

773274

单层厂房结构设计

第二册



南京工学院土木工程系工民建教研组编

1977. 4.

K42-759.2



录

第八章 钢结构屋盖

8 — 1	建筑钢材·····	2
一	建筑钢材的主要力学性能·····	2
二	化学成份及冶炼方法对钢材性能的影响·····	8
三	钢材供应方法、符号·····	9
四	建筑钢材的选择·····	13
五	型钢·····	14
8 — 2	钢结构设计计算方法(容许应力设计法)·····	15
一	容许应力和设计安全系数·····	15
二	变形计算·····	16
8 — 3	钢结构屋盖·····	16
一	钢屋盖的体系及其组成·····	17
二	屋架的选型及腹杆布置·····	17
三	屋架的稳定及支撑布置·····	20
四	屋架的内力计算·····	24
五	屋架杆件设计·····	26
六	钢屋盖结构的连接·····	36
七	屋架节点设计·····	45
八	屋架施工图的绘制·····	52
九	实腹钢杆件在轴心压力作用下的计算原理·····	53
十	实腹钢杆件在偏心压力作用下的工作和计算原理·····	55
十一	钢结构屋盖设计实例·····	57
十二	檩条·····	71
十三	轻型钢屋架的设计特点·····	73

第九章 吊车梁

9 — 1	吊车梁的受力特点和内力计算·····	109
9 — 2	钢筋混凝土吊车梁的构造·····	114
一	截面尺寸·····	114
二	连接构造·····	114
三	配筋构造·····	116

9 — 3	预应力钢筋混凝土等截面吊车梁的计算	119
一	概述	119
二	荷载计算	120
三	截面静力计算	120
四	疲劳验算	126
五	施工阶段的验算	129
9 — 4	6 米先张法预应力混凝土等截面吊车梁计算实例	130
一	已知条件	130
二	弯矩和剪力的计算	131
三	截面几何特征、扭矩和预应力参数的计算	132
四	截面静力计算	134
五	施工阶段验算	140
9 — 5	钢筋混凝土等截面吊车梁的计算	145
一	静力强度计算	145
二	变形和裂缝宽度验算	146
三	疲劳验算	146
9 — 6	变截面钢筋混凝土吊车梁概述	149
一	鱼腹式吊车梁的外形	149
二	计算截面	151
三	受拉边为倾斜的斜截面抗剪强度计算	151
9 — 7	钢吊车梁的应用范围及形式	152
9 — 8	实腹焊接钢吊车梁的设计	154
一	焊接吊车梁材料的选用	154
二	钢吊车梁的制动结构及其布置	154
三	实腹焊接钢吊车梁截面选择及强度、变形和疲劳验算	155
四	实腹焊接钢吊车梁的整体稳定	166
五	实腹焊接钢吊车梁的局部稳定	169
六	实腹焊接钢吊车梁的构造	176
9 — 9	实腹焊接钢吊车梁设计实例	184
一	设计资料	184
二	吊车梁形式、制动结构、钢材的选择	186
三	荷载计算	186
四	内力计算	187
五	截面选择	189
六	强度验算	191
七	刚度验算	192
八	局部稳定验算	192
九	加劲肋计算	193
十	翼缘与腹板连接焊缝的计算	194

十一	制动桁架的计算	194
十二	12米钢吊车梁施工图	196
附录 9 — 1	预应力混凝土构件端部局部应力及其配筋计算	198

第 十 章 · 钢 筋 混 凝 土 门 式 刚 架

10 — 1	概述	214
一	门式刚架的一般形式	214
二	门式刚架的应用范围与效果	217
10 — 2	门式刚架的选型	220
一	三铰、二铰及无铰门架	220
二	钢筋混凝土和预应力混凝土门架	221
三	拱式（弧形拱）刚架简述	222
四	影响门架经济指标的主要因素	223
10 — 3	构件形式与几何尺寸的确定	225
一	构件形式	225
二	楔形立柱的内斜和外斜	225
三	横梁加腋长度	226
四	构件截面尺寸的确定	226
10 — 4	门式刚架的内力计算	228
一	变截面门架计算简图的轴线取法	228
二	单跨三铰门架的内力计算及例题	228
三	单跨二铰门架的内力计算及例题	231
四	多跨门架的内力计算及例题	238
10 — 5	门式刚架的配筋计算和构造要求	246
一	截面配筋计算	246
二	构造要求	248
10 — 6	门式刚架的节点连接构造	250
一	三铰门架的顶铰构造	250
二	二铰门架的块体拼接节点构造	251
三	柱脚底铰节点构造	252
10 — 7	门式刚架的支撑布置	253
一	屋盖支撑	253
二	柱间支撑	253
10 — 8	单跨三铰门式刚架计算实例	254
一	计算简图	256
二	荷载组合	256
三	内力计算	256
四	内力组合	260

五 截面配筋计算.....	261
附录10——1 形常数 α 、 β 的计算图表.....	263
附录10——2 载常数 R 的计算图表.....	266
附录10——3 对称式二铰刚架和单柱双坡式刚架计算公式.....	268
一 一般说明.....	268
二 对称式二铰刚架计算公式.....	268
三 单柱双坡式刚架计算公式.....	270

