

第7章

受拉构件的受力性能与设计

教学提示：本章主要介绍轴心受拉构件、偏心受拉构件的受力性能与设计计算方法；重点是轴心受拉构件和偏心受拉构件正截面受拉承载力的计算，应引导学生将本章大小偏心受拉构件与第6章大小偏心受压构件正截面承载力的计算方法相比较。

学习要求：通过本章学习，学生应掌握轴心受拉构件正截面受拉承载力的计算，掌握偏心受拉构件两种破坏形态的特征和正截面受拉承载力的计算，了解轴向拉力对斜截面受剪承载力的影响，熟悉偏心受拉构件斜截面受剪承载力的计算。

7.1 受拉构件的分类

承受轴向拉力且轴向拉力起控制作用或承受轴向拉力与弯矩共同作用的构件称为受拉构件。受拉构件可分为轴心受拉和偏心受拉两种类型。其中，轴向拉力作用线与构件正截面形心线重合且不受弯矩作用的构件称为轴心受拉构件；轴向拉力作用线与构件正截面形心线不重合或构件承受轴向拉力与弯矩共同作用的构件称为偏心受拉构件。

由于混凝土是一种非匀质材料，加之荷载不可避免的偏心和施工上的误差，无法做到轴向拉力能通过构件正截面的形心线，因此严格地说实际工程中没有真正的轴心受拉构件。但当构件上弯矩很小(或偏心距很小)时，为方便计算，可将此类构件简化为轴心受拉构件进行设计，如承受节点荷载的屋架或托架的受拉弦杆、腹杆，刚架、拱的拉杆，以及承受内压力的环形管壁和圆形贮液池的壁筒等，如图7.1(a)、(b)所示。

偏心受拉构件是一种介于轴心受拉构件与受弯构件之间的受力构件，如矩形水池的池壁、工业厂房双肢柱的受拉肢杆、受地震作用的框架边柱、承受节间荷载的屋架下弦拉杆等，如图7.1(c)所示。

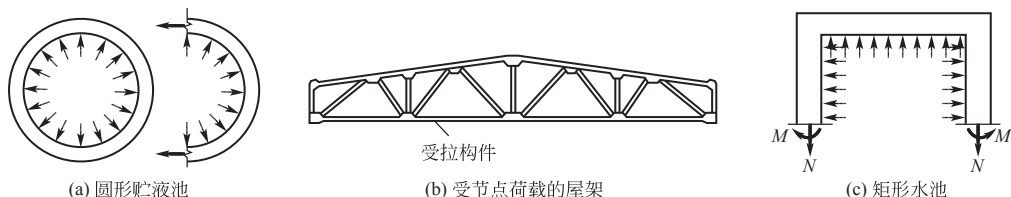


图 7.1 受拉构件工程实例

7.2 轴心受拉构件的正截面承载力计算

7.2.1 轴心受拉构件的受力特点

混凝土抗拉强度很低,利用素混凝土抵抗拉力是不合理的。但对于钢筋混凝土受拉构件,在混凝土开裂退出工作后,裂缝截面的拉力由钢筋承受。钢筋周围的混凝土可以保护钢筋,节省经常性的维护费用,且抗拉刚度比钢拉杆大。对于不允许开裂的轴心受拉构件,应遵守专门规范的规定。

轴心受拉构件从开始加载到构件破坏,受力过程可分为三个阶段。

1. 第Ⅰ阶段

从开始加载到混凝土即将开裂为第Ⅰ阶段。这一阶段混凝土与钢筋共同受力,轴向拉力与变形基本为线性关系。随着荷载的增加,混凝土很快达到极限拉应变,即将出现裂缝。对于使用阶段不允许开裂的构件,应以此受力状态作为抗裂验算的依据。

2. 第Ⅱ阶段

从混凝土开裂到受拉钢筋即将屈服为第Ⅱ阶段。当裂缝出现后,裂缝截面处的混凝土逐渐退出工作,截面上的拉力全部由钢筋承受。对于使用阶段允许出现裂缝的构件,应以此阶段作为裂缝宽度验算的依据。

3. 第Ⅲ阶段

从受拉钢筋屈服到构件破坏为第Ⅲ阶段,构件某一裂缝截面的受拉钢筋应力首先达到屈服强度,随即裂缝迅速开展,荷载稍有增加甚至不增加,都会导致裂缝截面的全部钢筋达到屈服强度。此时,可认为构件达到了破坏状态,即达到极限荷载 N_u 。应以此受力状态作为截面承载力计算的依据。

7.2.2 轴心受拉构件正截面承载力计算

轴心受拉构件破坏时,裂缝截面的混凝土不承受拉力,全部拉力由钢筋承受,图7.2所示为其正截面承载力计算简图。轴心受拉构件正截面承载力计算公式如下

$$N \leq N_u = f_y A_s \quad (7-1)$$

式中 N ——轴向拉力设计值;

f_y ——钢筋抗拉强度设计值,按附表1-7取用,为防止构件在正常使用阶段变形过大,裂缝过宽,取值不应大于300MPa;

A_s ——受拉钢筋截面面积,应满足 $A_s \geq \max\{0.9f_t/f_y\}A$, A 为构件截面面积。

【例7.1】 已知某钢筋混凝土屋架下弦,截面尺寸 $b \times h = 200\text{mm} \times 150\text{mm}$,承受的轴心拉力设计值 $N = 235\text{kN}$,混凝土强度等级C30,钢筋为HRB335级。求截面配筋。

【解】

查附表1-2得C30混凝土, $f_t = 1.43\text{MPa}$;查附表1-7得HRB335钢筋, $f_y = 300\text{MPa}$ 。

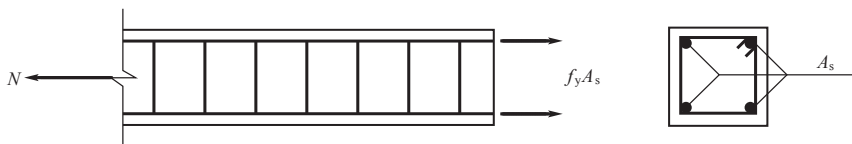


图 7.2 轴心受拉承载力计算简图

计算由最小配筋率控制的钢筋面积： $(0.9f_t/f_y)A=128.7\text{mm}^2$ ； $0.004A=120\text{mm}^2$

由式(7-1)得 $A_s=N/f_y=\frac{235\times 10^3}{300}=783\text{mm}^2>\rho_{\min}A=128.7\text{mm}^2$ (满足要求)。

