

# 浅谈结构工程梁柱节点设计控制方法

王永鹏

浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司

**摘要:** 结构设计过程中, 由于结构节点设计非常重要, 关系到整个设计及传力分配的作用, 节点的承载力设计关系到偶然、长久设计状况下结构竖向及水平作用下承载力作用, 通过计算和设计构造确保设计安全, 抗震设计下抵抗地震力的作用, 通过延性设计抵抗地震波等; 当在可与地震作用下, 节点承载力设计; 在中震作用下通过构造设计等。下文通过混凝土结构永久设计状况下框架结构节点构造及可与地震作用下核心区荷载效用与承载力设计验算, 通过节点核心区分析, 得出节点核心区主要控制方案; 在钢结构节点设计过程中, 通过节点域在可遇地震和大震下的节点域承载力验算, 节点连接承载力验算, 分析验算应注意的地方, 从而更好地把控节点设计原理, 使结构设计计算及安全得到合理控制。通过熟练的节点设计知识掌握, 确保在混凝土结构设计及钢结构结构设计中得到全面的突破。

**关键词:** 混凝土节点设计; 钢结构节点设计; 节点核心区; 节点域

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.21.103

我国经济改革体制进行深入发展, 房地产带动我国城镇化日益发展, 速度日益加快, 为了满足城镇化配套设施建设, 各种房屋建筑广泛设计建造, 为了确保设计科学计算, 较少设计浪费, 同时确保广大人民群众居住安全, 因此掌握好结构设计计算非常重要, 尤其是在地震作用下, 做好优秀的设计更是新的挑战, 节点核心区的设计验算有属于结构设计中的重难点, 因此下文通过混凝土结构、钢结构节点核心区、节点域的验算, 连接计算<sup>[1]</sup>, 提高自身设计专业能力, 确保房屋建筑设计建造安全, 确保广大人民群众居住安全。

## 一、混凝土结构永久、短暂设计状况下节点

### (一) 锚固长度

钢筋深入节点的锚固长度需要满足相关规范的规定, 钢筋锚固长度的计算需要满足以下公式, 锚固长度满足规定的长度即可, 无需刻意加长锚固长度, 经试验表明, 若钢筋锚固长度达到规范规定, 钢筋的受拉强度极限值等于钢筋握裹力总值, 计算公式如下:

$$l_{ab} = \frac{f_y}{f_t} d \quad (1.1-1)$$

(1) 钢筋的锚固长度在节点连接长度不仅满足计算要求, 还需要满足构造要求。梁柱节点位于框架梁中间端节点时, 当采用直线锚固时候, 节点区锚固长度大于等于 $l_a$ , 需要经过柱中线, 伸过长度应大于等于 $5d$ ; 当主界面不满足直锚固时, 可以在钢筋端头采取加强锚固的措施, 也可采用弯钩的形式, 弯钩为 $90^\circ$ 弯钩, 弯钩长度直段长度应大于等于 $15d$ , 且平直段不得少于 $0.4l_{ab}$ , 具体见(图1)

框架中间层中间节点, 梁上部纵筋应贯通中间节点, 梁下部钢筋也应当穿过中间节点, 若框架柱较大, 直锚固满足要求, 也可满足直锚要求截断; 若不利用该

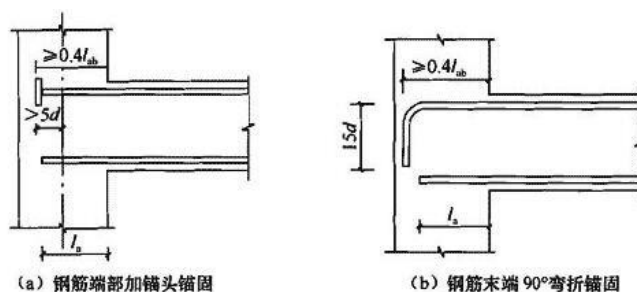


图1 柱直段锚固不足的处理措施

钢筋强度时, 伸入制作的带肋钢筋为 $12d$ , 光圆钢筋应大于等于 $15d$ ; 当计算需要充分利用钢筋抗压强度时, 其直锚长度应大于等于 $0.7l_a$ ; 当计算需要充分利用钢筋抗拉强度时, 其直锚长度应大于等于 $l_a$ ; 当柱截面不足时, 采用(1)款采取加强锚固的措施。

