2.2-1)$$

式中: n_{e1} ——宽端板连接节点的等效受拉螺栓数量,宽端板构造取为 5.8;

N_t^b ——一颗高强度螺栓的受拉承载力设计值,应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定取值。

2 对于设置端板加劲肋的宽端板连接节点构造,端板屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j2} 应按下列公式计算:

$$M_{j2} = \frac{n_{e1} h_1 f_{cp}^2}{4.65} \left(\frac{s_1 + p_1 + e_1}{e_2} + \frac{s_2 + e_2}{e_1} \right) \quad (4.2.2-2)$$

对于不设置端板加劲肋的宽端板连接节点构造,端板屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j2} 应按下列公式计算:

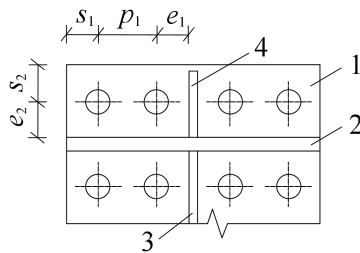
$$M_{j2} = \frac{n_{e1} h_1 f t_{ep}^2 b_{ep}}{9 e_2} \quad (4.2.2-3)$$

式中： f ——端板钢材的设计强度；

t_{ep} ——端板的厚度；

b_{ep} ——端板的宽度；

$s_1, s_2, e_1, e_2, p_1, p_2$ ——与螺栓布置有关的尺寸，见图 4.2.2。



1—端板； 2—梁翼缘； 3—梁腹板； 4—端板加劲肋

图 4.2.2 宽端板连接节点中的螺栓布置尺寸

【条文说明】本条对 M_{j1} 和 M_{j2} 的计算方法基于已开展的研究结果得到。对于宽端板连接节点，设置端板加劲肋时，采用图 4 所示的屈服线模型和螺栓拉力分布模型。

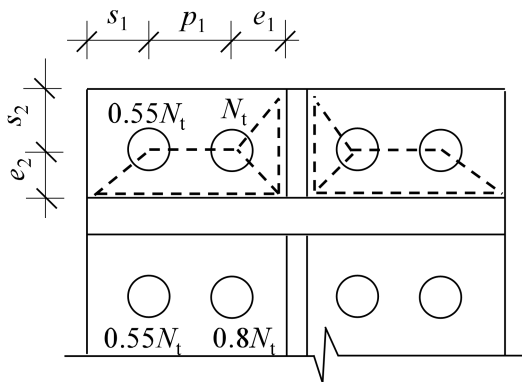


图 4 宽端板连接节点有加劲肋时受拉侧端板屈服线模型和螺栓拉力分布模型

基于图 4 的螺栓拉力分布模型，外伸端板侧的中部螺栓承担的拉力最大，当承担的拉力其达到其受拉承载力时，整个受拉侧端板螺栓总拉力近似为 $5.8N_{vb}$ ，故 n_{e1} 取为 5.8。

进而基于图 4 的屈服线模型，外伸侧的端板屈服时，区段的最大螺栓拉力 N_t 满足下式：

$$1.55N_t = \frac{1}{3}f_{tp}^2 \left(\frac{s_1 + p_1 + e_1}{e_2} + \frac{s_2 + e_2}{e_1} \right) \quad (1)$$

同时考虑最大螺栓拉力为 N_t 时，对应的节点弯矩为 $n_{e1}h_1N_t$ ，所以得到式 5.2.2-2。

当不设置加劲肋时，采用如图 5 所示的端板屈服线模型和螺栓拉力分布模型。按此模型 n_{e1} 为 6.0。考虑到应用宽端板连接节点时，不建议采用不加加劲肋的构造，所以在设计中也偏于安全地取 5.8。

