

金属拉伸实验

(验证性实验)

材料科学与工程实验教学中心
刘彦明



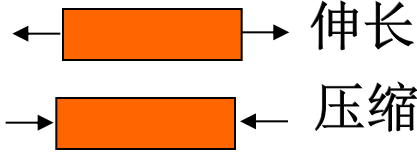
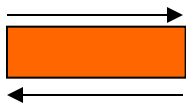
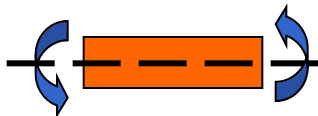

一、实验目的

1. 观察、了解金属材料在拉伸过程中的各种现象（包括屈服、强化、颈缩及断裂）；
2. 测定金属材料（低碳钢和铸铁）的强度和塑性指标：屈服点 σ_s 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ 、断面收缩率 ψ 。（应按新标准 R_{eL} 、 R_m 、 A 、 Z ）

二、实验概述

2.1 金属力学性能基本概念：应力及应力类型

工程构件可能受到的应力类型有：拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲等。

力	变形方式	应力类型
单向应力	 ← 伸长 → 压缩	拉伸 压缩
剪切应力	 剪切	剪切
扭转力矩	 扭转	扭转
弯曲力矩	 弯曲	弯曲

2.1 金属力学性能基本概念：应力及应力类型

金属拉伸实验是检验金属材料力学性能普遍采用的极为重要的方法之一，是用来检测金属材料的**强度和塑性指标**的。

此种方法就是将具有一定尺寸和形状的金属光滑试样夹持在拉力实验机上，温度、应力状态和加载速率确定的条件下，对试样逐渐施加拉伸载荷，直至把试样拉断为止。

2.1 金属力学性能基本概念：应力及应力类型

强度指标：试样发生屈服或条件屈服时的载荷，以及试样所能承受的最大载荷除以试样的原始横截面积，用以求得该材料的屈服点 σ_s ，屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 和强度极限 σ_b 。