毛主席语录

什么事情都应当执行勤俭的原则。这就是节约的原则，节约是社会主义经济的基本原则之一。

第八章 钢结构屋盖

用钢材一种材料建造的构件或结构，如钢梁、钢屋架、钢塔架及房屋钢骨架等统称为钢结构。

在房屋结构中，选用钢筋混凝土结构、木结构还是钢结构，应该对结构的性质和要求、制造和架设的能力、工期要求及材料供应情况等因素进行全面分析比较后确定。毛主席教导我们说：“一个粮食，一个钢铁，有了这两个东西就什么都好办了。”钢材是我国社会主义建设的重要材料之一。国防工业和重要工业部门都需要大量的钢材，用于建筑结构的钢材虽然逐年增长，但是目前还不能也不允许在建筑结构中普遍地大量地使用钢材。在建筑结构中，能不用钢材的尽量不用，非用不可的，则应注意节约。

钢结构设计必须贯彻执行党的社会主义建设总路线，坚持独立自主，自力更生的方针，从我国钢铁生产实际出发，合理选用材料和结构方案，尽量节约钢材，做到技术先进，经济合理，安全适用。

目前我国钢结构主要应用在：

1. 重型工业厂房，如冶金企业的炼钢、轧钢车间，重型机械厂的铸钢、水压机、锻压车间……这些车间的特点是：厂房高，跨度大，柱距宽，荷重大（有重级工作制的大吨位吊车或有二层以上的吊车）或是设备振动厉害，或是热加工车间结构表面温度较高等。在这些情况下，采用钢筋混凝土结构有困难，则吊车梁，屋架等构件可局部地或全部地采用钢结构；

2. 大跨度房屋的屋顶结构，如大会堂、剧院、体育馆、飞机库等；

3. 特种结构物，如各种塔桅、油罐、煤气罐等；

4. 轻型钢结构，由小角钢（小于 $\angle 45 \times 4$ 或 $\angle 56 \times 36 \times 4$ ）和圆钢组成的结构；

5. 薄壁型钢结构；

6. 工业与民用房屋的施工机械和施工设备，如起重桅杆、井架等。

在上述各种钢结构中，选用什么钢材，是关系到结构安全及合理使用钢材的大问题。为了能正确选用钢材，下面我们首先介绍建筑钢材的性能、种类和标号等问题。

8—1 建筑钢材

一、建筑钢材的主要力学性能

(一) 简单受力时钢材的力学性能

建筑钢拉伸时的力学性能已在建筑静力学中介绍过。为了研究钢材在各种受力情况时的性能，从中得出复杂受力与简单受力时的相互关系。这里再以3号钢为例简单介绍如下：图8—1为3号钢单向一次均匀受拉时的应力—应变曲线。

试件随着荷载的增加，钢的工作表现为弹性阶段，如图8—1曲线的OB段（与弹性阶段最高点B对应的应力值 σ_e 叫做材料的弹性极限。在弹性阶段内，占曲线OB中大部分的OA是一段直线，表明材料符合虎克定律，与这条直线最高点A对应的应力值 σ_p 叫做比例极限。（ σ_e 与 σ_p 二者意义不同但由实验得出的数值很接近，实用中常认为二值相等。）弹——塑性阶段，曲线的BC段。屈服阶段，曲线的水平线段CC'。强化阶段，曲线的C'D段及局部变形阶段，曲线的DK段。3号钢各个阶段的应力应变值大致如下：

比例极限 $\sigma_p = 2000$ 公斤/厘米² 此时 $\delta_p = 0.1\%$ 。

弹性模量 $E = 2.1 \times 10^6$ 公斤/厘米²

屈服点 $\sigma_s = 2400$ 公斤/厘米² 此时 $\delta_s = 0.15\%$ 。

流幅 $\delta_f = 0.15\% \sim 2.5\%$

抗拉强度 $\sigma_b = 3800 \sim 4700$ 公斤/厘米² 破坏时伸长率 $\delta = 21\%$ 。

钢试件拉伸图上的这些特征点（ σ_p 、 σ_s 、 δ_f 、 σ_b ）反映了钢的内部结晶构造的变化。现在我们来看看钢的内部组织结构是怎样的？它又怎么样影响着钢的性能的？

低碳钢在常温下是一种匀质的结晶体，主要由两种成份组成（图8—2），一是纯铁体（Fe—纯铁），二是珠光体（渗炭体 Fe_3C 与纯铁体的混合物）。纯铁体在钢中形成单个的结晶群（颗粒或结晶体），纯铁体非常柔软，且有塑性，强度低。纯铁体颗粒愈小，钢的质量愈高。珠光体以单独的夹杂体或间层的形式散布于纯铁体之间，珠光体非常硬而

