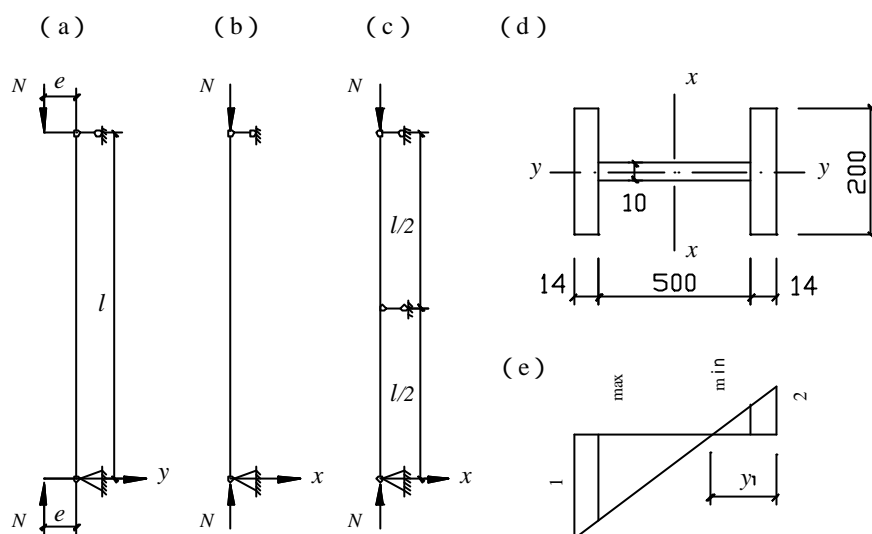


【题目】图示为一 Q235 钢焊接工字形压弯构件，翼缘为剪切边，承受静力设计偏心压力 N 作用， $N=700\text{KN}$ ，偏心距 $e=300\text{mm}$ ， $l=5\text{m}$ ，构件的两端铰接，试验算构件的强度、稳定和刚度。如不满足要求，应如何设置侧向支承提高其承载力，并进行验算。



【解答】

分析：由于构件截面无削弱，又是双轴对称截面，因而只要整体稳定性满足要求，就能满足强度要求。

由于构件绕两个主轴的计算长度相等，偏心弯矩又绕刚度大的强轴作用，因而构件即可能在弯矩作用平面内失稳，也可能在弯矩作用平面外失稳。截面是三块钢板焊成的，应验算其局部稳定性。

刚度验算应满足长细比要求。

先计算截面特性：

$$A=2 \times 20 \times 1.4 + 50 \times 1.0=106\text{cm}^2$$

$$I_x=1/12 \times 1 \times 50^3 + 2 \times 20 \times 1.4 \times 25.7^2=4.74 \times 10^4\text{cm}^4$$

$$I_y=2 \times 1/12 \times 1.4 \times 20^3=1.87 \times 10^3\text{cm}^4$$

$$i_x=\sqrt{\frac{I_x}{A}}=\sqrt{\frac{4.74 \times 10^4}{106}}=21.1\text{cm}$$

$$i_y=\sqrt{\frac{I_y}{A}}=\sqrt{\frac{1.87 \times 10^3}{106}}=4.2\text{cm}$$

(1) 验算构件在弯矩作用平面内的稳定：

$$\lambda_x=l_0x/i_x=500/21.1=23.7$$

属 b 类截面，查得 $\varphi_x=0.958$

$$N_{EX}=\frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2}=\frac{\pi^2 \times 206 \times 10^3 \times 106 \times 10^2}{23.7^2}=38370 \times 10^3\text{N}=38370\text{KN}$$

