

《不锈钢结构技术规范》

条文说明

（征求意见稿）

《不锈钢结构技术规范》编制组

2014年05月01号

目 录

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	材料	3
3.1	结构用不锈钢	3
3.3	设计指标	4
4	基本设计规定	6
4.3	构造的一般规定	6
5	构件的计算	7
5.1	轴心受拉构件	7
5.2	轴心受压构件	7
5.3	受弯构件	10
5.4	拉弯构件	11
5.5	压弯构件	11
5.6	构件中的受压板件	12
5.7	受弯构件的变形	13
6	连接的计算与构造	14
6.1	焊缝连接的计算	14
6.2	紧固件连接的计算	14
6.3	连接的构造	17
7	防腐、防火与维护	18
7.1	防腐	18
7.2	防火	18
8	制作与安装	19
8.1	加工	19
8.2	焊接与紧固连接	19
8.3	存储、运输与安装	19

1 总则

- 1.0.1 本条是不锈钢结构设计及施工应遵循的原则。
- 1.0.2 本条规定了本规范的适用范围，适用于工业与民用建筑中的普通不锈钢结构和冷弯薄壁不锈钢结构。
- 1.0.3 本规范的设计原则是根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 制定的。
- 1.0.4 本条提出不锈钢结构设计及施工应具体考虑的一些注意事项。
- 1.0.5 本条规定进行不锈钢结构设计及施工亦应参照相应的国家相关材料及施工标准。

2 术语和符号

本规范所用的术语和符号时参照我国现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GB J132 和《建筑结构设计术语和符号标准》GB/T 50083 的规定编写的，并根据需要增加了一些内容。

2.1 术语

本规范给出了 23 个有关不锈钢结构设计方面的专业术语，从不锈设计角度赋予其特定的涵义，但不一定是其严密的定义。所给出的译名是参考国外某些标准拟定的，亦不一定是国际上的标准术语。

2.2 符号

本规范给出了 111 个常用的符号并分别给出了定义，这些符号都是本规范各章节中所引用的。

3 材料

3.1 结构用不锈钢

3.1.1 不锈钢的品种很多，在五大类不锈钢（见表 3.1.1）中，马氏体不锈钢和沉淀硬化不锈钢因其焊接及冷加工性能差，在结构工程中无法应用。铁素体不锈钢在国外已有许多应用实例，但在国内使用经验和工程数据较少，本规范暂未列入。本规范中给出的适用于一般结构用途的不锈钢是奥氏体型不锈钢和双相型不锈钢。最常用的是 S30408, S31608, S30403 和 S31603。其中 S30403 和 S31603 是与 S30408 和 S31608 近似等同标准成分的低碳型钢种。国内外不锈钢牌号见表 3.1.2。S30408 是最常用的奥氏体型不锈钢，其塑性、韧性和冷加工性能良好，在氧化性酸和大气、水介质中耐蚀性好，材料价格经济，但敏态和焊接后有晶间腐蚀倾向。S30403 比 S30408 的碳含量更低，耐晶间腐蚀性能更优越，但固溶态的强度较低。S31608 与 S30408 比较，在海水和其它各种介质中的耐腐蚀性能更好，主要用在耐点蚀性能要求更高的情况。S31603 比 S31608 的碳含量更低，更适于需要焊接且耐晶间腐蚀性能要求高的情况。S22053 是常用的奥氏体-铁素体双相型不锈钢。对含碳化氢、二氧化碳、氯化物的环境具有阻抗性，与奥氏体型不锈钢比较，有更好的耐应力腐蚀性能和更高的强度。从经济方面比较，304 系列不锈钢单价最低，316 系列不锈钢单价较高，S2205 双相型不锈钢单价最高。本规范限于轧制的不锈钢，不适用于不锈钢铸件。对于不锈钢铸件，必须经过试验确定其强度和耐久特性，应用时可以参考欧洲关于不锈钢铸件在建筑上应用方面的指南。

表 3.1.1 各类不锈钢的性能特点汇总简表

特 性		不锈钢种类				
		马氏体型	铁素体型	奥氏体型	双相型	沉淀硬化型
耐蚀性	不锈性	良	优	优	优	优
	耐全面腐蚀性	良中	优中	优良	优	良中
	耐点蚀、缝隙腐蚀性	中差	优中	优良	优良	中差
	耐应力腐蚀性	中差	优	差良	优	中差
耐热性	高温强度	优	中	优	中	良优*
	抗氧化、抗硫化性	中	优中	良差	良	良中
	热疲劳性	良	良	良	良	良
焊接性和冷加工性	焊接性	中差	良中	优	优	中
	冷成型性（深冲）	中差	优	优	中	中差
	冷成型性（深拉）	中差	良	优	中	中差
	易切削性	良	良	中良	良	中
强度和塑、韧性	室温强度	优	良	良	优	优
	室温塑性、韧性	良差	良	优	优	良中
	低温塑性、韧性	良差	良差	优	良	中差良*
其他	磁性	有	有	无	有	有无*
	导热性	良	优	差	良	中差*
	线膨胀系数	小	小	大	中	中差*

注：1 凡是有两种不同评定时，则系随钢中化学成分的不同而有所不同；

2*—仅对奥氏体沉淀硬化型不锈钢。

表 3.1.2 国内外不锈钢牌号近似对照表

GB/T 20878 中序号	统一数字代号	牌号	旧牌号	美国 ASTM A240/A240M	日本 JIS G4304、JIS G4305 等	欧洲 EN 10088-2
17	S30408	06Cr19Ni10	0Cr18Ni9	S30400,304	SUS304	X5CrNi18-10,1.4301
18	S30403	022Cr19Ni10	00Cr19Ni10	S30403,304L	SUS304L	X2CrNi18-9,1.4307
38	S31608	06Cr17Ni12Mo2	0Cr17Ni12Mo2	S31600,316	SUS316	X5CrNiMo17-12-2,1.4401

39	S31603	022Cr17Ni12Mo2	00Cr17Ni14Mo2	S31603,316L	SUS316L	X2CrNiMo17-12-2,1.4404
71	S22053	022Cr23Ni5Mo3N	-	S32205,2205	-	-

3.1.2 与普通钢结构的选材比较，正确选择不锈钢牌号，除了根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态和钢材厚度外，还须考虑使用环境、制造方法、表面光洁度和结构的维修。