柱节点设计, 柱纵向钢筋穿过中间层中间节点时, 节点应该处于节点之外, 柱纵向钢筋在顶层中节点的锚固相关要求, 柱节点柱钢筋伸入梁顶, 此时梁作为柱的锚固支座, 当满足直锚时按直锚锚固长度计算, 若梁高不满足直锚锚固长度时, 按第(1)款端部加锚固措施或弯钩; 顶层端接单柱外侧纵向钢筋可弯入梁内作为梁顶部负弯矩钢筋, 纵向钢筋搭接接头也可沿节点柱顶外侧直线布置(图2), 搭接长度注定起算应大于等于 $1.7l_{ab}$ , 当量上部钢筋配筋率大于 $1.2\%$ 时, 柱锚入梁应分两层、两批截断。

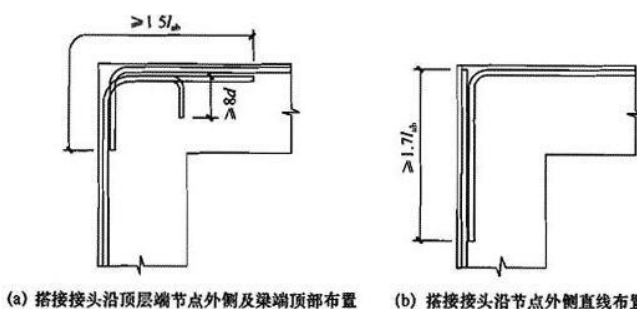


图2 顶层柱锚固于梁的处理措施

(4) 顶层端节点梁上部纵向钢筋截面面积 $A_s$ 满足下式规定:

$$A_s \leq \frac{0.35\beta_c f_c b_c h_0}{f_y} \quad (1.1-2)$$

## 二、混凝土结构下抗震作用下梁柱节点

### (一) 节点核心区梁柱节点受剪承载力

抗震作用下 梁柱节点受剪非常重要, 根据混凝土规范规定, 一、二、三级梁柱节点核心区必须进行受剪承载力验算, 确保相关效应小于等于受剪承载力, 抗震等级为四级的节点核心区可不进行节点承载力验算。

#### 1. 作用效应计算

顶层端节点及顶层中间节点, 在抗震等级为一级框

架结构和九度一级的其他结构框架:

$$V_j = \frac{1.15 \sum M_{bua}}{h_{b0} - a'_s} \quad (2.1.1-1)$$

除了抗震等级为一级框架结构和九度一级的其他结构框架外,作用效应按以下计算:

$$V_j = \frac{\eta_b \sum M_b}{h_{b0} - a'_s} \quad (2.1.1-2)$$

当不是顶层端节点及顶层中间节点,而属于其他层中间节点或者端节点,作用效应按以下计算,同时也分两种情况:顶层端节点及顶层中间节点,在抗震等级为一级框架结构和九度一级的其他结构框架:

$$V_j = \frac{1.15 \sum M_{bua}}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_b}\right) \quad (2.1.1-3)$$

除了抗震等级为一级框架结构和九度一级的其他结构框架外,作用效应按以下计算:

$$V_j = \frac{\eta_{jb} \sum M_{bua}}{h_{b0} - a'_s} \left(1 - \frac{h_{b0} - a'_s}{H_c - h_b}\right) \quad (2.1.1-4)$$

### 2. 框架柱节点核心区轴压比

不论外界条件变化,根据以下公式可知,如通过过多配置拉钢筋没有混凝土的情况下,也能满足效应小于等于承载力的要求,这样显然不满足实际情况,因此根据截面限值条件,及必须满足轴压比条件:

$$V_j = \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.3\eta_j \beta_c f_c b_j h_j) \quad (2.1.2-1)$$

