

施工规范》GB 50755 的规定。

12.2.2 结构安装前应对构件的质量进行检查。对超出允许偏差的构件应进行处理。

12.2.3 构件吊装时,应采取防护措施保证构件不被损坏。

12.2.4 结构施工中应及时安装支撑保证结构的整体稳定性,必要时应加设揽风绳进行临时固定。

12.2.5 不得利用已安装就位的冷弯薄壁构件起吊其他重物,不得在构件的主要受力部位加焊其他物件。

12.2.6 檩条和墙梁安装时,应及时安装拉条,包括斜拉条和撑杆。拉条应适度张紧,不可将檩条和墙梁拉弯。对于跨度大、截面高度大的檩条和墙梁宜设置必要的临时支撑保证构件安装时的稳定性和平直度。

12.2.7 主体刚架安装的允许偏差应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定,檩条和墙梁安装的允许偏差应符合表 12.2.7 的规定。

表 12.2.7 檩条和墙梁安装的允许偏差

项目	允许偏差
檩条、墙梁的间距	$\pm 5.0\text{mm}$
檩条的弯曲矢高	$l/750$,且不宜大于 12.0mm
墙梁的弯曲矢高	$l/750$,且不宜大于 10.0mm
檩条、墙梁的端头错位	不宜大于 4.0mm

注: l 为檩条、墙梁的跨度。

12.2.8 在铺设屋面板时,应边铺设边固定,不得将未固定的屋面板大面积搁置在屋面上,对当天不能完成固定的屋面板应将其用绳索临时固定在檩条上。

12.2.9 安装压型钢板屋面板时,应采取措施将施工荷载分布至较大面积,不得集中堆放。

12.2.10 泛水板、包边板等应固定可靠,密封材料应敷设完好,连接件数量、间距应符合设计要求和国家现行相关标准的规定。

12.2.11 压型钢板端部之间的搭接长度应能防雨水渗漏,屋面板可取 150mm~250mm;墙面板可取 60mm~100mm。

12.2.12 压型钢板与主体结构(梁)的锚固支承长度应符合设计要求,且不应小于 50mm,端部锚固件连接应可靠,设置位置应符合设计要求。

12.2.13 压型钢板楼板在铺设时,与肋平行的钢-混凝土组合梁上的抗剪栓钉应避免焊接在压型钢板的波峰位置上。

12.2.14 压型钢板安装的允许偏差应符合表 12.2.14 的规定。

表 12.2.14 压型钢板安装的允许偏差

项目		允许偏差
屋面	压型钢板波纹线对屋脊的垂直度	$L/800$,且不宜大于 25.0mm
	檐口与屋脊的平行度	不宜大于 12.0mm
	檐口相邻两块压型钢板端部错位	不宜大于 6.0mm
	压型钢板卷边板件最大波浪高	不宜大于 4.0mm
墙面	墙板波纹线的垂直度	$H/7800$,且不宜大于 25.0mm
	墙角包边板的垂直度	$H/800$,且不宜大于 25.0mm
	相邻两块压型钢板下端错位	不宜大于 6.0mm

注: L 为屋面半坡或单坡长度, H 为墙面高度。

12.2.15 保证射钉正确安装应使用专用卡尺测量。射钉露出基材长度过长、过短都应判定为安装不合格,应将露出部分敲除后,选择其他合适位置重新安装。

12.2.16 用于屋面的自攻螺钉和射钉钉头处必须设置橡胶垫圈,并应采取措施保证钉位的准确。

12.2.17 冷弯型钢结构的安装质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

12.3 防腐涂装

12.3.1 冷弯型钢结构的防腐涂装施工应符合现行国家标准《钢

结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

12.3.2 冷弯型钢结构必须采取有效的防腐蚀措施,构造上应便于检查、清刷、油漆及避免积水,闭口截面构件沿全长和端部均应焊接封闭。

12.3.3 冷弯型钢结构应根据其使用条件和所处环境,按照本标准表 G.0.1 的侵蚀作用分类选择相应的表面处理方法和防腐措施。

12.3.4 冷弯型钢结构应根据工程情况选用下列相适应的防腐措施:

1 表面合金化镀锌、镀铝锌等金属保护层。

2 防腐涂料:

1) 无侵蚀性或弱侵蚀性条件下,可采用油性漆、酚醛漆或醇酸漆等;

2) 中等侵蚀性条件下,宜采用环氧漆、环氧酯漆、过氧乙炔漆、氯化橡胶漆或氯醋漆等;

3) 防腐涂料的底漆、中间漆和面漆应相互配套,具有相容性。

3 复合保护:

1) 用镀锌钢板制作的构件,涂装前应进行除油、磷化、钝化处理,也可除油后涂磷化底漆;

2) 表面合金化镀锌钢板、镀铝锌钢板的表面不宜涂红丹防锈漆,宜涂 H06-2 锌黄环氧酯底漆或其他专用涂料进行防护。

12.3.5 当采用防腐涂料时,冷弯型钢结构应按设计要求进行表面处理。除锈方法和除锈等级应符合现行国家标准《钢结构防护涂装通用技术条件》GB/T 28699 的规定。

12.3.6 冷弯型钢结构采用的涂装材料应具有出厂质量证明书,并应符合设计要求。涂覆方法可采用手刷或机械喷涂。

12.3.7 涂料、涂装遍数、涂层厚度应符合设计要求,当设计无要

求时,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

12.3.8 涂装时的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明书的要求,当产品说明书无要求时,环境温度宜为 $5^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$,相对湿度不应大于 85%,结构表面有结露时不得涂装,涂装后 4h 内不得搬运,不得淋雨。

12.3.9 涂装质量应均匀、细致、无明显色差,并无流挂、失光、起皱、针孔、气泡、裂纹、脱落、脏物粘附、漏涂等,必须附着良好。漆膜干透后,应用干膜测厚仪测量干膜厚度,不符合要求的应补涂。

12.3.10 冷弯型钢结构的防腐处理应符合下列规定:

1 钢材表面处理后宜在 4h 内及时涂刷防腐涂料,在室内或湿度较低的晴天不应超过 12h;

2 施工图中注明不涂装的部位不得涂装,安装焊缝处应留出 30mm~50mm 暂不涂装;

3 冷弯型钢结构安装就位后,应对运输、吊装过程中的漆膜脱落部位以及安装焊缝两侧的未油漆部位补涂油漆,使之不低于相邻部位的防护等级;

4 冷弯型钢结构外包、埋入混凝土的部位可不作涂装;

5 易淋雨或积水的构件且不易再次油漆维护的部位,应采取措施进行密封。

12.3.11 冷弯型钢结构在使用期间应对防腐涂料定期进行检查与维护。维护年限可根据结构的使用条件、表面处理方法、涂料品种及漆膜厚度分别按本标准表 G.0.2 采用。

12.3.12 当环境侵蚀作用分类为弱侵蚀性和中等侵蚀性时,室内钢结构漆膜总厚度分别不宜小于 $125\mu\text{m}$ 和 $150\mu\text{m}$,位于室外和有特殊要求的部位时,宜增加涂层厚度 $20\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$,其中室内钢结构底漆厚度不宜小于 $50\mu\text{m}$,室外钢结构底漆厚度不宜小于 $75\mu\text{m}$ 。

12.3.13 冷弯薄壁型钢龙骨体系的型钢结构构件宜采用热浸镀锌防腐。对处于中等侵蚀性及以下环境的建筑,承重型钢构件双

面热浸镀锌不应小于 $180\text{g}/\text{m}^2$ ；对处于恶劣环境的建筑，承重型钢构件双面热浸镀锌不应小于 $270\text{g}/\text{m}^2$ 。非承重型钢构件双面热浸镀锌不应小于 $120\text{g}/\text{m}^2$ 。也可采用防护效果不低于以上要求的铝锌合金镀层或其他金属镀层防腐。必要时，构件截面应根据腐蚀情况预留裕量。

12.3.14 冷弯薄壁型钢龙骨体系的型钢结构构件配套使用的自攻螺钉等紧固件宜采用涂镀锌工艺防腐，涂镀锌层厚度不应小于 $10\mu\text{m}$ 。

12.3.15 冷弯型钢结构的防腐涂装和维修时重新涂装的质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

12.4 防火涂装

12.4.1 冷弯型钢结构防火涂料施工应符合现行国家标准《钢结构防火涂料》GB 14907 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

12.4.2 防火涂料涂装前构件表面处理及防腐底漆应符合国家现行相关标准的规定。

12.4.3 对冷弯型钢结构防火涂料，薄涂型涂料应检验其粘结强度；厚度型涂料粘结强度和抗压强度应符合国家现行相关标准的规定，检验方法应符合现行国家标准《建筑构件耐火试验方法 第1部分：通用要求》GB/T 9978.1 的规定。

12.4.4 对采用涂装防腐的构件使用防火涂料时，应采用与防腐涂料具有相容性的防火涂料。

12.4.5 防火涂料涂装基层不应有油污、灰尘、泥沙等污垢。

12.4.6 涂装质量不应有误涂、漏涂，涂层应闭合无脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散和浮浆等外观缺陷，乳突已剔除。

12.4.7 薄涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 0.5mm ；厚涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 1.0mm 。

12.4.8 薄涂型防火涂料的涂层厚度应符合有关耐火极限的设计要求。厚涂型防火涂料的涂层厚度,80%及以上涂层面积应符合耐火极限的设计要求,且最薄处厚度不应低于设计要求的85%。厚度的测量方法应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 附录 F 的规定执行。

12.4.9 冷弯型钢结构在使用期间应定期对防火涂料进行检查与维护,维护年限可根据结构的使用条件、表面处理方法、涂料品种及厚度确定。

12.4.10 冷弯型钢结构的防火涂装和维修时重新涂装的质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的规定。

12.4.11 对冷弯型钢构件可采用包覆防火板的措施来满足防火设计要求,防火板产品应符合国家现行有关标准的规定。

附录 A 利用冷弯效应的强度设计值的计算方法

A.0.1 利用冷弯效应的强度设计值 f' 可按下式计算：

$$f' = \left[1 + \frac{\eta(12\gamma - 10)t}{l} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{2\pi} \right] f \quad (\text{A.0.1})$$

式中： η ——成型方式系数，对于冷弯高频焊圆变方、矩形管，可取 $\eta = 1.7$ ，对于圆管和其他方式成型的方、矩形管及开口型钢，可取 $\eta = 1.0$ ；

γ ——钢材抗拉强度与屈服强度的比值，对于 Q235 钢 γ 值可取 1.58，对于 Q355 钢 γ 值可取 1.48；

n ——型钢截面所含棱角数目；

θ ——型钢截面上第 i 个棱角所对应的圆周角(rad)(图 A.0.1)；

t ——型钢厚度；

l ——型钢截面中心线的长度(mm)，可取型钢截面积与其厚度的比值。

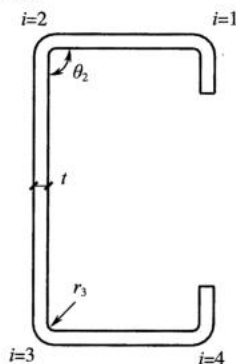


图 A.0.1 冷弯薄壁型钢截面示意图

A. 0. 2 型钢截面中心线的长度 l , 也可按下式计算:

$$l = l' + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \theta_i (2r_i + t) \quad (\text{A. 0. 2})$$

式中: l' ——型钢平板部分宽度之和(mm);

r_i ——型钢截面上第 i 个棱角内表面的弯曲半径(mm)。

附录 B 计算系数

B.1 轴心受压构件的稳定系数

表 B.1 轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.995	0.992	0.989	0.987	0.984	0.981	0.979	0.976
10	0.974	0.971	0.968	0.966	0.963	0.960	0.958	0.955	0.952	0.949
20	0.947	0.944	0.941	0.938	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921
30	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.899	0.896	0.893	0.889
40	0.886	0.882	0.879	0.875	0.872	0.868	0.864	0.861	0.858	0.855
50	0.852	0.849	0.846	0.843	0.839	0.836	0.832	0.829	0.825	0.822
60	0.818	0.814	0.810	0.806	0.802	0.797	0.793	0.789	0.784	0.779
70	0.775	0.770	0.765	0.760	0.755	0.750	0.744	0.739	0.733	0.728
80	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.673	0.667
90	0.661	0.654	0.648	0.641	0.634	0.626	0.618	0.611	0.603	0.595
100	0.588	0.580	0.573	0.566	0.558	0.551	0.544	0.537	0.530	0.523
110	0.516	0.509	0.502	0.496	0.489	0.483	0.476	0.470	0.464	0.458
120	0.452	0.446	0.440	0.434	0.428	0.423	0.417	0.412	0.406	0.401
130	0.396	0.391	0.386	0.381	0.376	0.371	0.367	0.362	0.357	0.353
140	0.349	0.344	0.340	0.336	0.332	0.328	0.324	0.320	0.316	0.312
150	0.308	0.305	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.281	0.277
160	0.274	0.271	0.268	0.265	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248
170	0.245	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.230	0.227	0.225	0.223
180	0.220	0.218	0.216	0.214	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
190	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.189	0.188	0.186	0.184	0.182
200	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.167	0.166
210	0.164	0.163	0.161	0.160	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152

续表 B.1

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
220	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145	0.144	0.143	0.141	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128
240	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
250	0.117	—	—	—	—	—	—	—	—	—

B.2 受弯构件的整体稳定系数

B.2.1 本标准图 5.3.1 所示的单轴或双轴对称截面及反对称截面的简支梁绕对称轴 x 轴弯曲时,整体稳定系数计算应符合下列规定:

1 整体稳定系数应按下列公式计算:

$$\varphi_{bx} = \frac{4320Ah}{\lambda_y^2 W_x} \xi_1 (\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta) \cdot \frac{235}{f_y} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$\eta = 2\xi_2 e_a / h \quad (\text{B.2.1-2})$$

$$\zeta = \frac{4I_w}{h^2 I_y} + \frac{0.156 I_t}{I_y} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \quad (\text{B.2.1-3})$$

$$l_0 = \mu_b l \quad (\text{B.2.1-4})$$

式中: λ_y ——梁在弯矩作用平面外的长细比;

A ——毛截面面积(mm^2);

h ——截面高度(mm);

l_0 ——梁的侧向计算长度(mm);

μ_b ——梁的侧向计算长度系数,按表 B.2.1 采用;

l ——梁的跨度(mm);

ξ_1, ξ_2 ——系数,按表 B.2.1 采用;

e_a ——横向荷载作用点到剪心的距离;对于偏心压杆或当横向荷载作用在剪心时 $e_a = 0$;当荷载不作用在剪心且荷载方向指向剪心时 e_a 为负,而离开剪心时 e_a 为正;

W_x ——对 x 轴的受压边缘毛截面模量(mm^3);

I_w ——毛截面扇性惯性矩(mm^6);

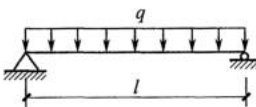
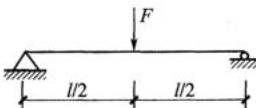
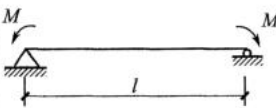
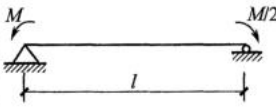
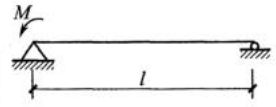
I_y ——对 y 轴的毛截面惯性矩(mm^4);

I_t ——扭转惯性矩(mm^4)。

2 如按上列公式算得的 φ_{bx} 值大于 0.7, 则应以 φ'_{bx} 值代替 φ_{bx} , φ'_{bx} 值应按下式计算:

$$\varphi'_{bx} = 1.091 - \frac{0.274}{\varphi_{bx}} \quad (\text{B. 2. 1-5})$$

表 B. 2. 1 两端及跨间侧向均为简支的受弯构件的 ξ_1 、 ξ_2 、 ξ_3 和 μ_b 值

序号	弯矩作用平面内的荷载及支承情况	跨间无侧向支承			跨中设一道侧向支承			跨间有不少于两个等距离布置的侧向支承		
		$\mu_b = 1.00$			$\mu_b = 0.50$			$\mu_b = 0.33$		
		ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_1	ξ_2	ξ_3
1		1.13	0.46	0.53	1.35	0.14	0.83	1.37	0.06	0.88
2		1.35	0.55	0.41	1.83	0	0.94	1.68	0.08	0.80
3		1.00	0	1.00	1.00	0	1.00	1.00	0	1.00
4		1.32	0	0.99	1.31	0	0.98	1.31	0	0.98
5		1.83	0	0.94	1.77	0	0.88	1.75	0	0.87

续表 B. 2. 1

序号	弯矩作用平面内的 荷载及支承情况	跨间无侧 向支承			跨中设一道 侧向支承			跨间有不少于 两个等距离布 置的侧向支承		
		$\mu_b = 1.00$			$\mu_b = 0.50$			$\mu_b = 0.33$		
		ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_1	ξ_2	ξ_3
6		2.39	0	0.68	2.13	0	0.53	2.03	0	0.59
7		2.24	0	0	1.89	0	0	1.77	0	0

B. 2. 2 对于图 B. 2. 2 所示单轴对称截面简支梁, 强轴 x 轴为不对称轴, 当绕 x 轴弯曲时, 其整体稳定系数仍可按本标准公式 (B. 2. 1-1) 计算, 但 η 应按下列公式计算:

$$\eta = 2(\xi_2 e_a + \xi_3 \beta_y) / h \quad (\text{B. 2. 2-1})$$

$$\beta_y = \frac{U_x}{2I_x} - e_{0y} \quad (\text{B. 2. 2-2})$$

$$U_x = \int_A y(x^2 + y^2) dA \quad (\text{B. 2. 2-3})$$

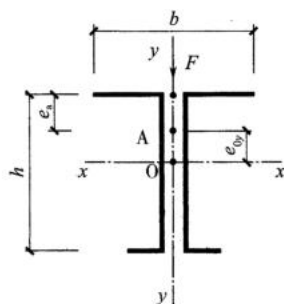


图 B. 2. 2 单轴对称截面示意图

A—剪心

式中: I_x ——对 x 轴的毛截面惯性矩(mm^4);

e_{0y} ——剪心的 y 轴坐标(mm);

ξ_3 ——系数,可按本标准表 B. 2. 1 采用。

B. 2. 3 本标准图 5. 3. 1 所示的单轴或双轴对称截面的简支梁绕弱轴 y 轴弯曲时(图 B. 2. 3),整体稳定系数计算应符合下列规定:

1 整体稳定系数应按下列公式计算:

$$\varphi_{by} = \frac{4320Ab}{\lambda_x^2 W_y} \xi_1 (\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta) \cdot \frac{235}{f_y} \quad (\text{B. 2. 3-1})$$

$$\eta = 2(\xi_2 e_a + \xi_3 \beta_x) / b \quad (\text{B. 2. 3-2})$$

$$\zeta = \frac{4I_w}{b^2 I_x} + \frac{0.156 I_t}{I_x} \left(\frac{l_0}{b} \right)^2 \quad (\text{B. 2. 3-3})$$

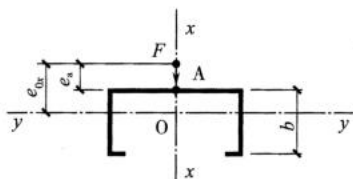


图 B. 2. 3 单轴对称卷边槽钢

A—剪心

2 β_x 的取值应符合下列规定:

1) 当 y 轴为对称轴时, β_x 应取 0;

2) 当 y 轴为非对称轴时, β_x 应按下列公式计算:

$$\beta_x = \frac{U_y}{2I_y} - e_{0x} \quad (\text{B. 2. 3-4})$$

$$U_y = \int_A x(x^2 + y^2) dA \quad (\text{B. 2. 3-5})$$

式中: b ——截面宽度(mm);

λ_x ——弯矩作用平面外的长细比(对 x 轴);

W_y ——对 y 轴的受压边缘毛截面模量(mm^3);

e_{0x} ——剪心的 x 轴坐标(mm)。

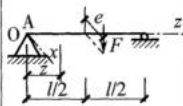
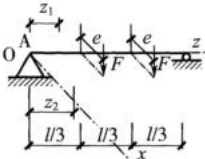
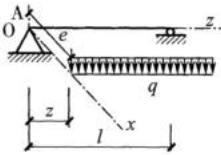
3 当 $\varphi_{by} > 0.7$ 时,应以 φ'_{by} 代替 φ_{by} , φ'_{by} 按下式计算:

$$\varphi'_{by} = 1.091 - \frac{0.274}{\varphi_{by}} \quad (\text{B. 2. 3-6})$$

B.3 简支梁的双力矩 B 的计算

B.3.1 简支梁的双力矩 B 可根据荷载情况按表 B.3.1 中所列公式计算。

表 B.3.1 简支梁双力矩 B 的计算公式

序号	I	II	III
荷载简图			
任意截面处 B	$\frac{Fe}{2k_w} \cdot \frac{\text{sh}(k_w z)}{\text{ch}\left(\frac{k_w l}{2}\right)}$	当 $z = z_1$ 时: $\frac{Fe}{k_w} \cdot \frac{\text{ch}\left(\frac{k_w l}{6}\right)}{\text{ch}\left(\frac{k_w l}{2}\right)} \text{sh}(k_w z_1)$ 当 $z = z_2$ 时: $\frac{Fe}{k_w} \cdot \frac{\text{sh}\left(\frac{k_w l}{3}\right)}{\text{ch}\left(\frac{k_w l}{2}\right)} \text{ch}\left[k_w \left(\frac{l}{2} - z_2\right)\right]$	$\frac{qe}{k_w^2} \left\{ 1 - \frac{\text{ch}\left[k_w \left(\frac{l}{2} - z\right)\right]}{\text{ch}\left(\frac{k_w l}{2}\right)} \right\}$
跨中 $B_{\max}$	$0.02\delta Fel$	$0.02\delta Fel$	$0.01\delta qel^2$

注:1 k_w 为弯扭特性系数, $k_w = \sqrt{GI_t/EI_w}$; G 为钢材的剪变模量,可按本标准表 4.2.8 采用。

2 δ 为 $B_{\max}$ 的计算系数,可由图 B.3.1 查得。

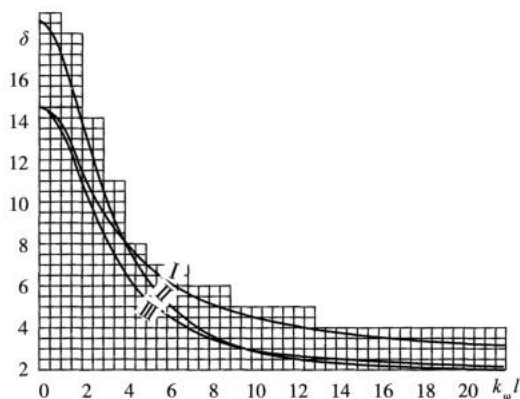


图 B.3.1 $\delta-k_w l$ 图

B.3.2 由双力矩 B 所产生的正向应力符号可按表 B.3.2 采用。

表 B.3.2 由双力矩 B 所引起的正应力符号

荷载与截面简图				
截面上的点				
1	-	+	+	-
2	+	-	-	+
3	+	-	+	-
4	-	+	-	+

注:1 正应力符号“+”代表压应力,“-”代表拉应力。

2 A 代表剪力。

3 外荷载 F 绕截面剪力 A 顺时针方向旋转;如外荷载 F 绕截面剪力 A 逆时针方向旋转,则表中所有符号均应反号。

附录 C 构件承载力计算的直接强度法

C.1 轴心受压构件

C.1.1 局部与整体相关屈曲承载力应按下列公式计算：

$$N_{nl} = \begin{cases} N_{ne}/\gamma_R & \lambda_1 \leq 0.847 \\ \left[1 - 0.10 \left(\frac{N_{crl}}{N_{ne}} \right)^{0.36} \right] \left(\frac{N_{crl}}{N_{ne}} \right)^{0.36} N_{ne}/\gamma_R & \lambda_1 > 0.847 \end{cases} \quad (C.1.1-1)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{N_{ne}/N_{crl}} \quad (C.1.1-2)$$

$$N_{crl} = A\sigma_{crl} \quad (C.1.1-3)$$

$$N_{ne} = \varphi A f_y \quad (C.1.1-4)$$

$$\sigma_{crl} = \frac{k_w \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{h} \right)^2 \quad (C.1.1-5)$$

$$k_w = 7 - \frac{1.8 \frac{b}{h}}{0.15 + \frac{b}{h}} - 1.43 \left(\frac{b}{h} \right)^3 \quad (C.1.1-6)$$

式中： λ_1 ——无量纲长细比；

γ_R ——冷弯型钢结构的抗力分项系数；

N_{crl} ——局部屈曲临界荷载；

N_{ne} ——构件整体稳定承载力(N)；

k_w ——腹板的局部相关屈曲系数；

E ——钢材的弹性模量(N/mm²)；

ν ——泊松比；

t ——板厚(mm)；

b ——翼缘宽度(mm)；

h ——腹板高度(mm);

