

技术支持专栏

结构系列软件常见问题解析—钢结构

段方舟

(中国建筑科学研究院有限公司 北京构力科技有限公司 北京 100013)

1 在《钢结构设计标准》GB50017-2017 中，对轴心受拉构件的截面强度计算公式，和旧版规范相比有所变化。下面根据新钢标规定以一支撑的计算结果说明轴心受拉构件强度应力的计算过程。

按新钢标 7.1.1 条，轴心受拉构件的强度有两项验算，分别为毛截面屈服和净截面断裂。

7.1 截面强度计算

7.1.1 轴心受拉构件，当端部连接及中部拼接处组成截面的各板件都由连接件直接传力时，其截面强度计算应符合下列规定：

1 除采用高强度螺栓摩擦型连接者外，其截面强度应采用下列公式计算：

毛截面屈服：

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f \quad (7.1.1-1)$$

净截面断裂：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq 0.7f_u \quad (7.1.1-2)$$

图 1

在程序中会分别验算两项，取不利项输出。具体校核过程如下：

截面及设计参数：

---- 标准截面信息 ----				---- 总信息 ----	
1、标准截面类型				钢材: Q235	
(1)	5,	0.17800E+05,	0.10000E+03,	0.20600E+06	钢结构净截面面积与毛截面面积比: 0.85
(2)	34,	2L75x8	, 0.010	等边角钢组合	支撑杆件容许长细比: 200
					柱顶容许水平位移/柱高: 1 / 150

图 2

截面特性：

2、标准截面特性					
截面号	Xc	Yc	Ix	Iy	A
1			0.17800E-03	0.00000E+00	0.10000E-01
2	0.08000	0.02150	0.11992E-05	0.28148E-05	0.23006E-02

图 3

程序输出的构件验算信息：



图 4

校核过程:

毛截面屈服:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{96.44 \times 10^3}{0.23006 \times 10^{-2} \times 10^6} = 41.9195$$

和上图中给出的最大应力一致, 其应力比为:

$$\frac{41.9195}{215} = 0.19497$$

净截面断裂:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{96.44 \times 10^3}{0.85 \times 0.23006 \times 10^{-2} \times 10^6} = 49.3171$$

其应力和毛截面屈服接近, 但是由于钢材抗拉强度更大, 所以该截面强度应力由毛截面屈服控制, 净截面断裂对应的应力比更小, 不起控制。

下面修改构件的净毛截面面积比为 0.5, 其余条件不变, 重新计算, 结果如下图所示。

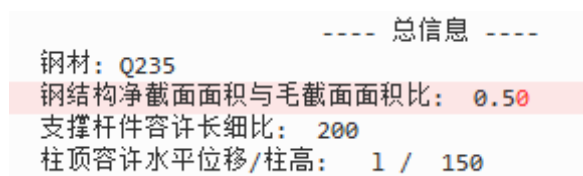


图 5

程序输出的构件验算信息:

钢柱 7 截面类型= 34; 布置角度= 0; 计算长度: Lx= 4.24, Ly= 8.49; 长细比: λx= 185.8, λy= 242.6 构件长度= 4.24; 计算长度系数: Ux= 1.00 Uy= 2.00 抗震等级: 不考虑抗震 截面参数: 2L75x8 热轧等边角钢组合, d(mm) = 10 轴压截面分类: X轴:b类, Y轴:b类 构件钢号: Q235 宽厚比等级: S3 验算规范: 普钢规范GB50017-2017						
	柱下端			柱上端		
组合号	M	N	V	M	N	V
1	0.00	-95.65	0.00	0.00	96.44	0.00
强度计算最大应力对应组合号: 1, M= 0.00, N= -95.65, M= 0.00, N= 96.44 强度计算最大应力 (N/mm ²) = 83.83 强度计算最大应力比 = 0.324						
强度计算最大应力 < 0.7*fu= 259.00 拉杆, 平面内长细比 λ= 186. < [λ]= 200 拉杆, 平面外长细比 λ= 243. > [λ]= 200 *****						
构件重量 (Kg)= 76.62						

图6

由于除净毛截面面积比之外，其余条件均相同，所以毛截面屈服结果不变。

净截面断裂：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{96.44 * 10^3}{0.5 * 0.23006 * 10^{-2} * 10^6} = 83.839$$

其应力比为：

$$\frac{83.839}{0.7 * 370} = 0.3237$$

此时净截面断裂的应力比更大，所以起控制，校核结果和程序显示的一致。

2 对于轴心受压构件要验算其稳定应力，接下来以一个等边角钢支撑为例，展示程序对于其平面内稳定、平面外稳定的验算过程：

构件信息如下图：

--- 总信息 ---

钢材: Q235

钢结构净截面面积与毛截面面积比: 0.85

支撑杆件容许长细比: 200

柱顶容许水平位移/柱高: 1/150

钢柱 4

 截面类型= 33; 布置角度= 0; 计算长度: $L_x=2.83, L_y=5.66$; 长细比: $\lambda_x=192.4, \lambda_y=247.8$