### 3. 受剪承载力计算

在以上梁柱框架节点核心区效应计算公式可知,节点核心区剪力效应根据实配弯矩及弯矩效应计算得出,为了满足节点核心区受力要求,上述剪力效应需要小于节点核心区受剪承载力,同时分为两种情况,抗震等级为一级框架结构和九度一级的其他结构框架受剪承载按下式计算:

$$V_j = \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.9\eta_j f_t b_j h_j + f_{yv} A_{sv} \frac{h_0 - a'_s}{s}) \quad (2.1.3-1)$$

除了抗震等级为一级框架结构和九度一级的其他结构框架外,框架结构节点核心区受剪承载按下式计算:

$$V_j = \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.1\eta_j f_t b_j h_j + 0.05\eta_j N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} A_{sv} \frac{h_0 - a'_s}{s}) \quad (2.1.3-2)$$

从以上2.1.1~2.1.3式相关的关系为,抗震等为一、二、三级情况下,均需要进行抗震下节点核心区计算,首先必须满足2.1.2截面条件的限值要求,及满足轴压比要求,除此之外,根据相对应的2.1.1式不大于2.1.3式,及节点核心区验算合格<sup>[2]</sup>。

以上式中:  $h_j$ : 节点核心区截面高度,取验算方向的柱截面高度;

$b_j$ : 框架节点核心区截面有效验算宽度,当梁截面宽度大于等于柱截面宽度一半时,取柱截面宽度;当梁截面宽度小于柱截面宽度一半时,可取  $(b_b + 0.5h_c)$  和柱截面宽度中的最小值,当梁与柱中心线不重合,且有偏心距时,偏心距小于等于  $0.25b_c$ ,按以下最小值取值:  $(h_b + 0.5h_c, 0.5b_b + 0.5b_c + 0.25h_c - e_b, b_c)_{\min}$ 。

## 三、钢结构下节点域计算

### (一) 非震下节点域计算

#### 1. 节点强度验算

钢结构的梁柱节点连接可采用全焊接、腹板螺栓连

接翼缘焊接、腹板焊接翼缘螺栓连接或全栓接,节点应进行作用力下强度的验算,连接强度验算采用焊接及螺栓连接计算。焊接采用对接焊接或角焊缝焊接,焊接计算公式为:

$$N \leq l_w h_e f_{t,c}^w \quad (3.1-1)$$

$$N \leq l_w h_e f_f^w \quad (3.1-2)$$

螺栓连接分为普通螺栓连接、高强承压型螺栓连接及高强承压型螺栓连接,普通螺栓和高强摩擦性螺栓计算为例,高强承压型计算同普通螺栓连接计算,计算式如下<sup>[3]</sup>:

$$\text{普通螺栓受剪: } N_v^b \leq n_v \frac{3.14d}{4} f_v^b \quad (3.1-3)$$

$$\text{普通螺栓受压: } N_c^b \leq d \sum f_c^b \quad (3.1-4)$$

$$\text{高强摩擦性螺栓受剪: } N_v^b \leq 0.9n_u k P \quad (3.1-5)$$

连接就散过程中设计计算仅仅需要验算上式不等式左右两边的验算数值,对于连接计算好需要计算板件本身的受拉受压承载力,板件毛截面及净截面承载力。

### 2. 节点域承载力验算

节点域相当于混凝土框架结构节点核心区的位置,受剪承载力必须进行验算,确保节点域不因受剪不足导致节点域受剪破坏,计算以梁柱节点均为H型截面工字钢为例<sup>[3]</sup>:

$$\text{效应: } V = \tau h_c t_w = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{h_{b1}} \Rightarrow \tau = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{h_c t_w h_{b1}} \Rightarrow \tau = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p} \quad (3.1.2-1)$$

抗力(受剪承载力):与受剪正则化宽厚比有关,当横向加劲肋厚度大于等于梁的翼缘板厚度时,节点域受剪正则化宽厚比小于等于0.8;单层和低轻型建筑,节点域受剪正则化宽厚比小于等于1.2;除此之外受剪正则化宽厚比计算式为:

$$\text{当 } \frac{h_c}{h_b} \geq 1.0 \text{ 时: } \lambda_{ns} = \frac{h_b + t_w}{37\sqrt{5.34 + 4(h_b + h_c)^2}} \times \frac{1}{\varepsilon}; \quad (3.1.2-2)$$

$$\text{当 } \frac{h_c}{h_b} \leq 1.0 \text{ 时: } \lambda_{ns} = \frac{h_b + t_w}{37\sqrt{4 + 4(h_b + h_c)^2}} \times \frac{1}{\varepsilon}; \quad (3.1.2-3)$$