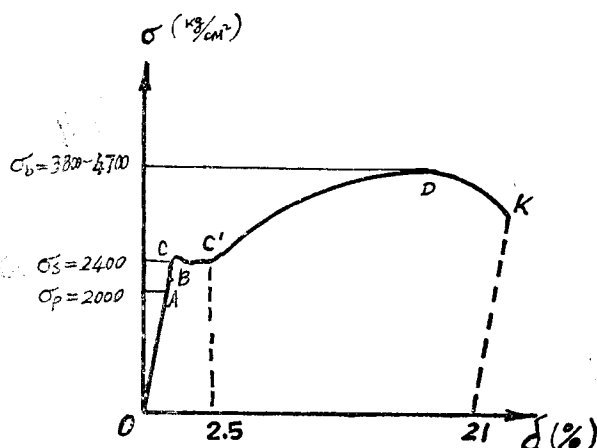


图8—1 3号钢单向受拉时 $\sigma-\delta$ 曲线

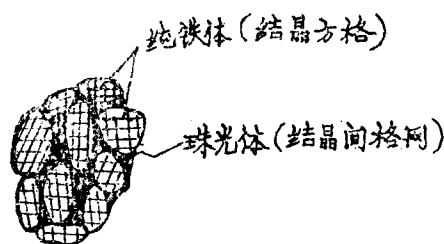


图8—2 钢的组织构造

脆，有弹性，强度高。

钢的强度首先与晶粒间的强度和工作有关，单独的纯铁体的塑性变形开始极早，比屈服点 σ_s 甚至比比例极限 σ_p 要早得多，但是这种变形，最初被刚强的珠光体网格所阻止。这就是拉伸图上的 OB 段。当应力超过弹性极限 σ_e 时，珠光体的抵抗力暂时消耗尽了，纯铁体晶粒由于珠光体遏制影响而积聚的一定数量的能量，一旦珠光体遏制消除，这部分能量开始暴露（表现到外部来了），就产生了总的滑动，于是出现了流幅 δ_f 。因此，流幅是由于纯铁体颗粒中塑性变形延缓所引起能量积聚的结果，故其伸展长度有限，当能量耗尽，流幅也就结束了。此后，钢又形成新的稳定结晶，钢继续工作，又能承受外力，这就是“强化阶段”。随着变形的增长，到抗拉强度 σ_b 时，塑性变形集中在行将断裂的地方形成了颈缩，截面的中央部分发生超额应力，最后因颈缩处的截面承受不了不断增加的超额应力而被拉断破坏。

图8—3中 b, c 二条曲线表示钢材在单向受压和受剪作用时的 $\sigma-\delta$ 曲线。钢材单向受压和单向受拉的 $\sigma-\delta$ 曲线有不少相同的地方。即具有相同的比例极限、屈服点，并且都有流幅和强化阶段。所不同的是，钢材的拉断是从一个薄弱截面处发生颈缩而引起的，其抗拉强度 σ_b 一般比屈服点大1.4~1.5倍，而受压时的抗压强度比受拉时大得多。

钢材受剪时的 $\sigma-\delta$ 曲线与受拉情况很相似。受剪的屈服点 τ_s 比受拉时的屈服点 σ_s 要低（ $\tau_s = 0.58\sigma_s$ ），其应变情况，不论在弹性阶段，还是剪断时，都比拉伸时所发生的要大得多。

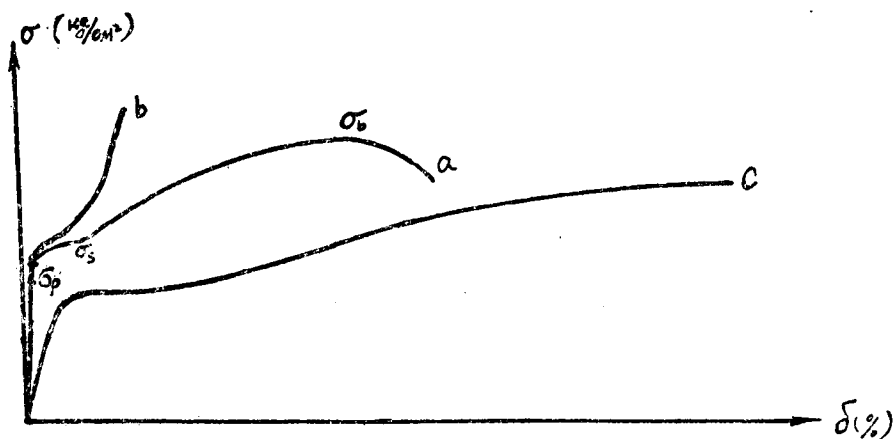


图8—3 低碳钢简单受力时 $\sigma-\delta$ 曲线
a—单向受拉 b—单向受压 c—受剪

从钢的上述受力特点的分析中，可以作出如下几个重要结论。

1. 屈服点 σ_s 是钢材的强度指标

设计时，将屈服点 σ_s 作为钢材计算中所允许的最大应力。由于到达抗拉强度 σ_b 时，塑性变形过大，因此不能将它作为计算的依据，实质上，它起了安全储备的作用。

2. 低碳钢是良好的塑性材料

低碳钢的流幅范围 ($\delta_f = 0.15\% \sim 2.5\%$) 相当长。这个性质使结构中受力很大的构件或区域, 达到屈服点 σ_s 后不再增加内力而保持定值, 受力较小的构件或区域, 可以继续发挥它的强度而承担更大的荷载, 也就是应用内力重分配原理来充分利用钢结构的承载能力, 并可提高建筑物的安全程度。

