

# 1 金属材料拉伸力学性能及弹性模量的测定

## 一、实验目的

- 1、测定低碳钢拉伸时的强度性能指标：屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$ 。
- 2、测定低碳钢拉伸时的塑性性能指标：断后伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。
- 3、测定灰铸铁拉伸时的强度性能指标：强度极限  $\sigma_b$ 。
- 4、绘制低碳钢和灰铸铁的拉伸曲线图，比较低碳钢与灰铸铁在拉伸时的力学性能和破坏形式。
- 5、验证胡克定律，测定低碳钢弹性模量  $E$ 。

## 二、实验仪器及设备

### 1、微机控制电子万能试验机

微机控制电子万能试验机主要用于对各种金属及复合材料进行常规力学性能指标的测试。专业设计的自动控制和数据采集系统，实现了系统的全数字化调整。实验过程中数据的采集、进程的控制和实验数据的后处理工作全部由计算机来完成。

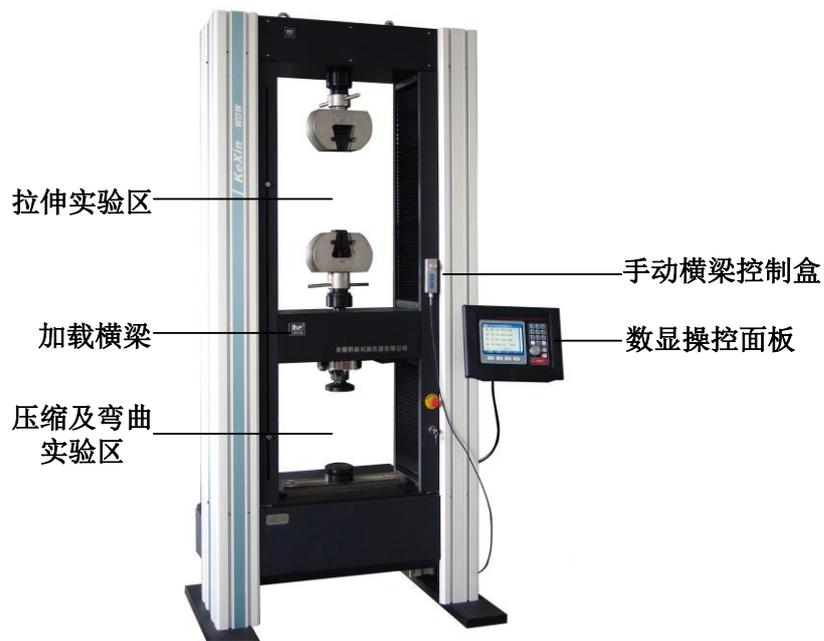


图 2-1 电子万能试验机结构图

### 2、引伸计

测量构件两点之间线变形的一种仪器，通常由传感器、放大器和记录器三部分

组成。传感器直接和被测构件接触并跟随变形，并把这种变形转换为电信息，通过放大器将微小信号放大，传输给记录器。



图 2-2 引伸计结构图

### 3、游标卡尺

## 三、实验原理及方法

### (一) 试件标准

按照国家标准 GB/T228.1-2010《金属拉伸试验试样》对试样的形状、尺寸和加工的技术要求，金属拉伸试样的形状随着产品的品种、规格以及试验目的的不同而分为圆形截面试样、矩形截面试样、异形截面试样和不经机加工的全截面形状试样四种。其中最常用的是圆形截面试样和矩形截面试样。试样的尺寸具体如图 2-3。

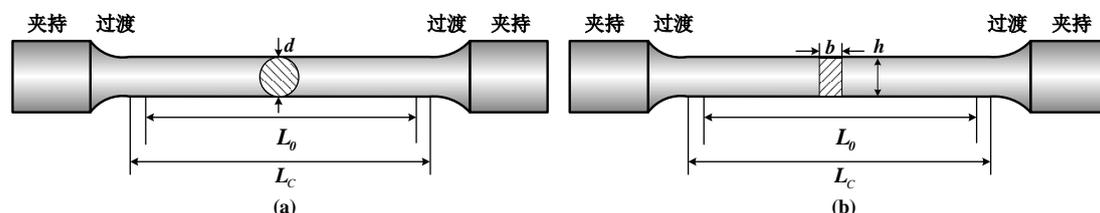


图 2-3 试件的截面形式

试样分为夹持部分、过渡部分和待测部分。试样头部夹持部分用以装入试验机夹具中，以便夹紧试样，其形状可根据夹具形状而定，可制成圆柱形、阶梯形或螺纹形。过渡部分用以保证标距部分受力均匀。试样中段用于测量拉伸变形，也是试样的主体，此段长度  $L_0$  称为原始标距（亦称计算长度）。试样两头部或不带头试样夹持部分之间平行部分的长度  $L_c$  叫做平行长度，它应大于原始标距  $L_0$ 。

