

# 学习情境一

## 钢结构常用材料



### 情境引入

如图 1-1 所示,双角钢(长肢相连)和节点板用直角角焊缝相连,采用三面围焊,焊接过程中采用引弧板,钢材为 Q235,焊条为 E43 型,手工焊,已知  $f_t^w = 160\text{N}/\text{mm}^2$ ,  $h_f = 8\text{mm}$ ,分配系数  $k_1 = 0.65, k_2 = 0.35$ 。

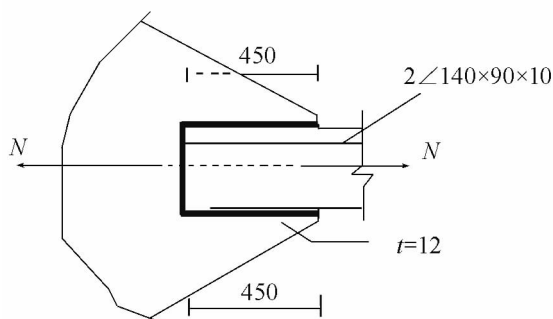


图 1-1 双角钢与节点板的连接



### 案例导航

上述案例中,有关钢材的品种与规格型号,不同的建筑采用不同规格型号的材料。钢材的主要性能包括:力学性能(屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、耐疲劳性、冲击韧性)和工艺性能(冷弯性能、焊接性能)。

要了解钢材方面的内容,需要掌握的相关知识如下。

- (1) 钢材的品种与规格;
- (2) 影响钢材性能的因素;
- (3) 钢材的选用与验收。

# 1 学习单元一 钢材

## 知识目标

- (1) 了解钢材的品种及规格；
- (2) 熟悉钢材的主要性能及影响因素；
- (3) 掌握钢材的选用及验收方法。

## 技能目标

- (1) 能够根据施工的需要、设计的要求合理选择钢材；
- (2) 能够正确地检验和验收材料,以保证正常施工。

## 基础知识

### 一、钢材的分类

#### (一) 钢板与钢带

一般情况下,钢板是指宽厚比和表面积都很大的扁平钢材。钢带是指长度很长,可成卷供应的钢板。

##### 1. 钢板的分类

根据钢板的薄厚程度,钢板大致可分为薄钢板(厚度小于或等于 4mm)和厚钢板(厚度大于 4mm)两种。在实际工作中,常将厚度为 4~20mm 的钢板称为中板;将厚度为 20~60mm 的钢板称为厚板;将厚度在 60mm 以上的钢板称为特厚板。成张钢板的规格以“厚度×宽度×长度”的毫米数表示。

##### 2. 钢带的分类

钢带可分为两种,当宽度大于或等于 600mm 时,称为宽钢带;当宽度小于 600mm 时,称为窄钢带。钢带的规格以“厚度×宽度”的毫米数表示。

#### (二) 型钢

##### 1. 按材质的不同分类

按材质的不同,型钢可分为普通型钢和优质型钢。

(1) 普通型钢是由碳素结构钢和低合金高强度结构钢制成的型钢,主要用于建筑结构。

(2) 优质型钢也称优质型材,是由优质钢,如优质碳素结构钢、合金结构钢、易切削结构钢、弹簧钢、滚动轴承钢、碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢、不锈钢耐酸钢、耐热钢等制成的型钢,主要用于各种机器结构、工具及有特殊性能要求的结构。

##### 2. 按生产方法的不同分类

按生产方法的不同,型钢可分为热轧(锻)型钢、冷弯型钢、冷拉型钢、挤压型钢和焊接型钢。

(1)用热轧方法生产型钢,具有生产规模大、效率高、能耗少和成本低等优点,是型钢生产的主要方法。

(2)用焊接方法生产型钢,是将矫直后的钢板或钢带剪裁、组合并焊接成型,不但节约金属,而且可生产特大尺寸的型钢,生产工字钢的最大尺寸已达到 $2\ 000\text{mm}\times 508\text{mm}\times 76\text{mm}$ 。

### 3. 按截面形状的不同分类

按截面形状的不同,型钢分为圆钢、方钢、扁钢、六角钢、等边角钢、不等边角钢、工字钢、槽钢和异形型钢等。

(1)圆钢、方钢、扁钢、六角钢、等边角钢及不等边角钢等的截面没有明显的凸凹分支部分,也称简单截面型钢或棒钢。在简单截面型钢中,优质钢与特殊性能钢占有相当大的比重。

(2)工字钢、槽钢和异形型钢的截面有明显的凸凹分支部分,成型比较困难,也称复杂截面型钢,即通常意义上的型钢。



#### 知识链接

异形型钢通常是指有专门用途的、截面形状比较复杂的型钢,如窗框钢、汽车车轮轮辋钢、履带板型钢及周期截面型钢等。周期截面型钢是指其截面形状沿长度方向呈周期性变化的型钢,如周期犁铧钢、纹杆钢等。

### (三)钢管

钢管是具有中空截面的长条形管状钢材。和圆钢等实心钢材相比,钢管在抗弯、抗扭强度相同时重量较轻,是一种经济截面钢材,故钢管广泛用于制造结构件和各种机械零件。

钢管按照截面形状的不同,分为圆管和异形管。

### (四)钢筋

#### 1. 按化学成分分类

按化学成分分类,钢筋可分为碳素钢钢筋和普通低合金钢钢筋两种。

(1)碳素钢钢筋是由碳素钢轧制而成的。碳素钢钢筋按含碳量多少又分为低碳钢钢筋(含碳量低于 $0.25\%$ )、中碳钢钢筋(含碳量为 $0.25\%\sim 0.7\%$ )、高碳钢钢筋(含碳量为 $0.7\%\sim 1.4\%$ )。常用的碳素钢钢筋有Q235、Q215等品种。含碳量越高,钢筋的强度及硬度也越高,但塑性、韧性、冷弯及焊接性能等均降低。

(2)普通低合金钢钢筋是在低碳钢和中碳钢的成分中加入少量元素(硅、锰、钛、稀土等)制成的钢筋。普通低合金钢钢筋的主要优点是强度高、综合性能好,用钢量比碳素钢钢筋少 $20\%$ 左右。常用的普通低合金钢钢筋有24MnSi、25MnSi、40MnSiV等品种。

#### 2. 按生产工艺分类

按生产工艺分类,钢筋可分为热轧钢筋、冷加工钢筋、钢丝与钢绞线。

(1)热轧钢筋是用加热钢坯轧成的条形钢筋。它由轧钢厂经过热轧成材供应,钢



常用钢筋的分类

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05

筋直径一般为 5~50mm,分直条和盘条两种。

(2)余热处理钢筋又称调质钢筋,是经热轧后立即穿水,进行表面控制冷却,并利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋。其外形为带肋的月牙肋。

(3)冷加工钢筋有冷拉钢筋、冷轧带肋钢筋和冷轧扭钢筋等。

(4)钢丝包括碳素钢丝、刻痕钢丝、冷拔低碳钢丝等。碳素钢丝是由优质高碳钢盘条经淬火、酸洗、拔制、回火等工艺制成的。按生产工艺分,它可分为冷拉及矫直回火两个品种。刻痕钢丝是把热轧大直径高碳钢加热,并经铅浴淬火,然后冷拔多次,钢丝表面再经过刻痕处理而制得的钢丝。冷拔低碳钢丝是由直径 6~8mm 的普通热轧圆盘条经多次冷拔而成,分甲、乙两个等级。