3. 比例极限 σ_p 与屈服点 σ_s 十分接近, 屈服点以前的应变又如此小 ($\delta_s = 0.15\%$), 所以在计算钢结构强度时可以近似地将钢的弹性极限 σ_e 提高到屈服点 σ_s 。同时, 屈服点以后的流幅范围相当长, 因此可以认为钢是一种理想的弹塑性体 (图 8—4)。

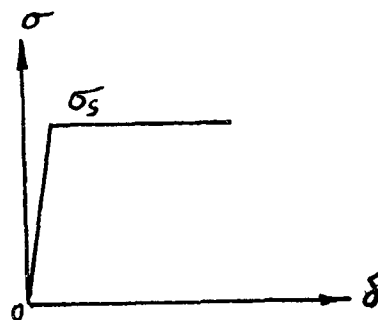


图 8—4 理想的弹塑性体

(二) 复杂受力时钢材的力学性能

1. 复杂受力时钢材的力学性能

(1) 复杂受力

复杂受力相对简单受力而言, 比如实腹梁腹板中, 当荷载作用在梁的纵对称平面内时 (即平面弯曲), 其截面上的应力如图 8—5, a 所示。又如吊车梁腹板平面内除有正应力 σ_x 和剪应力 τ_{xz} 外, 还有集中荷载 (竖直轮压) 产生的局部压应力 σ_z 如图 8—5, b。

上述两个例子就是复杂受力。

(2) 强度理论的概念

在简单受力时强度验算公式为:

$$\sigma = \frac{P}{A} \leq [\sigma]$$

当一物体上有几种应力同时存在时, 怎么进行强度验算? 是不是也可象简单受力那样用试验方法找出几个特征点作为验算比较的依据呢? 事实证明比较困难, 难在那里? 如图 8—6 所示。六个应力 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 大小不同的组合有无穷的变化, 试验装置较困难。因此就需要找出一个方法, 能根据简单受力试验测得的屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 来确定复杂受力状态下的强度条件。这就需要研究材料的破坏原因。强度理论就是关于材料破坏原因的学说 (预测在复杂受力时将于何时破坏)。关于强度理论, 有最大应力理论 (第一强度理论); 最大应变理论 (第二强度理论); 最大剪应力理论 (第三强度理论); 最大能量理论 (第四强度理论) 等。

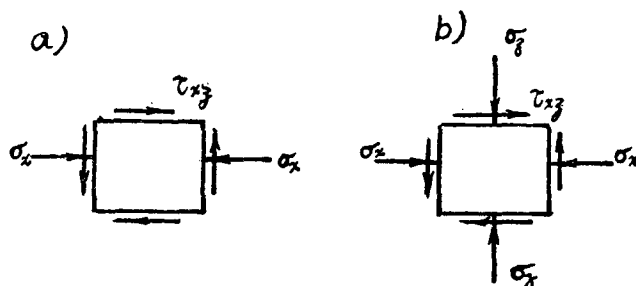


图 8—5 平面应力状态图

难, 难在那里? 如图 8—6 所示。六个应力 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 大小不同的组合有无穷的变化, 试验装置较困难。因此就需要找出一个方法, 能根据简单受力试验测得的屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 来确定复杂受力状态下的强度条件。这就需要研究材料的破坏原因。强度理论就是关于材料破坏原因的学说 (预测在复杂受力时将于何时破坏)。关于强度理论, 有最大应力理论 (第一强度理论); 最大应变理论 (第二强度理论); 最大剪应力理论 (第三强度理论); 最大能量理论 (第四强度理论) 等。

(3) 按强度理论验算强度

关于强度理论, 建筑静力学中有专门篇幅, 也有专著, 这里不作介绍。适合于建筑钢材的强度理论是能量强度理论和最大剪应力理论。能量强度理论认为: 钢材在复杂应力作用下, 其折算应力 $\sigma_{折}$ 达到单向受拉时的屈服点 σ_s 时, 钢材就由弹性发展为塑性。

折算应力的最普遍式可写成:

$$\sigma_{折} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (8-1a)$$

或

$$\sigma_{折} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (8-1b)$$

如用主应力表示又可写成:

$$\sigma_{折} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (8-1c)$$

因最大剪应力等于两主应力之差的一半, 如 $\tau_{12} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)$, 故上式可写成:

$$\sigma_{折} = \sqrt{2(\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2)} \quad (8-1d)$$

当 $\sigma_{折} \geq \sigma_s$ 塑性状态;

$\sigma_{折} < \sigma_s$ 弹性状态。

怎样应用上述这些公式呢? 现举以下几个特例说明之。

1) 钢在平面纯剪时的塑性条件:

根据公式 (8-1a)

$$\sigma_{折} = \sqrt{3\tau^2} = \sigma_s$$

所以, 钢受剪时的屈服点 $\tau_s = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \approx 0.6\sigma_s$

如以容许应力 $[\sigma]$ 代替上式的 σ_s , 则容许剪应力 $[\tau] \approx 0.6[\sigma]$, 这就是规范中 $[\tau]$ 与 $[\sigma]$

的比例关系。图 8-3 中的试验曲线也证明了 τ_s 大约为 σ_s 的 0.6 倍。

2) 实腹钢梁 (非吊车梁) 腹板中的折算应力

由图 8-5, a 可知, 截面上应力为 σ_x 及 τ_{xz} ($\sigma_y = \sigma_z = 0$, $\tau_{yz} = \tau_{xy} = 0$),

