

焊接工字形截面轴心受压柱简捷设计法

曹平周 王庆利

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 综合考虑轴心受压构件整体稳定、局部稳定、刚度条件和构造要求,取组成柱的板件宽(高)厚比值等于局部稳定要求的最大限值,且柱绕两个主轴丧失稳定时的整体稳定承载力相等,由整体稳定条件推导出柱承受的荷载与柱最佳长细比之间的关系表达式和数值表,以及柱截面细部尺寸的计算公式.按照所得计算公式,一次便可确定出用钢经济的截面尺寸.

关键词 轴心受压柱;整体稳定;局部稳定;简捷设计

中图分类号 TU391

在结构工程中,支承楼盖、屋盖和工作平台等常采用轴心受压柱.设计柱时,应使所采用的截面用钢量最省,且制造简便和易于与其它构件相连.焊接工字形截面轴心受压柱的构造十分简单,且可采用自动焊焊成,制造工艺也简便.它可依不同的设计条件,选择不同的截面尺寸组合,达到节省钢材的目的,因此应用广泛.在设计时,通常是依据构件整体稳定条件来选择截面尺寸.由于整体稳定条件只有一个计算公式,但公式涉及多个未知量,合理的截面尺寸难以确定.以往是依据设计经验,在长细比 λ 范围(40~100)中,先假定一个长细比值,并考虑构造等要求,初选截面尺寸,然后验算调整^[1].由于 λ 的选值范围大,通常要经过数次反复试算,才能获得一较满意的截面尺寸,但它往往还不是最经济的截面尺寸.本文探索一种简捷的设计计算方法,不需反复试算,便可获得用钢经济的截面尺寸.

1 轴心受压柱的设计原则

图 1 所示一焊接工字形截面轴心受压柱.柱设计时应满足整体稳定条件、局部稳定条件、刚度条件和强度条件.通常,柱子截面无削弱或螺栓孔削弱较小,强度条件不起控制作用.只有当截面被螺栓孔削弱较大时,强度条件才有可能控制设计.此时只需对稳定条件确定出的截面进行强度验算,若不满足要求时,适当调整截面尺寸,使其满足强度要求即可.所以通常轴心受压柱的截面尺寸,主要依稳定条件来确定.因此在设计时,应结合整体稳定和局部稳定条件,考虑下列原则:

a. 应尽量使柱绕两个主轴弯曲的整体稳定承载力值接近.

轴心受压构件的整体稳定计算公式^[2]:

$$N(\varphi A) \leq f \quad (1)$$

式中: N ——轴心压力; φ ——轴心受压构件的整体稳定系数; A ——构件的截面面积; f ——钢材的强度设计值.

用 φ_x 和 φ_y 分别表示轴心受压构件关于截面形心主轴 x 和 y 轴的整体稳定系数.为充分发挥材料作用,设计时应使柱在绕两个主轴弯曲时的整体稳定承载力值接近.由式(1)可知,该承载力随稳定系数的变化而

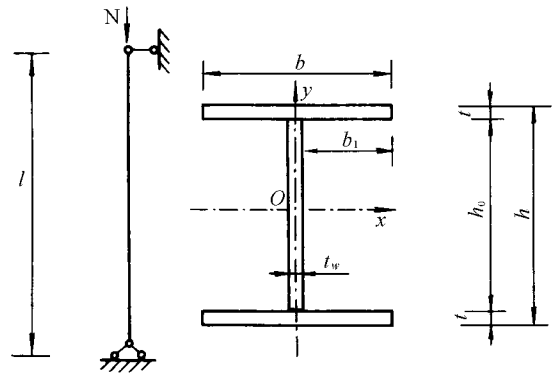


图 1 焊接工字形截面轴心受压柱

Fig. 1 Axial compression column of welded I-shape section

变化. 因此这一条件可表示为

$$\varphi_x = \varphi_y \tag{2}$$

b. 组成构件的板件的宽(高)厚比在满足局部稳定条件下尽量取大值.

焊接工字形截面轴心受压柱的局部稳定条件^[2]:

$$b_1/t \leq (10 + 0.1\lambda)\sqrt{235/f_y} \quad h_0/t_w \leq (25 + 0.5\lambda)\sqrt{235/f_y} \tag{3}$$

式中: f_y ——钢材的屈服强度; b_1 , t , h_0 , t_w 见图 1.