选用 $4\Phi 16$ ， $A_s=804\text{mm}^2$ 。

7.3 偏心受拉构件的正截面承载力计算

7.3.1 偏心受拉构件正截面的破坏形态

偏心受拉构件同时承受轴心拉力 N 和弯矩 M ，其偏心距 $e_0=M/N$ 。它是一种介于轴心受拉构件($e_0=0$)与受弯构件($N=0$ ，相当于 $e_0=\infty$)之间的受力构件。偏心受拉构件纵向钢筋的布置方式与偏心受压构件相同，离轴向拉力较近一侧所配置的钢筋称为受拉钢筋，其截面面积用 A_s 表示；离轴向拉力较远一侧所配置的钢筋称为受压钢筋，其截面面积用 A'_s 表示。根据偏心距大小的不同，构件破坏分为小偏心受拉破坏和大偏心受拉破坏两种情况。

1. 小偏心受拉破坏

当轴向拉力 N 作用在 A_s 合力点与 A'_s 合力点之间(即 $e_0\leq h/2-a_s$)时(见图 7.3)，发生小偏心受拉破坏。

当偏心距很小时($e_0\leq h/6$)，构件开裂前后均处于全截面受拉的状态。当轴向拉力 N 增大到某一值时，离轴向拉力较近一侧截面边缘混凝土达到极限拉应变，混凝土开裂，而且整个截面裂通，拉力全部由钢筋(A_s 、 A'_s)承受，只是 A_s 承受的拉力较大。当偏心距稍大时($h/6<e_0\leq h/2-a_s$)，起初，截面一侧受拉，另一侧受压，随着偏心拉力的增大，靠近偏心拉力一侧的混凝土先开裂。由于偏心拉力作用于 A_s 和 A'_s 之间，在 A_s 一侧的混凝土开裂后，为保持力的平衡，在 A'_s 一侧的混凝土将不可能再存在受压区，此时中和轴已经移至截面之外，而使这部分混凝土转化为受拉，并随偏心拉力的增大而开裂。由于截面应变的变化， A'_s 也转为受拉。上述两种情况，破坏时截面混凝土都将裂通，偏心拉力全由左右两侧的纵向钢筋承受。只要配筋合适，则当截面达到承载能力极限状态时，钢筋 A_s 和 A'_s 均能屈服。因此可以认为，对 $0<e_0\leq h/2-a_s$ 的小偏心受拉构件，达到承载能力极限状态时，裂缝截面混凝土完全不参加工作，钢筋 A_s 及 A'_s 均受拉屈服。

2. 大偏心受拉破坏

当轴向拉力 N 作用在 A_s 合力点与 A'_s 合力点之外(即 $e_0>h/2-a_s$)时(见图 7.4)，发生大偏心受拉破坏。

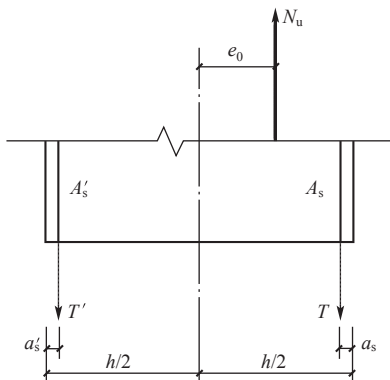


图 7.3 小偏心受拉破坏

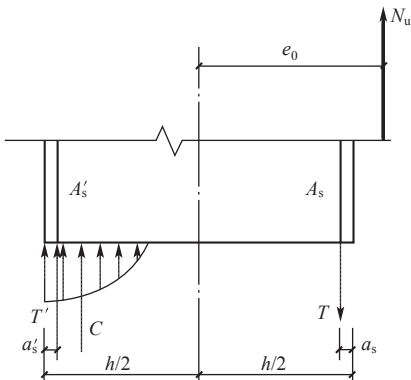


图 7.4 大偏心受拉破坏

加载开始后,随着轴向拉力 N 的增大,离轴向拉力较近一侧的混凝土首先开裂,但截面不会裂通,离轴向拉力较远一侧仍保留有受压区。破坏特征与 A_s 的数量多少有关,当 A_s 数量适当时,受拉钢筋首先屈服,然后受压钢筋应力达到屈服强度,受压区边缘混凝土达到极限压应变而破坏,这与大偏心受压破坏特征类似。设计时应以这种破坏形式为依据。而当 A_s 数量过多时,则首先是受压区混凝土被压坏,受压钢筋屈服,但受拉钢筋 A_s 不屈服,这种破坏形式具有脆性性质,设计时应予以避免。

可见,大、小偏心受拉构件的本质界限是破坏时构件截面上是否存在受压区。而是否存在受压区与轴向拉力 N 作用点的位置有直接关系,所以在实际设计中以轴向拉力 N 的作用点在钢筋 A_s 和 A_s' 之间或钢筋 A_s 和 A_s' 之外,作为判别大小偏心受拉的界限。

- (1) 当偏心距 $e_0 \leq h/2 - a_s$ 时,属于小偏心受拉构件。
- (2) 当偏心距 $e_0 > h/2 - a_s$ 时,属于大偏心受拉构件。

7.3.2 矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力计算的基本公式及其适用条件

小偏心受拉构件达到承载能力极限状态时,其全截面混凝土裂通,裂缝截面的拉力全部由钢筋承担,其应力均达到屈服强度 f_y 。分别对 A_s 及 A_s' 取矩(见图 7.5),可得到矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力的基本计算公式

$$\begin{cases} Ne \leq N_u e = f_y A_s' (h_0 - a_s') & (7-2-1) \\ Ne' \leq N_u e' = f_y A_s (h_0' - a_s) & (7-2-2) \end{cases}$$

式中 e ——轴向拉力至钢筋 A_s 合力点的距离, $e = h/2 - a_s - e_0$;
 e' ——轴向拉力至钢筋 A_s' 合力点的距离, $e' = h/2 - a_s' + e_0$ 。

为了保证构件不发生少筋破坏,基本计算公式的适用条件为: $A_s \geq \max\{(0.45f_t/f_y)A$

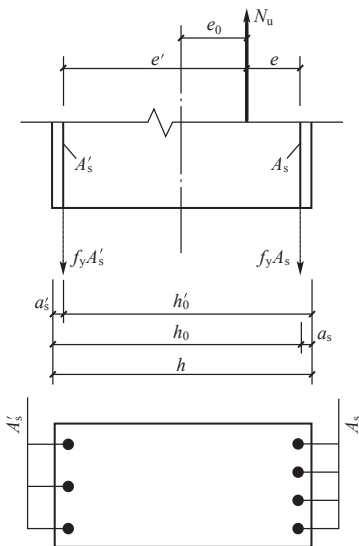


图 7.5 小偏心受拉构件正截面承载力计算简图

$0.002A$ }, $A'_s \geq \max\{(0.45f_t/f_y)A, 0.002A\}$, A 为构件截面面积。即 A_s 、 A'_s 应满足最小配筋率要求。

