

第 6 章 受压构件的承载力

受压构件在钢筋混凝土结构中是最常见的构件之一。受压构件按其受力情况分为轴心受压构件和偏心受压构件，其中，偏心受压构件又可分为单向偏心受压构件和双向偏心受压构件。当轴向压力的作用线与构件截面形心重合时为轴心受压构件，当轴向压力的作用线对构件截面的一个主轴有偏心距时为单向偏心受压构件，当轴向压力的作用线对构件截面的两个主轴都有偏心距时为双向偏心受压构件。

对于单一匀质材料的受压构件，构件截面的真实形心轴沿构件纵向与截面几何形心重合，当纵向压力的作用线与构件截面形心轴线重合时为轴心受压，不重合时为偏心受压。钢筋混凝土受压构件由两种材料组成，混凝土为非匀质材料，而钢筋还可以不对称布置，因此构件截面的真实形心轴沿构件纵向并不与截面几何形心重合，所以实际工程中，真正的轴心受压构件是不存在的。但是为了方便，忽略混凝土的不均匀性与不对称配筋的影响，近似的用轴向压力的作用点与截面几何形心的相对位置来划分受压构件的类型。在工程中，以恒载为主的多层建筑的内柱和屋架的受压腹杆等少数构件，常近似的按轴心受压构件进行设计，而框架结构柱、单层工业厂房柱、承受节间荷载的屋架上弦杆、拱等大量构件，一般按偏心受压构件进行设计。

6.1 受压构件的一般构造

6.1.1 截面型式与尺寸

轴心受压构件截面一般采用方形或矩形，有时根据需要也采用圆形或多边变形。偏心受压构件一般采用矩形截面，当截面尺寸较大时，为节约混凝土和减轻柱的自重，常常采用 I 形截面。

圆形柱的直径一般不宜小于 350mm，直径在 600mm 以下时，宜取 50mm 的倍数，直径在 600mm 以上时，宜取 100mm 的倍数；方形柱的截面尺寸一般不宜小于 250mm×250mm；矩形截面柱截面尺寸宜满足 $h \geq l_0/25$ ， $b \geq l_0/30$ ，当截面尺寸在 800mm 以下时，取 50mm 的倍数，在 800mm 以上时，取 100mm 的倍数；I 形截面要求翼缘厚度不宜小于 120mm，腹板厚度不宜小于 100mm。

6.1.2 材料的选择

为充分发挥混凝土材料的抗压性能，减小构件的截面尺寸，节约钢筋，宜采用强度等级较高的混凝土。一般采用 C25、C30、C35、C40。必要时可以采用强度等级更高的混凝土。

由于受到混凝土受压最大应变的限制，高强度的钢筋不能充分发挥作用，因此不宜采用，一般采用 HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级。箍筋一般采用 HPB235 级、HRB335 级钢筋，也可采用 HRB400 级钢筋。

6.1.3 纵向钢筋的构造要求

为提高受压构件的延性，轴心受压构件、偏心受压构件全部纵筋的配筋率不应小于 0.6%，且不宜超过 5%，以免造成浪费。同时，一侧钢筋的配筋率不应小于 0.2%。

轴心受压构件的纵向受力钢筋应沿截面的四周均匀布置。矩形截面时，钢筋根数不得少于 4 根；圆形截面时，不应少于 6 根。偏心受压构件的纵向受力钢筋应布置在偏心方向截面的两边。当截面高度 $h \geq 600\text{mm}$ 时，在侧面应设置直径为 10~16mm 的纵向构造钢筋，并相应设置附加箍筋或拉筋，见图 6-2。

纵向受力钢筋宜采用直径较大的钢筋，以增大钢筋骨架的刚度、减少施工时可能产生的纵向弯曲和受压时的局部屈曲。纵向受力钢筋的直径不宜小于 12mm，通常在 16~32mm 范围内选用。

纵向受力钢筋的净间距不应小于 50mm；对于水平浇筑的预制柱，其净间距应可按梁的有关规定取用。偏心受压构件垂直于弯矩作用平面的侧面和轴心受压构件各边的纵向受力钢筋，其中距不宜大于 300mm。

纵向受力钢筋的接头宜设置在受力较小处。钢筋接头宜优先采用机械连接接头，也可以采用焊接接头和搭接头。对于直径大于 28mm 的受拉钢筋和直径大于 32mm 的受压钢筋，不宜采用绑扎的搭接头。

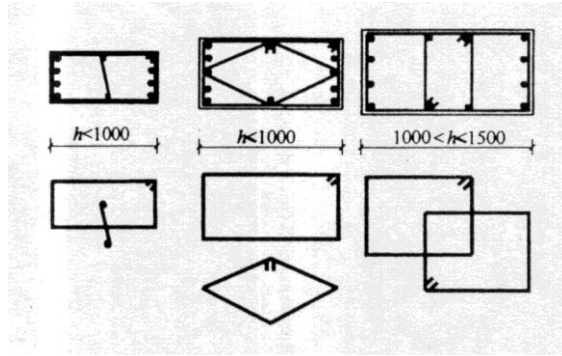


图 6-2 偏心受压柱的纵向构造钢筋与复合箍筋

6.1.4 箍筋的构造要求

为了增大钢筋骨架的刚度，防止纵筋压曲，柱中箍筋应做成封闭式。箍筋间距不应大于 400mm，且不应大于构件横截面的短边尺寸；在绑扎骨架中，间距不应大于 $15d$ ，在焊接骨架中不应大于 $20d$ （ d 为纵向钢筋最小直径）。

箍筋直径不应小于 $d/4$ （ d 为纵向钢筋最大直径），且不应小于 6mm。

当纵筋配筋率超过 3% 时，箍筋直径不应小于 8mm，间距不应大于 $10d$ （ d 为纵筋最小直径），且不应大于 200mm。箍筋末端应做成 135° 弯钩且弯钩末端平直段长度不应小于箍筋直径的 10 倍。

在纵向受力钢筋搭接长度范围内，箍筋直径不应小于搭接钢筋较大直径的 0.25 倍。当搭接钢筋受拉时，箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不应大于 100mm；当钢筋受压时，箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的 10 倍，且不应大于 200mm。当受压钢筋直径 $d > 25\text{mm}$ 时，尚应在搭接接头两个端面外 100 mm 范围内各设置两个箍筋。

当柱短边截面尺寸大于 400mm 且各边纵向钢筋多于 3 根时，或当柱截面短边尺寸不大于 400mm 但各边纵向钢筋多于 4 根时，应设置复合箍筋，见图 6-3。

对于截面形状复杂的构件，不应采用具有内折角的箍筋，避免产生向外的拉力，导致折角处混凝土破坏。可将复杂截面划分成若干简单截面，分别配置箍筋，见图 6-4。

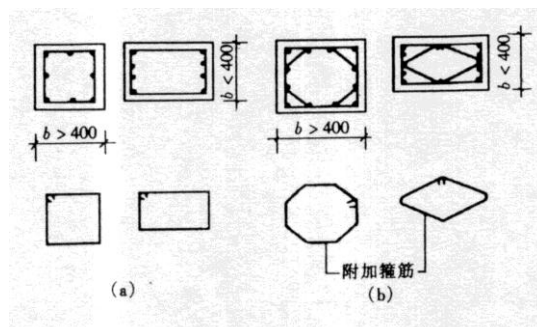


图 6-3 矩形截面柱的复合箍筋

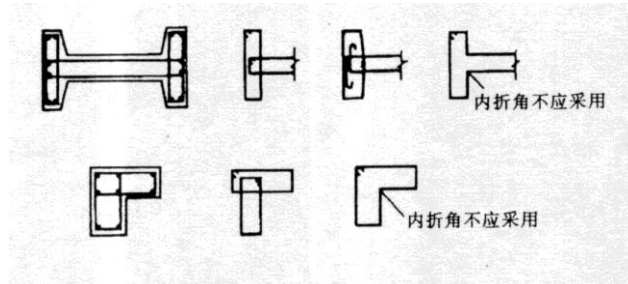


图 6-4 复杂截面的箍筋形式

6.2 轴心受压构件正截面受压承载力计算

6.2.1 轴心受压普通箍筋柱的正截面受压承载力计算

应用最为广泛的轴心受压构件是普通箍筋柱，柱内配置纵筋和普通箍筋。纵筋可以提高柱的承载力，减小构件的截面尺寸，增大构件的延性和减小混凝土的徐变变形，防止因偶然因素导致的突然破坏。箍筋与纵筋形成骨架，防止纵筋受压后失稳外凸。

1 轴心受压短柱的破坏形态及受力分析

轴心受压柱可以分为长柱和短柱，当柱的长细比满足以下条件时为短柱，否则为长柱。

$$\text{矩形截面: } \frac{l_0}{b} \leq 8 \quad (6-1a)$$

$$\text{圆形截面: } \frac{l_0}{d} \leq 7 \quad (6-1b)$$

$$\text{任意截面: } \frac{l_0}{i} \leq 28 \quad (6-1c)$$

式中 l_0 ——柱的计算长度；

b ——矩形截面的短边尺寸；

d ——圆形截面的直径；

i ——任意截面的最小回转半径。

短柱在轴心荷载作用下，整个截面的应变基本上是均匀的。当荷载较小时，混凝土和钢筋都处于弹性阶段，柱子压缩变形的增加与荷载的增加成正比。混凝土和钢筋压应力的增加与荷载的增加也成正比。当荷载较大时，由于混凝土塑性变形的发展，压缩变形增加的速度快于荷载增长速度。纵筋配筋率越小，这种现象就越明显。由于混凝土的变形模量随应力增大而变小，则在相同荷载增量下，钢筋的压应力比混凝土的压应力增长得快。随着荷载继续增加，柱中开始出现竖向细微裂缝，在临近破坏荷载时，柱四周出现明显的纵向裂缝，箍筋间的纵筋发生压曲，向外凸出，混凝土被压碎而发生破坏。

试验表明，素混凝土棱柱体构件达到最大压应力值时的压应变值约为 0.0015~0.002，而钢筋混凝土短柱达到应力峰值时的压应变一般在 0.0025~0.0035 之间。其主要原因是纵向钢筋起到了调整混凝土应力的作用使混凝土的塑性性质得到较好的发挥，使受压破坏的脆性性质得到改善。

在构件承载力计算时，以构件的压应变达到 0.002 为控制条件，认为此时构件截面混凝土压应力达到棱柱体抗压强度 f_c ，相应的纵向钢筋应力为

$$\sigma_s' = E_s \varepsilon_s' \approx 2 \times 10^5 \times 0.002 = 400 \text{ N/mm}^2, \text{ 对于}$$

HPB235 级、HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级热轧钢筋，均能达到受压屈服强度 f_y' 。对于

$$f_y' > 400 \text{ N/mm}^2$$

的钢筋，计算时取 $f_y' = 400 \text{ N/mm}^2$ 。

配有纵向钢筋和普通箍筋的轴心受压短柱破坏时。

对于长细比较大的柱子，由于各种偶然因素造成的初始偏心距的影响是不可忽略的。柱子施加荷载以后，初始偏心距导致产生附加弯矩和相应的侧向挠度，而侧向挠度又增大了荷载的偏心矩，随着荷载增加，附加弯矩和侧向挠度将不断增大。这种相互影响的结果使长柱在轴向力和弯矩的共同作用下发生破坏。

