

文章编号 1000-5013(2003) 01-0056-04

# 工字形单向压弯构件截面设计的直接算法

彭 兴 黔

(华侨大学土木工程系, 福建 泉州 362011)

**摘要** 压弯构件的受力较单纯受弯和单独承受轴压的构件复杂, 压弯构件的截面设计考虑的因素较多. 在截面设计时, 通常凭经验初选截面, 进行各项验算. 当不满足设计要求时, 再作适当调整, 重新计算, 直到满足各项条件为止. 文中根据压弯构件的构造要求和设计条件, 推导出确定构件截面尺寸的直接计算公式, 避免繁琐试算, 便于工程应用.

**关键词** 压弯构件, 截面设计, 直接算法, 钢结构

中图分类号 TU 391.01

文献标识码 A

工字形单向压弯构件是钢结构中应用最广的构件之一. 由于压弯构件的受力较单纯受弯和单独承受的轴压构件复杂, 截面设计应满足的限制条件也较多. 因此设计时, 通常凭经验初选长细比, 并据此初定截面, 进行各项验算. 不满足设计要求时, 进行适当调整, 重新试算, 直到满足各项条件为止. 对于单纯受弯构件和单独承受轴压的构件, 文献[1~3]给出了它们的直接计算方法. 本文根据压弯构件的构造要求和设计条件, 推导出工字形单向压弯构件截面设计的直接计算方法. 算例表明, 该计算方法简化了单向压弯构件的截面设计, 更便于工程上应用.

## 1 压弯构件的设计要求

压弯构件截面设计, 应满足如下要求.

### 1.1 截面强度

当构件截面有削弱时, 按式(1)计算截面强度. 即

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leq f. \quad (1)$$

### 1.2 整体稳定

单向压弯构件在弯矩作用平面内、外的整体稳定, 按式(2), (3)计算. 即

$$\frac{N}{\varphi_A A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_n (1 - 0.8N/N_{Ex})} \leq f, \quad (2)$$

$$\frac{N}{\varphi_A A} + \frac{\beta_{tx} M_x}{\gamma_b W_x} \leq f. \quad (3)$$

### 1.3 局部稳定条件

通常用限制板件的宽厚比, 来保证构件各板件的局部稳定. 在单向压弯构件中, 翼、腹板的局部稳定, 按式(4), (5) 校核. 则

$$\frac{b - t_w}{2t} \leq 13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad (4)$$

$$h_0/t_w \leq (16\alpha_0 + 0.5\lambda + 25) \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad 0 \leq \alpha_0 \leq 1.6, \quad (5a)$$

$$h_0/t_w \leq (48\alpha_0 + 0.5\lambda - 26.2) \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad 1.6 \leq \alpha_0 \leq 2.0. \quad (5b)$$

### 1.4 构件刚度条件

限制构件的最大长细比不大于允许值  $\lambda$ , 按式(6) 计算. 即

$$\lambda_{\max} \leq \lambda. \quad (6)$$

## 2 构件截面计算

工字形截面需确定 4 个尺寸, 即腹板高度、翼板宽度、腹板厚度和翼板厚度. 这 4 个参数并非完全独立, 可根据板件局部稳定条件和工字形截面轮廓尺寸, 以及回转半径之间的近似关系来确定它们之间的联系.

### 2.1 板件高厚比或宽厚比

2.1.1 翼板宽厚比 ( $b/t = \alpha_1$ ) 在设计中, 常按式(4) 限定翼板宽厚比. 对于常用钢材 (Q235),  $\alpha_1 = 25$ ; 对 16Mn 和 15MnV,  $\alpha_1 = 20$ .

2.1.2 腹板高厚比 ( $h_0/t_w = \alpha_2$ ) 腹板高厚比按式(5) 限定. 在压弯构件腹板不设加劲肋时,  $h_0/t_w \leq 80 \sqrt{235/f_y}$ , 对 Q235,  $\alpha_2 = 70$ ; 对 16Mn 和 15MnV,  $\alpha_2 = 55$ .

2.1.3 翼腹宽高比 ( $b/h_0 = \alpha_3$ ) 由工字形截面回转半径的近似值<sup>[8]</sup>可得  $i_x = 0.43h = 0.45h_0$ ,  $i_y = 0.24b$ . 再根据回转半径的定义, 可得  $b/h_0 = 1.12\alpha_1/\alpha_2$ . 将  $\alpha_1, \alpha_2$  代入  $b/h_0$ , 对 Q235,  $\alpha_3 = 0.63$ , 对于 16Mn 和 15MnV 取  $\alpha_3 = 0.65$ .

