

实验一 金属拉伸试验

一、实验目的

- 1、掌握金属拉伸各性能指标的测定方法。
- 2、学会正确使用金属拉伸试验设备和仪器。

二、实验材料及设备

- 1、实验材料为 20 钢或 45 钢，正火处理。
- 2、实验设备为 CMT5105、CMT5305 型电子万能试验机。

三、实验内容

- 1、测定单向拉伸时金属材料的强度及塑性指标。

R_{eL} , R_m , A , Z

- 2、绘制拉伸真实应力应变曲线 $s-\psi_e$ 及 $lgs-lge$ 曲线，并测定 S_b 、 S_K 、 n 、 D 。

四、实验原理

金属拉伸试验是金属材料力学性能测试中最重要的试验方法之一。

根据 GB/T228-2002《金属材料 室温拉伸试验方法》的规定，对一定形状的试样施加轴向试验力 F 拉至断裂，便可测出表征金属材料的物理屈服性能指标（上屈服强度 R_{eH} 、下屈服强度 R_{eL} ）、规定微量塑性伸长强度指标（规定非比例延伸强度 R_p 、规定总延伸强度 R_t 、规定残余延伸强度 R_r ）、强度性能指标（抗拉强度 R_m ）及塑性性能指标（断后伸长率 A 、屈服点伸长率 A_e 、最大力下的总伸长率 A_{gt} 、最大力下的非比例伸长率 A_g 和断面收缩率 Z ）。这些性能指标的工程定义及测试方法如下。

（一）物理屈服性能指标

具有物理屈服现象的金属材料、其拉伸曲线的类型如图 1-1 所示。据此，可对各项物理屈服性能指标作如下定义。

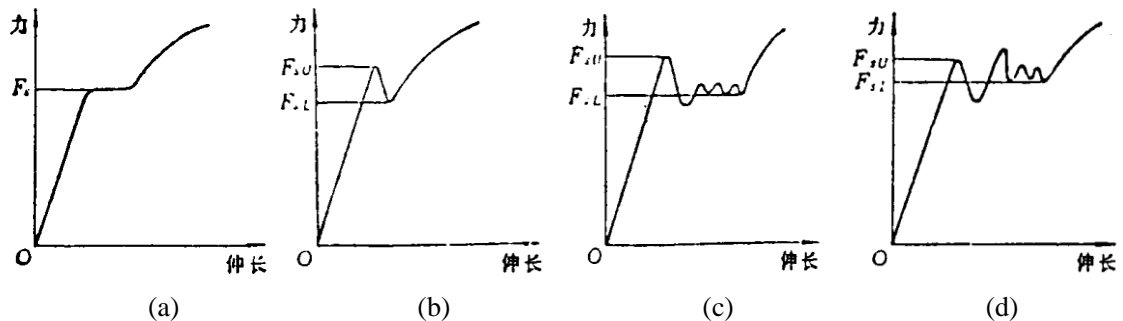


图 1-1 具有物理屈服现象金属材料的拉伸曲线

(a) 具有屈服平台的曲线 (b)、(c)、(d) 具有上、下屈服点的曲线

屈服平台：试样在拉伸试验过程中试验力不增加（保持恒定）仍能继续伸长时的应力。其拉伸曲线如图 1-1a 所示。若试样原始横截面积为 S_0 ，则

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

如果在屈服过程中试验力发生下降（图 1-1b、c、d），则应区分上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})。

上屈服强度 R_{eH} ：试样发生屈服而试验力首次下降前的最高应力。

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}$$

下屈服强度 R_{eL} ：当不计初始瞬时效应（指在屈服过程中试验力第一次发生下降）时屈服阶段中的最低应力。

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

一般在无特殊要求的情况下，只测定下屈服强度 R_{eL} 。

F_{eL} 、 F_{eH} 等试验力值可用两种方法来测定：

- (1) 图解法 试验时用自动记录装置绘制力—伸长曲线图（见图 1-1）或力—夹头位移曲线图，然后从曲线上读取力首次下降前的最大力，代表 F_{eH} ；不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小力或屈服平台的恒定力，代表 F_{eL} 。
- (2) 指针法 试验时观察拉伸试验机测力度盘的指针，指针首次回转前的最大试验力，代表 F_{eH} ，不计初始瞬时效应时屈服阶段中指示的最小试验力和指针停止转动时的恒定力代表 F_{eL} 。

(二) 规定微量塑性伸长强度指标

(1) 规定非比例延伸强度(R_p)的测定

试样标距部分的非比例伸长达规定的原始标距百分比时的应力。所谓非比例是指超出试验力与伸长成正比范围以外的伸长。在图 1-2 中，当试验力为 F 时 \overline{ab} 段为比例伸长， \overline{bc} (\overline{OD}) 段为非比例伸长。这种应力是在试样受力的条件下测定的，反映材料在试验力的作用下抵抗微量塑性变形的抗力。表示这种强度的符号应附以角注，以表明规定非比例伸长率 ϵ_p 之值。例如， $R_{p0.1}$ 、 $R_{p0.2}$ 、 $R_{p0.5}$ 等分别表示规定非比例伸长率 ϵ_p 为 0.1%、0.2% 和 0.5% 时的应力。

根据力—伸长曲线图测定规定非比例延伸强度。在曲线图上，划一条与曲线的弹性直线段部分平行，且在此伸长轴上与此直线段距离等效于规定非比例伸长率，例如 0.2% 的直线。此平行线与曲线的交截点便为所求的规定非比例延伸强度的力 ($F_{p0.2}$)，此力除以试样的原始横截面积 (S_0) 便得到规定非比例延伸强度 (R_p)。

$$R_p = \frac{F_p}{S_0}$$

(2) 规定残余延伸强度(R_r)的测定

试样卸力后，其标距部分的残余伸长（如图 1-2 中 \overline{OE} 段）达到规定的原始标距百分比时的应力，与上述相同， $R_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率 ϵ_r 为 0.2% 时的应力。

$$R_r = \frac{F_r}{S_0}$$

(3) 规定总延伸强度(R_t)

试样标距部分的总伸长（包括比例伸长和非比例伸长，见图 1-2 中 \overline{ac} 或 \overline{OG} 段）达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号也应附以角注，以表明规定总伸长率 ϵ_t 之值。例如 $R_{t0.5}$ 表示规定总伸长率 ϵ_t 为 0.5% 时的应力。

$$R_t = \frac{F_t}{S_0}$$

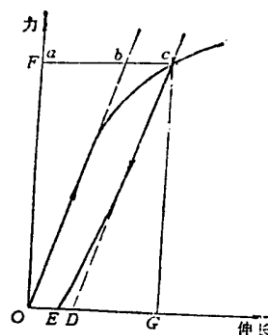


图 1-2 试样伸长的定义

\overline{ab} —比例伸长； \overline{bc} (\overline{OD})—非比例伸长；
 \overline{ac} (\overline{OG})—总伸长； \overline{OE} —残余伸长；

(三) 抗拉强度(R_m)

抗拉强度为试样拉伸过程中最大试验力所对应的应力。从拉伸曲线图上的最高点可确定试验过程中的最大力 F_m (见图 1-3), 或从试验机的测力度盘上读取最大力 F_m 。抗拉强度 R_m 按下式计算:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

(四) 塑性性能指标

塑性性能指标主要是“断后伸长率 A ”和“断面收缩率 Z ”。对某些金属材料(如冲压用钢板), 往往还要求测定“屈服点伸长率 A_e ”、“最大试验力下的总伸长率 A_{gt} ”及“最大试验力下的非比例伸长率 A_g ”。这些指标的定义如下:

断后伸长率 A : 试样拉断后, 标距部分的残余伸长与原始标距的百分比。

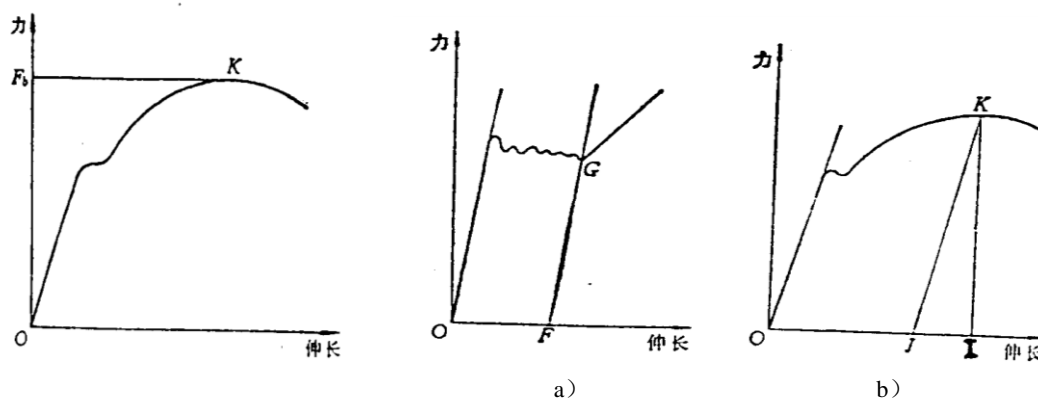


图 1-3 测定 R_m 的图解法

图 1-4 伸长率的定义及图解测定法

a) 屈服点伸长率; b) 最大试验力下的总伸长率和非比例伸长率

屈服点伸长率 A_e : 试样从开始屈服至屈服阶段结束(加工硬化开始)之间标距的伸长 \overline{OF} (见图 1-4a) 与原始标距的百分比。

最大试验力下的非比例伸长率 A_g : 试样拉到最大力时, 标距的非比例伸长 \overline{OJ} (见图 1-4b) 与原始标距的百分比。

最大试验力下的总伸长率 A_{gt} : 试样拉到最大试验力时, 标距的总伸长率 \overline{OI} (图 1-4b) 与原始标距的百分比。

断面收缩率 Z : 试样拉断后, 颈缩处横截面的最大缩减量与原始横截面积的百分比。

其测定方法分述如下:

(1) 断后伸长率 A 的测定: A 是在试样拉断后测定的。将拉断后的试样的断裂部分在断裂处紧密对接在一起, 尽量使其轴线位于同一直线上, 测出试样断裂后标距间的长度 L_u , 则断后伸长率的计算式为:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

由于试样断裂位置对 A 的大小有影响, 其中以断在正中的试样, 其伸长率最大。因此, 断后标距 L_u 的测量方法根据断裂位置不同而异, 有如下两种:

1) 直测法 如断裂处到最邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ 时, 可直接测量标距两端点间的距离。

2) 移位法 如断裂处到最邻近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ 时, 则用移位法将断裂处移至试样中部来测量。其方法如图 1-5 所示。

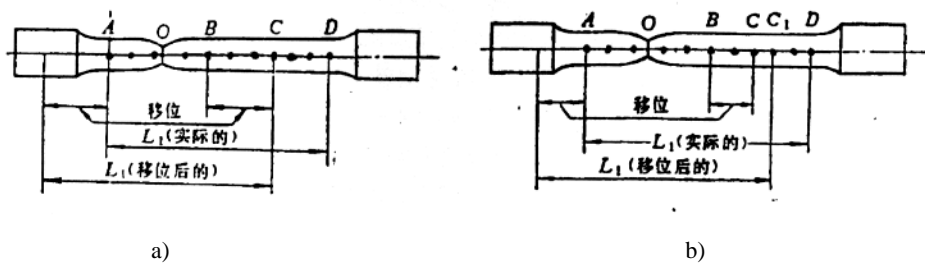


图 1-5 用移位法测量 L_{μ}

a) 余格为偶数; b) 余格为奇数

在断裂试样的长段上从断裂处 O 取基本等于短段格数, 得 B 点 (OB 近似等于 OA)。接着取等于长段所余格数 (偶数, 图 1-5a) 的一半得 C 点, 或取所余格数 (奇数, 图 1-5b) 分别减 1 与加 1 的一半得 C 和 C_1 点。移位后的 L_{μ} 分别为 $AO+OB+2BC$ 和 $AO+OB+BC+BC_1$ 。

(2) 屈服点伸长率 A_e 、最大试验力下的总伸长率 A_{gt} 和最大试验力下的非比例伸长率 A_g 的测定:

这三个指标只能用图解法测定。用自动记录装置绘制力-伸长曲线图时, 选择适当的力轴和伸长轴放大比例, 所使用的变形传感器标距 L_e 应尽可能等于试样原始标距。在图 1-4a 所示的曲线上, 自屈服阶段结束点 G 作弹性直线段平行线 \overline{GF} , 交伸长轴于 F 点。测量 \overline{OF} 之长, 即可按下式计算出屈服点伸长率:

$$A_e = \frac{\overline{OF}}{nL_e} \times 100\% \quad (n: \text{伸长轴放大率})$$

在图 1-4b 中, 自曲线最大力点 K 分别作力轴和弹性直线段的平行线 \overline{KI} 和 \overline{KJ} , 交伸长轴于 I 和 J 点, 测量 \overline{OI} 和 \overline{OJ} 之长, 即可按下式分别算出最大试验力下的总伸长率 A_{gt} 和非比例伸长率 A_g 。

$$A_{gt} = \frac{\overline{OI}}{nL_e} \times 100\% \quad A_g = \frac{\overline{OJ}}{nL_e} \times 100\% \quad (n: \text{伸长轴放大率})$$

(3) 断面收缩率 Z 的测定: Z 也是在试样断裂后测定的。只要测出颈缩处最小横截面积 S_{μ} , 则可按下式算出 Z 值:

$$Z = \frac{S_0 - S_{\mu}}{S_0} \times 100\%$$

S_{μ} 的确定方法: 将试样断裂部分仔细地配接在一起, 使其轴线处于同一直线上。对于圆形横截面试样, 在缩颈最小处两个互相垂直的方向上测量其直径, 用两者的算术平均值计算出 S_{μ} 。

(五) 绘制真实应力应变曲线 $S-\psi_e$ 和求形变强化模数 D, 应变硬化指数 n 的方法
真实伸长率 e 和真实断面收缩率 ψ_e 通常称为真实变形。

真实伸长率

$$e = \int_{l_0}^l \frac{de}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

真实断面收缩率

$$\psi_e = \int_{A_0}^A \frac{dA}{A} = \ln \frac{A}{A_0}$$

在均匀塑性变形阶段，可以每隔一定载荷，测量试样直径及伸长，从而可计算出 S 、 e 、 ψ_e ，绘出 S - e 或 S - ψ_e 曲线。由于在均匀塑性变形阶段， e 和 ψ_e 绝对值相当，为简化操作，我们只需测量试样瞬时直径 d ，从而计算出 S 和 ψ_e ，在达到最大值 F_m 之前，测量不少于六点。

试样出现颈缩后，记录 F_m ，放慢试验速度，使拉伸缓慢进行，每隔一定载荷，测量颈缩处直径，测量也不少于六点，同样计算出 S 和 ψ_e ，从而绘制出 S - $|\psi_e|$ 曲线。

形变强化模数 D 的求法只是近似的，可将 S - ψ_e 曲线的直线部分向两端延长，它的斜率看作常数，计算出 $\text{tg}\alpha$ 即为 D 。

$$D = \frac{ds}{d\psi_e} = \text{tg}\alpha$$

应变硬化指数 n 的求法也是近似的。

实验证明，均匀变形阶段，在双对数坐标下应力应变曲线是一条直线，可用 $S=ke^n$ 表示 $\lg S = \lg k + n \lg e$ ， n 为直线的斜率。

因为在均匀塑性变形阶段， $|e| = |\psi_e|$ ，所以测出一定荷载下试样的直径，即可求出 S ，并可求出 e ，从而可绘制出 $\lg S$ - $\lg e$ 曲线，以此来求得 n 。