A ——毛截面面积(mm²);

f_y ——钢材的屈服强度(N/mm²);

φ ——轴心受压构件稳定系数,应根据构件的长细比、材料的屈服强度按本标准表 B.1 取得。

C.1.2 畸变与整体相关屈曲承载力应按下列公式计算:

$$N_{nd} = \begin{cases} N_{ne}/\gamma_R & \lambda_d \leq 0.561 \\ \left[1 - 0.25 \left(\frac{N_{crd}}{N_{ne}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{N_{crd}}{N_{ne}} \right)^{0.6} N_{ne}/\gamma_R & \lambda_d > 0.561 \end{cases} \quad (\text{C.1.2-1})$$

$$\lambda_d = \sqrt{N_{ne}/N_{crd}} \quad (\text{C.1.2-2})$$

$$N_{crd} = A\sigma_{crd} \quad (\text{C.1.2-3})$$

式中: λ_d ——无量纲长细比;

N_{crd} ——畸变屈曲临界荷载(N);

σ_{crd} ——弹性畸变屈曲临界应力(N/mm²),可按本标准公式 (C.4.1-1) 计算。

C.1.3 轴心受压构件的承载力应取按本标准公式 (C.1.1-1) 和公式 (C.1.2-1) 计算的较小值。

C.2 纯弯构件

C.2.1 局部和整体相关屈曲弯矩应按下列公式计算:

$$M_{nl} = \begin{cases} M_{ne}/\gamma_R & \lambda_1 \leq 0.683 \\ \left[1 - 0.22 \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0.52} \right] \left(\frac{M_{crl}}{M_{ne}} \right)^{0.52} M_{ne}/\gamma_R & \lambda_1 > 0.683 \end{cases} \quad (\text{C.2.1-1})$$

$$\lambda_1 = \sqrt{M_{ne}/M_{crl}} \quad (\text{C.2.1-2})$$

$$M_{crl} = W_x \sigma_{crl} \quad (\text{C.2.1-3})$$

$$\sigma_{crl} = \frac{k_f \pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (\text{C.2.1-4})$$

$$k_f = 5.4 - \frac{1.4 \frac{h}{b}}{0.6 + \frac{h}{b}} - 0.02 \left(\frac{h}{b} \right)^3 \quad (\text{C. 2. 1-5})$$

$$M_{ne} = \varphi_{bx} W_x f_y \quad (\text{C. 2. 1-6})$$

式中: λ_1 ——无量纲长细比;

M_{cr1} ——弹性局部屈曲临界弯矩(N·mm);

M_{ne} ——构件整体屈曲弯矩(N·mm);

k_f ——翼缘的局部相关屈曲系数;

W_x ——毛截面模量(mm³);

φ_{bx} ——受弯构件的整体稳定系数,应按本标准第 B. 2 节的规定计算。

C. 2. 2 畸变屈曲弯矩应按下列公式计算:

$$M_{nd} = \begin{cases} M_y / \gamma_R & \lambda_d \leq 0.702 \\ \left[1 - 0.18 \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.38} \right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.38} M_y / \gamma_R & \lambda_d > 0.702 \end{cases} \quad (\text{C. 2. 2-1})$$

$$\lambda_d = \sqrt{M_y / M_{crd}} \quad (\text{C. 2. 2-2})$$

$$M_{crd} = W_x \sigma_{crd} \quad (\text{C. 2. 2-3})$$

$$M_y = W_x f_y \quad (\text{C. 2. 2-4})$$

式中: λ_d ——无量纲长细比;

M_{crd} ——弹性畸变屈曲临界弯矩(N·mm);

σ_{crd} ——弹性畸变屈曲临界应力(N/mm²),按本标准第 C. 4. 3 条的规定计算;

M_y ——截面边缘纤维屈服弯矩(N·mm)。

C. 2. 3 纯弯构件的承载力应取按本标准公式(C. 2. 1-1)和公式(C. 2. 2-1)计算的较小值。

C. 3 压弯构件

C. 3. 1 压弯构件承载力应按下列公式计算:

$$\frac{N}{N_R} + \frac{\beta_m M}{M_R} \leq 1.0 \quad (\text{C. 3. 1-1})$$

$$N_R = \min(N_{nl}, N_{nd}) \quad (\text{C. 3. 1-2})$$

$$M_R = \left(1 - \frac{N}{N'_E} \varphi\right) M_{\text{DSM}} \quad (\text{C. 3. 1-3})$$

式中: β_m ——等效弯矩系数;

N'_E ——系数,可按本标准公式(5. 5. 2-2)计算;

φ ——轴心受压构件的稳定系数;

M_{DSM} ——按纯弯构件计算的受弯承载力。

C. 3. 2 按纯弯构件计算的受弯承载力应按下列公式计算:

$$M_{\text{DSM}} = \min(M_{nl}, M_{nd}) \quad (\text{C. 3. 2})$$

C. 4 弹性畸变屈曲临界应力计算

C. 4. 1 复杂卷边槽形轴心受压构件弹性畸变屈曲临界应力的计算应符合下列规定:

1 弹性畸变屈曲临界应力应按下列公式计算:

$$\sigma_{\text{crd}} = \frac{E}{2A_f} [\alpha_1 + \alpha_2 - \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 - 4\alpha_3}] \quad (\text{C. 4. 1-1})$$

$$\alpha_1 = \frac{\eta}{\beta_1} (\beta_2 + 0.039 I_{\text{tf}} \lambda^2) + \frac{k_{\phi}}{\beta_1 \eta E} \quad (\text{C. 4. 1-2})$$

$$\alpha_2 = \eta \left(I_{\text{yf}} - 2y_{\text{of}} \frac{\beta_3}{\beta_1} \right) \quad (\text{C. 4. 1-3})$$

$$\alpha_3 = \eta \left(\alpha_1 I_{\text{yf}} - \frac{\eta}{\beta_1} \beta_3^2 \right) \quad (\text{C. 4. 1-4})$$

$$\beta_1 = h_{\text{xf}}^2 + (I_{\text{xf}} + I_{\text{yf}}) / A_f \quad (\text{C. 4. 1-5})$$

$$\beta_2 = I_{\text{wf}} + I_{\text{xf}} (x_{\text{of}} - h_{\text{xf}})^2 \quad (\text{C. 4. 1-6})$$

$$\beta_3 = I_{\text{xyf}} (x_{\text{of}} - h_{\text{xf}}) \quad (\text{C. 4. 1-7})$$

$$\beta_4 = \beta_2 + (y_{\text{of}} - h_{\text{yf}}) [I_{\text{yf}} (y_{\text{of}} - h_{\text{yf}}) - 2\beta_3] \quad (\text{C. 4. 1-8})$$

$$\lambda = 4.80 \left(\frac{\beta_4 h}{t^3} \right)^{0.25} \quad (\text{C. 4. 1-9})$$

$$\eta = (\pi/\lambda)^2 \quad (\text{C. 4. 1-10})$$

$$k_{\phi} = \frac{Et^3}{5.46(h + 0.06\lambda)} \left[1 - \frac{1.11\sigma'}{Et^2} \left(\frac{h^2\lambda}{h^2 + \lambda^2} \right)^2 \right] \quad (\text{C. 4. 1-11})$$

其中, σ' 应由本标准公式(C. 4. 1-1)计算, 此时 α_1 可按下式计算:

$$\alpha_1 = \frac{\eta}{\beta_1} (\beta_2 + 0.039I_{\text{if}}\lambda^2) \quad (\text{C. 4. 1-12})$$

2 复杂卷边与翼缘组合截面特性(图 C. 4. 1)应按下列公式计算:

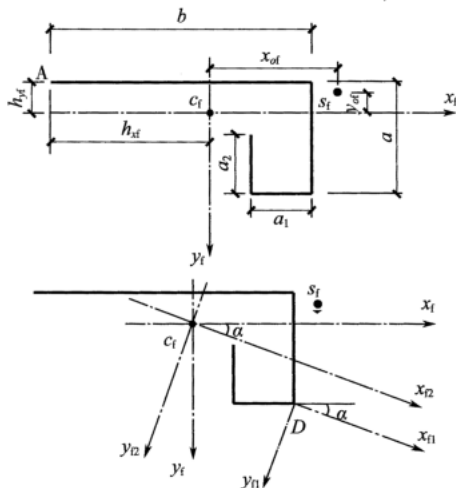


图 C. 4. 1 复杂卷边与翼缘组合截面示意

c_f, s_f —截面的形心和剪力; x_{f2}, y_{f2} —截面主惯性轴;

h_{xf}, h_{yf} —翼缘与腹板交点 A 在 x_{f1}, y_{f1} 坐标系下的坐标

$$A_f = (b + a + a_1 + a_2)t \quad (\text{C. 4. 1-13})$$

$$h_{xf} = -[b^2 + 2b(a + a_1 + a_2) - a_1^2 - 2a_1a_2]/[2(b + a + a_1 + a_2)] \quad (\text{C. 4. 1-14})$$

$$h_{yf} = -[a^2 + 2a(a_1 + a_2) - a_2^2]/[2(b + a + a_1 + a_2)] \quad (\text{C. 4. 1-15})$$

$$I_{xf} = t[(b + a_1)t^2 + a^3 + a_2^3]/12 + bth_{yf}^2 + at(a/2 + h_{yf})^2 + a_1t(a + h_{yf})^2 + a_2t(a + h_{yf} - a_2/2)^2 \quad (\text{C. 4. 1-16})$$

$$I_{yf} = t[a_1^3 + b^3 + (a + a_2)t^2]/12 + bt(b/2 + h_{xf})^2 + at(b + h_{xf})^2 + a_1t(b + h_{xf} - a_1/2)^2 + a_2t(b + h_{xf} - a_1)^2 \quad (\text{C. 4. 1-17})$$

$$I_{xyf} = bth_{yf}(b/2 + h_{xf}) + at(b + h_{xf})(a/2 + h_{yf}) + a_1t(a + h_{yf})(b + h_{xf} - a_1/2) + a_2t(a + h_{yf} - a_2/2)(b + h_{xf} - a_1) \quad (\text{C. 4. 1-18})$$

$$I_{tf} = t^3(b + a + a_1 + a_2)/3 \quad (\text{C. 4. 1-19})$$

$$\alpha = -\frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2I_{xyf}}{I_{xf} - I_{yf}}\right) \quad (\text{C. 4. 1-20})$$

$$\left\{\frac{I_{xf2}}{I_{yf2}}\right\} = \frac{I_{xf} + I_{yf}}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{I_{xf} - I_{yf}}{2}\right)^2 + I_{xyf}^2} \quad (\text{C. 4. 1-21})$$

3 剪心在 $x_{fl}Dy_{fl}$ 坐标系下的坐标 $sf(x_{ofl}, y_{ofl})$ 可按下列公式计算:

$$x_{ofl} = -tb^2a\sin\alpha(3h_{yf}\cot\alpha - 3h_{xf} - b)/(6I_{xf2}) + ta_1a_2^2\sin\alpha[(3a + 3h_{yf} - 2a_2)\cot\alpha - 3(b + h_{xf} - a_1)]/(6I_{xf2}) \quad (\text{C. 4. 1-22})$$

$$y_{ofl} = tb^2a\cos\alpha(3h_{xf} + 3h_{yf}\tan\alpha + b)/(6I_{yf2}) - ta_1a_2^2\cos\alpha[3(b + h_{xf} - a_1) + (3a + 3h_{yf} - 2a_2)\tan\alpha]/(6I_{yf2}) \quad (\text{C. 4. 1-23})$$

$$x_{of} = x_{ofl}\cos\alpha - y_{ofl}\sin\alpha + b + h_{xf} \quad (\text{C. 4. 1-24})$$

$$y_{of} = y_{ofl}\cos\alpha + x_{ofl}\sin\alpha + a + h_{yf} \quad (\text{C. 4. 1-25})$$

4 截面的主扇惯性矩可按下列公式计算:

$$I_{\omega f} = t[(g_0^2 + g_0 + g_1 + g_1^2)b + (g_1^2 + g_1g_2 + g_2^2)a + (g_2^2 + g_2g_3 + g_3^2)a_1 + (g_3^2 + g_3g_4 + g_4^2)a_2]/3 \quad (\text{C. 4. 1-26})$$

其中, $g_0 = -G$; $g_1 = G_1 - G$; $g_2 = G_2 - G$; $g_3 = G_3 - G$; $g_4 = G_4 - G$ 。截面为内向弯折复杂卷边槽钢时无 g_4 和 G_4 项。 G 、 G_1 、 G_2 、 G_3 和 G_4 可按下列公式计算:

$$G = t[bG_1 + a(G_1 + G_2) + a_1(G_2 + G_3) + a_2(G_3 + G_4)] / (2A_f) \quad (\text{C. 4. 1-27})$$

$$G_1 = -b(y_{of} - h_{yf}) \quad (\text{C. 4. 1-28})$$

$$G_2 = G_1 + a(x_{of} - h_{xf} - b) \quad (\text{C. 4. 1-29})$$

$$G_3 = G_2 - a_1(a - y_{of} + h_{yf}) \quad (\text{C. 4. 1-30})$$

$$G_4 = G_3 - a_2(x_{of} - h_{xf} - b + a_1) \quad (\text{C. 4. 1-31})$$

C. 4. 2 简单卷边槽形轴心受压构件弹性畸变屈曲临界应力的计算应符合下列规定:

1 弹性畸变屈曲临界应力 σ_{crd} 应按本标准公式(C. 4. 1-1)计算,但其中 α_1 、 α_2 、 α_3 、 λ 可按下列公式计算:

$$\alpha_1 = \frac{\eta}{\beta_1} (I_{xf} b^2 + 0.039 I_{\text{tf}} \lambda^2) + \frac{k_{\phi}}{\beta_1 \eta E} \quad (\text{C. 4. 2-1})$$

$$\alpha_2 = \eta \left(I_{yf} - \frac{2}{\beta_1} y_{of} b I_{xyf} \right) \quad (\text{C. 4. 2-2})$$

$$\alpha_3 = \eta \left(\alpha_1 I_{yf} - \frac{\eta}{\beta_1} I_{xyf}^2 b^2 \right) \quad (\text{C. 4. 2-3})$$

$$\lambda = 4.80 \left(\frac{I_{xf} b^2 h}{t^3} \right)^{0.25} \quad (\text{C. 4. 2-4})$$

其中, k_{ϕ} 可按本标准公式(C. 4. 1-11)计算, σ' 应由本标准公式(C. 4. 1-1)计算,此时 α_1 应改用公式(C. 4. 2-5)计算。

$$\alpha_1 = \frac{\eta}{\beta_1} (I_{xf} b^2 + 0.039 I_{\text{tf}} \lambda^2) \quad (\text{C. 4. 2-5})$$

2 简单直卷边和斜卷边与翼缘组合体的截面几何特性(图 C. 4. 2)可按下列公式计算,其中截面参数应按截面中心线进行选取:

$$A_f = (b + a)t \quad (\text{C. 4. 2-6})$$

$$x_{of} = (b^2 - a^2 \cos \theta) / [2(b + a)] \quad (\text{C. 4. 2-7})$$

$$y_{of} = -a^2 \sin \theta / [2(b + a)] \quad (\text{C. 4. 2-8})$$

$$I_{xf} = t[(b + a)bt^2 + (4b + a)a^3 \sin^2 \theta] / [12(b + a)] \quad (\text{C. 4. 2-9})$$

$$I_{yf} = t[b^4 + 4b^3a + 6b^2a^2 \cos \theta + (4b + a)a^3 \cos^2 \theta] / [12(b + a)] \quad (\text{C. 4. 2-10})$$

$$I_{xyf} = tba^2(b + a \cos \theta) \sin \theta / [4(b + a)] \quad (\text{C. 4. 2-11})$$

$$I_{tf} = t^3(b + a) / 3 \quad (\text{C. 4. 2-12})$$

$$I_{\omega f} = 0 \quad (\text{C. 4. 2-13})$$

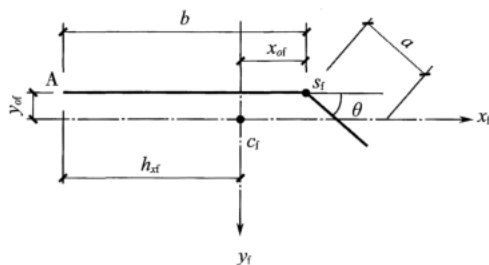


图 C. 4. 2 简单卷边与翼缘组合截面示意

C. 4. 3 纯弯构件绕强轴弯曲时的弹性畸变屈曲临界应力的计算
应符合下列规定：

1 弹性畸变屈曲临界应力 σ_{crd} 应按本标准公式(C. 4. 1-1)计算, 但应将 λ 和 k_{ϕ} 做如下改变：

$$\lambda = 4.80 \left(\frac{I_{xf} b^2 h}{2t^3} \right)^{0.25} \quad (\text{C. 4. 3-1})$$

$$k_{\phi} = \frac{2Et^3}{5.46(h + 0.06\lambda)} \left(1 - \frac{1.11\sigma'}{Et^2} \cdot \frac{h^4 \lambda^2}{2.192h^4 + 13.39h^2 \lambda^2 + 12.56\lambda^4} \right) \quad (\text{C. 4. 3-2})$$

2 若 k_{ϕ} 为负值, k_{ϕ} 按公式(C. 4. 3-2)计算时, σ' 应取 0。

3 若完全约束带卷边翼缘畸变屈曲的支撑间距小于由公式

(C. 4. 3-1)计算得到的 λ 时, λ 应取支撑间距。

4 σ' 可由本标准公式(C. 4. 1-1)计算,但 α_1 应改用本标准公式(C. 4. 2-5)计算。

附录 D 截面特性

D.1 常用截面特性表

D.1.1 方钢管(图 D.1.1)的常用截面特性可按表 D.1.1 采用。

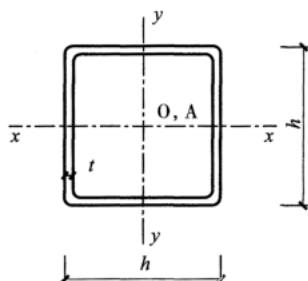


图 D.1.1 方钢管截面示意图

表 D.1.1 方钢管

尺寸(mm)		截面面积 (cm ²)	每米长质量 (kg/m)	I_x (cm ⁴)	i_x (cm)	W_x (cm ³)
h	t					
25	1.5	1.31	1.03	1.16	0.94	0.92
30	1.5	1.61	1.27	2.11	1.14	1.40
40	1.5	2.21	1.74	5.33	1.55	2.67
40	2.0	2.87	2.25	6.66	1.52	3.33
50	1.5	2.81	2.21	10.82	1.96	4.33
50	2.0	3.67	2.88	13.71	1.93	5.48
60	2.0	4.47	3.51	24.51	2.34	8.17
60	2.5	5.48	4.30	29.36	2.31	9.79
80	2.0	6.07	4.76	60.58	3.16	15.15

续表 D. 1. 1

尺寸(mm)		截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)
h	t					
80	2.5	7.48	5.87	73.40	3.13	18.35
100	2.5	9.48	7.44	147.91	3.95	29.58
100	3.0	11.25	8.83	173.12	3.92	34.62
120	2.5	11.48	9.01	260.88	4.77	43.48
120	3.0	13.65	10.72	306.71	4.74	51.12
140	3.0	16.05	12.60	495.68	5.56	70.81
140	3.5	18.58	14.59	568.22	5.53	81.17
140	4.0	21.07	16.44	637.97	5.50	91.14
160	3.0	18.45	14.49	749.64	6.37	93.71
160	3.5	21.38	16.77	861.34	6.35	107.67
160	4.0	24.27	19.05	969.35	6.32	121.17
160	4.5	27.12	21.05	1073.66	6.29	134.21
160	5.0	29.93	23.35	1174.44	6.26	146.81

D. 1. 2 等边角钢 (图 D. 1. 2) 的常用截面特性可按表 D. 1. 2 采用。

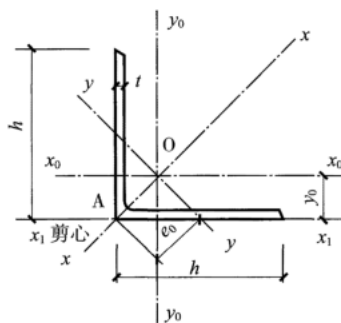


图 D. 1. 2 等边角钢截面示意图

表 D.1.2 等边角钢

尺寸(mm)		截面 面积 (cm^2)	每米长 质量 (kg/m)	y_0 (cm)	$x_0 - x_0$				$x - x$		$y - y$		$x_1 - x_1$	e_0 (cm)	I_t (cm^4)
h	t				I_{x0} (cm^4)	i_{x0} (cm)	$W_{x0\max}$ (cm^3)	$W_{x0\min}$ (cm^3)	I_x (cm^4)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	I_{x1} (cm^4)		
30	1.5	0.85	0.67	0.828	0.77	0.95	0.93	0.35	1.25	1.21	0.29	0.58	1.35	1.07	0.0064
30	2.0	1.12	0.88	0.855	0.99	0.94	1.16	0.46	1.63	1.21	0.36	0.57	1.81	1.07	0.0149
40	2.0	1.52	1.19	1.105	2.43	1.27	2.20	0.84	3.95	1.61	0.90	0.77	4.28	1.42	0.0203
40	2.5	1.87	1.47	1.132	2.96	1.26	2.62	1.03	4.85	1.61	1.07	0.76	5.36	1.42	0.0390
50	2.5	2.37	1.86	1.381	5.93	1.58	4.29	1.64	9.65	2.02	2.20	0.96	10.44	1.78	0.0494
50	3.0	2.81	2.21	1.408	6.97	1.57	4.95	1.94	11.40	2.01	2.54	0.95	12.55	1.78	0.0843
60	2.5	2.87	2.25	1.630	10.41	1.90	6.38	2.38	16.90	2.43	3.91	1.17	18.03	2.13	0.0598
60	3.0	3.41	2.68	1.657	12.29	1.90	7.42	2.83	20.02	2.42	4.56	1.16	21.66	2.13	0.1023
75	2.5	3.62	2.84	2.005	20.65	2.39	10.30	3.76	33.43	3.04	7.87	1.48	35.20	2.66	0.0755
75	3.0	4.31	3.39	2.031	24.47	2.38	12.05	4.47	39.70	3.03	9.23	1.46	42.26	2.66	0.1293

D. 1.3 槽钢(图 D. 1.3)的常用截面特性可按表 D. 1.3 采用。

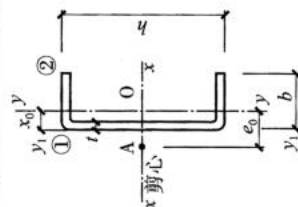


图 D. 1.3 槽钢截面示意图

表 D. 1.3 槽钢

尺寸(mm)		截面 面积 (cm^2)	每米长 质量 (kg/m)	$x-x$			$y-y$				y_1-y_1	e_0 (cm)	I_x (cm^4)	I_y (cm^4)	i_x (cm)	i_y (cm)	$W_{y\max}$ (cm^3)	$W_{y\min}$ (cm^3)	I_{y1} (cm^4)	k (cm^{-1})	W_{al} (cm^4)	W_{ad} (cm^4)
h	b			I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)																
60	30	2.5	2.74	0.883	14.38	2.31	4.89	2.40	0.94	2.71	1.13	1.88	0.0571	12.21	0.0425	4.72	2.51					
80	40	2.5	3.74	1.132	36.70	3.13	9.18	5.92	1.26	5.23	2.06	2.51	0.0779	57.36	0.0229	11.61	6.37					
80	40	3.0	4.43	1.159	42.66	3.10	10.67	6.93	1.25	5.98	2.44	2.51	0.1328	64.58	0.0282	13.64	7.34					
100	40	2.5	4.24	1.013	62.07	3.83	12.41	6.37	1.23	6.29	2.13	2.30	0.0884	99.70	0.0185	17.07	8.44					
100	40	3.0	5.03	1.039	72.44	3.80	14.49	7.47	1.22	7.19	2.52	2.30	0.1508	113.23	0.0227	20.20	9.79					