设计时, 应在满足式(3)条件下, 尽量加大截面轮廓尺寸, 减小板厚, 以便在截面面积不变的条件下, 获得较大的截面惯性矩和回转半径, 提高柱子的整体稳定承载力和刚度.

2 焊接工字形截面轴心受压柱的简捷设计

在进行焊接工字形截面轴心受压柱的截面设计时, 所用钢材、轴心压力设计值 N (不含柱自重)、柱在两主轴方向的计算长度 l_{0x} 和 l_{0y} 都已确定. 截面设计需确定的量为 b , t , h_0 , t_w .

用 i_x 和 i_y 分别表示截面关于 x 轴和 y 轴的回转半径. 对于焊接工字形截面有

$$i_x \approx 0.43h \tag{4}$$

$$i_y \approx 0.24b \tag{5}$$

轴心受压构件的整体稳定系数 φ 主要与柱的长细比和截面类别有关, 把式(4)(5)代入式(2), 并考虑船形焊焊接的施工要求, 宜 $h \geq b$, 则有 $\lambda_x \leq \lambda_y$. 腹板高度

$$h_0 = eb - 2t \tag{6}$$

式中: e ——系数, 当 $l_{0x}/l_{0y} = 2$ 时, 截面关于 x 轴和 y 轴同属 b 类, 或截面关于 x 轴和 y 轴分别属 b 类和 c 类, 且 $\lambda_y > 110\sqrt{235/f_y}$ 时, $e = 1.12$; 其余情况 $e = 1$.

当组成截面的板件宽(高)度与厚度之比等于局部稳定限值时, 截面用料最经济. 考虑 $b \approx 2b_1$ 和 $\lambda_x \leq \lambda_y$, 由式(3)可得

$$t = \frac{b}{\lambda(10 + 0.1\lambda_y)\sqrt{235/f_y}} \tag{7}$$

$$t_w = \frac{h_0}{(25 + 0.5\lambda_y)\sqrt{235/f_y}} \tag{8}$$

轴心受压构件的整体稳定计算公式(1)可写为

$$N(\lambda l_{0y}^2) \leq \varphi A/l_{0y}^2 \tag{9}$$

依式(5)可得

$$b \approx l_{0y}(\lambda(0.24\lambda_y)) \tag{10}$$

把式(7)(8)(10)代入 $A = 2bt + h_0t_w$ 可得

$$\frac{A}{l_{0y}^2} = \frac{17.36}{\lambda_y^2(10 + 0.1\lambda_y)\sqrt{235/f_y}} \left\{ 1 + \frac{[e(10 + 0.1\lambda_y)\sqrt{235/f_y} - 1]^2}{(25 + 0.5\lambda_y)(10 + 0.1\lambda_y) \times 235/f_y} \right\} \tag{11}$$

轴心受压构件的整体稳定系数 φ 的计算公式^[2]:

$$\text{当 } \bar{\lambda} \leq 0.215 \text{ 时} \quad \varphi = 1 - \alpha_1 \bar{\lambda}^2 \tag{12}$$

$$\text{当 } \bar{\lambda} > 0.215 \text{ 时} \quad \varphi = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} [(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2) - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2)^2 - 4\bar{\lambda}^2}] \tag{13}$$

式中: $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{f_y/E}/\pi$, E ——钢材的弹性模量; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ——系数, 值见《钢结构设计规范 GBJ17—88》. 取式(12)(13)中的 λ 为 λ_y , 把式(11)(12)或(11)(13)代入式(9)可见, λ_y 是 $N(\lambda l_{0y}^2)$ 的函数. 当求得 $N(\lambda l_{0y}^2)$ 的值后, 代入式(9)就可求出与它相应的 λ_y 值. 为便于设计使用, 把 λ_y 与 $N(\lambda l_{0y}^2)$ 的关系用表列出. 表 1 给出了 Q235、Q345(16Mn) 和 Q390(15MnV) 钢焊接工字形截面关于 y 轴为 b 类或 c 类时的 λ_y 与 $N(\lambda l_{0y}^2)$ 的数值.

表中的数值适用于常用的焊接工字形截面轴心受压柱. 但当 $l_{0x}/l_{0y} = 2$, 截面关于 x 轴和 y 轴同属 b 类时, 或截面关于 x 轴和 y 轴分别属 b 类和 c 类, 且 $\lambda_y > 110\sqrt{235/f_y}$ 时, 需把求出的 $N(\lambda l_{0y}^2)$ 值除以 1.056, 再查表 1 来求得 λ_y 值, 这样做误差不超过 1%.

