

钢结构工程用钢材、连接件讲义 2019

第一部分 钢结构工程用钢材检测

一、检测依据

- 《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975-2018
- 《金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法》GB/T 228.1-2010
- 《数值修约规则》GB/T 8170 - 2008
- 《静力单轴试验机的检验第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准》GB/T 16825.1 - 2008
- 《单轴试验用引伸计的标定》GB/T 12160 - 2002
- 《钢的伸长率换算第1部分：碳素钢和低合金钢》GB/T 17600.1 - 1998
- 《钢的伸长率换算第2部分：奥氏体钢》GB/T 17600.2 - 1998

二、使用设备、校验方法

试验机应符合GB/T 16825.1 - 2008 规定的准确度级，并按照该标准要求检验。测定各强度性能均应采用1 级或优于1 级准确度的试验机。试验机的每一准确度级都包含5 项内容，应按照GB/T 16825.1 - 2008 的要求进行检验。其中示值进回程相对误差在有要求时才进行检验，其他4 项应进行定期检验，经检验合格的试验机方可使用。应以拉力方式检验，对于大吨位试验机，若采用压力方式检验，应在检验报告中注明。

引伸计是测延伸用的仪器。应把引伸计看成是一个测量系统(包括位移传感器、记录器和显示器)。引伸计的准确度级别应符合GB/T 12160 - 2002 规定，并按照该标准要求定期进行检验。测定上屈服强度、下屈服强度、屈服点延伸率、规定非比例延伸强度、规定总延伸强度、规定残余应变强度，以及规定残余应变强度的验证试验，应使用不劣于1级准确度的引伸计；测定其他具有较大延伸率的性能，如抗拉强度、最大力总延伸率和最大力非比例延伸率、断裂总伸长率，以及断后伸长率，应使用不劣于2 级准确度的引伸计。每一引伸计级别包含3 项内容，即：标距误差、系统误差和分辨力。

三、试样

1 与取样有关的术语和定义

试验单元：根据产品标准或合同要求，基于产品抽样试验的结果，全部接受或拒收产品的件数或吨数。

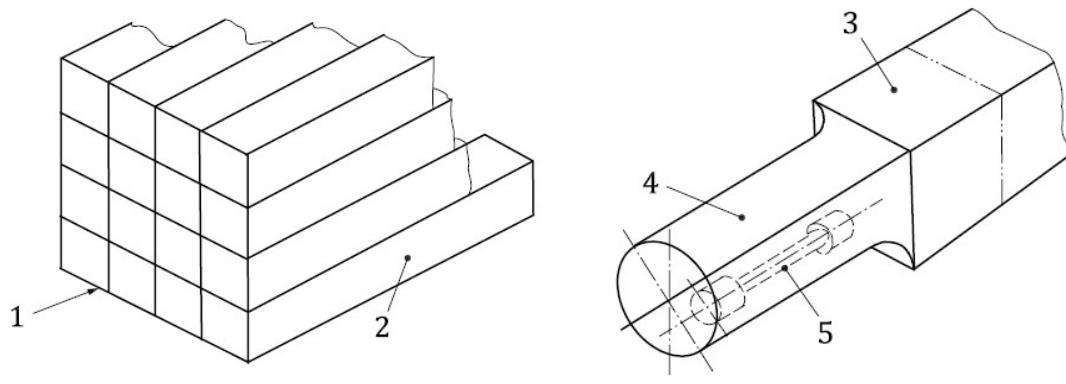
抽样产品：检验、试验时，在试验单元中抽取的部分产品（如棒、板、盘条等）。

试料：为了制备一个或多个试样，从抽样产品中切取足够数量的材料。（在某种情况下，试料可以是抽样产品）

样坯：为了制备试样，经过机械加工处理和其后在适当情况下热处理后的试料。

试样：经机加工或未经机加工后，具有合格尺寸且满足试验要求状态的样坯。

标准状态：试料、样坯或试样经热处理后的状态，代表产品预期的最终状态。



1—试验单元 2—抽样产品 3—试料 4—样坯 5—试样

取样一般规定

按照附录A选取的试料、样坯和试样应认为具有产品代表性。

抽样产品、试料、样坯和试样应做标记以确保可追溯至原产品以及它们在原产品中的位置和方向。为此,如果在抽样过程中无法避免要将抽样产品、试料、样坯和试样(一个或多个)的标记去除,应在这些标记去除前或在试样从自动制样设备中取出前做好标记转移。在规定检验和需方要求的情况下,标记转移须在需方代表在场的情况下进行。

对于全自动的在线制样和测试系统,若配置了完备的控制系统,在系统故障发生时能按设定程序响应,则无需对抽样试料、样坯和试样进行标记。

试料的准备和试样选择

1) 试料的选择和尺寸

试料的选择应按附录A中所示位置进行。试料应具有足够的尺寸,以保证机加工出足够的试样进行规定的试验及必要的复验。

2) 试样的轴线方向

试样的轴线方向与产品主方向的关系应在相应的产品标准或合同中规定。试样轴线的确定应符合GB/T 20832 的要求。(GB/T 20832-2007 金属材料 试样轴线相对于产品组织的标识)

3) 试料的状态和制备

根据产品标准或合同规定,试料状态分为:交货状态试验和标准状态试验。

交货状态试验

用于交货状态试验的试料应从下列两种状态中任选一种:

1) 成型或热处理完成以后的产品

2) 如在热处理之前取样,切割的试料应与交货产品相同的条件下进行热处理。

所采用的试料切割方式应不能改变用于制作试样的那部分试料的特性。当试料需要压平或矫直时,除非产品标准另有规定,压平或矫直试料应在冷状态下进行。

标准状态试验

用于标准状态试验的试料,应按产品标准或合同规定的生产阶段取样。

所采用的试料切割方式应不改变用于提供后续热处理那部分试料的特性。如果试料应压平或矫直

时，可在热处理前进行热加工或冷加工，采用热加工时，加温温度应低于最终热处理温度。

样坯

用于标准状态试验的样坯应按如下方法制备

- 1) 热处理前的机加工：当热处理要求试料尺寸较小时，产品标准应规定需减小的样坯尺寸及对应机加工方法（如锻、轧、机加工等）。
- 2) 热处理：样坯的热处理应在温度均匀的环境下进行，并用校准过的仪器测量温度。热处理应按照产品标准或合同的要求进行。

试样的制备

用于制备试样的试料和样坯的切取和机加工，应避免产生表面加工硬化及热影响改变材料的力学性能。用烧割法和冷剪法取样加工余量可参考GB/T 2975 - 2018附录B。机加工后，应除去任何工具留下的可能影响试验结果的痕迹，可采用研磨或抛光。采用的最终加工方法应保证试样的尺寸和形状处于试验标准规定的公差范围内。试样的尺寸公差应符合相应试验方法的规定。

当需要对试样进行标准状态热处理时，其热处理状态应与样坯的要求相同。

2 取样位置的规定

- 1) 在产品不同位置取样时，力学性能会有差异。取样位置见GB/T 2975 - 2018附录A，适用于型钢、棒材和盘条、钢板、管材。对于弯曲试样，在宽度方向的取样位置与拉伸试样相同，试样应至少保留一个原表面；当要求取一个以上试样时，可在规定位置相邻处取样。
- 2) 用烧割法和冷剪法取样要留加工余量。用烧割法切取样坯时，从样坯切割线至试样边缘必须留有足够的机加工余量。一般应不小于钢产品的厚度或直径，且最小不得少于12.5mm。对于厚度或直径大于60mm的钢产品，其加工余量可根据相关方协议适当减少。

用冷剪样坯所留的加工余量按下表1选取：

表1 冷剪样坯所留的加工余量

直径或厚度	加工余量 (mm)
≤4	4
>4~10	厚度或直径
>10~20	10
>20~35	15
>35	20

- 3) 推荐采用无影响区域的数控锯切、水刀等冷切割方式。采用激光切割方式时，保留的加工余量按照下表2选取。

表2 激光切割加工余量的选择

直径或厚度	加工余量 (mm)
≤15	1~2
>15	2~3

3 试样的机加工要求

应按照相关产品和协议的规定,采用机加工试样或采用不经机加工的试样。虽然机加工不带头试样可以降低成本,但容易在夹头端部附近处发生断裂,影响性能测定,甚至使试验无效。因此建议:凡从冶金产品上切取样坯机加工的试样,一般机加工成带头试样,除非产品标准明确规定采用不带头试样或材料不足以。

4 试样的形状和尺寸

试样横截面的形状一般可为圆形、矩形、弧形和环形,特殊情况可以为其它形状。根据相关产品标准或协议,可按标准GB/T 228.1-2010中附录B~E所规定加工试样或者按照产品标准要求加工。试样的尺寸公差和形状公差应分别按照标准GB/T 228.1-2010中附录B~E中的要求。