五、实验报告要求

- 1、记录试验过程中的原始数据。
- 2、按原始数据绘制曲线并计算出各性能指标。

实验二 硬度试验

一、实验目的

- 1、掌握金属布氏、洛氏、维氏硬度的试验原理和测定方法。
- 2、了解各种硬度试验方法的特点、应用范围及选用原则。
- 3、学会正确使用各种硬度计。

二、实验内容

- 1、测定黄铜、工业铝、低碳钢、中碳钢、高碳钢等材料的布氏硬度 (HB)、洛氏硬度 (HRB) 及维氏硬度 (HV)，绘制 HB-HRB 和 HB-HV 曲线，比较它们之间的关系。
- 2、测定淬火回火钢的 HRC，锉刀的 HRA。

三、实验设备及材料

- 1、硬度计：布氏、洛氏、维氏硬度计各一台。
- 2、读数放大镜：最小分度值为 0.01mm 两只。
- 3、标准硬度块：不同硬度试验方法的二等标准硬度块各一块。
- 4、实验材料：黄铜、工业铝、低碳钢、中碳钢、高碳钢、锉刀、淬火回火钢等。

四、实验原理

金属硬度试验是一种较为迅速而经济的力学性能试验方法，在生产及科研中应用非常广泛。硬度试验方法的种类很多，最常用的为压入法，其中包括布氏法、洛氏法、维氏法等。

(一) 金属布氏硬度试验方法

图 2-1 为布氏硬度原理图，用一定直径 D (单位为 mm) 的硬质合金球，施以相应的试验力 F (单位为 kgf 或 N) 压入试样表面，经规定保持时间 t (单位为 s) 后卸除试验力，试样表面将残留压痕，测量压痕平均直径 d (单位为 mm)，求得压痕球形表面积 A (mm^2)。布氏硬度值 (HB) 就是试验力 F 除以压痕球形表面积 A 所得的商。其计算公式如下：

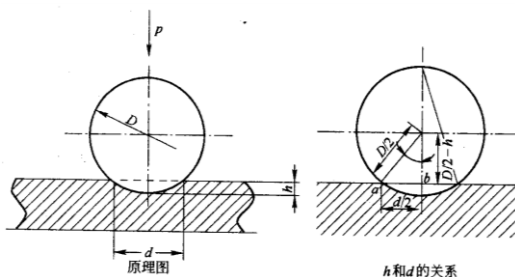


图 2-1 布氏硬度的原理

- a. 当试验力 F 的单位为 kgf 时

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- b. 当试验力 F 的单位为 N 时

$$HB = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

★通常布氏硬度值不标出单位。

布氏硬度的符号用 HBW 表示。符号 HBW 之前书写硬度值，符号后面按下列顺序用数值表示试验条件：球体直径/试验力 (以 kgf) /试验力保持时间 (10~15s 不标注)。例如，500HBW5/750 即表示用直径为 5mm 的硬质合金球在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下，保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。

c. 对于材料相同而厚薄不同的工件，为了测得相同的布氏硬度值，在选配压头直径 D 及试验力 F 时，应保证得到几何相似的压痕 (即压痕的压入角 φ 保持不变)，为此，应使：

$$\frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = \dots = \frac{F}{D^2} = \text{常数}$$

d. 对于软硬不同的材料，为了测得统一的、可资比较的硬度值，应选用不同的 F/D^2 的比值，以便将压入角 ϕ 限制在 $28^\circ \sim 74^\circ$ 的范围内，与此对应的压痕直径 d 在 $(0.24 \sim 0.6)D$ 之间。

为保证试验后压痕直径在 $(0.24 \sim 0.6)D$ 范围内，并要求压痕深度 h 小于试样厚度 δ 的八分之一，在试验时应根据试验材料的硬度与厚度选择试验条件，即压头直径 D 、 F/D^2 的比值与试验力 F 以及试验力保持时间 t 。

1、压头直径 D 的选择

球体直径 D 规定有四种：10、5、2.5 和 1mm。主要根据试样厚度来选择，试样厚度至少应为压痕深度的 8 倍。表 2-1 列出压痕平均直径 (d) 与试样最小厚度 (δ_{\min}) 的关系。在试样厚度允许的条件下，应尽可能选用较大直径的球体作压头，从而得到能够真实反映出金属平均硬度的较大压痕。

表 2-1 压痕平均直径 (d) 与试样最小厚度 (δ_{\min}) 关系表 (单位: mm)

压痕平均直径 d	试样最小厚度 δ_{\min}			
	$D=1$	$D=2.5$	$D=5$	$D=10$
0.2	0.08			
0.3	0.18			
0.4	0.33			
0.5	0.54			
0.6	0.80	0.29		
0.7		0.40		
0.8		0.53		
0.9		0.67		
1.0		0.83		
1.1		1.02		
1.2		1.23	0.58	
1.3		1.46	0.69	
1.4		1.72	0.80	
1.5		2.00	0.92	
1.6			1.05	
1.7			1.19	
1.8			1.34	
1.9			1.50	
2.0			1.67	
2.2			2.04	
2.4			2.46	1.17
2.6			2.92	1.38
2.8			3.43	1.60
3.0			4.00	1.84
3.2				2.10

续表 2-1

压痕平均直径 d	试样最小厚度 δ_{\min}			
	D=1	D=2.5	D=5	D=10
3.4				2.38
3.6				2.68
3.8				3.00
4.0				3.34
4.2				3.70
4.4				4.08
4.6				4.48
4.8				4.91
5.0				5.36
5.2				5.83
5.4				6.33
5.6				6.86
5.8				7.42
6.0				8.00

2、 F/D^2 比值及试验力 F 的选择

F/D^2 比值规定有 6 种：30，15，10，5，2.5 和 1。主要根据试样的材料及其硬度范围，按照表 2-2 来选择。

表 2-2 布氏硬度试验 F/D^2 比值的选择

材料	布氏硬度范围	F/D^2	材料	布氏硬度范围	F/D^2
钢、镍合金、钛合金		30	轻金属及合金	<35	2.5
铸铁	<140	10		35~80	5、10、15
	≥ 140	30		>80	10、15
铜及铜合金	<35	5	铅、锡		1
	35~200	10			
	>200	30			

当球体直径 D 及 F/D^2 比值确定后，试验力 F 也就随之被确定了。

3、试验力保持时间 t 的选择

试验力保持时间如无特殊要求，均为 10~15s。

几点说明：① 试样表面应光滑平坦，表面粗糙度参数 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ 。

② 任一压痕中心距试样边缘的距离至少为压痕平均直径的 2.5 倍。两相邻压痕中心间距离至少为压痕平均直径的 3 倍。

③ 应在两相互垂直方向测量压痕直径，用两个读数的平均值计算或查表求得布氏硬度。

④ 布氏硬度结果保留三位有效数字。

(二) 金属洛氏硬度试验方法

洛氏硬度试验常用的压头为圆锥角 $\alpha=120^\circ$ 、顶部曲率半径为 0.2mm 的金刚石圆锥体或直径 $D=1.588\text{mm}$ 的淬火钢球。

图 2-2 为以金刚石圆锥体作为压头测定洛氏硬度的原理图。先对试样加上规定的初试验力 F_0 ，在金属表面得一压痕深度 h_0 ，以此作为测量压痕深度的基线。随后再加上主试验力 F_1 ，压痕深度的增量为 h_1 。金属在 F_1 作用下产生总变形 h_1 中包括弹性变形与塑性变形。当将 F_1 卸除后，总变形中的弹性变形恢复，使压头回升一段距离。于是得到金属在 F_0 作用下的残余压痕深度增量 e （其值以 0.002mm 为单位表示）。 e 值愈大表明金属洛氏硬度愈低；反之，则表明硬度愈高。为了照顾习惯上数值愈大硬度愈高的概念，故用一个常数 k 减去 e 来表示洛氏硬度值，并以符号 HR 表示，即