3.1.4 由于不锈钢材料国家标准《不锈钢热轧钢板和钢带》GB/T 4237 和《不锈钢冷轧钢板和钢带》GB/T 3280 中均规定“非比例延伸强度、硬度试验和弯曲试验仅在需方要求并在合同中注明时才进行检验”，“非比例延伸强度”即名义屈服强度 $f_{0.2}$ ，对于结构是至关重要的，因此本条特别强调其应有合格的保证。建筑结构中常用不锈钢材料的力学性能和化学成分分别见表 3.1.4-1 和表 3.1.4-2。

表 3.1.4-1 经固溶处理的不锈钢材料的力学性能

种类	统一数字代号	非比例延伸强度 $f_{0.2}$ (MPa)	抗拉强度 f_u (MPa)	断后延伸率 A(%)	硬度值 HBW
奥氏体型	S30408	205	515	40	201
	S30403	170	485		
	S31608	205	515	40	217
	S31603	170	485		
双相型	S22053	450	620	25	293

表 3.1.4-2 不锈钢材料的化学成分

种类	统一数字代号	化学成分（质量分数%）									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
奥氏体型	S30408	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	8.00~10.50	18.00~20.00	-	-	0.10
	S30403	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	8.00~10.50	18.00~20.00	-	-	0.10
	S31608	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	-	0.10
	S31603	0.030	0.75	2.00	0.045	0.030	10.00~14.00	16.00~18.00	2.00~3.00	-	0.10
双相型	S22053	0.030	1.00	2.00	0.030	0.020	4.50~6.50	22.00~23.00	3.00~3.50	-	0.14~0.20

注：表中所列成分除标明范围或最小值，其余均为最大值

3.3 设计指标

3.3.1 不锈钢材料的应变强化指数 n 值参照欧洲不锈钢结构设计规范（EN 1993-1-4:2006）。不锈钢材料的抗力分项系数暂取 1.165，设计指标的换算关系见下表。

表 3.3.1 强度设计值的换算关系

材料和连接种类	应力种类	《钢结构设计规范》GB 50017 换算关系	欧洲规范取值
钢材	抗拉、抗压和抗弯	$f = f_{0.2} / \gamma_{R} = f_{0.2} / 1.165$	$f = f_{0.2}$
	抗剪	$f_v = f / \sqrt{3}$	$f_v = f_y / \sqrt{3}$
	端面承压	$f_{ce} = f_u / 1.15$	

焊缝	对接焊缝	抗压		$f_c^w = f$	取等于较弱连接构件的设计强度
		抗拉	焊缝质量为一级、二级	$f_t^w = f$	
			焊缝质量为三级	$f_t^w = 0.85f$	
	抗剪		$f_v^w = f_v$		
角焊缝	抗拉、抗压和抗剪		$f_f^w = 0.38f_u^w$	$f_f^w = 0.46f_u^w \leq f_y$	
螺栓连接	普通螺栓	C级螺栓	抗拉	$f_t^b = 0.42f_u^b$	$f_t^b = 0.56f_u^b$
			抗剪	$f_v^b = 0.35f_u^b$	$f_v^b = 0.48f_u^b$
			承压	$f_c^b = 0.8f_u$	$f_c^b = 0.6f_u + 0.5f_y \leq f_u$
	锚栓		抗拉	$f_t^b = 0.38f_u^b$	

注： f_u 为不锈钢抗拉强度，为 f_u^b 螺栓抗拉强度。

3.3.3 不锈钢螺栓的螺栓标记由短线隔开的两部分组成。第一部分标记钢的组别，第二部分标记性能等级。钢的组别标记由字母和一个数字组成，字母表示钢的类别（例如 A-奥氏体型；F-铁素体型），数字表示该类钢的化学成分范围及耐腐蚀性能。性能等级标记由二位数字组成，表示紧固件抗拉强度的 1/10，例如 A2-70 表示奥氏体钢螺栓，最小抗拉强度为 700MPa。

A2 组钢的耐腐蚀性能与 304 系列不锈钢相当。A3 组钢是稳定化不锈钢（稳定化钢含有强稳定化元素如钛，它优先与碳反应从而防止碳化铬的形成），耐腐蚀性能与 316 系列不锈钢相当。A4 组钢含钼。A5 组钢是稳定化的含钼不锈钢，其性能与 A4 组基本相同。

奥氏体型紧固件分三个抗拉强度水平（称为性能等级），见表 3.3.3。性能等级 50 的紧固件采用的是软态合金，因而有最好的耐腐蚀性能。这个性能级别的紧固件一般是无磁性的。性能等级 70 和 80 的紧固件是冷作成型（拉拔）。在这种状态下，紧固件可能是有磁性的，耐腐蚀性能可能稍低于 50 级。带车制螺纹的 50 级紧固件可能更易于产生螺纹卡死现象。

3.3.4 本条参照《钢结构设计规范》GB 50017 中的规定。

3.3.5 不锈钢材料应变-应力关系具有明显的非线性。进行不锈钢结构设计时可近似采用线弹性模型，也可采用本条规定的本构模型进行精确的分析。本条中给出的材料本构模型来自于欧洲规范（EN1993-1-4：2006）。

4 基本设计规定

4.3 构造的一般规定

4.3.3 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中规定对于材质为 Q235 的受压非加劲板件的宽厚比限值为 45，对部分加劲板件的宽厚比限值为 60，对加劲板件的宽厚比限值为 250，对受压圆管的径厚比限值为 100。根据板的稳定理论，当板件为其他材质时，宽厚比限值的换算公式为式（1），径厚比限值的换算公式为式（2）。表 4.3.3 中的数据按照下式计算并取整。由于对径厚比大于 100 的圆管研究不充分，本条文限制圆管的径厚比不大于 100。

$$\frac{b}{t} = (45, 60, 250) \sqrt{\frac{235}{f_{0.2}} \frac{E_0}{206000}} \quad (1)$$

$$\frac{d}{t} = 100 \cdot \frac{235}{f_{0.2}} \frac{E_0}{206000} \quad (2)$$

4.3.4 本条中给出的板件宽厚比值是根据本规范 5.6 节计算得到的。计算时取板件有效宽度系数等于 1.0。本节将构件分为全截面有效构件和非全截面有效构件，目的为简化全截面有效构件的设计过程。当构件承受横向荷载，且荷载作用点偏离截面剪切中心时，横向荷载会对构件产生一定的扭转效应，进而在截面上形成双力矩。对于薄壁开口截面构件，构件截面翘曲刚度小，双力矩引起的截面正应力不可忽略；对于闭口截面及厚壁截面构件，截面的翘曲刚度大，双力矩引起的截面正应力可以忽略。