5 试样标距 (L_0)

试样标距分为比例标距和非比例标距两种,因而有比例试样和非比例试样之分。

凡试样标距与试样原始横截面积有式(1)所示关系的,称为比例标距,试样称为比例试样。

$$L_0 = k \sqrt{S_0}$$

式中 k ——比例系数 5.65

S_0 ——原始横截面积

非比例标距(也称定标距)与试样原始横截面积不存在式(1)的关系。

如果采用比例试样,应采用比例系数 $k = 5.65$ 的值,因为此值为国际通用,除非采用此比例系数时不能满足最小标距15mm的要求。在必须采用其他比例系数的情况下, $k = 11.3$ 的值为优先采用。产品标准或协议可以规定采用非比例标距。不同的标距对试样的断后伸长率的测定影响明显。

试样的宽厚比影响性能的测定,尤其影响延性性能的测定。对于常见的厚度大于等于3mm的板材和扁材或直径大于等于4mm的线材、棒材和型材,标准GB/T 228.1-2010中附录D推荐的宽厚比范围为不超过8:1。但应注意,这一宽厚比范围不适用于薄板和薄带(厚度0.1mm~3mm)的试样。

四 试验方法

1 符号和定义的变化

国际标准采用了延伸(extension) 和伸长(elongation) 两个近义术语,国标中也相应地采用了这两近义术语。在引伸计标距(Le)上的伸长称为延伸,在试样标距(L_0)上的伸长称为伸长。它们并无本质区别,而且完全可以通过测定延伸方法来测定伸长。

GB/T 228.1 - 2010与GB/T 228 - 2002符号完全一致,不过名称有变化,最大力总伸长率改为最大力总延伸率,规定非比例延伸强度改为规定塑性延伸强度,其他变化见表3。

表3 GB/T 228.1 - 2010 与GB/T 228 - 2002的符号与名称对比

GB/T 228.1 - 2010		GB/T 228 - 2002	
性能名称	符号	性能名称	符号
---	--	---	--
上屈服强度	R_{eH}	上屈服强度	R_{eH}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服强度	R_{eL}
规定塑性延伸强度	R_p	规定非比例延伸强度	R_p
抗拉强度	R_m	抗拉强度	R_m
最大力总延伸率	A_{gt}	最大力总伸长率	A_{gt}
最大力塑性延伸率	A_g	最大力非比例伸长率	A_g
断裂总延伸率	A_t	断裂总伸长率	A_t
断后伸长率	A	断后伸长率	A
断面收缩率	Z	断面收缩率	Z

图中 m_E 通常称为弹性模量，但在GB/T 228.1 - 2010 规定 m_E 为应力—延伸率曲线上弹性部分的斜率。只有使用最佳条件（高分辨力，平均引伸计，良好的试样对中），应力-延伸率曲线的弹性部分的斜率值接近弹性模量值。见图1

对于原始横截面积的测定，GB/T 228.1 - 2010 规定宜在试样平行长度中心区域以足够的点数测量试样的相关尺寸。原始横截面积 S_0 是平均横截面积，应根据测量的尺寸计算。原始横截面的计算准确度依赖于试样本身特性和类型。

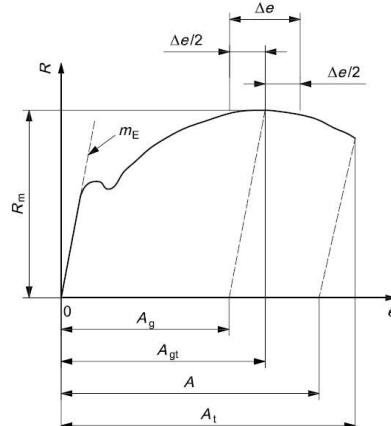


图1 应力—延伸率曲线

2 试验温度

标准GB/T 228.1 - 2010规定室温的范围为10~35°C。

3 试验程序

依据GB/T 228.1 - 2010规定对试样加载。

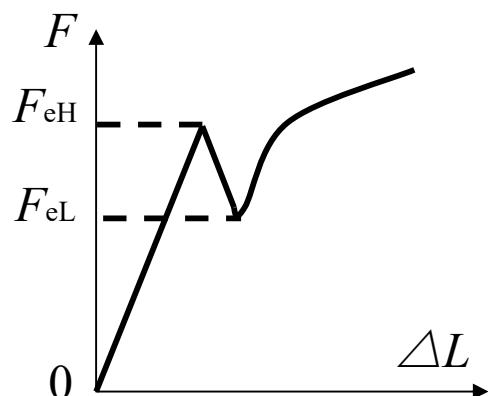


图2 上、下屈服点判定

GB/T 228.1—2010 增加应变速率控制的试验速率(方法A)。目的是为了减小测定应变速率敏感参数(性能)时的试验速率变化和试验结果的测量不确定度。可用两种不同类型的应变速率控制模式。第一种应变速率 e_{L_e} 是基于引伸计的反馈而得到。第二种是根据平行长度估计的应变速率 e_{L_c} ,即通过控制平行长度与需要的应变速率相乘得到的横梁位移速率来实现。GB/T 228.1—2010 保留应力速率控制的试验速率(方法B)。

4 拉伸强度指标的测定

4.1 屈服强度的测定

(1) 上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})的测定

图解方法:按标准规定的试验速率加载,记录力—延伸曲线,直至超过屈服阶段。按照定义在曲线上判定上屈服力和下屈服力的位置点,判定下屈服力时要排除初始瞬时效应的影响。上、下屈服力判定的基本原则如下:

- (1) 屈服前的第一个峰值力(第一个极大力)判为上屈服力,不管其后的峰值力比它大或小,见图2。
- (2) 屈服阶段中如呈现两个或两个以上的谷值力,舍去第一个谷值力(第一个极小值力),取其余谷值力中之最小者判为下屈服力,见图3。如只呈现一个下降谷值力,此谷值力判为下屈服力,见图4。
- (3) 屈服阶段中呈现屈服平台,平台力判为下屈服力。如呈现多个而且后者高于前者的屈服平台,判第一个平台力为下屈服力,见图5。
- (4) 下屈服力必定低于上屈服力。

上述4条基本原则应该是十分重要的,不仅对人工判定方法,而且在自动化测定方法中测定程序的编制有帮助。以测得的上和下屈服力分别计算 R_{eH} 和 R_{eL} 。

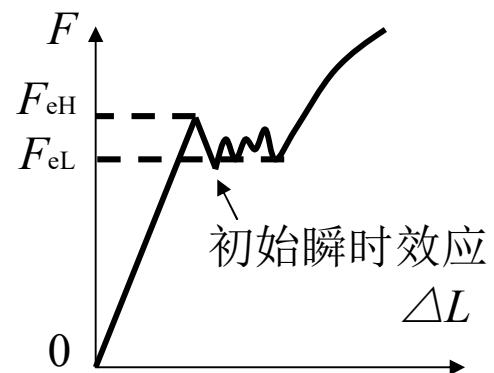


图3 多个谷值下屈服点判定

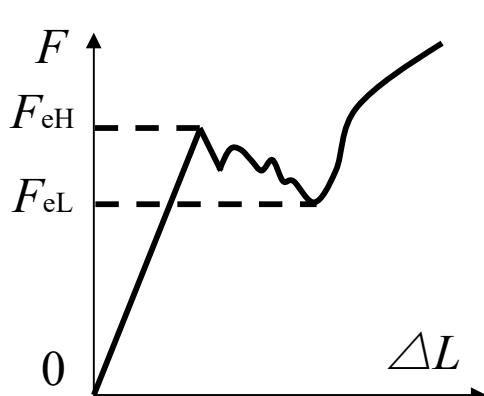


图4 单个谷值下屈服点判定

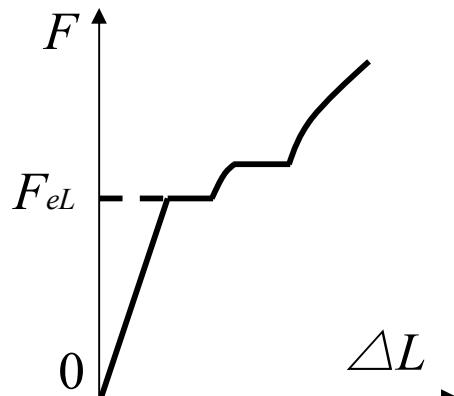


图5 屈服平台下屈服点判定

(2) 规定非比例延伸强度(R_p)的测定

当规定了要求测定屈服强度性能,但材料在实际试验时并不呈现出明显屈服状态(如高强度材料),而呈现出连续的屈服状态,此种情况材料不具有可测的上(或下)屈服强度。则应测定规定非比例延伸强度($R_{p0.2}$),并注明材料无明显屈服。