对称配筋时

$$A'_s = A_s = \frac{Ne'}{f_y(h'_0 - a_s)} \quad (7-3)$$

当小偏心受拉构件所采用的钢筋抗拉强度设计值大于 300MPa 时, 计算中仍应按 300MPa 取用。这一限制主要是因为一旦开裂, 构件将全部裂通, 若钢筋强度高, 将使裂缝宽度无法控制。

7.3.3 矩形截面大偏心受拉构件正截面承载力计算的基本公式及其适用条件

达到承载能力极限状态时, 大偏心受拉构件离轴向拉力较近一侧的混凝土开裂, 钢筋 A_s 受拉屈服; 另一侧的混凝土压碎, 钢筋 A'_s 受压屈服。因此, 在进行正截面承载力计算时, 纵向受拉钢筋 A_s 的应力取抗拉强度设计值 f_y , 纵向受压钢筋 A'_s 的应力取抗压强度设计值 f'_y , 混凝土压应力分布采用等效矩形应力图, 其应力值为 $\alpha_1 f_c$, 受压区高度为 x , 截面应力计算简图如图 7.6 所示。

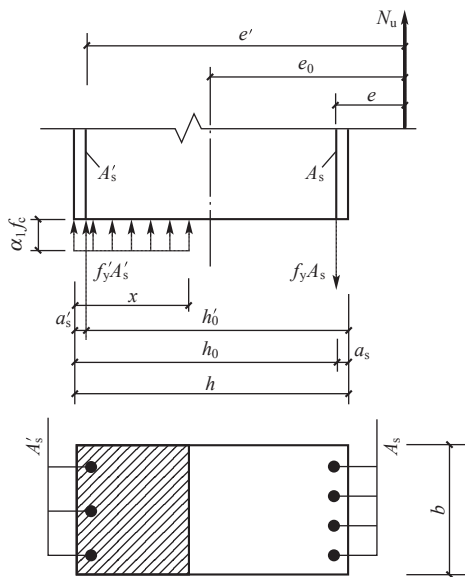


图 7.6 大偏心受拉构件正截面承载力计算简图

由力和力矩平衡条件, 可得到大偏心受拉构件正截面承载力的基本计算公式, 即

$$\begin{cases} \sum N = 0 & N \leq N_u = f_y A_s - f'_y A'_s - \alpha_1 f_c b x & (7-4-1) \\ \sum M_{A_s} = 0 & Ne \leq N_u e = \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) & (7-4-2) \end{cases}$$

式中 e ——轴向拉力至 A_s 合力点的距离, $e = e_0 - h/2 + a_s$ 。

为了保证构件不发生超筋和少筋破坏, 且使纵向受压钢筋 A'_s 应力达到屈服强度, 基本公式的适用条件为

$$(1) x \leq \xi_b h_0。$$

$$(2) x \geq 2a'_s。$$

$$(3) A_s \geq \max\{(0.45f_t/f_y)A, 0.002A\}, A'_s \geq 0.002A, A \text{ 为构件截面面积。}$$

当 $x < 2a'_s$ 时, A'_s 不会受压屈服, 即 A'_s 的应力是未知数, 此时式(7-4-1)和式(7-4-2)不再适用。这时, 可令 $x = 2a'_s$, 对 A'_s 合力点取矩, 得

$$Ne' \leq f_y A_s (h'_0 - a_s) \quad (7-5)$$

式中 e' ——轴向拉力至钢筋 A'_s 合力点的距离, $e' = e_0 + h/2 - a'_s$

利用式(7-5)计算出 A_s , 然后再取 $A'_s = 0$ 计算出 A_s , 最后按两种计算的较小值进行配筋。

对称配筋时, 由于 $A_s = A'_s$, $f_y = f'_y$, 代入基本计算公式(7-4-1)后, 求出的 x 必然为负值, 属于 $x < 2a'_s$ 的情况。因此, 大偏心受拉构件对称配筋时, 也应按式(7-5)计算。

7.3.4 截面设计与截面复核

对称配筋的矩形截面偏心受拉构件, 不论大小偏心均可按式(7-5)计算, 计算比较简单。因此, 下面仅介绍非对称配筋时的设计计算方法。

1. 截面设计

偏心受拉构件的截面设计, 分成“ A'_s 、 A_s 均未知”和“ A'_s 已知、 A_s 未知”两种情形。当 $e_0 \leq h/2 - a_s$ 时, 按小偏心受拉设计; 当 $e_0 > h/2 - a_s$ 时, 按大偏心受拉设计。

1) 情形一: A'_s 、 A_s 均未知

(1) 对于小偏心受拉 A'_s 、 A_s 均未知时的截面设计。已知截面尺寸、材料强度、轴向拉力 N 及其作用点位置 e_0 (或轴向拉力 N 及截面弯矩 M), 求 A'_s 、 A_s 。

当 $e_0 \leq h/2 - a_s$ 时为小偏心受拉, 应按式(7-2-1)、式(7-2-2)计算 A'_s 与 A_s , 求得的 A'_s 、 A_s 要满足最小配筋率条件。

(2) 对于大偏心受拉 A'_s 、 A_s 均未知时的截面设计。已知截面尺寸、材料强度、轴向拉力 N 及其作用点位置 e_0 (或轴向拉力 N 及截面弯矩 M), 求 A'_s 、 A_s 。

① 判别类型。当 $e_0 > h/2 - a_s$ 时为大偏心受拉。

② 求 A'_s 。为充分发挥受压区混凝土的抗压作用, 同偏心受压构件一样, 为了使钢筋总用量($A_s + A'_s$)最少, 取 $x = \xi_b h_0$ 代入式(7-4-2)求 A'_s , 得

$$A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi_b (1 - 0.5 \xi_b)}{f'_y (h_0 - a'_s)} \quad (7-6-1)$$

③ 求 A_s 。若求得的 $A'_s \geq \rho'_{\min} b h$, 则将 A'_s 及 $x = \xi_b h_0$ 代入式(7-4-1)求 A_s , 得

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b h_0 \xi_b + f'_y A'_s + N}{f_y} \quad (7-6-2)$$

若求得的 $A'_s < \rho'_{\min} b h$ 甚至出现负值时, 可先按构造要求取 $A'_s = \rho'_{\min} b h$, 然后转 A'_s 已知的情形二。