(5)钢绞线是由多根钢丝绞合构成的钢制品,可分为预应力钢绞线、无粘结钢绞线、镀锌钢绞线等。

## 二、钢材的主要性能

### (一)钢材的力学性能

#### 1. 屈服强度

钢材在单向均匀拉力作用下,根据应力—应变( $\sigma-\epsilon$ )曲线图(见图 1-2),可分为弹性、屈服、强化和局部变形等 4 个阶段。

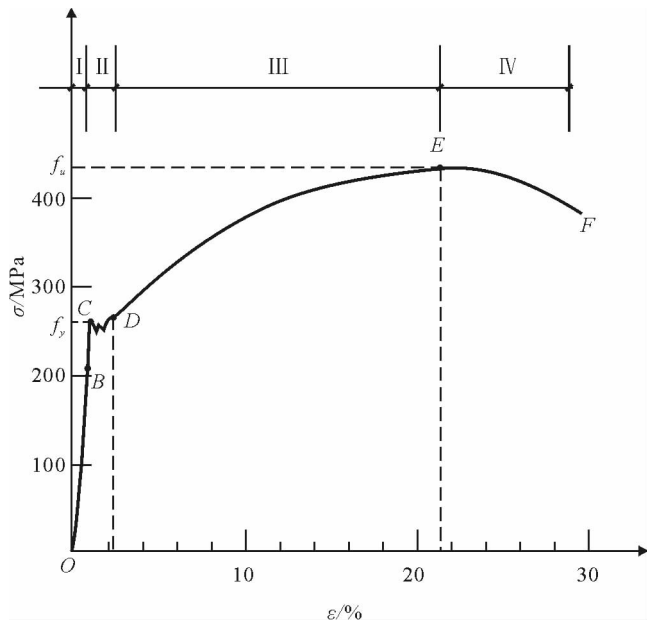


图 1-2 低碳钢的应力—应变( $\sigma-\epsilon$ )曲线图

人们将不可逆(塑性)变形开始出现时金属单位截面上的最低作用外力(见图 1-2 中 C 点)定义为屈服强度或屈服点。

钢结构强度校核时,根据荷载算得的应力小于材料的容许应力 $[\sigma_s]$ 时,结构是安全的。

容许应力 $[\sigma_s]$ 可用下式计算。

$$[\sigma_s] = \frac{\sigma_s}{K} \quad (1-1)$$

式中  $\sigma_s$ ——材料的屈服强度；

$K$ ——安全系数。

屈服强度是作为强度计算和确定结构尺寸的最基本参数。

### 2. 抗拉强度

钢材的抗拉强度表示其能承受的最大拉应力值(见图 1-2 中的  $E$  点)。在建筑钢结构中,以规定抗拉强度的上、下限作为控制钢材冶金质量的一个手段。

(1)如果抗拉强度太低,则意味着钢的生产工艺不正常,冶金质量不良(钢中气体、非金属夹杂物过多等);抗拉强度过高,则反映轧钢工艺不当,终轧温度太低,使钢材过分硬化,从而引起钢材塑性、韧性的下降。

(2)规定了钢材强度的上、下限就可以使钢材与钢材之间、钢材与焊缝之间的强度较为接近,使结构具有等强度的要求,避免因材料强度不均而产生过度的应力集中。

(3)控制抗拉强度范围还可以避免因钢材的强度过高而给冷加工和焊接带来困难。由于钢材应力超过屈服强度后会出现较大的残余变形,在结构中不能正常使用,因此钢结构设计是以屈服强度作为承载力极限状态的标志值,相应的在一定程度上的抗拉强度即作为强度储备。其储备率可用抗拉强度与屈服强度的比值——强屈比( $f_u/f_y$ )表示。强屈比越大,则强度储备越大。所以,钢材除要符合屈服强度外,还应符合抗拉强度的要求。

### 3. 断后伸长率

断后伸长率是钢材加工工艺性能的重要指标,并显示钢材冶金质量的好坏。断后伸长率是衡量钢材塑性及延性性能的指标。断后伸长率越大,表示塑性及延性性能越好,钢材断裂前永久塑性变形和吸收能量的能力越强。对于建筑结构钢,其断后伸长率  $\delta_5$  应为 16%~23%。钢的断后伸长率太低,可能是钢的冶金质量不好所致;断后伸长率太高,则可能引起钢的强度、韧性等其他性能的下降。随着钢的屈服强度等级的提高,其断后伸长率可以有少许降低。

### 4. 耐疲劳性

钢筋混凝土构件在交变荷载的反复作用下,往往在应力远小于屈服强度时发生突然的脆性断裂,这种现象称为疲劳破坏。

### 5. 冲击韧性

钢材的冲击韧性是衡量钢材断裂时所做功的指标,以及在低温、应力集中、冲击荷载等作用下,衡量抵抗脆性断裂的能力。钢材中的非金属夹杂物、脱氧不良等都将影响其冲击韧性。为了保证钢结构建筑物的安全,防止低应力脆性断裂,建筑结构钢必须具有良好的韧性。目前,关于钢材脆性破坏的试验方法较多,冲击试验是最简便的检验钢材缺口韧性的试验方法,也是建筑结构钢的验收试验项目之一。

钢材的冲击韧性采用 V 形缺口的标准试件,如图 1-3 所示。冲击韧性用冲击荷载使试件断裂时所吸收的冲击功  $A_{kv}$  表示,单位为 J。

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05

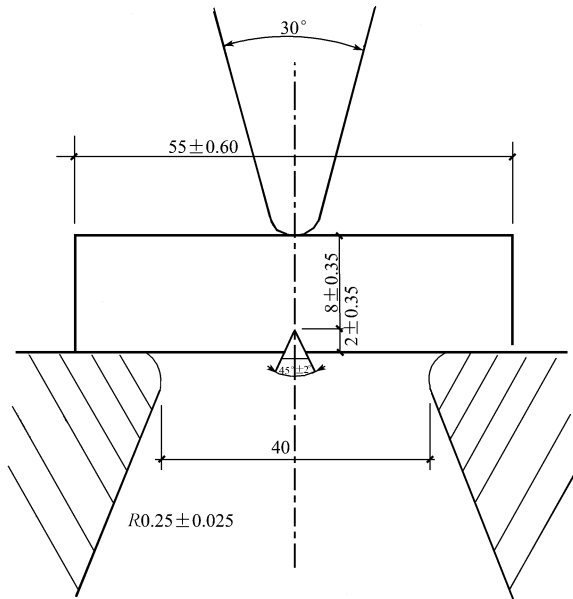


图 1-3 冲击试验示意图(单位:cm)

## (二) 钢材的工艺性能

### 1. 冷弯性能

钢材的冷弯性能是指钢材在常温下能承受弯曲而不破裂的能力。钢材的弯曲程度常用弯心直径或弯曲角度与材料厚度的比值表示,该比值越小,钢材的冷弯性能越好。

冷弯试验是测定钢材冷弯性能的重要手段。它以试件在规定的弯心直径下弯曲到一定角度不出现裂纹、断裂或分层等缺陷为合格标准。在试验钢材冷弯性能的同时,也可以检验钢的冶金质量。



### 小技巧

在冷弯试验中,钢材开始出现裂纹时的弯曲角度及裂纹的扩展情况显示了钢的抗裂能力,在一定程度上反映出钢的韧性。

### 2. 焊接性能

钢材的焊接性能是指钢材适应焊接工艺和焊接方法的能力。焊接性能好的钢材适应焊接工艺和焊接方法的能力强,可采用常用的焊接工艺与焊接方法进行焊接。焊接性能差的钢材焊接时,应注意焊后可能出现的变形、开裂等现象。



## 三、影响钢材性能的因素

### (一) 化学成分对钢材性能的影响

钢材的主要化学成分是铁和碳,另外还有一些合金元素和有害杂质元素。这些元素对钢材性能的影响如表 1-1 所示。

表 1-1 化学成分对钢材性能的影响

名称	在钢材中的作用	对钢材性能的影响
碳(C)	决定强度的主要因素。碳素钢中碳含量应为 0.04%~1.7%，合金钢中碳含量应为 0.5%~0.7%	含量增高,强度和硬度增高,塑性和冲击韧性下降,脆性增大,冷弯性能、焊接性能变差
硅(Si)	加入少量,能提高钢的强度、硬度和弹性,能使钢脱氧,有较好的耐热性、耐酸性。碳素钢中硅含量不应超过 0.5%,超过限值则成为合金钢的合金元素	含量超过 1%时,使钢的塑性和冲击韧性下降,冷脆性增大,可焊性、抗腐蚀性变差
锰(Mn)	提高钢的强度和硬度,可使钢脱氧去硫。碳素钢中锰含量在 1%以下;合金钢中锰含量大于 1%时,即成为合金元素	少量锰可降低脆性,改善塑性、韧性、热加工性和焊接性能;含量较高时,会使钢塑性和韧性下降,脆性增大,焊接性能变坏
磷(P)	为有害元素,降低钢的塑性和韧性,出现冷脆性,也能使钢的强度显著提高,同时提高大气腐蚀稳定性,含量应限制在 0.05%以下	含量提高,在低温下使钢变脆,在高温下使钢缺乏塑性和韧性,焊接及冷弯性能变坏。其危害与含碳量有关,在低碳钢中影响较小
硫(S)	为有害元素,使钢热脆性增大,含量应限制在 0.05%以下	含量高时,焊接性能、韧性和抗蚀性将变差,在高温热加工时容易产生断裂
钒、铌(V、Nb)	使钢脱氧除气,显著提高强度。合金钢中含量应小于 0.5%	少量可提高低温韧性,改善可焊性;含量多时,会降低焊接性能
钛(Ti)	钢的强脱氧剂和除气剂,可显著提高强度,能与碳和氮作用生成碳化钛(TiC)和氮化钛(TiN)。低合金钢中钛含量应为 0.06%~0.12%	少量可改善塑性、韧性和焊接性能,降低热敏感性
铜(Cu)	含少量铜对钢不起显著作用,可提高抗大气腐蚀性	含量增加到 0.25%~0.3%时,焊接性能变坏;增加到 0.4%时,发生热脆现象