续表 D.1.3

尺寸(mm)			截面	每米长	x_0 (cm)	$x-x$			$y-y$			y_1-y_1		e_0 (cm)	I_t (cm ⁴)	I_w (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W_{al} (cm ⁴)	W_{az} (cm ⁴)
h	b	t	面积 (cm ²)	质量 (kg/m)		I_x (cm ⁴)	i_x (cm)	W_x (cm ³)	I_y (cm ⁴)	i_y (cm)	$W_{y\max}$ (cm ³)	$W_{y\min}$ (cm ³)	I_{y1} (cm ⁴)						
120	40	2.5	4.74	3.72	0.919	95.92	4.50	15.99	6.72	1.19	7.32	2.18	10.73	2.13	0.0988	156.19	0.0156	23.62	10.59
120	40	3.0	5.63	4.42	0.944	112.28	4.47	18.71	7.90	1.19	8.37	2.58	12.91	2.12	0.1688	178.49	0.0191	28.13	12.33
140	50	3.0	6.83	5.36	1.187	191.53	5.30	27.36	15.52	1.51	13.08	4.07	25.13	2.75	0.2048	487.60	0.0128	48.99	22.93
140	50	3.5	7.89	6.20	1.211	218.88	5.27	31.27	17.79	1.50	14.69	4.70	29.37	2.74	0.3223	546.44	0.0151	56.72	26.09
160	60	3.0	8.03	6.30	1.432	300.87	6.12	37.61	26.90	1.83	18.79	5.89	43.35	3.37	0.2408	1119.78	0.0091	78.25	38.21
160	60	3.5	9.29	7.20	1.456	344.94	6.09	43.12	30.92	1.82	21.23	6.81	50.63	3.37	0.3794	1264.16	0.0108	90.71	43.68

D. 1.4 卷边槽钢(图 D. 1.4)的常用截面特性可按表 D. 1.4 采用。

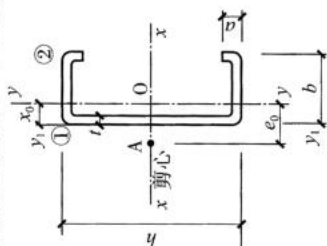


图 D. 1.4 卷边槽钢截面示意图

表 D. 1.4 卷边槽钢

尺寸(mm)			截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	x ₀ (cm)	x - x			y - y				y ₁ - y ₁	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)	I _w (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W _{axl} (cm ⁴)	W _{ayl} (cm ⁴)	
						I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	W _x (cm ³)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _y ^{max} (cm ³)	W _y ^{min} (cm ³)								
h	b	a	t																	
80	40	15	2.0	3.47		1.452	34.16	3.14	8.54	7.79	1.50	5.36	3.06	15.10	3.36	0.0462	112.90	0.0126	16.03	15.74
100	50	15	2.5	5.23	1.706	81.34	3.94	16.27	17.19	1.81	10.08	5.22	32.41	3.94	0.1090	352.80	0.0109	34.47	29.41	
120	50	20	2.5	5.98	1.706	129.40	4.65	21.57	20.96	1.87	12.28	6.36	38.36	4.03	0.1246	660.90	0.0085	51.04	48.36	
120	60	20	3.0	7.65	2.106	170.68	4.72	28.45	37.36	2.21	17.74	9.59	71.31	4.87	0.2296	1153.20	0.0087	75.68	68.84	

续表 D.1.4

尺寸(mm)			截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	x ₀ (cm)	x-x			y-y				e ₀ (cm)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	I _ω (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W _{ax} (cm ³)	W _{ay} (cm ³)
h	b	a	t			I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	W _x (cm ³)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _y (cm ³)	W _y _{max} (cm ³)	W _y _{min} (cm ³)						
140	50	20	2.0	5.27	4.14	1 590	154.03	5.41	22.00	18.56	1.88	11.68	5.44	31.86	0.0703	794.79	0.0058	51.44	52.22
140	50	20	2.2	5.76	4.52	1 590	167.40	5.39	23.91	20.03	1.87	12.62	5.87	34.53	0.0929	852.46	0.0065	55.98	56.84
140	50	20	2.5	6.48	5.09	1 580	186.78	5.39	26.68	22.11	1.85	13.96	6.47	38.38	0.1351	931.89	0.0075	62.56	63.56
140	60	20	3.0	8.25	6.48	1 964	245.42	5.45	35.06	39.49	2.19	20.11	9.79	71.33	0.2476	1589.80	0.0078	92.69	79.00
160	60	20	2.0	6.07	4.76	1 850	236.59	6.24	29.57	29.99	2.22	16.19	7.23	50.83	0.0809	1596.28	0.0044	76.92	71.30
160	60	20	2.2	6.64	5.21	1 850	257.57	6.23	32.20	32.45	2.21	17.53	7.82	55.19	0.1071	1717.82	0.0049	83.82	77.55
160	60	20	2.5	7.48	5.87	1 850	288.13	6.21	36.02	35.96	2.19	19.47	8.66	61.49	0.1559	1887.71	0.0056	93.87	86.63
160	70	20	3.0	9.45	7.42	2 224	373.64	6.29	46.71	60.42	2.53	27.17	12.65	107.20	0.2836	3070.50	0.0060	135.49	109.92
180	70	20	2.0	6.87	5.39	2 110	343.93	7.08	38.21	45.18	2.57	21.37	9.25	75.87	0.0916	2934.34	0.0035	109.50	95.22
180	70	20	2.2	7.52	5.90	2 110	374.90	7.06	41.66	48.97	2.55	23.19	10.02	82.49	0.1213	3165.62	0.0038	119.44	103.58
180	70	20	2.5	8.48	6.66	2 110	420.20	7.04	46.69	54.42	2.53	25.82	11.12	92.08	0.1767	3492.15	0.0044	133.99	115.73
200	70	20	2.0	7.27	5.71	2 000	440.04	7.78	44.00	46.71	2.54	23.32	9.35	75.88	0.0969	3672.33	0.0032	126.74	106.15
200	70	20	2.2	7.96	6.25	2 000	479.87	7.77	47.99	50.64	2.52	25.31	10.13	82.49	0.1284	3963.82	0.0035	138.26	115.74

续表 D.1.4

尺寸(mm)				截面 面积 (cm^2)	每米长 质量 (kg/m)	x_0 (cm)	$x-x$			$y-y$				y_1-y_1	e_0 (cm)	I_t (cm^4)	I_w (cm^6)	k (cm^{-1})	W_{al} (cm^4)	W_{ad} (cm^4)
h	b	a	t				I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	$W_{y\max}$ (cm^3)	$W_{y\min}$ (cm^3)							
200	70	20	2.5	8.98	7.05	2.000 538.21	7.74	53.82	56.27	2.50	28.18	11.25	92.09	4.89	0.1871	4376.18	0.0041	155.14	129.75	
220	75	20	2.0	7.87	6.18	2.080 574.45	8.54	52.22	56.88	2.69	27.35	10.50	90.93	5.18	0.1049	5313.52	0.0028	158.43	127.32	
220	75	20	2.2	8.62	6.77	2.080 626.85	8.53	56.99	61.71	2.68	29.70	11.38	98.91	5.15	0.1391	5742.07	0.0031	172.92	138.93	
220	75	20	2.5	9.73	7.64	2.070 703.76	8.50	63.98	68.66	2.66	33.11	12.65	110.51	5.11	0.2028	6351.05	0.0035	194.18	155.94	

D.1.5 卷边 Z 形钢(图 D.1.5)的常用截面特性可按表 D.1.5 采用。

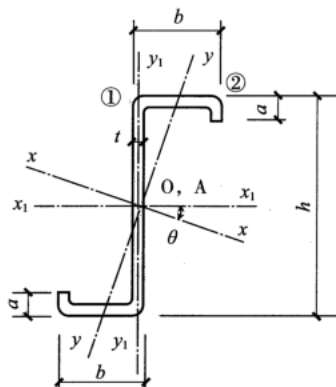


图 D.1.5 卷边 Z 形钢截面示意图

D.1.6 斜卷边 Z 形钢(图 D.1.6)的常用截面特性可按表 D.1.6 采用。

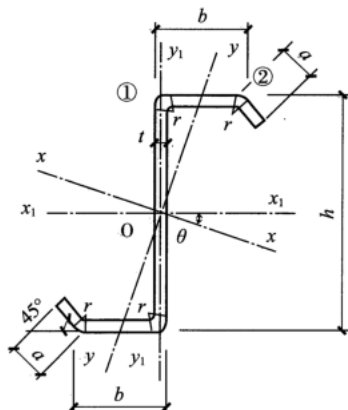


图 D.1.6 斜卷边 Z 形钢截面示意图

表 D. 1. 5

尺寸(mm)				截面 面积 (cm^2)	每米 长质 量(kg /m)	θ ($^\circ$)	$x_1 - x_1$			$y_1 - y_1$			$x -$	
h	b	a	t				I_{x1} (cm^4)	i_{x1} (cm)	W_{x1} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)	i_{y1} (cm)	W_{y1} (cm^3)	I_x (cm^4)	i_x (cm)
100	40	20	2.0	4.07	3.19	24.017	60.04	3.84	12.01	17.02	2.05	4.36	70.70	4.17
100	40	20	2.5	4.98	3.91	23.767	72.10	3.80	14.42	20.02	2.00	5.17	84.63	4.12
120	50	20	2.0	4.87	3.82	24.050	106.97	4.69	17.83	30.23	2.49	6.17	126.06	5.09
120	50	20	2.5	5.98	4.70	23.833	129.39	4.65	21.57	35.91	2.45	7.37	152.05	5.04
120	50	20	3.0	7.05	5.54	23.600	150.14	4.61	25.02	40.88	2.41	8.43	175.92	4.99
140	50	20	2.5	6.48	5.09	19.417	186.77	5.37	26.68	35.91	2.35	7.37	209.19	5.67
140	50	20	3.0	7.65	6.01	19.200	217.26	5.33	31.04	40.83	2.31	8.43	241.62	5.62
160	60	20	2.5	7.48	5.87	19.983	288.12	6.21	36.01	58.15	2.79	9.90	323.13	6.57
160	60	20	3.0	8.85	6.95	19.783	336.66	6.17	42.08	66.66	2.74	11.39	376.76	6.52
160	70	20	2.5	7.98	6.27	23.767	319.13	6.32	39.89	87.74	3.32	12.76	374.76	6.85
160	70	20	3.0	9.45	7.42	23.567	373.64	6.29	46.71	101.10	3.27	14.76	437.72	6.80
180	70	20	2.5	8.48	6.66	20.367	420.18	7.04	46.69	87.74	3.22	12.76	473.34	7.47
180	70	20	3.0	10.05	7.89	20.183	492.61	7.00	54.73	101.11	3.17	14.76	553.83	7.42

卷边 Z 形钢

x		$y-y$				I_{x1y1} (cm^4)	I_t (cm^4)	I_w (cm^6)	k (cm^{-1})	W_{a1} (cm^3)	W_{a2} (cm^3)
W_{x1} (cm^3)	W_{x2} (cm^3)	I_y (cm^4)	i_y (cm)	W_{y1} (cm^3)	W_{y2} (cm^3)						
15.93	11.94	6.36	1.25	3.36	4.42	23.93	0.0542	325.0	0.0081	49.97	29.16
19.18	14.47	7.49	1.23	4.07	5.28	28.45	0.1038	381.9	0.0102	62.25	35.03
23.55	17.40	11.14	1.51	4.83	5.74	42.77	0.0649	785.2	0.0057	84.05	43.96
28.55	21.21	13.25	1.49	5.89	6.89	51.30	0.1246	930.9	0.0072	104.68	52.94
33.18	24.80	15.11	1.46	6.89	7.92	58.99	0.2116	1058.9	0.0087	125.37	61.22
32.55	26.34	14.48	1.49	6.69	6.78	60.75	0.1350	1289.0	0.0064	137.04	60.03
37.76	30.70	16.52	1.47	7.84	7.81	69.93	0.2296	1468.2	0.0077	164.94	69.51
44.00	34.95	23.14	1.76	9.00	8.71	96.32	0.1559	2634.3	0.0048	205.98	86.28
51.48	41.08	26.56	1.73	10.58	10.07	111.51	0.2656	3019.4	0.0058	247.41	100.15
52.35	38.23	32.11	2.01	10.53	10.86	126.37	0.1663	3793.3	0.0041	238.87	106.91
61.33	45.01	37.03	1.98	12.39	12.58	146.86	0.2836	4365.0	0.0050	285.78	124.26
57.27	44.88	34.58	2.02	11.66	10.86	143.18	0.1767	4907.9	0.0037	294.53	119.41
67.22	52.89	39.89	1.99	13.72	12.59	166.47	0.3016	5652.2	0.0045	353.32	138.92

表 D. 1. 6 斜

尺寸(mm)				截面 面积 (cm^2)	每米 长质 量(kg /m)	θ ($^\circ$)	$x_1 - x_1$			$y_1 - y_1$			$x -$	
H	b	a	t				I_{x1} (cm^4)	i_{x1} (cm)	W_{x1} (cm^3)	I_{y1} (cm^4)	i_{y1} (cm)	W_{y1} (cm^3)	I_x (cm^4)	i_x (cm)
140	50	20	2.0	5.392	4.233	21.986	162.065	5.482	23.152	39.363	2.702	6.234	185.962	5.872
140	50	20	2.2	5.909	4.638	21.998	176.813	5.470	25.259	42.928	2.695	6.809	202.926	5.860
140	50	20	2.5	6.676	5.240	22.018	198.446	5.452	28.349	48.154	2.686	7.657	227.828	5.842
160	60	20	2.0	6.192	4.861	22.104	246.830	6.313	30.854	60.271	3.120	8.240	283.680	6.768
160	60	20	2.2	6.789	5.329	22.113	269.592	6.302	33.699	65.802	3.113	9.009	309.891	6.756
160	60	20	2.5	7.676	6.025	22.128	303.090	6.284	37.886	73.935	3.104	10.143	348.487	6.738
180	70	20	2.0	6.992	5.489	22.185	356.620	7.141	39.624	87.417	3.536	10.514	410.315	7.660
180	70	20	2.2	7.669	6.020	22.193	389.835	7.130	43.315	95.518	3.529	11.502	448.592	7.648
180	70	20	2.5	8.676	6.810	22.205	438.835	7.112	48.759	107.460	3.519	12.964	505.087	7.630
200	70	20	2.0	7.392	5.803	19.305	455.430	7.849	45.543	87.418	3.439	10.514	506.903	8.281
200	70	20	2.2	8.109	6.365	19.309	498.023	7.837	49.802	95.520	3.432	11.503	554.346	8.268
200	70	20	2.5	9.176	7.203	19.314	560.921	7.819	56.092	107.462	3.422	12.964	624.421	8.249
220	75	20	2.0	7.992	6.274	18.300	592.787	8.612	53.890	103.580	3.600	11.751	652.866	9.038
220	75	20	2.2	8.769	6.884	18.302	648.520	8.600	58.956	113.220	3.593	12.860	714.276	9.025
220	75	20	2.5	9.926	7.792	18.305	730.926	8.581	66.448	127.443	3.583	14.500	805.086	9.006
250	75	20	2.0	8.592	6.745	15.389	799.640	9.647	63.791	103.580	3.472	11.752	856.690	9.985
250	75	20	2.2	9.429	7.402	15.387	875.145	9.634	70.012	113.223	3.465	12.860	937.579	9.972
250	75	20	2.5	10.676	8.380	15.385	986.898	9.615	78.952	127.447	3.455	14.500	1057.30	9.952

卷边 Z 形钢

x		$y-y$				I_{x1y1}	I_t	I_w	k	W_{al}	$W_{\omega 2}$
W_{x1}	W_{x2}	I_y	i_y	W_{y1}	W_{y2}	(cm^4)	(cm^4)	(cm^6)	(cm^{-1})	(cm^4)	(cm^4)
(cm^3)	(cm^3)	(cm^4)	(cm)	(cm^3)	(cm^3)						
30.377	22.470	15.466	1.694	6.107	8.067	59.189	0.0719	1298.621	0.0046	118.281	59.185
33.352	24.544	16.814	1.687	6.659	8.823	64.638	0.0953	1407.575	0.0051	130.014	64.382
37.792	27.598	18.771	1.667	7.468	9.941	72.659	0.1391	1563.520	0.0058	147.558	71.926
40.271	29.603	23.422	1.945	8.018	9.554	90.733	0.0826	2559.036	0.0035	175.940	82.223
44.225	32.367	25.503	1.938	8.753	10.450	99.179	0.1095	2779.796	0.0039	193.430	89.569
50.132	36.445	28.537	1.928	9.834	11.775	111.642	0.1599	3098.400	0.0044	219.605	100.260
51.502	37.679	33.722	2.196	10.191	11.289	131.674	0.0932	4643.994	0.0028	249.609	111.100
56.570	41.226	36.761	2.189	11.136	12.351	144.034	0.1237	5052.769	0.0031	274.455	121.130
64.143	46.471	41.208	2.179	12.528	13.923	162.307	0.1807	5654.157	0.0035	311.661	135.810
56.094	43.435	35.944	2.205	11.109	11.339	146.944	0.0986	5882.294	0.0025	302.430	123.440
61.618	47.533	39.197	2.200	12.138	12.419	160.756	0.1308	6403.010	0.0028	332.826	134.660
69.876	53.596	43.962	2.189	13.654	14.021	181.182	0.1912	7160.113	0.0032	378.452	151.080
65.085	51.328	43.500	2.333	12.829	12.343	181.661	0.1066	8483.845	0.0022	383.110	148.380
71.501	56.190	47.465	2.327	14.023	13.524	198.803	0.1415	9242.136	0.0024	421.750	161.950
81.096	63.392	53.283	2.317	15.783	15.278	224.175	0.2068	10347.65	0.0028	479.804	181.870
71.976	61.841	46.532	2.327	14.553	12.090	207.280	0.1146	11298.92	0.0020	485.919	169.980
78.870	67.773	50.789	2.321	15.946	14.211	226.864	0.1521	12314.34	0.0022	535.491	184.530
89.108	76.584	57.044	2.312	18.014	16.169	255.870	0.2224	13797.02	0.0025	610.188	207.380

D. 1. 7 卷边等边角钢(图 D. 1. 7)的常用截面特性可按表 D. 1. 7 采用。

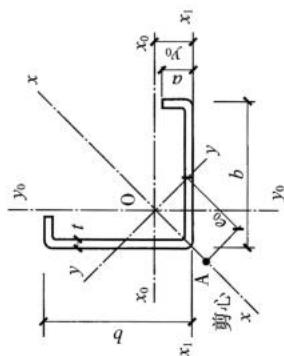


图 D. 1. 7 卷边等边角钢截面示意图
表 D. 1. 7 卷边等边角钢

尺寸(mm)		截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	y ₀ (cm)	x ₀ - x ₀				x - x		y - y		x ₁ - x ₁	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)	I _ω (cm ⁶)
					I _{x0} (cm ⁴)	i _{x0} (cm)	W _{x0max} (cm ³)	W _{x0min} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)				
b	a	t														
40	15	2.0	1.53	1.404	3.93	1.42	2.80	1.51	5.74	1.72	2.12	1.04	7.78	2.37	0.0260	3.88
60	20	2.0	2.32	2.026	13.83	2.17	6.83	3.48	20.56	2.64	7.11	1.55	25.94	3.38	0.0394	22.64
75	20	2.0	3.55	2.396	25.60	2.69	10.68	5.02	39.01	3.31	12.19	1.85	45.99	3.82	0.0473	36.55
75	20	2.5	4.36	2.401	30.76	2.66	12.81	6.03	46.91	3.28	14.60	11.83	55.90	3.80	0.0909	43.33

D.1.8 焊接薄壁圆钢管(图 D.1.8)的常用截面特性可按表 D.1.8 采用。

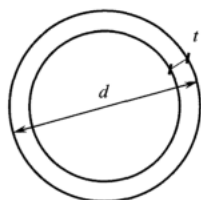


图 D.1.8 焊接薄壁圆钢管截面示意图

表 D.1.8 焊接薄壁圆钢管

尺寸(mm)		截面积 (cm ²)	每米长质量 (kg/m)	I (cm ⁴)	i (cm)	W (cm ³)
d	t					
25	1.5	1.11	0.87	0.77	0.83	0.61
30	1.5	1.34	1.05	1.37	1.01	0.91
30	2.0	1.76	1.38	1.73	0.99	1.16
40	1.5	1.81	1.42	3.37	1.36	1.68
40	2.0	2.39	1.88	4.32	1.35	2.16
51	2.0	3.08	2.42	9.26	1.73	3.63
57	2.0	3.46	2.71	13.08	1.95	4.59
60	2.0	3.64	2.86	15.34	2.05	5.10
70	2.0	4.27	3.35	24.72	2.41	7.06
76	2.0	4.65	3.65	31.85	2.62	8.38
83	2.0	5.09	4.00	41.76	2.87	10.06
83	2.5	6.32	4.96	51.26	2.85	12.35
89	2.0	5.47	4.29	51.74	3.08	11.63
89	2.5	6.79	5.33	63.59	3.06	14.29
95	2.0	5.84	4.59	63.20	3.29	13.31

续表 D. 1. 8

尺寸(mm)		截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	I (cm^4)	i (cm)	W (cm^3)
d	t					
95	2.5	7.26	5.70	77.76	3.27	16.37
102	2.0	6.28	4.93	78.55	3.54	15.40
102	2.5	7.81	6.14	96.76	3.52	18.97
102	3.0	9.33	7.33	114.40	3.50	22.43
108	2.0	6.66	5.23	93.60	3.75	17.33
108	2.5	8.29	6.51	115.40	3.73	21.37
108	3.0	9.90	7.77	136.50	3.72	25.28
114	2.0	7.04	5.52	110.40	3.96	19.37
114	2.5	8.76	6.87	136.20	3.94	23.89
114	3.0	10.46	8.21	161.30	3.93	28.30
121	2.0	7.48	5.87	132.40	4.21	21.88
121	2.5	9.31	7.31	163.50	4.19	27.02
121	3.0	11.12	8.73	193.70	4.17	32.02
127	2.0	7.85	6.17	153.40	4.42	24.16
127	2.5	9.78	7.68	189.50	4.40	29.84
127	3.0	11.69	9.18	224.70	4.39	35.39
133	2.5	10.25	8.05	218.20	4.62	32.81
133	3.0	12.25	9.62	259.00	4.60	38.95
133	3.5	14.24	11.18	298.70	4.58	44.92
140	2.5	10.80	8.48	255.30	4.86	36.47
140	3.0	12.91	10.13	303.10	4.85	43.29
140	3.5	15.01	11.78	349.80	4.83	49.97
152	3.0	14.04	11.02	389.90	5.27	51.30

续表 D.1.8

尺寸(mm)		截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	I (cm^4)	i (cm)	W (cm^3)
d	t					
152	3.5	16.33	12.82	450.30	5.25	59.25
152	4.0	18.60	14.60	509.60	5.24	67.05
159	3.0	14.70	11.54	447.40	5.52	56.27
159	3.5	17.10	13.42	517.00	5.50	65.02
159	4.0	19.48	15.29	585.30	5.48	73.62
168	3.0	15.55	12.21	529.40	5.84	63.02
168	3.5	18.09	14.20	612.10	5.82	72.87
168	4.0	20.61	16.18	693.30	5.80	82.53
180	3.0	16.68	13.09	653.50	6.26	72.61
180	3.5	19.41	15.24	756.00	6.24	84.00
180	4.0	22.12	17.36	856.80	6.22	95.20
194	3.0	18.00	14.13	821.10	6.75	84.64
194	3.5	20.95	16.45	950.50	6.74	97.99
194	4.0	23.88	18.75	1078.00	6.72	111.10
203	3.0	18.85	15.00	943.00	7.07	92.87
203	3.5	21.94	17.22	1092.00	7.06	107.55
203	4.0	25.01	19.63	1238.00	7.04	122.01
219	3.0	20.36	15.98	1187.00	7.64	108.44
219	3.5	23.70	18.61	1376.00	7.62	125.65
219	4.0	27.02	21.81	1562.00	7.60	142.62
245	3.0	22.81	17.91	1670.00	8.56	136.30
245	3.5	26.55	20.84	1936.00	8.54	158.10
245	4.0	30.28	23.77	2199.00	8.52	179.50