试验表明，长柱的破坏荷载低于其他条件相同的短柱。长细比越大，各种偶然因素造成的初始偏心距越大，从而产生的附加弯矩和相应的侧向挠度也越大，承载能力降低就越多。若长细比过大，还会产生失稳破坏。此外，在长期荷载作用下，混凝土的徐变会进一步加大柱子的侧向挠度，导致长柱的承载力进一步降低，长期荷载在全部荷载中所占的比例越多，其承载力降低的越多。

《规范》采用稳定系数 φ 来表示长柱承载力的降低程度。

$$\varphi = \frac{N_u^l}{N_u^s} \quad (6-2)$$

式中 N_u^l 、 N_u^s ——分别为长柱和短柱的承载力。

中国建筑科学研究院及一些国外的试验数据表明，稳定系数 φ 的大小主要和构件的长细比有关。对于矩形截面，长细比为 l_0/b (b 为矩形截面的短边尺寸)。

从图中可以看出， l_0/b 越大， φ 越小。 $l_0/b < 8$ 时，柱子的承载力没有降低， φ 值可取为 1。对于具有相同 l_0/b 值的柱，当混凝土强度等级和钢筋的种类以及配筋率不同时， φ 值的大小还略有变化。将试验结果进行数理统计得到下列经验公式：

$$\text{当 } l_0/b = 8 \sim 34 \text{ 时: } \varphi = 1.177 - 0.012 l_0/b \quad (6-3)$$

$$\text{当 } l_0/b = 35 \sim 50 \text{ 时: } \varphi = 0.87 - 0.012 l_0/b \quad (6-4)$$

《规范》中，对于长细比 l_0/b 较大的构件，考虑到荷载初始偏心和长期荷载作用对结构承载力的不利影响较大， φ 的取值比经验公式计算值略低一些，以保证安全。对于长细比 l_0/b 小于 20 的构件，考虑到过去的使用经验， φ 的取值略微抬高。

构件计算长度与构件两端支承情况有关。当两端铰支时，取 $l_0 = l$ （ l 为构件的实际长度）；当两端固定时，取 $l_0 = 0.5l$ ；当一端固定，一端铰支时，取 $l_0 = 0.7l$ ；当一端固定，一端自由时，取 $l_0 = 2l$ 。实际结构构件的端部连接，不象上述几种情况那样理想、明确，这样会造成当 l_0 的确定困难。因此在《规范》中，对不同结构中的柱计算长度作了具体规定，计算时可以查用。

轴心受压构件在加载后荷载维持不变的情况下，由于混凝土徐变，混凝土的压应力随荷载作用时间的增加而逐渐变小，钢筋的压应力逐渐变大，开始变化较快，经过一定时间后趋于稳定。在荷载突然卸荷时，构件纵向压缩回弹，由于混凝土徐变变形大部分不可恢复，当卸载幅度较大时，钢筋的回弹量将大于混凝土的回弹量，荷载为零时，会使柱中钢筋受压而混凝土受拉。若柱的配筋率过大就有可能将混凝土拉裂，当柱中纵向钢筋和混凝土粘结很强时，还会产生纵向裂缝，这种裂缝更为危险。为了防止这种情况出现，要求全部纵筋配筋率不宜超过 5%。

2. 承载力计算公式

根据轴心受压短柱破坏时的截面应力图形，考虑长柱对承载力的影响以及可靠度调整等因素后，规范给出轴心受压构件承载力计算公式：

$$N \leq 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s) \quad (6.5)$$

式中 N ——轴向压力设计值；

0.9 ——可靠度调整系数；

φ ——钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数，按表 6.1 采用；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

A ——构件截面面积；

A'_s ——全部纵向钢筋的截面面积。

当纵向钢筋配筋率大于 3%时，计算公式中的 A 应改用 $(A - A'_s)$ 代替。

【例 6.1】 钢筋混凝土框架柱的截面尺寸为 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，承受轴向压力设计值 $N = 2500\text{ kN}$ ，柱的计算长度 $l_0 = 5.0\text{m}$ ，混凝土强度等级为 C30，钢筋采用 HRB335 级。要求确定纵筋数量 A'_s 。

解：根据选用材料，查表可知： $f_c = 14.3\text{ N/mm}^2$ ； $f'_y = 300\text{ N/mm}^2$

由 $l_0/b = 5000/400 = 12.5$ ，查表 6.1 得： $\varphi = 0.9425$ 。

按公式 (6.5) 求 A'_s

$$A'_s = \frac{1}{f'_y} \left(\frac{N}{0.9\varphi} - f_c A \right) = \frac{1}{300} \left(\frac{2500 \times 10^3}{0.9 \times 0.9425} - 14.3 \times 400 \times 400 \right) = 2197 \text{ mm}^2$$

$$\text{配筋率 } \rho' = \frac{A'_s}{A} = \frac{2197}{400 \times 400} = 0.0137 > \rho'_{\min} = 0.6\% \quad \text{且 } \rho' < 3\%$$

选用 4 根直径 20mm 和 4 根直径 18mm 的 HRB335 级钢筋。

$$A'_s = 1256 + 1017 = 2273 \text{ mm}^2$$

直径 20mm 的钢筋布置在截面四角，直径 18mm 的钢筋布置在截面四边中部。

$$\text{截面一侧配筋率 } \rho' = \frac{314.2 \times 2 + 254.5}{400 \times 400} = 0.0055 > 0.2\% \quad \text{满足要求。}$$

【例 6.5】某建筑门厅处有现浇柱四根，截面尺寸为 250mm×250mm。由两端支承条件确定其计算高度为 $l_0 = 3.2\text{m}$ ；柱内配置 4 根直径 20mm 的 HRB400 级钢筋

($A'_s = 1256 \text{ mm}^2$)，混凝土强度等级 C30。柱的轴向压力设计值 $N = 950 \text{ kN}$ 。验算截面是否安全。

解：《规范》强制性条文规定，计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300mm，则混凝土的强度设计值应乘以系数 0.8；当构件质量（如混凝土成型、截面和轴线尺寸等）确有保证时，可不受此限制。本题乘以系数 0.8。

$$\text{由 } l_0/b = 3200/250 = 12.8, \text{ 查表 6.1 得, } \varphi = 0.938$$

$$\text{查表可知: } f_c = 14.3 \text{ N/mm}^2 \quad f'_y = 360 \text{ N/mm}^2$$

按式 (6.5)，得

$$\begin{aligned} N_u &= 0.9\varphi(0.8f_c A + f'_y A'_s) = 0.9 \times 0.938 \times (0.8 \times 14.3 \times 250^2 + 360 \times 1256) \\ &= 985.32 \text{ kN} > N \end{aligned}$$

故截面安全。

6.2.2 轴心受压螺旋箍筋柱的正截面受压承载力计算

钢筋混凝土柱配有螺旋钢箍或横向焊接网片时，螺旋钢箍或横向焊接网片能够有效的约束核心混凝土在纵向受压时产生的横向变形，因而可以显著提高混凝土的抗压强度，并改善其变形性能。

因此，当普通箍筋柱承受很大轴心压力，且柱截面尺寸由于建筑上及使用上的要求受到限制，采用提高混凝土强度等级和增大配筋量也不能满足承载力要求时，可以考虑采用螺旋筋或焊接环筋，以提高承载力来满足要求。这种柱的形状一般为圆形或多边形。

在轴心压力作用下，混凝土的横向变形使螺旋筋或焊接环筋产生拉应力，当拉应力达到箍筋的抗拉屈服强度时，就不再能有效地约束混凝土的横向变形，混凝土的抗压强度也就不能再提高，这时构件破坏。构件的混凝土保护层在螺旋筋或焊接环筋受到较大拉应力时发生开裂，故在计算构件承载力时不考虑该部分混凝土的抗压能力。

根据上述分析可知，螺旋箍筋或焊接环筋（也可称为间接钢筋）所包围的核心截面混凝土的实际抗压强度，处于三轴受压状态，其纵向抗压强度，可利用圆柱体混凝土周围加液压

所得近似关系进行计算：

$$f = f_c + \beta\sigma_\tau \quad (6-6)$$

式中： f ——被约束混凝土的轴心抗压强度；

β ——系数；

σ_τ ——当间接钢筋的应力达到屈服强度时，

柱核心区混凝土受到的径向压应力值。

在间接钢筋间距 s 范围内，利用 σ_τ 的合力与钢筋的拉力平衡，见图 6-12，可得

$$\sigma_\tau = \frac{2f_y A_{ss1}}{sd_{cor}} = \frac{2f_y A_{ss1} d_{cor} \pi}{\frac{\pi d_{cor}^2}{4} s} = \frac{f_y A_{sso}}{2A_{cor}} \quad (6-7)$$

式中： d_{cor} ——构件的核心直径，按间接钢筋内表面确定；

A_{cor} ——构件的核心截面面积；

f_y ——间接钢筋的抗拉强度设计值；

s ——沿构件轴线方向间接钢筋的间距；

A_{ss1} ——单根间接钢筋的截面面积；

A_{sso} ——间接钢筋的换算截面面积

$$A_{sso} = \frac{\pi d_{cor} A_{ss1}}{s} \quad (6-8)$$

根据力的平衡条件，得

$$N_u = (f_c + \beta\sigma_\tau)A_{cor} + f_y' A_s'$$

$$\text{故} \quad N_u = f_c A_{cor} + \frac{\beta}{2} f_y A_{sso} + f_y' A_s' \quad (6-9)$$

令 $2\alpha = \beta/2$ 代入上式，同时考虑可靠度调整系数 0.9 以后，《规范》规定螺旋式或焊接环式间接钢筋柱的承载力计算公式为：

$$N_u = 0.9(f_c A_{cor} + 2\alpha f_y A_{sso} + f_y' A_s') \quad (6-10)$$

式中 α 称为间接钢筋对混凝土约束的折减系数，当混凝土强度等级不大于 C50 时，取 $\alpha=1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\alpha=0.85$ ；当混凝土强度等级在 C50 与 C80 之间时，按直线内插法确定。

从承载力计算公式建立过程中可以看出，箍筋起到了充分约束混凝土的作用，这种作用只有在箍筋具有足够的数量及混凝土压应力比较均匀时才能实现。因此，该计算公式的应用必须满足一定的条件。《规范》规定：凡属下列情况之一者，不考虑间接钢筋的影响而按式（6-5）计算构件的承载力：

(1) 当 $l_0/d > 12$ 时，因构件长细比较大，有可能因纵向弯曲在螺旋筋尚未屈服时构件已经破坏；

(2) 当按式（6-10）计算的受压承载力小于按式（6-5）计算的受压承载力时；

(3) 当间接钢筋换算截面面积 A_{ss0} 小于纵筋全部截面面积的 25% 时，可以认为间接钢筋配置太少，间接钢筋对核心混凝土的约束作用不明显。

此外，为了防止间接钢筋外面的混凝土保护层过早脱落，按式（6-10）算得的构件受压承载力不应大于按式（6-5）算得的构件受压承载力的 1.5 倍。

间接钢筋间距不应大于 80mm 及 $d_{cor}/5$ ，也不小于 40mm。间接钢筋的直径应按箍筋的有关规定采用。

【例 6.4】某商住楼底层门厅采用现浇钢筋混凝土柱，承受轴向压力设计值 $N = 4800kN$ ，计算长度 $l_0 = 5.0m$ ，混凝土强度等级为 C30，纵筋采用 HRB400 级，箍筋采用 HPB335 级。建筑要求柱截面为圆形，直径为 $d = 450mm$ 。要求进行柱的受压承载力计算。