### (二)温度对钢材性能的影响

钢材在 200℃ 以下时性能变化不大,但温度达到 250℃ 及以上时,钢材的抗拉强度会有所提高,但冲击韧性会变差,钢材变脆。

当温度从常温开始下降时,钢材的强度稍有提高,但冲击韧性下降;当温度下降到某一数值时,钢材的冲击韧性突然显著下降,使钢材产生脆性而易发生断裂。

### (三)冶炼缺陷对钢材性能的影响

钢材冶炼缺陷有偏析、非金属夹杂和分层等,对钢材性能的影响如表 1-2 所示。

表 1-2 冶炼缺陷对钢材性能的影响

缺陷类型	对钢材性能的影响
偏析	如果钢材中的某些杂质元素分布不均匀,即杂质元素集中于某一部位,则会使钢材冶炼产生偏析,将严重影响钢材的性能。特别是硫、磷等元素的偏析,会使钢材的冲击韧性及冷弯性能变差
非金属夹杂	夹杂的硫化物、氧化物等会对钢材的性能产生严重影响
分层	在厚度方向上分成多层,但仍然相互连接而并未分离的现象称为分层。分层现象会降低钢材的冷弯性能、冲击韧性、疲劳强度和抗脆断能力

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05



#### (四)热处理及残余应力对钢材性能的影响

(1)经过适当的热处理可显著提高钢材的强度并保持良好的塑性和韧性。

(2)钢材在加工过程中温度不均匀冷却而产生的残余应力是一种自相平衡的应力,它不影响钢材的静力强度,但会降低钢材的刚度和稳定性。



#### 四、钢材的选用

选择建筑结构钢材时,应符合图纸设计要求的規定,表 1-3 所示为钢材选择一般原则。当然,在保证钢结构安全可靠的同时,还应考虑其他因素,如表 1-4 所示。



表 1-3 钢材选用的一般原则

项次	结构类型		计算温度	选用牌号
1	直接承受动力荷载的结构	重级工作制起重机梁或类似结构	—	Q235 镇静钢或 Q345 钢
		轻、中级工作制起重机梁或类似结构		
2	焊接结构	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构	等于或低于 $-20^{\circ}\text{C}$	同项次 1
3			高于 $-20^{\circ}\text{C}$	Q235 沸腾钢
4			等于或低于 $-30^{\circ}\text{C}$	同项次 1
5			高于 $-30^{\circ}\text{C}$	
6			非焊接结构	直接承受动力荷载的结构
7	高于 $-20^{\circ}\text{C}$			
8	轻、中级工作制起重机梁或类似结构	—		同项次 1
9	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		—	同项次 1

表 1-4 钢材选用考虑的其他因素

序号	因素	内容说明
1	结构的重要性	根据建筑结构的重要程度和安全等级选择相应的钢材等级
2	荷载特性	根据荷载的性质不同选用适当的钢材,包括静力或动力、经常作用还是偶然作用、满载还是不满载等情况,同时提出必要的质量保证项目
3	连接方式	焊接连接时要求所用钢材的碳、硫、磷及其他有害化学元素的含量应较低,塑性和韧性指标要高,焊接性要好。对非焊接连接的结构可适当降低要求



续表

序号	因素	内容说明
4	钢材厚度	厚度大的钢材性能较差,应采用质量好的钢材
5	结构的工作环境温度	对在低温下工作的结构,尤其是焊接结构,应选用有良好抗低温脆断性能的镇静钢



## 五、钢材的检验

### (一) 钢材检验的类型与内容

#### 1. 钢材检验的类型

根据钢材信息和保证资料的具体情况,其质量检验类型可分为免检、抽检和全部检验 3 种。

(1)免检,即免去质量检验过程。对有足够质量保证的一般材料,以及实践证明质量长期稳定且质量保证资料齐全的材料,可予免检。

(2)抽检,即按随机抽样的方法对材料进行抽样检验。当对材料的性能不清楚,或对质量保证有怀疑,或成批生产的构配件,均应按一定比例进行抽样检验。

(3)全部检验。对进口的材料、设备和重要工程部位的材料以及贵重材料,应进行全部检验,以确保材料和工程质量。

#### 2. 钢材检验的内容

(1)钢材的数量和品种应与订货合同相符。

(2)钢材的质量保证书应与钢材上打印的记号相符,每批钢材必须具备生产厂提供的材质证明书,写明钢材的炉号、钢号、化学成分和机械性能。对钢材的各项指标,可根据相关国家标准的规定进行核验。

(3)核对钢材的规格尺寸,各类钢材尺寸的允许偏差可参照有关国标或冶标中的规定。

(4)钢材表面质量检验,不论扁钢、钢板或型钢,其表面均不允许有结疤、裂纹、折叠和分层等缺陷。有上述缺陷的应另行堆放,以便研究处理。钢材表面的锈蚀深度不得超过其厚度负偏差值的 1/2。锈蚀等级的划分和除锈等级可参照《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 3 部分:焊缝、边缘和其他区域的表面缺陷的处理等级》(GB/T 8923. 3—2009)。

经检验发现“钢材质量保证书”上数据不清、不全,材质标记模糊,表面质量、外观尺寸不符合有关标准要求时,应视具体情况重新进行复核和复验鉴定。经复核复验鉴定合格的钢材方可正式入库,不合格的钢材应另行处理。

### (二) 钢材的复验

(1)钢材的进场验收,除应符合相关规范的规定外,还应符合国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)的有关规定。

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05



知识链接

钢材复验的情形

对属于下列情形之一的钢材,应进行抽样复验。

- (1) 国外进口钢材。
- (2) 钢材混批。
- (3) 板厚等于或大于 40mm,且设计有 Z 向性能要求的厚板。
- (4) 建筑结构安全等级为一级,大跨度钢结构中主要受力构件所采用的钢材。
- (5) 设计有复验要求的钢材。
- (6) 对质量有怀疑的钢材。

(2) 钢材复验内容应包括力学性能试验和化学成分分析,其取样、制样及试验方法可按表 1-5 所示标准执行。

表 1-5 钢材试验标准

标准编号	标准名称
GB/T 2975—1998	《钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备》
GB/T 228.1—2010	《金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》
GB/T 229—2007	《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》
GB/T 232—2010	《金属材料 弯曲试验方法》
GB/T 20066—2006	《钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法》
GB/T 22—2006	《钢的成品化学成分允许偏差》

(3) 当设计文件无特殊要求时,钢结构工程中常用牌号钢材的抽样复验检验批应按下列规定执行。

1) 牌号为 Q235、Q345 且板厚小于 40mm 的钢材,应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 150t;同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 400t。

2) 牌号为 Q235、Q345 且板厚大于或等于 40mm 的钢材,应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60t;同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 400t。

3) 牌号为 Q390 的钢材,应按同一生产厂家、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60t;同一生产厂家的钢材供货重量超过 600t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 300t。

4) 牌号为 Q235GJ、Q345GJ、Q390GJ 的钢材,应按同一生产厂家、同一牌号、同一质量等级的钢材组成检验批,每批重量不应大于 60t;同一生产厂家、同一牌号的钢材供货重量超过 600t 且全部复验合格时,每批的组批重量可扩大至 300t。

5) 牌号为 Q420、Q460、Q420GJ、Q460GJ 的钢材,每个检验批应由同一牌号、同一质量等级、同一炉号、同一厚度、同一交货状态的钢材组成,每批重量不应大于 60t。

6) 有厚度方面要求的钢板,应附加逐张超声波无损探伤复验。

(4)进口钢材复验的取样、制样及试验方法应按设计文件和合同规定执行。海关商检结果经监理工程师认可后,可作为有效的材料复验结果。

由于翼缘的厚度比腹板大,屈服强度比腹板低,而且翼缘是受力构件的关键部位,所以做热轧型钢的力学性能试验时,原则上应该从翼缘上切取试样。但有些热轧型钢的翼缘内侧有坡度,不便作试样,所以工字钢、槽钢、角钢、T型钢等都是从腹板上切取样坯,H型钢和剖分T型钢可从翼缘上切取样坯。