原始标距  $L_0$  为待测部分长度，其截面积为  $A_0$ 。按标距  $L_0$  与其截面积  $A_0$  之间的关系，拉伸试样可分为比例试样和非比例试样。比例试样的有关尺寸如下表 2-1。

表 2-1 拉伸试样比例标准

试样		标距 $L_0$ (mm)	截面积 $A_0$ (mm <sup>2</sup> )	圆形试样直径 $d_0$ (mm)	伸长率
比例	长	$11.3\sqrt{A_0}$ 或 $10d_0$	任意	任意	$\delta$
	短	$5.65\sqrt{A_0}$ 或 $5d_0$			$\delta$

## (二) 塑性材料弹性模量 $E$ 的测试:

在弹性范围内大多数材料服从胡克定律，即变形与受力成正比。纵向应力与纵向应变的比例常数就是材料的弹性模量  $E$ ，也叫杨氏模量。因此金属材料拉伸时弹性模量  $E$  的测定是材料力学最主要最基本的一个实验。测定材料弹性模量  $E$  一般采用比例极限内的拉伸试验，材料在比例极限内载荷与变形关系为：

$$\Delta L = \frac{FL_0}{EA_0}$$

若已知载荷  $F$  及试件尺寸，只要测得试件伸长  $\Delta L$  或纵向应变  $\varepsilon$ ，即可得出弹性模量  $E$ ：

$$E = \frac{FL_0}{\Delta LA_0} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{1}{\varepsilon}$$

## (三) 塑性材料的拉伸（低碳钢）:

低碳钢是指含碳量在 0.3% 以下的碳素钢。这类钢材在工程中使用较广，在拉伸时表现出的力学性能也最为典型。

在做低碳钢拉伸实验时，试验机能自动绘出表示载荷与变形关系的拉伸曲线图，如图 2-4，整个过程包括弹性阶段（ $OA$ ）、屈服阶段（ $BC$ ）、强化阶段（ $CD$ ）、局部变形阶段（ $DE$ ）。

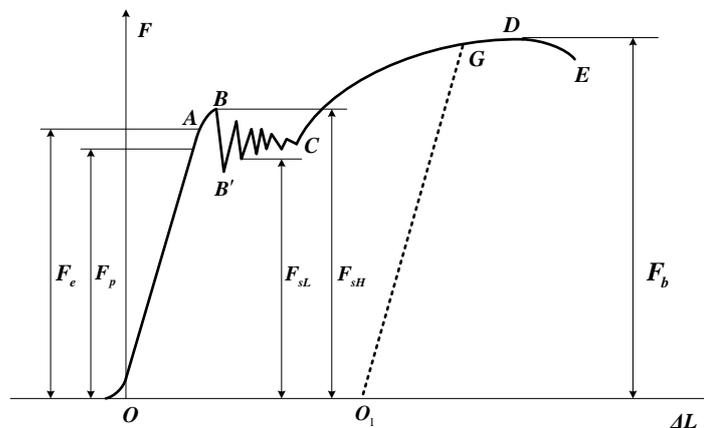


图 2-4 低碳钢拉伸图

**1、弹性阶段：**当试样开始受力时，因夹持力较小，其夹持部分在夹头内有塑性变形或滑动，故图中开始阶段的曲线斜率较小，曲线起始部分略呈弯曲，且不始于

坐标原点，显然这部分曲线并不反映真实的载荷-变形关系；载荷加大后，滑动消失，材料的拉伸进入弹性阶段，由实验可知，图中  $OA$  部分当卸载后，试件立即恢复原状，变形与载荷成正比，就是胡克定律所表示的直线关系，这种变形是线弹性变形。至于线弹性变形的极限载荷  $F_p$  和非线弹性变形的极限载荷  $F_e$ ，实验条件下很难辨别和测量。