解：先按普通箍筋柱计算。

混凝土 $f_c = 14.3N/mm^2$ ，纵筋 $f_y' = 360N/mm^2$ ，箍筋 $f_y = 300N/mm^2$

1) 计算稳定系数 φ 。 $l_0/d = 5000/450 = 11.11$ ，查表（6.1）得 $\varphi = 0.938$

2) 求纵筋 A_s'

圆形混凝土柱截面面积 $A = \pi d^2/4 = 3.14 \times 450^2/4 = 15.90 \times 10^4 mm^2$

由式（6.5）得

$$A_s' = \frac{1}{f_y'} \left(\frac{N}{0.9\varphi} - f_c A \right) = \frac{1}{360} \left(\frac{4800 \times 10^3}{0.9 \times 0.938} - 14.3 \times 15.90 \times 10^4 \right) = 9478 mm^2$$

3) 核算配筋率

$$\rho' = A_s'/A = 9478/15.90 \times 10^4 = 5.96\%$$

若混凝土强度等级不再提高，显然配筋率太高。由于 $l_0/d < 12$ ，可以考虑采用螺旋箍筋柱。

4) 假定纵筋配筋率为 $\rho' = 0.04$ ，则 $A_s' = \rho' A = 0.04 \times 15.90 \times 10^4 = 6360 mm^2$

选用 14 根直径 25mm 的 HRB400 级钢筋， $A_s' = 6873 mm^2$ 。混凝土保护层厚度取为 30mm，

则得

$$d_{cor} = d - 30 \times 2 = 450 - 60 = 390mm$$

$$A_{cor} = \frac{1}{4} \pi d_{cor}^2 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 390^2 = 11.94 \times 10^4 mm^2$$

5) 计算螺旋筋的换算截面面积

混凝土强度等级 < C50, $\alpha = 1.0$, 由式 (6-10) 可得

$$A_{ss0} = \frac{\frac{N}{0.9} - (f_c A_{cor} + f_y' A_s')}{2\alpha f_y}$$

$$= \frac{\frac{4800 \times 10^3}{0.9} - (14.3 \times 11.94 \times 10^4 + 360 \times 6873)}{2 \times 1.0 \times 300} = 1919 mm^2$$

$$A_{ss0} > 0.25 A_s' = 0.25 \times 6873 = 1718 mm^2 \quad \text{满足构造要求}$$

6) 假定螺旋箍筋直径 $d = 10mm$, 则单肢螺旋筋面积 $A_{ssl} = 78.5 mm^2$ 。螺旋筋的间

距可由式 (6-8) 求得

$$s = \pi d_{cor} A_{ssl} / A_{ss0} = 3.14 \times 390 \times 78.5 / 1919 = 50.1 mm$$

取 $s = 45 mm$, 满足构造要求

7) 根据配置的螺旋筋计算间接配筋柱轴向压力承载能力

$$A_{ss0} = \frac{\pi d_{cor} A_{ssl}}{s} = \frac{3.14 \times 390 \times 78.5}{45} = 2136 mm^2$$

$$N_u = 0.9(f_c A_{cor} + 2\alpha f_y A_{ss0} + f_y' A_s')$$

$$= 0.9(14.3 \times 11.94 \times 10^4 + 2 \times 1.0 \times 2136 + 360 \times 6873)$$

$$= 3767.4 kN$$

按式 (6-5) 得

$$N_u = 0.9\varphi(f_c A + f_y' A_s') = 0.9 \times 0.938 \times [14.3 \times (15.90 \times 10^4 - 6873) + 360 \times 6873]$$

$$= 3925 kN$$

核算: $3767.4 kN < 1.5 \times 3925 = 5887.5 kN$ 。满足保护层不脱落要求。

6.5. 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力的一般计算公式

6.5.1. 大偏心受压构件

对于大偏心受压构件, 纵向受力钢筋 A_s 的应力取抗拉强度设计值 f_y , 纵向受压钢筋

A_s' 的应力一般也能达到抗压强度设计值 f_y' , 采用与受弯构件相同的处理方法, 把受压区混

混凝土曲线压应力图用等效矩形图形替代，其应力值取为 $\alpha_1 f_c$ ，截面受压区高度取为 x 。截面应力计算图形如图 6-18 所示。

1 计算公式

由力的平衡条件及各力对受拉钢筋取矩的力矩平衡条件，可以得到以下两个计算公式：

$$N_u = \alpha_1 f_c b x + f_y' A_s' - f_y A_s \quad (6-19)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (6-20)$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s \quad (6-21)$$

式中： e ——轴向力作用点至受拉钢筋 A_s 合力点之间的距离。

2 适用条件

1) 为了保证构件破坏时受拉区钢筋应力先达到屈服强度，要求：

$$x \leq x_b \quad (6-22)$$

x_b ——界限破坏时受压区计算高度，同受弯构件。

2) 为了保证构件破坏时受压钢筋应力也能达到抗压屈服强度，要求：

$$x \geq 2a_s' \quad (6-23)$$

a_s' ——纵向受压钢筋合力点至受压区边缘的距离。

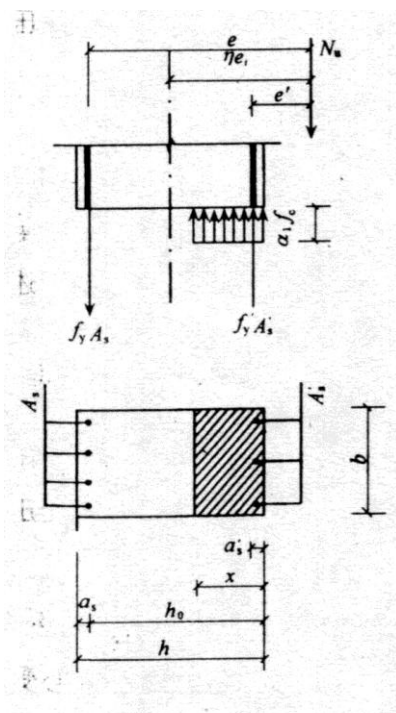


图 6-18 矩形截面大偏心受压

构件截面应力计算图形

若计算中出现 $x < 2a_s'$ 的情况，说明破坏时纵向受压钢筋的应力没有达到抗压强度设计值 f_y' ，此时可近似取 $x = 2a_s'$ ，并对受压钢筋 A_s' 的合力点取矩得

$$N_u e' = f_y A_s (h_0 - a_s') \quad (6-24)$$

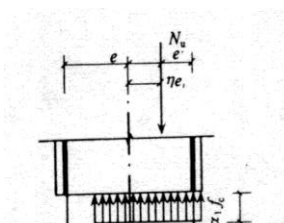
式中： e' ——轴向压力作用点至受压区纵向钢筋 A_s' 合力点的距离。

6.5.2. 小偏心受压构件

小偏心受压破坏时，受压区混凝土被压碎，受压钢筋 A_s' 的应力达到屈服强度，而另一侧钢筋 A_s 受拉或受压，但都不屈服，所以 A_s 的应力用 σ_s 表示。受压区混凝土曲线压应力图形仍用等效矩形应力图形来替代。截面应力计算图形见图 6-19。

1. 计算公式

根据力的平衡条件及力矩平衡条件可得



$$N_u = \alpha_1 f_c b x + f_y' A_s' - \sigma_s A_s \quad (6-25)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (6-26)$$

$$\text{或 } N_u e' = \alpha_1 f_c b x (\frac{x}{2} - a_s') + \sigma_s A_s (h_0 - a_s') \quad (6-27)$$

式中： x ——受压区计算高度，当 $x > h$ 时，取 $x = h$ ；

e 、 e' ——分别为轴向力作用点至受拉钢筋 A_s 合

力点和受压钢筋 A_s' 合力点之间的距离。

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s \quad (6-28)$$

$$e' = \frac{h}{2} - \eta e_i - a_s' \quad (6-29)$$

σ_s ——钢筋 A_s 的应力值，根据截面应变平截面

假定，可近似按下式计算

图 6-19 矩形截面小偏心受压构件

$$\sigma_s = \frac{\xi - \beta_1}{\xi_b - \beta_1} f_y \quad (6-30) \quad \text{截面应力计算图形}$$

式中： ξ 、 ξ_b ——分别为相对受压区计算高度和相对界限受压区计算高度。

当 σ_s 的计算值为正号时，表示 A_s 受拉，为负号时表示 A_s 受压。且应符合下述要求：

$$-f_y' \leq \sigma_s \leq f_y \quad (6-31)$$

下面介绍式 (6-30) 的建立过程，根据平截面假定，截面应变关系图如图 6-20 所示。由比例关系可以得到：

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1}{\xi} - 1) = E_s \varepsilon_{cu} (\frac{\beta_1 h_0}{x} - 1) \quad (6-32)$$

若直接用于小偏心受压构件计算，就必须解 x 的三次方程，给手算带来困难。

根据我国试验资料分析，实测钢筋 A_s 的应力 σ_s 与

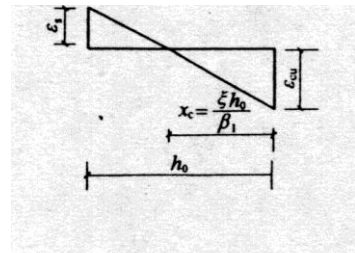


图 6-20 截面应变关系图

ξ 接近直线关系，见图 (6-21)。为计算方便，《规范》取 σ_s 与 ξ 之间为直线关系：当 $\xi = \xi_b$

时， $\sigma_s = f_y$ ；当 $\xi = \beta_1$ 时， $\sigma_s = 0$ 。以这两点建立的直线方程就是公式 (6-30)。

当相对偏心距很小且 A_s' 比 A_s 大的较多时，也可能发生离轴向力较远一侧混凝土先压碎的破坏，这种破坏称为反向破坏。为了防止这种反向破坏的发生，《规范》规定，对于小偏心受压构件，除应按公式 (6-25)、(6-26) 或 (6-27) 进行计算外，还应满足下式要

求:

$$N_u \left[\frac{h}{2} - a' - (e_0 - e_a) \right] \leq \alpha_1 f_c b h \left(h_0' - \frac{h}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0' - a_s) \quad (6-33)$$

式中: h_0' ——钢筋合力点至离纵向力较远一侧边缘的距离, $h_0' = h - a_s$ 。

2. 适用条件

1) $x > \xi_b h_0$;

2) $x \leq h$; 若 $x > h$, 取 $x = h$ 进行计算。

6.6 不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算

偏心受压构件正截面受压承载力的计算与受弯构件正截面受弯承载力计算一样, 分为截面设计和截面复核两类问题。

6.6.1 截面设计

进行受压构件截面设计时, 应首先判别偏心类型。如果根据大、小偏心的界限条件 $\xi = \xi_b$ 来判别, 则需要计算出混凝土相对受压区高度 ξ , 而 ξ 值又取决于钢筋截面面积大小, 在钢筋截面面积确定之前无法求出, 因此必须另外寻求一种间接的判别方法。根据经验, 对于常用材料, 通常取 $\eta e_i = 0.3h_0$ 作为大、小偏心受压的界限, 当 $\eta e_i > 0.3h_0$ 时, 可先按大偏心受压情况计算; 当 $\eta e_i \leq 0.3h_0$ 时, 则先按小偏心受压情况计算。然后应用有关计算公式求出钢筋截面面积, 再根据钢筋截面面积计算 ξ , 看是否与初步判别一致, 不一致时改变判别重新计算。