### 2.2 板件尺寸计算

从以上分析可知, 截面的 4 个几何尺寸只有一个基本未知量. 当该基本未知量确定后, 其余尺寸可由相应比值确定. 本文以腹高  $h_0$  作为基本未知量, 由不同控制条件确定截面尺寸. 根据板件高厚比或宽厚比, 可得

$$A = 2bt + h_0t_w = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_2\alpha_3^2}{\alpha_1\alpha_2} h_0^2, \quad (7)$$

$$W_x = 2I_x/h = \frac{\alpha_1 + 6\alpha_2\alpha_3^2}{6\alpha_1\alpha_2} h_0^3. \quad (8)$$

将式(7), (8) 分别代入式(1), (2) 和式(3). 经整理, 可得以  $h_0$  为未知量的方程式为

$$h_0^3 - ph_0 - q = 0. \quad (9)$$

必须注意, 计算截面强度时

$$p = \frac{\alpha_1\alpha_2N}{(\alpha_1 + 2\alpha_2\alpha_3^2)f}, \quad q = \frac{6\alpha_1\alpha_2M_x}{\gamma_x(\alpha_1 + 6\alpha_2\alpha_3^2)f}. \quad (10)$$

计算弯矩作用平面内整体稳定时, 则

$$p = \frac{\alpha_1 \alpha_2 N}{\varphi_y (\alpha_1 + 2\alpha_2 \alpha_3^2) f}, \quad q = \frac{6\alpha_1 \alpha_2 \beta_{mx} M_x}{\gamma_x (\alpha_1 + 6\alpha_2 \alpha_3^2) (1 - 0.8N/N_{Ex} f)}. \quad (11)$$

计算弯矩作用平面外整体稳定时, 则

$$p = \frac{\alpha_1 \alpha_2 N}{\varphi_y (\alpha_1 + 2\alpha_2 \alpha_3^2) f}, \quad q = \frac{6\alpha_1 \alpha_2 \beta_{mx} M_x}{\gamma_b (\alpha_1 + 6\alpha_2 \alpha_3^2) f}. \quad (12)$$

因  $\varphi_y, \varphi_x, \varphi_b, N_{Ex}$  等与截面尺寸有关, 可用  $h_0$  表示. 式(11)和式(12)的  $p, q$  是变系数, 只有式(10)的  $p, q$  是常系数. 在计算截面强度时, 式(9)是一元三次方程, 有实根<sup>6)</sup>

$$h_0 = \sqrt[3]{q/2 + \sqrt{(1/2)^2 - (p/3)^3}} + \sqrt[3]{q/2 - \sqrt{(1/2)^2 - (p/3)^3}}. \quad (13)$$

但在计算弯矩作用平面内整体稳定, 及计算弯矩作用平面外整体稳定时, 解方程式(9)较复杂, 可用迭代法求解. 求解时, 采用按截面强度计算所得的截面尺寸为初选值, 计算  $\varphi_y, \varphi_x, \varphi_b, N_{Ex}$  等, 再按式(11)或式(12)计算  $p, q$ . 同样, 由式(13)计算得弯矩作用平面内整体稳定和计算弯矩作用平面外整体稳定所需的  $h_0$ . 这样处理有两个好处: (1) 整体稳定计算时的式(9)不必写出关于  $h_0$  的表达式; (2) 迭代只需两次, 计算量较小.

### 3 算例<sup>6)</sup>

设计一双轴对称焊接工字形压弯构件截面. 翼缘板为剪切边, 承受的荷载设计值. 轴心压力  $N = 880$  kN, 构件跨度中点横向集中荷载  $F = 180$  kN, 构件长  $l = 10$  m. 两端铰接并在两端和跨中各设有一侧向支承, 材料采用 Q235-BF.

解题时, 由题意可知  $N = 880$  kN,  $M_x = 450$  kN · m,  $\alpha = 25$ ,  $\alpha_2 = 70$ ,  $\alpha_3 = 0.63$ ,  $\gamma_x = 1.05$ ,  $f = 215$  MPa. 先按截面强度计算, 得  $p = 88.9 \times 10^3$  mm<sup>2</sup>,  $q = 109 \times 10^6$  mm<sup>2</sup>,  $h_0 = 539.4$  mm 540 mm.