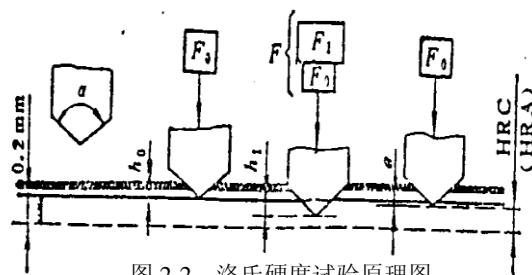


图 2-2 洛氏硬度试验原理图

当使用金刚石圆锥体压头时，常数 k 为 100；当使用淬火钢球压头时，常数 k 定为 130。

$$HR=k-e$$

实际测定洛氏硬度时，由于在硬度计的压头上方装有百分表，可直接测出压痕深度，并按上式换算出相应的硬度值。因此，在试验过程中金属的洛氏硬度值可直接读出。

为了测定软硬不同的金属材料的硬度，在洛氏硬度计上可选配不同的压头与试验力，组合成几种不同的洛氏硬度标尺。每一种标尺用一个字母在 HR 后注明。最常用的标尺有 A、B、C 三种，其硬度值的符号分别用 HRA、HRB 及 HRC 表示。它们的试验条件、硬度值计算公式及应用实例见表 2-3。

为了测定软硬不同的金属材料的硬度，在洛氏硬度计上可选配不同的压头与试验力，组合成几种不同的洛氏硬度标尺。每一种标尺用一个字母在 HR 后注明。最常用的标尺有 A、B、C 三种，其硬度值的符号分别用 HRA、HRB 及 HRC 表示。它们的试验条件、硬度值计算公式及应用实例见表 2-3。

几点说明：① 试样表面应光滑平坦，表面粗糙度 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ 。

② 洛氏硬度值写在其符号之前，如 59.5HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 59.5。

③ 总试验力 F 保持时间为 $4\text{S} \pm 2\text{S}$ 。

④ 两个相邻压痕中心之间的距离至少应为压痕直径的 4 倍，且不应小于 2mm；任一压痕中心距试样边缘的距离至少应为压痕直径的 2.5 倍，且不应小于 1mm。

⑤ 洛氏硬度值至少应精确至 0.5HR。

表 2-3 洛氏硬度标尺的试验条件及应用实例

标尺	压头类型	初试验力 kgf(N)	主试验力 kgf(N)	硬度值计算公式	硬度测量范围	应用实例
HRA	金刚石圆锥体	10 (98.07)	50 (490.3)	$HRA=100-e$	20~88	高硬度薄件、表面处理钢件、硬质合金等
HRC			140 (1373)	$HRC=100-e$	20~70	硬度大于 100HRB 的金属，如淬火及回火钢、钛合金等
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球		90 (882.6)	$HRB=130-e$	20~100	铜合金、铝合金、退火钢材、可锻铸铁等

(三) 金属维氏硬度试验方法

维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同，也是根据压痕单位面积所承受的试验力来计算硬度值，所不同的是维氏硬度试验的压头不是球体而是两对面夹角 α 为 136° 的金刚石四棱锥体。其试验原理如图 2-3 所示。压头在试验力 F （单位为 kgf 或 N）作用下，将试样表面压出一个四方锥形的压痕，经规定保持时间后，卸除试验力，测量出压痕对角线平均长度 $d[d=(d_1+d_2)/2]$ ，用以计算压痕的表面积。维氏硬度值（HV）就是试验力 F 除以压痕表面积 A 所得的商值。计算公式如下：

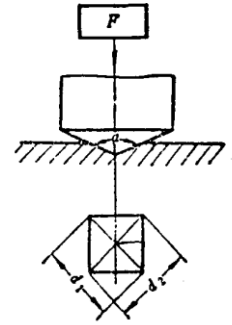


图 2-3 维氏硬度试验原理图

- a. 当试验力 F 的单位为 kgf 时（ d : mm）

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2F \sin(136^\circ/2)}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

- b. 当试验力 F 的单位为 N 时（ d : mm）

$$HV = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.204F \sin(136^\circ/2)}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

与布氏硬度值一样，维氏硬度值也不标注单位。维氏硬度值的表示方法是：在 HV 前书写硬度值，HV 后面按顺序用数字表示试验条件（试验力/试验力保持时间）（保持时间为 10~15s 者不标注）。例如，640HV30/20 表示用 30kgf（294.2N）试验力保持 20s 测得的维氏硬度值为 640。如果试验力为 1kgf（9.81N），试验力保持时间为 10~15s，测得的硬度值为 560，则可表示为 560HV1。

维氏硬度试验的试验力为 5（49.03）~100（980.7）kgf(N)；小负荷维氏硬度试验的试验力为 0.2（1.961）~<5（49.03）kgf（N）。可根据试样材料的硬度及厚度来选择。在一般情况下，建议选用试验力为 30kgf（294.2N）。当被试金属组织较粗大时，也可选用较大的试验力。但当材料硬度 ≥ 500 HV 时，不宜选用大试验力，以免损坏压头。

几点说明：① 试样表面应平坦光滑，表面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$ 。

② 试样或试验层厚度至少应为压痕对角线长度的 1.5 倍。试验后试样背面不应出现可见变形痕迹。

③ 如无特殊要求，试验力保持时间为 10~15s。

④ 任一压痕中心距试样边缘距离至少应为压痕对角线长度的 2.5 倍；两相邻压痕中间之间距离至少应为压痕对角线长度的 3 倍。

⑤ 应测量两条对角线的长度，用其算术平均值查得或求得硬度值。

⑥ 结果保留三位有效数字。

(四) 硬度试验方法的正确选用

如何根据试样的材料、工艺状态及几何尺寸等特点，选择一种合适的硬度试验方法，这是进行硬度试验时首先应认真考虑的问题。现提出几点意见，供选择时参考。

- 1) 布氏、洛氏及维氏硬度试验方法都可测定软硬不同及厚薄不一的试样的硬度，但其所测硬度范围应在该方法所允许的范围内。例如，布氏硬度只可测 650HBW 以下材料的硬度。又如，用洛氏硬度 C 标尺所测硬度范围应在 HRC20~70 之间。若材料硬度小于 HRC20 则应选用 B 标尺；若大于 HRC70 则应选用 A 标尺。对于较小较薄的试样，作布氏硬度试验时应选用小直径压头及较小的 F/D^2 比值，或选用表面洛氏硬度法、小负荷维氏硬度法试验。

- 2) 尽管常用的各种硬度试验方法都可对软硬不同、厚薄不一的试样测定硬度，但在实际生产和科研中，根据人们的经验及已经积累的大量硬度试验数据来看，对上述几种硬度试验方法的选用还是有所侧重的。例如，对于各种铸铁、热轧或正火钢材、各种有色金属及其合金、轴承合金等硬度较低或金相组织较为粗大的材料常采用布氏硬度法；对于淬火后经不同温度回火的钢材、各种工模具及渗层厚度大于 0.5mm 的渗碳层等较硬的材料，常采用洛氏硬度 C 标尺法；对于硬质合金之类的很硬材料，常采用洛氏硬度 A 标尺法。当零件或工模具的渗层较浅时，如氮化层，渗硼层，可选用小负荷或显微维氏硬度法或表面洛氏硬度法。对于极薄试样或测定合金中某组成相的硬度，只有采用显微维氏硬度法。
- 3) 对于同一材料由于处理条件不同，其硬度差异较大，为了得到可比的结果，可采用维氏硬度法测定硬度。
- 4) 在实验和研究工作中，如欲将试验数据与查得的资料中的硬度值进行对比，应尽可能选用与资料上相同的方法进行试验，以避免因硬度换算引入误差。
- 5) 生产上对产品进行大量检验时，常用洛氏硬度法，以提高生产效率。

五、实验方法和步骤

- 1、了解各种硬度计的构造原理，学习操作规程及安全注意事项，掌握操作方法。
- 2、对各种试样选择合适的硬度试验方法，确定试验条件。并根据试验条件更换压头及法码，根据试样形状更换工作台。
- 3、用标准硬度块校验硬度计。
- 4、测定几种给定材料的硬度，记录试验结果。

