

钢压杆稳定的直接设计法研究

廖建

(西华大学 能源与环境学院, 四川 成都 610039; 西昌学院 工程技术系, 四川 西昌 615013)

【摘要】根据钢结构设计理论及规范,提出了钢结构压杆稳定设计的直接算法,摒弃传统设计的折减系数法,并考虑了残余应力对压柱的影响,避免了采用试算法的反复运算。本文通过实例进一步说明该设计方法的优越性。

【关键词】稳定设计;残余应力;临界应力;钢结构

【中图分类号】TU391 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2008)03-0078-02

1 前言

在钢结构中实际的轴心受压杆与理论上理想的轴心受压直杆有很大差别。实际上,轴心受压杆的承载能力受很多因素的影响,如初始偏心 and 初始挠度等,最主要的因素是杆件中存在的残余应力。

钢结构规范在计算轴心受压杆件临界力时,考虑了千分之一的初始挠度,忽略初始偏心,并计入焊接残余应力的影响,根据压溃理论用有限元法计算了各种残余应力情况下,构件的临界应力。但在计算时,该方法必须先假定 λ 值再查知 ϕ 值,需进行多次试算才能得到正确的设计结果,它虽是一个有效成熟的设计方法,但此试算法较为繁琐。本文提出用文献^[1]中的名义应力法来直接设计压杆截面,并进一步考虑残余应力对压杆临界力的影响。通过举一工字钢的计算来说明该方法的简捷。

2 设计理论与方法

2.1 工字钢截面残余应力对临界力的影响

图1示,工字钢残余应力计算简图,残余应力对构件强度的影响极小,因为它本身会自相平衡而不需考虑。但对构件刚度和稳定承载力具有较大的影响,不能忽略。截面因残余应力的压应力部分,在外力作用下,会使截面部分提前屈服,使截面弹性区范围减小,全截面刚度下降,当压杆达到临界状态时,截面的变形模量在屈服区 $E=0$,与弹性区仍为 E 的两部分组成。这时只有弹性部分才能继续承受压力,可按有效截面惯性矩 I_e 来近似计算构件的临界力,即

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_e}{l_0^2} = \frac{\pi^2 E I}{l_0^2} \left(\frac{I_e}{I} \right) = \frac{\pi^2 E I}{l_0^2} m \quad (1)$$

式中, $m = \frac{I_e}{I}$ 称为残余应力影响系数。

由图1所示残余应力一般等于 $(0.32 \sim 0.57)f_y$,残余拉应力可高达 $(0.5 \sim 1.0)f_y$,残余应力分布不同,对承载力就有不同程度的不利影响,下面仅对部分工字形压柱进行讨论。

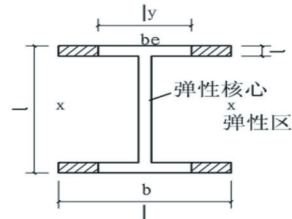


图1 工字形柱中的残余应力影响图

2.2 残余应力影响系数的计算

图1示工字钢残余应力近似分布情况,翼缘板两端皆为压应力 σ_c ,一般可达到 $0.3f_y$,翼板中部为拉应力。为简化计算忽略腹板上的残余应力。当轴心压力作用时,受压区首先达到屈服应力 f_y ,在临界状态时,翼板中部弹性区范围宽度设 b_e 为 ab ,现计算系数 m 值如图1所示。

对弱轴($y-y$)屈曲时,则

$$m = \frac{I_{ey}}{I_y} = \frac{2t(ab)^3/12}{2tb^3/12} = \left(\frac{A_e}{A} \right)^3 = a^3 \quad (2)$$

$$N_{er,y} = \frac{\pi^2 E I_e}{l_{0,y}^2} a^3 \quad (3)$$

对强轴($x-x$)屈曲时,则

$$m = \frac{I_e}{I} = \frac{2tab(\frac{h}{2})^2}{2tb(\frac{h}{2})^2} \left(\frac{A_e}{A} \right) = \alpha \quad (4)$$

$$N_{er,x} = \frac{\pi^2 E I_x}{l_{0,x}^2} \alpha \quad (5)$$

因为 $\alpha < 1$,说明残余应力对弱轴的影响比对强轴的影响严重得多。一般取 $\alpha = 0.9$ 较为合理,即假设翼板在承受外压时,屈服深度为原翼板宽度的十分之一是恰当的,它类似于钢梁在强度验算时考虑截面塑性屈服范围的塑性发展系数, γ_x 及 γ_y 的概念是一致的。