**2、屈服阶段：**当载荷增加到一定值，即图  $BC$  段锯齿型平台处，测力传感器读数停止或来回摆动，此时载荷不增加或减少，而试件还继续伸长，这种现象称为屈服。若试件表面经过抛光处理，则可观察到试件表面上出现与轴线约成  $45^\circ$  角的倾斜条纹，这是由于金属材料内部晶格之间产生相对滑移而形成的塑性变形。拉伸曲线中屈服阶段，其最高点  $B$  载荷  $F_{sH}$  对应的应力称为上屈服极限，它受加载速率和试样形状的影响较大，不作为强度指标。同样，由于惯性作用，载荷首次下降的最低  $B'$  点为初始瞬时效应，也不作为强度指标。一般将初始瞬时效应以后的最低载荷  $F_{sL}$  所对应的应力称为材料的屈服极限或屈服强度，用  $\sigma_s$  来表示：

$$\sigma_s = \frac{F_{sL}}{A_0}$$

**3、强化阶段：**过了屈服阶段后，材料强化，材料恢复抵抗变形能力，载荷继续上升，试样继续伸长。为了观察冷作硬化效应（卸载定律），可以在某点  $G$  处停止加载，则曲线沿  $O_1GDE$  规律变化。随着实验继续进行，拉伸曲线上升平缓，说明此时变形较快而载荷增加较慢。强化阶段最高点  $D$  所对应的载荷，即为试样承受的最大载荷  $F_b$ ，相应的应力称为材料的强度极限，用  $\sigma_b$  来表示：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

**4、局部变形阶段：**载荷达到最大值  $F_b$  后，曲线开始下降。与此同时，试件截面的某一位置，横向尺寸开始急剧缩小致使试样负荷下降直至断裂，称为材料的颈缩现象。断口有明显的塑性破坏产生的光亮倾斜面，倾斜面与试样轴线构成近似  $45^\circ$  的剪切唇，呈杯椎状断口。这部分材料的断裂是由于切应力造成的，中心部分为粗糙平面，为暗灰色纤维状组织，是典型的韧状断口。材料塑性越大对应杯状断口越大，中心粗糙平面的面积越小。

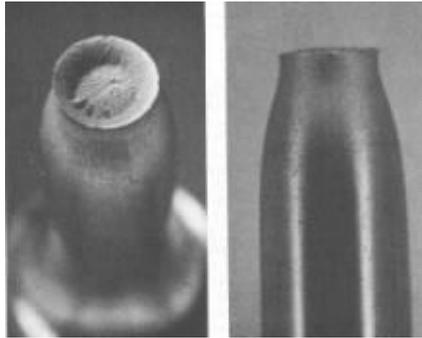


图 2-5 低碳钢拉伸断口形貌

描述材料塑性的指标主要有材料断裂后的断后伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。

伸长率：
$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

断面收缩率：
$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中  $L_0$ 、 $L_1$  和  $A_0$ 、 $A_1$  分别是断裂前、后的试样标距和横截面积。

#### (四) 脆性材料的拉伸（铸铁）：

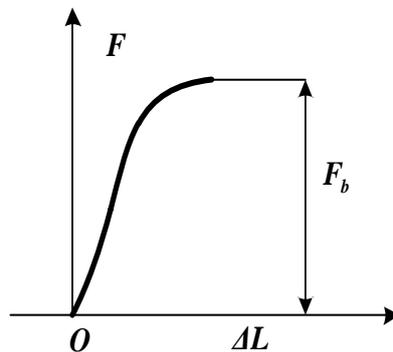


图 2-6 铸铁拉伸图

铸铁是脆性材料，其拉伸曲线如图 2-6，在拉伸过程中不产生屈服和颈缩现象，而是一接近直线的曲线，且载荷没有下降段，很快达到最大载荷  $F_b$  而突然断裂，其值远小于低碳钢的强度极限。同时，它在非常小的变形下突然断裂，断裂后几乎看不到残余变形，伸长量不足试件原长时 0.5%，而断面收缩率则更小。因此，测试它的  $\sigma_s$ 、 $\delta$ 、 $\psi$  就没有实际意义，只要测定其强度极限  $\sigma_b$  就可以了。在工程实际中，这类材料若使用不当，极易发生事故。

铸铁的断口方向与正应力方向垂直，断面平齐为闪光的结晶状组织，是典型的脆状断口。

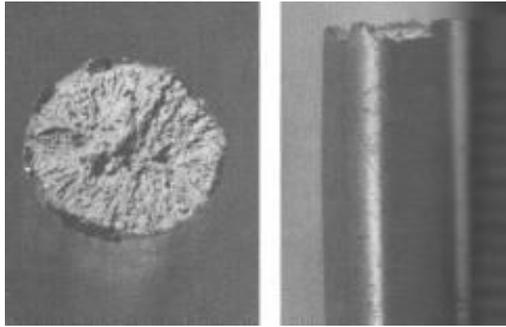


图 2-7 铸铁拉伸断口形貌

多数工程材料的拉伸曲线介于低碳钢和铸铁之间，常常只有两个或三个阶段，但强度、塑性指标的定义和测试方法基本相同。所以，通过拉伸破坏实验，分析比较低碳钢和铸铁的拉伸过程，确定其力学性能，在力学性能实验研究中具有典型意义。