D. 2 截面特性的近似计算公式

D. 2. 1 半圆钢管截面特性(图 D. 2. 1)的近似计算可采用下列公式:

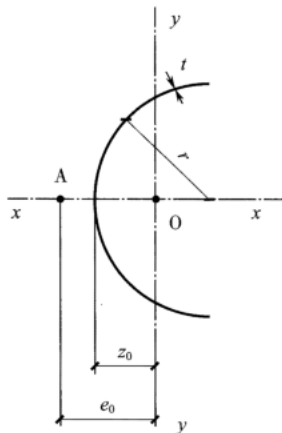


图 D. 2. 1 半圆钢管

A—剪心(下同)

$$A = \pi r t \quad (\text{D. 2. 1-1})$$

$$z_0 = 0.363 r \quad (\text{D. 2. 1-2})$$

$$I_x = 1.571 r^3 t \quad (\text{D. 2. 1-3})$$

$$I_y = 0.298 r^3 t \quad (\text{D. 2. 1-4})$$

$$I_t = 1.047 r t^3 \quad (\text{D. 2. 1-5})$$

$$I_\omega = 0.0374 r^5 t \quad (\text{D. 2. 1-6})$$

$$e_0 = 0.636 r \quad (\text{D. 2. 1-7})$$

D. 2. 2 等边角钢截面特性(图 D. 2. 2)的近似计算可采用下列公式:

$$A = 2bt \quad (\text{D. 2. 2-1})$$

$$e_0 = \frac{b}{2\sqrt{2}} \quad (\text{D. 2. 2-2})$$

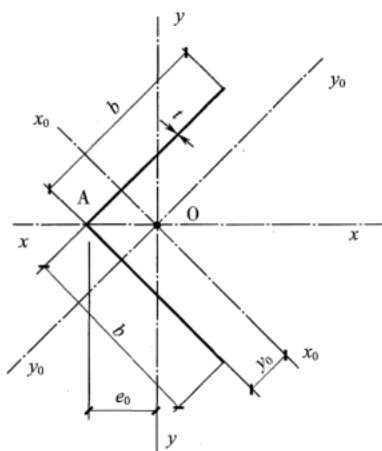


图 D. 2. 2 等边角钢

$$I_x = \frac{1}{3} b^3 t \quad (\text{D. 2. 2-3})$$

$$I_y = \frac{1}{12} b^3 t \quad (\text{D. 2. 2-4})$$

$$I_t = \frac{2}{3} b t^3 \quad (\text{D. 2. 2-5})$$

$$I_w = 0 \quad (\text{D. 2. 2-6})$$

$$I_{x_0} = I_{y_0} = \frac{5}{24} b^3 t \quad (\text{D. 2. 2-7})$$

$$y_0 = \frac{b}{4} \quad (\text{D. 2. 2-8})$$

$$U_y = \frac{b^4 t}{12\sqrt{2}} \quad (\text{D. 2. 2-9})$$

D. 2. 3 卷边等边角钢截面特性(图 D. 2. 3)的近似计算可采用下列公式:

$$A = 2(b + a)t \quad (\text{D. 2. 3-1})$$

$$z_0 = \frac{b + a}{2\sqrt{2}} \quad (\text{D. 2. 3-2})$$

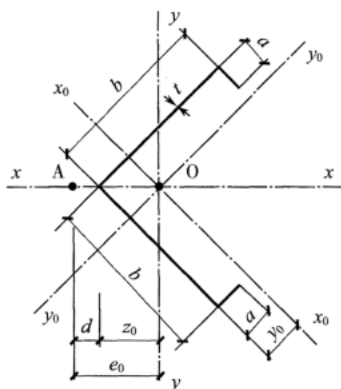


图 D. 2. 3 卷连等边角钢

$$I_x = \frac{1}{3}(b^3 + a^3)t + ba(b - a)t \quad (\text{D. 2. 3-3})$$

$$I_y = \frac{1}{12}(b + a)^3 t \quad (\text{D. 2. 3-4})$$

$$I_t = \frac{2}{3}(b + a)t^3 \quad (\text{D. 2. 3-5})$$

$$I_w = d^2 b^2 \left(\frac{b}{3} + \frac{a}{4} \right) t + \frac{2}{3} a \left[\frac{d}{\sqrt{2}} \left(\frac{3}{2} b - a \right) - ba \right]^2 t \quad (\text{D. 2. 3-6})$$

$$d = \frac{ba^2(3b - 2a)}{3\sqrt{2}I_x} t \quad (\text{D. 2. 3-7})$$

$$e_0 = d + z_0 \quad (\text{D. 2. 3-8})$$

$$y_0 = \frac{a + b}{4} \quad (\text{D. 2. 3-9})$$

$$I_{x_0} = I_{y_0} = \frac{5}{24}(a - b)^3 t + \frac{a^2 b t}{4} + \frac{5}{12} b^3 t \quad (\text{D. 2. 3-10})$$

$$U_y = \frac{t}{12\sqrt{2}}(b^4 + 4b^3 a - 6b^2 a^2 + a^4) \quad (\text{D. 2. 3-11})$$

D. 2. 4 槽钢截面特性(图 D. 2. 4)的近似计算可采用下列公式:

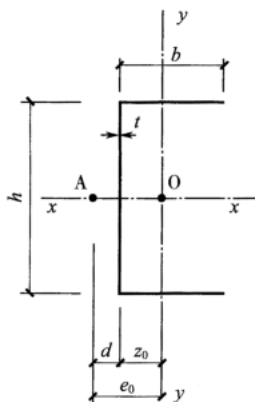


图 D. 2. 4 槽钢

$$A = (2b + h)t \quad (\text{D. 2. 4-1})$$

$$z_0 = \frac{b^2}{2b + h} \quad (\text{D. 2. 4-2})$$

$$I_x = \frac{1}{12}h^3t + \frac{1}{2}bh^2t \quad (\text{D. 2. 4-3})$$

$$I_y = hx_0^2t + \frac{1}{6}b^3t + 2b\left(\frac{b}{2} - z_0\right)^2t \quad (\text{D. 2. 4-4})$$

$$I_t = \frac{1}{3}(2b + h)t^3 \quad (\text{D. 2. 4-5})$$

$$I_w = \frac{b^3h^2t}{12} \cdot \frac{2h + 3b}{6b + h} \quad (\text{D. 2. 4-6})$$

$$e_0 = d + z_0 \quad (\text{D. 2. 4-7})$$

$$d = \frac{3b^2}{6b + h} \quad (\text{D. 2. 4-8})$$

$$U_y = \frac{1}{2}(b - z_0)^4t - \frac{1}{2}z_0^4t - z_0^3ht + \frac{1}{4}(b - z_0)^2h^2t - \frac{1}{4}z_0^2h^2t - \frac{1}{12}z_0h^3t \quad (\text{D. 2. 4-9})$$

D. 2. 5 向外卷边槽钢截面特性(图 D. 2. 5)的近似计算可采用下

列公式：

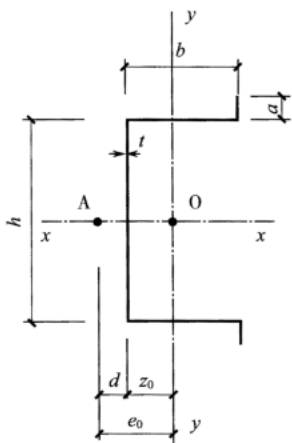


图 D. 2. 5 向外卷边槽钢

$$A = (h + 2b + 2a)t \quad (\text{D. 2. 5-1})$$

$$z_0 = \frac{b(b + 2a)}{h + 2b + 2a} \quad (\text{D. 2. 5-2})$$

$$I_x = \frac{1}{12}h^3t + \frac{1}{2}bh^2t + \frac{1}{6}a^3t + \frac{1}{2}a(h + a)^2t \quad (\text{D. 2. 5-3})$$

$$I_y = hz_0^2t + \frac{1}{6}b^3t + 2b\left(\frac{b}{2} - z_0\right)^2t + 2a(b - z_0)^2t \quad (\text{D. 2. 5-4})$$

$$I_t = \frac{1}{3}(h + 2b + 2a)t^3 \quad (\text{D. 2. 5-5})$$

$$I_w = \frac{d^2h^3t}{12} + \frac{h^2}{6}[d^3 + (b - d)^3]t + \frac{a}{6}[3h^2(d - b)^2 + 6ha(d^2 - b^2) + 4a^2(d + b)^2]t \quad (\text{D. 2. 5-6})$$

$$d = \frac{b}{I_x}\left(\frac{1}{4}bh^2 + \frac{1}{2}ah^2 - \frac{2}{3}a^3\right)t \quad (\text{D. 2. 5-7})$$

$$e_0 = d + z_0 \quad (\text{D. 2. 5-8})$$

$$U_y = t \left[\frac{(b - z_0)^4}{2} - \frac{z_0^4}{2} - z_0^3 h + \frac{(b - z_0)^2 h^2}{4} - \frac{z_0^2 h^2}{4} - \frac{z_0 h^3}{12} + 2a(b - z_0)^3 + 2(b - z_0) \left(\frac{a^3}{3} + \frac{a^2 h}{2} + \frac{a h^2}{4} \right) \right] \quad (\text{D. 2. 5-9})$$

D. 2. 6 向内卷边槽钢截面特性(图 D. 2. 6)的近似计算可采用下列公式:

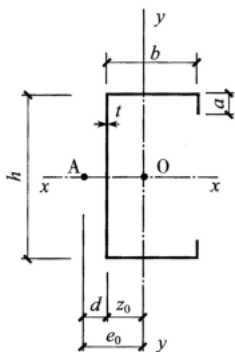


图 D. 2. 6 向内卷边槽钢

$$A = (h + 2b + 2a)t \quad (\text{D. 2. 6-1})$$

$$z_0 = \frac{b(b + 2a)}{h + 2b + 2a} \quad (\text{D. 2. 6-2})$$

$$I_x = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t + \frac{1}{6} a^3 t + \frac{1}{2} a (h - a)^2 t \quad (\text{D. 2. 6-3})$$

$$I_y = h z_0^2 t + \frac{1}{6} b^3 t + 2b \left(\frac{b}{2} - z_0 \right)^2 t + 2a (b - z_0)^2 t \quad (\text{D. 2. 6-4})$$

$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b + 2a) t^3 \quad (\text{D. 2. 6-5})$$

$$I_w = \frac{d^2 h^3 t}{12} + \frac{h^2}{6} [d^3 + (b - d)^3] t + \frac{a}{6} [3h^2 (d - b)^2 - 6ha (d^2 - b^2) + 4a^2 (d + b)^2] t \quad (\text{D. 2. 6-6})$$

$$d = \frac{b}{I_x} \left(\frac{1}{4} b h^2 + \frac{1}{2} a h^2 - \frac{2}{3} a^3 \right) t \quad (\text{D. 2. 6-7})$$

$$e_0 = d + z_0 \quad (\text{D. 2. 6-8})$$

$$U_y = t \left[\frac{(b - z_0)^4}{2} - \frac{z_0^4}{2} - z_0^3 h + \frac{(b - z_0)^2 h^2}{4} - \frac{z_0^2 h^2}{4} - \frac{z_0 h^3}{12} + \right. \\ \left. 2a(b - z_0)^3 + 2(b - z_0) \left(\frac{a^3}{3} - \frac{a^2 h}{2} + \frac{a h^2}{4} \right) \right] \quad (\text{D. 2. 6-9})$$

D. 2. 7 Z形钢截面特性(图 D. 2. 7)的近似计算可采用下列公式:

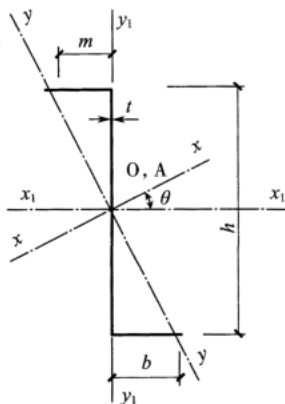


图 D. 2. 7 Z形钢

$$A = (h + 2b)t \quad (\text{D. 2. 7-1})$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t \quad (\text{D. 2. 7-2})$$

$$I_{y1} = \frac{2}{3} b^3 t \quad (\text{D. 2. 7-3})$$

$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b) t^3 \quad (\text{D. 2. 7-4})$$

$$I_{x1y1} = -\frac{1}{2} b^2 h t \quad (\text{D. 2. 7-5})$$

$$\tan 2\theta = \frac{2I_{x1y1}}{I_{y1} - I_{x1}} \quad (\text{D. 2. 7-6})$$

$$I_x = I_{x1} \cos^2 \theta + I_{y1} \sin^2 \theta - 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta \quad (\text{D. 2. 7-7})$$

$$I_y = I_{x1} \sin^2 \theta + I_{y1} \cos^2 \theta + 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta \quad (\text{D. 2. 7-8})$$

$$I_w = \frac{b^3 h^2 t}{12} \cdot \frac{b + 2h}{h + 2b} \quad (\text{D. 2. 7-9})$$

$$m = \frac{b^2}{h + 2b} \quad (\text{D. 2. 7-10})$$

D. 2. 8 卷边 Z 形钢截面特性(图 D. 2. 8)的近似计算可采用下列公式:

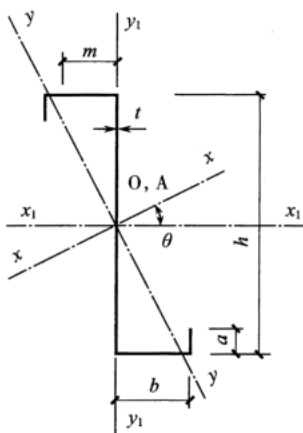


图 D. 2. 8 卷边 Z 形钢

$$A = (h + 2b + 2a)t \quad (\text{D. 2. 8-1})$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t + \frac{1}{6} a^3 t + \frac{1}{2} a t (h - a)^2 \quad (\text{D. 2. 8-2})$$

$$I_{y1} = b^2 t \left(\frac{2}{3} b + 2a \right) \quad (\text{D. 2. 8-3})$$

$$I_{x1y1} = -\frac{1}{2} b t [b h + 2a (h - a)] \quad (\text{D. 2. 8-4})$$

$$\tan 2\theta = \frac{2I_{x1y1}}{I_{y1} - I_{x1}} \quad (\text{D. 2. 8-5})$$

$$I_x = I_{x1} \cos^2 \theta + I_{y1} \sin^2 \theta - 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta \quad (\text{D. 2. 8-6})$$

$$I_y = I_{x1} \sin^2 \theta + I_{y1} \cos^2 \theta + 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta \quad (\text{D. 2. 8-7})$$

$$I_t = \frac{1}{3}(h + 2b + 2a)t^3 \quad (\text{D. 2. 8-8})$$

$$I_w = \frac{b^2 t}{12(h + 2b + 2a)} [h^2 b(2h + b) + 2ah(3h^2 + 6ah + 4a^2) + 4abh(h + 3a) + 4a^3(4b + a)] \quad (\text{D. 2. 8-9})$$

$$m = \frac{2ab(h + a) + b^2 h}{(h + 2b + 2a)h} \quad (\text{D. 2. 8-10})$$

D. 2. 9 斜卷边 Z 形钢截面特性(图 D. 2. 9)的近似计算可采用下列公式:

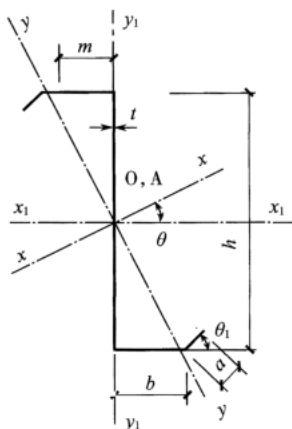


图 D. 2. 9 斜卷边 Z 形钢

$$A = (h + 2b + 2a)t \quad (\text{D. 2. 9-1})$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12}h^3 t + \frac{1}{2}h^2 t(a + b) - a^2 h t \sin \theta_1 + \frac{2}{3}a^3 t \sin^2 \theta_1 \quad (\text{D. 2. 9-2})$$

$$I_{y1} = \frac{2}{3}b^3 t + 2ab^2 t + 2a^2 b t \cos \theta_1 + \frac{2}{3}a^3 t \cos^2 \theta_1 \quad (\text{D. 2. 9-3})$$

$$I_{x_1y_1} = -\frac{1}{2}hb^2t - habt + a^2bt\sin\theta_1 - \frac{1}{2}ha^2t\cos\theta_1 + \frac{2}{3}a^3t\sin\theta_1\cos\theta_1 \quad (\text{D. 2. 9-4})$$

$$\tan 2\theta = \frac{2I_{x_1y_1}}{I_{y_1} - I_{x_1}} \quad (\text{D. 2. 9-5})$$

$$I_x = I_{x_1}\cos^2\theta + I_{y_1}\sin^2\theta - 2I_{x_1y_1}\sin\theta\cos\theta \quad (\text{D. 2. 9-6})$$

$$I_y = I_{x_1}\sin^2\theta + I_{y_1}\cos^2\theta + 2I_{x_1y_1}\sin\theta\cos\theta \quad (\text{D. 2. 9-7})$$

$$I_t = \frac{1}{3}(h + 2b + 2a)t^3 \quad (\text{D. 2. 9-8})$$

$$I_\omega = \frac{t}{12}[2h^2m^3 + 3h^3m^2 + 2h^2(b-m)^3 + 6ah^2(b-m)^2 + 6a^2h(b-m)n + 2a^3n^2] \quad (\text{D. 2. 9-9})$$

$$m = \frac{bh(b+2a) + a^2n}{(h+2b+2a)h} \quad (\text{D. 2. 9-10})$$

$$n = 2b\sin\theta_1 + h\cos\theta_1 \quad (\text{D. 2. 9-11})$$

D. 2. 10 圆钢管截面特性(图 D. 2. 10)的近似计算可采用下列公式:

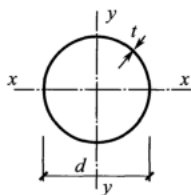


图 D. 2. 10 圆钢管

$$A = \pi r t \quad (\text{D. 2. 10-1})$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{8} \pi t d^3 \quad (\text{D. 2. 10-2})$$

$$i_x = \frac{d}{2\sqrt{2}} \quad (\text{D. 2. 10-3})$$

D. 2. 11 复杂卷边槽钢截面特性(图 D. 2. 11)的近似计算可采用

下列公式:

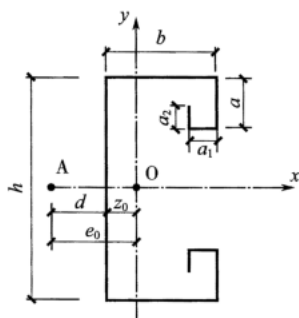


图 D. 2. 11 复杂卷边槽钢

$$A = (h + 2b + 2a + 2a_1 + 2a_2)t \quad (\text{D. 2. 11-1})$$

$$z_0 = [b^2 + 2b(a + a_1 + a_2) - a_1(a_1 + 2a_2)]/[h + 2(b + a + a_1 + a_2)] \quad (\text{D. 2. 11-2})$$

$$I_x = h^3t/12 + 2I_{xf} + 2(b + a + a_1 + a_2)(h/2 + h_{yf})^2t \quad (\text{D. 2. 11-3})$$

$$I_{xf} = t[(b + a_1)t^2 + a^3 + a_2^3]/12 + bth_{yf}^2 + at(a/2 + h_{yf})^2 + a_1t(a + h_{yf})^2 + a_2t(a + h_{yf} - a_2/2)^2 \quad (\text{D. 2. 11-4})$$

$$h_{yf} = -[a^2 + 2a(a_1 + a_2) - a_2^2]/[2(b + a + a_1 + a_2)] \quad (\text{D. 2. 11-5})$$

$$I_y = ht^3/12 + htz_0^2 + 2I_{yf} + 2(b + a + a_1 + a_2)(z_0 + h_{xf})^2t \quad (\text{D. 2. 11-6})$$

$$I_{yf} = t[a_1^3 + b^3 + (a + a_2)t^2]/12 + bt(b/2 + h_{xf})^2 + at(b + h_{xf})^2 + a_1t(b + h_{xf} - a_1/2)^2 + a_2t(b + h_{xf} - a_1)^2 \quad (\text{D. 2. 11-7})$$

$$h_{xf} = -[b^2 + 2b(a + a_1 + a_2) - a_1^2 - 2a_1a_2]/[2(b + a + a_1 + a_2)] \quad (\text{D. 2. 11-8})$$

$$d = t\{3h^2(b^2 + 2ba + 2ba_1 - a_1^2) + 12a_1a(a_1h - a_1a - 2ba) - 8ba^3 + 8(a_1 - b)a_2^3 + 24baa_2^2 + 6a_2[(b - a_1)h^2 - 4(b + a_1)a^2 + 4a_1ah]\}/(12I_x) \quad (\text{D. 2. 11-9})$$

$$I_w = 2t[(b+a)c_1^2 + (a+a_1)c_2^2 + (a_1+a_2)c_3^2 + a_2c_4^2 + ac_1c_2 + a_1c_2c_3 + a_2c_3c_4 - bdhc_1/2 + d^2h^2(2b+h)/8]/3 \quad (\text{D. 2. 11-10})$$

$$c_1 = (b-d)h/2 \quad (\text{D. 2. 11-11})$$

$$c_2 = c_1 + a(d+b) \quad (\text{D. 2. 11-12})$$

$$c_3 = c_2 - a_1(h/2 - a) \quad (\text{D. 2. 11-13})$$

$$c_4 = c_3 - a_2(b+d-a_1) \quad (\text{D. 2. 11-14})$$

$$I_t = t^3(h+2b+2a+2a_1+2a_2)/3 \quad (\text{D. 2. 11-15})$$

D. 2. 12 斜卷边槽钢截面特性(图 D. 2. 12)的近似计算可采用下列公式:

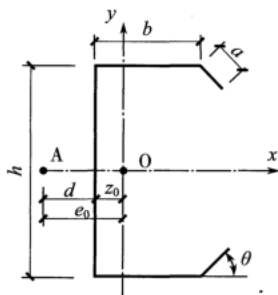


图 D. 2. 12 斜卷边槽钢

$$A = (h+2b+2a)t \quad (\text{D. 2. 12-1})$$

$$z_0 = (b^2 + 2ba + a^2 \cos \theta) / (h + 2b + 2a) \quad (\text{D. 2. 12-2})$$

$$I_x = t[h^3 + 6(b+a)h^2 + 2bt^2 - 12ha^2 \sin \theta + 8a^3 \sin^2 \theta] / 12 \quad (\text{D. 2. 12-3})$$

$$I_y = ht^3/12 + htz_0^2 + 2I_{yf} + 2(b-x_{of}-z_0)^2(b+a)t \quad (\text{D. 2. 12-4})$$

$$I_{yf} = t[b^4 + 4b^3a + 6b^2a^2 \cos \theta + (4b+a)a^3 \cos^2 \theta] / [12(b+a)] \quad (\text{D. 2. 12-5})$$

$$x_{of} = (b^2 - a^2 \cos \theta) / [2(b+a)] \quad (\text{D. 2. 12-6})$$

$$d = t[3h^2(b^2 + 2ba + a^2 \cos\theta) - 2a^3(h \sin 2\theta + 4b \sin^2\theta)]/(12I_x) \quad (\text{D. 2. 12-7})$$

$$I_w = t[b^3h^2 + a^3(b^2 \sin\theta + h \cos\theta)2 + 3b^2h^2a + 3bha^2(2b \sin\theta + h \cos\theta) + da^2(8ba \sin^2\theta + 2ha \sin 2\theta - 3h^2 \cos\theta) - dbh^2(3b + 6a)]/6 + d^2(I_x - bt^3/6) \quad (\text{D. 2. 12-8})$$

$$I_t = t^3(h + 2b + 2a)/3 \quad (\text{D. 2. 12-9})$$

附录 E 自攻螺钉的强度承载力试验方法

E.1 用于压型钢板波峰连接的自攻螺钉的强度承载力试验方法

E.1.1 抗拉脱承载力试验方法:可截取实际使用的压型钢板的波峰一段,长 100mm,正放于下支承板上,自攻螺钉钻设于波峰部位的正中,如图 E.1.1 所示。

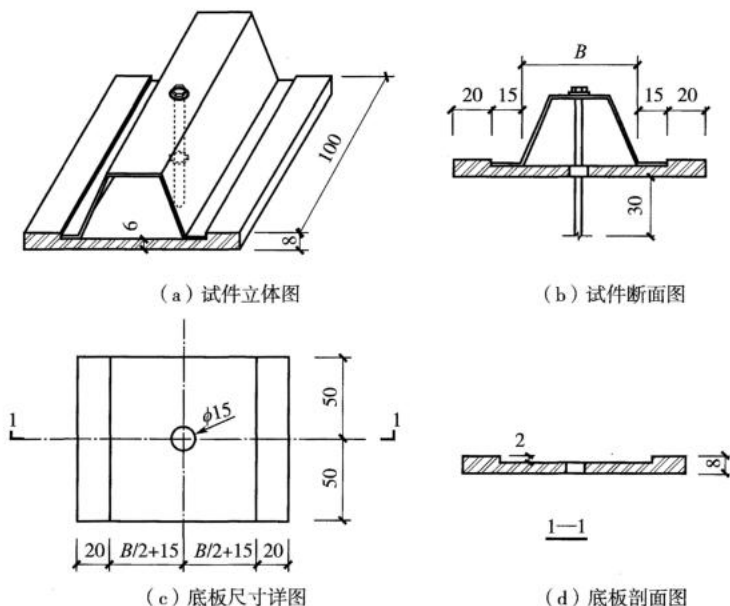


图 E.1.1 抗拉脱试验装置(单位:mm)

E.1.2 抗弯剪承载力试验方法:

1 可截取实际使用的压型钢板的波峰两段,每段长 120mm,端面要求垂直于母线且平直。另制备厚 10mm、长 120mm 的矩形钢支承板一块,可选 Q235、Q355 钢,要求两端面平行且平直。按

图 E. 1. 2 分别于相应位置根据本标准第 6. 2. 7 条的要求制备预制孔洞 d_0 ，用实际使用的自攻螺钉，将波峰段安装于支承板两侧，并按施工要求拧紧两侧的自攻螺钉。