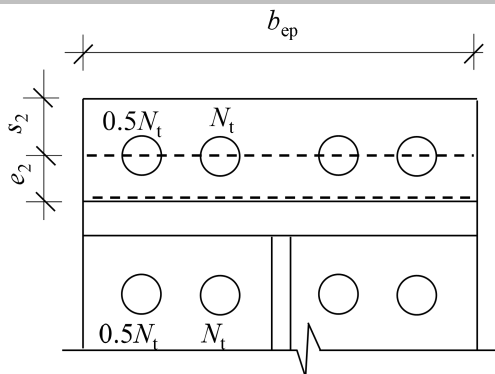


图 5 宽端板连接节点无加劲肋时受拉侧端板屈服线模型和螺栓拉力分布模型

3 在梁柱节点中，由节点域屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j3} 应按下式计

$$M_{j3} = h_1 h_{c1} t_{pz} f_{ps} \quad (4.2.2-4)$$

式中： h_{c1} ——节点域处柱截面两翼缘中心线间的距离；

t_{pz} ——节点域厚度；

f_{ps} ——节点域的抗剪强度，按照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定计算。

4 宽端板连接节点的抗弯承载力 M_j 应取 M_{j1} 、 M_{j2} 、 M_{j3} 的最小值。

4.2.3 宽端板连接节点的受剪承载力 V_j 应按下式计算：

$$V_j = (n - 1.1n_{cl}) N_v^b \quad (4.2.3)$$

式中： n ——端板连接节点的螺栓总数；

N_v^b ——一颗高强度螺栓的受剪承载力设计值，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定取值。

【条文说明】在确定抗剪螺栓数量时，也采用等效抗剪螺栓数量的方法，即认为螺栓总数减去等效受拉螺栓的数量即为等效受剪螺栓；考虑到受拉螺栓的拉力分布并不均匀，所以引入系数 1.1 考虑实际等效受拉螺栓数量的浮动。

4.3 节点转动刚度

4.3.1 宽端板连接节点的转动刚度 K_j 应按下式计算：

$$K_j = \frac{1}{\frac{1}{K_{cp}} + \frac{1}{K_{cf}} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{pz}}} \quad (4.3.1)$$

式中： K_{cp} ——端板变形对应的转动刚度，按本规程 4.3.2 条计算；

K_{cf} ——柱翼缘变形对应的转动刚度，按本规程 4.3.2 条计算；

K_b ——螺栓变形对应的转动刚度，按本规程 4.3.3 条计算；

K_{pz} ——节点域剪切变形对应的转动刚度，按本规程 4.3.4 条计算；

【条文说明】节点转角的定义参照欧洲规范 EN 1993-1-8，包含连接转角和节点域转角。在大承载力端板连接节点中，连接转角的主要来源是端板的弯曲变形、柱翼缘的弯曲变形、螺栓的伸长变形。

4.3.2 端板和柱翼缘变形对应的转动刚度应按下列规定计算：

1 对于设置端板加劲肋时的宽端板连接节点构造，端板变形对应的转动刚度 K_{cp} 应按式 4.3.2-1 计算；当梁受拉翼缘两侧的螺栓

端距不同时，应分别按翼缘内侧受拉螺栓的布置尺寸和翼缘外侧螺栓的布置尺寸，由式 4.3.2-1 计算 K_{ep} 后取平均值。

$$K_{ep} = 2Et_{ep}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2p_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{ep}^2} + \frac{e_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{ep}^2} \right) \quad (4.3.2-1)$$

式中： E ——端板钢材的弹性模量；

ν ——端板钢材的泊松比；

α ——受剪变形系数，取为 1.2。

2 对于未设置端板加劲肋时的宽端板连接节点构造，端板变形对应的转动刚度 K_{ep} 应按式计算：

$$K_{ep} = Et_{ep}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2p_1 + 2s_1}{e_2'^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2' t_{ep}^2} + \frac{e_2' + 2s_2}{e_1'^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1' t_{ep}^2} + \frac{b_{ep}}{e_2'^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2' t_{ep}^2} \right) \quad (4.3.2-2)$$

式中： e_2' ——梁受拉翼缘内侧螺栓中心至受拉翼缘内侧表面的距离。

3 设置节点域水平加劲肋时，与宽端板连接节点的端板直接相连的柱翼缘变形对应的转动刚度 K_{cf} 应按式计算：

$$K_{cf} = 2Et_{cf}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2p_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{cf}^2} + \frac{e_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{cf}^2} \right) \quad (4.3.2-3)$$

式中： t_{cf} ——与端板直接相连的柱翼缘厚度。

4 未设置节点域水平加劲肋时，与宽端板连接节点的端板直接相连的柱翼缘变形对应的转动刚度 K_{cf} 应按式计算：

$$K_{cf} = \frac{8Et_{cf}^3 h_1^2}{e_c^2 + 2(1+\nu)\alpha t_{cf}^2} \quad (4.3.2-4)$$

式中： e_c ——靠近柱腹板的螺栓的中心线到对应侧柱腹板间的最小距离。

【条文说明】根据研究成果（陈学森，施刚，赵俊林等. 基于组件法的超大承载力端板连接节点弯矩-转角曲线计算方法[J]. 工程力学, 2017, 34(5): 30-41.），结合不同的约束条件，依据考虑加劲肋作用的