钢板的轧制过程使其纵向力学性能优于横向力学性能。因此,采用纵向试样或横向试样,复验结果会有差别。国家标准中要求钢板、钢带的拉伸和弯曲试验取横向试件,而冲击韧性试验取纵向试件。各种型材和钢板的取样部位如图 1-4 所示。

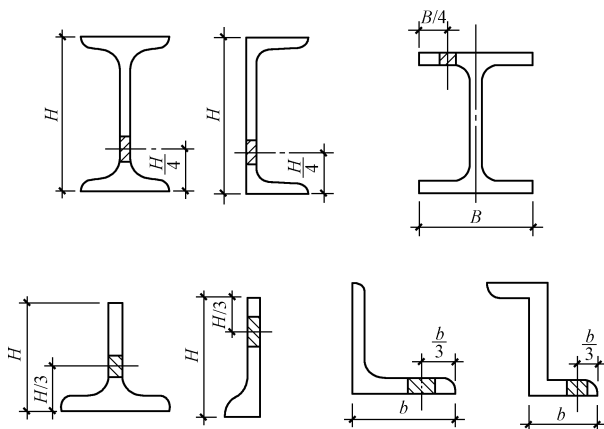


图 1-4 各种型材和钢板的取样部位

### (三) 钢材检验的方法

钢材的质量检验方法有书面检验、外观检验、理化检验和无损检验 4 种。

#### 1. 书面检验

通过对提供的材料质量保证资料、试验报告等进行审核,取得认可后方可使用。

#### 2. 外观检验

对材料从品种、规格、标志、外形尺寸等进行直观检查,看其有无质量问题。

#### 3. 理化检验

借助试验设备和仪器对材料样品的化学成分、机械性能等进行科学的鉴定。

#### 4. 无损检验

在不破坏材料样品的前提下,利用超声波、X 射线、表面探伤仪等进行检测。钢材的质量检验项目要求如表 1-6 所示。

表 1-6 钢材的质量检验项目要求

材料名称	书面检验	外观检验	理化检验	无损检验
钢板	必须	必须	必要时	必要时
型钢	必须	必须	必要时	必要时

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

## 2

## 学习单元二 焊接材料

### 知识目标

了解焊接材料的品种、规格、性能等应符合的国家现行有关产品标准和设计要求。

### 技能目标

掌握钢结构中焊接材料所适用的焊接场地、焊接方法。

### 基础知识



#### 一、焊条

焊条是气焊或电焊时熔化填充在焊接工件接合处的金属条,由焊芯和药皮两部分组成,如图 1-5 所示。

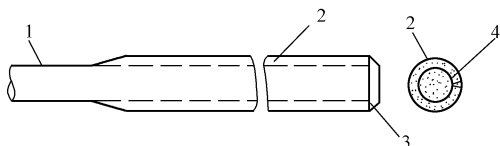


图 1-5 焊条组成示意图

1—夹持端;2—药皮;3—引弧端;4—焊芯

手工电弧焊时,焊条一方面传导焊接电流和引弧,同时焊条熔化后又作为填充金属直接过渡到熔池里,与熔化的液态基本金属熔合成焊缝。焊缝质量的好坏,与焊条的质量密切相关。

#### (一)焊条的偏心度

焊条药皮与焊芯(不包括夹持端)的质量比称为药皮质量系数。焊条直径是指不包括药皮的焊芯直径。

焊条的偏心度应符合要求。通常,直径不大于 2.5mm 的焊条,偏心度应不大于 7%;直径为 3.2mm 和 4.0mm 的焊条,偏心度应不大于 5%;直径不小于 5.0mm 的焊条,偏心度应不大于 4%。焊条的偏心度也可根据下式计算。

$$\text{焊条偏心度} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2}(T_1 + T_2)} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $T_1$ ——焊条断面药皮层最大厚度+焊芯直径;

$T_2$ ——同一断面药皮层最小厚度+焊芯直径。

#### (二)焊条药皮的质量

焊条药皮的质量应符合下列规定。

(1)焊条药皮应均匀、紧密地包覆在焊芯周围,整根焊条的药皮上不应有影响焊接质量的裂纹、气泡、杂质及剥落等缺陷。

(2)焊条引弧端药皮应倒角,焊芯端面应露出,以保证易于引弧。焊条露芯应符合如下规定。

1)E××15※、E××16、E5018、E××28 及 E5048 型焊条,沿长度方向的露芯长度应不大于焊芯直径的 1/2 或 1.6mm,取两者的较小值。

注意:※表示“43”或“50”。

2)其他型号焊条,沿长度方向的露芯应不大于圆周的一半。

(3)焊条药皮应具有足够的强度,不会在正常的搬运或使用过程中损坏。

### (三)手工焊接用焊条

手工焊接采用的焊条应符合国家标准《非合金钢及细晶粒钢焊条》(GB/T 5117—2012)和《热强钢焊条》(GB/T 5118—2012)的规定。标准中的焊条型号是按熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和电流种类等来划分的。选择的焊条型号应与主体金属的力学性能相适应。对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构,宜采用低氢型焊条。

焊条由字母 E 表示,建筑钢结构中采用手工焊时,碳钢焊条有 E43、E50 等系列。常用碳钢焊条和低合金钢焊条的规格分别如表 1-7 和表 1-8 所示。

表 1-7 常用碳钢焊条

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	
E43系列——熔敷金属的抗拉强度≥420MPa				
E4300	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接	
E4301	钛铁矿型			
E4303	钛钙型		直流反接	
E4310	高纤维素钠型			
E4311	高纤维素钾型	平、立、仰、横	交流或直流反接	
E4312	高钛钠型		交流或直流正接	
E4313	高钛钾型		交流或直流正、反接	
E4315	低氢钠型		直流反接	
E4316	低氢钾型	平	交流或直流反接	
E4320	氧化铁型		平	交流或直流正、反接
			平角焊	交流或直流正接
E4322		平	交流或直流正接	
E4323	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接	
E4324	铁粉钛型			
E4327	铁粉氧化铁型	平	交流或直流正、反接	
		平角焊	交流或直流正接	
E4328	铁粉低氢型	平、平角焊	交流或直流反接	

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

续表

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类	
E50系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$				
E5001	钛铁矿型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接	
E5003	钛钙型			
E5010	高纤维素钠型		直流反接	
E5011	高纤维素钾型		交流或直流反接	
E5014	铁粉钛型		交流或直流正、反接	
E5015	低氢钠型		直流反接	
E5016	低氢钾型		交流或直流反接	
E5018	铁粉低氢钾型			
E5018M	铁粉低氢型		直流反接	
E5023	铁粉钛钙型	平、平角焊	交流或直流正、反接	
E5024	铁粉钛型	平、平角焊	交流或直流正、反接	
E5027	铁粉氧化铁型		交流或直流正接	
E5028	铁粉低氢型		平、仰、横、立向下	交流或直流反接
E5048				

- 注：①“焊接位置”栏中文字的含义：平—平焊、立—立焊、仰—仰焊、横—横焊、平角焊—水平角焊、立向下—向下立焊。
- ②“焊接位置”栏中“立”和“仰”是指适用于立焊和仰焊的直径不大于4.0mm的E5014、 $E \times \times 15$ 、 $E \times \times 16$ 、E5018和E5018M型焊条及直径不大于5.0mm的其他型号焊条。
- ③焊条型号编写方法为，字母“E”表示焊条；前两位数字后面加0（如50改为500）表示熔敷金属抗拉强度的最小值，单位为MPa；第三位数字表示焊条的焊接位置，“0”“1”表示焊条适用于全位置焊接（平焊、立焊、仰焊及横焊），“2”表示焊条适用于平焊及平角焊；第三位和第四位数字组合时表示焊接电流种类及药皮类型；后缀字母为熔敷金属的化学成分分类代号，并以连字符“-”与前面的数字分隔。如还具有附加化学成分，则附加化学成分直接用元素符号表示，并以连字符“-”与前面的后缀字母分隔。
- ④ E4322型焊条适合使用单道焊。

表 1-8 常用低合金钢焊条

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E50系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 490\text{MPa}$			
E5003-X	钛钙型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E5010-X	高纤维素钠型		直流反接
E5011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E5015-X	低氢钠型		直流反接
E5016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E5018-X	铁粉低氢型		
E5020-X	高氧化铁型	平角焊	交流或直流正接
		平	交流或直流正、反接