∴ 其折算应力为:

$$\sigma_{折} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xz}^2} \quad \text{或简写为} \quad \sigma_{折} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

3) 吊车梁腹板中的折算应力

由图 8-5, b 可知, 截面上应力为 σ_x 、 σ_z 及 τ_{xz}

∴ 其折算应力为:

$$\sigma_{折} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_z + 3\tau_{xz}^2}$$

2. 复杂受力对钢材性能的影响

由图 8-3 知道, 钢材受剪破坏时的塑性变形比受拉破坏时的大得多, 但其强度相应降低 ($\tau_s \approx 0.6\sigma_s$)。由钢的组织结构知道, 这是由于纯铁体品格沿滑移面产生塑性剪移的结果, 也就是说, 钢材受剪应力的比例愈大, 其塑性变形的发展也愈多。

现在我们来分析下面几种应力状态:

(1) 平面应力状态下

1) 平面异号主应力状态, 如图 8-7, c 所示。从图中曲线可发现钢的塑性变形有所

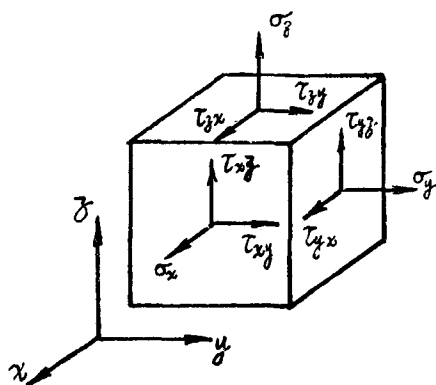


图 8-6 复杂应力状态

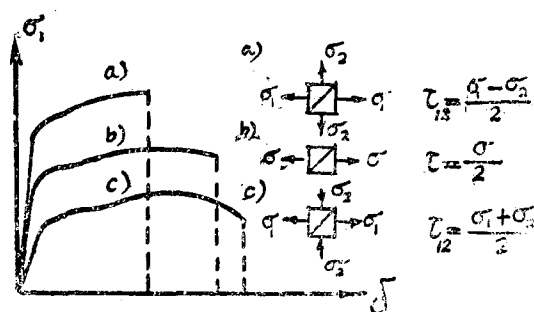


图 8—7 钢在单向及双向应力下的 $\sigma-\delta$ 曲线

增加。这是由于剪应力增加 ($\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - (-\sigma_2)}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$)，即促使晶格滑移的力 (τ_{12}) 较大，所以塑性变形得到了充分的发展，但其强度低。

2) 平面同号主应力状态，如图 8—7, a 所示。从图中曲线可发现钢的塑性变形将大为降低。这是由于剪应力减小 ($\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$)，即促使晶格滑移的力 (τ_{12}) 较小，所以塑性变形不能充分的发展，但其强度增高，脆性增加。

(2) 钢在等值的三向主压应力作用下，由于几乎不可能出现塑性变形 ($\tau_{12} = \tau_{23} = \tau_{31} = 0$)，此时极不易压碎。这种应力状态常发生于局部挤压区域，这时其容许应力常可以提高，即系此故。

(3) 应力集中现象及其对钢材工作性能的影响

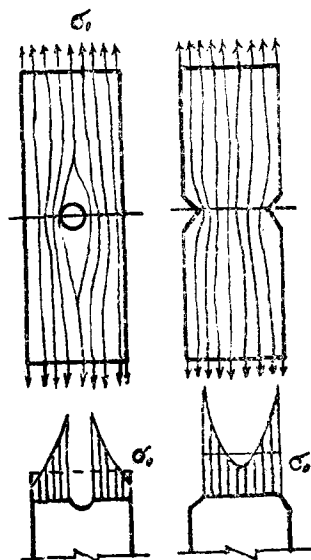


图 8—8 应力集中现象

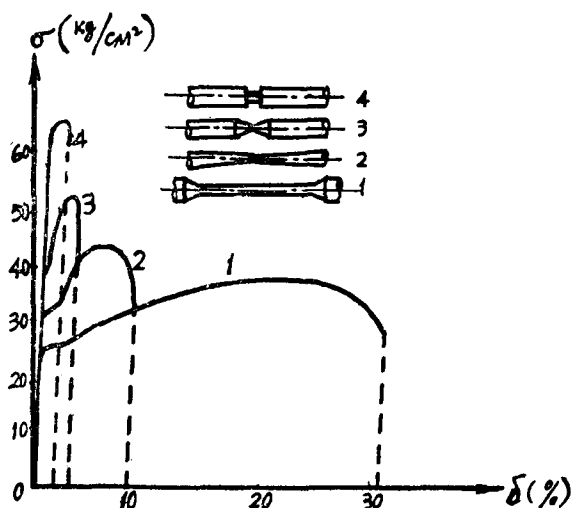


图 8—9 应力集中对钢材性能的影响

1) 应力集中现象

如果构件的截面有急剧变化，例如存在孔洞、槽口、凹角、裂缝、厚度突然改变以及

其他形状的突变等，构件中的主应力线将发生转折而在截面突变处附近比较密集，因而应力的分布不再保持均匀，出现局部高峰应力如图 8—8，这种在局部范围内的截面上的应力不均匀分布的现象叫做应力集中现象。

