

## 第 7 章受拉构件的承载力

承受纵向拉力的结构构件称为受拉构件。受拉构件也可分为轴心受拉和偏心受拉两种类型。在实际工程中,理想的轴心受拉构件是不存在的,但为了简化计算,对于偏心因素影响较小的构件,可以近似按轴心受拉构件计算,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;承受内压力的环形管壁及圆形贮液池的壁筒等。可按偏心受拉计算的构件有矩形水池的池壁、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。

### 7.1 轴心受拉构件正截面承载力的计算

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,进行抗裂承载力的验算。

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受力阶段。从开始加载到混凝土开裂前为第 I 阶段;从混凝土开裂后到受拉钢筋即将屈服为第 II 阶段;从受拉钢筋开始屈服到全部受拉钢筋达到屈服为第 III 阶段。在第 III 阶段,混凝土裂缝开展很大,可以认为构件达到了破坏状态,此时构件的拉力全部由钢筋承担,故轴心受拉构件正截面承载力计算公式如下:

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

式中:  $N_u$  ——轴心受拉构件承载力;

$f_y$  ——钢筋抗拉强度设计值;

$A_s$  ——受拉钢筋的截面面积。

[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  $N = 234\text{kN}$ , 混凝土强度等级 C30, 钢筋为 HRB335。求截面配筋。

[解] 查表可知:  $f_y = 300\text{N/mm}^2$ , 代入计算公式 (7-1) 得

$$A_s = \frac{N}{f_y} = \frac{234 \times 10^3}{300} = 780\text{mm}^2$$

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

### 7.2 偏心受拉构件正截面受拉承载力计算

偏心受拉构件按纵向拉力  $N$  的作用位置不同,可以分为两种情况:当纵向拉力  $N$  作用在钢筋  $A_s$  合力点和  $A'_s$  合力点之外时,为大偏心受拉;当纵向拉力  $N$  作用在钢筋  $A_s$  合力点和  $A'_s$  合力点之间时,为小偏心受拉。

构件的大、小偏心受拉可以按下列公式进行判别:当  $e_0 = \frac{M}{N} > \frac{h}{2} - a_s$  时,为大偏心受

拉构件；当  $e_0 = \frac{M}{N} \leq \frac{h}{2} - a_s$  时，为小偏心受拉构件。

### 7.2.1 大偏心受拉构件正截面承载力计算

构件大偏心受拉破坏时，混凝土开裂后截面不会裂通，离纵向力较远一侧保留有受压区，否则截面对拉力  $N$  作用点取矩将不满足平衡条件。破坏特征与  $A_s$  的数量有关，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，混凝土受压边缘达到极限应变而破坏，受压区混凝土强度达到  $\alpha_1 f_c$ 。设计时依这种破坏为计算依据，图 7—1 为大偏心受拉计算图形。

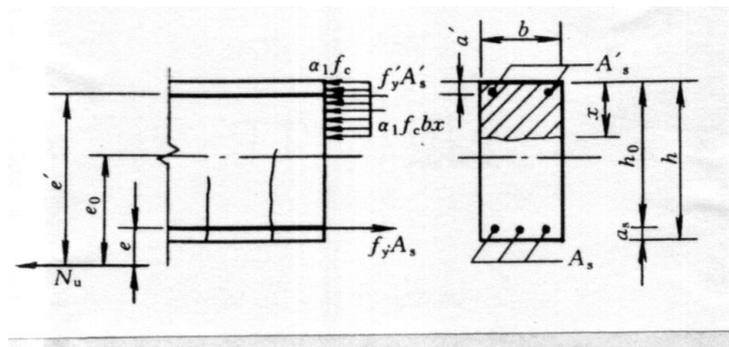


图 7—1 大偏心受拉计算图形

由截面平衡条件得基本公式：

$$N_u = f_y A_s - f_y' A_s' - \alpha_1 f_c b x \quad (7-2)$$

$$N_u e = \alpha_1 f_c b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') \quad (7-3)$$

式中： 
$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a_s \quad (7-4)$$

基本公式的适用条件是：

$$x \leq \xi_b h_0$$

$$x \geq 2a_s'$$

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  $x = x_b$  代入公式 (7.3) 和 (7.2) 可得

$$A_s' = \frac{N e - \alpha_1 f_c b x_b (h_0 - x_b/2)}{f_y' (h_0 - a_s')} \quad (7-5)$$

$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b x_b + f_y' A_s' + N}{f_y} \quad (7-6)$$

