

测定金属材料拉伸时的力学性能

一、 实验目的

- 1、观察低碳钢和灰铸铁材料拉伸试验过程中的变形现象，并分析比较其破坏断口特征；
- 2、测定低碳钢材料拉伸的屈服极限 σ_s 、抗拉强度 σ_b 等参数；
- 3、测定铸铁材料拉伸的抗拉强度 σ_b 等参数；

二、 实验设备

- 1、WE-300B 万能液压试验机；
- 2、游标卡尺；

（一）液压试验机简介

该机为 WE 系列试验机，能给试件（或模型）施加的最大载荷为 300KN，广泛应用于材料试验中。其主机结构原理如图 1-1 所示。

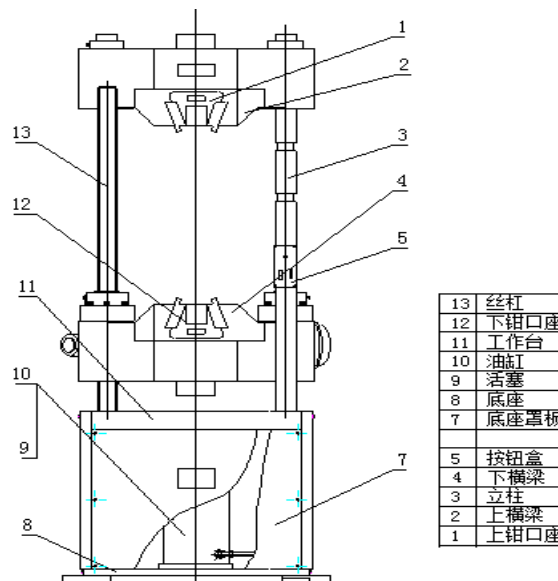


图 1-1 液压式万能试验机图结构原理

油缸（10）用螺钉固定在底座（8）上，活塞（9）与工作台（11）固定，工作台支撑起立柱（3），当活塞升降时，由工作台，立柱，上横梁构成的活动封闭框架相应上下移动。丝杠（13）穿过工作台，下端与底座固定，上端与下横梁（4）以梯形螺纹副相连，升降电机（6）通过皮带轮、蜗杆蜗轮带动丝母旋转，可使下横梁沿丝杠上升或下降，以便于试验空间的快速调整。由底座、丝杠、下横梁构成了固定的封闭框架。

在右侧立柱上装有按钮盒（5），可以更方便地操作上下钳口的夹紧，松开。上钳口座（1）与下钳口座（12）之间为拉伸区域，钳口座内装有楔形块，通过更换楔形块内钳口的规格，可以夹持不同截面的试样。下横梁与工作台之间为压缩区域，通过更换不同的压板，压头、弯曲用工作台或支座，可以对试样进行压缩，弯曲试验。

来自主油源的控制油液进入油缸，使活塞上升时，通过工作台和立柱带动上横梁，上钳口座上升，在拉伸区域可以实现对试样的拉伸，或在压缩区域实现对试样的压缩。

（二）液压试验机操作规程

- 1、检查机器：检查试件夹头形式和尺寸是否与试件相配合；各保险开关是否有效；自动绘图器是否正常；进油阀与回油阀是否关紧。
- 2、选择度盘：根据试件的大小估计所需的最大载荷，选择适当的测力度盘。配置相应的摆锤，调节好回油缓冲器。

3、指针调零：打开电源，开动油泵电动机，检查机器运转是否正常。关闭回油阀，拧开进油阀，缓慢进油。当活动平台上升少许（约 10mm）后，便关闭进油阀。移动平衡砵使摆杆保持垂直。然后调整指针指零。

4、安装试件：做压缩试验时必须保持试件中心受力，将试件放在下夹板的中心位置。安装拉伸试件时，须开动下夹头的升降电动机，调整下夹头位置，夹头应夹住试件全部头部。

注意事项：试件夹紧后，不得再开动下夹头升降电机，否则要烧坏电机。

5、进行试验：启动油泵电动机，操纵进油阀。注视测力度盘，慢速加载。操纵机器必须专人负责，坚守岗位，如发生机器声音异常，立即停机。

6、还原工作：试验完毕，关闭进油阀，打开液压夹具，取下试件。拧开回油阀，缓慢回油，将活动平台回到初始位置，将一切机构复原，停机。

三、 实验原理及方法

低碳钢和铸铁是工程材料中最具典型意义的两种材料，前者为塑性材料，后者为脆性材料。塑性材料和脆性材料的拉伸曲线存在很大差异。观察它们在拉伸过程中的变形和破坏特征有助于正确、合理地认识和选用材料。