(1) 常规平行线方法 此方法仅适用于具有弹性直线段的材料测定 R_p 。试验时,记录力一延伸曲线,直至超过 R_p 对应的力 F_p 。在记录得到的曲线图上图解确定规定非比例延伸力 F_p ,进而计算 R_p 。见图6。

(2) 滞后环方法 此种方法仅仅适用于不具有明显弹性直线段的材料测定 R_p 。试验时,对试样施加力,同时记录力一延伸曲线,加力至超过预期的规定非比例延伸强度后,将力卸除至约为所加力的10%,接着再施力直至进入力一延伸曲线的包迹线范围。正常情况下会画出一个完整的滞后环。然后经过滞后环两端点划直线和作该直线的平行线确定 F_p ,进而计算

$$R_{p0.2} = \frac{F_{p0.2}}{S_0}, \text{ 具体做法可参考标准。}$$

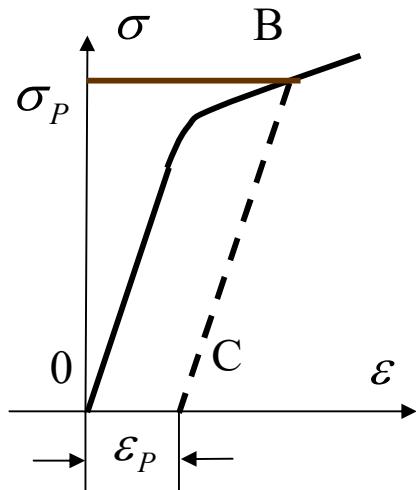


图 6 规定非比例延伸强度判定

4.2 抗拉强度的测定

测定抗拉强度的方法主要有两种,图解方法和指针法。以下主要介绍图解方法。

采用图解方法试验时,记录力一延伸曲线或力一位移曲线。在记录得到的曲线图上按定义判定最大力,对于连续屈服类型,试验过程中的最大力判为最大力 F_m ,见图7;对于不连续屈服类型,过了屈服阶段之后的最大力判为最大力 F_m ,见图8,由最大力计算抗拉强度 $R_m = \frac{F_m}{S_0}$ 。

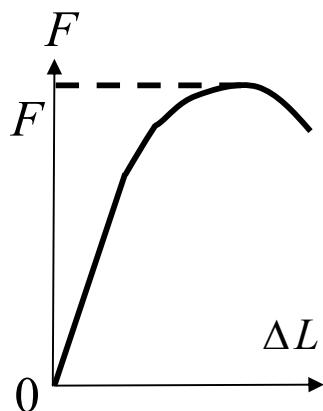


图 7 连续屈服类型最大力判定

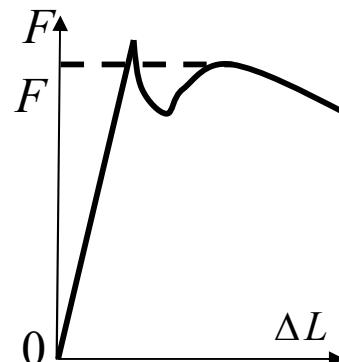


图 8 非连续屈服类型最大

拉伸时影响抗拉强度测量值的因素很多,比如零件的截面形状,是否有应力集中点等等。即使是同种截面,尺寸大小改变时也会影响拉伸强度的测量。采用标准式样,可以使不同材料的测量值便于比较。如果有条件,可以尝试改变一下截面或者尺寸来做实验,即使是同种材料,测量的强度值也会变化。

五、试验数据处理

1 性能测定结果数值的修约

GB/T 228.1-2010规定：试验测定的性能结果数值应按照相关产品标准的要求进行修约。如未规定具体要求，应按照如下要求进行修约：

- 强度性能值修约至1MPa；
- 屈服点延伸率修约至0.1%，其他延伸率和断后伸长率修约至0.5%；
- 断面收缩率修约至1%。修约的方法按GB/T 8170-2008。

以上规定与GB/T 228-2002有不小的变化，详见表4。

表4 GB/T 228.1-2010 与 GB/T 228-2002 的数值修约对比

性 能	范 围	修约间隔	
		GB/T 228 - 2002	GB/T 228.1 - 2010
R_{eH} 、 R_{eL} 、 R_p R_t 、 R_r 、 R_m	≤ 200 MPa	1 MPa	1 MPa
	200 MPa~1000 MPa	5 MPa	
	>1000 MPa	10 MPa	
A_e	---	0.05%	0.1%
A_{gt} 、 A_g 、 A 、 A_t	---	0.5%	0.5%
Z	---	0.5%	1%

2 单位

标准中规定采用的单位是国际单位制单位(SI单位)。应力单位MPa和N/mm²,都是国际单位制的倍数单位,两者都是我国规定的法定计量单位。标准中应力单位采用了MPa,而1MPa=1N/mm²。

六、试验结果

1) 试验出现下列情况之一其试验结果无效,应重做同样数量和同样试样的试验。

其一、试样断在标距外或机械刻划的标距标记上,而且断后伸长率低于规定最小值。

其二、在试验时,试验设备发生了故障(包括中途停电),影响了试验结果。

如果标距标记是用无损伤试样表面的方法标记的,断在标距标记上,不列入重试范围。如果断在机械刻划的标记上或标距外,但测得的断后伸长率达到了规定最小值的要求,则试验结果有效,无需重试。

2) 试验后试样出现两个或两个以上的颈缩以及显示出肉眼可见冶金缺陷(分层、气泡、加渣等),应在试验记录和报告中注明。

七、试验报告

试验报告应至少包括以下信息,除非双方另有约定:

- a) 本国家标准编号;
- b) 注明试验条件信息(如GB/T 228.1-2010中10.6的要求);
- c) 试样标识;
- d) 材料名称、牌号(如已知);
- e) 试样类型;
- f) 试样的取样方向和位置(如已知);
- g) 试验控制模式和试验速率范围(如果与GB/T 228.1-2010中10.2和10.3推荐的方法不同);
- h) 试验结果。

第二部分 钢结构连接件的检测

一、焊接连接质量与性能检测

焊接接头的力学性能，可采取截取试样的方法检验，但应采取措施确保安全。焊接接头力学性能的检验分为拉伸、面弯和背弯等项目，每个检验项目可各取两个试样。焊接接头焊缝的强度不应低于母材强度的最低保证值。

(一) 检测依据

- 《金属材料室温拉伸试验方法》 GB/T 228.1 - 2010
- 《焊接接头机械性能试验取样方法》 GB/T 2649
- 《焊接接头拉伸试验方法》 GB/T 2651-2008
- 《焊接接头弯曲试验方法》 GB/T 2653-2008
- 建筑结构检测技术标准 GB/T 50344 -2004
- 钢结构工程施工质量验收规范 GB 50205-2001

(二) 拉伸试样

1 取样位置

试样应从焊接接头垂直于轴线方向截取，试样加工完成后，焊缝的轴线应位于试样平行长度的中间。对小直径管（外径小于或等于18mm）试样可采用整管。

2 标记

每个试件应做标记以便识别其从产品或接头取出的位置。

如果相关标准有规定，应标记机加工方向。

每个试样应做标记以便识别其在试件中准确位置。

3 取样

取样所采用的机械加工方法或热加工方法不得对试样性能产生影响。

钢材取样要求厚度超过8mm时，不得采用剪切方法。当采用热切割或可能影响切割面性能的其他切割方法从焊件或试件上截取试样时，应确保所有切割面距离试样的表面至少8mm以上。平行于焊件或试件的原始表面的切割，不得采用热切割方法。其他金属材料取样要求不得采用剪切方法和热切割方法，只能采用机械加工方法。

4 机械加工

1) 一般要求

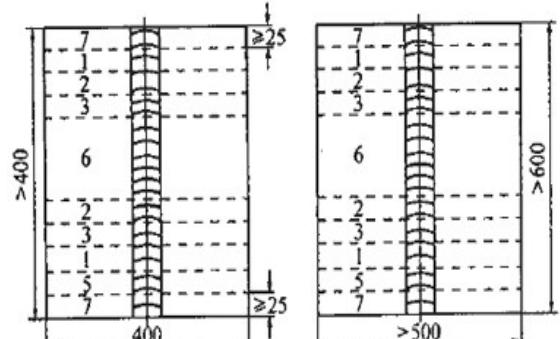
公差按照GB/T 228.1 - 2010规定。

2) 位置

试样厚度 t_s 一般应与焊接接头处的母材厚度相同。当相关标准要求进行全厚度（超过30mm）试验时，可从接头截取若干个试样覆盖整个厚度（见图10）。在这种情况下，试样相对接头厚度的位置应做记录。