塑性指标：用试样断后的标距增长量及断处横截面积的缩减量，分别除以试样的原始标距长度，及试样的原始横截面积，可求得该材料的延伸率 δ 和断面收缩率 ϕ 。

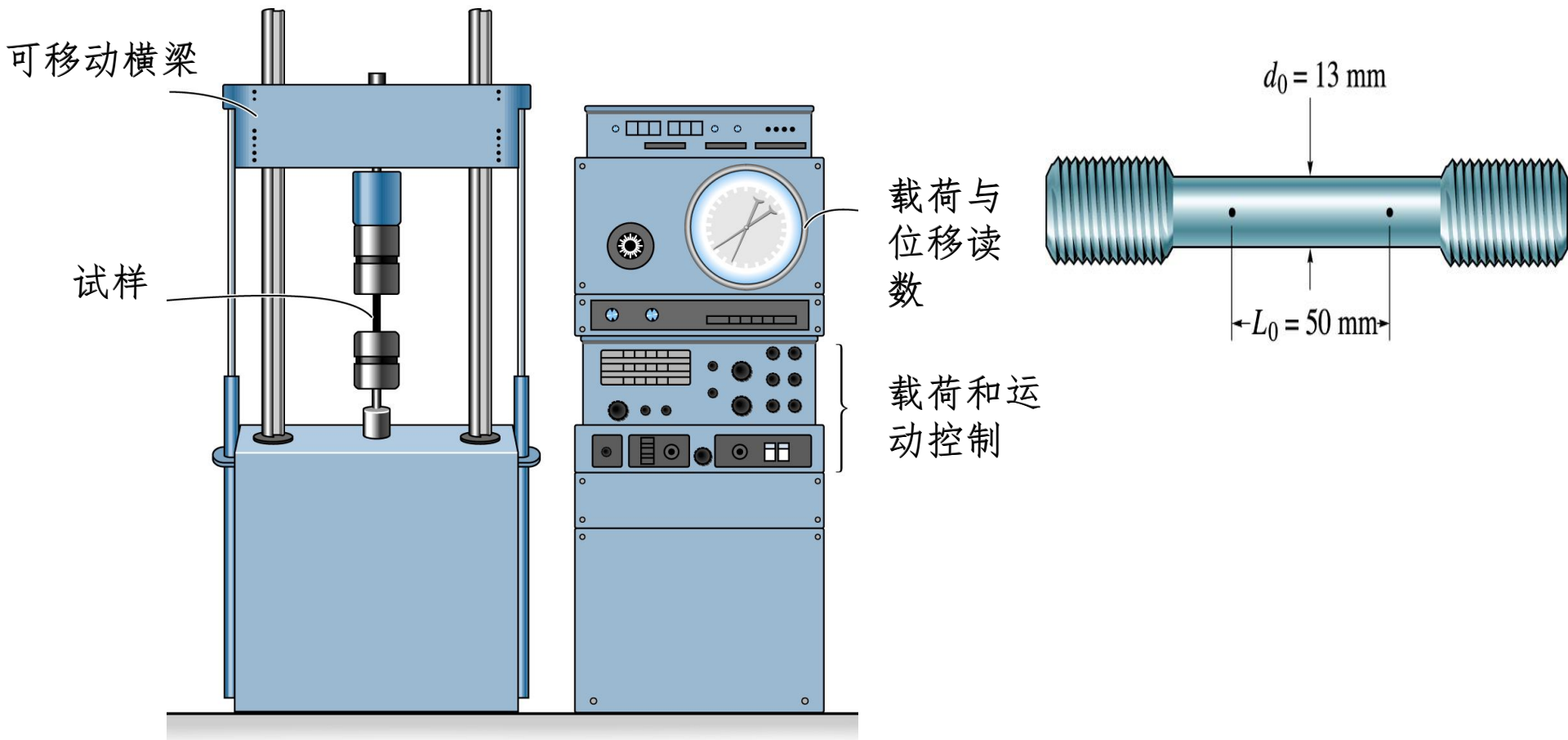
2.2 单向拉伸试验特点

- ❖ **应力状态**：单向拉应力，应力状态简单，最常用的力学性能试验方法
 - ❖ **拉伸试验反映的信息**：弹性变形、塑性变形和断裂（三种基本力学行为），能综合评定力学性能。
 - ❖ 通过拉伸试验可测材料的弹性、强度、延伸率、加工硬化和韧性等重要的**力学性能指标**，它是材料的基本力学性能。
 - a. 在工程应用中，拉伸性能是结构静强度设计的主要依据之一。
 - b. 提供预测材料的其它力学性能的参量，如抗疲劳、断裂性能。
 - c. 研究新材料，或合理使用现有材料和改善其力学性能时，都要测定材料的拉伸性能。
- 注意**：拉伸试验的应力状态、加载速率、温度、试样等都有严格规定（方法：GB/T228.1-2010《金属材料 拉伸试验第1部分：室温试验方法》）。

新旧符合对比表

GB/T 228-2002标准 GB/T 228-2010新标准		GB/T 228-1987旧标准	
名称	符号	名称	符号
屈服强度 ^①	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余延伸强度	R_r	规定残余延伸应力	σ_r
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
断后伸长率	A 或 $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 或 δ_{10}
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ

2.2 单向拉伸试验特点

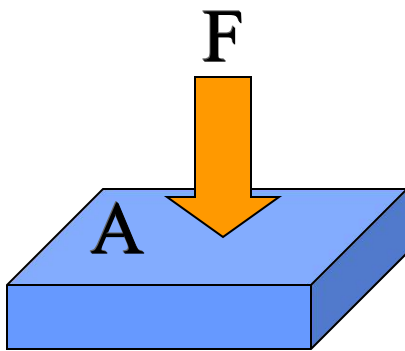


- ❖ 试验条件和样品要符合标准；
- ❖ 工程应力： $\sigma_{engstress} = P/A_0$ ，其中 $A_0 \rightarrow$ 原始截面积
- ❖ 真应力： $\sigma_{truestress} = P/A$ ，其中 $A =$ 实时截面积