5 构件的计算

5.1 轴心受拉构件

5.1.1 本条采用《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102 中的相应规定。

5.1.2 目前的欧洲不锈钢结构设计规范(EN 1993-1-4:2006)和美国不锈钢设计规范(SEI/ASCE 8-02)中均不包含不锈钢构件的高强度螺栓连接的规定。考虑到不锈钢材料的蠕变性及摩擦面处理的难度,本规范不推荐采用高强度螺栓,故本条文没有包含相应于摩擦型高强螺栓考虑孔前传力的相关规定。

5.1.3 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

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 按照本规范 5.6 节中的规定计算;
2. 若孔洞或缺口位于截面的无效部位,则 $A_{en}=A_e$; 若孔洞位于截面的有效部位,则:
 $A_{en}=A_e-A$ (位于有效部位的孔洞或缺口面积)。
3. 开圆孔的均匀受压板件的有效宽度 b'_e , 可按下列公式计算:

当 $d_0/d \leq 0.1$ 时:

$$b'_e = b_e \quad (3)$$

当 $0.1 < d_0/d \leq 0.5$ 时:

$$b'_e = b_e - \frac{0.91d_0}{\lambda_c^2} \quad (4)$$

当 $0.5 < d_0/d \leq 0.7$ 时:

$$b'_e = b_e - \frac{1.11d_0}{\lambda_c^2} \quad (5)$$

$$\lambda_c = 0.53 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_{0.2}}{E_0}} \quad (6)$$

式中 d_0 ——孔径;

b_e ——相应未开孔均匀受压加劲板的有效宽度,按照本规范 5.6 节的规定计算;

b, t ——板件的实际宽度和厚度;

$f_{0.2}$ ——不锈钢材料的名义屈服强度标准值;

E_0 ——不锈钢材料的初始弹性模量;

若轴心受压构件截面没有削弱,则仅需按公式 5.2.2 计算其稳定性而毋须计算其强度。

5.2.2 本条为轴心受压构件的稳定性计算要求。

本条文基于不锈钢轴心受压构件试验数据和大量的有限元分析得出。

为验证《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 及《钢结构设计规范》GB 50017 中轴心受压

构件稳定系数的计算表对不锈钢轴心受压构件的适用性，东南大学进行了 7 根冷成型方管，13 根冷成型矩形管，11 根冷成型圆管，7 根焊接 H 形的轴心受压长柱试验，清华大学进行了 10 根焊接 H 形和 8 根焊接箱型截面，并对国内外的轴心受压长柱构件的试验数据进行了搜集和整理(截止到 2012 年)，其中以冷成型方管、矩形管、圆管、椭圆管、冷弯 C 型钢、焊接 H 型钢和焊接箱型截面构件弯曲失稳的数据为主。

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018，《钢结构设计规范》GB 50017 以及欧洲不锈钢结构设计规范 (EN 1993-1-4:2006) 均采用 Perry 公式作为轴心受压构件稳定系数的计算公式，不同点在于其中的计算参数取值。为和我国传统规范相一致，本条文也采用 Perry 公式的形式表达轴心受压构件的稳定系数。

根据构件的成型方式、截面形式和不锈钢力学性能对轴心受压构件稳定性能的影响，共给出 6 条柱子曲线。其中 2 条曲线针对冷成型构件，4 条曲线针对焊接成型截面。

冷成型过程对构件的材料强度和残余应力均有影响，由于目前不能准确计算其影响，所以采用试验数据回归得到柱子曲线。试验数据和柱子曲线对比见图 5.2.2-1 和 5.2.2-2。

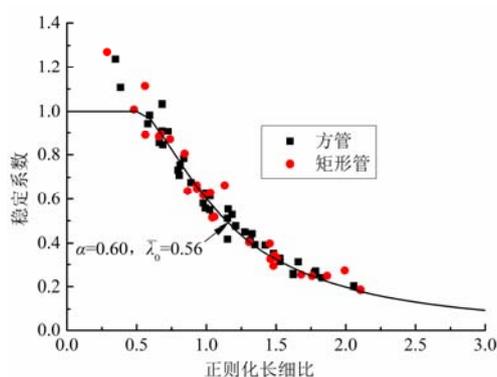


图 5.2.2-1 冷成型方矩管构件试验数据与柱子曲线对比

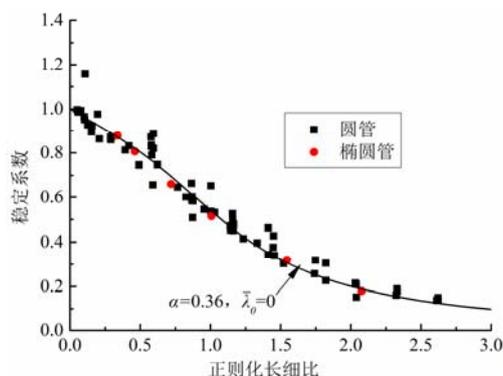
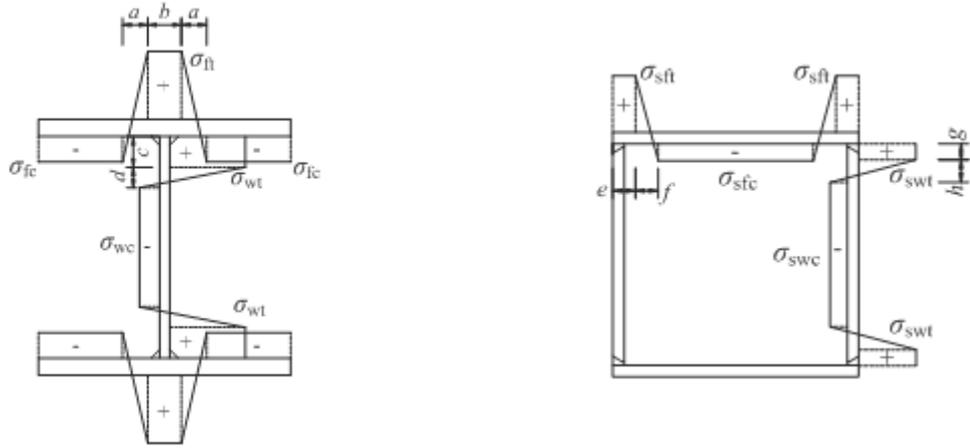