设计时先求出 $N/(f_{0y}^2)$ 的值,再由表 1 查得 λ_y 值.考虑刚度条件,应有

$$\lambda_y \leq [\lambda] \tag{14}$$

式中 $[\lambda]$ ——受压构件的容许长细比.

当 $\lambda_y > [\lambda]$ 时,应取 $\lambda_y = [\lambda]$.把 λ_y 值代入式(10)(7)(6)和(8)计算 b, t, h_0 和 t_w .依求得的 b, t, h_0 和 t_w 值来确定设计采用值.确定 t 和 t_w 的设计采用值时,应符合钢材的厚度规格.为便于截面验算和构件制作,通常取 b 和 h_0 为 10 mm 的倍数.当柱截面尺寸确定后,柱的自重就可进行计算了.由于式(5)是一近似公式,且设计采用值与前计算值有差别,所以还应

对柱的整体稳定、局部稳定和刚度进行验算.如果截面有削弱,还应进行强度验算.若不满足要求时,只需对截面尺寸稍作调整,就可满足设计要求.

3 算 例

设计一焊接工字形截面轴心受压柱,钢材为 Q235-B·F,柱子承受恒荷载标准值 $N_{GK} = 400$ kN,活荷载标准值 $N_{QK} = 600$ kN,柱上、下端均为铰接,柱高 $l = 6.00$ m,高度中央不设侧向支撑.翼缘板为火焰切割边.

a. 设计资料

$l_{0x} = l_{0y} = l = 6.00$ m

柱子承受轴心压力设计值 $N = 1.2N_{GK} + 1.4N_{QK} = 1.2 \times 400 + 1.4 \times 600 = 1\,320$ kN

$f = 215$ N/mm² (第一组); $f_y = 235$ N/mm² $[\lambda] = 150$

b. 柱截面尺寸的确定

$$\frac{N}{f_{0y}^2} = \frac{1\,320 \times 10^3}{215 \times 6000^2} = 17.1 \times 10^{-5}$$

截面关于 x 轴和 y 轴同属 b 类, $l_{0x}/l_{0y} = 1 < 1.43$, $e = 1$.查表 1 得

$\lambda_y = 71.7 < [\lambda] = 150$

$b = l_{0y}/(0.24\lambda_y) = 6000/(0.24 \times 71.7) = 348.7$ mm

$t = \frac{b}{\alpha(10 + 0.1\lambda_y)\sqrt{235/f_y}} = \frac{348.7}{\alpha(10 + 0.1 \times 71.7)\sqrt{235/235}} = 10.2$ mm

$h_0 = eb - 2t = 1 \times 348.7 - 2 \times 10.2 = 328.3$ mm

$t_w = \frac{h_0}{(25 + 0.5\lambda_y)\sqrt{235/f_y}} = \frac{328.3}{(25 + 0.5 \times 71.7)\sqrt{235/235}} = 5.4$ mm

设计采用 $b = 340$ mm, $t = 10$ mm, $h_0 = 320$ mm, $t_w = 6$ mm,如图 2 所示.

c. 所选截面的几何特性

$A = 2bt + h_0t_w = 2 \times 340 \times 10 + 320 \times 6 = 8\,720$ mm²

$I_x = [bh^3 - (b - t)h_0^3]/12 = [340^3 - (340 - 6) \times 320^3]/12 = 2.016 \times 10^8$ mm⁴

$I_y = 2b^3t/12 = 340^3 \times 10/6 = 65\,506\,667$ mm⁴

$i_x = \sqrt{I_x/A} = \sqrt{2.016 \times 10^8/8\,720} = 152.0$ mm $i_y = \sqrt{I_y/A} = \sqrt{65\,506\,667/8\,720} = 86.7$ mm

$\lambda_x = l_{0x}/i_x = 6000/152.0 = 39.5$ $\lambda_y = l_{0y}/i_y = 6000/86.7 = 69.2 < [\lambda] = 150$

$\lambda_x < \lambda_y$,柱关于 y 轴的整体稳定承载力控制设计.查《钢结构设计规范 GBJ17—88》,得 $\varphi = 0.756$.

d. 截面验算

表 1 $N/(f_{0y}^2)$ 数值

Table 1 Values of $N/(f_{0y}^2)$ ($\times 10^{-5}$)