续表

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E5027-X	铁粉氧化铁型	平角焊	交流或直流正接
		平	交流或直流正、反接
E55系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 540$ MPa			
E5500-X	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E5503-X	钛钙型		直流反接
E5510-X	高纤维素钠型		交流或直流反接
E5511-X	高纤维素钾型		交流或直流正、反接
E5513-X	高钛钾型		直流反接
E5515-X	低氢钠型		交流或直流反接
E5516-X	低氢钾型		直流反接
E5518-X	铁粉低氢型		交流或直流反接
E60系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 590$ MPa			
E6000-X	特殊型	平、立、仰、横	交流或直流正、反接
E6010-X	高纤维素钠型		直流反接
E6011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E6013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接
E6015-X	低氢钠型		直流反接
E6016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E6018-X	铁粉低氢型		交流或直流反接
E70系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 690$ MPa			
E7010-X	高纤维素钠型	平、立、仰、横	直流反接
E7011-X	高纤维素钾型		交流或直流反接
E7013-X	高钛钾型		交流或直流正、反接
E7015-X	低氢钠型		直流反接
E7016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E7018-X	铁粉低氢型		交流或直流反接
E75系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 740$ MPa			
E7515-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E7516-X	低氢钾型		交流或直流反接
E7518-X	铁粉低氢型		交流或直流反接
E80系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 780$ MPa			
E8015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E8016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E8018-X	铁粉低氢型		交流或直流反接

chapter  
01

chapter  
02

chapter  
03

chapter  
04

chapter  
05



续表

焊条型号	药皮类型	焊接位置	电流种类
E85系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 830\text{MPa}$			
E8515-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E8516-X	低氢钾型		交流或直流反接
E8518-X	铁粉低氢型		
E90系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 880\text{MPa}$			
E9015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E9016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E9018-X	铁粉低氢型		
E100系列——熔敷金属的抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$			
E10015-X	低氢钠型	平、立、仰、横	直流反接
E10016-X	低氢钾型		交流或直流反接
E10018-X	铁粉低氢型		

注：后缀字母“X”代表熔敷金属的化学成分分类代号 A<sub>1</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 等。

#### (四) 焊条质量检验

为保证焊条质量,焊条应具有质量合格证,不得使用无合格证的焊条。对有合格证,但怀疑质量有问题的,应按批抽查检验,合格后方可使用。焊条检验主要有以下几种方法。

##### 1. 焊接检验

质量好的焊条焊接中电弧燃烧稳定,焊条药皮和焊芯熔化均匀同步,电弧无偏移,飞溅少,焊缝表面的熔渣薄厚覆盖均匀,保护性能好,焊缝成型美观,脱渣容易。

此外,还应对焊缝金属的化学成分、力学性能、抗裂性能进行检验,保证各项指标在国家标准或部级标准规定的范围内。

##### 2. 焊条药皮外表检验

用肉眼观察药皮表面光滑细腻、无气孔、无药皮脱落和机械损伤,药皮偏心度应符合《非合金钢及细晶粒钢焊条》的规定,焊芯无锈蚀现象。

##### 3. 焊条药皮强度检验

将焊条平置 1m 高,自由平行落到光滑的厚钢板表面,如果药皮无脱落,即证明药皮强度达到了质量要求。

##### 4. 焊条受潮检验

将焊条在焊接回路中短路数秒钟,如果药皮有气,或焊接中有药皮成块脱落,或产生大量水汽,有爆裂现象,则说明焊条受潮。受潮严重的焊条不得使用,受潮不严重时干燥后再用。





## 二、自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂

### (一)管状焊丝

管状焊丝是一种新的焊接材料,它是用 H08A 薄钢带通过一系列轧辊,并在某一成型时,加入所要求的粉剂轧制拉拔而成,适用于自动、半自动焊接,用气体、焊剂保护或自保护,可用于结构焊接、堆焊等;焊丝截面有 E 形、T 形、O 形等各种形状。

(1)管状焊丝的牌号、规格、成分、特征和用途如表 1-9 所示。

表 1-9 管状焊丝的牌号、规格、特征和用途

牌号	焊丝直径/mm	粉剂类型	焊接电源	焊缝金属主要成分/%	主要用途
管结 420-1 强 (GJ 420-1Q)	2.4	铁合金、 铁粉	交直流	碳—0.1 锰—1.2 硅—0.5	用于立向强迫成型自动焊。焊接重要的低碳钢和强度等级低的低合金钢结构
管结 502-1 (GJ 502-1)	2.1、2.8、 3.2	钛钙型	交直流	碳—0.1 锰—1.2 硅—0.5	用于焊接较重要的低碳钢和相应强度等级的低合金钢

(2)管状焊丝焊缝金属的力学性能如表 1-10 所示。

表 1-10 管状焊丝焊缝金属的力学性能

牌号	焊缝金属的力学性能				
	抗拉强度 /N·mm <sup>-2</sup>	延伸率 /%	冲击值/N·cm <sup>-2</sup>		冷弯角/ (°)
			常温	-40℃	
管结 420-1 强 (GJ 420-1Q)	450~550≥500	25~35	10~16≥8	35~100	120

(3)由于管状焊丝的刚性、挺度不如实芯焊丝,因此在使用管状焊丝时最好采用双主动的送丝机构。

(4)自动或半自动埋弧焊采用的焊丝应与主体金属强度相适应,即应使熔敷金属的强度与主体金属的强度相等。焊丝应符合《熔化焊用钢丝》(GB/T 14957—1994)、《碳钢药芯焊丝》(GB/T 10045—2001)和《低合金钢药芯焊丝》(GB/T 17493—2008)的规定,气体保护焊采用的焊丝应符合《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》(GB/T 8110—2008)的规定,碳钢焊丝的规格如表 1-11 所示,合金钢焊丝的规格如表 1-12 所示。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

表 1-11 碳钢焊丝

牌号	名称	主要元素含量/%						
		C	Mn	Si $\leq$	Cr $\leq$	Ni $\leq$	S $\leq$	P $\leq$
H08	焊 08	$\leq 0.10$	0.30~0.55	0.03	0.20	0.30	0.040	0.040
H08A	焊 08 高	$\leq 0.10$	0.30~0.55	0.03	0.20	0.30	0.030	0.030
H08E	焊 08 特	$\leq 0.10$	0.30~0.55	0.03	0.20	0.30	0.025	0.025
H08Mn	焊 08 锰	$\leq 0.10$	0.80~1.10	0.07	0.20	0.30	0.040	0.040
H08MnA	焊 08 锰高	$\leq 0.10$	0.80~1.10	0.07	0.20	0.30	0.030	0.035
H15A	焊 15 高	0.11~0.18	0.35~0.65	0.03	0.20	0.30	0.030	0.030
H15Mn	焊 15 锰	0.11~0.18	0.80~1.10	0.03	0.20	0.30	0.040	0.040

表 1-12 合金钢焊丝

牌号	名称	主要元素含量/%								
		C	Mn	Si $\leq$	Cr $\leq$	Ni $\leq$	Mo	V	S $\leq$	P $\leq$
H10Mn2	焊 10 锰 2	0.12	1.50~1.90	0.07	0.20	0.30			0.040	0.040
H08Mn2Si	焊 08 锰 2 硅	0.11	1.70~2.10	0.65~0.95	0.20	0.30			0.040	0.040
H08Mn2SiA	焊 08 锰 2 硅高	0.11	1.80~2.10	0.65~0.95	0.20	0.30			0.030	0.030
H10MnSi	焊 10 锰硅	0.14	0.80~1.10	0.60~0.90	0.20	0.30			0.030	0.040
H10MnSiMo	焊 10 锰硅钼	0.14	0.90~1.20	0.70~1.10	0.20	0.30	0.15~0.25		0.030	0.040
H10MnSiMoTiA	焊 10 锰硅钼钛高	0.08~0.12	1.00~1.30	0.40~0.70	0.20	0.30	0.20~0.40		0.025	0.030
H08MnMoA	焊 08 锰钼高	0.10	1.20~1.60	0.25	0.20	0.30	0.30~0.50		0.03	0.030
H08Mn2MoA	焊 08 锰 2 钼高	0.06~0.11	1.60~1.90	0.25	0.20	0.30	0.50~0.20		0.030	0.030
H10Mn2MoA	焊 10 锰 2 钼高	0.08~0.13	1.70~2.00	0.40	0.20	0.30	0.60~0.80		0.030	0.030