图 5.2.2-2 冷成型圆管构件试验数据与柱子曲线对比

针对焊接成型构件的 4 条柱子曲线，采用清华大学提出的残余应力分布模式(图 5.2.2-3, 表 5.2.2-1 和表 5.2.2-2)，进行了大量常用截面受压构件的数值分析，最后进行拟合得到的。奥氏体型焊接 H 型钢截面构件试验数据与柱子曲线的对比见图 5.2.2-4。



(a) 工字形截面

(b) 箱形截面（等边或不等边）

图 5.2.2-3 焊接构件的残余应力分布模式（清华大学）

表 5.2.2-1 工字形截面构件残余应力分布模型参数

不锈钢	$\sigma_{fl}=\sigma_{wt}$	a	B	c	d
奥氏体型	$0.8\sigma_{0.2}$	$0.225b_f$	$0.05b_f$	$0.025h_w$	$0.225h_w$
双相型，铁素体型	$0.6\sigma_{0.2}$				

表 5.2.2-2 箱形截面构件残余应力分布模型参数

不锈钢	宽厚比	$\sigma_{sfl}=\sigma_{swt}$	e	f	g	h
奥氏体型	$h/t(b_f/t) < 20$	$0.8\sigma_{0.2}$	0	$5t_f$	0	$5t_w$
	$h/t(b_f/t) \geq 20$	$0.8\sigma_{0.2}$	$t_w+0.025c_f$	$5t_f$	$0.025h_w$	$5t_w$
双相型，铁素体型	$h/t(b_f/t) < 20$	$0.6\sigma_{0.2}$	0	$5t_f$	0	$5t_w$
	$h/t(b_f/t) \geq 20$	$0.6\sigma_{0.2}$	$t_w+0.025c_f$	$5t_f$	$0.025h_w$	$5t_w$

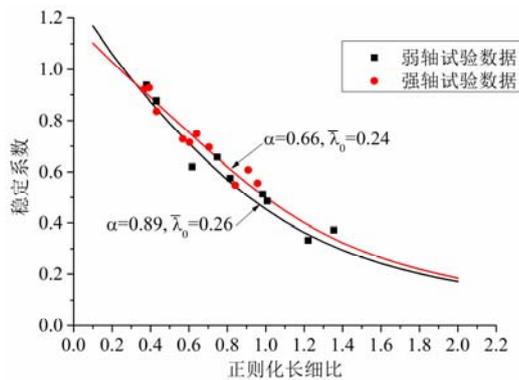


图 5.2.2-4 奥氏体型焊接 H 形截面柱子曲线和试验数据对比

当计算其他焊接截面形式、格构式截面构件和可能发生弯扭屈曲和扭转屈曲破坏的构件时，由于缺乏相关研究成果，故采用本规范中承载力最低的柱子曲线。

5.2.3 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.2.4 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.2.5 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.2.6 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.2.7 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.3 受弯构件

5.3.1 本条为受弯构件的抗弯强度计算要求。

在计算不锈钢梁的抗弯强度时，不宜考虑构件截面的部分发展塑性变形，故不再引入截面部分塑性发展系数。主要原因有两个：（1）对于冷弯薄壁不锈钢受弯构件，构件的边缘屈服弯矩与全截面塑性弯矩比较接近，塑性发展潜力不大；（2）对于焊接不锈钢构件，由于不锈钢材料是典型的非线性材料，根据其应力-应变关系，应力区间 $f_p < f < f_{0.2}$ 位于非弹性范围内，当截面边缘应力 $f_{0.2}$ 达到再卸载时，构件往往已经产生残余变形。建筑结构中常用不锈钢材料材料系数 n （应变硬化系数）取值一般介于 5~16 之间，属于强应变硬化材料，其比例极限 f_p 较低，残余变形问题更为显著。根据清华大学的研究，对于不锈钢构件按照残余变形理论确定的塑性发展系数接近甚至小于 1.0，但考虑到材料的强度取用设计值 $f = f_{0.2}/\gamma_R$ ，而且在正常使用极限状态下验算变形时，通常采用荷载效应的标准组合，因此截面的塑性发展系数可以适当放宽，本条文统取塑性发展系数为 1.0。

5.3.2 集中荷载在腹板计算高度上的边缘的假定分布长度 l_z 的取值可以参考《钢结构设计规范》GB 50017 取值。

5.3.3 对 H 型钢梁或等截面工字形简支梁不需要验算整体稳定时的最大 l_1/b_1 值，影响因素很多，例如荷载类型及其在截面上的作用点高度、截面各部分的尺寸比例等都将对 l_1/b_1 值有影响。为了便于应用，并力求简单，表 5.3.3 中所列的数值带有一定的近似性。该表中的数据是根据双轴对称等截面工字形梁的整体稳定系数 φ_b 大于 0.95 导出，认为此时梁的截面将由强度条件控制而不是由整体稳定条件控制。根据工程实际中可能遇到的截面各部分的比例关系，较保守的采用高宽比为 3 的焊接工字形简支梁作为计算对象，按照 5.3.4 条导出其最大 l_1/b_1 值。对于跨中无侧向支承点的梁，取满跨均布荷载计算；对于跨中有侧向支承点的梁，取纯弯曲计算。

5.3.4 本条文参考了欧洲不锈钢设计规范（EN 1993-1-4:2006）和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中关于梁整体稳定的计算规定。

1. 梁弯扭屈曲的弹性临界弯矩

本条采用的梁弯扭屈曲的临界弯矩理论解，考虑到本规范的应用范围包括了焊接成型截面和冷成型薄壁截面，采用《钢结构设计规范》GB 50017 中方法对理论解进行简化处理会对薄壁截面产生误差，故此处没有进行简化。本条通过给出典型截面的几个复杂几何参数（ I_ω ， U_x ）的计算表，来简化计算。表 A.1.1 中的计算参数取值参考了《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中相应的钢梁稳定计算参数取值。

2. 梁弯扭屈曲的弹塑性解

当梁处在非弹性阶段工作时，需要对梁的弹性整体稳定临界弯矩进行折减。《钢结构设计规范》GB 50017 规定当梁的弹性稳定系数大于 0.6 时，应采用相应的弹塑性稳定系数公式进行折减。考虑到不锈钢材料切线弹性模量随着应力增加不断下降的特点，本条文借鉴欧洲不锈钢结构设计规范（EN 1993-1-4:2006）中梁整体稳定系数弹塑性折减的计算表达式，即 Perry 公式的形式，对梁的整体稳定进行弹塑性折减。