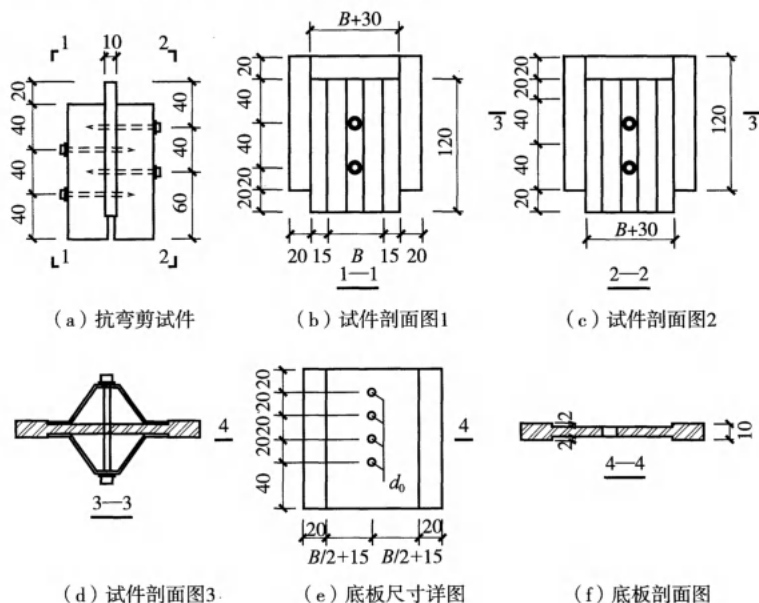


图 E. 1. 2 抗弯剪试验装置(单位:mm)

2 试验时,将试件立放于小吨位的压力机上,几何对中后,对支承板竖向加压。可在支承板侧边安装位移计,测量自攻螺钉钉头相对支承板的位移。试验加载程序应按本标准第 E. 1. 3 条执行。

E. 1. 3 试验加载程序:在达到预期极限荷载的 50%之前,可以预期极限荷载的 10%的增量加载;施加 2 级预载后卸载,正式开始试验。分级加载至 50%荷载后,可以每级荷载不大于 0. 5mm/min 的变形速率加载,每级荷载持时不少于 1min。试验进行到不能保持为止。

E. 1. 4 连接的强度取值:

1 每组试验至少应有 5 个试件,如果有任何一个试件的极限

荷载超过 5 个试件平均极限荷载的 10%，应至少再增加 3 个试件进行试验。

2 每个自攻螺钉的连接强度标准值可按下式计算：

$$N_k = N_m - CS_c \quad (\text{E. 1. 4-1})$$

式中： N_m ——每个连接件的极限荷载平均值；

S_c ——每个连接件的极限荷载的标准差；

C ——按保证率 95% 的置信水平，且与试件数量等因素有关的统计参数，可按表 E. 1. 4 取用。

表 E. 1. 4 C 值

试件数(个)	C	试件数(个)	C
4	2.63	10	1.92
5	2.33	20	1.76
6	2.18	30	1.73
8	2.00	∞	1.64

3 每个自攻螺钉的连接强度设计值可按下式计算：

$$N_d = N_k / \gamma_1 \quad (\text{E. 1. 4-2})$$

式中： γ_1 ——钢材的抗力调整系数，可取为 1.45。

E. 2 自攻螺钉钉杆抗剪强度承载力试验方法

E. 2. 1 自攻螺钉钉杆抗剪强度设计值的确定可采用图 E. 2. 1 所示的试验方法，并应满足下列要求：

1 应在试验装置夹头处设置垫块，以确保试验装置施加的荷载通过搭接节点中心。

2 连接板应采用钢板，其厚度不得小于自攻螺钉直径，以保证自攻螺钉被剪断；自攻螺钉至少应有 3 圈螺纹穿过钢板。

3 自攻螺钉的端距和边距均不得小于其直径的 3 倍，且不宜小于 20mm；连接板宽度不得小于自攻螺钉直径的 6 倍，且不宜小于 40mm。

4 单块连接板不包括夹头夹住部分的长度 L_s 。不宜小于 100mm, 连接板搭接后不包括夹头夹住部分的总长度 L 不宜小于 160mm。

5 若自攻螺钉不能钻穿钢板, 应在钢板上预开孔, 预开孔径为 $0.9d$, d 为自攻螺钉公称直径。

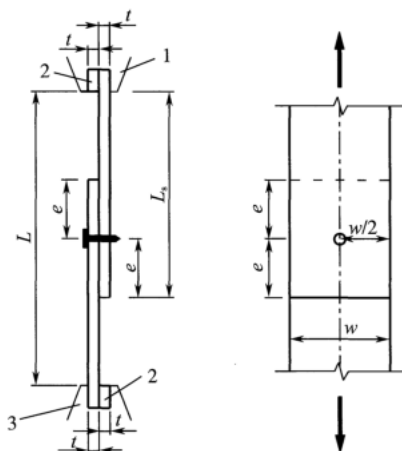


图 E.2.1 试验装置示意图

1—上夹头;2—垫块;3—下夹头; L —连接板搭接后的总长度(不包括夹头夹住部分);

L_s —单块连接板长度(不包括夹头夹住部分); w —连接板宽度; e —端距;

t —连接板厚度

E.2.2 试验加载程序应按本标准第 E.1.3 条执行。

E.2.3 自攻螺钉钉杆抗剪强度设计值可按本标准第 E.1.4 条确定。

E.3 自攻螺钉及射钉抗拉及钉头抗拉脱承载力试验方法

E.3.1 自攻螺钉及射钉抗拉及钉头抗拉脱承载力试验可按下列方法执行:取 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$ 方钢板一块,在板的正中钻一孔,孔径比自攻螺钉或射钉直径大 0.5mm 。将带垫圈的自攻螺钉或射钉穿过孔洞,在钉尖一侧,采用小型拉拔千斤顶,抵住钢板,夹住钉杆施加垂直板面的拉力。

E.3.2 试验加载程序应按本标准第 E.1.3 条执行。

E.3.3 自攻螺钉或射钉抗拉及钉头抗拉脱强度设计值可按本标准第 E.1.4 条确定。

附录 F 刚架柱的计算长度系数

表 F 等截面刚架柱的计算长度系数 μ

柱与基础的 连接方式	K_2/K_1									
	0	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	7.0	≥ 10.0
刚接	2.00	1.50	1.40	1.28	1.16	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00
铰接	∞	3.42	3.00	2.63	2.33	2.17	2.11	2.08	2.05	2.00

注:1 $K_1 = I_1/H$ 、 $K_2 = I_2/l$; 其中, I_1 为柱脚处的截面惯性矩, I_2 为刚架梁的截面惯性矩, H 为刚架柱的高度, l 为刚架梁的长度, 在山形门式刚架中为斜梁沿折线的总长度。

2 当横梁与柱铰接时, 取 $K_2 = 0$ 。

附录 G 侵蚀作用分类和防腐涂料底、面漆配套及维护年限

G.0.1 环境条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类可按表 G.0.1 采用。

表 G.0.1 环境条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类

序号	地区	相对湿度 (%)	对结构的侵蚀作用分类		
			采暖 房屋室内	非采暖 房屋室内	露天
1	农村、一般城市的 商业区及住宅区	干燥, <60	无侵蚀性	无侵蚀性	弱侵蚀性
2		普通, 60~75	无侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
3		潮湿, >75	弱侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
4	工业区、沿海地区	干燥, <60	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
5		普通, 60~75	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
6		潮湿, >75	中等侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性

注:1 表中的相对湿度是指当地的年平均相对湿度,对于恒温恒湿或有相对湿度指标的建筑物,则按室内相对湿度采用。

2 一般城市的商业区及住宅区泛指无侵蚀性介质的地区,工业区包括受侵蚀介质影响及散发轻微侵蚀性介质的地区。

G.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限可按表 G.0.2 采用。

表 G.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限

侵蚀作用类别		表面处理	涂料类别	底面漆配套涂料						维护年限 (年)
				底漆	道数	膜厚 (μm)	面漆	道数	膜厚 (μm)	
室内	无侵蚀性	喷砂(丸)除锈、 酸洗除锈、手工或 半机械除锈	第一类	Y51-31 红丹油性防锈漆	2	60				15~
				Y51-32 铁红油性防锈漆	2	60				20
	F53-31 红丹酚醛防锈漆			2	60	C04-2 各色醇酸磁漆	2	60	10~ 15	
	F53-33 铁红酚醛防锈漆			2	60	C04-45 灰醇酸磁漆	2	60		
	C53-31 红丹醇酸防锈漆			2	60	C04-5 灰云铁醇酸磁漆	2	60		
弱侵蚀性	C06-1 铁红醇酸底漆			2	60				8~	
	F53-40 云铁醇酸防锈漆			2	60				10	
室内	中等 侵蚀性	酸洗磷化处理、 喷砂(丸)除锈	第二类	H06-2 铁红环氧树脂底漆	2	60	灰醇酸改性过氯乙烯磁漆	2	60	10~
				铁红环氧改性 M 树脂底漆	2	60	醇酸改性氯化橡胶磁漆	2	60	15
				H53-30 云铁环氧树脂底漆	2	60	醇酸改性氯醋磁漆	2	60	5~7
室外	氯磺化聚乙烯防腐底漆	2	60	聚氨酯改性氯醋磁漆	2	60				
		氯磺化聚乙烯防腐面漆	2	60						

注:表中列第一类或第二类中任何一种底漆(氯磺化聚乙烯防腐底漆除外)可和同一类别中的任何一种面漆配套使用。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《工程结构通用规范》GB 55001
- 《钢结构通用规范》GB 55006
- 《建筑抗震设计标准》GB/T 50011
- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205
- 《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223
- 《钢结构工程施工规范》GB 50755
- 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓连接副》GB/T 1231
- 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 《连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 2518
- 《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098. 1
- 《紧固件机械性能 自钻自攻螺钉》GB/T 3098. 11
- 《紧固件机械性能 抽芯铆钉》GB/T 3098. 19
- 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
- 《氩》GB/T 4842
- 《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117
- 《热强钢焊条》GB/T 5118
- 《开槽盘头自攻螺钉》GB/T 5282
- 《开槽沉头自攻螺钉》GB/T 5283

《开槽半沉头自攻螺钉》GB/T 5284
《六角头自攻螺钉》GB/T 5285
《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 5293
《六角头螺栓 C级》GB/T 5780
《六角头螺栓》GB/T 5782
《熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝》GB/T 8110
《建筑构件耐火试验方法 第1部分：通用要求》GB/T 9978.1
《非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝》GB/T 10045
《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求》GB/T 12470
《彩色涂层钢板及钢带》GB/T 12754
《建筑用压型钢板》GB/T 12755
《钢结构防火涂料》GB 14907
《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
《热强钢药芯焊丝》GB/T 17493
《射钉》GB/T 18981
《钢结构防护涂装通用技术条件》GB/T 28699
《焊接用混合气体 二氧化碳-氧/氩》HG/T 4984

中华人民共和国国家标准

冷弯型钢结构技术标准

GB/T 50018—2025

条文说明

编制说明

《冷弯型钢结构技术标准》GB/T 50018—2025,经住房和城乡建设部 2025 年 4 月 21 日以第 66 号公告批准发布。

本标准是在《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018—2002 的基础上修订而成,上一版的主编单位是中南建筑设计院,参编单位是同济大学、深圳大学、西安建筑科技大学、哈尔滨工业大学、福州大学、湖南大学、东风汽车公司基建管理部、武汉大学、上海交通大学、中国建筑标准设计研究所、浙江杭萧钢构股份有限公司、南昌大学、福建长祥建筑钢结构有限公司、喜利得(中国)有限公司,主要起草人员是陈雪庭、陆祖欣、沈祖炎、张中权、何保康、徐厚军、张耀春、魏潮文、周绪红、孔次融、方山峰、周国樑、蔡益燕、陈国津、郭耀杰、高轩能、单银木、熊皓、王稚。

本标准修订过程中,编制组进行了广泛的调查研究,总结了我国冷弯型钢结构工程的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,通过多批试验取得了大量重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定,《冷弯型钢结构技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是,本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(175)
2	术语和符号	(177)
2.1	术语	(177)
3	基本设计规定	(178)
3.1	设计原则	(178)
3.2	构造的一般规定	(180)
4	材 料	(182)
4.1	材料选用	(182)
4.2	设计指标	(183)
5	构件的计算	(186)
5.1	轴心受拉构件	(186)
5.2	轴心受压构件	(187)
5.3	受弯构件	(190)
5.4	拉弯构件	(192)
5.5	压弯构件	(192)
5.6	构件中的受压板件	(194)
6	连接的计算与构造	(198)
6.1	连接的计算	(198)
6.2	连接的构造	(203)
7	抗震设计	(205)
7.1	一般规定	(205)
7.2	计算要点	(206)
7.3	基本抗震措施	(206)
8	压型钢板	(208)

8.1	压型钢板的计算	(208)
8.2	压型钢板的构造	(210)
9	檩条与墙梁	(212)
9.1	一般规定	(212)
9.2	檩条的计算	(212)
9.3	檩条的构造	(213)
9.4	墙梁的计算	(213)
9.5	墙梁的构造	(213)
10	屋 架	(214)
10.1	普通冷弯型钢屋架	(214)
10.2	超薄壁冷弯型钢屋架	(215)
11	门式刚架	(218)
11.1	一般规定	(218)
11.2	刚架梁、柱设计	(219)
11.3	连接和节点构造	(220)
12	制作、安装和涂装	(221)
12.1	制作	(221)
12.2	安装	(222)
12.3	防腐涂装	(223)
12.4	防火涂装	(224)
附录 C	构件承载力计算的直接强度法	(226)
附录 D	截面特性	(227)

1 总 则

1.0.1 本标准对原规范规定的冷弯型钢壁厚有所放宽,为此去掉了“薄壁”二字。首先,增加了壁厚一般在 2mm 以下的预涂镀冷轧板型钢,可称为冷弯超薄壁型钢,材料包括 S280、S350 及 S550,在低层建筑中应用广泛。另外,由于国际上冷弯型钢厚度已达到 25.4mm(1 英寸),国内已生产和应用的冷弯型钢产品也达到 20mm 以上,特别是一些闭口截面的管材,工程应用广泛,并开展了一些相关研究。所以本次修订增加了壁厚为 6mm~20mm 的冷弯型钢,可称为冷弯厚壁型钢。考虑到目前研究和应用的实际情况,壁厚 6mm 以上的冷弯型钢主要针对闭口截面。另外,对原来 2mm~6mm 的冷弯型钢,可狭义地称为冷弯薄壁型钢。

1.0.2 本条明确了本标准的适用范围。本标准适用于工业与民用房屋和一般构筑物的经冷弯(或冷压)成型的冷弯型钢结构的设计与施工,而热轧型钢的钢结构设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。

对壁厚 6mm 以下的冷弯型钢,考虑到其板件宽厚比通常较大,设计中会利用屈曲后强度,在直接承受动力荷载(冲击产生的振动荷载或撞击荷载等,不包括风荷载和地震作用)时的承载性能需进一步研究,本标准尚不适用。

现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 中将气态介质、液态介质、固态介质(含气溶胶)在长期作用下对建筑物的腐蚀性分为四个等级。对壁厚 6mm 以下的非预涂镀冷弯型钢,锈蚀后果比较严重,因此在受强烈侵蚀作用的环境中一般不采用壁厚 6mm 以下的非预涂镀冷弯型钢。但随着钢材材质及防腐涂料的改进,冷弯型钢的应用范围日益扩大。目前,我国已能生产

壁厚 20mm 或更厚的冷弯型钢,与普通热轧型钢已无太大区别,故适当放宽壁厚。但受强烈侵蚀作用的 6mm 以下的预涂镀冷弯型钢或 6mm 以上的冷弯厚壁型钢结构,必须综合考虑其防腐蚀的特殊要求。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1~2.1.3 本次修订之前的冷弯薄壁型钢结构技术规范主要针对壁厚大于 2mm 且不超过 6mm 的冷弯型钢。考虑到我国冷弯型钢技术发展和工程应用的历史,为区别起见,一般把壁厚不超过 6mm 的冷弯型钢称为冷弯薄壁型钢,壁厚超过 6mm 的冷弯型钢称为冷弯厚壁型钢,并将壁厚小于 2mm 的预涂镀板材冷加工成型的冷弯型钢称为冷弯超薄壁型钢。相对于普通热轧型钢,冷弯型钢具有冷弯效应明显、截面宽厚比相对较大的特点。

3 基本设计规定

3.1 设计原则

3.1.1 本条参照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定,对于正常使用极限状态,应根据不同的设计要求,采用荷载的标准组合、频遇值组合或准永久组合。尽管冷弯型钢的壁厚有所放宽,但对于冷弯型钢结构来说,按正常使用极限状态设计时仍只采用荷载的标准组合,采用荷载标准值和容许变形进行计算。另外,荷载效应组合是基于荷载效应可以线性叠加,而薄钢更关注构件及板件的稳定问题,可能存在非线性荷载效应的问题,故本条将原规范中的荷载效应组合调整为荷载组合。

3.1.2 对于一般工业与民用建筑冷弯型钢结构,经统计分析,其安全等级多为二级,设计工作年限为 50 年,故其重要性系数不应小于 1;对于设计工作年限为 25 年的易于替换的构件(如作为围护结构的压型钢板等),其重要性系数宜适当降低,但不应小于 0.95;对于特殊建筑物,其安全等级及设计工作年限可根据建筑物使用的具体要求和情况另行确定。

3.1.4 对冷弯型钢,冷弯效应会导致计算模式不定性相对普通钢构件偏大。对 6mm 以上闭口截面冷弯型钢的设计可靠度分析,目前的试验数据还非常有限,只有关于 6mm 以上 Q235、Q345 冷弯型钢基于设计可靠度分析的抗力分项系数研究^[1],建议值分别为 1.183 及 1.287。但该分析中钢材材性统计数据采用的是原规范采用的数据。若采用国家标准《钢结构设计标准》GB 50017—

[1] 李元齐,李功文,沈祖炎,等.冷弯厚壁型钢轴压构件设计可靠度分析[J].建筑结构学报,2015,36(5):10—19.

2017 修编时参考的 2012 年的统计结果, Q235 钢的不定性均值及变异系数是 1.285 和 0.095; Q345 钢是 1.127 和 0.073, 得到 Q235 钢的最优抗力分项系数为 $\gamma_R = 1.084$, Q345 钢为 $\gamma_R = 1.196$ 。但考虑到计算模式不定性分析中试验样本数量(26 根, 其余 20 多根尚在试验中)有限, 以及与原规范对 2mm 以上、6mm 以下的 Q235、Q345 钢所用抗力分项系数的一致性, 故本次修订将 2mm 以上(包括 6mm 以上)的 Q235、Q355 冷弯型钢的抗力分项系数暂折中统一取为 1.165。对 S280、S350 及 S550 预涂镀的冷轧板型钢, 研究较为充分^[1-3], 抗力分项系数取 1.165, 并在本标准中给出了相应的强度设计指标。对 Q390 钢材, 目前研究工作有限, 但考虑到其多用于壁厚较大的冷弯型钢结构, 故本条参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 将其抗力分项系数取为 1.125。

3.1.5 本标准中直接承受动力荷载指直接承受冲击产生的振动荷载或撞击荷载等, 不包括风荷载和地震作用。考虑到冷弯型钢截面冷弯效应导致的材料硬化, 壁厚 6mm 以下冷弯型钢构件一般不做抵抗疲劳荷载的要求, 不做疲劳计算; 需要考虑疲劳问题时, 可参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定计算。

3.1.7 轻型钢结构构件如刚架、屋架和檩条等, 在风吸力作用下可导致构件内力变化——拉力变成压力或拉应力变成压应力, 从而产生稳定问题, 因此需计算风吸力作用工况。永久荷载作用方向与风吸力作用方向相反, 故永久荷载的荷载分项系数应取 1.0。

[1] 李元齐, 向虎, 沈祖炎. S280 冷轧薄板冷弯型钢构件设计可靠度分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(8): 1154—1162.

[2] 李元齐, 向虎, 沈祖炎. S350 冷轧薄板冷弯超薄壁型钢构件设计可靠度分析[J]. 建筑钢结构进展, 2012, 14(6): 21—29.

[3] 沈祖炎, 李元齐, 王磊, 等. 屈服强度 550MPa 高强冷弯薄壁型钢结构轴心受压构件可靠度分析[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(3): 26—33, 41.

3.1.8 构件的变形和各种稳定系数,理论上应分别按净截面、有效截面或有效净截面计算,但计算比较繁琐,为了简化计算本条采用毛截面计算,其精度在允许范围内。

3.1.9 现场实测表明,具有可靠连接的结构用覆面板围护体系的建筑物,其承载能力和刚度均大于按裸骨架算得的值。这种因围护墙体在自身平面内的抗剪能力而加强结构整体工作性能的效应称为受力蒙皮作用。受力蒙皮作用不仅能节省材料和工程造价,还能反映结构的真实工作性能,提高结构的可靠性。

本条提出可在低层房屋的设计中受力蒙皮作用,同时给出了应满足的三个要求。

当考虑了受力蒙皮作用时,结构用覆面板及其连接等成为整体受力结构体系的重要组成部分,不能随便拆卸。只有在设置了临时支撑后,方可拆换结构用覆面板。

本条提及的低层房屋是指层高为三层及三层以下、檐口高度12m以下的房屋建筑。

3.2 构造的一般规定

3.2.1 随着冷弯型钢生产状况的改善及设备生产能力的日益发展,我国已能生产出壁厚20mm的冷弯型钢,并在工程中进行了不少应用,本条取消了原规范对壁厚不宜大于6mm的限制。但超过6mm厚的冷弯型钢,主要针对闭口截面。符合要求的镀锌或镀铝锌冷轧板,其防腐性能是有保障的,应用在龙骨体系房屋时可采用更薄的截面。但在进行可靠度分析时,壁厚太薄的试件,其材料强度、试验结果离散性过大,因此本条规定了最小壁厚的要求。对压型钢板,厚度一般为0.4mm~1.6mm,参考本标准第8.2.3条。

3.2.2 对冷弯型钢,板件变形的限制不严格。同时,在承载力计算中已充分考虑局部屈曲的影响,因此受压板件的宽厚比限值与钢材材料的强度无关。在本条给出的宽厚比范围内,截面承载力

计算基本符合本标准给出的计算模式。

3.2.3 表 3.2.3 中主要构件指主要承重柱、刚架柱、桁架和格构式刚架的弦杆及支座压杆等。

4 材 料

4.1 材料选用

4.1.1 原规范仅推荐采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中规定的 Q235 钢和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q355 钢,原因是这两种牌号的钢材具有多年的生产与使用经验,材质稳定,性能可靠,经济指标较好。考虑到目前 Q390 钢的生产和工程应用也较为成熟,本条进行了补充,但目前的研究还非常有限。

另外,根据目前冷弯型钢在国内外的实际应用情况,编制组对现行国家标准《连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 2518 中的 S280、S350 和 S550 级钢的力学性能进行了系统的分析,得到 S280、S350 及 S550 级钢不同厚度时的屈服强度和强度计算值,并将其作为设计依据。因此,本条将 S280、S350 和 S550 级钢作为可以选用的钢材之一。本条中 S550 级钢材材性参考国外标准按厚度分为 $t \geq 1.5\text{mm}$ 、 $1.0\text{mm} < t < 1.5\text{mm}$ 和 $t \leq 1.0\text{mm}$ 三种。目前,这类 550 级钢材国内已有生产,并广泛用于 2mm 以下冷弯薄壁型钢构件,其屈服强度在 550MPa 左右,但随厚度变化很大,材性要求见现行国家标准《连续热镀锌和锌合金镀层钢板及钢带》GB/T 2518 中的 550 级钢材,断后延伸率未规定。

本条中同时加列了“当有可靠根据时,可采用其他牌号的钢材”的规定。此外,现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中提出 A 级钢的碳含量可以不作为交货条件,由于焊接结构对钢材碳含量的要求严格,所以 Q235A 级钢不宜在焊接结构中使用。

4.1.2 本条中荷载特征是指动力荷载或静力荷载,连接方法包括焊接、螺栓连接、螺钉连接等,结构所处的工作条件指温度、构件内

的应力性质等。

4.1.4 本条中直接承受动力荷载指直接承受冲击产生的振动荷载或撞击荷载等,不包括风荷载和地震作用。

4.1.8 围护板材可采用结构用定向刨花板、石膏板、结构用胶合板、水泥纤维板和钢板等材料,并应符合相关技术标准的要求。如有可靠依据,也可采用其他材料。围护板材应优先采用节能环保的轻质材料,并符合国家现行有关标准或行业标准规定的耐久性、适用性、防火性、气密性、水密性、隔声和隔热等性能要求。

4.1.9 本条提出了在设计和材料订货中应具体考虑的一些注意事项。

4.2 设计指标

4.2.1 对 Q235、Q355 钢材,考虑到抗力分项系数仍取 1.165,本条中壁厚 2mm~6mm 的钢材的强度设计值仍按原规范取值;对壁厚 6mm 以上的钢材的强度设计值,参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中设计强度关于板厚分类的规定,壁厚 6mm~16mm 的钢材与壁厚 2mm~6mm 的钢材的设计强度取值相同,壁厚 16mm~20mm 的钢材按屈服强度分别取 225N/mm^2 、 335N/mm^2 ,基于抗力分项系数取 1.165 确定。对 Q390 钢材,参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 规定的屈服强度取值(壁厚 2mm~16mm 的钢材屈服强度取 390N/mm^2 ;壁厚 16mm~20mm 的钢材屈服强度取 370N/mm^2),基于抗力分项系数取 1.125 确定。对壁厚 2mm 以下的 S280、S350 及 S550 冷轧板冷弯型钢,同济大学、西安建筑科技大学、中国建筑标准设计研究院及相关企业针对基本构件承载力试验研究和设计可靠度分析表明,基于抗力分项系数取 1.165,采用表中的设计强度建议值,在本规程给出的计算方法内,也能够满足现行国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068 对这类材料的基本构件设计可靠

度的要求^[1-3]。表 4.2.1 中各材料的相应抗剪设计强度直接取设计强度的 $\sqrt{3}/3$ ；对端面承压强度，应满足刨平顶紧要求。对 S550 钢材，由于厚度较薄，不会采用端面承压的构造，因此不再给出端面承压强度设计值。

4.2.2 冷弯薄壁型钢是由钢板或钢带经冷加工成型的。由于冷作硬化的影响，冷弯型钢的屈服强度将较母材有较大的提高，提高的幅度与材质、截面形状、尺寸及成型工艺等因素有关，原规范利用塑性理论推导出冷弯效应的理论公式，经试验证实并做了简化处理以方便使用。由于二十世纪八十年代方、矩形钢管的成型方式均为先将钢板经冷弯高频焊成圆管，然后再冲成方、矩形钢管（即圆变方）形成两次冷加工，故其与屈服强度提高有关的成型方式系数 η 取 1.7，对于圆管和其他开口型钢 η 取 1.0。近年来冷弯成型方式不断改进，圆变方已不是唯一的成型方式，可以由钢板一次成型为方、矩形管，即少了一道冷加工工序，故本标准规定其他方式成型的方、矩形管 $\eta=1.0$ 。对结构用方、矩形管，宜采用一次成型的方、矩形管。

另外，目前的研究^[4]表明，采用本标准附录 A 中的公式对壁厚超过 6mm 的冷弯型钢截面而言，偏于安全。对 S280、S350 及 S550 薄壁冷轧板截面及其他壁厚 2mm 以下的截面，则不考虑冷弯效应对强度设计值的影响。

4.2.3 经退火、焊接或热镀锌等热处理的冷弯型钢构件，角部冷

[1] 沈祖炎,李元齐,王磊,等. 屈服强度 550MPa 高强冷弯薄壁型钢结构轴心受压构件可靠度分析[J]. 建筑结构学报,2006,27(3):26-33,41.