2) 在应力集中的区域，总是存在同号应力 (σ_1 、 σ_2 同号) 状态，即 $\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ 较小，因此阻碍了钢材的塑性发展，而使钢材发生脆性倾向。截面变化愈急剧，应力集中愈严重，钢材变脆的程度也愈厉害。图 8—9 的试验曲线反映了应力集中对钢材性能的影响，截面突然改变（如有槽口）的试件，其破坏形式已经完全呈现脆性了。

3) 设计中如何考虑？

计算时不考虑应力集中范围内钢材强度的提高。实际结构中，由于构造需要，应力集中现象总是难免的（如开设孔洞、改变截面形状或厚度等等）。在静载作用下，只要构造处理得恰当就可避免和减小应力集中的影响，如图 8—50。由于低碳钢存在流幅，可以使高峰应力自动得到调正。但是对于承受反复振动荷载作用的结构以及处于低温下工作的结构，由于钢材的脆性增加，应力集中的存在常常会产生严重的后果，因此需要特别注意。有时需要对钢材受应力集中影响而变脆的倾向性进行检定。衡量钢材变脆倾向的指标用冲击韧性 a_K 。

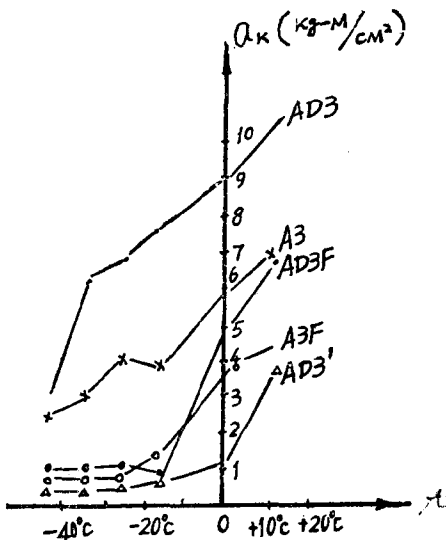


图 8—10 厚度为20毫米的各类
3号钢钢板的冲击韧性值

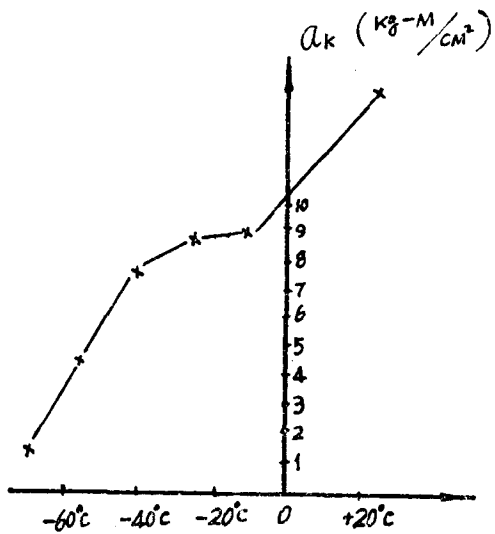


图 8—11 16锰钢的冲击韧性值

温度对于钢材的冲击韧性关系很大。见图 8—10 及图 8—11。温度下降对强度无不利影响，而冲击韧性将显著下降，但是不同品种的钢材，降低的程度是不同的，降到一定温度时，可以使钢完全处于脆性状态。一般把 $a_K = 2 \sim 3$ 公斤—米/厘米² 时的温度称为冷脆温度。对于建造于低温地区的承受动荷载的结构、构件应根据建筑物所处地区的温度选用相应品种的钢材。

间歇性的反复荷载，如应力还在弹性范围以内，基本上不影响钢的性质。但在连续反

复荷载作用下，情况就不同了，即使应力还小于静荷载作用下的破坏应力——抗拉强度，有时甚至还不到屈服点，钢材也会破坏。这种现象称为钢的疲劳。关于钢的疲劳详见吊车梁部分。

二、化学成份及冶炼方法对钢材性能的影响

(一) 化学成份对钢材性能的影响

建筑结构中采用的钢材是普通炭素钢和普通低合金钢。钢材的化学成份一般指的是炼钢时钢水化学分析的结果。在铸锭和轧制以后，常常会引起化学成份的不均匀性，通常称为偏析现象。

钢的化学成份直接影响钢的组织构造，因此与钢的机械性能有密切关系。前面已经讲过，在常温下，建筑钢主要由纯铁体和珠光体两部分组成。除此外，钢中尚有少量的炭、硅、锰及硫、磷等元素。

增加炭的含量可提高珠光体（渗炭体 Fe_3C 与纯铁体的混合物）的成份，因而可提高钢的强度，但会降低它的塑性和韧性，并将不利于它的焊接性能。因此，建筑钢的含量不宜太高，一般不应超过0.22%，在焊接结构中则应限制在0.20%以内。

硅有使铁液在冷却时形成无数结晶中心的作用，因而使纯铁体的晶粒变为细小而均匀。所以使钢的强度大为提高而不降低塑性，但含量多时（1%左右）将降低钢的抗锈性和可焊性。在普通低碳钢中硅的含量一般为0.07~0.3%。