3) 尺寸

管和板的板状试样尺寸见图11和表5。



(a) 不取侧弯试样 (b) 取侧弯试样

- 1. 拉伸试样 2. 背弯试样 3. 面弯试样
- 4. 侧弯试样 5. 冲击试样
- 6. 备用 7. 舍去

图 9 对接接头试板 (mm)

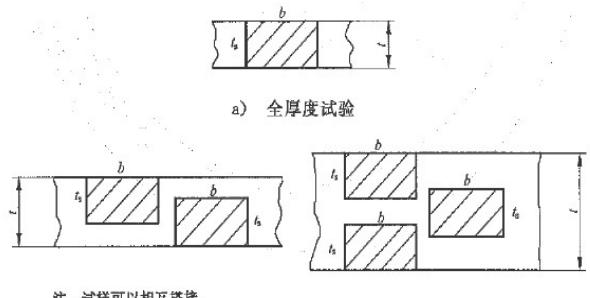


图 10 取样的要求

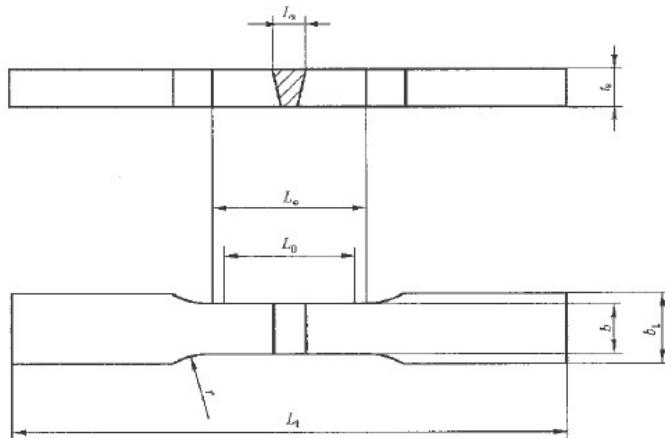


图11 板状试样尺寸符号标识

表5 板状试样尺寸取值规定

名称		符号	尺寸 (mm)
试样总长度		L_t	适合于所使用的试验机
夹持端宽度		b_t	$b+12$
平行长度部分宽度	板	b	$12 (t_s \leq 2)$ $2 (t_s > 2)$
	管	b	$6 (D \leq 50)$ $12 (50 < D \leq 168)$ $25 (D > 168)$
平行长度		L_e	$\geq L_s + 60$
过渡弧半径		r	≥ 25

(三) 拉伸试验方法

1 试验温度

除非另有规定，试验环境温度应为： $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2 试验程序

依据GB/T 228.1 - 2010规定对试样加载。

(四) 拉伸试验结果

1 一般要求

依据GB/T 228.1 - 2010规定确定试验结果。

2 断裂位置

在报告中应写明断裂位置。

3 断口表面检验

在报告中记录在断口上对试验可能产生有害影响的缺欠，内容包括缺欠类型、尺寸和数量。如果出现白点，应予记录，白点的中心区域应视为缺欠。

(五) 拉伸试验报告

除GB/T 228.1 - 2010规定的内容外，还应包括以下内容：

1. 依据的国家标准

2. 试样的类型和位置
3. 试验温度
4. 断口位置
5. 观察到的缺欠类型、尺寸和数量。

(六) 弯曲试样

对从焊接接头截取的横向或纵向试样进行弯曲，不改变弯曲方向，通过弯曲产生塑性变形，使焊接接头的表面或横截面发生拉伸变形。

弯曲试样名称规定如下：

- 对接接头正弯试样 **FBB**：焊接表面为受拉面的试样。双面焊时为焊缝较宽的一面或焊接开始的一面。
- 对接接头背弯试样 **RBB**：焊接根部为受拉面的试样。
- 对接接头侧弯试样 **SBB**：焊接横截面为受拉面的试样。
- 带堆焊层正弯试样 **FBC**：堆焊层表面为受拉面的试样。
- 带堆焊层侧弯试样 **SBC**：堆焊层横截面为受拉面的试样。
- 带堆焊层对接接头正弯试样 **FBCB**：对接接头堆焊层表面为受拉面的试样。
- 带堆焊层对接接头侧弯试样 **SBCB**：对接接头横截面为受拉面的试样。

试样图形见标准。

1 弯曲试样的制备

1) 取样要求

试样的制备应不影响母材和焊缝金属性能。取样所采用的机械加工方法或热加工方法不得对试样性能产生影响。

2) 位置

对于对接接头横向弯曲试验，应从产品或试件的焊接接头上横向截取试样以保证加工后焊缝的轴线在试样的中心或适合于试验的位置。

对于对接接头纵向弯曲试验，应从产品或试件的焊接接头上纵向截取试样。

3) 标记

每个试件应做标记以便识别其从产品或接头中的准确位置。如果相关标准有规定，应标记机加工方向。每个试样应做标记以便识别其在试件中的准确位置。

4) 试样截取

钢材取样要求厚度超过8mm时，不得采用剪切方法。当采用热切割或可能影响切割面性能的其他切割方法从焊件或试件上截取试样时，应确保所有切割面距离试样的表面至少8mm以上。其他金属材料取样要求不得采用剪切方法和热切割方法，只能采用机械加工方法。

2 弯曲试样尺寸

1) 长度

试样的长度 L_t 要求 $L_t \geq l+2R$ ，且至少应满足相关标准的要求。

2) 厚度

试样对厚度 t_s 要求见标准 5.6.1~5.6.7。

3) 宽度

试样宽度的取值视弯曲试样的类型而定，其具体规定为：

横向正弯和背弯试样：

钢板试样宽度 b 不应小于 $1.5t_s$ ，最小为 20mm。

铝、铜及其合金板试样宽度 b 不应小于 $2t_s$ ，最小为 20mm。

管径 $\leq 50\text{mm}$ 时，管试样宽度 b 最小应为 $t+0.1D$ （最小为 8mm）。

管径 $>50\text{mm}$ 时，管试样宽度 b 最小应为 $t+0.05D$ （最小为 8mm ，最大为 40mm ）。

侧弯试样：

试样宽度 b 一般等于焊接接头处母材厚度。

纵向弯曲试样：

试样宽度 b 应为 $b=L_s+2b_1$ ，其中的参数 b_1 视不同材料和板厚取值各异，见表6。

表6 纵向弯曲试样的宽度取值规定

材料	试样厚度 $t_s(\text{mm})$	试样宽度 $b(\text{mm})$
钢	≤ 20	$L_s+2 \times 10$
	>20	$L_s+2 \times 15$
铝、铜及其合金	≤ 20	$L_s+2 \times 15$
	>20	$L_s+2 \times 25$

试样拉伸面棱角应加工成圆角，其半径 r 不超过 $0.2t_s$ ，最大为 3mm 。

（七）弯曲试验方法

1 试验温度

除非另有规定，试验环境温度应为： $23\pm 5^\circ\text{C}$ 。

2 试验程序

钢结构焊接件一般采用圆形压头弯曲方法。压头的直径 d 应依据相关标准的规定。辊筒的直径至少为 20mm ，除非相关标准另有规定。辊筒间的距离 l 应在 $d+2t_s$ 和 $d+3t_s$ 之间。

将试样放在两个平行的辊筒上进行试验。焊缝应在两个辊筒间中心线位置，纵向弯曲除外。在两个辊筒间中心线，即焊缝的轴线，垂直于试样表面通过压头施加荷载（三点弯曲），使试样逐渐连续地弯曲。当弯曲角度达到相关标准的规定值时试验完成。

（八）弯曲试验结果

弯曲结束后，试样的外表面和侧面都应进行检验。依据相关标准对弯曲试样进行评定并记录。除非另有规定，在试样表面上小于 3mm 长的缺欠应判为合格。

（九）弯曲试验报告

试验报告至少应包含以下内容：

- (1) 依据的国家标准；
- (2) 试样说明（标记、母材类型、热处理等）；
- (3) 试样的形状和尺寸；
- (4) 弯曲试验的类型和代号（正弯和背弯、横向弯曲或纵向弯曲等）；
- (5) 试验条件：
 - 试验方法（圆形压头弯曲或辊筒弯曲）
 - 压头直径
 - 辊筒间距
- (6) 试验温度；
- (7) 观察到的缺欠类型、尺寸；
- (8) 弯曲角。