六、实验报告要求

- 1、按实验内容要求测定各材料的硬度，完成表 2-4。
- 2、绘制 HB-HRB(HB 为横坐标)和 HB-HV(HB 为横坐标)曲线，说明布氏硬度和洛氏硬度、布氏硬度和维氏硬度的关系。

表 2-4 硬度测试结果

材料	HBS				HRB d=1.588mm F=100kg	HV			备注
	D(mm)	F(kg)	d(mm)	HBS 值		F(kg)	d(mm)	HV 值	
黄铜	2.5	62.5				5			
工业铝	2.5	62.5				5			
20 钢	2.5	187.5				5			
45 钢	2.5	187.5				5			
T8 钢	2.5	187.5				5			

实验三 冲击试验

一、实验目的

- 1、学习金属冲击值的测定方法。
- 2、测定温度对碳钢冲击值的影响。

二、实验内容

- 1、测定低碳钢不同温度下的冲击值 A_{kv} ，绘制 A_{kv} —温度曲线，求出该材料的低温脆性转变温度。
- 2、测定不同温度下冲击样品断口的结晶区域面积百分比，并绘制冲击断口结晶区面积百分比与温度的关系曲线，求出材料的低温脆性转变温度。

三、设备及材料

1、设备

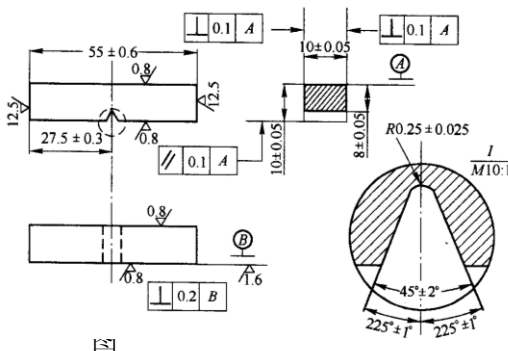
自动扬摆冲击试验机
冷却保温设备
温度计
游标卡尺
酒精、干冰、液氮
体视显微镜
冲击试样缺口投影仪

2、材料及处理状态

实验材料为低碳钢，处理状态为正火处理，将其制成夏比 V 型缺口冲击试样。

四、实验原理

冲击试验是一种动态力学性能试验，它是将一定形状尺寸的试样放置在冲击试验机的固定支座上，然后将具有一定能量的摆锤释放，使试样在冲击弯曲负荷作用下断裂。常用标准试样的冲击吸收功（试样变形和断裂所消耗的功） A_K 表示，单位为焦耳（J）。图 3-1 为夏比 V 型缺口试样示意图。



3-1 夏比 V 型缺口冲击试样

金属在常温下的冲击试验较为简便易行，其冲击吸收功的大小对材料的冶金质量、宏观缺陷、显微组织等十分敏感。因此，生产上广泛采用这种试验方法来检验材料的质量，如晶粒粗细、回火脆性、过热、过烧、内部裂纹、白点、夹杂、纤维组织的各向异性等。

具有体心立方或密排六方的金属及其合金，特别是工业上常用的结构钢，均会产生冷脆断裂现象，即当试验温度低于某一温度 t_K 时，材料将由韧性状态转变为脆性状态，其冲击值明显降低，这种现象称为冷脆转变现象， t_K 称为冷脆转变温度。这是衡量材料冷脆倾向的重要性能指标。低温脆性对压力容器、桥梁和船舶结构以及在低温下服役的机件来说是非常重要的。

韧脆转变温度一般使用标准夏比 V 型缺口冲击试样测定。

通常根据能量或断口形貌随温度的变化来确定 t_K 值。为此，需要在不同温度下进行冲击试验，根据不同温度下的冲击试验结果，作出冲击吸收功—温度曲线或断口形貌中结晶区（脆性断面区）所占面积和温度的关系曲线。根据这些曲线即可求出 t_K 。

冲击试样的断口形貌通常分为纤维区、放射区（结晶区）与剪切唇三个部分。在不同的温度下，纤维区、放射区与剪切唇三者之间的相对面积是不同的，温度下降，纤维区面积减少，结晶区面积增大，材料由韧变脆。

脆性转变温度 t_K 可用如下方法确定：

a. 冲击吸收功——温度曲线上平台与下平台区间规定百分数（ n ）所对应的温度，用 ETT_n 表示。例如冲击吸收功上下平台区间 50% 所对应的温度记为 ETT_{50} 。

b. 脆性断面率（结晶区面积百分比）——温度曲线中规定脆性断面率（ n ）所对应的温度，用 $FATT_n$ 表示。例如脆性断面率为 50% 所对应的温度记为 $FATT_{50}$ 。

这里特别注意，用不同方法测定的韧脆转变温度不能相互比较。在一定条件下用试样测得的 t_K ，由于与实际结构工况之间无直接联系，并不能说明该材料制成的构件就一定会在该温度下发生脆性断裂。

五、试验步骤及注意事项

1、金属常温冲击试验

(1) 常温冲击试验是在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 的温度范围内进行的，实际温度与此范围不符，则应加以注明。

(2) 检查试验机能量损失及试样尺寸是否符合要求（用冲击试样缺口投影仪），摆空锤后指针应指为零。

(3) 将试样稳定置于支座上，并保证刻槽的位置恰在支座跨距中心。

(4) 冲断试样，读出冲击功 A_K 。

2、金属低温冲击试验

(1) 为测出金属材料的韧脆转变温度，试验温度：

室温、 0°C 、 -10°C 、 -20°C 、 -30°C 、 -40°C 、 -50°C 、 -60°C 。

(2) 校验试验机，检查试样尺寸（用冲击试样缺口投影仪）。

(3) 试验所需温度的获得：

$0^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ 可用冰水加食盐作冷却剂，试验温度在 -30°C 内可用冰水加 CaCl_2 作冷却剂。一般常用方法是以干冰加酒精作冷却剂，可获得 -70°C 左右的低温，试验温度更低可用含氧量小于 10% 的液氮作冷却剂。

用干冰加酒精作冷却剂时，其操作方法如下：a) 将试样放在盛有酒精的低温箱中（如图 3-2 所示）的底栅上，试样间应留有一定间隙，使用酒精是为了使冷却剂不冻结，因而试样各部分温度均匀，同时，试验过程中，由于酒精不会很快挥发完，这样便保证了缺口处温度不至于显著上升。b) 视温度高低的需要，向低温箱中加入干冰，搅拌。

(4) 进行冲击试验

将试样在比规定温度低 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ 的温度下保温 20 分钟，用和试样温度相同的夹钳将试样取出，迅速在试验机支架上放好，放下摆锤将其冲断。一般规定从取出试样到打击试样之间的时间为 $2 \sim 5$ 秒。

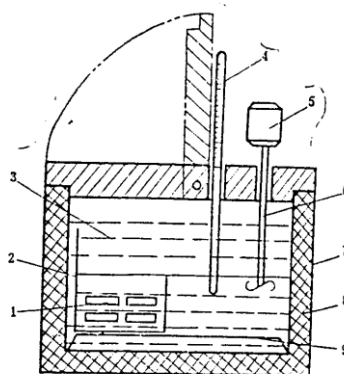


图 3-2 低温恒温箱结构示意图

1-试样；2-网篮；3-冷却介质；4-低温温度计；

5-电动机；6-搅拌器；7-金属壳；8-隔热层；9-底栅

(5) 读出冲击功 A_{KV} ，并在体视显微镜下观察冲击断口，确定脆性断面率（结晶区面积百分比）。

★进行冲击试验时，应特别注意安全，防止试样被击断后飞出伤人。

六、实验报告要求

将低温冲击试验结果（包括冲击功大小和结晶区面积百分比）列表给出，并绘制冲击功—温度曲线（ A_K-t 曲线）和脆性断面率（结晶区面积百分比）—温度曲线，并按两种方法（ ETT_{50} 和 $FATT_{50}$ ）确定冷脆转变温度 t_{K1} 、 t_{K2} 。