对称配筋时，由于  $A_s = A_s'$ ， $f_y = f_y'$ ，代入基本公式 (7—2) 后，求出的  $x$  必然为负值，属于  $x < 2a_s'$  的情况。可以按偏心受压的类似情况进行处理，取  $x = 2a_s'$ ，对  $A_s'$  的合力点取

矩得:

$$N_u e' = f_y A_s (h_0 - a_s') \quad (7-7)$$

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a_s' \quad (7-8)$$

利用公式(7-7)计算出 $A_s'$ ; 然后再取 $A_s' = 0$ 计算出 $A_s$ 。最后按两种计算的小值进行配筋。

[例 7.2] 钢筋混凝土偏心受拉构件, 截面尺寸 $b \times h = 250\text{mm} \times 400\text{mm}$ ,  $a_s = a_s' = 40\text{mm}$ , 承受轴向拉力设计值 $N = 26\text{kN}$ , 弯矩设计值 $M = 45\text{kN} \cdot \text{m}$ , 混凝土强度等级 C25, 钢筋采用 HRB400 级。求钢筋截面面积 $A_s'$ 、 $A_s$ 。

[解]: 令 $N = N_u$ ,  $M = N_u e_0$ ; 查表可得,  $f_y' = f_y = 360\text{N}/\text{mm}^2$ ;  $f_c = 11.9\text{N}/\text{mm}^2$ ,  $f_t = 1.27\text{N}/\text{mm}^2$ 。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{45 \times 10^6}{26 \times 10^3} = 1731\text{mm} > \frac{h}{2} - a_s = 160\text{mm}, \text{属于大偏心受拉构件。}$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a_s = 1731 - \frac{400}{2} + 40 = 1571\text{mm}; \quad x_b = \xi_b h_0 = 0.518 \times 360 = 186\text{mm}$$

代入计算公式(7-5)得:

$$A_s' = \frac{Ne - \alpha_1 f_c b x_b (h_0 - x_b/2)}{f_y' (h_0 - a_s')} = \frac{26 \times 10^3 \times 1571 - 11.9 \times 250 \times 186 \times (360 - \frac{186}{2})}{360 \times (360 - 40)} < 0$$

$$0.45 \frac{f_t}{f_y} = 0.45 \times \frac{1.27}{360} = 0.0016 < 0.002 \quad (\text{取 } \rho_{s,\min}' = \rho_{s,\min} = 0.002)$$

$$A_{s,\min}' = \rho_{s,\min}' bh = 0.002 \times 250 \times 400 = 200\text{mm}^2$$

受压钢筋选 $2\Phi 12$  ( $A_s' = 226\text{mm}^2$ )。

$$\alpha_s = \frac{Ne - f_y' A_s' (h_0 - a_s')}{\alpha_1 f_c b h_0^2} = \frac{26 \times 10^3 \times 1571 - 360 \times 226 \times (360 - 40)}{1.0 \times 11.9 \times 250 \times 360^2} = 0.038$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.038} = 0.039 < 2a_s'/h_0 = 2 \times 40/360 = 0.222$$

按 $x = 2a_s'$ 计算

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a_s' = 1731 + \frac{400}{2} - 40 = 1891\text{mm}$$

$$A_s = \frac{Ne'}{f_y(h_0 - a_s')} = \frac{26 \times 10^3 \times 1891}{360 \times (360 - 40)} = 427 \text{mm}^2$$

受拉钢筋选  $3\Phi 14$  ( $A_s = 462 \text{mm}^2$ )

### 7.2.2 小偏心受拉构件正截面承载力计算

在小偏心拉力作用下，全截面均为拉应力，其中  $A_s$  一侧的拉应力较大。随着荷载增加， $A_s$  一侧的混凝土首先开裂，而且裂缝很快贯通整个截面，混凝土退出工作，拉力完全由钢筋承担，构件破坏时， $A_s$  及  $A_s'$  都达到屈服强度，截面受拉计算图形见图 7—2。