矩形截面非对称配筋偏心受拉构件 A'_s 、 A_s 均未知时的截面设计可按下列流程图进行(见图 7.7)。

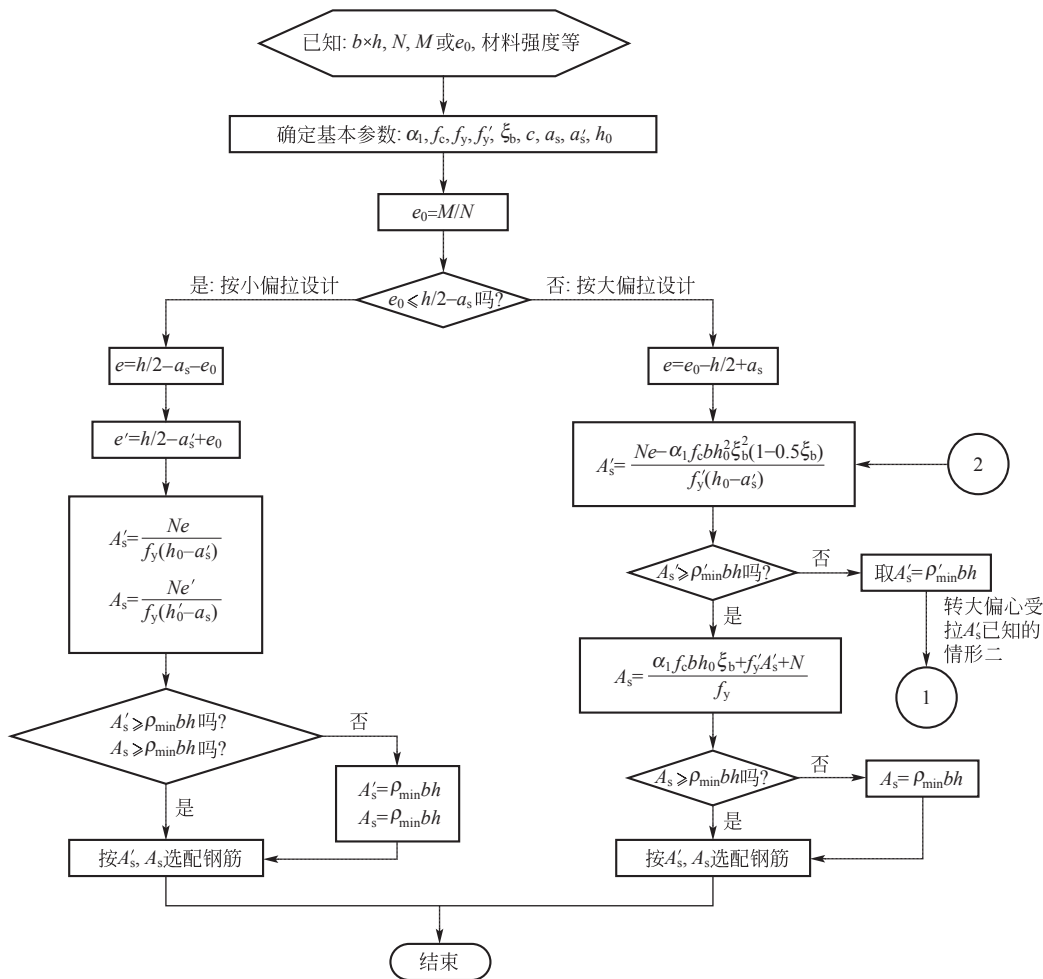


图 7.7 矩形截面非对称配筋偏心受拉构件 A'_s 、 A_s 均未知时的截面设计流程图

注: 图中①、②的对接位置如图 7.9 所示。

【例 7.2】 某钢筋混凝土偏心受拉构件(见图 7.8), 安全等级为二级, 处于一类环境, 截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 400\text{mm}$, 承受轴向拉力设计值 $N = 650\text{kN}$, 弯矩设计值 $M = 74\text{kN} \cdot \text{m}$, 采用 C30 混凝土和 HRB400 级钢筋。求钢筋截面面积 A_s 、 A'_s 。

【解】

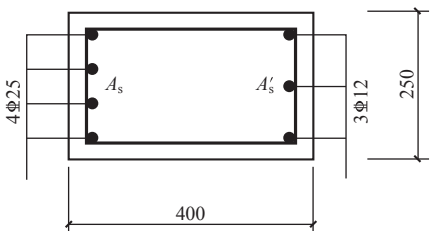


图 7.8 例 7.2 截面配筋简图

(1) 确定基本参数。

查附表 1-2 和附表 1-7, C30 混凝土 $f_t = 1.43\text{MPa}$, HRB400 级钢筋 $f_y = 360\text{MPa}$

查附表 1-14, 一类环境, $c = 30\text{mm}$, 取 $a'_s = a_s = 40\text{mm}$, 则 $h_0 = h'_0 = 400\text{mm} - 40\text{mm} = 360\text{mm}$

(2) 判断偏心类型。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{74 \times 10^6}{650 \times 10^3} = 114\text{mm} < \frac{h}{2} - a_s =$$

160mm, 属于小偏心受拉构件。根据《规范》GB 50010“轴心受拉和小偏心受拉构件的钢筋抗拉强度设计值大于300MPa时, 仍应按300MPa取用”的要求, 取 $f_y = f'_y = 300\text{MPa}$

(3) 计算几何条件。

$$e = \frac{h}{2} - e_0 - a_s = \frac{400}{2} \text{mm} - 114 \text{mm} - 40 \text{mm} = 46 \text{mm}$$

$$e' = \frac{h}{2} + e_0 - a'_s = \frac{400}{2} \text{mm} + 114 \text{mm} - 40 \text{mm} = 274 \text{mm}$$

(4) 求 A_s 和 A'_s 。由式(7-2-1)、式(7-2-2)得

$$A'_s = \frac{Ne}{f_y(h_0 - a'_s)} = \frac{650 \times 10^3 \times 46}{300 \times (360 - 40)} \text{mm}^2 = 311 \text{mm}^2$$

$$A_s = \frac{Ne'}{f_y(h'_0 - a_s)} = \frac{650 \times 10^3 \times 274}{300 \times (360 - 40)} \text{mm}^2 = 1855 \text{mm}^2$$

$$0.45 \frac{f_t}{f_y} = 0.45 \times \frac{1.43}{300} = 0.0021 > 0.002 (\text{取 } \rho_{\min} = 0.0021)$$

$$A'_{s, \min} = A_{s, \min} = \rho_{\min} bh = 0.0021 \times 250 \times 400 \text{mm}^2 = 210 \text{mm}^2$$

A_s 、 A'_s 均满足最小配筋率要求。 A'_s 选3 Φ 12($A'_s = 339 \text{mm}^2$)。 A_s 选4 Φ 25($A_s = 1964 \text{mm}^2$)。