T 形件变形的计算公式，分别得到不同条件下的端板和柱翼缘变形对应的转动刚度。

其中，双边有支承（腹板、加劲肋等）时的计算方法为两方向分别考虑后，按权重组合；无加劲肋情况下，则仅按两端固支的梁（梁宽为 b ，梁高为 t ）等效计算刚度。

4.3.3 螺栓变形对应的转动刚度应按下式计算：

$$K_b = n_{cl} \pi E_b d h_1^2 \left(\sqrt{\frac{d}{t_{cp}}} + 0.25 \right) \quad (4.3.3)$$

式中： d ——高强度螺栓的公称直径；

E_b ——高强度螺栓的弹性模量。

【条文说明】基于现有研究，高强度螺栓受拉时伸长变形对应的刚度受螺杆轴向刚度和预压钢板刚度的共同影响。本条公式是根据端板厚度 t_{cp} 与螺栓公称直径 d 之间的比值在 0.5~3.0 范围内的分析结果拟合得到的。

4.3.4 节点域剪切变形对应的转动刚度应按下式计算：

$$K_{pz} = G h_1 h_{cl} t_{pz} \quad (4.3.4)$$

式中： G ——节点域钢材的剪切模量。

【条文说明】本条与现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 的规定一致，同时也与欧洲规范 EN1993-1-8 的规定在原理上相同。欧洲规范 EN 1993-1-8 中对节点域的受剪截面尺寸有更详细的规定，我国标准中对此尚没有专门规定，故参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的做法，近似取为柱翼缘中心线的距离 h_{cl} 。

5 高端板连接节点

5.1 一般规定

5.1.1 高端板连接节点的端板应焊接在工字形构件端部，且端板上的高强度螺栓应关于工字形截面的两条对称轴对称布置；

5.1.2 在高端板连接节点中，每侧伸出翼缘外部分的端板上应布置 4 颗螺栓，且 4 颗螺栓应布置成 2 排 2 列的构造；

5.1.3 在高端板连接节点中，每侧翼缘内的端板上至少布置 4 颗螺栓，且当布置 4 颗螺栓时，螺栓的布置排列应与外侧相同；

5.1.4 当高端板连接节点上两排螺栓间的最大距离大于 400mm 时，应在中间增设一排构造螺栓。

【条文说明】高端板连接节点构造见图 6。参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，采用端板连接的节点，螺栓应成对称布置。当高端板连接节点的螺栓布置不满足对称性要求时，需要基于可靠的研究依据进行节点设计。

另外，依据现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022，当端板上两排螺栓间的最大距离大于 400mm 时，应在中间增设一排构造螺栓。

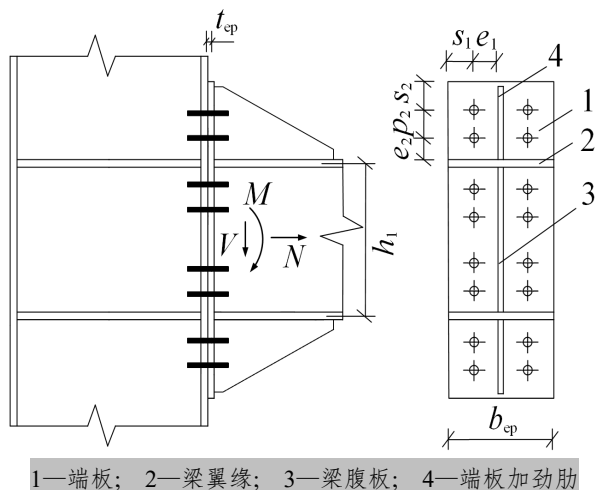


图 6 高端板连接节点构造

5.2 节点承载力

5.2.1 高端板连接节点的承载力验算应符合下列要求。

$$M_j \geq M + \frac{N}{2} h_1 \quad (5.2.1-1)$$

$$V_j \geq V \quad (5.2.1-2)$$

式中：\$M\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的弯矩；

\$h_1\$——与端板连接的构件截面上、下翼缘中心线间的距离；

\$N\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的拉力；当节点承担压力或不承担轴力时，取 \$N=0\$；

\$V\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的剪力。

5.2.2 高端板连接节点的抗弯承载力设计值 \$M_j\$ 应按以下规定计算：

1 由高强度螺栓控制的节点抗弯承载力 \$M_{j1}\$ 应按下式计算：

$$M_{j1} = n_{e2} h_1 N_t^b \quad (5.2.2-1)$$

式中： n_{e2} ——高端板连接节点的等效受拉螺栓数量，高端板构造取为 4.8；

N_t^b ——一颗高强度螺栓的受拉承载力设计值，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定取值。