二、高强度螺栓

1. 紧固件连接方式

高强螺栓摩擦型连接方式 通过扭力扳手以适当的扭力拧紧螺帽，使螺栓杆产生适当的紧固轴力（预拉力），将被连接部件夹紧，使连接部件间产生强大的摩擦力，外力通过摩擦力来传递。可提供的最大摩擦力极限状态，是保证连接部件在整个使用期间内外剪力不超过最大摩擦力。连接部件不发生相对滑移变形（螺杆和孔壁之间始终保持原有的空隙量），连接部件按弹性整体受力。其优点是施工简单、受力性能良好、耐疲劳、可以拆换，承受动力荷载性能较好，具有很好的发展前途，可能成为用来代替铆钉连接的优良连接。

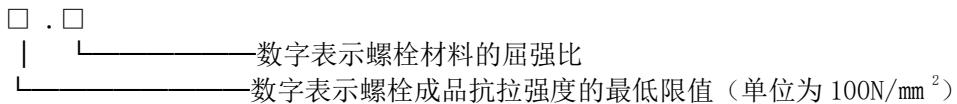
高强螺栓承压型连接方式 承压型连接形式与摩擦型连接形式相同、所用螺栓相同，但是在计算、要求、适用范围等方面都有很大的不同，其本质区别是极限状态不同。承压型连接形式允许外（剪）力超过最大摩擦力，被连接部件之间允许存在相对滑移，直至螺栓杆与孔壁接触，此后连接部件依靠螺杆的剪切和孔壁承压以及板件接触面间的摩擦力共同传力，以螺杆抗剪或孔壁抗压强度作为连接部件的极限承载状态。

总之，摩擦型连接方式和承压型连接方式的不同点是设计时是否允许滑移。摩擦型连接方式绝对不能滑动，一旦滑移，就认为达到设计的破坏状态，在技术上比较成熟；承压型连接方式允许滑动，螺栓承受剪力，最终破坏相当于螺栓剪切破坏。

钢网架螺栓球节点连接 网架结构是由很多杆件从两个方向或几个方向有规律地组成的高次超静定空间结构。它改变了一般平面桁架受力体系，能承受来自各方向的荷载。网架结构重量轻、刚度大、抗震性能好、便于成批生产，便于提高构件加工质量等这些特有的优点。钢结构网架螺栓球节点由螺栓球、钢网架螺栓球节点用高强度螺栓、封板、锥头和套筒等组成紧固连接件。对螺栓球节点成品球最大螺栓孔的螺纹应进行抗拉强度试验并应符合要求。对高强度螺栓一般做机械性能试验（强度、硬度、断面收缩率；对球、封板、锥头、套筒一般做化学成分分析）。

2. 螺栓的性能等级与标记

高强螺栓性能等级 一般为 8.8s, 9.8s, 10.8s 12.9s。



如 8.8 级表示螺栓成品抗拉强度 $f_u > 800 \text{ MPa}$;

螺栓材料的屈服强度 $f_y > 0.8f_u = 640 \text{ MPa}$ 。

10.9 级表示螺栓成品抗拉强度 $f_u > 1000 \text{ MPa}$;

螺栓材料的屈服强度 $f_y > 0.9f_u = 900 \text{ MPa}$ 。

螺栓性能等级必须标志在头部顶面或侧面用凸字或凹字标志。

螺母性能等级标志：性能等级 ≥ 8 的必须在螺母支承面打标志。

螺栓的标记（GB1237-2000）通常为：（标记方法按）

M 螺栓规格（即直径）×螺栓的公称长度（mm）加 质量等级 国家标准

如：螺纹规格 d=M30、公称长度 l=100 mm、表面氧化的钢网架球节点 用高强度螺栓

3. 主要测试参数

(1) 大六角头高强度螺栓

大六角头高强度螺栓连接副是高强度螺栓和与之配套的螺母、垫圈的总称，包括一个螺栓、一个螺母、二个垫圈。性能等级可分为 10.9S 和 8.8S。

标记示例：GB/T 1228-2006 M24×100 10.9S。

主要考核参数：螺栓实物载荷检验(楔负载)、芯部硬度、螺母保证载荷、垫片硬度、连接副扭矩系数、螺栓、螺母的螺纹、表面缺陷、表面处理。

(2) 扭剪型高强度螺栓

扭剪型高强度螺栓连接副是扭剪型高强度螺栓和与之配套的螺母、垫圈的总称，包括一个螺栓、一个螺母、一个垫圈。性能等级可分为 **10.9S**。

标记示例：GB/T 3632 M22×120 10.9S。

主要技术参数：螺栓实物最小载荷检验(楔负载)、芯部硬度、螺母保证载荷、垫片硬度、连接副紧固轴力、螺栓、螺母的螺纹、表面缺陷、表面处理。

(3) 钢网架螺栓球节点用高强度螺栓 GB/T 16939-1997

适用于钢网架螺栓球节点连接，将螺栓球、钢套管件组成紧固连接件。性能等级分为 **10.9S** 和 **9.8S**。

标记示例：M30×100 GB/T 16939 或 GB/T 16939 M30×100。

主要考核参数：拉力载荷试验(螺栓实物机械性能)、芯部硬度、螺栓的螺纹、表面缺陷(裂纹)、表面处理。

4. 试验环境温度要求

高强度螺栓试验环境温度试验应在(10℃~35℃)下进行，连接副紧固轴力的仲裁试验应在20±2℃下进行。

5. 检测依据

(1) 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副	GB/T 3632-2008;
(2) 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件	GB/T 1231-2006;
(3) 钢网架螺栓球节点用高强度螺栓	GB/T 16939-2016;
(4) 钢结构工程施工质量验收规范	GB 50205-2001;
(5) 钢结构现场检测技术标准	GB/T 50621-2010

6. 仪器设备及环境

- (1) 万能材料试验机(精度要求为1级);
- (2) 布洛维硬度计(精度要求为2级);
- (3) 扭矩系数测定装置
 - 扭矩系数测定装置中轴力计或测力系统(精度要求为2级，其误差不得大于测定螺栓紧固轴力(预拉力)值的2%。轴力计的示值应在测定轴力值的1kN以下。);
 - 扭矩系数测定装置中扭矩扳手或扭矩测量系统(误差不得大于测试扭矩值的2%。使用的扭矩扳手准确度级别不低于JJG 707-2003中规定的2级。);
 - 扭矩系数测定装置中压力传感器(精度要求为2级);
 - 扭矩系数测定装置中电阻应变仪(精度要求为2级)。
- (4) 电动拧断器。

7. 取样及制备要求

7.1 大六角高强度螺栓和扭剪型高强度螺栓取样要求

出厂检验按批进行。同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、长度(当螺栓长度≤100mm时、长度相差≤15mm，螺栓长度>100mm时、长度相差≤20mm，可视为同一长度)、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺栓为同批。同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺母为同批。同一性能等级、材料、炉号、规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的垫圈为同批。分别由同批螺栓、螺母、垫圈组成的连接副为同批连接副。对保证扭矩系数供货的螺栓连接副最大批量为3000套。

GB/T 50205-2001 B.0.2条规定复验的扭剪型高强度螺栓和大六角高强度螺栓应在施工现场待安装的螺栓批中随机抽取。每批应抽取8套连接副进行复验。

7.2 抗滑移系数试验取样及制备要求

制造厂和安装单位应分别以钢结构制造批为单位进行抗滑移系数试验。制造批可按分部（子分部）工程划分规定的工程量每 2000t 为一批，不足 2000t 的可视为一批。选用两种及两种以上表面处理工艺时，每种处理工艺应单独检验。每批三组试件。

抗滑移系数试验应采用双摩擦面的二栓拼接的拉力试件（如图 12 所示）。

抗滑移系数试验用的试件应由制造厂加工，试件与所代表的钢结构构件应为同一材质、同批制作、采用同一摩擦面处理工艺和具有相同的表面状态，并应用同批同一性能等级的高强度螺栓连接副，在同一环境条件下存放。

试件钢板的厚度 t_1 、 t_2 应根据钢结构工程中有代表性的板材厚度来确定，同时应考虑在摩擦面滑移之前，试件钢板的净截面始终处于弹性状态；宽度 b 按表 7 取值。L₁ 应根据试验机夹具的要求确定。

表 7 试件板的宽度 (mm)

螺栓直径 d	16	20	22	24	27	30
板宽 b	100	100	105	110	120	120

试件板面应平整，无油污，孔和板的边缘无飞边、毛刺。

钢网架螺栓球节点用高强度螺栓取样要求

出厂检验按批进行同一性能等级、材料牌号、炉号、规格、机械加工、热处理及表面处理工艺的钢网架螺栓球节点用高强度螺栓为同批。最大批量：对于小于等于 M36 为 5000 件；大于 M36 为 2000 件。芯部硬度及拉力荷载试验抽样方案按 GB90 规定，但对 M39~M64×4 螺栓的试验抽样方案按芯部硬度 n=2，A_c=0；实物拉力 n=3，A_c=0。