锰可以使钢的强度和塑性均得到提高，同时又可消去一部分硫的有害作用。锰在普通低碳钢中的含量一般约为0.25~0.65%。

上面介绍的三种元素（C、Si、Mn）为有利元素，钢中另外二种元素——硫及磷则为有害元素。

硫与铁化合成易熔的硫化铁，散布在纯铁体的间层中。在高温下，例如在焊、铆及热加工时，硫化铁即行熔化而使钢变脆，一般称为热脆。因此，在建筑钢中硫的含量应严格控制，使硫的含量不大于0.055%。

磷与纯铁体结成不稳定的固熔体，有增大纯铁体晶粒的害处，磷的存在，特别在低温及含炭量较高的情况下，将使钢变脆，一般称为冷脆。因此，在建筑钢中磷的含量亦应严格控制，使磷的含量不大于0.045%。

此外氧和氮也是有害物质，氧主要使钢热脆，不利于锻造和焊接。氮主要使钢冷脆。这些有害杂质，都不同程度地使钢的塑性、冲击韧性以及可焊性等变坏，含量应严格控制。

普通低合金钢化学成份的特点是含炭量少（ $\leq 0.20\%$ ）而利用附加合金元素（锰、硅、铬及镍等）来提高受力性能和抗锈性能，这些合金成份总量不超过3%，故称为低合金钢。我国稀有元素非常丰富，1957年我国试制成功了第一个普通低合金钢钢种，至今仅二十年时间，在毛主席“打破洋框框，走自己工业发展道路”和“独立自主，自力更生”的方针下，特别是在无产阶级文化大革命中，我国普通低合金钢获得了飞跃发展，今天我国已经建立起了自己的独立的普通低合金钢体系。目前建筑结构中广泛使用的一种低合金钢是

16锰钢，它的力学性能较好，强度较3号钢高（ $\sigma_s = 3500$ 公斤/厘米²为3号钢的 $\frac{3500}{2400} =$

1.45倍)，但价格仅高出约10%。它的综合性能也较好。在大型、重要建筑物中采用它是合理的，可以节约钢材15~25%左右。

(二)冶炼方法对钢材性能的影响

钢材的机械（力学）性能不仅与化学成份有关，而且与冶炼方法有关。钢材的冶炼方法有平炉、顶吹转炉和侧吹转炉等。

平炉炼钢：冶炼设备费用较昂贵、每炉钢的冶炼时间长，但钢的质量较稳定，化学成份容易控制。在冶炼的后阶段，钢水上浮起一层炉渣，使钢水与燃烧的煤气和热空气隔开，因此钢水中氧、氮的含量极少。

顶吹氧气转炉炼钢：这种冶炼方法效率高，每炉钢需要的冶炼时间远比平炉炼钢短，且冶炉设备的费用又省。但是钢材的质量与吹入的氧气纯度有很大关系，优质的顶吹氧气转炉钢，能达到平炉钢的水平。所以顶吹氧气转炉炼钢是国内外炼钢事业发展的方向。

侧吹转炉炼钢：侧吹转炉炼钢有碱性和酸性两种，这种冶炼方法，生产效率高，方法简单，但由于钢水与空气直接接触，所以氧和氮等有害物质较多，钢质不均匀，脆性增加，冲击韧性和低温冲击韧性大为降低。

从上述比较可知，平炉钢的质量均匀稳定，在钢结构中应用最多。

(三)铸锭方法对钢材性能的影响

氧是有害元素，氧多将降低钢的塑性并使钢锭质量变坏（疏松、不致密）。因此，在炼钢末期应最大限度地除去钢中的氧，一般称之为脱氧。钢按脱氧程度分镇静钢、沸腾钢、半镇静钢三种。

钢水由炼钢炉注入盛钢桶（钢包）时，如让其静止并加入脱氧剂，使钢中混杂的氧能析出，然后浇铸钢锭，是为镇静钢。镇静钢脱氧完全，组织紧密坚实，质量良好，但钢锭上部冷却后有较深缩孔，轧制钢材时需要把这部分切除，损耗较大，价格较高。

钢水由炼钢炉注入盛钢桶后，钢水还在沸腾阶段即行浇铸钢锭，称为沸腾钢。沸腾钢脱氧不完全，钢锭冷却后上部的缩孔小，钢锭内部有许多分散的小气孔，在轧制过程中，这些分散的小气孔可完全被压合消除掉，这种钢材损耗少，价格便宜，但终因脱氧不完全，韧性较差。