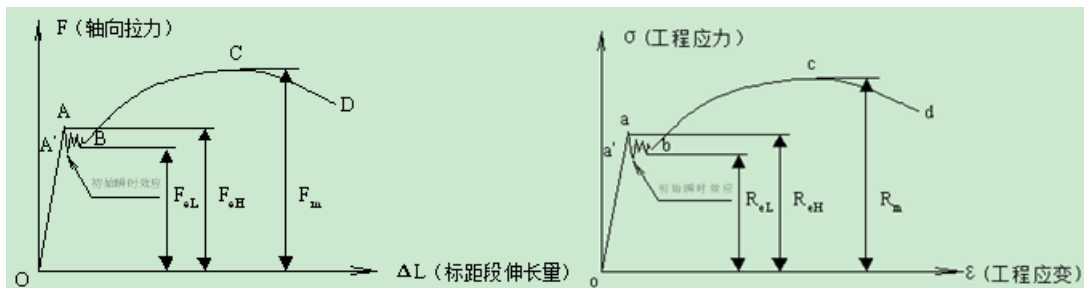
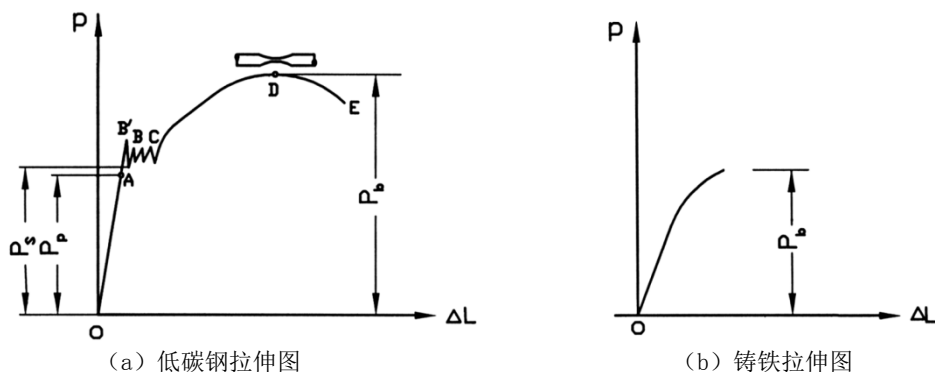


图 1-2 低碳钢拉伸图 ($F-\Delta L$ 曲线)

图 1-3 低碳钢应力—应变图 ($\sigma-\varepsilon$ 曲线)

以轴向力 F 为纵坐标，标距段伸长量 ΔL 为横坐标，所绘出的试验曲线图称为拉伸图，即 $F-\Delta L$ 曲线。低碳钢的拉伸图如图 1-2 所示， F_{eL} 为下屈服强度对应的轴向力， F_{eH} 为上屈服强度对应的轴向力， F_m 为最大轴向力。 $F-\Delta L$ 曲线与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响，把轴向力 F 除以试样横截面的原始面积 S_0 就得到了名义应力，也叫工程应力，用 σ 表示。同样，试样在标距段的伸长 ΔL 除以试样的原始标距 L_0 得到名义应变，也叫工程应变，用 ε 表示。 $\sigma-\varepsilon$ 曲线与 $F-\Delta L$ 曲线形状相似，但消除了几何尺寸的影响，因此代表了材料本质属性，即材料的本构关系。

用试验机的自动绘图器绘出低碳钢和铸铁的拉伸应力-应变图，见图 1-4 所示。



(a) 低碳钢拉伸图

(b) 铸铁拉伸图

图 1-4 金属试件拉伸应力-应变图

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。低碳钢是典型的塑性材料，试样依次经过弹性、屈服、强化和颈缩四个阶段，其中前三个阶段是均匀变形的。铸铁试件在变形极小时，就达到最大载荷 P_b ，

而突然发生断裂。没有屈服和颈缩现象，是典型的脆性材料。

对于低碳钢试件，如上图所示，其拉伸过程可明显分为四个阶段：

1、弹性阶段：

在比例极限内，力与变形成线性关系，拉伸图上是一段斜直线（试件开始受力时，头部在夹头内有一点点滑动，故拉伸图最初一段是曲线。

在此阶段试样的变形是弹性的，如果在这一阶段终止拉伸并卸载，试样仍恢复到原先的尺寸，试验曲线将沿着拉伸曲线回到初始点，表明试样没有任何残余变形。习惯上认为材料在弹性范围内服从虎克定律，其应力、应变为成正比关系，即 $\sigma = E\varepsilon$ ，式中比例系数 E 代表直线的斜率，称为材料的弹性模量，其常用单位为 GPa 。它是代表材料发生弹性变形的性能参数。 E 的大小反映材料抵抗弹性变形的一种能力，代表了材料的刚度。此外，材料在发生杆的轴向伸长的同时还发生横向收缩。反映横向变形的横向应变 ε' 与 ε 之比的绝对值 μ 称为材料的泊松比。它是代表材料弹性变形的另一个性能参数。