2) 情形二： A'_s 已知、 A_s 未知

(1) 对于小偏心受拉 A'_s 已知、 A_s 未知时的截面设计。由小偏心受拉基本计算公式式(7-2-1)和式(7-2-2)可知, A'_s 与 A_s 是相互独立的,即 A'_s 配多配少不影响 A_s 的配筋量;而且不管 A'_s 是否事先已知, A'_s 的配筋量必须满足式(7-2-1)的要求。同时,此阶段又是截面设计阶段,其配筋量是可以调整的。因此,对于小偏心受拉 A'_s 已知的情况,其 A'_s 、 A_s 仍应满足式(7-2-1)和式(7-2-2)的要求,且应满足最小配筋率的要求;即与 A'_s 、 A_s 均未知时的计算基本相同。

(2) 对于大偏心受拉 A'_s 已知、 A_s 未知时的截面设计。

① 将 A'_s 代入式(7-4-2)计算 x ,得

$$x = h_0 \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2[Ne - f'_y A'_s (h_0 - a'_s)]}{\alpha_1 f'_c b h_0^2}} \right\} \quad (7-7)$$

② 若 $2a'_s \leq x \leq \xi_b h_0$,将 A'_s 及 x 代入式(7-4-1)计算 A_s 。

③ 若 $x < 2a'_s$,则由式(7-5)以及取 $A'_s = 0$ 分别计算 A_s ,取两者中的较小值,同时应满足 $A_s \geq \rho_{\min} bh$ 。

④ 若 $x > \xi_b h_0$,则说明已知的 A'_s 太小,应按 A'_s 及 A_s 均未知的情形一计算或增大截面尺寸重新计算。

矩形截面非对称配筋偏心受拉构件 A'_s 已知、 A_s 未知时的截面设计可按下列流程图进行(见图7.9)。

【例7.3】某钢筋混凝土矩形水池,如图7.10所示,安全等级为二级,壁厚300mm,池壁跨中水平向每米宽度上最大弯矩 $M = 408 \text{kN} \cdot \text{m}$,相应的轴向拉力 $N = 300 \text{kN}$,采用C25混凝土,HRB335级钢筋,试求池壁水平向所需钢筋。

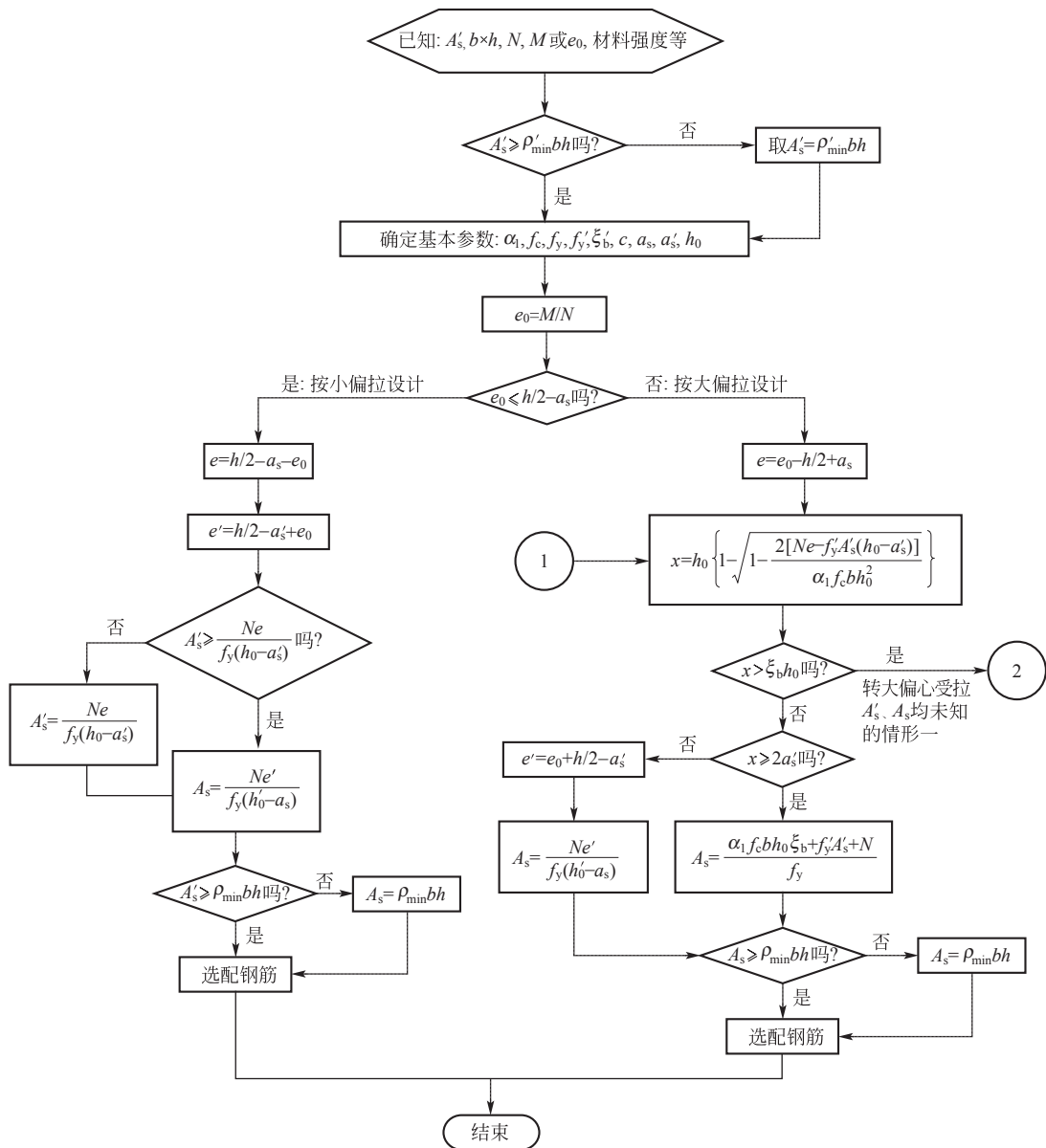


图 7.9 矩形截面非对称配筋偏心受拉构件 \$A'_s\$ 已知、\$A_s\$ 未知时的截面设计流程图
注：图中①、②的对接位置如图 7.7 所示。

【解】

(1) 确定基本参数。

查附表 1-2 和附表 1-7, C25 混凝土 \$f_t = 1.27\text{MPa}\$, \$f_c = 11.9\text{MPa}\$, HRB335 级钢筋 \$f_y = 300\text{MPa}\$, \$\xi_b = 0.55\$