2 对于高端板连接节点构造，端板屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j2} 应按下式计算：

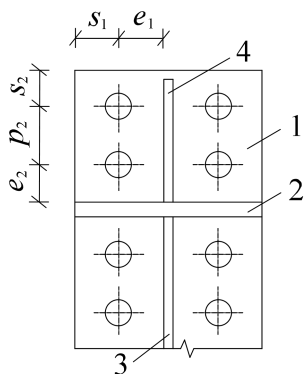
$$M_{j2} = \frac{n_{e2} h_1 f t_{ep}^2}{4.35} \left(\frac{s_1 + e_1}{e_2} + \frac{s_2 + p_2 + e_2}{e_1} \right) \quad (5.2.2-2)$$

式中： f ——端板钢材的设计强度；

t_{ep} ——端板的厚度；

b_{ep} ——端板的宽度；

$s_1, s_2, e_1, e_2, p_1, p_2$ ——与螺栓布置有关的尺寸，见图 5.2.2。



1—端板； 2—梁翼缘； 3—梁腹板； 4—端板加劲肋

图 5.2.2 高端板连接节点中的螺栓布置尺寸

3 在梁柱节点中，由节点域屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j3} 应按本规程式 4.2.2-4 计算；

4 高端板连接节点的抗弯承载力 M_j 应取 M_{j1} 、 M_{j2} 、 M_{j3} 的最小值。

【条文说明】本条对 M_{j1} 和 M_{j2} 的计算方法基于已开展的研究结果得到。

对于高端板连接节点，应设置端板加劲肋，并采用图 7 所示的屈服线模型和螺栓拉力分布模型：

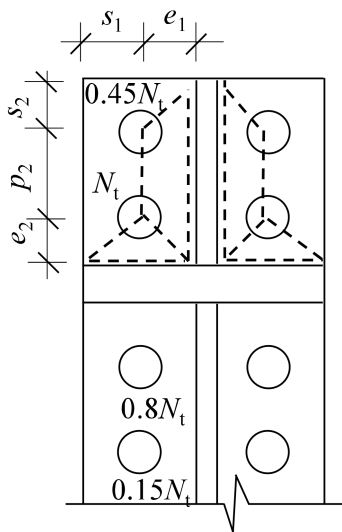


图 7 高端板连接节点有加劲肋时受拉侧端板
屈服线模型和螺栓拉力分布模型

在梁柱节点中，由节点域屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j3} 的计算方法与现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定一致。

5.2.3 高端板连接节点的受剪承载力 V_j 应按本规程 4.2.3 条计算。

【条文说明】本条规定了抗剪螺栓数量，参见条文说明 4.2.3

5.3 节点转动刚度

5.3.1 高端板连接节点的转动刚度 K_j 应按下式计算：

$$K_j = \frac{1}{\frac{1}{K_{ep}} + \frac{1}{K_{cf}} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{pz}}} \quad (5.3.1)$$

式中： K_{ep} ——端板变形对应的转动刚度，按本规程 5.3.2 条计算；

K_{cf} ——柱翼缘变形对应的转动刚度,按本规程 5.3.2 条计算;

K_b ——螺栓变形对应的转动刚度,按本规程 5.3.3 条计算;

K_{pz} ——节点域剪切变形对应的转动刚度,按本规程 4.3.4 条计算;

【条文说明】节点转角的定义参照欧洲规范 EN 1993-1-8, 包含连接转角和节点域转角。在大承载力端板连接节点中, 连接转角的主要来源是端板的弯曲变形、柱翼缘的弯曲变形、螺栓的伸长变形。

5.3.2 高端板连接节点中, 端板和柱翼缘变形对应的转动刚度应按下列规定计算:

1 对于高端板连接节点构造, 端板变形对应的转动刚度 K_{ep} 应按式 5.3.2-1 计算。当梁受拉翼缘两侧的螺栓端距不同时, 应分别按翼缘内侧受拉螺栓的布置尺寸和翼缘外侧螺栓的布置尺寸、由式 5.3.2-1 计算出 K_{ep} 后取平均值。

$$K_{ep} = 2Et_{ep}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{ep}^2} + \frac{e_2 + 2p_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{ep}^2} \right) \quad (5.3.2-1)$$

式中: E ——端板钢材的弹性模量;

ν ——端板钢材的泊松比;