★注意：冲击试验数据结果不能取平均值，应分别在坐标图上点出，根据各数据结果给出光滑圆润的曲线。

实验四 木材拉压弯剪强度试验

一、木材试验的一般规定

1、取样

试样的制作必须按《木材物理力学试验用材的锯解及试样切取方法》的规定进行。

2、试样制作

试样毛坯达到当地平衡含水率时，方可制作试件。试样各面加工均应平整，其中一对相对面必须是正确的弦切面；试样尺寸的允许误差，长度为±1mm，宽和厚度为±0.5mm，试样上不允许有任何缺陷，并必须清楚地写上编号。

3、主要仪器设备

- (1) 木材全能试验机。承载力为 20~50KN。
- (2) 天平（感量 0.001g）、称量瓶、烘箱等。
- (3) 测量工具。钢直角尺，量角卡规（角度为 106° 32′）、钢尺、游标卡尺。

二、木材含水率测定

木材含水率测定按标准《木材含水率测定方法》（GB1931—1991）进行试验。

1、试验步骤

- (1) 试样截取后，应立即称量，准确至 0.001g。
- (2) 将试样放入温度为 103±2℃的烘箱中烘 10h 后，自烘箱中任意取出 2~3 个试样进行第一次试称，以后每隔 2h 试称一次。最后两次重量差不超过 0.002g 时，即为恒重。
- (3) 将试样自烘箱中取出放入玻璃干燥器内称量瓶中，并盖好瓶盖。试样冷却到室温后即从称量瓶中取出称量。

2、结果计算

试样的含水率 W（%）按下式计算（精确至 0.1%）：

$$W = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\%)$$

式中， m_0 、 m_1 分别为试样烘干前后的重量（g）。

三、木材顺纹抗拉强度试验

木材顺纹抗拉强度测定按《木材顺纹抗拉强度试验方法》（GB1938—1991）进行。

1、试件制备

试件按图 4-1 所示的形状和尺寸制作。纹理必须通直，年轮层应垂直于试样有效部分（指中部 60mm 长的一段）的宽面，有效部分与两端夹持部分之间的过渡弧应平滑，并与试样中心线相对称，有效部分宽、厚尺寸允许误差不超过±0.5mm，并在全长上相差不得大于 0.1mm。软材树种的试样，须在两端被夹持部分附以 90mm×14mm×8mm 的硬木夹垫，用胶合剂或木螺钉固定在试样上。

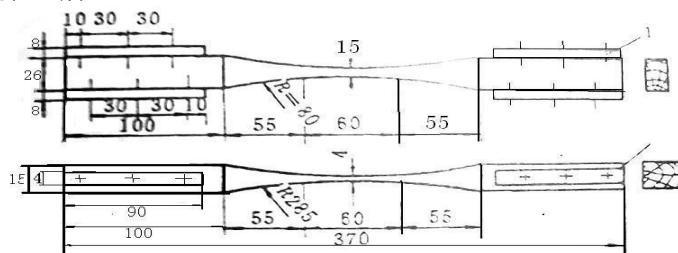


图 4-1 顺纹抗拉试件形状和尺寸

2、试验步骤

- (1) 在试件有效部分中央，用卡尺测量厚度 a 和宽度 b (精确至 0.1mm)。
- (2) 将试样两端夹紧在试验机的钳口中，使两端靠近弧形部分露出 20~25mm，先夹上端，调试验机零点，再夹下端。
- (3) 以每分钟 12KN±20% 的速度均匀加荷，直到试件拉断为止，记录破坏荷载 P (N)。若试样拉断处不在有效部分，试验结果作废。
- (4) 阔叶树试验后，应立即在有效部分截取 30mm 一段，测定其含水率。

3、结果计算

含水率为 $W\%$ 的木材顺纹抗拉强度 f_{tw} 按下式计算 (精确至 0.1MPa):

$$f_{tw} = \frac{P}{ab}$$

四、木材顺纹抗压强度试验

木材顺纹抗压强度测定按《木材顺纹抗压强度试验方法》(GB1935—1991) 进行。

1、试件制备

试件尺寸为 20mm×20mm×30mm，其长轴与木材纹理相平行，并垂直于受压面。

2、试验步骤

- (1) 用卡尺测量试件受力面的长度 a 及宽度 b (精确至 0.1mm)。
- (2) 将试件立放在试验机承压板的中心位置，以每分钟 40KN±20% 的速度均匀加荷，直至试样破坏，试验机指针明显退回时为止。记录破坏荷载 P (N)。
- (3) 试验后立即将整个试样进行含水率测定。

3、试验结果

含水率为 $W\%$ 的木材顺纹抗拉强度 f_{cw} 按下式计算 (精确至 0.1MPa):

$$f_{cw} = \frac{P}{ab}$$

五、木材抗弯强度试验

木材抗弯强度测定按《木材抗弯强度及弹性模量试验方法》(GB1936—1991) 进行。

1、试件制备

试件尺寸为 20mm×20mm×300mm，其长轴方向与木材纹理相平行。

2、试验步骤

- (1) 木材只做弦向抗弯试验。在试件长度的中央，用卡尺沿径向测量宽度 b ，沿弦向测量高度 h (精确至 0.1mm)。
- (2) 将试件放于试验机抗弯支座上，其跨距为 240mm，试件上放上抗弯压头使试件三等分受力。抗弯支座和压头与试样两径面间必须分别加垫 30mm×20mm×5mm 的钢垫片 (图 4-2)。
- (3) 以每分钟 5KN±20% 的速度均匀加荷，直到试样破坏为止，记录破坏荷载 P (N)，并立即从靠近试样破坏处，锯取长约 30mm 的木块一段，随即测定其含水率。

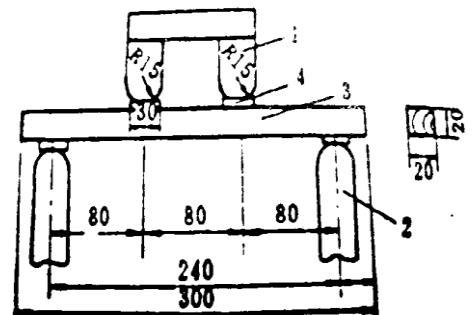


图 4-2 抗弯强度试验装置

1—试验机压头；2—试验机支座；3—试件；4—垫片

3、结果计算

试样含水率为 $W\%$ 的抗弯强度 f_{fw} 按下式计算（精确至 0.1MPa）：

$$f_{fw} = \frac{PL}{bh^2}$$

式中， L 为支座间跨距（mm）； b 、 h 分别为试样的宽和高（mm）。

六、木材顺纹抗剪强度试验

木材顺纹抗剪强度测定按《木材顺纹抗剪强度试验方法》（GB1937—1991）进行。

1、试件制备

制作抗剪试件时，应使受剪面为正确的弦面或径面，试件形状如图 4-3，试样尺寸误差不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ ，试样缺角部分的角度，须用特制的角度为 $106^\circ 42'$ 的角规进行检查。