1. 大偏心受压构件的计算

大偏心受压构件截面设计有以下两种情况:

(1) 已知: 构件截面尺寸 $b \times h$, 混凝土的强度等级, 钢筋种类, 轴向力设计值 N 及弯矩设计值 M , 构件的计算长度 l_0 。求钢筋截面面积 A_s 及 A_s' 。

令 $N = N_u, M = M_u e_0$, 由计算公式 (6-19)、(6-20) 可以看出, 此时共有 ξ, A_s, A_s' 三个未知数, 而只有两个方程, 以总用钢量 ($A_s + A_s'$) 最小为补充条件, 取 $x = \xi_b h_0$, 代入公式 (6-20), 解出 A_s'

$$A_s' = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi_b (1 - 0.5 \xi_b)}{f_y' (h_0 - a_s')} \quad (6-34)$$

将求得的 A_s' 及 $x = \xi_b h_0$ 代入公式 (6-19), 可以得到 A_s 。

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b \xi_b h_0 - N}{f_y} + \frac{f_y'}{f_y} A_s' \quad (6-35)$$

如果 $A_s' < \rho_{\min} bh$ 且数值相差较多, 则取 $A_s' = \rho_{\min} bh$, 按第二种情况 (已知 A_s' 求 A_s) 计算 A_s 。

(2) 已知: 构件截面尺寸 $b \times h$, 混凝土的强度等级, 钢筋种类, 轴向力设计值 N 及弯矩设计值 M , 构件的计算长度 l_0 及受压钢筋截面面积 A_s' , 求受拉钢筋截面面积 A_s 。

令 $N = N_u, M = M_u e_0$, 由计算公式 (6-20)、(6-21) 可以看出, 此时只有 ξ, A_s , 两个未知数, 可以利用计算公式直接求解。先计算 α_s :

$$\alpha_s = \frac{Ne - f_y' A_s' (h_0 - a_s')}{\alpha_1 f_c b h_0^2} \quad (6-36)$$

然后计算 ξ : $\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$, 若 $\frac{2a_s'}{h_0} \leq \xi \leq \xi_b$, 则由公式 (6-19) 得:

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b \xi h_0 + f_y' A_s' - N}{f_y} \quad (6-37)$$

若 $\xi > \xi_b$, 说明受压钢筋数量不足, 应增大 A_s' 后按第一种情况计算或加大构件截面尺寸后重新计算。

若 $\xi < \frac{2a_s'}{h_0}$, 则仿照双筋梁的计算方法, 对受压钢筋 A_s' 合力点取矩, 计算出 A_s 。

$$A_s = \frac{N(\eta e_i - \frac{h}{2} + a_s')}{f_y (h_0 - a_s')} \quad (6-38)$$

另外, 再按 $A_s' = 0$, 利用计算公式 (6-20)、(6-19) 计算出 A_s , 与上式计算结果进行比较, 取其较小配筋值。

以上大偏心受压两种情况, 按弯矩作用平面计算承载力之后, 均应按轴心受压验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力。若不满足要求, 应重新进行截面设计。

2. 小偏心受压构件

小偏心受压构件截面设计时, 共有 ξ, A_s 、和 A_s' 三个未知数, 而计算公式只有两个独立方程, 如果仍以 $(A_s + A_s')$ 总量最小为补充条件来确定 ξ , 则计算过程非常复杂。实用中可采用如下办法:

小偏心受压应满足 $\xi > \xi_b$ 及 $-f_y' \leq \sigma_s \leq f_y$ 的条件。当纵筋 A_s 的应力 σ_s 达到受压屈服强度且钢筋的受压屈服强度与受拉屈服强度相等时，根据公式 (6-30) 可以计算出相对受压区计算高度：

$$\xi_{cy} = 2\beta_1 - \xi_b$$

(1) 当 $\xi_b < \xi < \xi_{cy}$ 时，不论 A_s 配置的数量大小，一般都不会屈服；为了使钢筋用量最少，按最小配筋率进行配置，即 $A_s = \rho_{\min} b h_0$ 。然后，利用计算公式 (6-27)、(6-30) 求得 ξ 和 σ_s 。

若 $\sigma_s < 0$ ，取 $A_s = \rho_{\min}' b h_0$ ，利用计算公式 (6-27) 重新计算 ξ 。

若满足 $\xi_b < \xi < \xi_{cy}$ ，则按计算公式 (6-26) 计算 A_s' 。

这里： $\rho_{\min} = \rho_{\min}' = 0.2\%$ 为《规范》规定的 A_s 、 A_s' 的最小配筋率。

(2) 当 $\xi \leq \xi_b$ 时，按大偏心受压构件计算。

(3) 当 $\frac{h}{h_0} > \xi > \xi_{cy}$ 时， σ_s 达到 $-f_y'$ ，计算时取 $\sigma_s = -f_y'$ ， $\xi = \xi_{cy}$ ，利用计算公式

(6-27)、(6-26) 计算 A_s 和 A_s' 。

(4) 当 $\xi > \frac{h}{h_0}$ 时，取 $\sigma_s = -f_y'$ ， $x = h$ ，利用计算公式 (6-27)、(6-26) 计算 A_s 和 A_s' 。

对于 (3) 和 (4) 两种情况，均应再按计算公式 (6-33) 进行反向破坏承载力计算。

6.6.2 承载力复核

在实际工程中有时需要对偏心受压构件进行承载力复核，此时截面尺寸 $b \times h$ 、构件的计算长度 l_0 、截面配筋 A_s 和 A_s' 、截面上作用的轴向压力设计值 N 、弯矩设计值 M （或截面的偏心距 e_0 ）、混凝土强度等级和钢筋种类均为已知。要求判别构件截面是否能够满足承载力的要求或计算截面能够承受的弯矩设计值 M 。

1. 弯矩作用平面的承载力复核

(1) 已知截面偏心距 e_0 ，求轴向力设计值 N

由于截面配筋已知，将截面全部内力对 N 的作用点取矩，可以求出截面混凝土受压区高度 x 。当 $x \leq x_b$ 时，为大偏心受压，将 x 及已知数据代入式 (6-19) 即可求出轴向力设计值 N 。当 $x > x_b$ 时，为小偏心受压，将已知数据代入式 (6-25)、(6-26)、(6-30)

联立求解，即可求出轴向力设计值 N 。

(2) 已知轴向力设计值 N ，求弯矩设计值 M

先将已知配筋和 ξ_b 代入公式 (6-19) 计算界限情况下受压承载力 N_{ub} 。当 $N \leq N_{ub}$ 时，为大偏心受压，可按公式 (6-19) 计算 x ，再将 x 和由公式 (6-16) 求得的 η 代入公式 (6-20) 求出 e_0 ，则得弯矩设计值 $M = Ne_0$ 。当 $N > N_{ub}$ 时，为小偏心受压，可按公式 (6-25)、(6-30) 计算 x ，再将 x 和 η 代入公式 (6-26) 求出 e_0 ，然后计算弯矩设计值 $M = Ne_0$ 。

2. 垂直于弯矩作用平面的承载力复核

不论哪一种偏心受压，垂直于弯矩作用平面的承载力复核，均按轴心受压构件进行。计算 φ 值时，取 b 作为截面高度。

[例 6.5] 钢筋混凝土偏心受压柱，截面尺寸 $b \times h = 300\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，计算长度 $l_0 = 3.6\text{m}$ 。承受轴向压力设计值 $N = 300\text{kN}$ ，弯矩设计值 $M = 168\text{kN} \cdot \text{m}$ 。混凝土强度等级 C30，钢筋采用 HRB335。 $a_s = a'_s = 40\text{mm}$ 。求钢筋截面面积 A'_s 和 A_s 。

[解]：查表可得 $f_c = 14.3\text{N}/\text{mm}^2$ ； $f_y = f'_y = 300\text{N}/\text{mm}^2$

$l_0/h = 3600/400 = 9 > 5$ ，因此应考虑二阶弯矩的影响（《规范》规定：当偏心受压构件的长细比 $l_0/i \leq 17.5$ 时，可取 $\eta = 1.0$ 。据此可知， $l_0/h \leq 5$ 时，不考虑二阶弯矩的影响）。

1) 计算 η ，判别偏压类型。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{168 \times 10^6}{300 \times 10^3} = 560\text{mm}； \quad \frac{h}{30} = \frac{400}{30} = 13.3\text{mm} < 20\text{mm}， \quad \text{取 } e_a = 20\text{mm}；$$

$$e_i = e_0 + e_a = 560 + 20 = 580\text{mm}$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5f_c A}{N} = \frac{0.5 \times 14.3 \times 300 \times 400}{300 \times 10^3} = 2.86 > 1， \quad \text{取 } \zeta_1 = 1。$$

$$\frac{l_0}{h} < 15， \quad \text{取 } \zeta_2 = 1。$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 \frac{e_i}{h_0}} \times \left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \zeta_1 \zeta_2 = 1 + \frac{1}{1400 \times \frac{620}{360}} \times \left(\frac{3600}{400}\right)^2 \times 1 \times 1 = 1.034$$

$\eta e_i = 1.034 \times 580 = 600\text{mm} > 0.3h_0 = 0.3 \times 360 = 108\text{mm}$ ，故按大偏心受压构件

计算。

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 600 + \frac{400}{2} - 40 = 760 \text{ mm}$$

2) 计算 A'_s 和 A_s 。为使钢筋总用量最少, 取 $\xi = \xi_b = 0.55$

由计算公式 (6-20) 得:

$$\begin{aligned} A'_s &= \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi_b (1 - 0.5 \xi_b)}{f_y (h_0 - a'_s)} \\ &= \frac{300 \times 10^3 \times 760 - 14.3 \times 300 \times 360^2 \times 0.55 \times (1 - 0.5 \times 0.55)}{300 \times (360 - 40)} = 58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A'_s < \rho'_{\min} b h = 0.002 \times 300 \times 400 = 240 \text{ mm}^2, \text{ 取 } A'_s = 240 \text{ mm}^2$$

再由计算公式 (6-19) 得:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\alpha_1 f_c b h_0 \xi_b + f_y A'_s - N}{f_y} = \frac{1 \times 14.3 \times 300 \times 360 \times 0.55 + 300 \times 58 - 300 \times 10^3}{300} \\ &= 1889 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

[例 6-9] 已知构件截面尺寸 $b = 500 \text{ mm}, h = 700 \text{ mm}, a_s = a'_s = 40 \text{ mm}$, 混凝土强度等级为 C40, 钢筋 HRB400, A_s 选用 $6\Phi 25$ ($A_s = 2945 \text{ mm}^2$), A'_s 选用 $4\Phi 25$ ($A'_s = 1964 \text{ mm}^2$)。构件的计算长度 $l_0 = 12.6 \text{ m}$ 。轴向力的偏心距 $e_0 = 450 \text{ mm}$ 。