对于水池, 取 \$c = 30\text{mm}\$, 且取 \$a'_s =

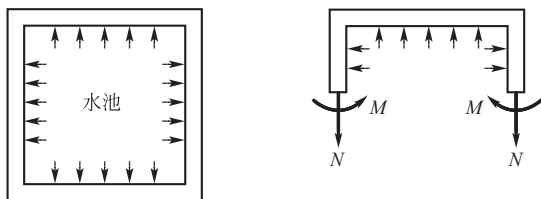


图 7.10 例 7.3 矩形水池池壁弯矩 \$M\$ 和拉力 \$N\$ 的示意图 \$a_s = 40\text{mm}\$

$$\rho_{\min} = 0.2\% > 45 \frac{f_t}{f_y} \% = 45 \times \frac{11.9}{300} \% = 0.179\%, \quad \rho'_{\min} = 0.2\%$$

(2) 判别类型。

$e_0 = M/N = 408 \times 10^3 / 300 \text{mm} = 1360 \text{mm} > h/2 - a_s = 300/2 \text{mm} - 40 \text{mm} = 110 \text{mm}$, 属于大偏心受拉。

(3) 配筋计算。

$$h_0 = 300 \text{mm} - 40 \text{mm} = 260 \text{mm}$$

$$x = \xi_b h_0 = 0.55 \times 260 \text{mm} = 143 \text{mm}$$

$$e = e_0 - h/2 + a_s = 1360 \text{mm} - 300/2 \text{mm} + 40 \text{mm} = 1250 \text{mm}$$

为充分发挥受压区混凝土抗压作用, 设计时同偏心受压构件一样, 为了使钢筋总用量 ($A_s + A'_s$) 最少, 取 $x = \xi_b h_0$, 由式(7-6-1)可得

$$A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi_b (1 - 0.5 \xi_b)}{f'_y (h_0 - a'_s)}$$

$$= \frac{300 \times 10^3 \times 1250 - 1.0 \times 11.9 \times 1000 \times 260^2 \times 0.55 \times (1 - 0.5 \times 0.55)}{300 \times (260 - 40)} \text{mm}^2 = 822 \text{mm}^2 >$$

$$\rho'_{\min} b h = 0.002 \times 1000 \times 300 \text{mm}^2 = 600 \text{mm}^2$$

由式(7-6-2)可得

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b h_0 \xi_b + f'_y A'_s + N}{f_y} = \frac{1.0 \times 11.9 \times 1000 \times 260 \times 0.55 + 300 \times 822 + 300 \times 10^3}{300} \text{mm}^2$$

$$= 7494 \text{mm}^2 > \rho_{\min} b h = 0.002 \times 1000 \times 300 \text{mm}^2 = 600 \text{mm}^2$$

选配受压钢筋为 $\Phi 12/14 @ 160 (A'_s = 834 \text{mm}^2)$; $\Phi 28 @ 80 (A_s = 7697 \text{mm}^2)$

【例 7.4】 某钢筋混凝土屋架的偏心受拉弦杆, 如图 7.11 所示, 处于一类环境, 安全等级为二级, 截面尺寸 $b \times h = 300 \text{mm} \times 400 \text{mm}$ 。承受轴心拉力设计值 $N = 450 \text{kN}$, 弯矩设计值 $M = 90 \text{kN} \cdot \text{m}$, 采用 C30 级混凝土和 HRB335 级钢筋。试进行配筋计算, 并绘制配筋图。

【解】

(1) 确定基本参数。

查附表 1-2 和附表 1-7, C30 混凝土 $f_t = 1.43 \text{MPa}$, $f_c = 14.3 \text{MPa}$, HRB335 级钢筋 $f_y = 300 \text{MPa}$, $\xi_b = 0.55$

查附表 1-14, 一类环境, $c = 25 \text{mm}$, 取 $a'_s = a_s = c + d/2 = 25 \text{mm} + 20/2 \text{mm} = 35 \text{mm}$

$$\rho_{\min} = 45 \frac{f_t}{f_y} \% = 45 \times \frac{1.43}{300} \% = 0.215\% > 0.2\%, \quad \rho'_{\min} = 0.2\%$$

(2) 判别类型。

$e_0 = M/N = 90 \times 10^3 / 450 \text{mm} = 200 \text{mm} > h/2 - a = 400/2 \text{mm} - 35 \text{mm} = 165 \text{mm}$, 属于大偏心受拉。

(3) 配筋计算。

$$h_0 = 400 \text{mm} - 35 \text{mm} = 365 \text{mm}$$

$$x = \xi_b h_0 = 0.55 \times 365 \text{mm} = 200.8 \text{mm}$$

$$e = e_0 - h/2 + a_s = 200 \text{mm} - 400/2 \text{mm} + 35 \text{mm} = 35 \text{mm}$$

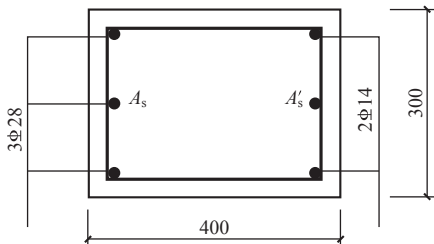


图 7.11 例 7.4 截面配筋简图

为充分发挥受压区混凝土抗压作用,设计时同偏心受压构件一样,为了使钢筋总用量($A_s + A'_s$)最少,取 $x = \xi_b h_0$, 由式(7-6-1)可得

$$A'_s = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b h_0^2 \xi_b (1 - 0.5 \xi_b)}{f'_y (h_0 - a'_s)}$$

$$= \frac{450 \times 10^3 \times 35 - 1.0 \times 14.3 \times 300 \times 365^2 \times 0.55 \times (1 - 0.5 \times 0.55)}{300 \times (365 - 35)} \text{mm} < 0 \text{mm}$$

查附表 1-18,按构造要求配置 $A'_s = \rho'_{\min} b h = 0.2\% \times 300 \times 400 \text{mm}^2 = 240 \text{mm}^2$

由式(7-7)可得

$$x = h_0 \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2[Ne - f'_y A'_s (h_0 - a'_s)]}{\alpha_1 f'_c b h_0^2}} \right\}$$

$$= 365 \times \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times [450000 \times 35 - 300 \times 240 \times (365 - 35)]}{1.0 \times 14.3 \times 300 \times 365^2}} \right\} < 0$$

即 $x < 2a'_s$, 因此,由式(7-5)得

$$e' = \frac{h}{2} + e_0 - a'_s = \frac{400}{2} \text{mm} + 200 \text{mm} - 35 \text{mm} = 365 \text{mm}$$

$$A_s = \frac{Ne'}{f_y (h'_0 - a_s)} = \frac{450 \times 10^3 \times 365 \text{mm}}{300 \times (365 - 35)} \text{mm}^2 = 1659 \text{mm}^2 >$$

$$\rho_{\min} b h = 0.215\% \times 300 \times 400 \text{mm}^2 = 258 \text{mm}^2$$