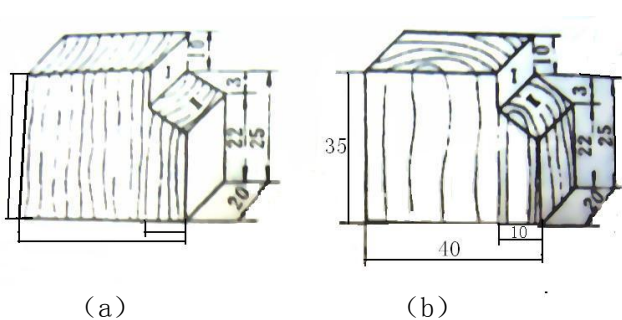


图 4-3 顺纹抗剪试样的形状和尺寸
a—弦面抗剪试样；b—径面抗剪试样

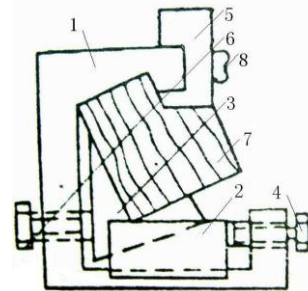


图 4-4 顺纹抗剪试验附件及装置

1—附件主体；2—楔块；3—斜 L 形垫块；
4, 6—螺杆；5—压块；7—试样；8—螺钉

2、试验步骤

- (1) 用卡尺测量试件受剪面的宽度 b 和高度 h （精确至 0.1mm）。
- (2) 将试件装入木材抗剪夹具的斜 L 形垫块 3 上（图 4-4），调整螺杆 4 和 6，使试样顶面和缺角 I 面贴紧夹具上部凹角的相邻两侧面，至试样不动为止。再将压块与置于试样斜面 II 上，并使其侧面紧靠附件的主体。
- (3) 将装好试件的抗剪夹具置于试验机上，使压块 5 的中心对准试验机上压头的中心位置，以每分钟 $15\text{KN} \pm 20\%$ 的速度均匀加荷，直至试样破坏为止，记录破坏荷载 P （N）。
- (4) 将试件破坏后的小块部分，立即进行含水率测定。

3、结果计算

含水率为 $W\%$ 试件的顺纹抗剪强度 f_{sw} 按下式计算（精确至 0.1MPa）：

$$f_{sw} = \frac{P \cos \theta}{bh}$$

式中， θ 为加荷方向与顺纹方向之间的夹角（ $16^\circ 42'$ ）， $\cos \theta = 0.9578$ 。

七、木材标准含水率强度换算

含水率对木材强度的影响很大，将试验时试件含水率 $W\%$ 的强度 f_w 换算成标准含水率（ $W=15\%$ ）的强度 f_{15} ，方能相互比较。其换算式为：

$$f_{15} = f_w [1 + \alpha (W - 15)]$$

式中， W 为试验时试件含水率（%），可按标准方法测出。

为含水率修正系数， α 值按木材的受力性质与树种选取，见表 4-1。

表 4-1 木材含水率修正系数

试验项目	树种	含水率修正系数 α
顺纹抗压强度	所有树种	0.05
顺纹抗拉强度	阔叶树	0.015
	针叶树	0
抗弯强度	所有树种	0.04
顺纹抗剪切强度	所有树种	0.03

八、木材试验结果评定

由试验结果确定木材在标准含水率下的平均抗拉、抗压、抗弯与抗剪强度，并由此比较其拉、压、弯、剪强度的大小关系。

实验五 钢筋力学性能试验

依据 GB228—1987 及 GB232—1988 标准，对钢筋进行拉伸与冷弯试验，并测试经冷拉和时效处理后钢筋的力学性能，并了解不同品种的钢材和焊接钢筋的测试方法。

一、钢筋取样与验收规则

- 1、钢筋混凝土用热轧钢筋，同一截面尺寸和同一炉罐号组成的钢筋应分批检查和验收，每批重量不大于 60t。
- 2、钢筋应有出厂证明或试验报告单。验收时应抽样检验，其检验项目主要有拉伸试验与冷弯试验两项；钢筋在使用中如有脆断、焊接性能不良或机械性能显著不正常时，尚应进行化学成分分析；验收时还包括尺寸、表面及重量偏差等检验。
- 3、钢筋拉伸与冷弯试验用的试样不允许进行车削加工；试验应在 $20 \pm 10^\circ\text{C}$ 的温度下进行，否则应在报告中注明。
- 4、验收取样时，自每批钢筋中任取 2 根截取拉伸试样，任取 2 根截取冷弯试样。在拉伸试验的 2 根试件中，若其中有 1 根试件的屈服点、抗拉强度和伸长率等 3 个指标中有 1 个达不到标准中的规定值，或冷弯试验的 2 根试件中有 1 根不符合标准要求，则在同 1 批中再抽取双倍数量的试样进行该不合格项目的复验，复验结果中只要有 1 个指标不合格，则该试验项目判为不合格，整批不得交货。

二、钢筋拉伸试验

1、主要仪器设备

- (1) 材料拉力试验机。其示值误差不大于 1%。试验时所用荷载的范围应在最大荷载的 20%~80% 范围内。
- (2) 钢筋划线机、游标卡尺（精度为 0.1mm）、天平等。

2、试验步骤

- (1) 钢筋试样不经车削加工，其长度要求见图 5-1。

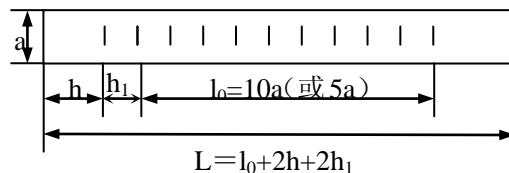


图 5-1 不经车削的试件

a—计算直径； l_0 —标距长度；h—夹具长度； h_1 —0.5~1 a

- (2) 在试样 l_0 范围内按 10 等分划线（或打点）、分格、定标距。测量标距长度 l_0 （精确至 0.1mm）。
- (3) 测量试件长并称重（精确到 1mm），并称量（精确至 0.1g）。
- (4) 不经车削试件按重量法计算截面面积 A_0 (mm^2): $A_0 = \frac{m}{7.85L}$

式中，m 为试件重量 (g)；L 为试件长度 (cm)；7.85 为钢材密度 (g/cm^3)。

根据标准 GB13013—1991 和 GB1499—1998 规定，计算钢筋强度用截面面积采用公称横截面积，故计算出钢筋受力面积后，应据此取靠近的公称受力面积 A(保留 4 位有效数字)。

- (5) 将试件上端固定在试验机上夹具内、调整试验机零点、装好描绘器、纸、笔等，再用下夹具固定试件下端。
- (6) 开动试验机进行拉伸，拉伸速度为屈服前应力增加速度为 10MPa/s；屈服后试验机活动夹头在荷载下移动速度不大于 0.5l₀/min（不经车削试件 l₀=l₀+2h₁），直至试件拉断。

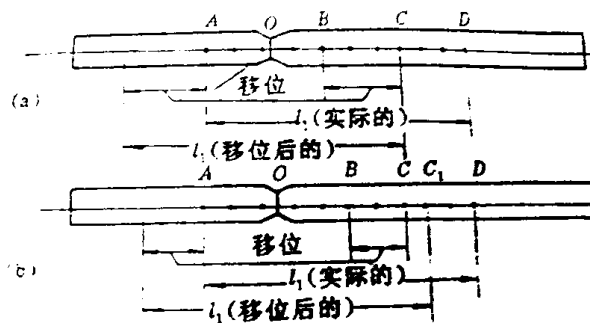


图 5-2 用位移法计算标距

- (7) 拉伸中，描绘器自动绘出荷载—变形曲线，由刻度盘指针及荷载变形曲线读出屈服荷载 P_s（指针停止转动或第 1 次回转时的最小荷载）与最大极限荷载 P_b（N）。
- (8) 测量拉伸后的标距长度 l₁。将已拉断的试件在断裂处对齐，尽量使其轴线位于一条直线上。如断裂处到邻近标距端点的距离大于 l₀/3 时，可用卡尺直接量出 l₁；在断裂处到邻近标距端点的距离小于或等于 l₀/3 时，可按下述移位法确定 l₁：在长段上自断点起，取等于短段格数得 B 点，再取等于长段所余格数（偶数如图 14a）之半是 C 点，或者取所余格数（奇数如图 14b）减 1 与加 1 之半得 C 与 C₁ 点。则移位后的 l₁ 分别为 AB+2BC 或 AB+BC+BC₁。如用直接量测所得的伸长率能达到标准值，则可不采用移位法。

3、结果计算

(1) 屈服强度 σ_s ：
$$\sigma_s = \frac{P}{A} \quad (\text{MPa})$$

(2) 极限抗拉强度 σ_b ：
$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (\text{MPa})$$