求: 截面能承受的轴向力设计值 N_u 。

[解]

$$l_0 / h = \frac{12600}{700} = 18$$

$$e_0 = 450 \text{ mm}, e_a = 700 / 30 = 23 \text{ mm} (> 20 \text{ mm})$$

$$e_i = e_0 + e_a = 450 + 23 = 473 \text{ mm}$$

$$\zeta_1 = 0.2 + 2.7 e_i / h_0 = 0.2 + 2.7 \times \frac{473}{660} = 2.14 > 1$$

取

$$\zeta_1 = 1$$

$$\frac{l_0}{h} = 18 > 15$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{l_0}{h} = 1.15 - 0.01 \times 18 = 0.97$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 \frac{e_i}{h_0}} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 = 1 + \frac{1}{1400 \times \frac{473}{660}} (18)^2 \times 1 \times 0.97 = 1.313$$

$$\eta e_i = 1.313 \times 473 = 621 \text{ mm}$$

由图 6-18, 对 N 点取矩, 得:

$$a_1 f_c b x \left(\eta e_i - \frac{h}{2} + \frac{x}{2} \right) = f_y A_s \left(\eta e_i + \frac{h}{2} - a_s \right) - f_y' A_s' \left(\eta e_i - \frac{h}{2} + a_s' \right)$$

代入数据, 则

$$\begin{aligned} & 1.0 \times 19.1 \times 500 \times x \left(621 - 350 + \frac{x}{2} \right) \\ & = 360 \times 2945 \times (621 + 350 - 40) - 360 \times 1964 \times (621 - 350 - 40) \end{aligned}$$

移项求解:

$$x^2 + 542x - 172507 = 0$$

$$x = \frac{1}{2} \times \left(-542 \pm \sqrt{542^2 + 4 \times 172507} \right) = 225 \text{ mm}$$

$$2a_s' (= 2 \times 40 = 80 \text{ mm}) < x < x_b (= 0.518 \times 660 = 342 \text{ mm})$$

由式 (6-19) 得该截面能承受的轴向力设计值为:

$$N_u = a_1 f_c b x + f_y' A_s' - f_y A_s = 1.0 \times 19.1 \times 500 \times 225 + 360 \times 1964 - 360 \times 2945 = 1795.6 \text{ kN}$$

[例 6-11] 钢筋混凝土偏心受压柱, 截面尺寸 $b \times h = 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$, 计算长度 $l_0 = 3.6 \text{ m}$ 。承受轴向压力设计值 $N = 4800 \text{ kN}$, 弯矩设计值 $M = 16.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。混凝土强度等级 C35, 钢筋采用 HRB335。 $a_s = a_s' = 40 \text{ mm}$ 。求钢筋截面面积 A_s' 和 A_s 。

[解]: 查表可得 $f_c = 16.7 \text{ N/mm}^2$; $f_y = f_y' = 300 \text{ N/mm}^2$

$$l_0/h = 3600/600 = 6 > 5, \text{ 因此应考虑二阶弯矩的影响。}$$

1) 计算 η , 判别偏心受压类型。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{16.8 \times 10^6}{4800 \times 10^3} = 3.5 \text{ mm}; \quad \frac{h}{30} = \frac{600}{30} = 20 \text{ mm}, \text{ 取 } e_a = 20 \text{ mm};$$

$$e_i = e_0 + e_a = 3.5 + 20 = 23.5 \text{ mm}$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5 f_c A}{N} = \frac{0.5 \times 16.7 \times 400 \times 600}{4800 \times 10^3} = 0.418$$

$$\frac{l_0}{h} < 15, \text{ 取 } \zeta_2 = 1。$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 \frac{e_i}{h_0}} \times \left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \zeta_1 \zeta_2 = 1 + \frac{1}{1400 \times 23.5 / 560} \times \left(\frac{3600}{600}\right)^2 \times 0.418 \times 1 = 1.256$$

$\eta e_i = 1.256 \times 23.5 = 29.5 \text{ mm} < 0.3h_0 = 0.3 \times 560 = 168 \text{ mm}$, 故按小偏心受压构件计算。

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 29.5 + \frac{600}{2} - 40 = 289.5 \text{ mm}$$

$$e' = \frac{h}{2} - a_s' - \eta e_i = \frac{600}{2} - 40 - 29.5 = 230.5 \text{ mm}$$

2) 计算 A_s' 和 A_s

取 $\beta_1 = 0.8$ 和 $A_s = \rho_{\min} b h_0 = 0.002 \times 400 \times 560 = 448 \text{ mm}^2$ 。

将计算公式 (6-30) 代入计算公式 (6-27) 得:

$$\xi = 1.144 > \xi_{cy} = 2 \times 0.8 - 0.55 = 1.05$$

$$\text{且 } \xi > \frac{h}{h_0} = \frac{600}{560} = 1.07$$

取 $\sigma_s = -f_y, x = h$, 代入计算公式 (6-26)、(6-25) 得

$$A_s' = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h (h_0 - 0.5h)}{f_y' (h_0 - a_s')} \\ = \frac{4800 \times 10^3 \times 289.5 - 16.7 \times 400 \times 600 \times (560 - 0.5 \times 600)}{300 \times (560 - 40)} = 2228 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{N - \alpha_1 f_c b h_b - f_y' A_s'}{f_y} \\ = \frac{4800 \times 10^3 - 1.0 \times 16.7 \times 400 \times 600 - 300 \times 2228}{300} \\ = 410 \text{ mm}^2$$

为了防止发生反向破坏, 利用计算公式 (6-33) 验算 A_s

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{N[0.5h - a'_s - (e_0 - e_a)] - \alpha_1 f_c b h (h'_0 - \frac{h}{2})}{f'_y (h_0 - a_s)} \\
 &= \frac{4800 \times 10^3 \times [0.5 \times 600 - 40 - (3.5 - 20)] - 1.0 \times 16.7 \times 400 \times 600 \times (560 - 0.5 \times 600)}{300 \times (560 - 40)} \\
 &= 1828 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

配筋选用： A'_s 选用 $5\Phi 25$ ($A'_s = 2454 \text{mm}^2$)， A_s 选用 $5\Phi 22$ ($A_s = 1900 \text{mm}^2$)。

3) 进行垂直于弯矩作用平面承载力验算

$$l_0/b = 3600/400 = 9, \text{ 查表 (6.1) 得: } \varphi = 0.99$$

由计算公式 (6-5) 得

$$\begin{aligned}
 N_u &= 0.9\varphi [f_c b h + f'_y (A'_s + A_s)] \\
 &= 0.9 \times 0.99 \times [16.7 \times 400 \times 600 + 300 \times (2454 + 1900)] \\
 &= 4735 \text{kN}
 \end{aligned}$$

略小于 $N (= 4800 \text{kN})$ ，仅相差 1.35%，故属于安全。

6.7 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算

对称配筋就是截面两侧配置相同数量和相同种类的钢筋，即 $A'_s = A_s$ ； $f'_y = f_y$ 。在实际工程中，偏心受压构件在不同内力组合下，承受两个相反方向的弯矩，当其数值相差不大或相差较大但按对称配筋设计求得的纵向钢筋总量增加不多时，宜采用对称配筋。对称配筋的设计和施工比较简便，且在装配吊装时不会出错，因此，对称配筋应用更为广泛。

6.7.1 构件大、小偏心受压的判别

不论大、小偏心受压构件都可以先按大偏心受压考虑，利用计算公式 (6.19) 直接计算出 x ，然后通过比较 x 和 $\xi_b h_0$ 来确定构件偏心受压类型。当 $x \leq \xi_b h_0$ 时，为大偏心受压；

当 $x > \xi_b h_0$ 时，为小偏心受压。

但是，这种判别有时会出现“失真”现象，当轴向压力的偏心距很小甚至接近轴心受压，应该属于小偏心受压。然而在截面尺寸较大而轴向压力数值又较小时，就会判为大偏心受压，即出现 $\eta e_i < 0.3h_0$ 而 $x < \xi_b h_0$ 的情况。其原因是因为截面尺寸过大，没有达到承载力极限状态。此时，无论用大偏心受压或小偏心受压公式计算，所得配筋均由最小配筋率控制。

6.7.2 截面设计

1. 大偏心受压构件

将 $A'_s = A_s$ ； $f'_y = f_y$ 代入计算公式 (6.19)，令 $N = N_u$ ，求得 x

$$x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b} \quad (6-41)$$

判定为大偏心受压构件时，将 x 代入计算公式 (6.20)，可以求得

$$A_s = A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2})}{f'_y (h_0 - a'_s)} \quad (6-42)$$

如果 $x < 2a'_s$ ，可按不对称配筋计算方法进行计算出 A_s ，然后取 $A'_s = A_s$ 。

2. 小偏心受压构件

当根据计算公式 (6-19) 计算的 x 判定为小偏心受压构件时，按小偏心受压构件的计算公式进行计算。将已知条件代入下述计算公式 (6-43) 计算 ξ ，然后计算 σ_s 。

$$\xi = \frac{N - \xi_b \alpha_1 f_c b h_0}{\frac{Ne - 0.43 \alpha_1 f_c b h_0^2}{(\beta_1 - \xi_b)(h_0 - a'_s)} + \alpha_1 f_c b h_0} + \xi_b \quad (6-43)$$

如果 $-f'_y \leq \sigma_s < f_y$ ，且 $\xi \leq \frac{h}{h_0}$ ，将 ξ 代入计算公式 (6-26) 计算 A'_s ，取 $A_s = A'_s$ 。

如果 $\sigma_s < -f_y$ ，且 $\xi \leq \frac{h}{h_0}$ ，取 $\sigma_s = -f'_y$ 后计算公式 (6-25) 和 (6-26) 应为

$$N_u = \alpha_1 f_c b h_0 \xi + 2f'_y A'_s \quad (6-44)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - \frac{\xi}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-45)$$

两式联立求解可得 ξ 、 A'_s 。

如果 $\sigma_s < -f_y$ ，且 $\xi > \frac{h}{h_0}$ ，取 $\sigma_s = -f'_y$ ， $\xi = \frac{h}{h_0}$ 后计算公式 (6-25) 和 (6-26)

应为

$$N_u = \alpha_1 f_c b h + 2f'_y A'_s \quad (6-46)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b h (h_0 - \frac{h}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-47)$$

由两式各解一个 A'_s ，取其中大值。

如果 $-f_y \leq \sigma_s < 0$ ，且 $\xi > \frac{h}{h_0}$ ，取 $\xi = \frac{h}{h_0}$ 代入计算公式 (6-25) 和 (6-26) 后方程变成

$$N_u = \alpha_1 f_c b h + f'_y A'_s - \sigma_s A'_s \quad (6-48)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b h (h_0 - \frac{h}{2}) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (6-49)$$

由两式求解得到 A_s' 、 σ_s ，如果仍满足 $-f_y \leq \sigma_s < 0$ ，则所求得的 A_s' 有效。

下面推导 ξ 的近似计算公式 (6-43)

将 $x = \xi h_0$ 及公式 (6-30) 代入式 (6-25)、(6-26) 可以得到

$$N_u = \alpha_1 f_c b h_0 \xi + f_y' A_s' \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} \quad (6-50)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (6-51)$$