本条文 Perry 公式中缺陷系数的取值（ $\alpha=0.65$ ， $\bar{\lambda}_b=0.41$ ），是根据对不锈钢简支梁在纯弯荷载作用下的有限元分析得到的。有限元分析中考虑了不锈钢材料的名义屈服强度变化、截面高宽比变化、残余应力的影响。采用本条文公式计算的梁整体稳定系数与有限元分析结果对比见图 5.3.4。由图 5.3.4 可以看出，按照本条文的计算结果与欧洲不锈钢结构设计规范（EN 1993-1-4:2006）接近，总体上位于计算数据的下限。

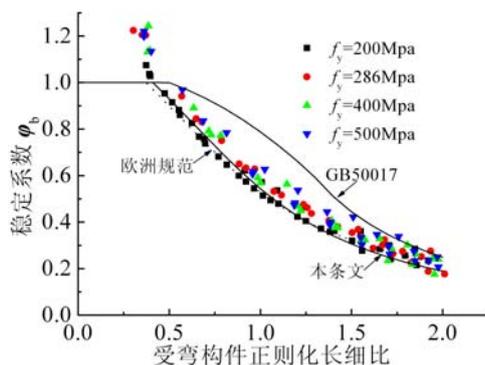


图 5.3.4. 有限元分析数据和本条文计算值对比

5.3.5 本条采用《钢结构设计规范》GB 50017 中的相应规定。

5.3.6 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.3.7 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.3.8 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.3.9 不锈钢材料具有明显的应变硬化特性，考虑不锈钢梁腹板的屈曲后强度可以显著提高构件的承载力，得到更为经济合理的截面设计。但在某些特定情况下，如直接承受动力荷载等情况下，则需要按照规定配置加劲肋防止腹板发生局部屈曲，并计算腹板区格的局部稳定性。

5.3.10 参考欧洲不锈钢结构设计规范（EN 1993-1-4:2006）中的条文规定，将该高厚比限值从普通钢梁的 $72\varepsilon/\eta$ 降低为 $52\varepsilon/\eta$ ，其中参数 η 取值 1.2。

5.3.11 参考《钢结构设计规范》GB 50017 的 4.3.3 条文，对腹板区格的应力组合应力条件进行验算。

5.3.12 不锈钢构件，特别是不锈钢冷成型构件，若集中力作用处未采取构造措施时，腹板可能向侧面鼓屈形成腹板压屈破坏。美国不锈钢结构设计规范（SEI/ASCE 8-02）和欧洲不锈钢结构设计规范（EN 1993-1-4:2006）对腹板压屈破坏均有相应的条文计算其承载力，但计算非常复杂。考虑结构的安全并简化设计，此条要求在支座处及集中荷载作用点采用构造措施保证剪力传递。

5.3.13 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.4 拉弯构件

5.4.1 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.5 压弯构件

本节条文采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。为验证本条文计算表达式的合理性，东南大学进行了 S30408 材质的 5 根冷成型方管偏心受压构件、5 根焊接 H 型钢偏心受压构件平面内稳定和 5 根焊接 H 型钢偏心受压构件平面外稳定试验研究，并对国外学者进行的压弯构件试验进行了搜集和整理。其中具有代表性的试验为：1995 年，国外学者 Talja 进行了方矩管截面的不锈钢压弯构件平面内稳定试验研究；1999 年，国外学者 Stangenberg 进行了焊接 H 型钢压弯构件的平面内稳定试验研究。采用本条文及本规范中 5.2，5.3 和 5.6 节相应条文对上述构件稳定性进行了计算，计算结果见图 5.5。图中可以看出，按本条文公式可以给出合理的计算结果。

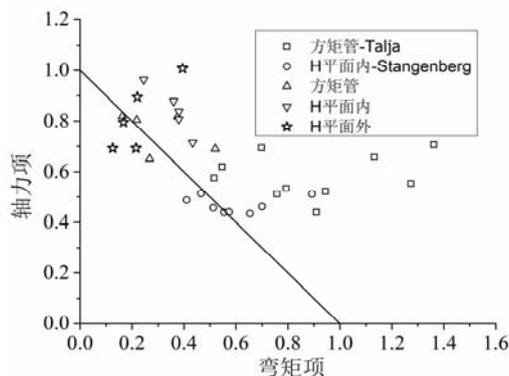


图 5.5. 压弯构件试验数据与按本规范计算结果对比

5.6 构件中的受压板件

5.6.1 本条为受压板件有效宽度计算的基本公式。

为验证《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 对不锈钢构件的适用性，东南大学进行了 19 根奥氏体型不锈钢方矩管短柱和 38 根卷边 C 形短柱构件轴心受压和偏心受压试验、清华大学进行了 13 根焊接箱型截面短柱和 15 根焊接 H 形截面短柱试验研究。以试验数据为基础，规范编制组对四边简支受压板件还进行了大量的数值计算。

数值分析结果表明，不同牌号的不锈钢板有效宽度系数有所不同，随着材料名义屈服强度的提高，板的有效宽度系数增加，但是并不十分明显。与冷成型构件中的板件相比，由于焊接造成的构件的局部缺陷值和焊接残余应力使得焊接构件中板件的有效宽度系数有明显下降。所以本规范将构件按照成型方式分为 2 类：冷成型和焊接，对每类构件中的板件提出相应的板件有效宽度系数曲线。

本规范中拟采用的 2 条曲线和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的有效宽度系数计算曲线对比见图 5.6.1。

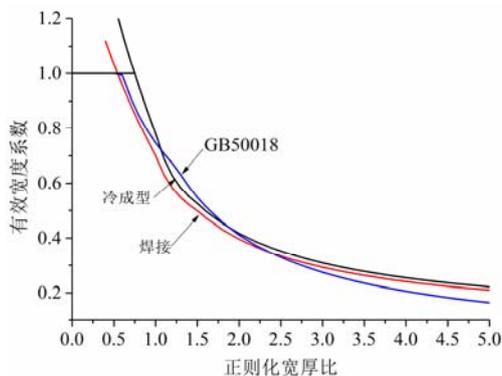


图 5.6.1 本规范中有效宽度系数曲线与 GB 50018 中曲线对比

分别采用本规范、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 和欧洲不锈钢设计规范（EN 1993-1-4:2006）对搜集到得试验数据进行对比，对比结果见表 5.6.1。

表 5.6.1 试验数据与规范计算结果对比（仅包含薄壁构件部分）

规范	冷成型截面				焊接截面			
	方矩管（42~59 根）		卷边 C（19 根）		箱型（9~12 根）		H 型（12~13 根）	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
本规范	0.97	0.06	0.91	0.08	1.02	0.05	0.88	0.06
GB 50018	0.98	0.10	0.92	0.07	1.24	0.09	1.03	0.10