8 试验操作步骤

8.1 螺栓实物机械性能及楔负载

将螺栓拧在带有内螺纹的专用夹具上（至少六扣），螺栓头下置一楔垫，楔垫角度 $\alpha = 10^\circ$ 适用于扭剪型高强度螺栓和大六角高强度螺栓；楔垫角度 $\alpha = 4^\circ$ 适用于螺栓球节点用高强度螺栓，楔负载试验示意如图 13 所示。

进行螺栓实物楔负载试验时，拉力载荷应符合规定的范围内，断裂应发生在螺纹部分或螺纹与螺杆交接处。

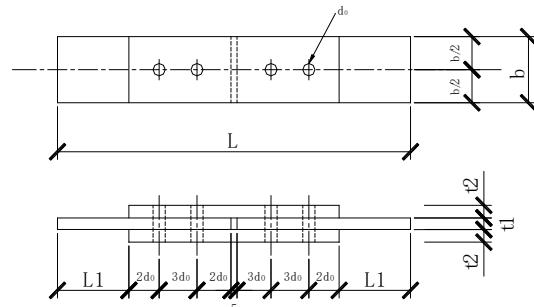


图 12 抗滑移系数拼接试件的形式和尺寸

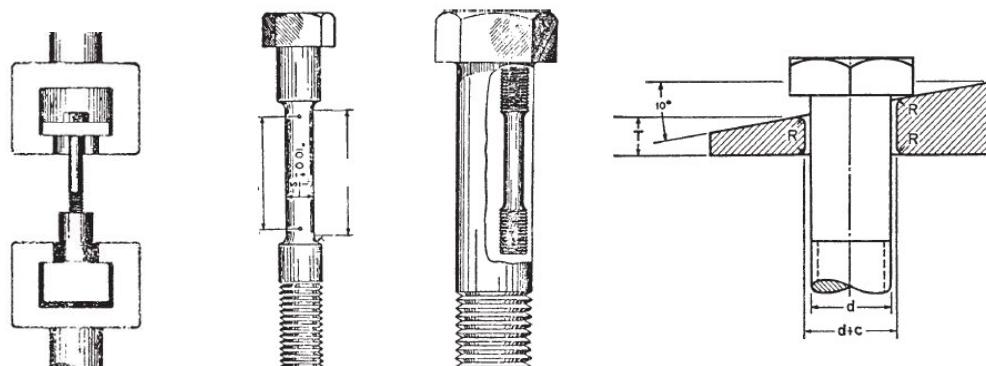


图 13 螺栓楔负载试验示意图

表8 钢网架螺栓球节点用部分高强度螺栓拉力载荷范围 GB/T 16939-2016

螺纹规格	M12	M14	M16	M20	M24	M27	M30	M36	//	//
性能等级	10. 9S									
拉力载荷 (kN)	88~105	120~143	163~195	255~304	367~438	477~569	583~696	850~1013	//	//
螺纹规格	M39		M42		M45		M48		M56×4	
性能等级	9. 8S									
拉力载荷 (kN)	878~1074		1008~1232		1179~1441		1323~1617		1930~2358	
									2237~2734	
							2566~3136		4109~5023	

表9 大六角高强度螺栓楔负载试验拉力载荷 GB/T 1231-2006

螺纹规格 d		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
公称应力截面积 $A_s \text{ mm}^2$		84. 3	157	245	303	353	459	561
性能 等级	10. 9S	拉力载荷 (kN)	87. 7~104. 5	163~195	255~304	315~376	367~438	477~569
	8. 8S		70~86. 8	130~162	203~252	251~312	293~364	381~473
								583~696

表10 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 GB/T 3632-2008

螺纹规格 d		M16	M20	M22	M24	M27	M30
公称应力截面积 $A_s \text{ mm}^2$		157	245	303	353	459	561
10. 9s	拉力载荷 (kN)	163~195	255~304	315~376	367~438	477~569	583~696

当螺栓 $L/d \leq 3$ 时, 如不能进行楔负载试验, 允许用拉力载荷试验或芯部硬度试验代替楔负载试验。

拉力载荷应符合表 4. 7. 9 规定, 芯部硬度值应符合表 4. 7. 10 的规定。

8. 2 芯部硬度试验

芯部硬度试验在距螺杆末端等于螺纹直径 d 的截面上进行, 对该截面距离中心的四分之一的螺纹直径处, 任测四点, 取后三点平均值。芯部硬度值应符合表 11 的规定。

对于钢网架螺栓球节点用高强度螺栓来说, 其常规硬度值为 32~37HRC; 螺纹规格为 M39~M64×4 的螺栓可用硬度试验代替拉力载荷试验。

表11 螺栓芯部硬度值

性能等级	维氏硬度 HV ₃₀		洛氏硬度 HRC	
	min	max	min	max
10. 9s	312	367	33	39
8. 8s	249	296	24	31

8.3 大六角头高强度螺栓连接副扭矩系数

1) 试验步骤

- 1) 进行连接副扭矩系数试验时，应同时记录环境温度。试验所用的机具、仪表及连接副均应放置在该环境内至少 2h 以上。
- 2) 连接副的扭矩系数试验是在轴力计上进行，每一连接副只能试验一次，不得重复使用。
- 3) 施拧扭矩 T 是施加于螺母上的扭矩，其误差不得大于测试扭矩值的 2%。使用的扭矩扳手准确度级别不低于 JJG 707-2003 中规定的 2 级。
- 4) 螺栓预拉力 P 用轴力计测定，其误差不得大于测定螺栓预拉力值的 2%。轴力计的示值应在测定轴力值的 1kN 以下。
- 5) 进行连接副扭矩系数试验时，螺栓预拉力值 P 应控制在表 12 所规定的范围，超出范围者，所测得的扭矩系数无效。
- 6) 组装连接副时，螺母下的垫圈有导角的一侧应朝向螺母支撑面。试验时，垫圈不得发生转动，否则试验无效。

表 12 螺栓预拉力值 P 应控制值范围 (GB/T 1231-2006)

螺纹规格			M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
预拉力 值 P (kN)	10.9s	max	66	121	187	231	275	352	429
		min	54	99	153	189	225	288	351
	8.8s	max	55	99	154	182	215	281	341
		min	45	81	126	149	176	230	279

2) 数据处理

扭矩系数计算公式如下：

$$K = T / (P \cdot d)$$

式中： K——扭矩系数；

T——施拧扭矩， N·m；

d——螺栓的螺纹规格， mm；

P——螺栓预拉力， kN。

3) 结果判定

- ① 高强度大六角头螺栓连接副必须按规定的扭矩系数供货，同批连接副的扭矩系数平均值为 0.110~0.150，扭矩系数标准偏差应小于或等于 0.010。每一连接副包括一个螺栓、一个螺母、二个垫圈，并应分属同批制造。
- ② 连接副扭矩系数保证期为自出厂之日起六个月，用户如需延长保证期，可由供需双方协议解决。
- ③ 螺栓、螺母、垫圈均应进行表面防锈处理，但经处理后的高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数还必须符合①的规定。

8.4 扭剪型高强度螺栓连接副紧固轴力（预拉力）试验

1) 试验步骤

- 1) 进行连接副扭矩系数试验时，应同时记录环境温度。试验所用的机具、仪表及连接副均应放置在该环境内至少 2h 以上。
- 2) 螺栓预拉力 P 用轴力计测定，其误差不得大于测定螺栓预拉力值的 2%。轴力计的示值应在测定轴力值的 1kN 以下。
- 3) 轴力试验应在轴力计上进行，每一连接副只能试验一次，螺母、垫圈亦不得重复使用。
- 4) 组装连接副时，垫圈有导角的一侧应朝向螺母支撑面。试验时，垫圈不得转动，否则试验无效。

表 13 扭剪型高强度螺栓紧固轴力 (GB3632-2008)

螺栓规格		M16	M20	M22	M24	M27	M30
每批紧固轴力的平均值/kN	公称	110	171	209	248	319	391
	min	100	155	190	225	290	355
	max	121	188	230	272	351	430
紧固轴力标准偏差 \leq /KN		10.0	15.5	19.0	22.5	29.0	35.5
当螺栓长度小于下表规定值时，可不进行紧固轴力试验 (mm)							
螺栓长度		50	55	60	65	70	75

2) 数据处理

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (4.7.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \quad (4.7.5)$$