两个方程只有两个未知数 ξ 和 A_s' ，令 $N = N_u$ ，由式 (6-50) 得

$$f_y' A_s' = \frac{N - \alpha_1 f_c b h_0 \xi}{\frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1}}$$

将上式代入式 (6-51)，消去 $f_y' A_s'$ 得

$$N e = \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi) + \frac{N - \alpha_1 f_c b h_0 \xi}{\frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1}} (h_0 - a_s')$$

$$N e \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} = \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi) \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} + (N - \alpha_1 f_c b h_0 \xi) (h_0 - a_s') \quad (6-52)$$

式 (6-52) 为 ξ 的三次方程，手算求解非常困难。需要进行降阶简化处理。令

$$y = \xi (1 - 0.5\xi) \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} \quad (6-53)$$

对于给定的钢筋级别和混凝土强度等级， ξ_b 、 β_1 为定值，经试验发现，当 ξ 在 $\xi_b \sim 1$ 时， y 与 ξ 之间逼近线形关系，见图 6-22。为简化计算，《规范》对不同级别的钢筋和不同强度等级的混凝土统一取为

$$\xi (1 - 0.5\xi) \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} = 0.43 \frac{\xi_b - \xi}{\xi_b - \beta_1} \quad (6-54)$$

使得求解 ξ 的方程降阶为一次方程，将式 (6-53) 代入式 (6-51)，整理后即可得到 ξ 的近似计算公式 (6-43)。

同不对称配筋一样，最后还应验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力是否满足要求。

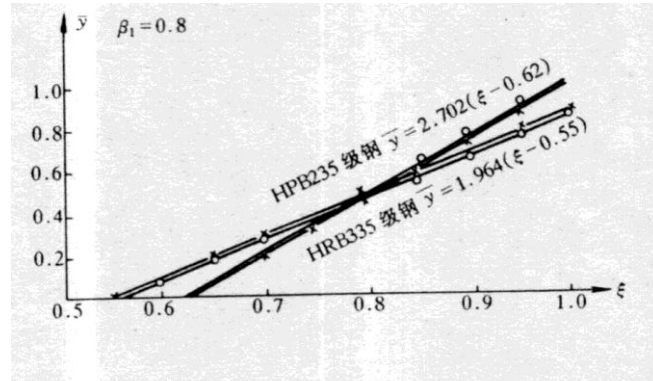


图 6-22 计算参数 $\bar{y} - \xi$ 关系曲线

6.7.3 截面复核

按照不对称配筋的截面复核方法进行。复核时取 $A_s = A'_s$ ； $f_y = f'_y$ 。

[例 6-13] 钢筋混凝土偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 2300kN$ ，弯矩设计值 $M = 550kN \cdot m$ ，截面尺寸为 $b = 500mm, h = 650mm, a_s = a'_s = 40mm$ ，柱的计算长度 $l_0 = 4.8m$ ，采用 C35 混凝土和 HRB335 钢筋，要求进行截面对称配筋设计。

[解]：查表可知 $f_c = 16.7 N/mm^2$ ； $f_y = f'_y = 300 N/mm^2$

1) 计算偏心距增大系数 η 。 $l_0/h = 4800/650 = 7.4 > 5$ ，应考虑二阶弯矩的影响。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{550 \times 10^6}{2300 \times 10^3} = 239mm; \quad \frac{h}{30} = \frac{650}{30} = 22mm > 20mm, \quad \text{取 } e_a = 22mm$$

$$e_i = e_0 + e_a = 239 + 22 = 261mm$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5 f_c A}{N} = \frac{0.5 \times 16.7 \times 500 \times 650}{2300 \times 10^3} = 1.18 > 1, \quad \text{取 } \zeta_1 = 1$$

$$l_0/h = 7.4 < 15, \quad \text{取 } \zeta_2 = 1$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 e_i / h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 = 1 + \frac{1}{1400 \times 261 / 610} (7.4)^2 \times 1 \times 1 = 1.09$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 1.09 \times 261 + \frac{650}{2} - 40 = 569 \text{ mm}$$

2) 判别偏心类型

由计算公式 (6-41) 得: $x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b} = \frac{2300 \times 10^3}{1.0 \times 16.7 \times 500} = 275 \text{ mm}$

$$2a'_s = 2 \times 40 = 80 \text{ mm} < x < \xi_b h_0 = 0.55 \times 610 = 336 \text{ mm};$$

属于大偏心受压, 且 x 为真实值。

3) 计算钢筋面积

将 x 代入计算公式 (6-42) 得

$$\begin{aligned} A_s = A'_s &= \frac{Ne - \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2})}{f_y (h_0 - a'_s)} \\ &= \frac{2300 \times 10^3 \times 569 - 1.0 \times 16.7 \times 500 \times 275 \times (610 - \frac{275}{2})}{300 \times (610 - 40)} \\ &= 1308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A'_s > \rho'_{\min} b h = 0.002 \times 500 \times 650 = 650 \text{ mm}^2$$

选 $2\Phi 22 + 2\Phi 20$ ($A'_s = 1388 \text{ mm}^2$)

4) 验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力

$$l_0 / b = 4800 / 500 = 9.6 \quad \text{查表 6-1} \quad \varphi = 0.984$$

$$\begin{aligned} N_u &= 0.9 \varphi (f_c A + f_y A'_s) = 0.9 \times 0.984 \times (16.7 \times 500 \times 650 + 300 \times 1388) \\ &= 5175 \text{ kN} \end{aligned}$$

满足要求。

[例 6-14] 钢筋混凝土偏心受压柱, 承受轴向压力设计值 $N = 3600 \text{ kN}$, 弯矩设计值

$M = 540 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 截面尺寸为 $b = 500 \text{ mm}$, $h = 600 \text{ mm}$, $a_s = a'_s = 40 \text{ mm}$, 柱的计算长度

$l_0 = 4.2 \text{ m}$, 采用 C35 混凝土和 HRB400 钢筋, 要求进行截面对称配筋设计。

[解]: 查表可知 $f_c = 16.7 \text{ N/mm}^2$; $f_y = f'_y = 360 \text{ N/mm}^2$

1) 计算偏心距增大系数 η 。 $l_0 / h = 4200 / 600 = 7 > 5$, 应考虑二阶弯矩的影响。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{540 \times 10^6}{3600 \times 10^3} = 150 \text{mm}; \quad \frac{h}{30} = \frac{600}{30} = 20 \text{mm}, \quad \text{取 } e_a = 20 \text{mm}$$

$$e_i = e_0 + e_a = 150 + 20 = 170 \text{mm}$$

$$\zeta_1 = \frac{0.5 f_c A}{N} = \frac{0.5 \times 16.7 \times 500 \times 600}{3600 \times 10^3} = 0.696$$

$$l_0/h = 7 < 15, \quad \text{取 } \zeta_2 = 1$$

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400 e_i/h_0} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \zeta_1 \zeta_2 = 1 + \frac{1}{1400 \times 170/560} (7)^2 \times 0.696 \times 1 = 1.08$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 1.08 \times 170 + \frac{600}{2} - 40 = 444 \text{mm}$$

2) 判别偏心类型

由计算公式 (6-41) 得:

$$x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b} = \frac{3600 \times 10^3}{1.0 \times 16.7 \times 500} = 431 \text{mm} > \xi_b h_0 = 0.518 \times 560 = 290 \text{mm}$$

属于小偏心受压。

3) 计算钢筋面积

按矩形截面对称配筋小偏心受压构件的近似公式 6-43 重新计算 ξ

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{N - \xi_b \alpha_1 f_c b h_0}{\frac{Ne - 0.43 \alpha_1 f_c b h_0^2}{(\beta_1 - \xi_b)(h_0 - a'_s)} + \alpha_1 f_c b h_0} + \xi_b \\ &= \frac{3600 \times 10^3 - 0.518 \times 1.0 \times 16.7 \times 500 \times 560}{\frac{3600 \times 10^3 \times 444 - 0.43 \times 1.0 \times 16.7 \times 500 \times 560^2}{(0.8 - 0.518)(560 - 40)} + 1.0 \times 16.7 \times 500 \times 560} + 0.518 \\ &= 0.667 \end{aligned}$$

$$\sigma_s = \frac{\xi - \beta_1}{\xi_b - \beta_1} f_y = \frac{0.667 - 0.8}{0.518 - 0.8} \times 360 = 170 \text{N/mm}^2$$

$$-f_y < \sigma_s < f_y$$

将 ξ 代入计算公式 (6-26) 得

$$\begin{aligned}
 A_s = A'_s &= \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi)}{f_y (h_0 - a'_s)} \\
 &= \frac{3600 \times 10^3 \times 444 - 1.0 \times 16.7 \times 500 \times 560^2 \times 0.667 (1 - 0.5 \times 0.667)}{360 \times (560 - 40)} \\
 &= 2325 \text{mm}^2 \\
 A'_s &> \rho'_{\min} b h = 0.002 \times 500 \times 650 = 650 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

选 $5\Phi 25$ ($A'_s = 2454 \text{mm}^2$)

4) 验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力

$$l_0/b = 4200/500 = 8.4 \quad \text{查表 6-1} \quad \varphi = 0.996$$

$$\begin{aligned}
 N_u &= 0.9\varphi[f_c A + f'_y(A'_s + A_s)] = 0.9 \times 0.996 \times (16.7 \times 500 \times 600 + 360 \times 2 \times 2454) \\
 &= 6075 \text{kN}
 \end{aligned}$$

满足要求。

6.8 对称配筋 I 形截面偏心受压构件正截面承载力计算

当柱截面尺寸较大时，为了节省混凝土，减轻自重，往往采用 I 形截面。I 形截面一般都采用对称配筋。I 形截面偏心受压构件的受力性能、破坏形态及计算原理与矩形偏心受压构件相同，仅由于截面形状不同而使计算公式稍有差别。

6.8.1 大偏心受压

对于 I 形截面大偏心受压构件，中和轴的位置可能在受压翼缘内，也可能进入腹板，见图 6-23。

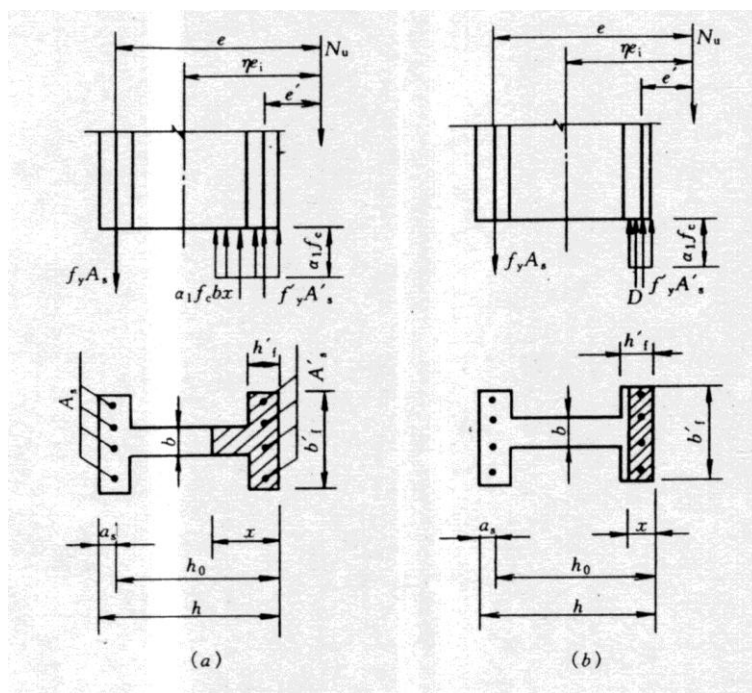


图 6-23 I 形截面大偏心受压计算图形

1. 计算公式

(1) 当 $x \leq h'_f$ 时，见图 6-23 (a)，由平衡条件可得

$$N \leq N_u = \alpha_1 f_c b'_f x \quad (6-55)$$

$$N e \leq N_u e = \alpha_1 f_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-56)$$