欧洲规范	0.81	0.06	0.84	0.08	0.96	0.05	0.90	0.06
------	------	------	------	------	------	------	------	------

从总体上看,《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中给出的板稳定曲线偏高,且具有较大的离散性。欧洲不锈钢设计规范(EN 1993-1-4:2006)给出的板稳定曲线偏低,但是离散性也小。本规范拟推荐的曲线优于欧洲不锈钢设计规范(EN 1993-1-4:2006)和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018。

5.6.2 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.6.3 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.6.4 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.6.5 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.6.6 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.6.7 本条采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 中的相应规定。

5.7 受弯构件的变形

5.7.1 本条用于受弯构件的变形计算。

该条主要参考欧洲不锈钢结构设计规范(EN 1993-1-4:2006)中受弯构件挠度计算的简化计算方法,即假定沿梁的长度方向平均割线弹性模量 E_s 不发生变化。

欧洲规范割线弹性模量 E_s 是根据构件中的最大弯矩值计算得到的。清华大学对 4 根两端简支工字型截面不锈钢梁进行了试验,并进行了大量的有限元分析。试验分析表明按照欧洲规范中的简化方法计算出的挠度值大于试验值。本条文引入等效弯矩值的概念,构件中的割线弹性模量按照等效弯矩值计算,使得计算值和试验值更加接近。

6 连接的计算与构造

6.1 焊缝连接的计算

6.1.2 根据南京工业大学试验研究，不锈钢角焊缝连接破坏发生在接近 45° 有效截面处，与钢结构角焊缝破坏特征相似，可参考《钢结构设计规范》GB 50017 中的强度计算公式。试验中得到的正面角焊缝与侧面角焊缝强度接近，考虑到不锈钢焊缝较小，受复杂应力的影响较大，不考虑利用正面角焊缝的强度提高。角焊缝焊接工艺宜优先选用氩弧焊。

6.1.3 本条参考美国冷成型不锈钢结构设计规范（SEI/ASCE 8-02）电阻点焊部分制订。美国规范抗力分项系数取 1.67，永久荷载分项系数为 1.2，可变荷载分项系数为 1.6，平均荷载分项系数 1.4，我国平均荷载分项系数为 1.3，考虑总体上安全系数与美国规范相当，得到表 6.1.3 中抗剪承载力设计值为 $N_v^d = 1.3V / 1.4 = 0.928V$ ， V 为美国规范规定的电阻点焊承载力设计值。

6.2 紧固件连接的计算

6.2.2 本条规定了普通螺栓连接的强度计算方法。

1 本条要求采用加劲肋等构造措施有效保证连接刚度以消除撬力影响。对需要计算撬力的情况，参照欧洲规范（EN 1993-1-8:2005）和南京工业大学试验研究结果，建议如下强度计算方法：

图 6.2.1-1 中双 T 形受拉螺栓连接在轴心拉力的作用下，随着翼缘抗弯刚度和螺栓的抗拉刚度比的不同，可能会发生如图 6.2.2-2 的 3 种破坏模式。

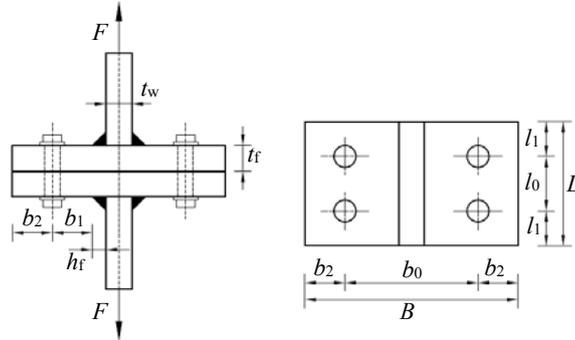


图 6.2.2-1 T 形构件受拉螺栓连接

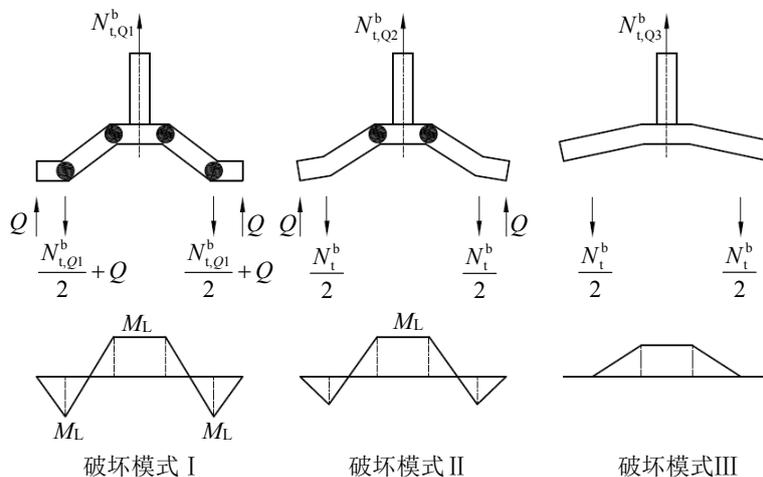


图 6.2.2-2 T 形连接的破坏模型

破坏模式 I：T 形构件的塑性铰形成在腹板和翼缘连接处和螺栓排附近，使翼缘完全屈服，此时螺栓未达到极限抗拉承载力。该模式下的极限承载力为：

$$N_{t,Q1}^b = \frac{4M_L}{b_1}$$

破坏模式 II：T 形构件的塑性铰形成在翼缘和腹板的连接处，螺栓达到极限抗拉承载力。该模式下的极限承载力为：

$$N_{t,Q2}^b = \frac{2M_L + b_2 \sum N_t^b}{b_1 + b_2}$$

破坏模式 III：螺栓受拉破坏。该模式下的极限承载力为：

$$N_{t,Q3}^b = \sum N_t^b$$

式中 M_L —— $M_L = \frac{L t_f^2 f_y}{4.4}$ ，且 $b_2 \leq 1.25b_1$ ；

f_y ——不锈钢板的屈服强度；

t_f ——连接翼缘的较薄厚度；

B 、 b_0 、 b_1 、 b_2 、 L 、 l_0 、 l_1 、 t_f 详见图 6.2.2-1。

T 形连接的极限承载力应取三个公式计算所得最小值。当翼缘板较薄而螺栓直径较大时，出现破坏模式 I 的可能性较大，此时撬力也较大；当翼缘板较厚而螺栓直径较小时，出现破坏模式 III 的可能性较大，此时撬力为零；更加普遍的情况是破坏模式 II，此时撬力的影响介于上两种情况之间。其中破坏模式 I 在弯矩作用下翼缘可出现很大的塑性变形，具有较高的延性。