由比值  $\alpha, \alpha_2, \alpha_3$  和  $h_0$ , 可得  $b, t$  和  $t_w$ . 初选截面尺寸  $h_0 \times b \times t \times t_w = 540 \times 340 \times 7.7 \times 13.6$ . 由题意可知  $l_{0x} = 10\,000$  mm,  $l_{0y} = 5\,000$  mm. 计算得  $\lambda_x = 40.7$ ,  $\varphi_x = 0.896$ ,  $N_{ux} = 16\,478$  kN,  $\lambda_y = 61.4$ ,  $\varphi_y = 0.699$ ,  $\varphi_b = 0.983$ ,  $\beta_{nx} = 0.9893$ ,  $\beta_{tx} = 0.65$ ,  $(1 - 0.8N/N_{Ex}) = 0.9573$ . 对于弯矩作用平面内的整体稳定, 可由式(11), (13)得  $p = 99.2 \times 10^3$  mm<sup>2</sup>,  $q = 112.6 \times 10^6$  mm<sup>3</sup>,  $h_0 = 550.9$  (mm) 551 (mm). 对于弯矩作用平面外的整体稳定, 可由式(12), (13)得  $p = 127.2 \times 10^3$  mm<sup>2</sup>,  $q = 75.6 \times 10^6$  mm<sup>3</sup>,  $h_0 = 521.6$  (mm) 522 (mm). 经计算可知, 构件在弯矩作用平面内的整体稳定为控制条件, 所需截面尺寸  $h_0 = 551$  mm,  $b = 347.1$  mm,  $t = 13.9$  mm,  $t_w = 7.9$  mm. 腹高按 50 mm, 翼宽按 10 mm, 板厚按 2 mm 取整, 最后选定截面为  $h_0 = 550$  mm,  $b = 350$  mm,  $t = 14$  mm,  $t_w = 8$  mm. 解毕.

下面进行验算.

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} = 201.1 \text{ (MPa)} < f = 215 \text{ (MPa)},$$

$$\frac{N}{\varphi_A A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x (1 - 0.8N/N_{Ex})} = 212.2 \text{ (MPa)} < f = 215 \text{ (MPa)},$$

$$\frac{N}{\varphi_A A} + \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_x} = 183.1 \text{ (MPa)} < f = 215 \text{ (MPa)}.$$

$$\frac{b - t_w}{2t} = 12.2 < 13 \quad \overline{235/f_y} = 13,$$

$$h_0/t_w = 68.8 < (6\alpha_0 + 0.5\lambda + 25) \quad \overline{235/f_y} = 74.9 \quad (0 < \alpha_0 < 1.6),$$

$$\lambda_{\max} = 59.6 < \lambda = 150.$$

以上各式均得以满足. 与文献 [6] 设计相比, 本文设计的截面节约材料 6.6%.

## 4 结束语

本文针对工字形单向压弯构件, 从截面设计条件出发, 推导出的直接算法. 该法具有计算简便、结果正确、经济合理的特点. 对于其它形状截面的单向压弯构件, 也能参照本文的思想建立相应的直接算法公式.

## 参 考 文 献

- 1 任治章. 压杆稳定设计的直接法[J]. 力学与实践, 1993, 15(1): 66~69
- 2 段树鑫. 焊接工字型钢梁截面设计的直接算法[J]. 建筑结构, 1999, 29(11): 51~55
- 3 彭兴黔. 焊接双轴对称工字型钢梁截面设计的优化设计[J]. 钢结构, 2001, 16(1): 38~41
- 4 沈祖炎, 陈扬骥, 陈以一. 钢结构基本原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 404~405
- 5 数学手册编写组编. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979. 87~90
- 6 夏志斌, 姚 谏. 钢结构设计例题集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 214~220

## Direct Calculation on Designing the Section of a H-Shaped and One-Way Bent Member

Peng Xingqian

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

**Abstract** H-shaped and one-way bent member is one of the members with most wide applications in steel structure. Its load carrying is more complex than that of the simple bent one and that of the one carrying axial pressure alone. A lot of factors have to be considered for designing the section of bent member. In section designing, the section is often chosen initially by experience, and it is then submitted to various checking calculations; if it fails to meet the demands of design, it has to be adjusted and calculated again until it meets various conditions. In line with the demand of construction and the condition of design of bent member, the author derives a formula of direct calculation for determining the dimension of the section of member. the formula avoids much trial calculations and is easy to be applied to engineering.

**Keywords** bent member, design of section, direct calculation, steel structure