(2) 当 $h'_f < x \leq \xi_b h_0$ 时，见图 6-23 (b)，同样由平衡条件可得

$$N \leq N_u = \alpha_1 f_c b'_f x + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f \quad (6-57)$$

$$N e \leq N_u e = \alpha_1 f_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right) + f_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-58)$$

式中： b'_f 为受压翼缘的宽度； h'_f 为受压翼缘的高度。

2. 适用条件

为了保证上述计算公式成立，必须满足以下条件

$$x \leq \xi_b h_0$$

$$x \geq 2a'_s$$

3. 计算方法

将 I 形截面假想为宽度为 b'_f 的矩形截面，利用计算公式 (6-55) 求出截面受压区高度 x 。

$$x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b'_f}$$

根据 x 值的不同，分为三种情况。

(1) 当 $2a'_s \leq x \leq h'_f$ 时， x 值真实有效，代入计算公式 (6-56) 即可求出 A'_s ，取 $A_s = A'_s$ 。

(2) 当 $x > h'_f$ 时，则 x 值应利用计算公式 (6-57) 重新计算。然后代入计算公式 (6-58) 即可求出 A'_s ，取 $A_s = A'_s$ 。

(3) 当 $x < 2a'_s$ 时，取 $x = 2a'_s$ ，用下面计算公式计算配筋

$$A'_s = A_s = \frac{N(\eta e_i - \frac{h}{2} + a'_s)}{f_y (h_0 - a'_s)} \quad (6-59)$$

另外，不考虑受压钢筋作用，按不对称配筋计算出 A_s ，与上式计算结果比较，取小值后再进行对称配筋。

6.8.2 小偏心受压

对于 I 形截面小偏心受压构件，中和轴的位置也有两种情况：在腹板内或在离纵向力较远一侧的翼缘内。如图 (6-24) 所示

1. 计算公式

(1) 当 $\xi_b h_0 < x \leq h - h_f$ 时，

$$N \leq N_u = \alpha_1 f_c b h_0 \xi + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f + f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (6-60)$$

$$Ne \leq N_u e = \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f (h_0 - \frac{h'_f}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-61)$$

(2) 当 $h - h_f < x \leq h$ 时

$$N \leq N_u$$

$$= \alpha_1 f_c b h_0 \xi + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f + \alpha_1 f_c (b_f - b) [\xi h_0 - (h - h_f)] + f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (6-62)$$

$$Ne \leq N_u e$$

$$= \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi (1 - 0.5\xi) + \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f (h_0 - \frac{h'_f}{2}) + \alpha_1 f_c (b_f - b) [\xi h_0 - (h - h_f)] [h_f - a_s - \frac{\xi h_0 - (h - h_f)}{2}] + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) \quad (6-63)$$

式中 σ_s 仍按计算公式 (6.30) 计算。

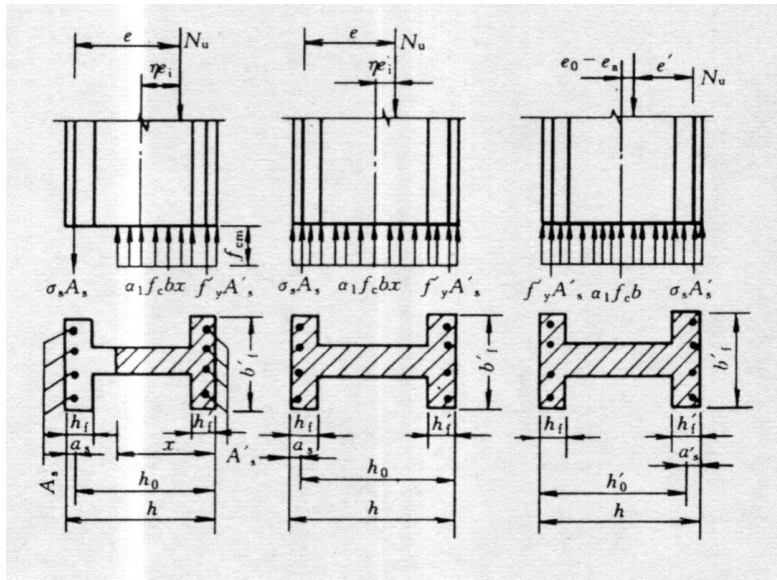


图 6-24 I 形截面小偏心受压计算图形

对于小偏心受压构件，尚应满足下式要求

$$N_u \left[\frac{h}{2} - a'_s - (e_0 - e_a) \right]$$

$$\leq \alpha_1 f_c \left[bh \left(h_0' - \frac{h}{2} \right) + (b_f - b) h_f \left(h_0' - \frac{h_f}{2} \right) + (b_f' - b) h_f' \left(\frac{h_f'}{2} - a_s' \right) \right] + f_y' A_s (h_0' - a_s)$$

(6-64)

式中 h_0' —— 钢筋 A_s' 合力点至离纵向力 N 较远一侧边缘的距离, $h_0' = h - a_s'$ 。

2. 适用条件

$$\xi > \xi_b$$

3. 计算方法

(1) 如果 $-f_y' \leq \sigma_s < f_y$, 且 $\frac{h-h_f}{h_0} < \xi \leq \frac{h}{h_0}$, 将 σ_s 代入计算公式 (6-63) 求出 A_s' ;

(2) 如果 $\sigma_s < -f_y'$, 且 $\frac{h-h_f}{h_0} < \xi \leq \frac{h}{h_0}$, 取 $\sigma_s = -f_y'$, 代入计算公式 (6-62)

后与计算公式 (6-63) 联立重新计算 ξ , 求出 A_s' ;

(3) 如果 $\sigma_s < -f_y'$, 且 $\xi > \frac{h}{h_0}$, 此时全截面受压, A_s 已达屈服强度。取 $\sigma_s = -f_y'$

及 $\xi = \frac{h}{h_0}$ 代入计算公式 (6-62) 和 (6-63) 各解得一个 A_s' , 取其大值。

(4) 如果 $-f_y' < \sigma_s < 0$, 且 $\xi > \frac{h}{h_0}$, 此时全截面受压, 但 A_s 未达屈服强度。取 $\xi = \frac{h}{h_0}$

代入计算公式 (6-62) 和 (6-63) 重新计算 σ_s 和 A_s' , 倘若仍有 $-f_y' < \sigma_s < 0$, 则 A_s' 为有效计算值。

弯矩作用平面内受压承载力计算后, 还要计算垂直于弯矩作用平面的受压承载力。

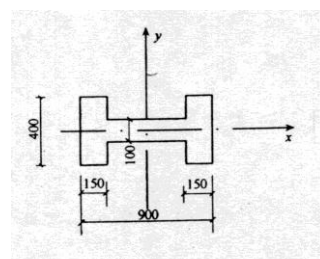
[例 6.15] I 形截面钢筋混凝土偏心受压柱,

柱子的截面尺寸为 $b = 100\text{mm}, h = 900\text{mm}$,

$b_f = b_f' = 400\text{mm}, h_f = h_f' = 150\text{mm}$,

如右图所示。柱子的计算长度 $l_0 = 5.6\text{m}$,

$a_s = a_s' = 40\text{mm}$ 。采用 C35 混凝土, HRB400



钢筋。截面承受轴向压力设计值 $N = 860kN$ ，
弯矩设计值 $M = 900kN \cdot m$ 。采用对称配筋。

求 A_s 和 A'_s 。

解：查表得 $f_c = 16.7N/mm^2$, $f_y = f'_y = 360N/mm^2$

1) 计算 η 、 e

$$A = bh + 2(b_f - b)h_f = 100 \times 900 + 2 \times (400 - 100) \times 150 = 18 \times 10^4 mm^2$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{1}{12}bh^3 + 2\left[\frac{1}{12}(b_f - b)h_f^3 + (b_f - b)h_f\left(\frac{h}{2} - \frac{h_f}{2}\right)^2\right] \\ &= \frac{1}{12} \times 100 \times 900^3 + 2 \times \left[\frac{1}{12}(400 - 100) \times 150^3 + (400 - 100) \times 150 \times \left(\frac{900}{2} - \frac{150}{2}\right)^2\right] \\ &= 189 \times 10^8 mm^4 \end{aligned}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{189 \times 10^8}{18 \times 10^4}} = 324 mm \quad \frac{l_0}{i_y} = \frac{5600}{324} = 17.3 < 17.5 \quad (\text{取 } \eta = 1)$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{900 \times 10^6}{860 \times 10^3} = 1047 mm \quad \frac{h}{30} = \frac{900}{30} = 30 mm > 20 mm \quad (\text{取}$$

$e_a = 20 mm)$

$$e_i = e_0 + e_a = 1047 + 30 = 1077 mm$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 1 \times 1077 + \frac{900}{2} - 40 = 1487 mm$$

2) 判别偏心受压类型，计算 A_s 和 A'_s

先假定中和轴在受压翼缘内，按计算公式 (6.55) 可以计算出受压区高度

$$x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b'_f} = \frac{860 \times 10^3}{1.0 \times 16.7 \times 400} = 129 mm < h'_f = 150 mm$$

且 $x > 2a'_s = 2 \times 40 = 80 mm$

柱子为大偏心受压构件，受压区在受压翼缘内，将 x 代入计算公式 (6-56) 得

$$A_s = A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b'_f x \left(h_0 - \frac{x}{2}\right)}{f'_y (h_0 - a'_s)}$$

$$= \frac{860 \times 10^3 \times 1487 - 1.0 \times 16.7 \times 400 \times 129 \times (860 - \frac{129}{2})}{360 \times (860 - 40)}$$

$$= 2010 \text{mm}^2 > \rho_{\min} A = 0.002 \times 18 \times 10^4 = 360 \text{mm}^2$$

选用 $2\Phi 25 + 3\Phi 22$ ($A_s = A'_s = 2122 \text{mm}^2$), 截面总配筋率

$$\rho = \frac{A_s + A'_s}{A} = \frac{2122 \times 2}{18 \times 10^4} = 0.0236 > 0.005 \text{ (满足要求)}$$