2 本条要求普通螺栓受剪连接应分别计算螺栓受剪承载力和承压承载力，并取较小值作为受剪连接的承载力设计值。

(1) 试验结果表明按欧洲规范计算的螺栓抗剪承载力与试验结果吻合较好，因此本规范主要参考欧洲规范的计算公式，螺栓直径小于等于 12 mm 时抗剪强度应乘以折减系数 0.9。

(2) 试验结果表明欧洲规范承压承载力计算公式与试验结果吻合较好，且预测的破坏模式准确，试验中端距大于 $1.5d_0$ 的试件，按照欧洲规范计算的承压荷载均是偏于安全的，因此参考欧洲规范的计算公式给出承压承载力计算公式。

螺栓长连接试验结果表明接头长度在 $15d_0 \sim 30d_0$ 时，承载力折减系数与按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 计算的折减系数接近，当接头长度大于 $30d_0$ 时，不锈钢连接的折减系数下降速率较大，兼顾安全性和经济性，应尽可能采用较紧凑的螺栓布置形式以减小连接长度。

3 经过试验验证采用《钢结构设计规范》GB 50017、欧洲规范或者澳洲规范的公式计算受拉剪联合作用的不锈钢螺栓均是安全的，考虑工程界对《钢结构设计规范》GB 50017 公式形式更为熟悉，采用与《钢结构设计规范》GB 50017 形式一致的相关公式。

6.2.3 清华大学对不锈钢构件摩擦型螺栓连接进行了抗滑移系数试验。试验中采用了《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 抗滑移系数试验中双栓连接，抗滑移系数试验结果如下表所示：

表 6.2.3-1 高强度螺栓摩擦型连接界面抗滑移系数试验

编号	螺栓	摩擦面处理	#1 螺栓预拉力 P_1 /kN	#2 螺栓预拉力 P_2 /kN	(P_1+P_2) /kN	滑移荷载 F_s /kN	抗滑移系数 μ
SF1	10.9s 镀锌	拉丝	206.74	174.03	380.77	165.51	0.22
SF2	10.9s 镀锌	喷砂	182.87	166.26	349.14	116.80	0.17
SF3	10.9s 镀锌	割痕	133.37	208.13	341.49	122.50	0.18
SF4	10.9s 镀锌	无	135.32	160.08	295.40	115.12	0.20

SF5	A4-70	拉丝	106.50	100.22	206.72	55.71	0.14
SF6	A4-70	喷砂	77.28	87.02	164.31	25.19	0.08
SF7	A4-70	割痕	115.93	103.99	219.91	37.28	0.09
SF8	A4-70	无	103.36	110.27	213.63	32.06	0.08
SF9	A4-80	拉丝	74.77	118.12	192.89	85.34	0.22
SF10	A4-80	喷砂	135.72	140.43	276.15	69.58	0.13
SF11	A4-80	割痕	155.20	147.03	302.22	78.70	0.13
SF12	A4-80	无	133.20	143.89	277.09	74.55	0.14

从摩擦面的处理方式来看，拉丝处理的摩擦面的试件抗滑移效果最好，其次是割痕处理，喷砂处理的抗滑移效果最差，甚至抗滑移效果比没有经过处理的亚光表面的效果更差。从螺栓种类来看，抗滑移性能优劣为 10.9 级>A4-80>A4-70，这主要是因为螺栓的强度等级的不同直接决定了设计预拉力值的不同，因此施加的扭矩也不同，三种螺栓的强度 10.9>A4-80>A4-70，因此抗滑移性能有所差异。试验测得的抗滑移系数大部分低于 0.2，总体抗滑移效果较差。

试验研究表明，带有弹簧垫片的不锈钢螺栓在施加预紧力后无明显预拉应变松弛，然而测得的整体抗滑移水平较低。

在日本的不锈钢建筑结构设计标准中，在不锈钢的摩擦型连接设计中为了保证摩擦面的抗滑移系数在 0.45，其进行了特殊的加工处理，即按照《不锈钢高强螺栓连接施工标准管理纲要》喷镀不锈钢粉末，而这种处理方式在我国并不常见。因此在不锈钢构件螺栓连接中，不建议采用摩擦型螺栓连接，如在特殊情况下需要使用摩擦型螺栓，应对其进行抗滑移试验。

6.2.4 高强度螺栓承压型连接可以采用进行耐腐蚀处理的高强度螺栓。进行高强度螺栓承压型连接设计时，保守认为螺栓承压承载力计算与普通螺栓相同，不考虑由于螺栓预拉力引起的连接板承压承载力的提高。

6.2.5 除欧洲规范有对不锈钢自攻螺钉的相关规定外，美国、英国、澳大利亚、日本等国家的不锈钢规范均未涉及该部分内容，南京工业大学完成的不锈钢相关试验结果与欧洲规范的计算公式吻合较好，因此本条主要参考欧洲规范的相关内容制订。

本条规定了螺钉连接的强度计算方法。

1 本条要求螺钉受拉连接应分别计算螺钉的截面抗拉承载力、连接板抗撕裂破坏承载力以及螺钉抗拔承载力，并取较小值作为受剪连接的承载力设计值。

(1) 试验结果表明按欧洲规范普通全螺纹螺栓抗拉承载力公式计算的螺钉抗拉承载力与试验结果吻合较好，因此本规范主要参考欧洲规范的计算公式。

(2) 试验结果表明按欧洲规范不锈钢自攻螺钉连接抗撕裂承载力公式计算的不锈钢螺钉抗拉承载力与试验结果吻合较好，且预测的破坏模式准确，因此参考欧洲规范不锈钢自攻螺钉连接抗撕裂承载力计算公式给出不锈钢螺钉连接抗撕裂承载力计算公式。

(3) 试验结果表明按欧洲规范普通碳素钢自攻螺钉抗拔承载力公式计算的不锈钢螺钉抗拔承载力与试验结果吻合较好，因此参考欧洲规范普通碳素钢自攻螺钉抗拔承载力计算公式给出不锈钢螺钉抗拔承载力计算公式。

