

第 13 章 钢结构的基本构件计算

13.1 轴心受拉构件

经常碰到无节间荷载的屋架下弦、檩条体系中的拉条都是轴心受拉构件。钢结构受拉构件多采用圆钢、扁钢、钢管、H 型钢、工字钢、角钢、组合角钢等做成,如图 13-1 所示。轴心受拉构件一般只进行强度和刚度验算。强度以净截面的平均应力达到钢材屈服为承载能力极限状态。正常使用时极限状态的刚度由长细比 λ 控制,以避免在制作、运输、安装和使用中,因产生过大变形或振动而弯折。计算时根据截面形状(以截面回转半径 i 表示)和构件两端固定形式(由计算长度 l_0 考虑确定)所决定的最不利方向的最大长细比 $\lambda_{\max}$ 进行。



图 13-1 受拉构件常用截面举例

轴心受拉杆件的强度计算公式为

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leqslant f \quad (13-1)$$

对高强度螺栓摩擦型连接处的受拉强度,按下式计算

$$\sigma = \left(1 - 0.5 \frac{n_1}{n}\right) \frac{N}{A_n} \leqslant f \quad (13-2)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \leqslant f \quad (13-3)$$

式中 N ——轴心拉力设计值；
 A_n ——拉杆净截面面积；
 f ——抗拉强度设计值；
 n ——在节点或拼接处，构件一端连接的高强度螺栓数目；
 n_1 ——所计算截面（最外列螺栓处）上高强度螺栓数目；
 A ——构件的毛截面面积。

刚度要求为

$$\lambda_{\max} = (l_0/i)_{\max} \leq [\lambda] \quad (13-4)$$

式中 $\lambda_{\max}$ ——构件最不利方向的最大长细比；
 l_0 ——构件计算长度；
 i ——截面回转半径，单角钢交叉受拉构件平面长细比可采用与角钢肢平行的回转半径；
 $[\lambda]$ ——容许长细比。

在上述公式中，对圆钢拉杆若采用花篮螺栓张紧，进行强度计算时应取螺纹处的有效面积作为净截面面积 A_n 。公式中钢材的强度设计值 f ，对于单面连接的单角钢拉杆应乘以折减系数 0.85；对拱拉杆并采用双圆钢时应乘以折减系数 0.85。

对于计算长度 l_0 可按《规范》划分的各类构件取值。例如，对桁架的杆件，弦杆在桁架平面内取 l ，桁架平面外取 l_1 ；支座斜杆和支座竖杆全部取 l ；其他肢杆，桁架平面内取 $0.8l$ ，平面外取 l ；截面两主轴均不在桁架平面内的单角钢腹杆和双角钢十字形截面腹杆取 $0.9l$ 。 l 为构件的几何长度， l_1 为桁架弦杆侧向支承点之间的距离。对于承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构，在无吊车和有轻、中级工作制吊车的厂房中，其受拉构件的容许长细比 $[\lambda]$ 值，对桁架杆件为 350；吊车梁以下柱间支撑为 300；支撑（除上述吊车梁以下柱间支撑和紧张圆钢外）为 400；对有吊车工作的厂房见《规范》。

轴心受拉构件的截面形式也应配合刚度要求尽量使截面展开

些,使肢件尽量外伸,以满足刚度要求。

13.2 轴心受压构件

13.2.1 轴心受压构件的应用

钢结构构件中轴心受压构件较为普遍,如无节间荷载的屋架上弦、桁架中的某些腹杆、两跨间的中柱、工地的井架等。采用的截面有双轴对称,也有单轴对称的。其截面形状如图 13-2 所示。

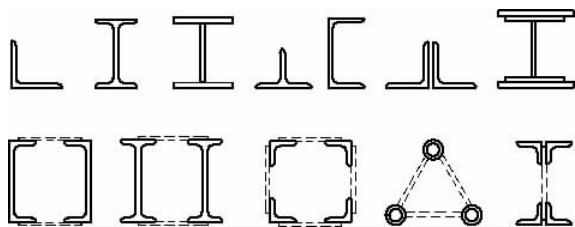


图 13-2 受压构件截面举例

轴心受压构件截面可分实腹式和格构式两类。实腹式可采用型钢,或由型钢或钢板焊接成组合截面。格构式则由型钢或钢板组合截面作分肢,用缀件将其连接成整体。格构式构件有双肢、三肢、四肢的。