对于两端偏心距 e 相等，即两端偏心弯矩相等的情况， $\eta_{mx}=1.0$

$$\alpha_x=1.05, M_x=N \cdot e=700 \times 300=2.1 \times 10^5 \text{KN} \cdot \text{mm}$$

$$W_{1x}=2I_x/h=2 \times 4.74 \times 10^4/52.8=1795 \text{cm}^3$$

代入验算公式：

$$\frac{N}{f_x A} + \frac{b_{mx} M_x}{g_x W_{1x} \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_{EX}}\right)}$$

$$= \frac{700 \times 10^3}{0.958 \times 106 \times 10^2} + \frac{1.0 \times 2.1 \times 10^8}{1.05 \times 1.795 \times 10^6 \left(1 - 0.8 \frac{700}{38370}\right)}$$

$$= 70 + 113 = 183 \text{N/mm}^2 < f = 215 \text{N/mm}^2$$

(2) 验算构件在弯矩作用平面外的稳定

$$\lambda_y=l_{0y}/i_y=500/4.2=119$$

焊接工字形截面，翼缘为剪切边，对 y 轴属 c 类截面， $\eta_y=0.383$

$$\alpha_{tx}=1.0$$

对双轴对称工字形截面，当 $\lambda_y < 120 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 时，

$$b_y=1.07 - \lambda_y^2/44000 \times f_y/235=1.07 - 119^2/44000 \times 235/235=0.748$$

代入验算公式：

$$\frac{N}{f_y A} + \frac{b_{tx} M_x}{f_b W_{1x}}$$

$$= \frac{700 \times 10^3}{0.383 \times 106 \times 10^2} + \frac{1.0 \times 2.1 \times 10^8}{0.748 \times 1.795 \times 10^6}$$

$$= 172 + 156 = 328 \text{N/mm}^2 > f = 215 \text{N/mm}^2$$

在弯矩作用平面外的稳定性不满足要求。

在构件中央 1/2 处，加一侧向支承点，阻止绕 y 轴失稳，如图 (c) 所示。

$$\lambda_y=250/4.2=59.5,$$

属 c 类截面， $\eta_y=0.712$

$$b_y=1.07 - \lambda_y^2/44000=1.07 - 59.5^2/44000=0.989$$

代入验算公式：

$$\frac{N}{f_y A} + \frac{b_{tx} M_x}{f_b W_{1x}}$$

$$= \frac{700 \times 10^3}{0.712 \times 106 \times 10^2} + \frac{1.0 \times 2.1 \times 10^8}{0.989 \times 1.795 \times 10^6}$$

$$= 93 + 118 = 211 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

满足要求。不过从计算结果可以看出，尽管绕 y 轴加了一个侧向支承，但由于 i_y 比 i_x 仍大很多，因而构件在弯矩作用平面外的弯扭失稳承载力仍低于构件在弯矩作用平面内的弯曲失稳承载力。

(3) 局部稳定验算

翼缘板：由于强度计算中考虑了塑性 $\xi > 1.0$ ，因而翼缘自由外伸宽度部分的宽厚比限值为

$$13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$b_1/t = 95/14 = 6.8 < 13$$

腹板：

$$\sigma_1 = N/A + M/W = 700 \times 10^3 / (106 \times 10^2) + 2.1 \times 10^8 / (1.795 \times 10^6)$$

$$= 66 + 117 = 183 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = N/A - M/W = 66 - 117 = -51 \text{ N/mm}^2$$

腹板边缘的最大应力和最小应力，如图 (e) 所示。

$$y_1 = \sigma_2 / (\sigma_1 + \sigma_2) \times h = 51 / (183 + 51) \times 528 = 115 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = (528 - 115 - 14) / (528 - 115) \times 183 = 177 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\min} = (115 - 14) / 115 \times (-51) = -45 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_0 = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / \sigma_{\max} = [177 - (-45)] / 177 = 1.25 < 1.6$$

腹板高厚比限值为：

$$(16\alpha_0 + 0.5I + 25) \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$= (16 \times 1.25 + 0.5 \times 23.7 + 25) \sqrt{\frac{235}{235}} = 56.85$$

腹板实际高厚比为：

$$h_0/t_w = 500/10 = 50 < 56$$

满足要求。

(4) 刚度验算：

查：[λ] = 150。

实际最大 $\lambda = 59.5 < [\lambda] = 150$

满足要求。