#### 四、实验步骤

##### （一）塑性材料的拉伸（圆形截面低碳钢）

###### 1、确定标距

根据表 2-1 的规定，选择适当的标距，并测量  $L_0$  的实际值。为了便于测量  $L_0$ ，将标距均分为若干格，如 10 格。

###### 2、试样的测量

用游标卡尺在试样标距的两端和中央的三个截面上测量直径，每个截面在互相垂直的两个方向各测一次，取其平均值，并用三个平均值中最小者作为计算截面积的直径  $d_0$ ，并计算出  $A_0$  值。

###### 3、仪器设备的准备

根据材料的强度极限  $\sigma_b$  和截面积  $A_0$  估算最大载荷值  $F_{\max}$ ，根据  $F_{\max}$  选择试验机测试量程，建立试验编号，设置参数，调零。

###### 4、试件及引伸计的安装

试件先安装在试验机的上夹头内，再使用手控盒移动下夹头，使其达到适当的位置，并把试件下端夹紧。拉伸实验开始前，将引伸计夹持在试样的中部。

###### 5、仪器设备的操作

按下试验机控制软件实验开始按钮进行加载，过弹性阶段到屈服阶段后，根据提示，将引伸计取下，同时塑性材料的拉伸实验不可间断，直至试件断裂实验结束，卸载。

## 6、试件断后尺寸的测量

试件断裂后，取下拉断的试件，观察断口形貌，将断裂的试件紧对到一起，用游标卡尺测量出断裂后试件标距间的长度和颈缩部位的直径。

### (二) 脆性材料的拉伸（圆形截面铸铁）

实验前测量铸铁试件的横截面积  $A_0$ ，然后在试验机上缓慢加载，直到试件断裂，记录其最大载荷  $F_b$ ，求出其强度极限  $\sigma_b$ 。

### (三) 注意事项：

1、为保证实验顺利进行，试验时要采用正确的试验条件，严禁随意改动计算机的软件配置。

2、试样安装必须正确，不得偏斜，头部夹入部分不得过短。夹持试件时，先固定上夹头，同时要预先充分打开下夹头，再让试验机横梁上行，以免发生危险。

3、装夹引伸计时，要注意插好定位销钉，实验时要注意拔出定位销钉，以免损坏引伸计。

## 五、实验数据记录

表 2-2 实验数据记录表

实验材料	实 验 前					实 验 后				屈服载荷 $F_s$ (KN)	最大载荷 $F_b$ (KN)	
	原始截面尺寸(mm)				截面面积 $A_0$ (mm <sup>2</sup> )	原始标距 $L_0$ (mm)	断口截面尺寸 (mm)		截面面积 $A_1$ (mm <sup>2</sup> )			断后标距 $L_1$ (mm)
	测量部位	沿两正交方向测得数值	各部位平均值	最小平均值 $d_0$			两正交方向测得数值	平均值 $d_1$				
低碳钢	上											
	中											
	下											
铸铁	上					/						
	中					/	/	/	/	/		
	下					/						

弹性阶段取点计算 $E$ :	1 点	2 点	3 点	4 点	5 点	6 点
变形 $\Delta L$ (mm)						
载荷 $F$ (KN)						
计算 $E$ (GPa)						

## 六、实验数据分析

### (一) 误差分析及数据处理简介

实验中，依靠各种仪表、量具测量某个物理量时，由于主客观原因，不可能测得该物理量的真值，即在测量中存在着误差。测量误差根据其产生原因和性质可以分为系统误差、过失误差和随机误差。实验时，必须明确自己所使用的仪器、量具本身的精度，创造好的环境条件，认真细致地工作，这样就可使误差控制在最小程度。

分析实验中的具体情况，应尽可能地减小甚至消除系统误差，常用的方法有：

1、对称法：材料力学实验中所采用的对称法包括两类：对称读数，例如拉伸实验中，试件两侧对称地装上引伸计测量变形，取其平均值就可消去加载偏心造成的影响；再如，为了达到同样目的，可在试件对称部位分别贴应变片。对称加载，在加载和卸载时分别读数，这样可以发现可能出现的残余应力应变，并减小过失误差。

2、校正法：经常对实验仪表进行校正，以减小因仪表不准造成的系统误差。如根据计量部门规定，材料试验机的测力度盘必须每年用标准测力计校准；又如电阻应变仪的灵敏系数，应定期用标准应变模拟仪进行校准。