[2] 李元齐,向虎,沈祖炎. S280 冷轧薄板冷弯型钢构件设计可靠度分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2012,40(8):1154-1162.

[3] 李元齐,向虎,沈祖炎. S350 冷轧薄板冷弯超薄壁型钢构件设计可靠度分析[J]. 建筑钢结构进展,2012,14(6):21-29.

[4] 李元齐,李功文,沈祖炎,等. 冷弯厚壁型钢考虑冷弯效应的屈服强度计算方法研究[J]. 建筑结构学报,2015,36(5):1-7.

作硬化现象受热处理影响削弱,不得采用利用冷弯效应的强度设计值。

4.2.4 本条对壁厚不大于 6mm 的 Q235、Q355 钢材的焊缝强度设计值仍按原规范取值;对 Q390 钢材以及壁厚 6mm 以上的 Q235、Q355 钢材的焊缝强度设计值,参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定确定,但不超过同厚度母材的强度。

4.2.5 C 级普通螺栓钢材牌号 Q345 钢改为 Q355 钢,且螺栓的承压强度设计值 f_c^b 按原规范不变。

4.2.7 考虑到特定情况下构件或连接存在偏心受力或偏心受力的影响较大等现象,为保障构件和连接的安全,应相对正常情况下所取的强度设计值予以不同程度的折减。当多种不利情况同时存在时,折减系数应连乘。按轴心受压计算稳定性时,对中间无联系的单角钢压杆,强度设计值的折减系数计算中 λ 为按最小回转半径计算的杆件长细比。

5 构件的计算

5.1 轴心受拉构件

5.1.1 轴心受拉构件中的高强度螺栓摩擦型连接处,应按本标准公式(5.1.1-2)和公式(5.1.1-3)计算其强度。这是因为高强度螺栓摩擦型连接通过板间摩擦传力,而在每个螺栓孔中心截面处,该高强度螺栓所传递的力的一部分已在孔前传走,根据试验,孔前传力系数大多数情况为 0.6,少数情况为 0.5,同时,为了与现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 协调一致,故在公式(5.1.1-2)中取孔前传力系数为 0.5。此外由于 $\left(1 - 0.5 \frac{n'}{n}\right)N < N$, 因此,除应按公式(5.1.1-2)计算螺栓孔处构件的净截面强度外,尚需按公式(5.1.1-3)计算构件的毛截面强度。

5.1.2 当轴心拉力不通过截面剪心或不通过 Z 形截面的扇性零点时,受拉构件将处于拉、扭组合的复杂受力状态,其强度应按下式计算:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{B}{W_\omega} \leqslant f \quad (1)$$

式中: N ——轴心拉力;

A_n ——净截面面积;

B ——双力矩;

W_ω ——毛截面扇性模量。

有时,公式(1)中第 2 项翘曲应力 $\sigma_\omega (=B/W_\omega)$ 可能占总应力的 30% 以上,在这种情况下,不计双力矩 B 的影响是不安全的。但是,双力矩 B 及截面弯扭特性(除有现成图表可查者外)的计算比较繁琐,为了简化设计计算,对于闭口截面、双轴对称开口截面

等的轴心受拉构件,则可不计双力矩的影响,直接按本标准第 5.1.1 条的规定计算其强度。

轴心受压构件、拉弯及压弯构件均有类似情况。

5.2 轴心受压构件

5.2.1 当轴心受压构件截面有削弱(如开孔或缺口等)时,应按本条公式(5.2.1)计算其强度,式中 A_{en} 为有效净截面面积,应按下列规定确定:

(1)有效截面面积 A_e 按本标准第 5.6.8 条中的规定算得;

(2)若孔洞或缺口位于截面的无效部位,则 $A_{en} = A_e$;若孔洞或缺口位于截面的有效部位,则 $A_{en} = A_e -$ 位于有效部位的孔洞或缺口的面积。

(3)开圆孔的均匀受压加劲板件的有效宽度 b'_e ,可按下列公式确定。

当 $d_0/b \leq 0.1$ 时:

$$b'_e = b_e \quad (2)$$

当 $0.1 < d_0/b \leq 0.5$ 时:

$$b'_e = b_e - \frac{0.91d_0}{\lambda_c^2} \quad (3)$$

当 $0.5 < d_0/b \leq 0.7$ 时:

$$b'_e = b_e - \frac{1.11d_0}{\lambda_c^2} \quad (4)$$

$$\lambda_c = 0.53 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (5)$$

式中: d_0 ——孔径;

b_e ——相应未开孔均匀受压加劲板件的有效宽度,按本标准第 5.6 节的规定计算;

b 、 t ——板件的实际宽度、厚度;

f_y ——钢材的屈服强度;

E ——钢材的弹性模量。

若轴心受压构件截面没有削弱,则仅需按本标准公式(5.2.2)计算其稳定性而无需计算其强度。

5.2.2 轴心受压构件应按公式(5.2.2)计算其稳定性。

通过理论分析和对各类开口、闭口截面冷弯薄壁型钢轴心受压构件的试验研究,证实轴心受压杆件的稳定性可采用单一柱子曲线进行计算。根据对现有试验结果的统计分析和计算比较,柱子曲线可由基于边缘屈服准则的 Perry 公式计算,式中初始相对偏心率 ϵ_0 按试验结果经分析比较确定。

原规范对 Q235、Q355 采用了不同的柱子曲线,但与通过正则化长细比直接采用基于 Q235 钢材对应的稳定系数相比,Q355 钢材直接查表得到的稳定系数差别不大。在此基础上,本次修订统一采用原规范基于 Q235 钢材对应的稳定系数表(本标准表 B.1),其他材料用正则化长细比查表得到。

对壁厚 2mm 以上的冷弯型钢,稳定系数 φ 也可依据按本标准附录 A 确定的利用冷弯效应的强度设计值计算 $\lambda \sqrt{235/f_y}$ 查表得到。

5.2.3 闭口截面、双轴对称开口截面的轴心受压构件多在刚度较小的主平面内弯曲失稳。不卷边等边角钢轴心受压构件是单轴对称截面,由于截面形心和剪心不重合,因此在轴心压力作用下,此类构件有可能发生弯扭屈曲。但若能保证等边角钢各外伸肢截面全部有效,则在轴心压力作用下此类构件的扭转失稳承载能力比弯曲失稳承载能力降低不多。鉴于在冷弯薄壁型钢结构中,单角钢通常用于支撑等较为次要的构件,为避免计算过于繁琐,故近似将其归入本条。对于受力较大的不卷边等边角钢压杆,则宜作为单轴对称开口截面轴心受压构件按本标准第 5.2.4 条的规定计算。

5.2.4、5.2.5 这两条仍沿用原规范的规定。国内有关单位对单轴对称开口截面轴心受压构件弯扭失稳问题所进行的更为深入的

理论分析和试验研究表明,采用换算长细比法来计算此类构件的整体稳定性是可行的,故仍沿用原规范的规定,但对其中扭转屈曲的计算长度和约束系数 β 的取值做了更明确的定义,以使有关规定的物理意义更为明晰。

5.2.6 实腹式轴心受压直杆的弹性屈曲临界力通常不考虑剪切的影响,据计算,因剪切导致的附加弯曲仅使此类构件的欧拉临界力降低0.3%左右。但是,对于格构式轴心受压构件而言,当其绕截面虚轴弯曲时,剪切变形较大,对构件弯曲屈曲临界力有显著影响,故计算此类构件的整体稳定性时,对虚轴应采用换算长细比来考虑剪切的影响。

本条根据理论推导,列出了几种常用的以缀板或缀条连接的双肢或三肢格构式构件换算长细比的计算公式。

5.2.7 本条有关格构式轴心受压构件单肢长细比 λ_1 的要求是为了保证单肢不先于构件整体失稳,此时可不计算单肢的强度和稳定性。

5.2.8 格构式轴心受压构件应能承受按公式(5.2.8)算得的剪力。格构式轴心受压构件在制作、运输及安装过程中会产生初始弯曲(通常假定构件的初始挠曲为一正弦半波,构件中点处的最大初始挠曲值不大于构件全长的1/750),同时,轴力的作用存在着不可避免的初始偏心(根据实测统计分析,一般可取此初始偏心值为 $0.05\rho_0$, ρ_0 是此构件的截面核心距),在轴力作用下,此格构式轴心受压构件内将会产生剪力,以受力最大截面边缘屈服作为临界条件,即可求得公式(5.2.8)所示杆内最大剪力 V 。

5.2.10 对由典型开口截面拼合而成的截面的轴压构件,若符合本标准第6.1.10条的规定,可按整体截面计算。但一般情况下,采用自攻螺钉连接时,间距很难满足该条的规定。实际工程中,原则上可由两个单个开口截面轴压构件的承载力简单叠加保守考虑。但考虑到组合后截面部分板件重合,之间有按构造要求布置的螺钉(间距一般为300mm,不小于600mm)相连,对相互之间的

板件稳定有明显影响,且一般由于内外覆板的约束而只存在墙体面外弯曲的可能,根据相关试验研究结果可以考虑这部分的增强。图 5.2.9(c)所示的抱合箱形截面对 y 轴的稳定承载力设计值折减系数 0.7 是基于试验和数值分析结果得到的,且偏于保守。该截面也可取各单个开口截面对自身形心 y 轴的弯曲稳定承载力设计值之和乘以放大系数计算拼合截面的稳定承载力设计值,当拼合处有可靠连接且构件长细比大于 50 时放大系数可取 1.2,其他条件下放大系数应通过试验研究确定。同济大学、西安建筑科技大学、中国建筑标准设计研究院、博思格钢铁(中国)、上海绿筑住宅系统科技有限公司、上海钢之杰钢结构公司等开展合作研究,对 S550、Q235、Q355 钢材开口及拼合截面的轴压构件、偏压构件、受弯构件的承载力及破坏模式进行了系统的试验研究。同济大学采用本规程提出的公式进行承载力估计,对各类构件进行了详细的设计可靠度分析,结果表明该方法是合理可行的,能够满足相关设计可靠度的要求。

5.2.11 参考本标准第 5.1.2 条的条文说明。

5.2.12 直接强度法是一种直接确定构件承载力的方法,它不必对截面中的每个板件进行有效宽度及有效截面特性的计算,而是直接利用构件的全截面及其几何特性。在利用直接强度法计算构件极限承载力前,必须先确定其弹性屈曲承载力。对于轴心受压构件而言,包括局部、畸变和整体屈曲临界荷载。直接强度法包含了局部屈曲的相关作用,并将畸变屈曲模式作为独立的影响因素来考虑。本标准将该方法作为正文采用的有效截面法的替代方法列于附录 C。

5.3 受弯构件

5.3.1~5.3.4 这四条与原规范基本相同,仍然按绕 x 轴弯曲和按绕 y 轴弯曲分别给出具体的计算公式,方便设计人员准确应用。尽管 ξ_3 取值对稳定系数值的影响不大,但为了与现行国家标

准《钢结构设计标准》GB 50017 中梁稳定计算的理论公式一致,恢复了《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GBJ 18—87 中的 ξ_3 系数,从而使两本标准的理论基础相同。

将对受弯构件腹板的平均剪应力验算统一到第 5.3.2 条,对原规范第 7.1.6 条的相关公式进行了适当扩展,考虑了不同钢材强度的影响。原规范的相应公式是基于 Q235 钢材得出的,但随着新型钢材的应用,原公式不一定适用,因此进行了修改。 τ_{cr} 在计算公式(5.3.2-1)和公式(5.3.2-4)分别为腹板弹塑性和弹性剪切屈曲临界应力设计值。

对冷弯薄壁型钢截面,受截面形状(如卷边)的限制,一般很少设置加劲肋。壁厚 2mm 以下截面受弯构件承受集中力时,常采用内衬一段截面加劲的方式,可视为偏于保守。对可设置加劲肋的冷弯厚壁型钢受弯构件,可按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定考虑。

5.3.5 参考本标准第 5.2.10 条的条文说明。抱合箱形截面的受弯承载力设计值折减系数是基于试验和数值分析结果得到的,且偏于保守。在偏于保守地计算本标准图 5.2.9(c)抱合箱形截面几何特性时,将构件翼缘部分作为部分加劲板件按照叠加后的厚度来考虑组合后截面的有效宽厚比。

5.3.6、5.3.7 这两条对受弯构件支座或受集中荷载处的腹板局部受压承载力验算进行了规定。当支座或受集中荷载处的腹板有加劲肋时,集中荷载可直接通过加劲肋和一定宽度腹板组成的十字形截面直接传递,因此只要保证这个等效十字形截面的整体稳定性即可。当支座或受集中荷载处的腹板无加劲肋时,腹板的局部受压承载力需要按第 5.3.7 条的相关公式进行验算。

5.3.8 本标准将直接强度法作为正文采用的有效截面法的替代方法列于本标准附录 C。考虑到国内外对非纯弯构件的研究资料太少,本次修订暂不列入。

5.3.9、5.3.10 腹板局部受压承载力设计值 R_w 与弯角半径大

小、集中荷载作用位置、腹板尺寸等因素有关,很难精确确定,国外一般通过大量的试验资料进行回归统计后得出半经验、半理论的计算公式。参考了国外相关标准,并给出了卷边单槽形截面、卷边单 Z 形截面、非卷边单槽形截面、非卷边单 Z 形截面和工字形组合截面在集中荷载或支座反力下的腹板局部受压承载力验算公式,并参考国外相关标准对腹板局部受压荷载条件进行了区分。公式(5.3.9)中各系数应根据构件截面形式和荷载条件查表 5.3.9 获得。

5.4 拉弯构件

5.4.1、5.4.2 冷弯薄壁型钢结构构件的设计计算均不考虑截面发展塑性,而以边缘屈服作为其承载能力的极限状态,故本条规定在轴心拉力和 2 个主平面内弯矩的作用下,拉弯构件应按公式(5.4.1)计算强度,式中的截面特性均以净截面为准。考虑到在小拉力、大弯矩情况下截面上可能出现受压区,故规定了此种情况下净截面特性的计算方法。

5.4.3 参考本标准第 5.2.10 条和第 5.3.5 条的条文说明。

5.4.4 参考本标准第 5.1.2 条的条文说明。

5.5 压弯构件

5.5.1 在轴心压力和 2 个主平面内弯矩的共同作用下,压弯构件的强度应按公式(5.5.1)计算,考虑到构件截面削弱的可能性,式中的截面特性均应按有效净截面确定。

5.5.2 双轴对称截面压弯构件,当弯矩作用于对称平面内时,计算其弯矩作用平面内稳定性的相关公式(5.5.2-1)是根据边缘屈服准则,假定钢材为理想弹塑性体,构件两端简支,作用着轴心压力和两端等弯矩,并考虑了初弯曲和初偏心的综合影响,构件的变形曲线为半个正弦波,这些理想条件均满足的前提下导得的,在此基础上,引入计算长度系数来考虑其他端部约束条件的影响,以等

效弯矩系数 β_m 来表征其他荷载情况(如不等端弯矩、横向荷载等)的影响,此外,公式(5.5.2-1)还考虑了轴力导致的附加弯矩的影响,因此,公式(5.5.2-1)可用于各类双轴对称截面压弯构件弯矩作用平面内稳定性的计算。

双轴对称截面压弯构件,当弯矩作用在最大刚度平面内时,应按公式(5.5.2-2)计算弯矩作用平面外的稳定性,此式是按弹性稳定理论导出的直线相关公式(对双轴对称截面压弯构件,一般是偏于安全的),与轴心受压构件及受弯构件整体稳定性的计算公式自然衔接,且考虑了不同截面形状(开口或闭口截面)、荷载情况及侧向支承条件的影响,适用范围较为广泛。

5.5.4 对于图1所示的单轴对称开口截面压弯构件,当弯矩作用于对称平面内时,除应按本标准公式(5.5.2-1)计算其弯矩作用平面内的稳定性外,尚应按本标准公式(5.2.2)计算其弯矩作用平面外的稳定性,但式中的轴心受压构件稳定系数 φ 应按由单轴对称开口截面压弯构件弯扭屈曲理论算得的以公式(5.5.4-1)表述的换算长细比 λ_0 确定。近年来大量的较为系统的试验结果证实,上述换算长细比法是可行的。此外,考虑到横向荷载作用位置对构件平面外稳定性的影响,在公式(5.5.4-2)中加列了 $\xi_2 e_a$ 项。

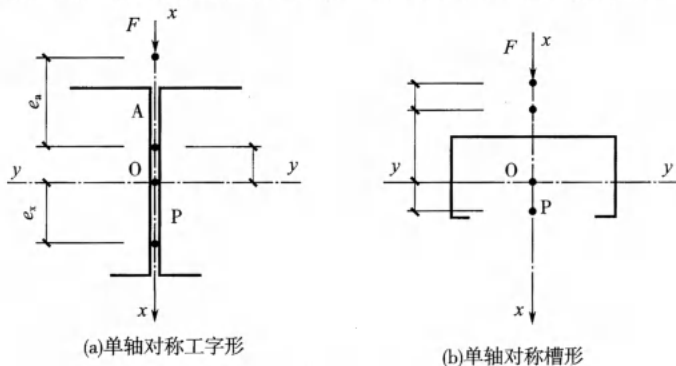


图1 单轴对称开口截面压弯构件示意图

A—剪心;P—偏心位置

理论计算和试验研究表明,对于常用的单轴对称开口截面压弯构件而言,若作用于对称平面内的弯矩导致的等效偏心距位于截面剪心一侧,且其绝对值不小于 $\frac{e_0}{2}$ (e_0 为截面形心至剪心的距离)时,构件将不会发生弯扭屈曲,无需计算其弯矩作用平面外的稳定性,以方便设计计算。

5.5.5 公式(5.5.5-1)和公式(5.5.5-2)均是半经验公式,是考虑到与轴心受压构件及受弯构件的整体稳定性计算公式的自然衔接和协调,并对有限的试验结果做了分析,经比较后确定的。

5.5.6 双轴对称截面双向压弯构件稳定性的计算公式(5.5.6-1)和公式(5.5.6-2)均是半经验式,是考虑到和轴心受压构件、受弯构件及单向压弯构件的稳定性计算公式的衔接和协调,且与有关理论研究成果及少量试验资料做了对比分析后确定的。

5.5.7~5.5.9 格构式压弯构件除应计算整个构件的强度和稳定性外,尚应计算单肢的强度和稳定性,以保证单肢不致先于整体破坏。

格构式压弯构件当弯矩绕实轴(x 轴)作用时,其弯矩作用平面内和平面外的整体稳定性计算均与实腹式构件相同。

计算缀板和缀条的内力时,不考虑实际剪力和由构件初始缺陷所产生的剪力(由本标准第 5.2.8 条确定)的叠加作用,而取两者的较大剪力,因为两者叠加的概率是很小的。

5.5.10 参考本标准第 5.1.2 条的条文说明。

5.5.11 参考本标准第 5.2.12 条和第 5.3.8 条的条文说明。

5.6 构件中的受压板件

5.6.1 本条基本沿用原规范的规定。箱形截面构件的腹板和翼板都是加劲板件;槽形截面构件的腹板是加劲板件,翼缘是非加劲板件;卷边槽形截面构件的腹板是加劲板件,翼缘是部分加劲板件。根据上海交通大学、湖南大学和南昌大学对箱形截面、卷边槽

形截面和槽形截面的轴心受压、偏心受压板件的 132 个试验所得数据的分析,发现不论是那一类板件都具有屈曲后强度,都可以采用有效截面的方式进行计算。目前国际上已有不少国家采用统一的公式计算加劲板件、部分加劲板和非加劲板件的有效宽厚比,而统一公式的表达形式因各国依据的试验数据而有所不同。

5.6.2 参考国外相关标准,按“等效板件”的概念给出这类板件的有效宽度计算公式。同济大学对 S550 钢材含中间加劲板件截面的轴压构件承载力进行了试验研究及计算分析,证明了该方法的合理性,并容易与现有规范的计算方法相衔接。在多加劲板件有效宽度的实际计算中,先根据图 5.6.2(a)的左图得到失效宽度,再根据右图考虑原始截面的失效面积或面积矩。

5.6.3 本条给出了本标准第 5.6.1 条中受压板件的稳定系数 k 的计算公式。这些公式均是根据薄板稳定理论计算的结果经过回归得到的,基本沿用原规范的规定。但原规范针对轴压构件的部分加劲板件采用了较保守的系数(0.98)来考虑畸变屈曲的可能影响,在有些情况下会偏于保守。同济大学在相关研究^[1]的基础上,提出了部分加劲板件考虑畸变屈曲和局部屈曲的稳定系数计算公式,并系统比较了国内外相关试验数据,证明了该公式的合理性。同时,该方法与原规范具有很好的一致性。

5.6.5 当厚度过薄时,考虑相邻板件的约束作用可以明显提高承载力的计算精度。

5.6.6 本条参考了压型钢板受压翼缘纵向加劲肋的要求,将一般型钢截面板件中间加劲肋和压型钢板受压翼缘纵向加劲肋的要求统一起来,规定了中间加劲肋的刚度要求。

5.6.7 表 5.6.7 规定的卷边高厚比限值是按其作为边加劲的最小刚度要求以及在保证卷边不先于平板局部屈曲的基础上确定

[1] 姚行友,冷弯薄壁型钢开口截面构件畸变屈曲性能与设计方法研究[D]. 上海: 同济大学,2012.