3) 验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力

$$I_x = \frac{1}{12} (h - 2h_f) b^3 + 2 \times \frac{1}{12} h_f b_f^3$$

$$= \frac{1}{12} (900 - 2 \times 150) \times 100^3 + 2 \times \frac{1}{12} \times 150 \times 400^3$$

$$= 16.5 \times 10^8 \text{mm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{16.5 \times 10^8}{18 \times 10^4}} = 95.7 \text{mm}$$

$$l_0 / i_x = 5600 / 95.7 = 58.5 \quad \text{查表 (6.1) 得 } \varphi = 0.84$$

$$N_u = 0.9 \varphi (f_c A + f'_y A'_s)$$

$$= 0.9 \times 0.84 \times (16.7 \times 18 \times 10^4 + 360 \times 2 \times 2122)$$

$$= 3428 \text{kN} > N = 860 \text{kN}$$

满足要求。

[例 6.16] 已知条件同例 6.15, 截面承受轴向压力设计值 $N = 1400 \text{kN}$, 弯矩设计值

$M = 952 \text{kN} \cdot \text{m}$, 采用对称配筋。求 A_s 和 A'_s 。

解:

1) 计算 e

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{952 \times 10^6}{1400 \times 10^3} = 680 \text{mm} \quad e_i = e_0 + e_i = 680 + 30 = 710 \text{mm}$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a_s = 1.0 \times 710 + \frac{900}{2} - 40 = 1120 \text{mm}$$

2) 判别偏心受压类型, 计算 A_s 和 A'_s 。

先假定中和轴在受压翼缘内, 按计算公式 (6-55) 计算受压区高度

$$x = \frac{N}{\alpha_1 f_c b'_f} = \frac{1400 \times 10^3}{1.0 \times 16.7 \times 400} = 210 \text{mm} > h'_f = 150 \text{mm}$$

受压区已经进入腹板，按计算公式（6-57）重新计算受压区高度

$$\begin{aligned} x &= \frac{N - \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f}{\alpha_1 f_c b'_f} \\ &= \frac{1400 \times 10^3 - 1.0 \times 16.7 \times (400 - 100) \times 150}{1.0 \times 16.7 \times 100} \\ &= 388 \text{mm} < \xi_b h_0 = 0.518 \times 860 = 445 \text{mm} \end{aligned}$$

为大偏心受压构件，将 x 代入计算公式（6-58）得

$$\begin{aligned} A_s = A'_s &= \frac{Ne - \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) - \alpha_1 f_c (b'_f - b) h'_f (h_0 - \frac{h'_f}{2})}{f'_y (h_0 - a'_s)} \\ &= \frac{1400 \times 10^3 \times 1120 - 1.0 \times 16.7 \times 100 \times 388 \times (860 - 388/2)}{360 \times (860 - 40)} \\ &\quad - \frac{1.0 \times 16.7 \times (400 - 100) \times 150 \times (860 - 150/2)}{360 \times (860 - 40)} \\ &= 1851 \text{mm}^2 > \rho_{\min} A = 360 \text{mm}^2 \end{aligned}$$

选用 $5\Phi 22$ ($A_s = A'_s = 1900 \text{mm}^2$)。截面总配筋率

$$\rho = \frac{A_s + A'_s}{A} = \frac{1900 \times 2}{18 \times 10^4} = 0.021 > 0.005 \text{ (满足要求)}$$

3) 验算垂直于弯矩作用平面的受压承载力

$$\begin{aligned} N_u &= 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s) \\ &= 0.9 \times 0.84 \times (16.7 \times 18 \times 10^4 + 360 \times 1900 \times 2) \\ &= 3307 \text{kN} > N = 1400 \text{kN} \end{aligned}$$

满足要求。

6.11 偏心受压构件斜截面承载力计算

一般情况下，偏心受压构件的剪力值相对较小，可不进行斜截面的承载力计算。但对于有较大水平力作用的框架柱、有横向力作用的桁架上弦压杆，剪力影响较大，必须进行斜截面承载力计算。

试验表明，轴向压力对构件抗剪有利，轴向压力的存在能够阻滞斜裂缝的出现和开展，增加混凝土剪压区的高度，使剪压区的面积相对增大，提高了剪压区混凝土的抗剪能力。但是，轴向压力对构件抗剪承载力的提高有一定限度。在构件的轴压比 $\frac{N}{f_c bh}$ 较小时，构件的抗剪能力随轴压比的增大而提高，当轴压比达到 0.3~0.5 时，抗剪承载力达到最大值。若再增大轴压力，构件的抗剪承载力反而降低，转变为带有斜裂缝的小偏心受压破坏。如图 6—29 所示。

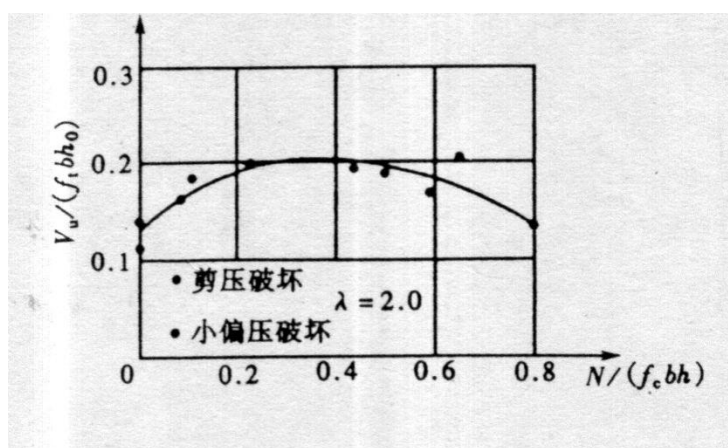


图 6—29 受剪承载力与轴向压力的关系

根据试验资料分析，对于矩形、T 形和 I 形截面偏心受压构件的受剪承载力采用在受弯构件受剪承载力计算公式的基础上增加一项附加受剪承载力的办法来考虑轴向压力的有利影响，按下式进行计算：

$$V_u = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 1.0 f_{yv} \frac{A_{yv}}{s} h_0 + 0.07 N \quad (6-79)$$

式中： λ ——偏心受压构件计算截面的剪跨比；

(1) 对框架柱，取 $\lambda = \frac{M}{V h_0}$ ；当框架柱的反弯点在层高范围内时，可取 $\lambda = \frac{H_n}{2 h_0}$

(M 为计算截面与 V 相应的弯矩设计值， H_n 为柱的净高)。当 $\lambda < 1$ 时，取 $\lambda = 1$ ；当 $\lambda > 3$ 时，取 $\lambda = 3$ 。

(2) 对其他偏心受压构件，当承受均布荷载时，取 $\lambda = 1.5$ ；当承受集中荷载时（包括作用有多种荷载、其中集中荷载对支座截面或节点边缘所产生的剪力值占总剪力值的 75% 以上），取 $\lambda = \frac{a}{h_0}$ （ a 为集中荷载至支座或节点边缘的距离）。当 $\lambda < 1.5$ 时，取 $\lambda = 1.5$ ；当

$\lambda > 3$ 时, 取 $\lambda = 3$ 。

N ——与剪力设计值 V 相应的轴向压力设计值; 当 $N > 0.3f_c A$ 时, 取

$N = 0.3f_c A$ (A 为构件的截面面积)。

若满足下述公式要求, 可不进行斜截面受剪承载力计算, 按照构造要求配置箍筋。

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 0.07N \quad (6-80)$$

偏心受压构件的受剪截面尺寸尚应符合《规范》的有关规定。

思考题

1. 轴心受压普通箍筋短柱的破坏形态与长柱有什么区别?
2. 轴心受压普通箍筋柱与螺旋箍筋柱在承载力计算方面有什么区别?
3. 偏心受压短柱的两种破坏形态各在什么条件下出现? 如何划分偏心受压构件的类型?
4. 为什么要考虑附加偏心距 e_a ? 如何考虑?
5. 偏心受压构件的二阶弯矩产生的原因是什么? 二阶弯矩对构件的承载力有何影响? 在承载力计算时如何考虑?
6. 小偏心受压时, A_s 的应力如何确定?
7. 试画出矩形截面大、小偏心受压破坏时截面应力计算图形, 标注出钢筋和受压混凝土的应力值。
8. 大偏心受压构件和双筋受弯构件的截面应力图形和计算公式有何异同?
9. 如何计算矩形截面大偏心受压构件正截面承载力?
10. 如何计算矩形截面小偏心受压构件正截面承载力?
11. 对称配筋时如何区分大、小偏心受压破坏?
12. 怎样进行对称配筋矩形截面偏心受压构件的正截面承载力计算?
13. 偏心受压构件的 $N_u - M_u$ 相关曲线是如何建立的? 研究 $N_u - M_u$ 相关曲线有何意义?
14. 如何计算双向偏心受压构件的正截面承载力?
15. 如何计算偏心受压构件的斜截面受剪承载力?

习 题

1. 某多层现浇钢筋混凝土框架结构, 层高 $H = 6m$, 其内柱承受轴向压力设计值 $N = 1800kN$, 截面尺寸 $400mm \times 400mm$, 采用 C25 混凝土, HRB335 级钢筋, 试计算纵筋截面面积。
2. 已知圆形截面现浇钢筋混凝土柱, 承受轴向压力设计值 $N = 2800kN$, 受使用条件限制, 直径不能超过 $400mm$, 计算长度 $l_0 = 4.0m$, 混凝土采用 C25, 纵向钢筋采用 HRB335, 箍筋采用 HPB235。试设计该柱。

3. 已知某钢筋混凝土偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 560kN$ ，弯矩设计值 $M = 500kN \cdot m$ ，截面尺寸 $b = 400mm, h = 600mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 6.9m$ ，采用 C30 混凝土，HRB335 级钢筋，试计算纵筋截面面积 A_s 和 A'_s 。

4. 已知某钢筋混凝土偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 330kN$ ，弯矩设计值 $M = 180kN \cdot m$ ，截面尺寸 $b = 300mm, h = 400mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 3.6m$ ，采用 C25 混凝土，HRB400 级钢筋，试计算纵筋截面面积 A_s 和 A'_s 。

5. 已知条件同习题 4，当受压区已配置有 4 根直径 16mm 的钢筋 ($A'_s = 804mm^2$) 时，试计算 A_s 。

6. 已知某钢筋混凝土偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 3200kN$ ，弯矩设计值 $M = 84kN \cdot m$ ，截面尺寸 $b = 400mm, h = 600mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 5.7m$ ，采用 C35 混凝土，HRB400 级钢筋，试计算纵筋截面面积 A_s 和 A'_s 。

7. 钢筋混凝土偏心受压柱，截面尺寸 $b = 400mm, h = 600mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 4.8m$ ，采用 C30 混凝土，HRB400 级钢筋，已配置纵筋截面面积 $A_s = 1017mm^2$ 和 $A'_s = 615mm^2$ 。求截面能够承受的偏心压力设计值。

8. 钢筋混凝土偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 2000kN$ ，弯矩设计值 $M = 540kN \cdot m$ ，截面尺寸 $b = 450mm, h = 600mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 4.5m$ ，采用 C35 混凝土，HRB400 级钢筋，试按对称配筋计算纵筋截面面积 A_s 和 A'_s 。

9. 按对称配筋计算习题 6 偏心受压柱的纵筋截面面积 A_s 和 A'_s 。

10. 钢筋混凝土 I 形截面偏心受压柱，承受轴向压力设计值 $N = 640kN$ ，弯矩设计值 $M = 225kN \cdot m$ ，截面 $b = 100mm, h = 700mm, b_f = b'_f = 350mm, h_f = h'_f = 112mm$ ， $a_s = a'_s = 40mm$ ，计算长度 $l_0 = 6.0m$ ，采用 C30 混凝土，HRB335 级钢筋，对称配筋，试计算纵筋截面面积。