α ——受剪变形系数, 取为 1.2。

2 设置节点域水平加劲肋时, 与高端板连接节点的端板直接相连的柱翼缘变形对应的转动刚度 K_{cf} 应按下式计算:

$$K_{cf} = 2Et_{cf}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{cf}^2} + \frac{e_2 + 2p_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{cf}^2} \right) \quad (5.3.2-6)$$

式中: t_{cf} ——与端板直接相连的柱翼缘厚度。

3 未设置节点域水平加劲肋时, 与高端板连接节点的端板直接相连的柱翼缘变形对应的转动刚度 K_{cf} 应按下式计算:

$$K_{cf} = \frac{n_{e2} Et_{cf}^3 h_1^2}{e_c^2 + 2(1+\nu)\alpha t_{cf}^2} \quad (5.3.2-7)$$

式中： e_c ——靠近柱腹板的螺栓的中心线到对应侧柱腹板间的最小距离。

【条文说明】根据研究成果（陈学森，施刚，赵俊林等. 基于组件法的超大承载力端板连接节点弯矩-转角曲线计算方法[J]. 工程力学, 2017, 34(5): 30-41.），结合不同的约束条件，依据考虑加劲肋作用的T形件变形的计算公式，分别得到不同条件下的端板和柱翼缘变形对应的转动刚度。

其中，双边有支承（腹板、加劲肋等）时的计算方法为两方向分别考虑后，按权重组合；无加劲肋情况下，则仅按两端固支的梁（梁宽为 b ，梁高为 t ）等效计算刚度。

5.3.3 螺栓变形对应的转动刚度应按下式计算：

$$K_b = n_e \pi E_b d h_1^2 \left(\sqrt{\frac{d}{t_{ep}}} + 0.25 \right) \quad (5.3.3)$$

式中： d ——高强度螺栓的公称直径；

E_b ——高强度螺栓的弹性模量。

【条文说明】基于现有研究，高强度螺栓受拉时伸长变形对应的刚度受螺杆轴向刚度和预压钢板刚度的共同影响。本条公式是根据端板厚度 t_{ep} 与螺栓公称直径 d 之间的比值在 0.5~3.0 范围内的分析结果拟合得到的。

6 超大承载力端板连接节点

6.1 一般规定

6.1.1 超大承载力端板连接节点的端板应焊接在工字形构件端部，且端板上的高强度螺栓应关于工字形截面的两条对称轴对称布置；

6.1.2 在超大承载力端板连接节点中，每侧伸出翼缘外部分的端板上应布置 2 排 2 列螺栓，且应为外伸端布置 8 颗螺栓的八栓构造，或在八栓构造基础上移除最外排最外列螺栓的六栓构造；

6.1.3 在超大承载力端板连接节点中，每侧翼缘内的端板上应布置 2 排 2 列螺栓，且其排列数与外侧相同；

6.1.4 当超大承载力端板连接节点上两排螺栓间的最大距离大于 400mm 时，应在中间增设一排构造螺栓。

【条文说明】超大承载力端板连接节点分为八栓构造和六栓构造，见图 8。

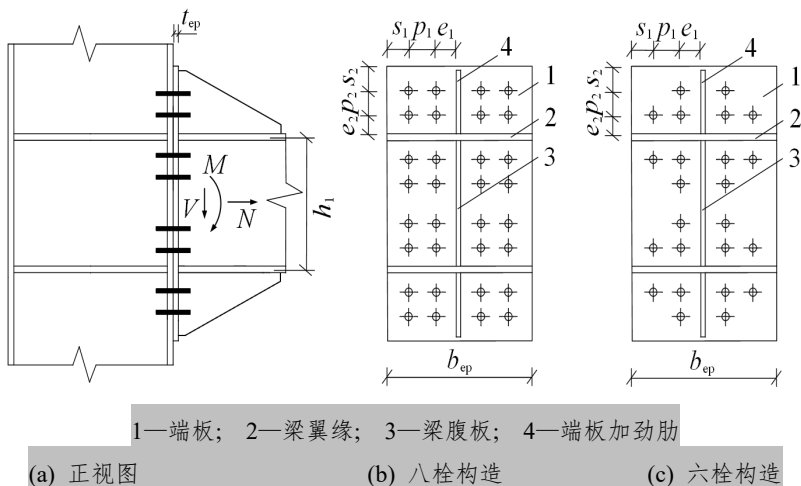


图 8 超大承载力端板连接节点构造示意

参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定，当超大承载力端板连接节点的螺栓布置不满足对称性要求时，需要基于可靠的研究依据进行节点设计。