13.2.2 实腹式受压构件整体稳定计算

轴心受压构件受力分析中整体稳定占有重要的地位。实腹式轴心受压构件主要分析它的整体稳定和板件的局部稳定。格构式构件主要分析其整体稳定和分肢稳定。

轴心受压构件的强度计算与轴心受拉构件相似,但只适用于短粗的杆件。细长的杆件不是因压缩破坏而是受压到一定程度因弯曲折断破坏的,此时应力还未达到破坏强度,甚至未达到屈服点即出现弯曲屈折而破坏,这种情况称为“失稳”。受压构件的失稳

包括弯曲失稳(只绕一个主轴弯曲)、扭转屈曲(只绕其纵轴扭转)、弯扭屈曲(既绕主轴弯曲,又绕纵轴扭转)。所以,轴心压杆不是由强度控制而是由“稳定”控制。轴心压杆整体的稳定采用稳定系数 φ 将强度设计值折减进行计算。

实腹式轴心受压整体稳定计算公式

$$\frac{N}{\varphi A} \leqslant f \quad (13-5)$$

式中 N ——轴心压力设计值;

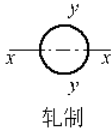
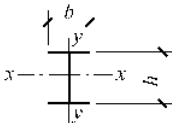
A ——压杆毛截面面积;

φ ——压杆稳定系数;

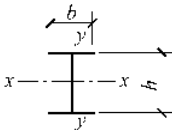
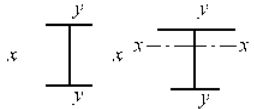
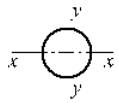
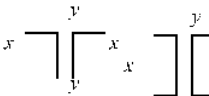
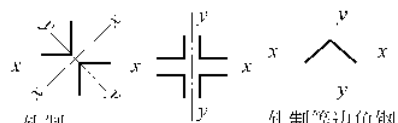
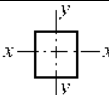
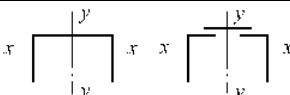
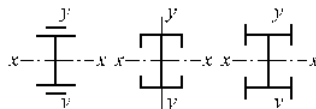
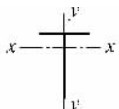
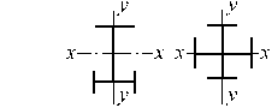
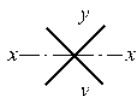
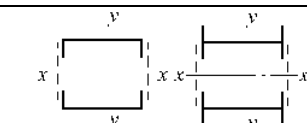
f ——钢材抗压强度设计值。

压杆稳定系数 φ 是根据理论分析结合一定条件下试验后,在《规范》中规定的。对于系数 φ 应取所计算构件截面两主轴的稳定系数中较小者。计算时应根据构件的长细比 λ 、钢材屈服强度 f_y 和截面分类,按《规范》附录 C 采用。截面分类如表 13-1 所示。表 13-2 和表 13-3 摘录了《规范》附录 C 中 a、b 两类截面的部分数据,c、d 类截面及全部数据见《规范》。

表 13-1 轴心受压构件截面分类

截面形式	对 x 轴	对 y 轴
板厚 $t \leqslant 40\text{mm}$		
	a 类	a 类
	a 类	b 类

续表

截面形式		对 x 轴	对 y 轴
板厚 $t < 40\text{mm}$			
 轧制, $b/h > 0.8$		 焊接, 翼缘为焰切边	
 焊接			
 轧制		 轧制等边角钢	
 轧制, 焊接 (板件宽厚比 > 20)		 轧制或焊接	
 焊接		 轧制截面和翼缘为焰切边的焊接截面	
 焊接		 焊接, 板件边缘焰切	
 格构式			