(4) 选配钢筋。选配受压钢筋 A'_s 为 $2 \Phi 14 (A'_s = 308 \text{mm}^2)$, 选配受拉钢筋 A_s 为 $3 \Phi 28 (A_s = 1874 \text{mm}^2)$ 。

2. 截面复核

1) 小偏心受拉

承载力复核时,根据已知的 A_s 与 A'_s 及其设计强度,可由式(7-2-1)、式(7-2-2)分别求得 N_u 值,其中较小者即为构件正截面的极限受拉承载力。

2) 大偏心受拉

已知截面尺寸(b 、 h)、材料强度(f_c 、 f'_y 、 f_y)以及截面作用效应 M 和 N ,复核截面承载力按下列步骤进行。

(1) 联立式(7-4-1)和式(7-4-2)削去 N 求得 x 。

(2) 若 $2a'_s \leq x \leq \xi_b h_0$,则由式(7-4-1)计算截面所能承担的轴向拉力 N_u 。

(3) 若 $x > \xi_b h_0$ 时,则取 $x = \xi_b h_0$ 代入式(7-4-1)和式(7-4-2)各计算一个 N_u ,并取较小者。

(4) 若 $x < 2a'_s$ 时,则由式(7-5)计算 N_u ;同时可再按 $A'_s = 0$,按单侧配筋的情况求 N_u ;由于两种算法均偏安全,故可取其中较大者。

7.4 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力计算

对于偏心受拉构件,截面往往在受到弯矩 M 及轴力 N 共同作用的同时,还受到剪力 V 作用。因此,需验算斜截面受剪承载力。

研究表明,由于轴向拉力的存在,使混凝土的剪压区高度比仅受到弯矩 M 作用时小,

同时轴向拉力的存在也增大了构件中的主拉应力,使得构件中的斜裂缝开展得较长、较宽,且倾角也较大,从而导致构件的斜截面受剪承载力降低。轴向拉力对斜截面受剪承载力的不利影响为 $(0.06\sim 0.16)N$,考虑到结构试验条件与实际工程条件的差别,同时考虑拉力的存在对构件抗剪是不利作用,因此通过可靠度的分析,将轴向拉力这种不利影响取为 $0.2N$ 。

因此《规范》GB 50010以受弯构件的斜截面受剪承载力计算公式为基础,考虑轴向拉力对斜截面受剪承载力的不利影响,得到矩形、I形、T形截面的偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算公式,即

$$V \leq \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2N \quad (7-8)$$

式中 λ ——计算剪跨比,与偏心受压构件的取值相同,见式(6-54);

N ——与剪力设计值 V 相对应的轴向拉力设计值。

在式(7-8)中,由于箍筋的存在,至少可以承担 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 大小的剪力。所以,当式(7-8)右边的计算值小于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 时,应取为 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 值。同时,为防止斜拉破坏, $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 值不得小于 $0.36 f_t b h_0$ 。同时,为防止斜压破坏,偏心受拉构件的受剪截面应符合第5章式(5-19)的要求。

偏心受拉构件斜截面受剪承载力的计算步骤和受弯构件斜截面受剪承载力的计算步骤类似,故不再赘述。

7.5 公路桥涵工程受拉构件的设计

7.5.1 轴心受拉构件正截面承载力计算

公路桥涵工程中,轴心受拉构件的正截面承载力计算公式为

$$\gamma_0 N_d \leq N_u = f_{sd} A_s \quad (7-9)$$

式中 N_d ——轴向拉力设计值;

f_{sd} ——钢筋抗拉强度设计值;

A_s ——受拉钢筋截面积。

求得的 A_s 应满足最小配筋率条件,即《规范》JTG D62规定轴心受拉构件一侧纵筋的配筋率(%)应按毛截面面积计算,其值应不小于 $45 f_{td} / f_{sd} \%$,同时不小于 0.2% 。

7.5.2 偏心受拉构件正截面承载力计算

与建筑工程相同,偏心受拉构件由于偏心拉力 N_d 的作用位置不同分为两种。

当轴向拉力 N 作用在 A_s 合力点与 A'_s 合力点之间($e_0 \leq h/2 - a_s$)时,发生小偏心受拉破坏;当轴向拉力 N 作用在 A_s 合力点与 A'_s 合力点之外($e_0 > h/2 - a_s$)时,发生大偏心受

拉破坏。图 7.12 所示为小偏心受拉构件的计算简图；图 7.13 所示为大偏心受拉构件的计算简图。

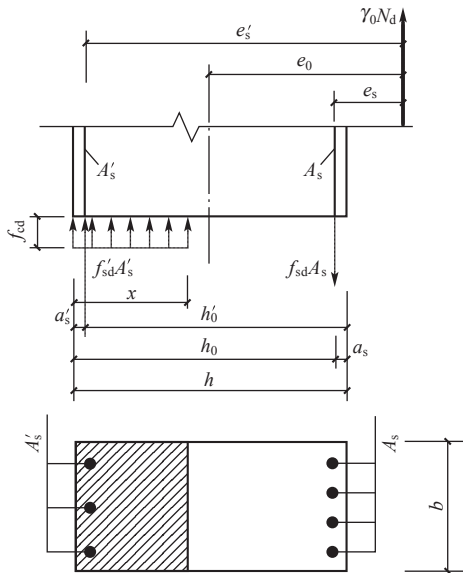
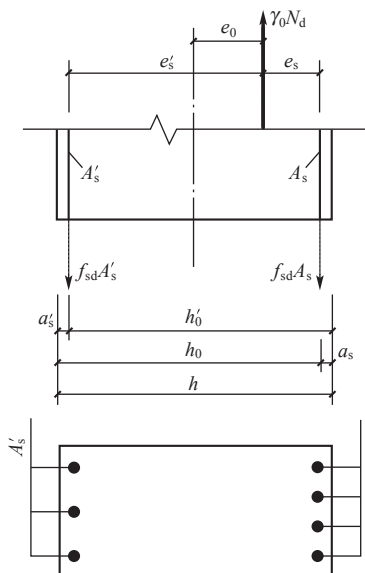


图 7.12 小偏心受拉构件正截面承载力计算简图

图 7.13 大偏心受拉构件正截面承载力计算简图

1. 基本公式

1) 小偏心受拉

小偏心受拉正截面承载力的计算公式为

$$\begin{cases} \gamma_0 N_d e \leq f_{sd} A'_s (h'_0 - a_s) & (7-10-1) \\ \gamma_0 N_d e' \leq f_{sd} A_s (h_0 - a'_s) & (7-10-2) \end{cases}$$