 构件长度= 2.83; 计算长度系数: $U_x=1.00, U_y=2.00$

抗震等级: 不考虑抗震

截面参数: L75x8 热轧等边角钢

轴压截面分类: X 轴: b 类, Y 轴: b 类

构件钢号: Q235

宽厚比等级: S3

验算规范: 普钢规范 GB50017-2017

组合号	柱下端			柱上端		
	M	N	V	M	N	V
1	0.00	21.35	0.00	0.00	-21.09	0.00

 强度计算最大应力对应组合号: 1, $M=0.00, N=21.35, M=0.00, N=-21.09$

 强度计算最大应力 (N/mm²) = 21.84

强度计算最大应力比 = 0.102

 平面内稳定计算最大应力 (N/mm²) = 95.72

平面内稳定计算最大应力比 = 0.445

 平面外稳定计算最大应力 (N/mm²) = 152.24

平面外稳定计算最大应力比 = 0.708

 对应的应力梯度 $\alpha_0 = 0.00$

 轴心受压构件宽厚比放大系数 $\alpha = 1.21$ (GB50017-2017 7.3.2 条)

 GB50017 腹板容许高厚比 $[H_0/TW] = 21.10$

 翼缘容许宽厚比 $[B/T] = 21.10$

 强度计算最大应力 $< f = 215.00$

 平面内稳定计算最大应力 $< f = 215.00$

 平面外稳定计算最大应力 $< f = 215.00$

 腹板高厚比 $H_0/TW = 7.38 < [H_0/TW] = 21.10$

 翼缘宽厚比 $B/T = 7.38 < [B/T] = 21.10$

 压杆, 平面内长细比 $\lambda = 192 \leq [\lambda] = 200$

 压杆, 平面外长细比 $\lambda = 248 > [\lambda] = 200$ *****

图 7

杆件的平面内稳定应力校核

根据钢标附录 D 公式 D.0.5-2

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{192}{\pi} \sqrt{\frac{235}{206 \times 10^3}} = 2.0642 > 0.215$$

根据钢标表 7.2.1-1, 轧制等边角钢对 X 轴截面分类为 a*类。由于杆件钢号为 Q235, 所以其截面分类取 b 类。

根据钢标附录 D 公式 D.0.5-3

$$\varphi = \frac{1}{2\lambda_n^2} [(\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2) - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2)^2 - 4\lambda_n^2}] = \frac{1}{2 * 2.0642^2} [(0.965 + 0.3 * 2.0642 + 2.0642^2) - \sqrt{(0.965 + 0.3 * 2.0642 + 2.0642^2)^2 - 4 * 2.0642^2}] = 0.2003$$

按钢标公式 7.6.1-2

$$\eta = 0.6 + 0.0015\lambda = 0.6 + 0.0015 * 248 = 0.972$$

需要注意的是, 按规范的符号说明, 公式 7.6.1-2 中的长细比 λ , 对中间无联系的单角钢压杆, 应按最小回转半径计算。所以程序取两个方向的较大长细比计算, 所以此处取 λ 为 248。

按钢标公式 7.6.1-1

$$\sigma = \frac{N}{\eta\varphi A} = \frac{21.35 * 10^3}{0.972 * 0.2003 * 1.1503 * 10^{-3}} = 95.3322$$

, 和文本输出的基本一致。

1) 杆件的平面外稳定应力校核

根据钢标附录 D 公式 D.0.5-2

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{248}{\pi} \sqrt{\frac{235}{206 * 10^3}} = 2.6663 > 0.215$$

根据钢标表 7.2.1-1, 轧制等边角钢对 Y 轴截面分类为 a*类。由于杆件钢号为 Q235, 所以其截面分类取 b 类。

根据钢标附录 D 公式 D.0.5-3

$$\varphi = \frac{1}{2\lambda_n^2} [(\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2) - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \lambda_n + \lambda_n^2)^2 - 4\lambda_n^2}] = \frac{1}{2 * 2.6663^2} [(0.965 + 0.3 * 2.6663 + 2.6663^2) - \sqrt{(0.965 + 0.3 * 2.6663 + 2.6663^2)^2 - 4 * 2.6663^2}] = 0.1253$$

按钢标公式 7.6.1-2

$$\eta = 0.6 + 0.0015\lambda = 0.6 + 0.0015 * 248 = 0.972$$

和平面内一样, 长细比 λ 取按最小回转半径计算得结果。所以此处仍然取 λ 为 248。

按钢标公式 7.6.1-1

$$\sigma = \frac{N}{\eta\varphi A} = \frac{21.35 * 10^3}{0.972 * 0.1253 * 1.1503 * 10^{-3}} = 152.3945$$

, 校核结果和文本输出的基本一致。

参 考 文 献

[1] GB50017-2017 钢结构设计标准 [S].北京: 中国建筑工业出版社, 2017.