6.2 节点承载力

6.2.1 超大承载力端板连接节点的承载力验算应符合下列要求。

$$M_j \geq M + \frac{N}{2} h_1 \quad (6.2.1-1)$$

$$V_j \geq V \quad (6.2.1-2)$$

式中：\$M\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的弯矩；

\$h_1\$——与端板连接的构件截面上、下翼缘中心线间的距离；

\$N\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的拉力；当节点承担压力或不承担轴力时，取 \$N=0\$；

\$V\$——内力分析得到的设计荷载作用下节点处的剪力。

6.2.2 超大承载力端板连接节点的受弯承载力设计值 \$M_j\$ 应按以下规定计算：

1 由高强度螺栓控制的节点抗弯承载力 \$M_{j1}\$ 应按下式计算：

$$M_{j1} = n_{e3} h_1 N_t^b \quad (6.2.2-1)$$

式中：\$n_{e3}\$——超大承载力端板连接节点等效受拉螺栓数量，取为 7。

\$N_t^b\$——一颗高强度螺栓的受拉承载力设计值，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定取值。

2 由端板屈服控制的超大承载力端板连接节点抗弯承载力 \$M_{j2}\$ 应按下式计算：

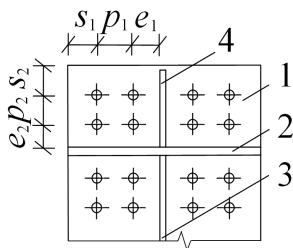
$$M_{j2} = \frac{n_{e3} h_1 f t_{ep}^2}{6} \left(\frac{s_1 + p_2 + e_1}{e_2} + \frac{s_2 + p_2 + e_2}{e_1} \right) \quad (6.2.2-2)$$

式中：\$f\$——端板钢材的设计强度；

\$t_{ep}\$——端板的厚度；

b_{ep} ——端板的宽度；

$s_1, s_2, e_1, e_2, p_1, p_2$ ——与螺栓布置有关的尺寸，见图 6.2.2。



1—端板； 2—梁翼缘； 3—梁腹板； 4—端板加劲肋

图 6.2.2 超大承载力端板连接节点中的螺栓布置尺寸

3 在梁柱节点中，由节点域屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j3} 应按本规程式 4.2.2-3 计算。

4 超大承载力端板连接节点的抗弯承载力 M_j 应取 M_{j1} 、 M_{j2} 、 M_{j3} 的最小值。

【条文说明】本条对 M_{j1} 和 M_{j2} 的计算方法基于已开展的研究结果得到。超大承载力端板连接节点应用时应设置端板加劲肋，采用图 9 所示的屈服线模型和螺栓拉力分布模型：

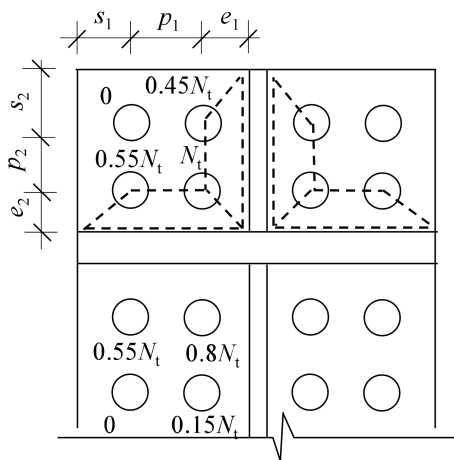


图9 超大承载力端板连接节点有加劲肋时受拉侧端板屈服线模型和螺栓拉力分布模型

6.2.3 超大承载力端板连接节点的受剪承载力 V_j 应按下式计算:

$$V_j = (n - 1.1n_{cs}) N_v^b \quad (6.2.3)$$

式中: n ——超大承载力端板连接节点的螺栓总数;

N_v^b ——一颗高强度螺栓的受剪承载力设计值, 应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定取值。

【条文说明】偏于安全地认为所有受拉螺栓均不参与受剪; 八栓构造螺栓受拉区的角部螺栓不参与受拉计算, 故也按照受剪螺栓考虑, 所以在计算受弯承载力时, 八栓构造和六栓构造节点使用的公式相同, 但在计算受剪承载力时有所区别。

6.3 节点转动刚度

6.3.1 超大承载力端板连接节点的转动刚度 K_j 应按下式计算:

$$K_j = \frac{1}{\frac{1}{K_{ep}} + \frac{1}{K_{cf}} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_{pz}}} \quad (6.3.1)$$

式中: K_{ep} ——端板变形对应的转动刚度, 按本规程 6.3.2 条计算;