2.2 单向拉伸试验特点

应力

$$\sigma = F/A (\text{单位: N/m}^2 \text{ or Pascal (Pa)})$$

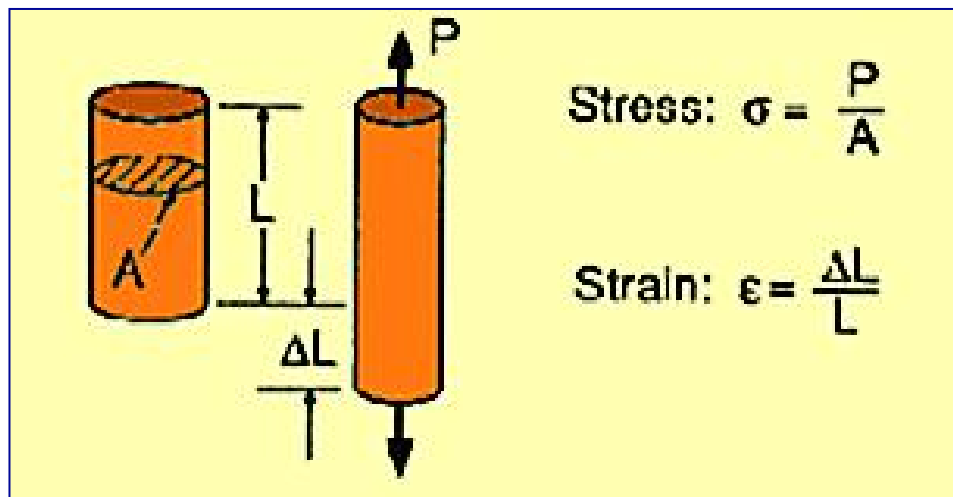


2.2 单向拉伸试验特点

应变

- ❖ 应变用来描述塑性变形和弹性变形程度；
- ❖ 应变是单位长度上的变化量：

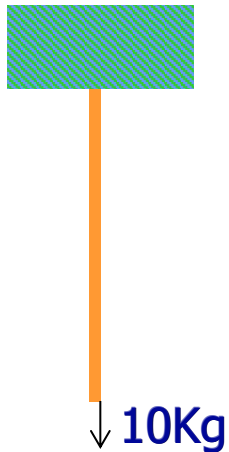
$$e = \Delta L / L_0 \text{ (无单位, m/m, mm/mm)}$$



2.2 单向拉伸试验特点

应力与应变举例

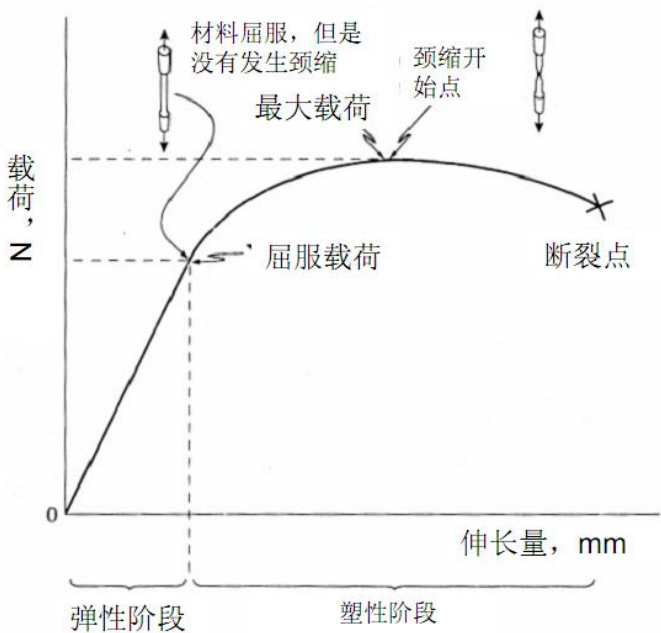
图中丝的截面积为 1 mm^2 ，长度为 100 mm 。在丝的下方悬挂 10Kg 物体，丝的长度变成了 100.5 mm 。计算：丝中的应力；丝的应变。