b 类

b 类

续表

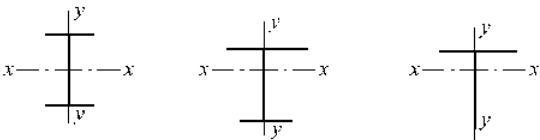
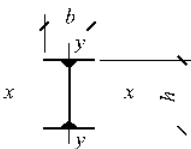
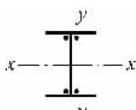
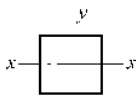
截面形式		对 x 轴	对 y 轴
板厚 $t < 40\text{mm}$			
 焊接, 翼缘为轧制或剪切边		b 类	c 类
 焊接, 板件边缘轧制或剪切		c 类	c 类
板厚 $t \geq 40\text{mm}$			
 轧制工字形或 H 形截面	$t < 80\text{mm}$	b 类	c 类
	$t \geq 80\text{mm}$	c 类	d 类
 焊接工字形截面	翼缘为焰切边	b 类	b 类
	翼缘为轧制或剪切边	c 类	d 类
 焊接箱形截面	板件宽厚比 > 20	b 类	b 类
	板件宽厚比 ≤ 20	c 类	c 类

表 13-2 a 类截面轴心受压构件稳定系数 ϕ [illegible]

表 13-3 b 类截面轴心受压构件稳定系数 φ

$\lambda \sqrt{\frac{f_y}{235}}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.668	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499
110	0.493	0.487	0.481	0.475	0.470	0.464	0.458	0.453	0.447	0.442
120	0.437	0.432	0.426	0.421	0.416	0.411	0.406	0.402	0.397	0.392
130	0.387	0.383	0.378	0.374	0.370	0.365	0.361	0.357	0.353	0.349
140	0.345	0.341	0.337	0.333	0.329	0.326	0.322	0.318	0.315	0.311
150	0.308	0.304	0.301	0.298	0.295	0.291	0.288	0.285	0.282	0.279
160	0.276	0.273	0.270	0.267	0.265	0.262	0.259	0.256	0.254	0.251
170	0.249	0.246	0.244	0.241	0.239	0.236	0.234	0.232	0.229	0.227
180	0.225	0.223	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212	0.210	0.208	0.206
190	0.204	0.202	0.200	0.198	0.197	0.195	0.193	0.191	0.190	0.188
200	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.176	0.175	0.173	0.172
210	0.170	0.169	0.167	0.166	0.165	0.163	0.162	0.160	0.159	0.158
220	0.156	0.155	0.154	0.153	0.151	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145
230	0.144	0.143	0.142	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134
240	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124
250	0.123									

对于长细比 λ , 因与截面有关从而须考虑其所绕轴的压屈变形形式。根据《规范》规定:

(1) 对截面为双轴对称或极对称的构件,除十字形截面外,其绕 x, y 轴的长细比为

$$\lambda_x = l_{0x}/i_x \quad \lambda_y = l_{0y}/i_y \quad (13-6)$$

式中 l_{0x}, l_{0y} ——对主轴 x 和 y 的计算长度;

i_x, i_y ——对主轴 x 和 y 的回转半径。

对双轴对称十字形截面构件, λ_x 或 λ_y 不得小于 $5.07b/t, b/t$ 为悬伸板的宽厚比。

(2) 截面为单轴对称的构件,绕非对称轴弯曲的长细比 λ_x 仍如双轴对称一样计算,但绕对称轴弯曲时,因考虑扭转效应而采用换算长细比 λ_{yz} 代替 λ_y ,即

$$\lambda_{yz} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\lambda_y^2 + \lambda_z^2) + \sqrt{(\lambda_y^2 + \lambda_z^2)^2 - 4\lambda_y^2 \lambda_z^2 (1 - e_0^2/i_0^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13-7)$$

$$\lambda_z^2 = i_0^2 A / (I_t / 25.7 + I_\omega / l_\omega^2) \quad (13-8)$$

$$i_0^2 = e_0^2 + i_z^2 + i_y^2 \quad (13-9)$$

式中 e_0 ——截面形心至剪心距离;

i_0 ——截面对剪心的极回转半径;

I_ω ——毛截面扇性惯性矩,对 T 形截面(轧制、双板焊接、双角钢组合)、十字形截面可近似取 $I_\omega = 0$;