2.3 考虑压杆的初始挠度,初始偏心影响

在压杆截面设计时,构件的实际抗力为欧拉临界力 N_{er} ,同时应考虑杆件初始挠度、初始偏心、残

余应力等主要因素对压杆抗力的影响。在这里用材料分项系数 γ_R 来初步计入构件初始挠度、初始偏心对抗力的影响,即 γ_R 取 1.087,它与规范取值规定一致。需要说明的是,该项影响值应进一步深入研究,讨论其取值的合理性。

3 应用举例

3.1 现行规范对轴心压柱的设计公式为

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \frac{\sigma_{cr}}{r_R} \cdot \frac{f_r}{f_y} = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} \cdot \frac{f_r}{r_R} = \phi f \quad (6)$$

式中, ϕ 称为稳定系数,它与构件长细比 λ 有关,设计时一般先假设 $\lambda = 80 \sim 100$ 之间的某值,再查 ϕ 表,经反复试算后确定截面尺寸。

3.2 按直接荷载法对轴心压柱的设计公式为

$$N \leq N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{r_R l_0^2} m \quad (7)$$

$$\text{或 } N \leq N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E I_x}{r_R l_{0x}^2} \alpha \quad (8)$$

$$N \leq N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{r_R l_{0y}^2} \alpha^3 \quad (9)$$

3.3 例:某轴心受压柱,已知 $l_{0x} = 6\text{m}$, $l_{0y} = 3\text{m}$,设计轴心压力值 $N = 1250\text{kN}$,采用 Q235 钢 $f = 215\text{N/mm}^2$ 。试选:轧制工字钢。

解:由公式(8)及(9)对压柱截面进行设计。

已知材料 $E = 2.06 \times 10^5\text{N/mm}^2$, 设 $\alpha = 0.9$, $r_R =$

1.087,由公式(8)知:

$$I_x \geq \frac{N l_{0x}^2 r_R}{\pi^2 E \alpha} = 2676\text{cm}^4。$$

查型钢表知:选 N0:22(a)。

由公式(9)知:

$$I_x \geq \frac{N l_{0y}^2 r_R}{\pi^2 E \alpha^3} = 8.246 \times 10^6\text{mm}^4。$$

$\therefore I_y = 824.6\text{cm}^4$,查表知:选 N₀:40(C)。

综合上述分析选取工字钢号 N₀:40(C),如图 2 (b)括号内尺寸。

此方法的计算结果与传统设计方法计算结果基本一致。

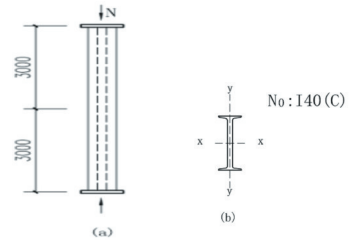


图2 例题

4 结论

本算法克服了试算法的缺点,避免了反复验算,直接算出截面尺寸大小,运算极为方便。文中仅对部分残余应力工字形截面作了初步探讨,对其它常用截面,亦可采用同样方法考虑残余应力的影响进行压柱的设计工作。

注释及参考文献:

- [1]周绶平. 钢结构[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2002.
- [2]蒋玉川, 蒋国兵. 压杆稳定设计的名义应力法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 1997, (5): 75-77.
- [3]王国周. 钢结构——原理与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [4]中华人民共和国建设部. 钢结构设计规范(GB 50017-2003)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [5]陈绍蕃. 钢结构设计原理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

Study on Direct Design Method for Stability of Steel Compression Bars

LIAO Jian

(Institute of Energy and Environmental Engineering, Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039;
Department of Engineering Technology, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: This paper put forward a direct computing method for stability design of steel pressure bar instead of the reduction coefficient method employed in conventional design, according to the theories and standards for design of steel structure, considering the influence of remaining stress to pressure-poles, which avoided the repeated trial calculating. An example was presented to further illustrate the advantages of this design method.

Key words: Stability design; Remaining stress; Critical stress; Steel structure