式中： \bar{P} ——螺栓紧固轴力（预拉力）平均值， kN；

P_i ——第 i 个螺栓紧固轴力（预拉力）， kN；

n——螺栓个数；

σ ——预拉力标准偏差， kN。

结果判定：

连接副紧固轴力（预拉力）应控制在表 13 所规定的范围，超出范围者，所测得的预拉力无效，且预拉力标准偏差应满足表 13 的要求。

8.5 高强度螺栓连接摩擦面抗滑移系数检验

1) 试验步骤

(1) 试验用的试验机误差应在 1% 以内。

(2) 试验用的贴有电阻片的高强度螺栓、压力传感器和电阻应变仪应在试验前用试验机进行标定，其误差应在 2% 以内。

(3) 试件组装顺序：

① 将冲钉打入试件孔定位，然后逐个换成装有压力传感器或贴有电阻片的高强度螺栓，或换成同一批经预拉力复验的扭剪型高强度螺栓。

② 紧固高强度螺栓应分初拧、终拧。初拧应达到螺栓预拉力标准值的 50% 左右。终拧后，螺栓预拉力应符合下列规定：

a 对装有压力传感器或贴有电阻片的高强度螺栓，实测控制试件每个螺栓的预拉力值应在 $0.95P \sim 1.05P$ (P 为高强度螺栓设计预拉力值) 之间。

b 不进行实测时，扭剪型高强度螺栓的预拉力可按同批复验预拉力的平均值取用。

(4) 在试件侧面画出观察滑移的直线。

(5) 将组装好的试件置于拉力试验机上，试件的轴线应与试验机夹具中心严格对中。

(6) 加荷时，应先加 10% 的抗滑移设计荷载值，停 1min 后，再平稳加荷，加荷速度为 $3 \sim 5\text{kN/s}$ 。直至拉至滑动破坏，测得滑移荷载 N_v 。

(7) 在试验中当发生以下情况之一时，所对应的荷载可定为试件的滑移荷载：

① 试验机发生回针现象；

② 试件侧面画线发生错动；

③ X-Y 记录仪上变形曲线发生突变；

④ 试件突然发生“嘣”的响声。

2) 数据处理

抗滑移系数，应根据试验所测得的滑移荷载 N_v 和螺栓预拉力 P_i 的实测值计算（宜取小数点二位有效数字）。

$$\mu = \frac{N_v}{n_f \sum P_i} \quad (4.7.6)$$

式中：

N_v ——试验测得的滑移荷载 (kN);

n_f ——摩擦面数，取 $n_f=2$;

$\sum P_i$ ——试件滑移一侧高强度螺栓预拉力实测值（或同批螺栓连接副的预拉力平均值）之和（取三位有效数字）(kN); $i=1, \dots, m$;

m ——试件一侧螺栓数量，取 $m=2$ 。

3) 结果判定

测得的抗滑移系数最小值应符合设计要求。

三、 焊钉连接质量与性能检测

当对钢结构工程质量进行检测时，可抽样进行焊钉焊接后的弯曲检测，抽样数量不应少于标准 GB50205-2001 表 3.3.13 中 A 类检测的要求；检测方法与评定标准，锤击焊钉头使其弯曲至 30° ，焊缝和热影响区没有肉眼可见的裂纹可判为合格；应按标准 GB50205 表 3.3.14-3 进行检测批的合格判定。焊钉焊接后应进行弯曲试验检查，其焊缝和热影响区不应有肉眼可见的裂纹。检查数量：每批同类构件抽查 10%，且不应少于 10 件；被抽查构件中，每件检查焊钉数量的 1%，但不应少于 1 个。检验方法：焊钉弯曲 30° 后用角尺检查和观察检查。

(一) 检测依据

电弧螺柱焊用圆柱头焊钉 GB/T 10433-2002。

(二) 焊钉材料及机械性能要求

焊钉材料及机械性能应符合表 14 规定。

表 14 焊钉材料及机械性能

材料	标准	机械性能
ML15、ML15A	GB/T 6478	$R_m \geq 400 \text{ N/mm}^2$ R_{eL} 或 $R_{P0.2} \geq 320 \text{ N/mm}^2$ $A \geq 14\%$

焊钉机械性能试验按 GB/T 3098.1 中的规定进行。但试件直径 d_0 应按表 15 规定。

表 15 焊钉机械加工试件直径规定/mm

焊钉直径 d	10	13	16	19	22	25
试件直径 d_0	8	10	12	15	17	20

(三) 焊钉标记

标记方法按 GB/T 1237 规定。标记示例：

公称直径 $d=19\text{ mm}$ 、长度 $l=150\text{ mm}$ 、材料为 M1,15、不经表面处理的电弧螺柱焊用圆柱头焊钉的标记：焊钉 GB / T 10 43 3
19 X 150

(四) 焊接端的焊接性能试验

1 拉力试验

按图 14 及 GB/T 228 的规定对试件进行拉力试验。当拉力载荷达到表 16 的规定时，不得断裂；继续增大载荷直至拉断，断裂不应发生在焊缝和热影响区内。

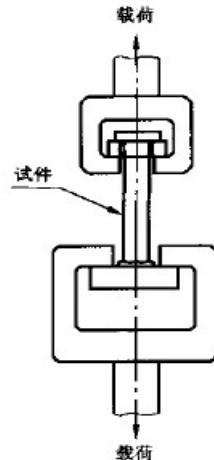


图 14 拉力试验示意

表 16 拉力荷载规定

d/mm	10	13	16	19	22	25
拉力荷载/N	32970	55860	84420	119280	159600	206220

2 弯曲试验

对 $d \geq 22\text{ mm}$ 的焊钉，可进行焊接端的弯曲试验，见图 15。试验可用手锤打击(或使用套管压)焊钉试件头部，使其弯曲 30° 。试验后，在试件焊缝和热影响区不应产生肉眼可见的裂缝。使用套管进行试验时，套管下端距焊肉上端的距离不得小于 $1 d_0$ 。

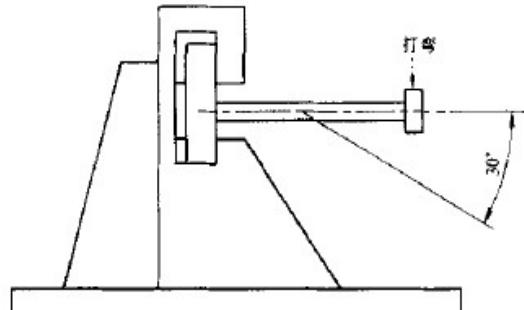


图 15 栓钉焊接头试样弯曲试验方法示意图

四、普通螺栓

(一) 检测依据

紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱 GB 3098.1-2010

钢结构工程施工质量验收规范 GB 50205-2001

普通螺纹 基本尺寸 GB/T 196-2003

(二) 普通螺栓检验方法

普通螺栓作为永久性连接螺栓时，当设计有要求或对其质量有疑义时，应进行螺栓实物最小拉力载荷复验，其结果应符合现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB 3098.1-2010 的规定。

检查数量：每一规格螺栓抽查 8 个。

用专用卡具将螺栓实物置于拉力试验机上进行拉力试验，为避免试件承受横向载荷，试验机的夹具应能自动调正中心，试验时夹头张拉的移动速度不应超过 25mm/min。

螺栓实物的抗拉强度应根据螺纹应力截面积(A_s)计算确定，其取值应按下式计算：

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (4.7.1)$$

式中： d_2 — 螺纹中径的基本尺寸，mm

d_3 — 螺纹小径的基本尺寸 (d_1)

减去螺纹原始三角形高度 (H)
的 1/6 值，即：

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6} \text{ mm} \quad (4.7.2)$$

H — 螺纹原始三角形高度

($H=0.866025P$) ,mm;

P — 螺距，mm。

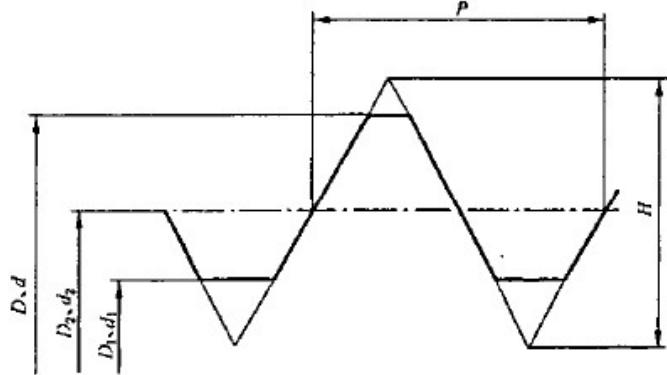


图 16 普通螺栓参数标识

进行试验时，承受拉力载荷的末旋合的螺纹长度应为 6 倍以上螺距；当试验拉力达到现行国家标准《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》GB 3098.1 中规定的最小拉力载荷($A_s \cdot \sigma_b$)时不得断裂。当超过最小拉力载荷直至拉断时，断裂应发生在杆部或螺纹部分，而不应发生在螺头与杆部的交接处。