节点域受剪受剪承载力计算如下

$$\text{当 } \lambda_{ns} \in (-\infty, 0.6) \text{ 时: } [\tau] = \frac{4}{3} f_v; \quad (3.1.2-4)$$

$$\text{当 } \lambda_{ns} \in (0.6, 0.8) \text{ 时: } [\tau] = \frac{1}{3} (7 - 5\lambda_{ns}) f_v; \quad (3.1.2-5)$$

$$\text{当 } \lambda_{ns} \in (0.8, 1.2) \text{ 时: } [\tau] = [1 - 0.75(\lambda_{ns} - 0.8)] f_v; \quad (3.1.2-6)$$

通过正则化宽厚比验算,从而得出区间范围,计算出受剪承载力剪应力值,然后大于等于  $\tau = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p}$  计算的效应值,即计算节点域非震下承载力计算满足要求。

### (二) 多遇地震下节点域计算

多遇地震及小震,重现期为50年的地震,具体可靠度计算及概率计算见相关规范,小震下节点域计算与非震下计算较相似,由于地震属于动荷载,只需要将受剪承载力放大,发挥材料在突然施加荷载下的材料性能,工字型截面柱和箱型截面柱及谗单与承载力验算如下式:  $\frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p} \leq \frac{4f_v}{3\gamma_{RE}}$ , 节点域他(图3)体积的计算同

3.1.2-1公式分母推出。

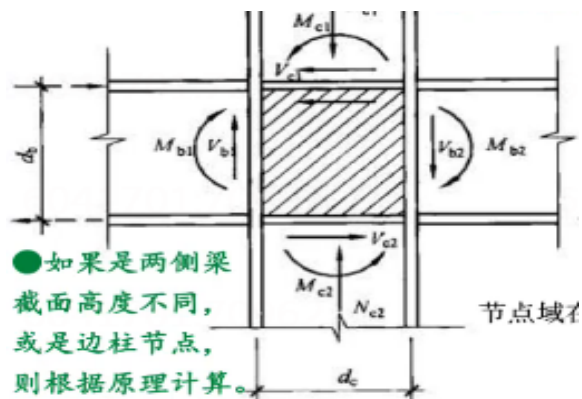


图3 节点核心区图示

(三) 罕遇地震下节点核心区计算

罕遇地震及大震,重现期约2000年一遇的地震,罕遇地震下承载力验算需要发挥材料全截面塑性,在罕遇地震下受剪承载力采用的屈服强度非设计值。效应计算与外界荷载无关,只有截面属性而定,分别采用节点域梁两侧的全塑性受弯承载力计算,需要用到全截面受弯塑性抵抗矩,具体计算公式如下:

$$\frac{M_{pb1} + M_{pb2}}{V_p} \leq \frac{4f_{yv}}{3\gamma_{RE}} \quad (3.3.1)$$

$M_{pb1}$ 为截面塑性受弯承载力弯矩值,计算方式需要计算截面的塑性抵抗矩,塑性抵抗矩的计算为塑性中和轴上下截面面积矩之和,根据截面形状塑性中和轴不同,下面为常用的矩形截面和工字型截面的受弯塑性抵抗矩计算公式:  $W_{pb} = b_1t_1(h_w + t_1) + t_w \frac{h_w^2}{4}$ , 截面抵抗矩计算后与屈服值的乘积即为截面塑性受弯承载力弯矩值。节点域体积的计算同3.1.2-1公式。

(四) 连接计算

抗震作用下的连接节点计算和非震下计算不同,根据梁柱连接节点确保连接的屈服承载力大于等于连接的极限承载力,连接承载力验算公式如下<sup>[4]</sup>:

$$M_{nc}^j \geq \eta_j M_{pc} \quad (3.3.1)$$

$M_{nc}^j$ 为主拼接的极限受弯承载力,计算方式根据连接截面的方式,如焊接,就根据焊接的连接屈服承载力计算,如螺栓连接,根据螺栓连接的极限承载力计算; $M_{pc}$ 为塑性受弯承载力,计算方式为截面抵抗矩乘以构件板件的屈服强度; $\eta_j$ 为连接系数,根据连接的方式不同取值也不同,梁柱连接与梁拼接取值也不同,若同时具有焊接和螺栓连接(如:全焊接、全螺栓连接、翼缘焊接腹板螺栓连接等)分别根据不同连接位置取不同的连接系数,连接系数取值见表3.4.1-1:

表3.4.1-1: 钢结构抗震设计连接系数表

母材牌号	梁柱连接		支撑连接. 构件拼接		住脚	
	焊接	螺栓连接	焊接	螺栓连接		
Q235	1.40	1.45	1.25	1.30	插入式	1.2 (1.0)
Q345	1.35	1.40	1.20	1.25	外包式	1.2 (1.0)
Q345	1.35	1.30	1.20	1.25	外露式	1.2 (1.1)

根据上表连接系数可以计算出连接等式的右边,根据左边连接方式对左边实际屈服的连接承载力进行计算,确保节点连接屈服承载力大于节点连接极限承载力<sup>[5]</sup>。

四、节点设计总体描述

结构设计计算复杂,笔者仅仅两种常用的钢筋混凝土结构及钢结构两种简单的结构进行介绍,两种结构中相对比较简单看框架结构对节点核心区及节点域的描述。在非震下钢筋混凝土框架结构的梁柱连接主要采用钢筋混凝土节点区域钢筋的锚固方式,柱作为框架梁的制作,梁钢筋锚固于柱中,确保直锚段的锚固长度及弯曲段的锚固长度,顶层框架柱锚于框架梁及板内的处理措施,再通过相关的构造方式,确保梁柱节点核心区计算和构造均满足规范要求。

钢结构的设计计算属于板件层面的设计计算<sup>[6]</sup>,在非震作用下,确保连接承载力计算满足相关规定,对界面正则化宽厚比进行计算,确保正则化宽厚比的规定区间,以此确定受剪应力计算的方法,再通过外效应主要为受弯承载力设计值,验算效应小于抗力确保非震下载竖向荷载下满足设计要求;在地震多作用下通过小震节点域验算,确保效应小于抗力,此时需要考虑抗震调整系数;大震下节点域屈服承载力验算通过截面验算,与外效应无关,此时也无需考虑抗震调整系数;地震多作用下连接计算时,确保连接极限承载力大于等于连接极限承载力,通过连接系数与塑性截面抵抗矩计算连接极限承载力弯矩值,以确保地震作用下连接安全。

五、结语

结构设计计算的合理性关系到房屋建筑的结构安全<sup>[7]</sup>,尤其是在永久设计状况下、小震、中震、大震下的实际方式不同,不能一概而论,因此需要通过设计计算、构造等确保房屋设计安全,尤其是混凝土结构的非震下的锚固要求、地震下的节点核心区验算;钢结构在非震、小震及大震下节点域设计验算的不同,设计中需要重视,结合连接验算确保节点设计计算有效控制。通过科学的设计验算以到达设计安全节约材料等目的,促进我国建筑业安全、科学、平稳发展。

参考文献:

[1]李冠东.高层建筑钢结构施工技术及钢结构体系梁柱的连接节点设计[J].中国建筑金属结构,2022(11):139-141.  
 [2]刘斌,卢建峰,朱金坤.大跨度型钢混凝土结构梁柱节点优化设计浅析——以某项目裙楼为例[J].房地产世界,2022(13):64-66.  
 [3]王立军,余海群等《钢结构设计标准》[M].中国住房和城乡建设部,2018.7.  
 [4]董广田.钢结构梁柱节点连接设计的优化分析[J].智能城市,2020,6(12):205-206.  
 [5]蔡泽鑫.基于悬挂连接的韧性钢框架梁柱节点抗震性能与设计方法[D].华南理工大学,2020.  
 [6]龚清华.钢结构梁柱节点连接设计的优化分析[J].江西建材,2019(10):38+40.  
 [7]宋春花.高层建筑钢结构施工技术及体系梁柱节点设计[J].黑龙江科学,2019,10(12):67-69.