的。同时,参考了压型钢板受压翼缘纵向边缘加劲肋的要求,将一般型钢截面板件边缘加劲肋和压型钢板受压翼缘纵向边缘加劲肋的要求统一起来,规定了边缘加劲肋的刚度验算要求。

5.6.8 本条规定了受压板件有效截面的计算及位置。

5.6.9 本条规定轴心受压圆管构件不失去局部稳定的圆管外径与壁厚之比的限值,该限值是按理想弹塑性材料推导得到的。

5.6.10 轴心受压构件截面上承受的最大应力是由压杆整体稳定控制的,其值为 φf 。因此,在确定截面上板件的有效宽度时,宜将 φf 作为最大压应力板件的应力 σ_1 的最大值。

5.6.11 构件中板件的有效宽厚比与板件的压应力分布不均匀系数 ψ 及最大压应力 $\sigma_{\max}$ 有关。本条通过计算拉弯、压弯和受弯构件中受压板件的压应力分布不均匀系数 ψ 和最大压应力值,按照本标准第 5.6.1 条的规定计算受压板件的有效宽厚比。

压弯构件在受力过程中由于压力的 $P-\Delta$ 效应,其受力具有几何非线性性质,截面上的内力和应力分布计算较为复杂。为了简化计算,同时考虑到压弯构件一般由稳定控制,计及 $P-\Delta$ 效应后截面上的最大应力大多是用足设计强度或与设计强度相差不大,因此本条规定截面上最大控制应力值可取为钢材的强度设计值 f ,同时截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 取按构件毛截面做强度计算时得到的值,不考虑双力矩的影响。各板件的最大控制应力则由截面上的强度设计值 f 和各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 推算得到。

受弯及拉弯构件因没有或不考虑 $P-\Delta$ 效应,截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 及最大压应力值均取按构件毛截面做强度计算得到的值,不考虑双力矩的影响。

5.6.12 冷弯薄壁型钢构件截面畸变屈曲行为复杂且破坏具有脆性,结构构造设计中应尽量避免出现,从而提高构件的承载力,并避免了采用直接强度法(本标准第 5.2.12 条、第 5.3.8 条、第 5.5.11 条)的复杂计算。目前有一定研究基础的构造设计措施包

括:①构件受压翼缘有可靠的限制畸变屈曲变形的约束,如构件受压翼缘的外侧平面覆有有效板材及螺钉连接间距加密一倍;②构件自由长度小于构件畸变屈曲半波长的一半,从而抑制截面畸变屈曲的形成;③构件截面采取了其他有效抑制畸变屈曲发生的措施,如设置间距小于构件畸变屈曲的半波长的一半的拉条或隔板。

6 连接的计算与构造

6.1 连接的计算

6.1.2 参考国外的相关研究报告及建议,本条给出了喇叭形焊缝的设计方法。国外机构试验证明,当被连板件的厚度 $t \leq 4.5\text{mm}$ 时,沿焊缝的横向和纵向传递剪力的连接的破坏模式均为沿焊缝轮廓线处的薄板撕裂。

国外的相关研究报告表明,当被连板件的厚度 $t \leq 4\text{mm}$ 时,单边喇叭形焊缝端缝受剪时,考虑传力有一定的偏心,取标准强度为 $0.833f_u$ (f_u 为钢材的抗拉极限强度);喇叭形焊缝纵向受剪时考虑了两种情况:①当焊脚高度 h_f 和被连板厚 t 满足 $t \leq 0.7h_f < 2t$,或当卷边高度小于焊缝长度时,卷边部分传力甚少,薄板为单剪破坏,标准强度为 $0.75f_u$;②当焊脚高度满足 $0.7h_f \geq 2t$ 和卷边高度大于焊缝长度时,卷边部分也可传递较大的剪力,能在焊缝的两侧发生薄板的双剪破坏,标准强度成倍增长为 $1.5f_u$ 。端缝受剪考虑 2.55 的安全系数、纵缝受剪考虑 2.8 的安全系数,则上述各种情况的相应允许强度分别为 $0.327f_u$ 、 $0.268f_u$ 和 $0.536f_u$ 。当被连板件的厚度大于 2.54mm 时,尚应按一般角焊缝进行验算。

在制定本条时,按照与国外相关标准安全系数相同的原则,确定我国的设计表达式。按 $[R]$ 为国外标准所给的允许强度, R_k 为按我国标准设计时的标准强度,则有:

$$\frac{R_k}{\gamma_s \gamma_R} = [R] \quad (6)$$

式中: γ_s 、 γ_R ——我国的荷载分项系数的平均值和钢材的抗力分项系数。

将上式写成我国标准的强度设计表达式,有:

$$\frac{R_k}{\gamma_R} = \gamma_s [R] \quad (7)$$

或

$$\frac{R_k}{\gamma_R} = [R] \frac{f}{f_u} \gamma_s \gamma_R \frac{f_u}{f_y} \quad (8)$$

由公式(15),将国外标准[R]中的 f_u 用 f 代换后得到转化为我国设计强度的转化系数为 $\gamma_s \gamma_R \frac{f_u}{f_y}$ 。近似取荷载分项系数的平均值 $\gamma_s=1.3$,钢材的抗力分项系数 $\gamma_R=1.165$ 。对 Q235 钢,最小强屈比为 1.6,则转化系数为 2.423,相应的设计强度分别为 $0.79f$ 、 $0.65f$ 和 $1.30f$;对板厚小于 4mm 的 Q345 钢,其最小强屈比为 1.5,相应的转化系数为 2.272,设计强度分别为 $0.74f$ 、 $0.61f$ 和 $1.22f$ 。考虑到喇叭形焊缝在我国的研究和应用尚不充分,本条编写中,偏于安全的将双剪破坏的设计强度按单剪取值。同时将 Q235 钢的相应设计强度表达式近似取为 Q345 钢的相应式子,即端缝抗剪设计强度取为 $0.75f$,纵缝抗剪设计强度取为 $0.6f$ 。试算结果证明,满足构造要求的喇叭形焊缝,无需再进行角焊缝的补充验算。

当采用喇叭形焊缝且最小板厚大于 4mm 时,破坏模式不再以撕裂为主。另外,当最小板厚超过 6mm 时,作为角焊缝验算,原规范公式实际上和现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 是一致的。因此,当最小板厚大于 4mm 时,应参照一般焊缝按本标准第 6.1.1 条的角焊缝相关公式计算。

对预涂镀冷弯型钢薄板,不适合采用焊接,以免破坏镀层。因此不建议采用喇叭形焊缝。但 2mm 以下非预涂镀冷弯型钢构件仍可采用喇叭形焊缝。

6.1.4 为了与其他机械式连接件的承载力设计值表达式相协调,将普通螺栓连接强度的应力表达式改为单个螺栓的承载力设计值

表达式。

6.1.5 增加了 Q390 钢的抗滑移系数和板厚小于 3mm 的板件不可用喷砂除锈的注解；考虑到本标准的板厚限制已放宽到 20mm，为了节约钢材，可选用公称直径大于 M16 的高强度螺栓，故在表 6.1.5-2 中参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关条款增加了大直径高强度螺栓的预拉力值。

6.1.6 考虑到本标准的板厚限制已放宽到 20mm，故参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关条款增加了承压型高强度螺栓的设计要求。

6.1.8 用于压型钢板之间和压型钢板或薄壁构件与冷弯型钢构件之间的紧固件连接的承载力设计值，一般应由生产厂家通过试验确定。国外对常用的抽芯铆钉、自攻螺钉和射钉等的连接强度做过大量试验研究工作，总结出保证连接不出现脆性破坏的构造要求和偏于安全的计算方法。

大量试验表明，压型钢板与冷弯型钢等支承构件间的紧固件承受拉力时可能被从基材中拔出而失效；也可能被连接的薄钢板沿连接件头部被剪脱或拉脱而失效。后者在承受风荷载作用时可能出现疲劳破坏，因此国外相关标准规定，遇含有风荷载的组合荷载作用时，连接件的抗剪脱和抗拉脱的抗拉承载力设计值取静荷作用时的一半。并建议采用不同的折减系数，考虑连接件在压型钢板波谷的不同部位设置时，可能产生的杠杆力和两个连接件传力不等而带来的不利影响。

试验表明，传递剪力的连接不存在遇含有风荷载的组合荷载作用时的疲劳问题，抗剪连接的破坏模式主要以被连接板件的撕裂和连接件的倾斜拔出为主。单个连接件的抗剪承载力设计值仅与被连板件的厚度和其屈服强度的标准值以及连接件的直径有关。

我国一些单位也对抽芯铆钉和自攻螺钉连接做过试验研究，并证实了国外相关标准所建议的公式是偏于安全保守的。因此本

标准采用了这些公式,只做了强度设计值的代换。

国外相关标准规定,永久荷载的荷载分项系数为 1.3,活荷载的荷载分项系数为 1.5,与薄钢板连接的紧固件的抗力分项系数为 $\gamma_m=1.1$,因此当取荷载分项系数的平均值为 1.4 时,国外相关标准的连接承载力设计值的安全系数为 $1.4 \times 1.1=1.54$ 。我国的相应荷载分项系数的平均值为 1.3,取连接的抗力分项系数与钢材的相同,即 $\gamma_R=1.165$,则相应的安全系数为 $1.3 \times 1.165=1.52$ 。可见国内外在冷弯薄壁型钢结构安全系数的取值方面基本相当。国外相关标准中所用的屈服强度的设计值 σ_e 。相当于我国的钢材标准强度 f_y ,因此取 $\gamma_R f=1.165 f=\sigma_e$ 。对公式进行代换。也就是说对国外相关标准的公式的右侧均乘以 1.165,并用 f 取代 σ_e ,即得本标准中的相应公式。需要说明的是,为了简化公式,偏于安全地将抽芯铆钉的抗剪强度设计值的计算表达式取与自攻螺钉的相同。

本次修订时,参考国外相关标准中抗拉脱承载力设计值的表达形式,对原规范公式(6.1.7-1)和公式(6.1.7-2)均乘以 $d_w/14$ 进行转换,使新公式能反映钉头或垫圈直径的影响,同时放松了原规范第 6.2.9 条对自攻螺钉和射钉的钉头或垫圈直径不得小于 14mm 的限制,使公式更加合理。

由于目前国内对自攻螺钉的使用与连接钢板之间的合理匹配并无明文规定,因此在试验中会出现螺钉剪断现象,并存在一定的“刀口”效应^[1]。在上述文献表 8 所列出的 33 个螺钉被剪断的试件中,有 32 个试件的连接板为 S550 薄钢板,1 个为 S280 薄钢板。说明螺钉连接高强低延性薄板时较延性钢板更易被剪断。为避免发生螺钉剪断破坏,参考国外相关标准提出了“每个自攻螺钉、抽芯铆钉或射钉所承受的剪力设计值不应超过标准试验确定的钉杆抗剪强度设计值的 80%”的规定。

[1] 李元齐,马奎奎,宋延勇,等.冷弯薄壁型钢螺钉连接抗剪性能试验研究[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(1):11-19.

另外,自攻螺钉连接高强低延性钢板 S550 时,大量试验表明^[1],其抗拉(拔出破坏和拉脱破坏)、抗剪的承载力安全性明显小于连接具有较好延性的 S280、S350 薄板。为保证安全及安全水准的统一,建议在公式(6.1.8-4)~公式(6.1.8-6)计算结果的基础上乘以 0.8 的折减系数,作为其设计承载力。

6.1.9 采用多个螺钉连接时螺钉群存在明显的剪力滞后效应。国外大量试验数据表明,采用低延性和正常延性钢板的连接,如果螺钉多于 7 个,需采用 0.85 的折减系数对公式计算结果进行折减;如果螺钉数为 2~7,则不用折减。

6.1.10 受压、受弯及压弯构件可采用由两个槽形截面(槽钢或卷边槽钢)连接而成的工字形截面。本条对焊缝、点焊及螺栓等连接件的最大间距做出了规定。对于受压力作用的构件,需要保证单根槽形截面构件绕平行腹板的形心轴不发生单肢失稳,同时考虑了有一个连接点松弛或失效的情况,给出公式(6.1.10-2)。对于轴心受压构件及压弯构件,连接件尚应能够承担构件中实际存在的剪力和构件可能失稳时产生的剪力(两者取较大值),由此条件给出公式(6.1.10-1)。公式(6.1.10-1)是原规范的公式(6.1.8-1),其最早来源于国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GBJ 18—87,但《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GBJ 18—87 对此式的使用范围说明有误,本次修订将压弯构件分成绕 y 轴弯曲的压弯构件和绕 x 轴弯曲的受弯构件,概念明确。

对于绕 x 轴弯曲的受弯构件,要求 $a_{\max} \leq l/6$,是为了防止连接点之间的上翼缘产生过大的翘曲变形。考虑到荷载作用在组合工字形截面的 y 轴平面内,荷载作用线大致上可视为在腹板轴线上,对每个槽形截面的剪心形成扭矩作用,扭矩为 $q_0 a_{\max} \cdot (d/2)$,此扭矩由同一截面上下两个连接件承担,由此得到公式(6.1.10-3)。

[1] 李元齐,帅逸群,沈祖炎,等. 冷弯薄壁型钢自攻螺钉连接抗拉性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2015,36(12):143—152.

6.1.11 考虑到防水的要求,近年来,我国大部分轻钢结构屋面采用自攻螺钉连接压型钢板时,不再采用波谷连接形式,而改用在波峰处与檩条相连的形式。目前,国内外有关规范和建议所给出的某些连接件的强度经验公式,全部基于波谷连接的试验数据,而对于波峰连接的性能研究少有报道。为了弥补这方面的空白,哈尔滨工业大学开展了一系列的自攻螺钉波峰连接的抗剪性能试验研究。由上述连接件抗剪试验和该校进行的受力蒙皮体抗剪性能试验研究发现,所有承受水平剪力的波峰自攻螺钉在极限承载力时的破坏均为弯剪脆性断裂,但在破坏前已发生较明显的变形。

由于自攻螺钉表面均经过热处理,其材料性能表里不同;各厂家生产自攻螺钉的工艺不同,因此,自攻螺钉的力学性能也不相同,很难采用简单的力学方法确定波峰连接的强度承载力。为了确保安全,要求按本标准附录 E 的有关规定,用标准试验方法确定其强度承载力。

6.2 连接的构造

6.2.1 由于直接相贯的钢管节点的角焊缝只在钢管壁的外侧施焊,不存在两侧施焊的过烧问题,是可以被接受的。另外,在具体设计中应参考现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中有关侧面角焊缝最大计算长度的规定。

6.2.2 本条补充了采用喇叭形焊缝且最小板厚大于 4mm 时的焊脚尺寸要求。

6.2.5、6.2.6 抽芯铆钉的适用直径为 2.6mm~6.4mm;自攻螺钉的适用直径为 3.0mm~8.0mm。这些构造规定参考国外相关标准的规定,是本标准第 6.1.8 条有关公式的适用条件。

6.2.7 被连板件上安装自攻螺钉(非自钻自攻螺钉)用的钻孔孔径直接影响连接的强度和柔度。孔径的大小应由螺钉的生产厂家确定。国外相关标准曾以表格形式给出了孔径的建议值。本条以归纳出的公式形式给出的预制孔径的建议值。

6.2.8 射钉适用于厚度为 0.6mm~7.0mm 的薄钢板或格栅板与钢结构基材,如檩条、钢梁等的连接,射钉的适用直径为 3.7mm~6.0mm。射钉的穿透深度是指钉尖端到基材表面的距离。射钉的穿透深度与射钉的拔出强度有直接的关系,因此需要在标准中明确穿透深度的定义。射钉连接的基材厚度与射钉的抗拔强度呈线性增加关系,当基材达到或超过 10mm 时,射钉的抗拔强度不再增加,保持稳定,基材厚度小于 4mm 不宜使用射钉连接,宜改用自攻螺钉连接。在工程中一定要综合基材厚度和强度,选用合适的钢钉、击发装置和火药等。采用射钉连接时,要求被连接钢板的最大屈服强度为 360N/mm^2 ,因此一般不用于 Q390 钢材的连接。

6.2.9 国外相关标准取消了抗拉连接中自攻螺钉和射钉的钉头或垫圈直径不得小于 14mm 的限制。本次修订时将相应的直径限值改为 8mm,并增加了对垫圈最小厚度的限制,以便从构造上增加压型钢板屋面抵抗风吸力的能力。

7 抗震设计

7.1 一般规定

7.1.1 本标准主要针对三类冷弯型钢结构建筑。第一类是采用闭口厚壁冷弯型钢柱或冷弯型钢支撑的框架或框架-支撑/剪力墙体系的结构建筑,横梁一般为热轧型钢;第二类是冷弯型钢门式刚架结构建筑;第三类是低多层房屋冷弯薄壁型钢龙骨体系结构建筑。

7.1.3 本条为现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 性能化设计指标要求的具体化。本章冷弯型钢结构抗震设计思路是进行塑性机构控制,由于非塑性耗能区构件和节点的承载力设计要求取决于结构体系及构件塑性耗能区的性能,因此,本条仅规定了构件塑性耗能区的抗震性能目标。考虑到冷弯型钢结构材料及现有结构体系的受力特点,承载性能等级只考虑 4 类。

多遇地震不坏,即允许耗能构件的损坏处于日常维修范围内,此时,可采用耗能构件刚度适当折减的计算模型进行弹性分析并满足承载力设计值的要求,以达到基本完好。

7.1.4 实际上,按照本章通过性能设计满足设防地震作用下考虑性能系数的承载力要求后,在多遇地震作用下,除塑性耗能区外,通常其余构件与节点可处于弹性状态并满足设计承载力要求。

本条为实现高延性低承载力、低延性高承载力设计思路的具体规定。不同结构对不同楼层的延性需求均不相同,在大多数情况下,结构底层是所有楼层延性需求最高的部分。为简化设计,整个结构可采用相同的结构构件延性等级来保证延性需求,当不同楼层的实际性能系数明显不同时,各楼层也可采用不同的结构构

件延性等级。

7.1.5 一般情况下,柱长细比越大、轴压比越大,结构承载能力和塑性变形能力越小、侧向刚度越低,易引起整体失稳;遭遇强烈地震时,框架柱可能进入塑性状态。因此,有抗震设防要求的钢结构需要控制的框架柱长细比与轴压比。

表 7.1.5-2 中未列出梁的宽厚比限值要求,是因为包含表 7.1.5-2 所列构件的结构中梁一般采用热轧类钢材,其对应要求应根据现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 的规定确定。

7.1.6 本条主要针对作为梁、柱的闭口截面冷弯型钢抗震构件。对截面平板部分,目前采用的 Q235、Q355 钢材能够满足抗震用钢材的基本要求;对转角部分,仅对要求塑性设计或疲劳计算的区域提出要求,即要求控制延伸率,至少满足塑性设计对材料的要求,以防止角部过度强化而影响抗震或疲劳性能。对开口截面,目前的研究和工程实践尚不充分,有待进一步研究。

7.1.7、7.1.8 由于地震作用的不确定性,抗震设计最重要的是概念设计,当结构均匀对称并具有清晰直接的地震力传递路径时,对地震性能的预测更为可靠。因此,按本章进行性能化设计时,应符合现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 第 1 章~第 5 章的规定。

7.2 计算要点

7.2.1~7.2.7 本节是参考现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《钢结构设计标准》GB 50017,结合现有冷弯型钢结构体系的特点,按照中震设计的原则给出的。

7.3 基本抗震措施

7.3.3、7.3.4 这两条是参考现行国家标准《建筑抗震设计标准》GB/T 50011 和《钢结构设计标准》GB 50017,结合现有冷弯型钢结构体系的特点给出的。

- 7.3.6 本条主要针对满足抗震设计强柱弱梁的要求。
- 7.3.8 本条主要针对满足抗震设计强节点弱构件的要求。
- 7.3.9 本条主要针对满足抗震设计强连接弱构件的要求。

8 压型钢板

8.1 压型钢板的计算

8.1.2 传统的有效宽度法难以计算近些年来出现的复杂冷弯薄壁构件截面,为此,国外学者提出了一种新的设计方法——直接强度法,我国何永康、张耀春、张其林等学者也就该方法的应用进行了一些研究工作。直接强度法的基本思想是截面不折减,仍取毛截面计算,是一种采取折减构件强度的新设计方法,国外相关标准已将其纳入其附录。有鉴于此,本标准将直接强度法纳入(以附录形式),并将原规范第 7.1.3 条也纳入本条。

8.1.3 对压型钢板受压翼缘的纵向加劲肋的面外刚度要求,本标准将其与一般截面卷边加劲的面外刚度要求一起考虑,见本标准第 5.6.6 条、第 5.6.7 条。考虑到有效宽度法是计算压型钢板承载能力的方法之一,因此本条将原规范第 7.1.2 条和第 7.1.4 条进行了合并,并对其中的一些叙述进行了调整。

8.1.4 实际工程中的压型钢板大多是连续受弯构件,因此在进行压型钢板受弯计算时,其内力(弯矩)计算可按多跨连续梁进行,但此时应保证压型钢板在支座处的连接可靠且有足够的搭接长度。当多跨连续压型钢板超过五跨时,可按五跨计算内力。

8.1.5 压型钢板在正常使用和施工期间,可能会出现较大的集中荷载或支座反力,由于压型钢板的腹板厚度 t 相对较薄,在局部集中荷载作用下可能会出现腹板折屈(Web Crippling)现象。腹板折屈涉及因素较多,很难用理论精确分析,国内外尚无相关计算方法,国外标准根据大量试验结果给出了不同截面形式冷弯型钢构件腹板局部受压承载力的计算公式。对压型钢板,由于翼缘宽度较大,可按非卷边单槽形、单 Z 形截面情况进行计

算,偏于安全。

8.1.6 同时承受弯矩和集中荷载或支座反力作用时,须进行相关性验算。但由于压型金属板的截面是不对称的,因此在进行抗弯承载力 M_u 计算时, W_u 应取翼缘距离中和轴较远一侧的截面模量。

8.1.7 弯矩 M 和剪力 V 共同作用的截面验算采用本标准公式 (5.3.11) 是参考国外相关标准的规定提出的。

8.1.8 集中荷载 F 作用下的压型钢板计算,根据国内外试验资料分析,集中荷载主要由荷载作用点相邻的槽口协同承受,但究竟有几个槽口参与工作,这与板型、尺寸等有关,目前尚无精确的计算方法,一般根据试验结果确定。公式(8.1.8)近似将集中荷载 F 沿板宽方向折算成均布线荷载 q_{re} ,式中折算系数 η 由试验确定,若无试验资料,参考国外相关标准规定取 $\eta = 0.5$ 。此时,用该式的计算方法,近似假定集中荷载 F 由两个槽口承受,这对多数压型钢板的板型是偏于安全的。

8.1.9 屋面压型钢板上的集中荷载主要是施工或使用期间的检修荷载。按我国现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定,屋面板施工或检修荷载 $F = 1.0\text{kN}$;验算时,集中荷载 F 不乘以荷载分项系数,除自重外,不与其他荷载组合。但当施工期间的施工集中荷载超过 1.0kN ,则应按实际情况取用。

8.1.10 压型钢板翼缘有时会出现开圆孔(洞)的情况,其性能可能与原钢板有显著差异。比较简单的解决方法是通过有效厚度 t_e 。代替原厚度 t 来考虑此影响,而进行有关计算时仍采用无开洞压型钢板的计算公式。公式(8.1.10-1)和公式(8.1.10-2)是参照国外标准提出的,通常来说,所得结果是偏于保守的,若想获得更经济的设计结论,则需要进一步的试验验证。

8.1.11 压型钢板主要承受弯曲作用,当翼缘宽度较大时,翼缘常会出现向截面中性轴局部弯曲的变形趋势,即出现所谓的翼缘卷曲现象,导致压型钢板的抗弯承载力降低。本条参照国外标准规定了压型钢板翼缘不影响其抗弯承载力的条件,国外标准规定,当

翼缘的弯曲变形不超过压型钢板截面高度的 5% 时,对截面的抗弯承载力削弱不明显,可不考虑。但当超过 5% 时,由于可能会出现翼缘到中性轴距离(力臂)减小,以及导致腹板发生弯曲等情况,需要考虑压型钢板的抗弯承载力折减。

本条给出的控制公式是参照国外标准的思想简化得出的,最初的控制公式(图 2)为:

$$u = 2 \frac{\sigma_i^2 b_i^4}{E^2 t^2 z} \leq 0.05 h_1 \quad (9)$$

式中: u ——翼缘的弯曲变形值;

z ——翼缘未变形时至截面中性轴的距离。

其余符号意义同公式(8.1.11)。公式(9)对受拉或受压翼缘,以及有无纵向加劲肋均适用。



图 2 压型钢板翼缘的卷曲变形示意图

公式(8.1.11)是考虑了压型钢板上、下翼缘相等($\alpha' = 0.5$)以及不相等的情况,通过保证翼缘最大、最小应力相差不超过 10% 得到的。若压型钢板翼缘不能满足公式(8.1.11)的要求,应对压型钢板的抗弯承载力进行折减。

8.1.12 屋面和墙面压型钢板挠度控制值是根据我国多年实践经验总结给出的。近年来,压型钢板出现不少新板型,对特殊异形的压型钢板,其承载力、挠度应通过试验确定。

8.2 压型钢板的构造

8.2.1~8.2.9 本节是关于屋面、墙面和作为楼面永久性模板的压型钢板的构造要求。条文中涵盖了搭接式、扣合式和咬合式三

种典型的压型钢板连接方式,其中扣合式和咬合式由于连接件隐藏在压型钢板下面,可有效地避免渗漏现象。压型钢板采用长尺板材,可以减少板长方向的搭接,也可进一步避免渗漏现象。