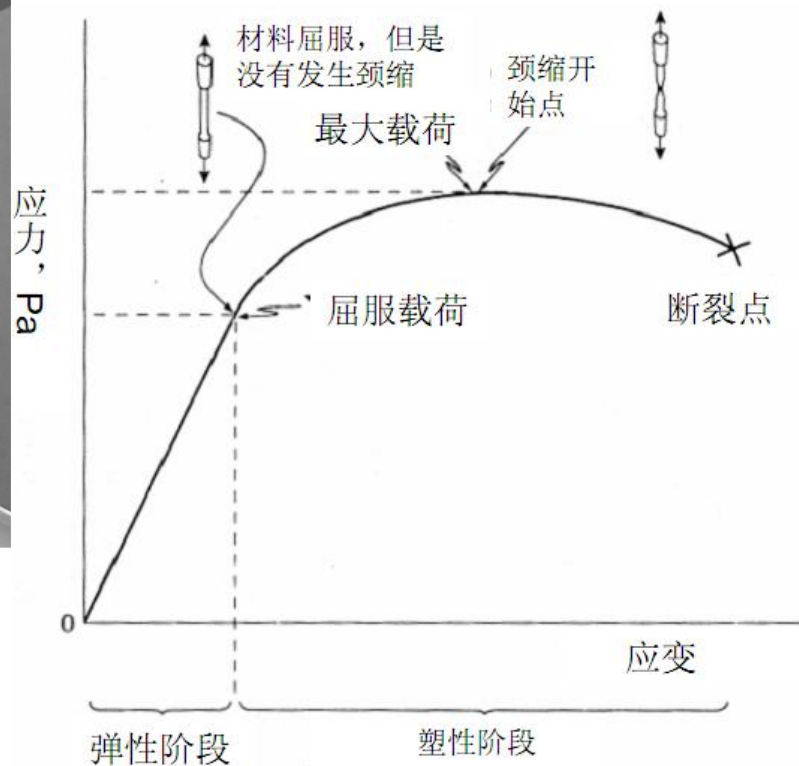
$$\text{应力: } 9.8 \times 10 / 1 \quad (\text{N} / \text{mm}^2) = 98 \times 10^6 \text{ Pa} = 98 \text{MPa}$$