式中 e ——轴向拉力至钢筋 A_s 合力点之间的距离, $e = h/2 - a_s - e_0$;

e' ——轴向拉力至钢筋 A'_s 合力点之间的距离, $e' = h/2 - a'_s + e_0$ 。

求得的受拉纵筋的面积应满足最小配筋率的要求,《规范》JTG D62 规定小偏心受拉构件一侧纵筋的配筋率(%)应按毛截面面积计算,其值应不小于 $45f_{td}/f_{sd}\%$,同时不小于 0.2% 。

2) 大偏心受拉

大偏心受拉正截面承载力的计算公式为

$$\begin{cases} \gamma_0 N_d \leq f_{sd} A_s - f'_{sd} A'_s - f_{cd} b x & (7-11-1) \\ \gamma_0 N_d e \leq f_{cd} b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) & (7-11-2) \end{cases}$$

式中 e ——轴向拉力至 A_s 合力点之间的距离, $e = e_0 - h/2 + a_s$ 。

为了保证构件不发生超筋和少筋破坏,且使纵向受压钢筋 A'_s 应力达到屈服强度,基本公式的适用条件如下。

(1) $x \leq \xi_b h_0$ 。

(2) $x \geq 2a'_s$ 。

$$(3) A_s \geq \rho_{\min} bh。$$

当 $x < 2a'_s$ 时, 取 $x = 2a'_s$, 对 A'_s 合力点取矩, 得

$$\gamma_0 N_d e' \leq f_{sd} A_s (h_0 - a'_s) \quad (7-12)$$

式中 e' ——轴向拉力至钢筋 A'_s 合力点之间的距离, $e' = e_0 + h/2 - a'_s$ 。

《规范》JTG D62 规定大偏心受拉构件一侧受拉纵筋的配筋百分率(%)按 A_s/bh_0 计算 (h_0 为截面有效高度), 其值应不小于 $45f_{td}/f_{sd}\%$, 同时不小于 0.2% 。

2. 截面设计与截面复核

计算方法与建筑工程混凝土偏心受拉构件相同。

本章小结

(1) 轴心受拉构件的受力过程可以分为三个阶段, 正截面承载力计算以第Ⅲ阶段为依据, 此时构件的裂缝贯通整个截面, 裂缝截面的轴向拉力全部由纵向钢筋承担。

(2) 偏心受拉构件根据轴向拉力作用位置的不同分为小偏心受拉和大偏心受拉两种情况。当轴向拉力作用于 A_s 合力点及 A'_s 合力点以内时, 发生小偏心受拉破坏。当轴向拉力 N 作用于 A_s 合力点及 A'_s 合力点以外时, 发生大偏心受拉破坏。小偏心受拉构件破坏时拉力全部由钢筋承受, 大偏心受拉破坏的计算与大偏心受压计算类似。

(3) 《规范》GB 50010 和《规范》JTG D62 有关受拉构件正截面受拉承载力的计算方法和计算公式基本相同, 无本质区别。

(4) 两本规范的受拉构件正截面承载力计算公式比较:

类 型		《规范》GB 50010	《规范》JTG D62
矩形截面	轴心受拉	$N_u \leq f_y A_s$	$\gamma_0 N_d \leq f_{sd} A_s$
	小偏心受拉	$Ne \leq N_u e = f_y A'_s (h_0 - a'_s)$ $Ne' \leq N_u e' = f_y A_s (h'_0 - a'_s)$ $e = h/2 - a_s - e_0$ $e' = h/2 - a'_s + e_0$	$\gamma_0 N_d e \leq f_{sd} A'_s (h'_0 - a_s)$ $\gamma_0 N_d e' \leq f_{sd} A_s (h_0 - a'_s)$ $e = h/2 - a_s - e_0$ $e' = h/2 - a'_s + e_0$
	大偏心受拉	$N \leq N_u = f_y A_s - f'_y A'_s - \alpha_1 f_c b x$ $Ne \leq N_u e = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s)$ $e = e_0 - h/2 + a_s$	$\gamma_0 N_d \leq f_{sd} A_s - f'_{sd} A'_s - f_{cd} b x$ $\gamma_0 N_d e \leq f_{cd} b x (h_0 - \frac{x}{2}) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s)$ $e = e_0 - h/2 + a_s$

(5) 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力计算与受弯构件类似。只是拉力的存在使得受剪承载力降低。

思 考 题

7.1 实际工程中, 哪些受拉构件可以按轴心受拉构件计算? 哪些受拉构件可以按偏

心受拉构件计算?

- 7.2 大小偏心受拉构件的界限是什么? 这两种受拉构件的受力特点和破坏形态有何不同?
- 7.3 偏心受拉构件的破坏形态是否只与力的作用位置有关? 是否与钢筋用量有关?
- 7.4 轴向拉力对偏心受拉构件的斜截面承载力有何影响? 在受剪计算时如何考虑这一影响?
- 7.5 比较双筋梁、不对称配筋的大偏心受压构件及大偏心受拉构件正截面承载力计算的异同。
- 7.6 《规范》JTG D62 对大、小偏心受拉构件纵向钢筋的最小配筋率有哪些要求?

习 题

7.1 已知某钢筋混凝土屋架受拉弦杆, 处于一类环境, 安全等级为二级, 截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 250\text{mm}$, 采用 C20 混凝土, 其内配置 $4\Phi 20$ (HRB335 级) 钢筋; 构件上作用轴心拉力设计值 $N = 360\text{kN}$ 。试校核此拉杆是否安全?

7.2 已知某偏心受拉构件, 处于一类环境, 安全等级为二级, 截面尺寸 $b \times h = 300\text{mm} \times 500\text{mm}$, 采用 C30 混凝土和 HRB335 级钢筋; 承受轴心拉力设计值 $N = 900\text{kN}$, 弯矩设计值 $M = 90\text{kN} \cdot \text{m}$ 。求钢筋截面面积 A_s 、 A'_s 。

7.3 已知某偏心受拉构件, 处于一类环境, 安全等级为二级, 截面尺寸 $b \times h = 300\text{mm} \times 450\text{mm}$, 采用 C30 混凝土和 HRB335 钢筋; 承受轴心拉力设计值 $N = 600\text{kN}$, 弯矩设计值 $M = 540\text{kN} \cdot \text{m}$ 。求钢筋截面面积 A_s 、 A'_s 。

7.4 已知某钢筋混凝土偏心受拉构件, $b \times h = 300\text{mm} \times 450\text{mm}$, 处于一类环境, 安全等级为二级; C25 混凝土, 纵筋取 HRB335 级, 箍筋 R235 级; 已知 $N_d = 500\text{kN}$, $e_0 = 150\text{mm}$, 求不对称配筋时的钢筋面积。

7.5 在习题 7.4 中, 若 $e_0 = 300\text{mm}$, 其他条件不变, 求不对称配筋时的钢筋面积。

7.6 条件同习题 7.5, 求对称配筋时的钢筋面积。