K_{cf} ——柱翼缘变形对应的转动刚度, 按本规程 6.3.2 条计算;

K_b ——螺栓变形对应的转动刚度, 按本规程 6.3.3 条计算;

K_{pz} ——节点域剪切变形对应的转动刚度, 按本规程 5.3.4 条计算。

6.3.2 超大承载力端板连接节点中, 端板和柱翼缘变形对应的转动刚度应按下列规定计算:

1 端板变形对应的转动刚度 K_{ep} 应按式 6.3.2-1 计算。当梁受拉翼缘两侧的螺栓端距不同时, 应分别按翼缘内侧受拉螺栓的布置尺寸和翼缘外侧螺栓的布置尺寸、由式 6.3.2-1 计算出 K_{ep} 后取平均值。

$$K_{\text{ep}} = 2Et_{\text{ep}}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2p_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{\text{ep}}^2} + \frac{e_2 + 2p_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{\text{ep}}^2} \right) \quad (6.3.2-1)$$

2 柱翼缘变形对应的转动刚度 K_{cf} 应按下式计算：

$$K_{\text{cf}} = 2Et_{\text{cf}}^3 h_1^2 \left(\frac{e_1 + 2p_1 + 2s_1}{e_2^3 + 2(1+\nu)\alpha e_2 t_{\text{cf}}^2} + \frac{e_2 + 2p_2 + 2s_2}{e_1^3 + 2(1+\nu)\alpha e_1 t_{\text{cf}}^2} \right) \quad (6.3.2-2)$$

式中： E ——端板钢材的弹性模量；

ν ——端板钢材的泊松比；

α ——受剪变形系数，取为 1.2。

6.3.3 超大承载力端板连接节点中，螺栓变形对应的转动刚度应按下式计算：

$$K_{\text{b}} = n_{\text{e3}} \pi E_{\text{d}} d h_t^2 \left(\sqrt{\frac{d}{t_{\text{ep}}}} + 0.25 \right) \quad (6.3.3)$$

式中： d ——高强度螺栓的公称直径；

E_{b} ——高强度螺栓的弹性模量。

7 抗震设计要求

7.0.1 抗震设计中，钢结构大承载力端板连接节点的承载力应符合下列要求：

1 高强度螺栓控制的节点抗弯承载力 M_{j1} 与端板屈服控制的节点抗弯承载力 M_{j2} 应满足下式要求：

$$M_{j1} \geq \xi M_{j2} \quad (7.0.1-1)$$

式中： ξ ——强螺栓系数，取为 1.05。

2 大承载力端板连接节点的极限承载力应满足现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 对节点连接系数的验算要求；验算中，大承载力端板连接节点的极限承载力 M_{ju} 可按下式计算：

$$M_{ju} = \min \left\{ \frac{f_u^b}{f_t^b} M_{j1}, \frac{f_u}{f_y} M_{j2} \right\} \quad (7.0.2-2)$$

式中： f_u^b , f_t^b ——高强度螺栓的抗拉强度和抗拉强度设计值，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取值；

f_u , f_y ——端板钢材的抗拉强度和屈服强度，按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定取值。

【条文说明】在计算由端板控制的连接极限承载力时，理论上可采用系数 f_u/f 进行计算，考虑到希望进一步提高承载力富裕度，故正文中式 7.0.2-2 中偏于安全的采用了系数 f_u/f_y 。

7.0.2 抗震设计中，对于梁和柱之间的大承载力端板连接节点，当为完全强度节点时，应满足现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 对节点处梁端和柱端截面塑性承载力的检验要求；当为部分强度节点时，应按下式进行截面塑性承载力检验：

$$\sum W_{pc} \left(f_{yc} - \frac{N}{A_c} \right) \geq \eta \frac{f_y}{f_c} \sum M_{j2} \quad (7.0.2)$$

式中： W_{pc} ——交汇于节点的柱的塑性截面模量；

f_{yc} 、 f_c ——柱钢材的屈服强度和端板钢材的强度设计值；

N ——地震组合的柱轴力；

A_c ——柱的截面面积；

η ——强柱系数，按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定取值。

【条文说明】对于完全强度节点，应按现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 进行强柱弱梁验算；对于部分强度节点，由于节点会先于梁截面发生屈服，所以梁可能无法达到截面的塑性承载力，此时可用端板的塑性承载力代替梁截面的塑性承载力进行检验。

7.0.3 抗震设计中，大承载力端板连接节点应设置端板加劲肋。

7.0.4 抗震设计中，对于梁和柱之间的大承载力端板连接节点，应设置节点域水平加劲肋，加劲肋与柱翼缘围隔成的节点域应满足现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