9 檩条与墙梁

9.1 一般规定

9.1.1 本条规定了檩条的主要形式及适用原则。当采用热轧型钢檩条、焊接工字钢檩条时,按双向弯扭钢构件设计,并符合如下规定:

(1)不考虑屋面对檩条的约束。

(2)拉条应采用两层柔性拉条或采用角钢、冷弯小槽钢。

(3)宜按照双向弯扭计算,如果不考虑扭转,则平面外的抗弯计算只考虑上翼缘和 $1/6$ 腹板高度。

9.1.2 本条规定了檩条的主要支承形式。实腹式檩条也可设计成连续构件,但必要时需考虑其与主体结构共同受力。近年来的设计实践发现,连续檩由于平面刚度较大,会分担主体结构的荷载,与主体结构共同计算时局部檩条会大幅高于檩条单独计算的结果,导致结构偏不安全。

9.1.3 本条针对三种常用构造下屋面对檩条上翼缘的约束影响,规定了屋面对檩条上翼缘约束能力的判定原则。

9.1.4 计算檩条长细比时,拉条和撑杆可作为侧向支承点。

9.1.6 当檩条的上下翼缘均有屋面板提供侧向变形约束时,如檩条上下翼缘均有压型钢板,或采用双层拉条且拉条距檩条上下翼缘不大于 50mm 时,仅需考虑檩条在垂直于屋面方向产生弯曲,可按单向弯曲构件采用本标准第 5.3.1 条和第 5.3.2 条的规定计算檩条的强度。

9.1.7 本条规定了隅撑的布置与设计原则。

9.2 檩条的计算

9.2.1 原规范在计算稳定系数 φ_{bx} 时考虑了拉条的侧向支承作

用,但没考虑屋面的作用。参照原规范中檩条在风荷载作用下的稳定性验算公式,在风吸力作用下当屋面能阻止檩条上翼缘的侧移和扭转时,可忽略 M_y 作用,并近似取 $W_{ex} = 0.9W_x$,在原规范的基础上,提出了在风吸力作用下檩条下翼缘稳定性计算的简化公式(9.2.1-3);在风吸力作用下,当屋面不能阻止檩条上翼缘侧移和扭转时,对于 C 形檩条下翼缘的稳定性计算,简化公式(9.2.1-3)仍适用,对于 Z 形檩条下翼缘的稳定性计算,提出了简化公式(9.2.1-4),这些公式与非线性屈曲分析结果吻合较好,具有足够的可靠度。

9.3 檩条的构造

9.3.6 在搭接段上,固定屋面板的自攻螺钉可以代替上翼缘应布置的自攻螺钉。

9.4 墙梁的计算

9.4.2 本条中墙梁仅需考虑作用着 M_x ,可忽略 M_y 及弯扭双力矩 B 的影响。

9.5 墙梁的构造

9.5.2 墙梁主要承受水平风荷载,故宜将其刚度较大的主平面布置在水平方向上。

9.5.4 一般每隔 5 道拉条设置一对斜拉条,以分段传递墙体自重。

10 屋 架

10.1 普通冷弯型钢屋架

10.1.1 普通冷弯型钢屋架指采用截面厚度 2mm 以上、非预涂镀冷弯型钢通过焊接或螺栓连接组成的屋架。由于屋架上弦杆件一般都是连续的,屋架节点并非理想铰接,因此,必然存在着次应力的影响,有时还相当大,但通常屋架的计算都忽略了次应力的影响,按节点为铰接考虑一般都能达到应有的安全度,在实际工程中也未发现因简化计算出现安全事故。为了避免次应力的繁琐计算,采用按屋架各节点均为铰接的简化计算方法,是切实可行的。故本条仍沿用原规范的规定,至于特别重要的工业与民用建筑中的屋架,则应在计算中考虑次应力的影响。

10.1.2 根据现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定,桁架腹杆(支座竖杆与支座斜杆除外)的计算长度,在屋架平面内应取 $0.8l$ (l 为节点间的距离)。这是考虑到一般钢结构腹杆与弦杆的连接均采用节点板或其他加劲措施,使腹杆端部在屋架平面内的转动受到弦杆的约束,故应予以折减。而冷弯薄壁型钢结构中腹杆与弦杆的连接,大都采用顶接方式,仅能起到一定的约束作用,所以仍采用节点间的距离作为腹杆的计算长度。

在屋架平面外,弦杆的计算长度一般取侧向支承点间的距离。如等节间的受压弦杆或腹杆的侧向支承点为节点长度的 2 倍,且内力不等时,则可根据压弯构件或拉弯构件弹性曲线的一般方程,利用初参数法来确定其临界力及计算长度。公式(10.1.2-1)是简化公式,其计算结果与精确公式相当接近。

10.1.3 冷弯薄壁型钢屋架平面内的刚度,还是比较好的,一般均能满足正常使用要求,但为了消除由于视差错觉所引起的屋架下挠

不安全感,以及确保屋架下弦与吊车顶部的净空尺寸,15m 以上的屋架均宜起拱。大量试验数据证明,在设计荷载作用下相对挠度的实测值均小于跨度的 $1/500$,因此,规定屋架的起拱高度可取跨度的 $1/500$ 。

10.1.4 为了保证屋盖结构的空間工作性能,提高其整体刚度,承担或传递水平力,避免压杆的側向失稳,以及保证屋盖在安装和使用时的稳定性,应根据屋架跨度及其载荷的不同情况设置橫向水平支撑、纵向水平支撑、垂直支撑及系杆等可靠的支撑体系。

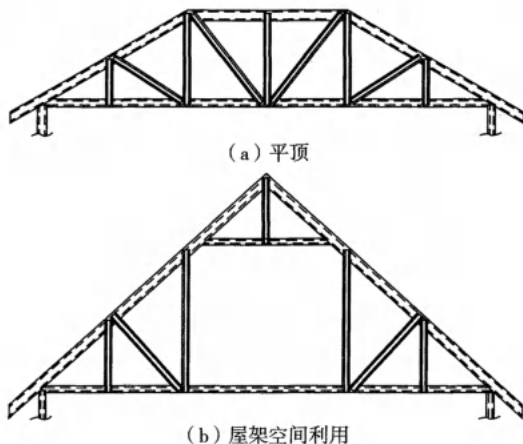
10.1.5 为了充分发挥冷弯型钢断面性能和提高冷弯型钢屋架杆件的防腐能力及便于维修,本标准推荐冷弯型钢屋架采用封闭断面。

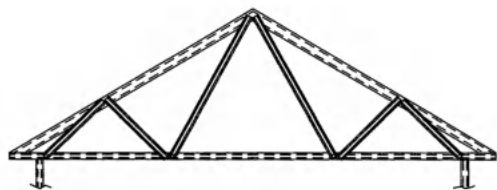
10.1.6 屋架杆件的接长主要指弦杆。屋架拼装接头的数量和位置,应结合施工及运输的具体条件确定。拼装接头可采用焊接或螺栓连接。

10.1.7 本条规定了在设计屋架节点时,构造上应注意的有关事项。

10.2 超薄壁冷弯型钢屋架

10.2.1 超薄壁冷弯型钢屋架一般指采用截面厚度 2mm 以下预涂镀冷弯型钢通过自攻螺钉或螺栓连接组成的屋架。根据室内空间利用和屋面形状的需要,屋架可做成不同形式,如图 3 所示。





(c) 斜腹杆

图 3 屋架形式示意图

10.2.2 目前用于冷弯薄壁型钢结构体系的屋面承重结构主要分为桁架和斜梁两种形式。桁架体系以承受轴力为主,斜梁体系以承受弯矩为主。当屋架腹杆较长时,纵向通长撑杆可以有效减少腹杆在桁架平面外的计算长度。交叉支撑能够保证腹杆体系的整体性,有利于保持屋架的整体稳定。

10.2.3 本条中的力学简化模型与实际屋架的构造相符。实际中弦杆为一根连续的构件,而腹杆则通过自攻螺钉与弦杆相连。弦杆按本标准第 5.5 节压弯构件的相关规定进行强度和整体稳定计算,腹杆按本标准第 5.1 节和 5.2 节轴心受力构件的相关规定进行计算。

10.2.4 冷弯薄壁型钢结构屋面与其他类型屋面的不同之处在于上弦杆会铺设定向刨花板等结构面板,它对上弦杆件上翼缘受压失稳有较强的约束作用。计算长度取自攻螺钉间距的 2 倍是考虑到在打螺钉过程中,有可能出现单个螺钉失效的情况,为了保证弦杆稳定计算的可靠度,取 2 倍螺钉间距。

10.2.5 腹杆通常都按轴压或轴拉构件计算,不考虑偏心距的影响。对于薄壁构件,计算和试验表明,当腹杆与弦杆采用槽形截面并背靠背连接时,面外偏心距的存在会降低腹杆承载力 10%~15%,因此该偏心距应该在计算中考虑。

10.2.7 试验表明,当屋脊附近作用有集中荷载时,如果屋脊节点刚度较弱,节点的破坏会先于构件的失稳破坏。因此要根据荷载的情况选择相应的屋脊节点形式,图 10.2.7(a)适用于屋脊处无

集中荷载的情况,图 10.2.7(c)适用于屋脊处有集中荷载的情况,图 10.2.7(b)节点刚度介于两者之间。

10.2.11 条形连接件可以抵抗向上的风吸力和地震作用产生的上拔力,以增强墙体和屋面体系的整体性,防止在飓风和强震作用下屋面与墙体相分离。

11 门式刚架

11.1 一般规定

11.1.1 冷弯型钢门式刚架适用于跨度 L 不大于 30m 且不承担吊车荷载的工业与民用建筑。

冷弯型钢门式刚架的梁柱连接、屋脊节点、柱脚可采用铰接[图 4(a)],也可采用刚接[图 4(b)]。当采用铰接时,应在梁柱连接处设置角撑杆,在屋脊处设置水平撑杆。当刚架跨度较大时,宜采用刚接柱脚。

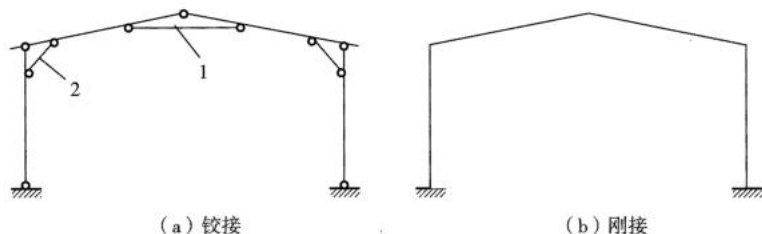


图 4 冷弯型钢门式刚架形式示意图

1—水平撑杆;2—角撑杆

冷弯型钢门式刚架的跨度宜为 9.0m~30.0m,高度宜为 3.0m~9.0m,刚架间距宜为 3.0m~9.0m。刚架的挑檐长度可根据使用要求确定,宜为 0.5m~1.2m,檐口坡度宜与屋面一致。

11.1.3 屋面横向水平支撑可看作是由刚架梁、交叉斜腹杆和刚性直腹杆等构件组成的桁架结构,其刚性直腹杆可由檩条或撑杆代替,此时檩条或撑杆应满足刚度和强度要求,特别是檩条应按压弯构件进行设计。

11.1.5 冷弯型钢门式刚架结构自重轻,在风吸力作用下,刚架梁下翼缘受压可能会出现刚架平面外失稳。为此,通常在刚架梁下

翼缘处设置隅撑与檩条相连作为其侧向支承点,此时,下翼缘受压刚架梁的计算长度可取 2 倍的隅撑间距。刚架柱的内翼缘由于风吸力作用一般也需要设置隅撑与墙梁相连,以确保风吸力作用下刚架柱内翼缘在刚架平面外的稳定性。

11.1.7 为保证刚架有足够的刚度以及屋面、墙面的正常使用,必须限制刚架梁的竖向挠度、柱顶水平位移(侧移)和屋面坡度变化。表 11.1.7 的限值是参考国内外的相关标准及有关研究资料得出的。当没有悬挂荷载时,刚架梁垂直于屋面的挠度一般均能满足表 11.1.7 的要求而不必验算。表 11.1.7 中关于刚架柱的柱顶侧移限值是按照平板式铰接柱脚的情况给出的,若柱脚刚接,则表 11.1.7 中所列数值应除以 1.2。

11.2 刚架梁、柱设计

11.2.1 本条规定了冷弯型钢门式刚架的内力确定原则。由于国内关于应力蒙皮效应的设计经验尚不成熟,因此在冷弯型钢门式刚架的内力分析中,可不考虑屋面和墙面的应力蒙皮效应。

11.2.2 冷弯型钢门式刚架的梁是以承受弯矩为主、轴力为次的压弯构件,其轴力通常随着坡度的减小而减小。当屋面坡度不大于 $1/2.5$ 时,由于轴力很小,可仅按压弯构件计算其强度,此时轴力产生的应力一般不超过总应力的 5%,而不必验算其在刚架平面内的稳定性;但当屋面坡度大于 $1/2.5$ 时,则应进行刚架梁在刚架平面内的稳定性计算。

刚架在其平面内的整体稳定,可由刚架柱的稳定计算来保证。刚架梁、柱在刚架平面外的稳定性可由檩条和墙梁设置隅撑来保证,此时,隅撑的设置间距可参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 中受弯构件不验算整体稳定性的条件来确定。

11.2.3 刚架的失稳包括无侧移失稳和有侧移失稳,而有侧移失稳一般具有最小的临界力,实际工程中,门式刚架通常在刚架平面内没有侧向支撑,且刚架梁、柱线刚度比并不太小,因此确定刚架

柱在刚架平面内的计算长度时,只考虑有侧移失稳的情况。冷弯型钢门式刚架柱截面多为等截面,刚架柱的计算长度系数可按本标准附录F取用。由于常用的柱脚构造并不能完全做到理想铰接或完全刚接的要求,考虑到柱脚的实际约束情况,对刚架柱的计算长度系数要予以修正。

11.2.4 冷弯型钢实腹式刚架梁、柱在刚架平面外的计算长度取决于梁、柱侧向支承点间的距离。作为侧向支承点的檩条、墙梁必须与水平支撑、柱间支撑或其他刚性杆件相连,否则一般不能作为侧向支承点。但当屋面、墙面采用压型钢板、夹芯板等板材,而板与檩条、墙梁有可靠连接时,檩条、墙梁可作为侧向支承点。当梁或柱两翼缘的侧向支承点间的距离不等时,为安全起见,应取最大受压翼缘侧向支承点间的距离。

11.2.6 冷弯型钢实腹式刚架构件翼缘上作用有较大的集中荷载或支座反力时,由于翼缘与腹板弯角圆弧的影响,集中力对腹板产生一定的偏心作用,容易发生腹板折屈(Web Crippling)现象。若在刚架梁或柱集中荷载或支座反力处的腹板上设置加劲肋,或设置附加构件将集中力直接传至腹板,则腹板不会被折屈,可不必验算腹板的局部受压承载力。

11.3 连接和节点构造

11.3.1~11.3.3 本节给出了冷弯型钢门式刚架中几个主要连接节点的常用构造方式,以供设计者参考。

12 制作、安装和涂装

12.1 制 作

12.1.1 规定工作环境温度是为了防止钢材在低温情况下辊压或冲孔产生脆裂。

12.1.2 虽然采用了建筑结构钢材,但在构件辊压的弯曲处仍有产生细微裂纹的可能,故需注意检查弯曲的凸面处是否存在细微裂纹,以确保质量。

12.1.3 制作允许偏差表 12.1.3-1 和表 12.1.3-2 主要参考现行行业标准《门式刚架轻型房屋钢构件》JG/T 144,并与之基本一致。表 12.1.3-1 适用于冷弯薄壁型钢结构构件(图 12.1.3),当较厚的冷弯构件用于多高层钢结构的主体结构时,其制作允许偏差宜根据设计要求按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》GB 50205 的相关规定或参照表 12.1.3-1 的规定。其他形状的冷弯薄壁型钢构件允许偏差可参考本条的规定。

12.1.4 制作时的辊压使得钢板在弯曲处有较大的延伸效果,故冷弯成型后的构件其名义展宽将大于原材料宽度 10mm~18mm,下料时考虑这个宽度的变化有助于使制作的构件尺寸更为精确。

12.1.5 通常冷弯薄壁型钢采用冲孔方法制孔效率高,尤其是椭圆孔,适宜用冲孔方法。板件厚度大于 3mm 且采用高强度螺栓摩擦型连接的构件,宜采用钻孔方法制孔,以符合高强度螺栓摩擦型连接的需要。

12.1.6 冷弯薄壁型钢组合构件可用连续焊也可用间断焊使其组合,对于闭口型截面应采用连续焊以防腐蚀。可采取的工艺措施包括预留空隙、垫衬板单面焊、双面焊等。对于薄板的对接焊

缝宜采用单面焊双面成型工艺,当板厚度大于 3mm 时宜采用双面焊工艺。

12.2 安 装

12.2.6 如檩条跨度大于 9m、截面高度大于 250mm,檩条在安装时很容易倾覆,采用临时木支撑有助于稳定檩条的安装,木支撑的截口式样可参照图 5;墙梁安装则易出现下挠,故需用木支撑保持其平直度,支撑墙梁的木支撑不用截口,可对接连续布置,其下端直接支承于地面上,在泥土上需加垫木板。

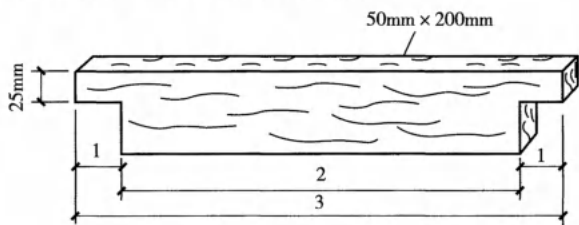


图 5 木支撑的截口式样

1—约等于檩条翼缘宽度;2—檩条间距减一个翼缘宽度;3—檩条间距加一个翼缘宽度

12.2.8 屋面板的自重约 $5\text{kg}/\text{m}^2 \sim 6\text{kg}/\text{m}^2$,对于尚未固定的屋面板,一般中、小风力即可将其掀掉,因此需边铺设边固定,并应特别注意隔夜的、未完成固定的屋面板的安全问题。

12.2.9 本条规定是为了防止因施工集中荷载使屋面板局部压曲。

12.2.10 当无具体设计规定时,泛水板和包边板的连接宜采用抽芯铆钉,每块泛水板或包边板固定点不宜少于 3 处,连接钉的间距不宜小于 35mm;不宜大于 300mm。

12.2.11 板端搭接长度主要是考虑防水性能,原规范规定的搭接长度比较大是针对普通压型板自由铺设的情况,目前国内流行的各种板型其端部搭接有专门的标准,故本条采用现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 规定的搭接长度,且

本条规定仅作为施工参考。

12.2.13 如果抗剪栓钉焊接在压型钢板的波峰位置上,则意味着钢-混凝土组合梁受弯变形时抗剪栓钉将承受弯矩作用而基本失效,故抗剪栓钉应避免焊接在压型钢板的波峰位置上。

12.2.15 射钉露出部分过长表明钉身未充分射入基材体内,无法达到射钉应有的抗拔力;露出部分过短,有可能选用的火药过强或射钉器档位过高,造成推力过大,或基材过薄,射钉位置严重偏移,同样无法保证抗拔力。安装失败后,应将射钉从基材表面敲除,不得将其拔出,否则会降低基材本身的强度,影响结构安全。

12.3 防腐涂装

12.3.4 一般的钢构件常采用油漆涂料方式,构件表面的处理情况直接影响油漆的质量,采用喷砂抛丸可以使板材表面形成均匀麻坑状,得到更好的油漆附着性。但当冷弯型钢构件板壁的厚度不大于 4mm 时,采用喷砂抛丸将使构件严重变形,油漆涂料的质量难以保证,故不宜采用。此外,对檩条一类构件油漆维修极为困难,因此,按综合性价比宜尽量选用防腐性能好的热镀锌卷材(属于金属保护层防腐措施)来制作檩条。制作压型钢板的彩钢板属于复合保护防腐措施。

12.3.5 当构件厚度过薄时,采用喷砂除锈等机械方法除锈很容易损坏母材,造成构件严重变形,宜采用其他除锈方式。

因冷弯薄壁型钢构件采取喷砂抛丸极易产生严重变形,其次,喷砂抛丸造成的板件厚度减薄(约减薄 0.08mm),相对薄壁构件影响较大,用人工方法除锈则效果差,如使用的是无锈蚀的钢板,人工方法难以除去板材表面氧化皮,则油漆附着性难以保证。此时,宜采用化学除锈方法,再配以附着性能较好的树脂类油漆。

12.3.6 一般来说,手刷油漆难均匀,质量不易保证,机械喷涂油漆均匀,质量易保证,但环境污染较严重,油漆浪费较大,故需按照工程的具体情况综合考虑。

12.3.9 检查涂装的附着性能可采用划痕法或粘力计方法。

12.3.10 要求构件在表面处理后 4h 内及时涂刷防腐涂料,在室内或湿度较低的晴天不应超过 12h,是为了防止构件再度生锈。

12.3.12 防锈涂层一般由底漆、中间漆及面漆组成。对于薄浆型涂层,通常采用底漆、中间漆 2 遍~3 遍,面漆 2 遍~3 遍,每遍涂层厚度 $30\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ 为宜,并满足涂层总厚度要求。当涂层总厚度要求大于 $150\mu\text{m}$ 时,其中间漆或面漆可采用厚浆型涂料。

12.3.13 目前低层龙骨体系房屋结构,常被用于使用过程中难以检查维护的民用住宅等项目。设计时按国家现行标准进行大气腐蚀性分类调查评价,参照国际标准 ISO 12944 大气条件下环境侵蚀性分类进行构件厚度损失及重量损失的评估,适当增加构件截面厚度,如按 50 年评价时,构件的厚度损失为 $500\mu\text{m}$,当其设计计算截面为 1.5mm 时,实际配置截面应采用 2.0mm。同时,设计应采取避免墙体渗水、冷桥的措施,避免构件处于干湿交替环境,确保使用期内的结构安全。

12.3.15 理论上,对于冷弯薄壁型钢构件应定期进行检查与维护,但要考虑檩条一类构件油漆维修的可操作性问题。例如,与围护板接触的构件翼缘面无法再清理、涂漆,除非先拆除围护板,故设计时宜使冷弯薄壁型钢檩条抗腐蚀性能对应于围护板抗腐蚀性能。

本标准表 G.0.2 给出的表面处理方法中,喷砂(丸)除锈方法不适合用在壁厚 3.0mm 以下(含 3.0mm)的构件中,参见本标准第 12.3.4 条和第 12.3.5 条的条文说明。

12.4 防火涂装

12.4.2 一般情况下,采用金属围护板的钢结构建筑,其檩条和墙梁可以不涂防火涂料,本次修订将冷弯薄壁型钢构件的应用范围扩大到壁厚 6mm 以上,此类构件可能用于主要承重结构,故需考虑防火问题,本节的防火涂装规定主要按照现行国家标准《钢结构

工程施工质量验收规范》GB 50205 和《钢结构工程施工规范》GB 50755 的规定。

12.4.4 如果防火涂料与防腐涂料不相容,可能会出现返锈现象,其相容性可通过模拟工程施工试验样品确定。

12.4.11 对于热镀锌卷材做成的构件,不合适涂装防火涂料,可考虑采用防火板,防火板应是符合国家相关部门认证的产品,需按防火设计要求选用合适等级的防火板。

附录 C 构件承载力计算的直接强度法

C.4 弹性畸变屈曲临界应力计算

C.4.1 本条公式中的截面参数(图 C.4.1-1)应按截面中心线进行选取。图 C.4.1-1 为内向弯钩复杂卷边,对于内向弯折复杂卷边截面,应将 $a_2=0$ 代入相关公式中。

附录 D 截面特性

D.1 常用截面特性表

D.1.1~D.1.8 为方便工程应用,本节给出了常用冷弯薄壁型钢截面特性表,包括方钢管、等边角钢、槽钢、卷边槽钢、卷边 Z 形钢、斜卷边 Z 形钢、卷边等边角钢和焊接薄壁圆钢管。

D.2 截面特性的近似计算公式

D.2.1~D.2.12 为方便工程应用,本节给出了典型冷弯型钢截面特性的近似计算公式,包括半圆钢管、等边角钢、卷边等边角钢、槽钢、向外卷边槽钢、向内卷边槽钢、Z 形钢、卷边 Z 形钢、斜卷边 Z 形钢、圆钢管、复杂卷边槽钢和斜卷边槽钢。所有近似计算公式均按截面中心线进行计算, x 轴向右为正, y 轴向上为正。