普通螺栓的材料性能等级一般为 4.6、4.8、5.6、5.8、6.8、8.8、9.8、10.9、12.9。

五、焊接球节点与螺栓球节点

(一) 检测依据

- | | |
|-------------------|---------------|
| (1) 钢网架焊接空心球节点 | JGT 11-2009 |
| (2) 钢网架螺栓球节点 | JGT 10-2009 |
| (3) 钢结构工程施工质量验收规范 | GB 50205-2001 |

(二) 焊接球

焊接空心球节点由焊接空心球和杆件组成。

(1) 抽样方法

零部件样本应从提交检验批中随机抽取，检验批可以按交货验收的同一种型号产品作为一批，但每批不应少于 150 件，对连续生产的同一型号产品可由制造厂的技术检验部门分批检验，但批不应多于 3500 件。按每批的数量抽取 5% 样本，且不应少于 5 件进行检验。

(2) 判定方法

检验结果当符合第 5 章要求时，可判定为合格产品。主要检验项目有一项不合格时，则判为不合格产品。此时应加倍抽取样本进行复验，如复验合格可判该批产品为合格产品。

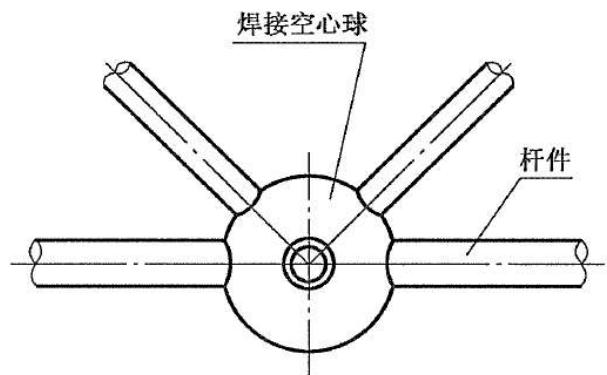
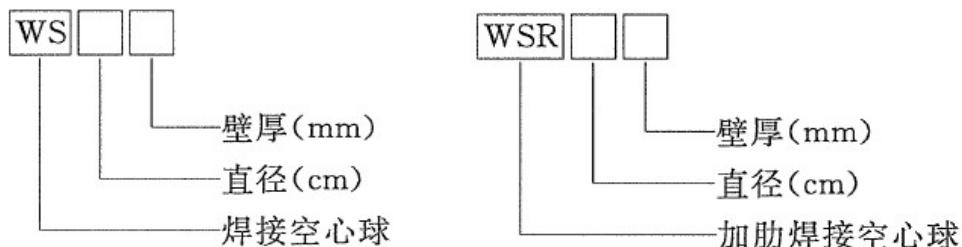


图 17 焊接空心球节点

焊接球节点的标记



焊接空心球的极限承载力试验

焊接空心球的极限承载力试验,一般采用单向拉、压试验。单向拉力试验试件应符合图 18 规定,单向压力试验试件应符合图 19 规定,

试验时焊接空心球应随机抽样,试验所用的钢管规格应按 JGT 11-2009 标准表 3 和表 4 相应选用,适当增加钢管壁厚。在加肋钢球上钢管应焊在加肋方向,焊缝应全熔透。试验结果应符合 JGT 11-2009 表 3 和表 4 规定的数值。

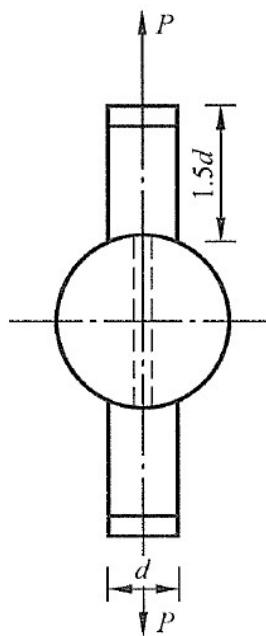


图 18 单向拉力试验试件

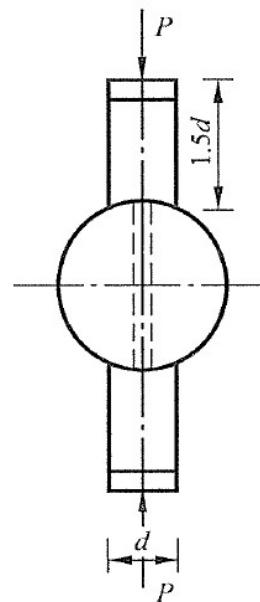


图 19 单向压力试验试件

压弯焊接空心球的试验

承受轴力与弯矩共同作用的焊接空心球节点的承载力试验，具体可采用偏心轴向力的加载方式。试件简图应符合图20要求。

压弯焊接空心球节点试验所用的钢管规格应按 JGT 11-2009 标准表 3 和表 4 相应选用，适当增加钢管壁厚。试件两端的钢管应焊接具有足够刚度的加载梁，加载梁长度由试验偏心距决定。在加肋钢球上钢管应焊在加肋方向，焊缝应全熔透。试验结果应符合 JGT 11-2009 标准表 3 和表 4 规定的数值。试验结果应符合 JGT 11-2009 标准 5.1.3 的要求。

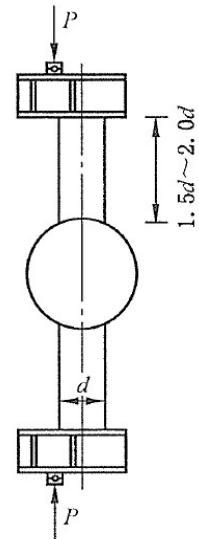
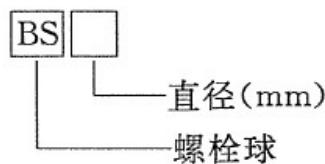


图20 偏心轴向力的加载方式

(三) 螺栓球

螺栓球节点由螺栓球、高强度螺栓、套筒、紧固螺钉和锥头或封板等零、部件组成的节点，见图21。

螺栓球的标记



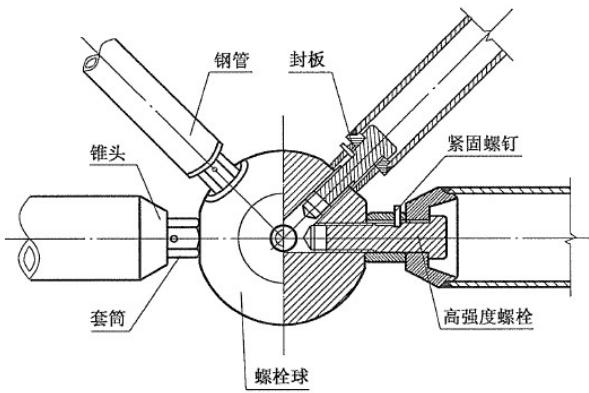


图 21 螺栓球节点

螺栓球几何参数及形位偏差，可采用游标卡尺和形位公差测量仪进行检测；螺纹采用标准止通规检查；角度用专用角度尺测量；微裂纹用 10 倍放大镜目测或进行磁粉探伤检验。

螺栓球和高强度螺栓组成的拉力载荷试件如图 22 所示，试件在批量产品中随机抽样，采用单向拉伸试验方法，试验结果应符合标准 JGT 10-2009 表 5 要求。

高强度螺栓几何尺寸及形位偏差，可采用螺纹量规和光滑极限量规、游标卡尺、套模检测；微裂纹采用磁粉探伤检验。当高强度螺栓直径大于 30mm 时，应逐个进行外观检验。

封板或锥头与钢管的连接焊接拉力载荷试验在拉力试验机或在有拉力的试验装置上进行，采用轴力拉伸试验方法，试件简图如图 23 所示，试件随机抽样后，取其端部两段，在开口端再焊上封板或锥头。

(1) 抽样方法

零部件样本应从提交检验批中随机抽取，检验批可以按交货验收的同一种型号产品作为一批，但每批不应少于 150 件，对连续生产的同一型号产品可由制造厂的技术检验部门分批检验，但批不应多于 3500 件。按每批的数量抽取 5% 样本，且不应少于 5 件进行检验。

(2) 判定方法

检验结果当符合 JGT 10-2009 第 5 章要求时，可判定为合格产品。主要检验项目有一项不合格时，则判为不合格产品。此时应加倍抽取样本进行复验，如复验合格可判该批产品为合格产品。

被判定为不合格的产品的检验项为焊缝时，返修次数不宜超过两次，返修后的产品应重新检验是否合格。

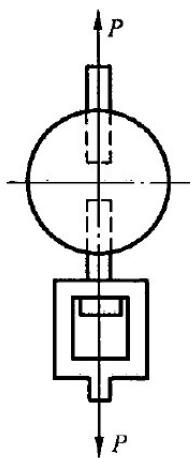


图 22 螺栓球与高强螺栓组成的拉力试验



图 23 封板与钢管连接的拉力试件