7.0.5 对于梁和柱之间的大承载力端板连接节点，连接区域内的柱翼缘与柱腹板之间的焊缝应满足现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的有关规定。

8 制作、施工和质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 钢结构大承载力端板连接节点的制作、施工和质量验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205、《钢结构工程施工规范》GB 50755、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.1.2 钢结构大承载力端板连接节点所采用的钢材、焊材、高强度螺栓连接副、涂装材料应具有质量证明书。

8.1.3 钢结构大承载力端板连接节点施工前，应对构件的外形尺寸、板件尺寸、螺栓孔位置及直径检验合格；采用高强度螺栓摩擦型连接时，应在高强度螺栓的抗滑移系数和紧固质量检验合格后进行高强度螺栓连接的紧固施工。

8.1.4 经验收合格的钢结构大承载力端板连接节点，应按设计文件的规定及时进行防腐和防火涂装。

8.2 制 作

8.2.1 钢结构大承载力端板连接节点中高强度螺栓连接的制孔，应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.2.2 钢结构大承载力端板连接节点加工过程中，端板板件应采用整料加工；端板高度以外 200mm 范围内，与端板连接的柱翼缘不应有拼接焊缝。

8.2.3 端板、加劲肋与构件之间的焊接工艺和检验应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定，端板的尺寸变形应满足现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 的要求，其中焊接变形的控制可按照现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定执行。

8.2.4 钢结构大承载力端板连接节点中高强度螺栓连接处摩擦面的处理和保护，应符合国家现行标准《钢结构工程施工规范》GB 50755 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.3 施 工

8.3.1 钢结构大承载力端板连接节点的施工中，高强度螺栓的储存、运输、保管、安装应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

8.3.2 高强度螺栓连接副的拧紧应分为初拧、复拧、终拧；初拧扭矩宜为终拧扭矩的 50%，复拧扭矩宜为终拧扭矩的 75%；终拧扭矩的计算应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定；高强度螺栓连接副的初拧、复拧、终拧宜在一天内完成。

8.3.3 高强度螺栓的施拧顺序宜按照从内向外、对角施拧、分组施拧的原则，并应符合现行行业标准《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

【条文说明】超大承载力端板连接节点的施工中，高强度螺栓的施拧顺序宜按照图 10 的顺序施拧。其它类型的端板连接节点可参考该施拧顺序进行施工。

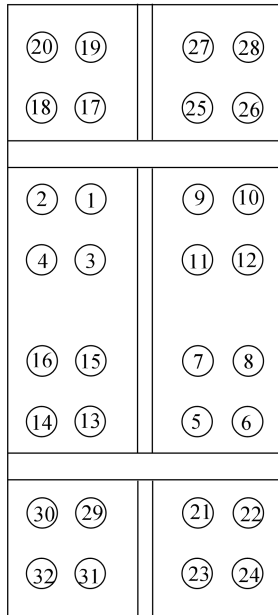


图 10 超大承载力端板连接节点螺栓施拧顺序

参考相关研究（陈学森，施刚. 超大承载力端板连接节点螺栓施拧顺序及预拉力松弛研究[J]. 钢结构, 2018 (2018 年 06): 1-5.）中建议的分组施拧方法，每一组的 4 颗螺栓施拧过程中对端板和其他已拧螺栓的影响趋势相似，可在一定程度上避免螺栓预拉力的反复变化。

8.4 质量验收

8.4.1 钢结构大承载力端板连接节点中，构件的加工、组装、焊接的质量验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的有关规定。

8.4.2 钢结构大承载力端板连接节点中，高强度螺栓连接的质量验收应符合国家现行标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

本规程用词说明

1 为便于在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”。

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

引用标准名录

- 1 《建筑抗震设计标准》 GB/T 50011
- 2 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 3 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 4 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 5 《钢结构工程施工规范》 GB 50755
- 6 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》 GB 51022
- 7 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 8 《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》 GB/T 1231
- 9 《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591
- 10 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632
- 11 《非合金钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117
- 12 《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》 GB/T 5293
- 13 《厚度方向性能钢板》 GB/T 5313
- 14 《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》 GB/T 8110
- 15 《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》 GB/T 10045
- 16 《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》 GB/T 12470
- 17 《熔化焊用钢丝》 GB/T 14957
- 18 《热强钢药芯焊丝》 GB/T 17493
- 19 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
- 20 《高强钢结构设计标准》 JGJ/T 483