续表

牌号	名称	主要元素含量/%								
		C	Mn	Si≤	Cr≤	Ni≤	Mo	V	S≤	P≤
H08Mn2MoVA	焊 08 锰 2 钼钒高	0.06~ 0.11	1.60~ 1.90	0.25	0.20	0.30	0.50~ 0.70	0.06~ 0.12	0.030	0.030
H10Mn2MoVA	焊 10 锰 2 钼钒高	0.08~ 0.13	1.70~ 2.00	0.40	0.20	0.30	0.60~ 0.80	0.06~ 0.12	0.030	0.030
H08CrMoA	焊 08 铬钼高	0.10	0.40~ 0.70	0.15~ 0.35	0.80~ 1.10	0.30	0.40~ 0.60		0.030	0.030
H13CrMoA	焊 13 铬钼高	0.11~ 0.16	0.40~ 0.70	0.15~ 0.35	0.80~ 1.10	0.30	0.40~ 0.60		0.030	0.030
H18CrMoA	焊 18 铬钼高	0.15~ 0.22	0.40~ 0.70	0.15~ 0.35	0.80~ 1.10	0.30	0.15~ 0.25		0.025	0.030
H08CrMoVA	焊 08 铬 钼钒高	0.10	0.40~ 0.70	0.15~ 0.35	1.00~ 1.30	0.30	0.50~ 0.70	0.15~ 0.35	0.030	0.030
H08CrNi2MoA	焊 08 铬 镍 2 钼高	0.05~ 0.10	0.50~ 0.85	0.10~ 0.30	0.70~ 1.00	1.40~ 1.80	0.20~ 0.40		0.025	0.030



小提示

凡含钛的合金钢焊丝均加入 0.15% 的钛,仅 H10MnSiMoTiA 中加入 0.05%~0.15% 的钛。

(二) 焊剂

根据需要应符合《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》(GB/T 5293—1999)和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》(GB/T 12470—2003)的规定,常用焊剂牌号、主要化学成分及主要用途如表 1-13 所示。

表 1-13 常用焊剂牌号、主要化学成分及主要用途

国标型号	牌号	主要化学成分/%	主要用途
—	SJ101	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub> —25 CaF <sub>2</sub> —20 CaO+MgO—30 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO—25	配合H08MnA、H08MnMoA、H10Mn2等,可焊接多种低合金钢重要结构,如锅炉压力容器、管道等。它特别适合大直径容器双面单道焊
HJ402-H08MnA	SJ301	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub> —40 CaF <sub>2</sub> —10 CaO+MgO—25 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO—25	配合H08MnA、H08MnMoA、H10Mn2等,可焊接普通结构钢、锅炉用钢等,可多丝快速焊接大、小直径的钢管
HJ401-H08A	SJ401	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub> —45 CaO+MgO—10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO—40	配合H08A焊丝可焊接低碳钢及某些低合金钢,如机车车辆、矿山机械等金属结构

chapter  
01

chapter  
02

chapter  
03

chapter  
04

chapter  
05

续表

国标型号	牌号	主要化学成分/%	主要用途
HJ401-H08A	SJ501	SiO <sub>2</sub> + TiO <sub>2</sub> —30 CaF <sub>2</sub> —5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MnO—55	配合 H08A、H08MnA 等焊丝, 焊接低碳钢及某些低合金钢(如 15Mn、15MnV 等), 如锅炉、船舶、压力容器等, 特别适合双面单道焊

### 三、圆柱头焊钉

钢结构工程常用的圆柱头焊钉如图 1-6 所示, 一端为圆柱头, 另一端镶有铝制引弧结, 焊钉的形状、尺寸和材料技术要求应符合国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》(GB 10433—2002) 的规定。常用焊钉的尺寸和质量如表 1-14 所示。圆柱头焊钉的材料及机械性能如表 1-15 所示。

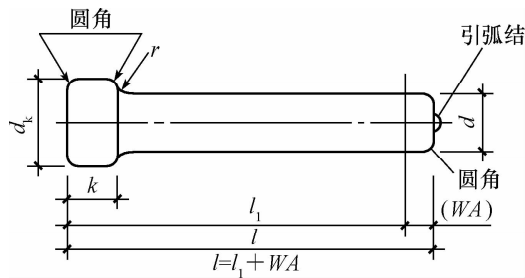


图 1-6 圆柱头焊钉的外形

表 1-14 常用焊钉的尺寸和质量

单位: mm

$d^{\text{①}}$	公称	10	13	16	19	22	25
	min	9.64	12.57	15.57	18.48	21.48	24.48
	max	10	13	16	19	22	25
$d_k$	max	18.35	22.42	29.42	32.5	35.5	40.5
	min	17.65	21.58	28.58	31.5	34.5	39.5
$d_1^{\text{②}}$		13	17	21	23	29	31
$h^{\text{②}}$		2.5	3	4.5	6	6	7
$k$	max	7.45	8.45	8.45	10.45	10.45	12.55
	min	6.55	7.55	7.55	9.55	9.55	11.45
$r(\text{min})$		2	2	2	2	3	3
$WA^{\text{③}}$		4	5	5	6	6	6
$l_1^{\text{④}}$		每 1 000 件(密度为 7.85g/cm <sup>3</sup> )的质量 <sup>⑤</sup> /kg					
40		37	62				
50		43	73	116			

续表

60	49	83	131	188		
80	61	104	163	232	302	404
100	74	125	195	277	362	481
120	86	146	226	321	422	558
150	105	177	274	388	511	673
180	123	208	321	455	601	789
200		229	352	499	660	866
220			384	544	720	943
250			431	611	810	1 059
300				722	959	1 251

- 注：①测量位置：距焊钉末端  $2d$  处。  
 ②指导值。在特殊场合，如穿透平焊，该尺寸可能不同。  
 ③WA 为熔化长度。  
 ④ $l_1$  是焊后长度设计值。在特殊场合，如穿透平焊，则较短。  
 ⑤焊前焊钉的理论质量。

表 1-15 圆柱头焊钉的材料及机械性能

材料	标准	机械性能
ML15, ML15Al	《冷镦和冷挤压用钢》 (GB/T 6478—2015)	$\sigma_b \geq 400 \text{N/mm}^2$ $\sigma_s$ 或 $\sigma_{p0.2} \geq 320 \text{N/mm}^2$ $\delta_5 \geq 14\%$

# 3

## 学习单元三 紧固件

### 知识目标

- (1)了解普通螺栓的性能等级、化学成分、力学性能；
- (2)熟悉钢结构连接用紧固件的标准规定。

### 技能目标

掌握复验螺栓连接副的预拉力平均值和标准偏差应符合的规定。

### 基础知识

#### 一、普通螺栓

普通螺栓作为永久性连接螺栓，当设计有要求或对其质量有疑义时，应进行螺栓实物

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

最小拉力荷载复验。检查数量为每一规格的螺栓随机抽查 8 个,其质量应符合国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》(GB/T 3098.1—2010)的规定。

普通螺栓的材料用 Q235,分为 A、B 和 C 级。A 级和 B 级螺栓采用性能等级为 5.6 级或 8.8 级的钢材制造,C 级螺栓则采用性能等级为 4.6 级或 4.8 级的钢材制造。其中,“.”前面的数字表示公称抗拉强度  $f_u$  的 1/100;“.”后面的数字表示公称屈服强度  $f_y$  与公称抗拉强度  $f_u$  之比(屈强比)的 10 倍。例如,4.8 级表示  $f_u$  不小于  $400\text{N}/\text{mm}^2$ ,而最低值为  $0.8 \times 400\text{N}/\text{mm}^2 = 320\text{N}/\text{mm}^2$ 。

A 级和 B 级螺栓的尺寸准确,精度较高,受剪性能良好,但是其制造和安装过于费工,并且高强度螺栓可代替其用于受剪连接,所以目前已很少采用。C 级螺栓一般用圆钢冷镦压制而成。其表面不加工,尺寸不准确,只能配用孔的精度和孔壁表面粗糙度不太高的 II 类孔。C 级螺栓在沿其杆轴方向的受拉性能较好,可用于受拉螺栓连接。对于受剪连接,适用于承受静力荷载或间接承受动力荷载结构中的次要连接、临时固定构件用的安装连接,以及不承受动力荷载的可拆卸结构的连接等。钢结构中常用普通螺栓的性能等级、化学成分及力学性能如表 1-16 所示。