$$\text{应变: } (100.5 - 100) / 100 = 0.005 = 0.5\%$$

2.3 拉伸曲线



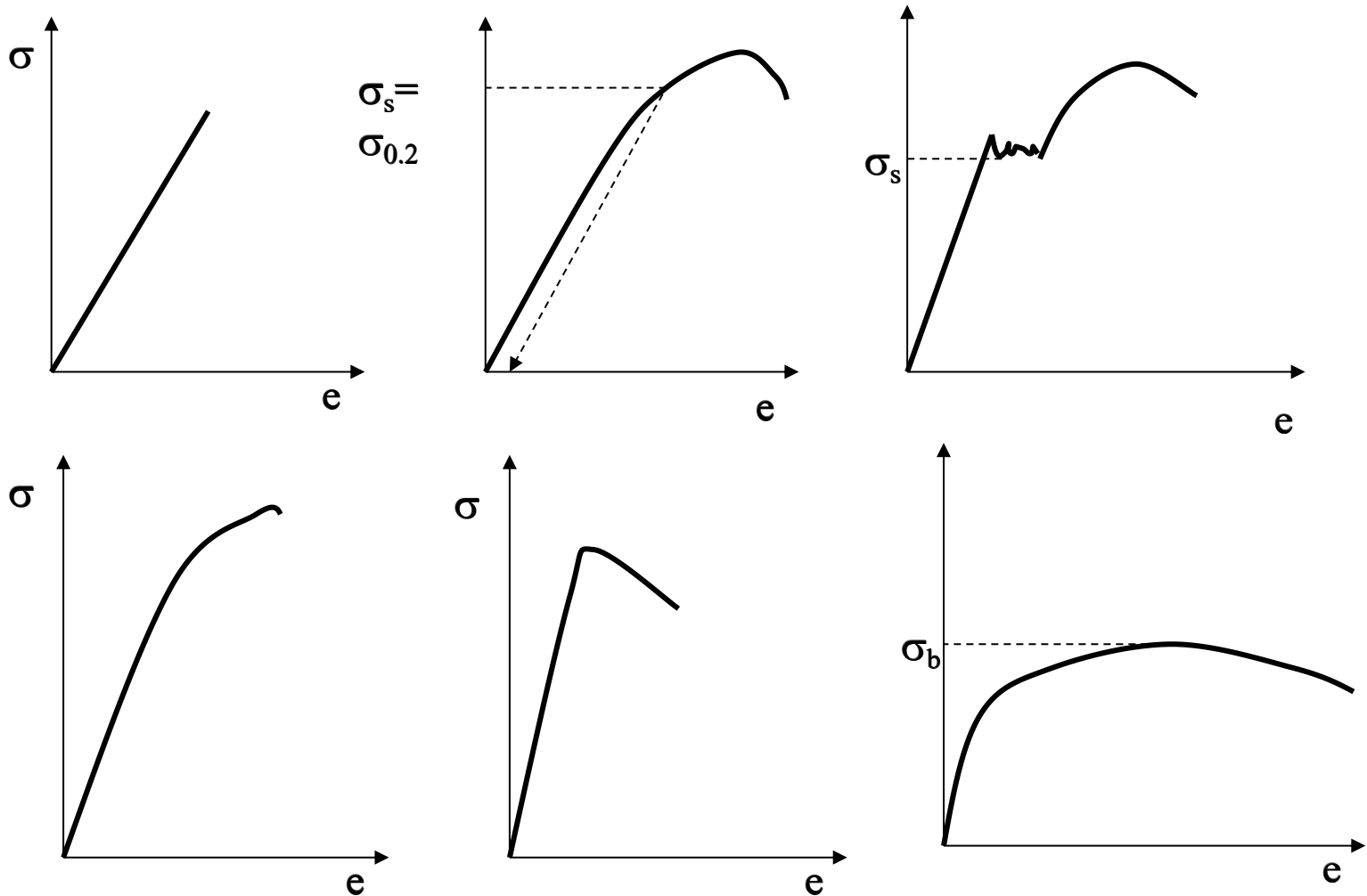