2、屈服阶段：

在超过弹性阶段后出现明显的屈服过程，即曲线沿一水平段上下波动，即应力增加很少，变形快速增加。这表明材料在此载荷作用下，宏观上表现为暂时丧失抵抗继续变形的能力，微观上表现为材料内部结构发生急剧变化。从微观结构解释这一现象，是由于构成金属晶体材料结构晶格间的位错，在外力作用下发生有规律的移动造成的。如果试样表面足够光滑、材料杂质含量少，可以清楚地看出试样表面有 45° 方向的滑移线。由于材料在这一阶段已经发生过量变形，必然残留不可恢复的变形（塑性变形），因此，从屈服阶段开始，材料的变形就包含弹性和塑性两部分。

低碳钢的屈服阶段在试验机上表现为测力指针来回摆动，而拉伸图上则绘出一段锯齿形线，出现上下两个屈服荷载。对应于 B' 点的为上屈服荷载。上屈服荷载受试件变形速度和表面加工的影响，而下屈服荷载则比较稳定，所以工程上均以下屈服荷载作为计算材料的屈服极限。屈服极限是材料力学性能的一个重要指标，确定 P_s 时，须缓慢而均匀地使试件变形，仔细观察。

3、强化阶段：

屈服阶段结束后， $\sigma - \varepsilon$ 曲线又出现上升现象，说明材料恢复了对继续变形的抵抗能力，材料若要继续变形必须施加足够的载荷。如果在这一阶段卸载，弹性变形将随之消失，而塑性变形将永远保留。强化阶段的卸载路径与弹性阶段平行。

卸载后若重新加载，材料的弹性阶段线将加长、屈服强度明显提高，塑性将降低。这种现象称作应变强化或冷作硬化。冷作硬化是金属材料极为宝贵的性质之一。塑性变形与应变强化二者结合，是工厂强化金属的重要手段。例如：喷丸、挤压，冷拔等工艺，就是利用材料的冷作硬化来提高材料的强度。

强化阶段的塑性变形是沿轴向均匀分布的。随塑性变形的增长，试样表面的滑移线亦愈趋明显。 $\sigma - \varepsilon$ 曲线的应力峰值 P_b 为材料的强度极限 σ_b 。对低碳钢来说 σ_b 是材料均匀塑性变形的最大抵抗能力，也是材料进入颈缩阶段的标志。试件拉伸达到最大荷载 P_b 以前，在标距范围内的变形是均匀分布的。

4、颈缩阶段：

应力到达强度极限后，开始在试样最薄弱处出现局部变形，从而导致试样局部截面急剧颈缩，承载面积迅速减少，试样承受的载荷很快下降，直至断裂。断裂时，试样的弹性变形消失，塑性变形则遗留在断裂的试样上。试验时应把测力指针的副针（从动针）与主动针重合，一旦达到最大荷载时，主动针后退，而副针则停留在载荷最大的刻度上，副针指示的读数为最大荷载 P_b 。

试件一般制成圆形或矩形截面，圆形截面形状如图 1-5 所示，试件中段用于测量拉伸变形，此段的长度 L_0 称为“标距”。两端较粗部分是头部，为装入试验机夹头内部分。

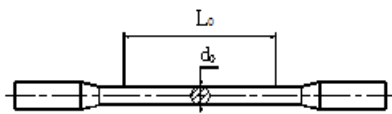


图 1-5 金属试件示意图

试验表明，试件的尺寸和形状对试验结果会有影响。为了避免这种影响，便于各种材料力学性能的数值互相比对，所以对试件的尺寸和形状国家都有统一规定，即所谓“标准试件”，其形状尺寸的详细规定参阅国家标准《金属拉伸试验试样》GB/T6397—1986。标准试件的直径为 d_0 ，则标距 $L_0=10d_0$ 或 $L_0=5d_0$ ， d_0 一般取 10mm 或 20mm。矩形截面试件标距 L 与横截面积 A 的比例为 $L_0=11.3\sqrt{A}$ 或 $L_0=5.65\sqrt{A}$ 。

四、低碳钢的拉伸试验步骤

1、测量试样的尺寸：在试样标距范围内的中间以及两标距点的内侧附近，分别用游标卡尺在相互垂直方向上测取试样直径的平均值为试样在该处的直径，取三者中的最小值作为计算直径。