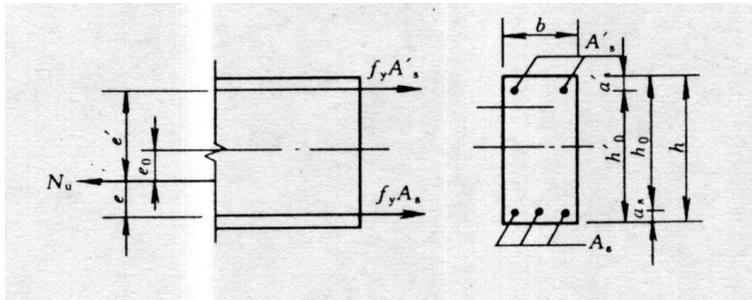


图 7—2 小偏心受拉计算图形

由截面平衡条件得到小偏心受拉构件的承载力计算公式：

$$N_u e \leq f_y A_s' (h_0 - a_s') \quad (7-9)$$

$$N_u e' \leq f_y A_s (h_0 - a_s) \quad (7-10)$$

式中 
$$e = \frac{h}{2} - e_0 - a_s' \quad (7-11)$$

$$e' = e_0 + \frac{h}{2} - a_s \quad (7-12)$$

对称配筋时， 
$$A_s' = A_s = \frac{Ne'}{f_y(h_0 - a_s)} \quad (7-13)$$

[例 7.3] 钢筋混凝土偏心受拉构件，截面尺寸  $b \times h = 250 \text{mm} \times 400 \text{mm}$ ， $a_s = a_s' = 40 \text{mm}$ ，承受轴向拉力设计值  $N = 650 \text{kN}$ ，弯矩设计值  $M = 74 \text{kN} \cdot \text{m}$ ，混凝土强度等级 C30，钢筋采用 HRB400 级。求钢筋截面面积  $A_s'$ 、 $A_s$ 。

[解]：令  $N = N_u$ ， $M = N_u e_0$ ；查表可得， $f_y' = f_y = 360 \text{N/mm}^2$ ； $f_c = 14.3 \text{N/mm}^2$ ， $f_t = 1.43 \text{N/mm}^2$ 。

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{74 \times 10^6}{650 \times 10^3} = 114 \text{mm} < \frac{h}{2} - a_s = 160 \text{mm}, \text{ 属于小偏心受拉构件。根据《混}$$

凝土结构设计规范》“轴心受拉和小偏心受拉构件的钢筋抗拉强度设计值大于  $300 \text{N/mm}^2$

时，仍应按  $300 \text{N/mm}^2$  取用”的要求，取  $f_y' = f_y = 300 \text{N/mm}^2$

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

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

代入计算公式 (7-9)、(7-10) 得：

$$A_s' = \frac{Ne}{f_y(h_0 - a_s')} = \frac{650 \times 10^3 \times 46}{300 \times (360 - 40)} = 271 \text{mm}^2$$

$$A_s = \frac{Ne'}{f_y(h_0 - a_s')} = \frac{650 \times 10^3 \times 274}{300 \times (360 - 40)} = 1855 \text{mm}^2$$

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

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

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

( $A_s = 1961 \text{mm}^2$ )。

### 7.3 偏心受拉构件斜截面承载力计算

一般偏心受拉构件，在承受弯矩和轴向拉力作用的同时，还存在着剪切力的作用，因此，需要进行斜截面承载力计算。

试验表明，轴向拉力会使偏心受拉构件的斜裂缝的宽度比受弯构件增大，剪压区高度减小，抗剪能力明显降低。但构件内箍筋的抗剪能力基本上不受轴向拉力的影响。

通过对试验资料分析，偏心受拉构件的斜截面承载力按下式计算：

$$V_u = \frac{1.75}{\lambda + 1.0} f_t b h_0 + 1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2N \quad (7-14)$$

式中：  $N$  ——轴向拉力设计值；

$\lambda$  ——计算截面剪跨比，按式 (6-73) 规定取值。

若上式右端计算值小于  $1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$  时，取等于  $1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ ，且  $1.0 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$  不得

小于  $0.36 f_t b h_0$ 。

## 思考题

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？
2. 大、小偏心受拉构件的破坏特征有什么不同？如何划分大、小偏心受拉构件？
3. 偏心受拉构件承载力计算是否要考虑纵向弯曲的影响？
4. 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？
5. 轴向拉力对偏心受拉构件的斜截面承载力有何影响？是否影响箍筋部分的斜截面承载力？
6. 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。

## 习题

1. 已知某钢筋混凝土受拉构件，承受轴向拉力设计值  $N = 500kN$ ，弯矩设计值  $M = 450kN \cdot m$ ，构件截面尺寸为  $b = 250mm, h = 450mm, a_s = a'_s = 40mm$ ，采用 C30 混凝土，HRB335 级钢筋。求所需纵向钢筋面积。
2. 已知某钢筋混凝土受拉构件，承受轴向拉力设计值  $N = 300kN$ ，弯矩设计值  $M = 45kN \cdot m$ ，构件截面尺寸为  $b = 250mm, h = 400mm, a_s = a'_s = 40mm$ ，采用 C30 混凝土，HRB335 级钢筋。求所需纵向钢筋面积。