(3) 断后伸长率 δ （精确至 0.5%）：
$$\delta_{10}(\text{或} \delta_5) = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100 \quad (\%)$$

式中， δ_{10} 、 δ_5 分别表示 L₀=10a 和 L₀=5a 时的断后伸长率。

如拉断处位于标距之外，则断后伸长率无效，应重作试验。强度的精度要求见表 5-1 所示。

表 5-1 数值结果的修约间隔

试验结果范围	修约精度
≤200MPa	1MPa
200~1000MPa	5MPa
>1000MPa	10MPa

测试值的修约方法：当修约精确至尾数 1 时，按前述四舍六入五单双方法修约；当修约精确至尾数为 5 时，按二五进位法修约（即精确至 5 时，≤2.5 时尾数取 0；>2.5 且 <7.5 时尾数取 5；≥7.5 时尾数取 0 并向左进 1）。

三、钢筋冷弯试验

1、主要仪器设备：全能试验机及具有一定弯心直径的一组冷弯压头。

2、试验步骤

(1) 试件长 L=d+2a+150mm，a 为试件直径。

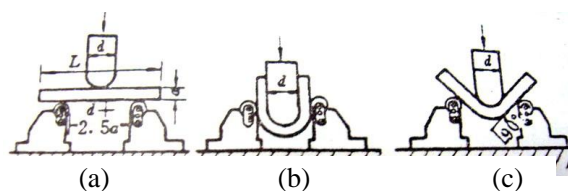


图 5-3 钢筋冷弯试验装置

(2) 按图 5-3a 调整两支辊间的距离为 x , 使 $x=(d+3a)\pm 0.5a$ 。

(3) 根据表 5-2 选择弯心直径 d 。

表 5-2 钢筋的力学性能与工艺性能指标

表面形状	钢筋级别	牌号	公称直径 mm	屈服点 σ_s (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	冷弯	
							d—弯芯直径	a—钢筋公称直径
光圆	I	(R235)	8~20	≥ 235	≥ 370	≥ 25	180°	d=a
月牙肋	—	HRB335	6~25	≥ 335	≥ 490	≥ 16	180°	d=3a
			28~40					d=4a
	—	HRB400	6~25	≥ 400	≥ 570	≥ 14	180°	d=4a
			28~40					d=5a
	—	HRB500	6~25	≥ 500	≥ 630	≥ 12	180°	d=5a
			28~32					d=6a

(4) 将试件按图 5-3a 装置好后, 平稳地加荷, 在荷载作用下, 钢筋绕着冷弯压头, 弯曲到要求的角度 (光圆和月牙肋钢筋均为 180°, 闪光对焊为 90°), 见图 5-3 b 和图 5-3c。

(5) 取下试件检查弯曲处的外缘及侧面, 如无裂缝、断裂或起层, 即判为冷弯试验合格。

四、钢筋冷拉、时效后的拉伸试验

钢筋经过冷加工、时效处理以后, 进行拉伸试验, 确定此时钢筋的力学性能, 并与未经冷加工及时效处理的钢筋性能进行比较。

1、试件制备

按标准方法取样, 取 1 根长钢筋, 截取 6 段, 制备与钢筋拉伸试验相同的试件 6 根并分组编号, 共 3 组试件。

2、试验步骤

(1) 第 1 组试件用作一般拉伸试验, 并绘制荷载—变形曲线, 方法同钢筋拉伸试验。以 2 根试件试验结果的算术平均值计算钢筋的屈服点 σ_s , 抗拉强度 σ_b 和伸长率 δ 。

(2) 将第 2 组试件进行拉伸至伸长率达 10% (约为高出上屈服点 3kN) 时, 以拉伸时的同样速度进行卸荷, 使指针回至零, 随即又以相同速度再行拉伸, 直至断裂为止。并绘制荷载—变形曲线。第 2 次拉伸后以 2 根试件试验结果的算术平均值计算冷拉后钢筋的屈服点 σ_{SL} 、抗拉强度 σ_{bL} 和伸长率 δ_L 。

(3) 将第 3 组试件进行拉伸至伸长率达 10% 时, 卸荷并取下试件, 置于烘箱中加热 110°C 恒温 4h, 或置于电炉中加热 250°C 恒温 1h, 冷却后再做拉伸试验, 并同样绘制荷载—变形曲线。这次拉伸试验后所得性能指标 (取 2 根试件算术平均值) 即为冷拉时效后钢筋的屈服点 σ_{SL} 、抗拉强度 σ_{bL} 和伸长率 δ_L 。

3、结果计算

(1) 比较冷拉后与未经冷拉的两组钢筋的应力—应变曲线, 计算冷拉后钢筋的屈服点、抗拉强度及伸长率的变化率:

$$B_s = \frac{\sigma_{SL} - \sigma_s}{\sigma_s} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_b = \frac{\sigma_{bL} - \sigma_b}{\sigma_b} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_\delta = \frac{\delta_L - \delta}{\delta} \times 100 \quad (\%)$$

(2) 比较冷拉时效后与未冷拉的 2 组钢筋的应力—应变曲线，计算冷拉时效处理后，钢筋屈服点、抗拉强度及伸长率的变化率：

$$B_{SL} = \frac{\sigma'_{SL} - \sigma_S}{\sigma_S} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_{bL} = \frac{\sigma'_{bL} - \sigma_b}{\sigma_b} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_{\delta L} = \frac{\delta'_L - \delta}{\delta} \times 100 \quad (\%)$$

五、试验结果评定

- 1、根据拉伸与冷弯试验结果按标准规定评定钢筋的级别或牌号。
- 2、比较一般拉伸与冷拉时效后钢筋的力学性能变化，并绘制相应的应力—应变曲线。

实验六 胶凝材料的强度与软化系数

制备有代表性的材料，一种为水硬性胶凝材料（如水泥胶砂试件），另一种为气硬性胶凝材料（如石膏胶砂试件），分别测试其干燥状态和饱水状态的抗压强度，分别计算其软化系数。了解不同性质胶凝材料的差异。

一、主要仪器设备

- 1、试模。有底立方体金属模，内壁边长为 70.7mm，每组两个三联模。
- 2、压力机（50~300KN），最大荷载不小于试件破坏荷载的 1.25 倍，误差不大于±1%。
- 3、钢直尺或游标卡尺。捣棒（直径 10mm，长 310mm）、镩刀等。

二、试验步骤

- 1、分别称取水泥和石膏 1000g，普通中砂 3000g，水 500g，精确到 1g。
- 2、采用带底试模，砂浆应分两层装入，每层厚约 4cm，并用捣棒将每层插捣 12 次，面层捣完后，在试模相邻两个侧面，用腻子刮刀沿模内壁插捣 6 次，然后抹平。
- 3、每组成型 6 块试件，经 24±2h 室温养护后即可编号脱模。并在空气中进行养护 7d。
- 4、分别取 3 块在 60℃的烘箱中烘干，另 3 块放于水中浸泡 24h。
- 5、分别测定其抗压强度，试验前，擦干净试块表面，测量试件尺寸（精确至 1mm）并计算受压面积 A。
- 6、以试件的侧面作为受压面，将试件置于压力机下承压板的中心位置，开动压力机进行加荷，加荷速度为 5kN/s，直至破坏，记录破坏荷载 P。

三、抗压强度计算

- 1、按下式计算试件的抗压强度 $f_{m,cu}$ （精确至 0.1MPa）：

$$f_{m,cu} = \frac{P}{A}$$

- 2、以 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值，精确至 0.1MPa。当 3 个试件的最大值或最小值与平均值之差超过 15% 时，以中间试件的平均值作为该组试件的抗压强度值（精确至 0.1MPa）。

四、软化系数计算

按下式计算材料的软化系数 K（精确至 0.01）：

$$K = \frac{f_{cw}}{f_{co}}$$

式中， f_{co} 、 f_{cw} 分别表示材料干燥状态的平均抗压强度与吸水饱和状态的平均抗压强度。