表 1-16 普通螺栓的性能等级、化学成分及力学性能

性能等级		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8
材料		低碳钢	低碳钢或中碳钢	低碳钢或中碳钢	低碳钢或中碳钢	低碳钢或中碳钢	低碳钢或中碳钢
化学成分 /%	C	$\leq 0.20$	$\leq 0.55$	$\leq 0.55$	$\leq 0.55$	$\leq 0.55$	$\leq 0.55$
	P	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$	$\leq 0.05$
	S	$\leq 0.06$	$\leq 0.06$	$\leq 0.06$	$\leq 0.06$	$\leq 0.06$	$\leq 0.06$
抗拉强度 /MPa	公称	300	400	400	500	500	600
	最小	330	400	420	500	520	600
维氏硬度 HV30	最小	95	115	121	148	154	178
	最大	206	206	206	206	206	227



## 二、高强度螺栓

施工使用的高强度螺栓必须符合《钢结构用高强度大六角头螺栓》(GB/T 1228—2006)、《钢结构用高强度大六角螺母》(GB/T 1229—2006)、《钢结构用高强度垫圈》(GB/T 1230—2006)、《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)、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》(GB/T 3632—2008)以及其他有关标准的质量要求。高强度螺栓表面要进行发黑处理,不允许存在任何淬火裂纹并应符合下列要求。

(1)螺栓、螺母、垫圈均应附有质量证明书,并应符合设计要求和国家标准的规定。高强度螺栓(六角头螺栓、扭剪型螺栓等)、半圆头铆钉等孔的直径应比螺栓杆、钉杆公称直径大 1.0~3.0mm。螺栓孔应具有 H14(H15)的精度。

(2)高强度螺栓制造厂应对原材料(按加工高强度螺栓的同样工艺进行热处理)进



行抽样试验,其性能等级应符合表 1-17 所示的规定。

表 1-17 高强度螺栓的性能等级

性能等级	抗拉强度 $\sigma_b$ /N·mm <sup>-2</sup>		最大屈服强度 $\sigma_s$ /N·mm <sup>-2</sup>	伸长率 $\delta_5$ /%	收缩率 $\phi$ /%	冲击初度 $a_k$ /J·cm <sup>-2</sup>
	公称值	幅度值	不小于			
10.9S	1 000	1 000~1 124	900	10	42	59
8.8S	800	810~984	640	12	45	78

当高强度螺栓的性能等级为 8.8 级时,热处理后的硬度为 21~29HRC;性能等级为 10.9 级时,热处理后的硬度为 32~36HRC。

(3)高强度螺栓的抗拉极限承载力应符合表 1-18 所示的规定。

表 1-18 高强度螺栓的抗拉极限承载力

公称直径 $d$ /mm	公称应力截面积 $A_s$ /mm <sup>2</sup>	抗拉极限承载力/kN	
		10.9S	8.8S
12	84	84~95	68~83
14	115	115~129	93~113
16	157	157~176	127~154
18	192	192~216	156~189
20	245	245~275	198~241
22	303	303~341	245~298
24	353	353~397	286~347
27	459	459~516	372~452
30	561	561~631	454~552
33	694	694~780	562~663
36	817	817~918	662~804
39	976	976~1 097	791~960
42	1 121	1 121~1 260	908~1 103
45	1 306	1 306~1 468	1 058~1 285
48	1 473	1 473~1 656	1 193~1 450
52	1 758	1 758~1 976	1 424~1 730
56	2 030	2 030~2 282	1 644~1 998
60	2 362	2 362~2 655	1 913~2 324

(4)高强度螺栓的极限偏差应符合表 1-19 所示的规定。

表 1-19 高强度螺栓的允许极限偏差

单位:mm

公称直径	12	16	20	22	24	27	30
允许偏差	±0.43		±0.52			±0.84	

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05



知识链接

高强度螺栓连接副必须经过以下试验,符合规范要求后方可出厂。

- (1)材料、炉号、制作批号、化学成分与机械性能证明或试验数据。
- (2)螺栓的楔负荷试验。
- (3)螺母的保证荷载试验。
- (4)螺母及垫圈的硬度试验。
- (5)连接副的扭矩系数试验(注明试验温度)。大六角头螺栓连接副的扭矩系数平均值和标准偏差,扭剪型螺栓连接副的紧固轴力平均值和标准偏差。

高强度螺栓采用的钢材性能等级按其热处理后强度可分为 8.8S 和 10.9S,8.8S 适用于高强度大六角头螺栓,10.9S 适用于高强度大六角头螺栓及扭剪型高强度螺栓。高强度螺栓采用的钢号和力学性能如表 1-20 所示,与其配套的螺母、垫圈的制作材料如表 1-21 所示。

表 1-20 高强度螺栓采用的钢号和力学性能

螺栓种类	性能等级	采用的钢号	屈服强度 $f_y/N \cdot mm^{-2}$	抗拉强度 $f_u/N \cdot mm^{-2}$
大六角头	8.8S	40B、45 钢、35 钢	$\geq 660$	860~1 030
	10.9S	20MnTiB、35VB	$\geq 940$	1 040~1 240
扭剪型	10.9S	20MnTiB	$\geq 940$	1 040~1 240

表 1-21 高强度螺栓的等级及其配套的螺母、垫圈的制作材料

螺栓种类	性能等级	螺杆用钢材	螺母	垫圈	适用规格/mm
扭剪型	10.9S	20MnTiB	35 钢 10H	45 钢 HRC35~45	$d=16、20、(22)、30$
大六角头	10.9S	35VB	45 钢、 35 钢 15MnVTi10H	45 钢、35 钢 HRC35~45	$d=12、16、20、(22)、24、(27)、30$
		20MnTiB			$d \leq 24$
		40B			$d \leq 24$
	8.8S	45 钢 35 钢	35 钢	45 钢、35 钢 HRC35~45	$d \leq 22$ $d \leq 16$

注:表中螺栓直径为目前生产的规格,其中带括号的为非标准型,尽量少用。



三、紧固件的保管

高强度螺栓连接副按包装箱注明的规格、批号、编号、供货时间进行清理,分类保管,存放在室内仓库中,堆积不应高于 3 层,室内应防潮,以便长期保持干燥,防止生锈和被脏物沾污,防止扭矩系数发生变化,其底层距地面高度应不低于 300mm。

工地安装时,应按当天需要高强度螺栓的数量发放。剩余的要妥善保管,不得乱扔、乱放,损伤螺纹,被脏物沾污。长期存放的高强度螺栓连接副在使用前,应再次进行全面的质量检验。开箱后发生有异常现象时,也应进行检验,经鉴定合格后再使用。

加强高强度螺栓的保管是为了防止其扭矩系数发生变化;否则,施工中无法控制螺栓轴力的大小。扭矩系数与许多因素有关,不仅需要制造工艺来保证,而且在储运和保管中,由于螺栓、螺母、垫圈生锈,致使螺纹损伤,或沾上脏物或润滑油等,都能使螺栓的扭矩系数发生很大变化,影响高强度螺栓和高强度螺栓要求的紧固力矩的规定扭矩值。

所以,要特别注意预防扭矩系数发生变化,这是保证高强度螺栓正常施工的关键。因此,螺栓的包装、运输、现场保管等过程都要保持它的出厂状态,直到安装使用前,才能开箱检查使用。

#### 四、进场检验

(1) 钢结构连接用的普通螺栓、高强度大六角头螺栓连接副、扭剪型高强度螺栓连接副等紧固件,应符合表 1-22 所示标准的规定。

表 1-22 钢结构连接用紧固件标准

标准编号	标准名称
GB/T 5780—2016	《六角头螺栓 C 级》
GB/T 5781—2016	《六角头螺栓 全螺纹 C 级》
GB/T 5782—2016	《六角头螺栓》
GB/T 5783—2016	《六角头螺栓 全螺纹》
GB/T 1228—2006	《钢结构用高强度大六角头螺栓》
GB/T 1229—2006	《钢结构用高强度大六角螺母》
GB/T 1230—2006	《钢结构用高强度垫圈》
GB/T 1231—2006	《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 3632—2008	《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》
GB/T 3098.1—2010	《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》

(2) 高强度大六角头螺栓连接副和扭剪型高强度螺栓连接副,应分别有扭矩系数和紧固轴力(预拉力)的出厂合格检验报告,并随箱附带。当高强度螺栓连接副保管时间超过 6 个月后使用时,应按相关要求重新进行扭矩系数或紧固轴力试验,经检验合格后再使用。