λ_y	钢 材					
	Q235		Q345(16Mn)		Q390(15MnV)	
	b 类	c 类	b 类	c 类	b 类	c 类
10	2040.0	2040.0	2440.2	2437.8	2582.8	2577.6
20	451.9	449.9	535.0	525.4	563.9	551.2
30	177.3	171.0	208.0	196.5	218.4	204.8
40	88.3	82.5	102.1	92.8	106.5	95.9
50	50.0	45.2	56.6	49.6	58.4	50.7
60	30.6	26.8	33.5	28.5	34.1	28.8
70	19.6	16.8	20.6	17.2	20.7	17.2
80	12.9	10.9	13.0	10.8	12.9	10.8
90	8.7	7.3	8.4	7.2	8.2	7.1
100	6.0	5.0	5.6	4.9	5.4	4.8
110	4.2	3.5	3.8	3.4	3.7	3.3
120	3.0	2.6	2.7	2.4	2.5	2.3
130	2.1	1.9	1.9	1.7	1.8	1.7
140	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2
150	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9

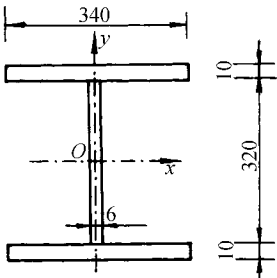


图 2 截面尺寸
Fig.2 Section size

整体稳定验算

柱自重设计值 $W = 1.2 \times 6000 \times 8720 \times 9.8 \times 7850 \times 10^{-9} \times 1.2 = 5796\text{ N}$

式中的 1.2 数值一个为荷载分项系数 ,另一个为考虑柱头和柱脚等构造用钢柱自重的增大系数.

$$\frac{N+W}{\varphi A} = \frac{1320 \times 10^3 + 5796}{0.756 \times 8720} = 201.1\text{ N/mm}^2 < f = 215\text{ N/mm}^2$$

局部稳定验算

$$b_1/t = 167/10 = 16.7 < (10 + 0.1\lambda_y)\sqrt{235/f_y} = (10 + 0.1 \times 69.2)\sqrt{235/235} = 16.9$$
$$h_0/t_w = 320/6 = 53.3 < (25 + 0.5\lambda_y)\sqrt{235/f_y} = (25 + 0.5 \times 69.2)\sqrt{235/235} = 59.6$$

所选截面尺寸满足设计要求.

此方法一次便可确定出截面尺寸 ,所选截面的整体稳定计算应力稍小于钢材的强度设计值 ,板件宽(高)度与厚度之比与局部稳定的限值也十分接近 ,截面经济性很好 ,达到了用钢经济的设计目的 ,比需多次试算的传统设计方法计算简捷.

4 结 语

综合考虑轴心受压构件的整体稳定、局部稳定、刚度条件和构造要求 ,分析得出了焊接工字形截面轴心受压柱简捷设计方法的计算公式.获得了 λ_y 与 $N(\lambda_{0y}^2)$ 的函数关系和数表.当求出 $N(\lambda_{0y}^2)$ 的值后 , λ_y 既可按式(9)进行计算 ,也可由表 1 查得.按照所得截面设计计算公式(10)(7)(6)和(8),一次便可确定出用钢经济的截面尺寸 b , t , h_0 和 t_w . 本文的设计方法适用于普通钢结构不允许发生局部失稳的焊接工字形截面轴心受压柱的截面设计.

参 考 文 献

1 王国周 瞿履谦. 钢结构——原理与设计. 北京 :清华大学出版社 ,1993. 175 ~ 177

2 北京钢铁设计研究总院. GBJ17—88 钢结构设计规范. 北京 :中国计划出版社 ,1989. 22 ~ 38

Forthright Design Method of Welded I-Shape
Section Column under Axial Compression

Cao Pingzhou Wang Qingli

(College of Civil Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098)

Abstract The stability ,local buckling ,rigidity condition ,and structural requirement of the column are comprehensively considered. It is assumed that the width(height)-to-thickness ratio of plates of the column be equal to the required maximum limit of local buckling and the stability bearing capacity of the column about two main shafts be equal ,thus , according to the stability condition ,the relation between the load on the column and the best slenderness ratio can be obtained and the calculation formulas of the section detail dimensions of the column can also be obtained. According to the formulas ,the economical section size of the welded I-shape section column under axial compression can usually be determined directly.

Key words column under axial compression ,stability of column ,local stability ,forthright design