3、增量法（逐级加载法）：当需测量某杆件的变形或应变时，在比例极限内，载荷由  $F_1$  增加到  $F_2$ 、 $F_3$ …… $F_i$ ……，在测量仪表上，便可以读出各级载荷所对应的读数  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ …… $R_i$ ……， $\Delta R = R_i - R_{i-1}$  称为读数差。各个读数的平均值就是当载荷增加  $\Delta F$ （一般载荷都是等量增减）时的平均变形或应变。增量法可以避免某些系统误差的影响。若试验机有常量摩擦力  $f$  存在，则每次施加于试件上的真实力为  $F_i + f$ ，再取其增量  $\Delta F = (F_i + f) - (F_{i-1} + f)$ ，摩擦力  $f$  便消去了。又如某实验者读引伸计时，习惯于把数字读得偏高。如果采用增量法，而实验过程中自始至终一直都是同一个人读数，个人的偏向所带来的系统误差也可以消除掉。

材料力学实验中，一般采用增量法。在测量弹性模量  $E$  时，在力-变形曲线中，选取线弹性阶段的一部分进行取点，本实验中可均匀选取六个点，分别记录力与变形值，并计算出三个增量  $\Delta F_i$  和  $\Delta L_i$ ，由此得出：

$$E = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta F_i L_0}{\Delta L_i A_0} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta F_i}{A_0} \cdot \frac{1}{\Delta \varepsilon_i}。$$

## (二) 在计算伸长率时， $L_1$ 的测定方法

直接线方案：如断口到最近的标距端点的距离大于  $L_0/3$ ，则直接测量两标距端点间的长度为  $L_1$ ；

移位法：如断口到最近的标距端点的距离小于  $L_0/3$ ，如图 2-8 所示：在较长段上，从断口  $O$  处起取基本等于短段的格数，得到  $B$  点，所余格数若为偶数，则取其一半，得到  $C$  点；若为奇数，则分别取其加 1 和减 1 的一半，得到  $C$ 、 $C_1$  点。移位后的  $L_1$  分别为： $L_1 = AO + OB + 2BC$  及  $L_1 = AO + OB + BC + BC_1$ 。

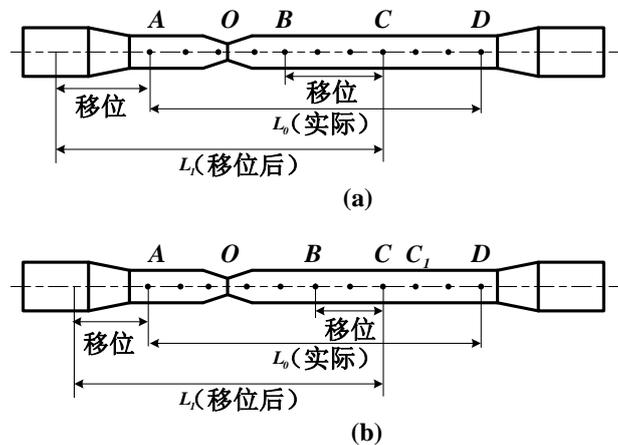


图 2-8 断后标距

当断口非常靠近试件两端，且与其端部的距离小于或等于直径的2倍时，则认为实验结果无效，需要重新实验。

采取移位法处理的原因是当试样断口靠近试样端部时，在断裂试样较短的一段上，将受到试样端部过渡段和加持段的影响，从而降低了颈缩部分的伸长量，从而使断后伸长率偏小。采用上述方法处理，则可适当弥补其偏差。

## (三) 拉伸试验结果的计算精确度

1、强度性能指标（屈服极限  $\sigma_s$  和强度极限  $\sigma_b$ ）的计算精度要求为 0.5MPa，即：凡  $< 0.25\text{MPa}$  的数值舍去， $\geq 0.25\text{MPa}$  而  $< 0.75\text{MPa}$  的数值化为 0.5MPa， $\geq 0.75\text{MPa}$  的数值者则进为 1MPa。

2、塑性性能指标（伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ ）的计算精度要求为 0.5%，即：凡

$< 0.25\%$  的数值舍去,  $\geq 0.25\%$  而  $< 0.75\%$  的数值化为  $0.5\%$ ,  $\geq 0.75\%$  的数值则进为  $1\%$ 。

## 七、思考题

- 1、当断口到最近标距端点的距离小于  $L_0/3$  时, 为什么要采取移位法来计算  $L_1$ ?
- 2、采用相同材料制成的长、短比例试件, 其拉伸试验的屈服极限、伸长率、断面收缩率和强度极限都相同吗?
- 3、观察铸铁和低碳钢在拉伸时的断口位置, 为什么铸铁大都断在根部?
- 4、哪些具体原因导致在计算弹性模量时采用增量法?