(3) 高强度大六角头螺栓连接副和扭剪型高强度螺栓连接副,应分别进行扭矩系数和紧固轴力(预拉力)复验。

1) 高强度大六角头螺栓连接副应按规定检验其扭矩系数。复验用的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。连接副扭矩系数复验用的计量器具应在试验前进行标定,误差不得超过 2%。

连接副扭矩系数的复验应将螺栓穿入轴力计,在测出螺栓预拉力  $P$  的同时,应测定施加于螺母上的施拧扭矩值  $T$ ,并按下式计算扭矩系数  $K$ 。

$$K = \frac{T}{P \cdot d} \quad (1-3)$$

式中  $T$ ——施拧扭矩,  $N \cdot m$ ;

$d$ ——高强度螺栓的公称直径,  $mm$ ;

chapter

01

chapter

02

chapter

03

chapter

04

chapter

05

$P$ ——螺栓预拉力, kN。

进行连接副扭矩系数试验时,螺栓预拉力应符合表 1-23 所示的规定。

表 1-23 螺栓预拉力的范围

螺栓规格		M16	M20	M22	M24	M27	M30
预拉力 $P$ /kN	10.9S	93~113	142~177	175~215	206~250	265~324	325~390
	8.8S	62~78	100~120	125~150	140~170	185~225	230~275

每组 8 套连接副扭矩系数的平均值应为 0.110~0.150,标准偏差小于或等于 0.010。

2) 扭剪型高强度螺栓连接副应按规定检验预拉力。复验用的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。

连接副预拉力可采用经计量检定、校准合格的轴力计进行测试。

试验用的电测轴力计、油压轴力计、电阻应变仪、扭矩扳手等计量器具,应在试验前进行标定,其误差不得超过 2%。

采用轴力计方法复验连接副预拉力时,应将螺栓直接插入轴力计。紧固螺栓分初拧、终拧两次进行,初拧应采用手动扭矩扳手或专用定扭电动扳手;初拧值应为预拉力标准值的 50%左右。终拧应采用专用电动扳手,直至将尾部梅花头拧掉。此时可读出预拉力值。



#### 小技巧

不管是大六角头螺栓,还是扭剪型螺栓,每套连接副只应做一次试验,不得重复使用。在紧固中垫圈发生转动时,应更换连接副,重新试验。

复验螺栓连接副的预拉力平均值和标准偏差应符合表 1-24 所示的规定。

表 1-24 扭剪型高强度螺栓的紧固预拉力和标准偏差

螺栓直径	16	20	22	24
紧固预拉力的平均值 $\bar{P}$ /kN	99~120	154~186	191~231	222~270
标准偏差 $\sigma_p$	10.1	15.7	19.5	22.7

3) 建筑结构安全等级为一级,跨度为 40m 及以上的螺栓球节点钢网架结构,其连接高强度螺栓应进行表面硬度试验,8.8 级高强度螺栓的表面硬度应为 21~29HRC,10.9 级高强度螺栓的表面硬度应为 32~36HRC,且不得有裂纹或损伤。

4) 普通螺栓作为永久性连接螺栓,且设计文件要求或对其质量有疑问时,应进行螺栓实物最小拉力荷载复验。复验时,每一规格的螺栓应抽检 8 个。



## 学习案例

某施工单位按  $d=72\text{mm}$  圆钢批量进料,由于进料有负公差及圆度偏差,以致加工后的成品达不到锚栓有效直径要求,无法中间验收。

**解:**大型柱脚锚栓没有成品供应,需由施工单位自行加工制作。如果设计图标明 M72,一般都理解为螺(锚)栓的公称直径,以此核定有效直径和有效截面,采购圆钢时会考虑材料负公差及圆度偏差的影响,预留裕量。现在设计图标明  $d=72\text{mm}$ ,采购人员理解为只是一般圆钢,即以此订货,造成了损失。

本案例中由于批量很大,施工单位找设计方协商处理。设计方在确认锚栓直径仅小  $1\sim 2\text{mm}$  的前提下,复核了计算书,尚能满足要求,发出洽商单,同意使用,及时解决了难题。

为吸取这种误会的教训,设计图宜尽量说清楚设计意图,多为施工人员考虑问题,尽可能避免无谓损失。

## 知识拓展

### 钢结构对所用钢材性能的要求

随着经济的发展,钢材需求量越来越大。用途不同,对钢材的性能有着不同的要求。碳素钢有 100 余种,合金钢有 300 余种,但符合钢结构性能要求的只有少数几种。

用作钢结构的钢材必须具有下列性能。

(1)较高的强度:即抗拉强度  $f_u$  和屈服强度  $f_y$  比较高。屈服强度高,可以减小截面,从而减轻自重,节约钢材,降低造价。抗拉强度高,可以增加结构的安全储备。

(2)足够的变形能力:即塑性和韧性性能好。塑性好,则结构破坏前变形比较明显,从而减少脆性破坏的危险性,并且塑性变形还能调整局部高峰应力,使之趋于平缓。韧性好表示在动荷载作用下破坏时,要吸收比较多的能量,同样可以降低脆性破坏的危险程度。对塑性设计的结构和抗震结构,变形能力具有特别重要的意义。

(3)良好的加工性能:即适合冷、热加工,同时具有良好的可焊性,不因这些加工而对强度、塑性及韧性带来较大的有害影响。

此外,根据结构的具体工作条件,必要时还应具有适应低温、有害介质侵蚀(包括大气锈蚀)以及疲劳荷载作用等性能。

在符合上述性能的条件下,同其他建筑材料一样,钢材也应该容易生产,价格便宜。《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)推荐的普通碳素结构钢 Q235 钢和低合金高强度结构钢 Q345 钢、Q390 钢、Q420 钢都是符合上述要求的。

选用《钢结构设计规范》未推荐的钢材时,要有可靠的依据,以确保钢结构的质量。

## 情境小结

本学习情境介绍了钢结构的常用材料(包括钢材、焊接材料和紧固件)的品种、规格、主要性能及质量检验。

(1)钢结构具有材质均匀,力学性能好,可靠性好;轻质高强,承载能力大;塑性、韧

chapter  
01chapter  
02chapter  
03chapter  
04chapter  
05

性好;密闭性好;制作简便,施工速度快;耐热性好等优点。

(2)钢结构适合于大跨度结构、重型工业厂房结构、受动力荷载影响的结构、高层建筑和高耸结构、可拆卸的移动结构以及容器和其他构筑物等。随着我国工业生产和城市建设的高速发展以及国民经济水平的不断提高,钢结构的应用范围也扩大到轻型工业钢结构厂房和民用住宅等。

(3)钢结构的发展主要是在高效钢材的应用、设计方法的改进和新型结构的采用等方面不断进行研究。

(4)钢结构的结构形式主要包括用于房屋建筑的结构形式、用于桥梁的结构形式和用于塔桅的结构形式。



## 学习检测



### 填空题

- 管状焊丝是一种新的焊接材料,它是用 H08A 薄钢带通过一系列轧辊,并在某一成型时,加入所要求的粉剂轧制拉拔而成,适用于\_\_\_\_\_等。
- 影响钢材性能的主要因素有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- 高强度螺栓连接副必须经过\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_,试验合格后方可出厂。
- 为防止高强度螺栓的扭矩系数发生变化,应加强高强度螺栓的保管,否则施工中无法控制螺栓轴力的大小。扭矩系数与\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等因素有关,这些因素都能使螺栓的扭矩系数发生很大变化,影响高强度螺栓和高强度螺栓要求的紧固力矩的规定扭矩值。



### 选择题

- 普通螺栓作为永久性连接螺栓,当设计有要求或对其质量有疑义时,应进行( )。
  - 螺母的保证荷载试验
  - 螺栓的楔负荷试验
  - 螺母及垫圈的硬度试验
  - 螺栓实物最小拉力荷载复验
- 经检验发现“钢材质量保证书”上数据不清、不全,材质标记模糊,表面质量、外观尺寸不符合有关标准要求时,应( )。
  - 视具体情况重新进行复核和复验鉴定
  - 直接返回厂家
  - 按不合格钢材处理
  - 进行抽样复验
- 对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构,宜采用( )。
  - 低氢型焊条
  - 碳钢焊条
  - 高钛钾型焊条
  - 低合金钢焊条
- 钢材在( )以下时性能变化不大,但温度达到( )及以上时,钢材的抗拉强度会有所提高,但冲击韧性会变差,钢材变脆。