半镇静钢是脱氧介于镇静钢和沸腾钢之间的钢材。

三、钢材供应方法、符号

现阶段我国钢结构普遍采用的是普通低碳钢和普通低合金钢两大类。

(一)低碳钢的分类，从各种钢的牌号（代号）可以表达出来，代号最多时有四个字母。

1. 代号的第一个字母代表炼钢厂对所供应钢的保证条件，分为三类：

甲类钢 用符号“A”表示，按机械性能供应的钢；

乙类钢 用符号“B”表示，按化学成份供应的钢；

特类钢 用符号“C”表示，按化学成份和机械性能供应的钢。

2. 代号的第二个字母表示钢的冶炼炉种：

平炉钢 不加任何符号

转炉钢又分 { 侧吹碱性转炉钢 用符号“J”表示
 侧吹酸性转炉钢 用符号“S”表示
 顶吹转炉钢 用符号“D”表示

3. 代号的第三个字母，用以表示钢中主要成份的含炭量的多寡，表示钢号。

用符号“1”表示1号钢，

用符号“2”表示2号钢，

用符号“3”表示3号钢，余类推。

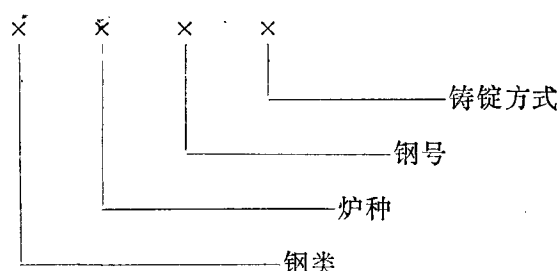
4. 代号的第四个字母，表示钢的铸锭方式

镇静钢 不加任何符号，

沸腾钢 用符号“F”表示，

半镇静钢 用符号“b”表示。

综上所述，普通低碳钢的命名规则如下：



例如

甲类顶吹转炉3号沸腾钢的代号为AD3F。

甲类侧吹酸性转炉3号沸腾钢的代号为AS3F。

特类平炉3号镇静钢的代号为C3。

(二)普通低合金钢

普通低合金钢一般按机械性能和化学成份供应。它的代号主要表明化学成份，代号的第一个表示平均含炭量（以万分计），随后依次写出所含合金成份。目前在钢结构中应用较广泛的是16锰钢（16Mn），代号前面的数字表示平均含炭量为0.16%，后一化学元素表示主要合金元素是锰。

由钢锭轧成型材时，厚度愈薄，尺码愈小的型材，其轧制的次数愈多，压缩比愈大，机械性能也就愈好。为了充分发挥钢材的能力，国家在供应钢材时，按钢材的厚度进行了分组，见表8—1。

各类3号钢、16锰钢和16锰桥钢的化学成份和机械性能见表8—2、表8—3。

钢 材 分 组 的 尺 寸 (毫 米)

表 8 — 1

组 别	钢 材 的 钢 号			
	2 号 钢 或 3 号 钢			16 锰钢或16锰桥钢
	棒钢的直径或厚度	型钢和异型钢的厚度	钢 板 的 厚 度	钢材的直径或厚度
第 1 组	≤40	≤15	4~20	≤16
第 2 组	>40~100	>15~20	>20~40	17~25
第 3 组		>20		26~36

注：① 棒钢包括圆钢、方钢、扁钢和六角钢；型钢包括角钢、工字钢和槽钢；
 ② 工字钢和槽钢的厚度系指腹板的厚度。

钢 的 化 学 成 分

表 8 — 2

标准 代号	钢 号			化 学 成 分 (%)				
				碳	硫	磷	硅	锰
					不 大 于			
GB700—65	2 号 钢	平 炉	沸 腾 钢	0.09~0.15	0.055	0.045	≤0.07	0.25~0.50
			镇 静 钢				0.12~0.30	
		侧吹碱性 转 炉	沸 腾 钢	0.06~0.12			≤0.07	0.25~0.55
			镇 静 钢				0.10~0.30	
	3 号 钢	平 炉	沸 腾 钢	0.14~0.22			≤0.07	0.30~0.60
			镇 静 钢				0.12~0.30	0.40~0.65
		侧吹碱性 转 炉	沸 腾 钢	0.10~0.20			≤0.07	0.30~0.60
			镇 静 钢				0.10~0.30	
YB13—69	16 锰 钢			0.12~0.20	0.050	0.050	0.20~0.60	1.20~1.60
YB168—70	16 锰 桥 钢			0.12~0.20	0.045	0.040	0.20~0.60	1.20~1.60

钢 材 的 机 械 性 能

表 8 — 3

标 准 代 号	钢 号		组 别	机 械 性 能				180°冷弯试验 $d =$ 弯心直径 $a =$ 试件厚度
				屈 服 点 σ_s 〔公斤/毫米 ² 〕	抗拉强度 σ_b 〔公斤/毫米 ² 〕	伸 长 率 (%)		
				不 小 于		δ_5	δ_{10}	
GB700—65	2 号 钢		第 1 组	22	34—42	31	26	$d = 0$
			第 2 组	20				
			第 3 组	19				
	3 号 钢	沸腾钢	第 1 组	24	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	$d = 1.5a$
			第 2 组	22	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	
			第 3 组	21	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	
		镇静钢	第 1 组	24	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	
			第 2 组	23	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	
			第 3 组	22	38—40 41—43 44—47	27 26 25	23 22 21	
	YB13—69	16 锰 钢	第 1 组	35	≥ 52	21	—	$d = 2a$
			第 2 组	33	≥ 50	19	—	$d = 3a$
			第 3 组	31	≥ 48	19	—	$d = 3a$
YB168—70	16 锰 桥 钢	第 1 组	35	≥ 52	21	—	$d = 2a$	
		第 2 组	33	≥ 50	19	—	$d = 3a$	
		第 3 组	31	≥ 48	19	—	$d = 3a$	