2 本条要求普通螺钉受剪连接应分别计算螺钉受剪承载力和承压承载力，并取较小值作为受剪连接的承载力设计值。

(1) 试验结果表明按欧洲规范普通全螺纹螺栓抗剪承载力公式计算的螺钉抗拉承载力与试验结果吻合较好，限于螺钉直径试验范围有限，参考欧洲规范全螺纹螺栓抗剪承载力的计算方法，保守地对螺钉直径小于等于 12 mm 时的抗剪强度应乘以折减系数 0.9。

y2) 试验结果表明按欧洲规范不锈钢自攻螺钉连接的承压承载力公式计算的螺钉连接承压承载力与试验结果吻合较好，且预测的破坏模式准确，试验中端距大于 $3.0d_0$ 的试件，按照欧洲规范不锈钢自攻螺钉连接的承压承载力公式计算的承压荷载均是偏于安全的，因此参考欧洲规范的计算公式

给出承压承载力计算公式。

螺钉群连接试验结果表明超过一定数值（此处具体数值与连接板的截面面积有关）时，不锈钢螺钉连接的折减系数下降速率较大，兼顾安全性和经济性，应尽可能采用较紧凑的螺钉布置形式以减小连接长度。

3 经过试验验证采用《钢结构设计规范》GB 50017、欧洲规范以及椭圆公式计算的受拉剪联合作用的不锈钢螺钉均是安全的，经比较试验结果与《钢结构设计规范》GB 50017 公式吻合较好，考虑工程界对《钢结构设计规范》GB 50017 公式形式更为熟悉，采用与《钢结构设计规范》GB 50017 形式一致的相关公式。

6.2.6 美国、英国、澳大利亚、日本不锈钢规范中没有不锈钢抽芯铆钉的计算公式，南京工业大学已完成的不锈钢螺栓连接试验结果与欧洲规范的计算公式吻合较好，本条主要参考欧洲规范和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 制订，其中抽芯铆钉的最小抗剪承载力[V]取自《封闭型平圆头抽芯铆钉 51 级》GB/T 12615.4、《开口型沉头抽芯铆钉 51 级》GB/T 12617.4 和《开口型平圆头抽芯铆钉 51 级》GB/T 12618.4。

6.3 连接的构造

6.3.3 参考《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018，经试验验证，螺栓的中距不小于 $3d_0$ ，端距不小于 $2d_0$ ，边距不小于 $1.5d_0$ 的连接是安全的， d_0 为螺栓孔径。

6.3.5 参考《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018，并与欧洲规范比较验证，制订抽芯铆钉、自攻螺钉及射钉的各项构造要求。

7 防腐、防火与维护

7.1 防腐

7.1.1 合适的表面处理方式（如精光、镀钛）是提高不锈钢防腐能力的一种有效措施。

7.2 防火

7.2.3 根据东南大学进行的不锈钢材料高温下的性能试验结果和欧洲规范中的规定，当环境温度为 100℃时，不锈钢材料的初始弹性模量降低到常温下材料的 0.97 倍左右，材料名义屈服强度降低到常温下材料的 0.80 倍左右。考虑到不锈钢材料有较高的应变强化性能（材料的强度储备较高），故本规范规定，当构件处于环境温度 100℃以下时可不进行防护。当环境温度高于 100℃时，根据构件的使用功能，应采用悬吊金属板或砖砌隔热层等有效防护措施。

8 制作与安装

8.1 加工

8.1.2 在加工制作、处理、储藏、运输和安装的所有阶段，避免不锈钢构件表面受到碳钢和铁的污染是很重要的。这就是要防止碳钢的吸附，它会引起表面锈蚀和染色。应采取措施防止这种污染。这些措施包括使用有保证的加工场地，使用不锈钢专用工具，使用不锈钢钢丝刷或毛刷。应避免使用碳钢起重滑车，例如，链条、钩子和条板。使用隔离材料或使用虹吸碗可防止铁的吸附。起重叉车的叉子也应同样地进行保护。

与碳钢结构比较，要达到标准规定的不锈钢结构的尺寸是比较困难的，因为不锈钢弯曲后的回弹倾向大，而且它的热膨胀系数较高、导热率较低，因此，其允许公差一般比碳钢大。在做连接详细设计时，要考虑这些比较大的允许公差和拐角附近螺栓的间隙量。但在目前没有国家规范的情况下，不锈钢结构件的制造和安装应执行《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205。

8.1.3 不锈钢可以进行切断、成型和焊接。很多加工和连接工艺与碳钢的工艺相类似，但是不锈钢的不同特性需要特别注意。一个最主要的目的是保持钢的耐腐蚀性能，要在所有阶段包括储藏、处理、成型和焊接，要保证对表面（即氧化膜）的机械损伤和其他的损伤降至最小，保持良好的表面外观。

不锈钢可用标准的机械切割方法进行切割，包括剪切和锯切。由于不锈钢加工硬化的缘故，切割机的动力要求要比切割同样厚度碳钢的大。热切割机（如等离子电弧）也可使用，特别是切割厚板和型材，以及切边需要机械加工的地方。在材料厚度允许的地方，激光切割是一种很有用的技术。专业的水喷射切割也可用于不锈钢。这些低热量输入或零热量输入切割方法，在降低或消除切割复杂形状过程中产生弯曲危险方面是很有益的。不应使用火焰切割法切割不锈钢。

8.1.5 钻孔时，必须保持强力切削，以避免加工硬化，这要求锋利的钻头和正确的倾角和正确的切削速度。不应使用圆头冲床，因为这种作业会使表面硬化。奥氏体型不锈钢的冲孔厚度可达到 20mm。冲孔的最小直径要比板厚大 2mm。在腐蚀环境中要避免冲孔，因为存在的缝隙可能会导致局部腐蚀。

8.2 焊接与紧固连接

8.2.4 不锈钢具有较高的热膨胀系数和较低的导热系数，所以焊接变形控制比较困难，特别是奥氏体型不锈钢。下列措施有助于控制焊接变形：尽量降低焊接范围；尽量减少焊缝的溶敷金属量（例如，开双 V 字形坡口优于单 V 字形坡口）；采用对称连接；设计调节尺寸公差；使用有效率的紧固夹具；采用均匀排列的密集定位焊接；焊前要确保有良好的设备和校准；采用最低的热量输入与所选择的焊接工艺相匹配；使用匀称的焊接方法和适当的焊接顺序。

8.3 存储、运输与安装

8.3.1 该条是为了避免与碳钢接触的污染。不锈钢板材宜竖立叠放，水平叠放时易被踩踏，也会有铁污染和表面划伤的危险。