I_t ——毛截面抗扭惯性矩, $I_t = \frac{k}{3} \sum_{i=1}^n b_i t_i^3$, 其中, k 为考虑

板件连接成整体的有利因素的提高系数(形状系数),对角形截面 $k=1.0$, T 形截面 $k=1.20$, 工字形截面 $k=1.30$, 槽形、Z 形截面 $k=1.12$;

l_ω ——扭转屈曲的计算长度,对两端铰接端部截面可自由翘曲或两端嵌固端部截面的翘曲完全受到约束的构件,取 $l_\omega = l_{0y}$ 。

(3) 单角钢截面和双角组合 T 形截面(见图 13-3)绕对称轴的换算长细比 λ_{yz} 等《规范》均列出详细公式,下面仅列出等边单角钢截面(见图 13-3(a))及等边双角钢截面(见图 13-3(b))换算长细比的计算公式,其余截面计算公式见《规范》。

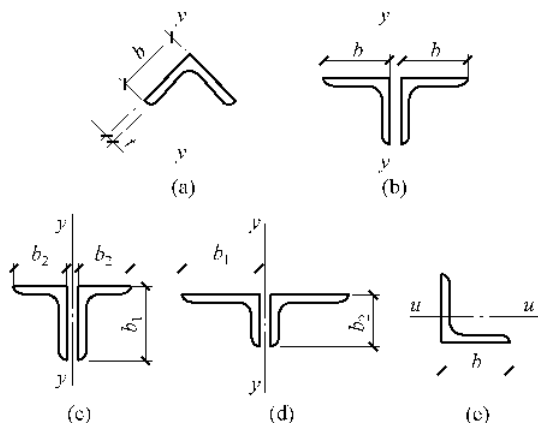


图 13-3 单角钢和双角钢组合 T 形截面

b —等边角钢肢宽度; b_1 —不等边角钢长肢宽度; b_2 —不等边角钢短肢宽度

(1) 等边单角钢截面

当 $b/t \leq 0.54l_{0y}/b$ 时,

$$\lambda_{yz} = \lambda_y \left(1 + \frac{0.85b^4}{l_{0y}^2 t^2} \right) \quad (13-10)$$

当 $b/t > 0.54l_{0y}/b$ 时,

$$\lambda_{yz} = 4.87 \frac{b}{t} \left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{13.5b^4} \right) \quad (13-11)$$

(2) 等边双角钢截面

当 $b/t \leq 0.58l_{0y}/b$ 时,

$$\lambda_{yz} = \lambda_y \left(1 + \frac{0.475b^4}{l_{0y}^2 t^2} \right) \quad (13-12)$$

当 $b/t > 0.58l_{0y}/b$ 时,

$$\lambda_{yz} = 3.9 \frac{b}{t} \left(1 + \frac{l_{0y}^2 t^2}{18.6b^4} \right) \quad (13-13)$$

无任何对称轴且又非极对称的截面(单面连接的不等边角钢除外)不适于用作轴心受压构件。

对单面连接的单角钢轴心受压构件考虑了 12.2 节中的强度折减系数后可不考虑上述弯扭效应的计算。

上述考虑弯扭效应计算中要用到剪心 S 与形心 O 的距离 e_0 , 以及毛截面扇性惯性矩 I_ω , 其计算需按薄壁构件进行, 这里只列出其中常见截面的计算公式。

(1) 薄壁槽钢(见图 13-4(a))

$$e_0 = \frac{3tb^2}{t_w h + 6tb} \quad (13-14a)$$

(2) C 型钢(见图 13-4(b))

$$e'_0 = \frac{tb}{I_x} \left(\frac{1}{4}bh^2 + \frac{1}{2}ah^2 - \frac{2}{3}a^3 \right) \quad (13-14b)$$

(3) 加强受压翼缘工字钢(见图 13-4(c))

$$h_1 = \frac{t_2 b_2^3}{t_1 b_1^3 + t_2 b_2^3} h \quad (13-14c)$$

另外, 根据分析, 剪心 S 位置的基本规律是:

(1) 双轴对称截面, 剪心与形心重合, 如图 13-4(d) 所示。

(2) 由矩形薄板相交于一点组成的截面, 剪心必位于交点上, 例如角钢、T 型钢等, 如图 13-4(e) 所示。

(3) 单轴对称截面, 剪心一定在对称轴上, 如槽钢、C 型钢(见图 13-4(a)、(b))。

至于扇性惯性矩 I_ω , 其计算公式如下:

工字形截面

$$I_\omega = \frac{I_y h^2}{4} \quad (13-14d)$$