2、指针调零：打开电源，按下(绿色)油泵启动按钮，关闭回油阀(手感关好即可，不用拧得太紧)，打开进油阀(开始时工作油缸里可能没有液压油，需要开大一些油量，以便压力油快速进入工作油缸，使活动平台加速上升)。当活动平台上升 5~10mm 左右，便关闭进油阀(如果活动平台已在升起的合适位置时，则不必先打开进油阀，仅将进油阀关好即可；如果活动平台升得过高，试件无法装夹，则需打开回油阀，将活动平台降到合适的位置并关好即可)。移动平衡锤使摆杆保持铅垂(铅垂的标准是摆杆右侧面和标示牌的刻画线对齐重合)。然后轻轻地旋转螺杆使主动针对准度盘上的零点，并轻轻按下测力度盘中间的从动针拨钩拨动从动针与主动针靠拢，并使从动针靠在主动针的右边。同时调整好自动绘图器，装好纸和笔并打下绘图笔。

3、安装试件：

先将试件安装在试验机上夹头内，再开动下夹头升降电机(或转动下夹头升降手轮)使其达到适当的位置，然后把试件下端夹紧，夹头应夹住试件全部头部。

4、检查：

先请指导教师检查以上步骤完成情况，并经准许后方可进行下步实验。

5、进行试验：

用慢速加载(一般进油阀顺手转 2~3 下，即 1 圈左右)，缓慢均匀地使试件产生变形。当指针转动较快时，关小一些进油量，指针转动较慢时，增大一些进油量。

6、在试件受拉的过程中注意观察测力指针的转动和自动绘图器上的 $P-\Delta L$ 曲线的轨迹。当测力指针倒退时(有时表现为指针来回摆动，说明材料已进入屈服阶段，注意观察屈服现象，此时不要增加油量也不要减少油量，让材料慢慢屈服，并抓住时机，记录屈服时的最小载荷 P_s (下屈服点)，也就是指针来回摆动时的最小值。

7、当主动针开始带动从动针往前走，说明材料已过屈服阶段，并进入强化阶段。这时可以适当的再增大一些进油量，即用快一点的速度加载。在载荷未达到强度极限之前把载荷全部卸掉，重新加载以观察冷作硬化现象，继续加载直至试件断裂。在试件断裂前，注意指针移动。当主动针往回走，表示材料已进入颈缩阶段，注意观察试件颈缩现象。当听到断裂声时，立即关闭进油阀，并记录从动针指示的最大载荷 P_b 。

8、结束工作

取下试件，并关闭电源。将试件重新对接好。用游标卡尺测量断后标距长 L_1 （即断后的两个标记刻画线之间的距离）。和断口处的直径 d_1 。（在断口处两个互相垂直方向各测量一次），最后观察断口形状和自动绘图器上的拉伸曲线图是否与理论相符。

注意事项：

- (1) 试件夹紧后，不得再开动下夹头的升降电机。否则会烧坏电机。
- (2) 开始加载要缓慢，防止油门开得过大，引起载荷冲击突然增加，造成事故。
- (3) 进行试验时，必须专人负责，坚守岗位，如发生机器声音异常，立即停机。
- (4) 试验结束后，切记关闭进油阀，取下试件，打开回油阀，并关闭电源。

五、 铸铁的拉伸试验

试验步骤与低碳钢基本相同，但拉伸图没有明显的四个阶段，只有破坏荷载 P_b ，而且数值较小，变形也不大。因此加载时速度一定要慢，进油阀不要开得过大，断裂前没有任何预兆，突然断裂，是典型的脆性材料。最后观察断口形状和自动绘图器上的拉伸曲线图是否与理论相符。其断口形状与低碳钢有何不同。

请教师检查试验记录。

六、 数据处理

1、测定低碳钢拉伸时的强度和塑性性能指标

(1) 强度性能指标

屈服应力（屈服点） σ_s ——试样在拉伸过程中载荷基本不变而试样仍能继续产生变形时的载荷（即屈服载荷） P_s 除以原始横截面面积 A 所得的应力值，即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A}$$

抗拉强度 σ_b ——试样在拉断前所承受的最大载荷 P_b 除以原始横截面面积 A 所得的应力值，即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A}$$

(2) 塑性性能指标

延伸率 δ ——拉断后的试样标距部分所增加的长度与原始标距长度的百分比，即

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$$

式中： l 为试样的原始标距； l_1 为将拉断的试样对接起来后两标点之间的距离。

2. 测定灰铸铁拉伸时强度性能指标

灰铸铁在拉伸过程中，当变形很小时就会断裂，万能试验机的指针所指示的最大载荷 P_b 除以原始横截面面积 A 所得的应力值即为抗拉强度 σ_b ，即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A}$$

七、 思考题

- 1、分析比较两种材料在拉伸时的力学性能及断口特征。
- 2、低碳钢试样在最大载荷 D 点不断裂，在载荷下降至 E 点时反而断裂，为什么？