力-位移曲线



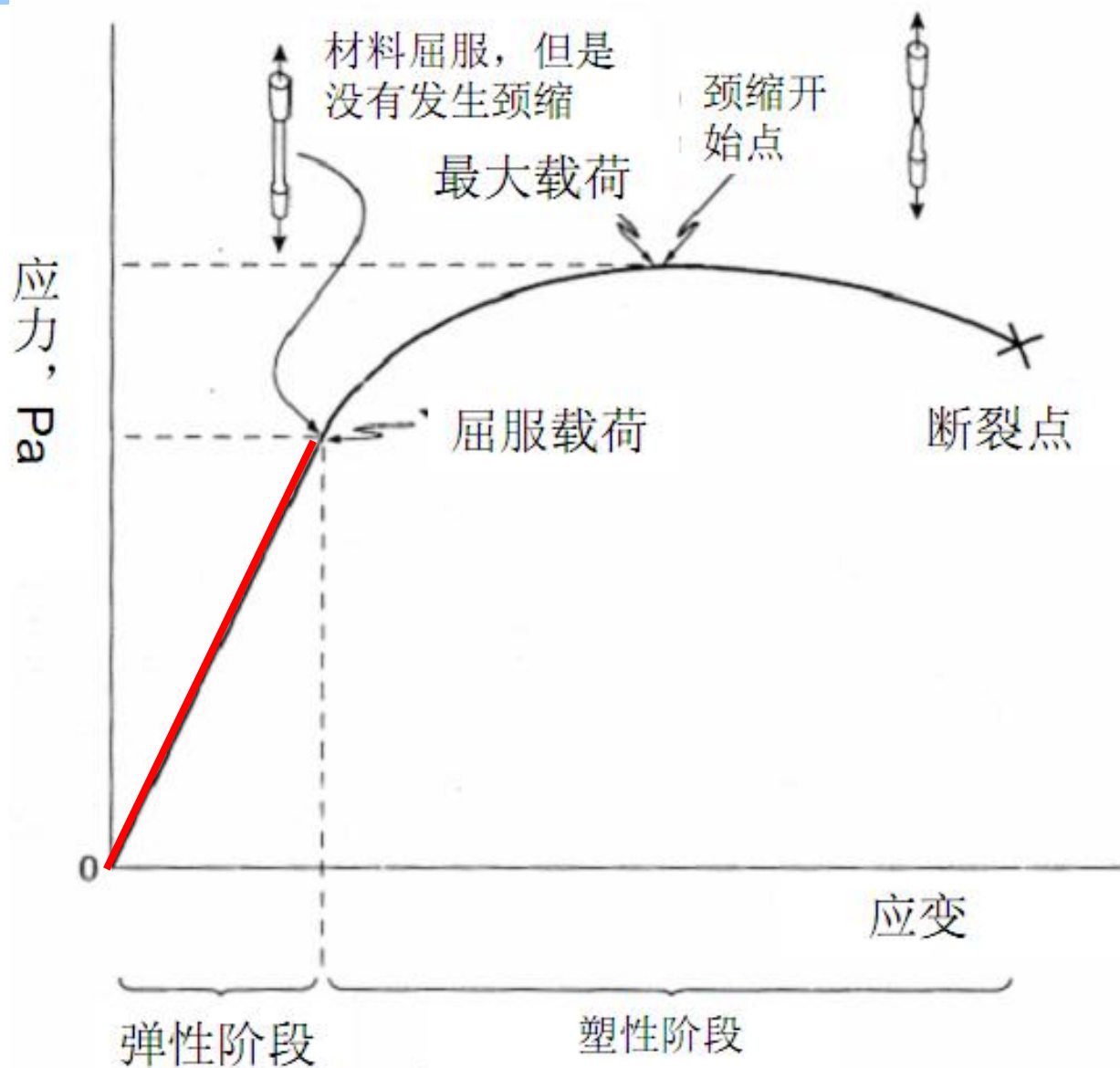
应力-应变曲线

2.3 拉伸曲线

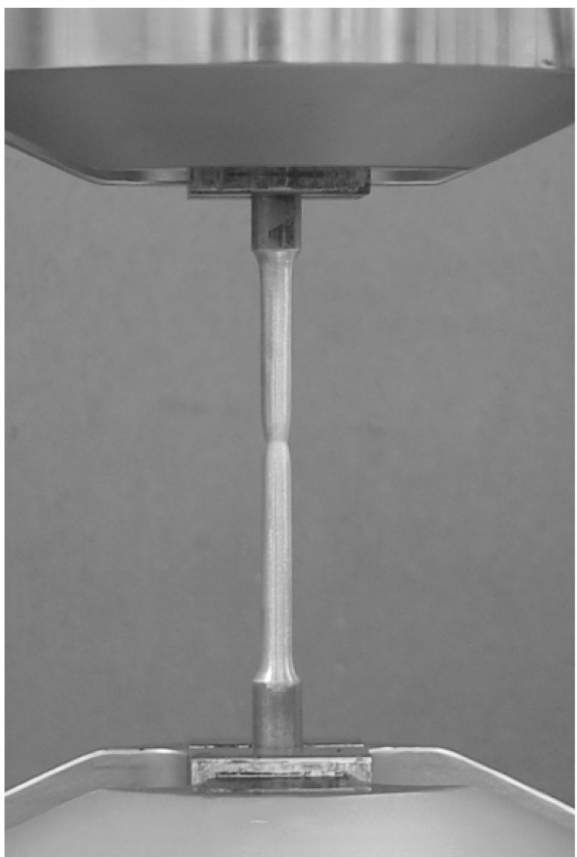
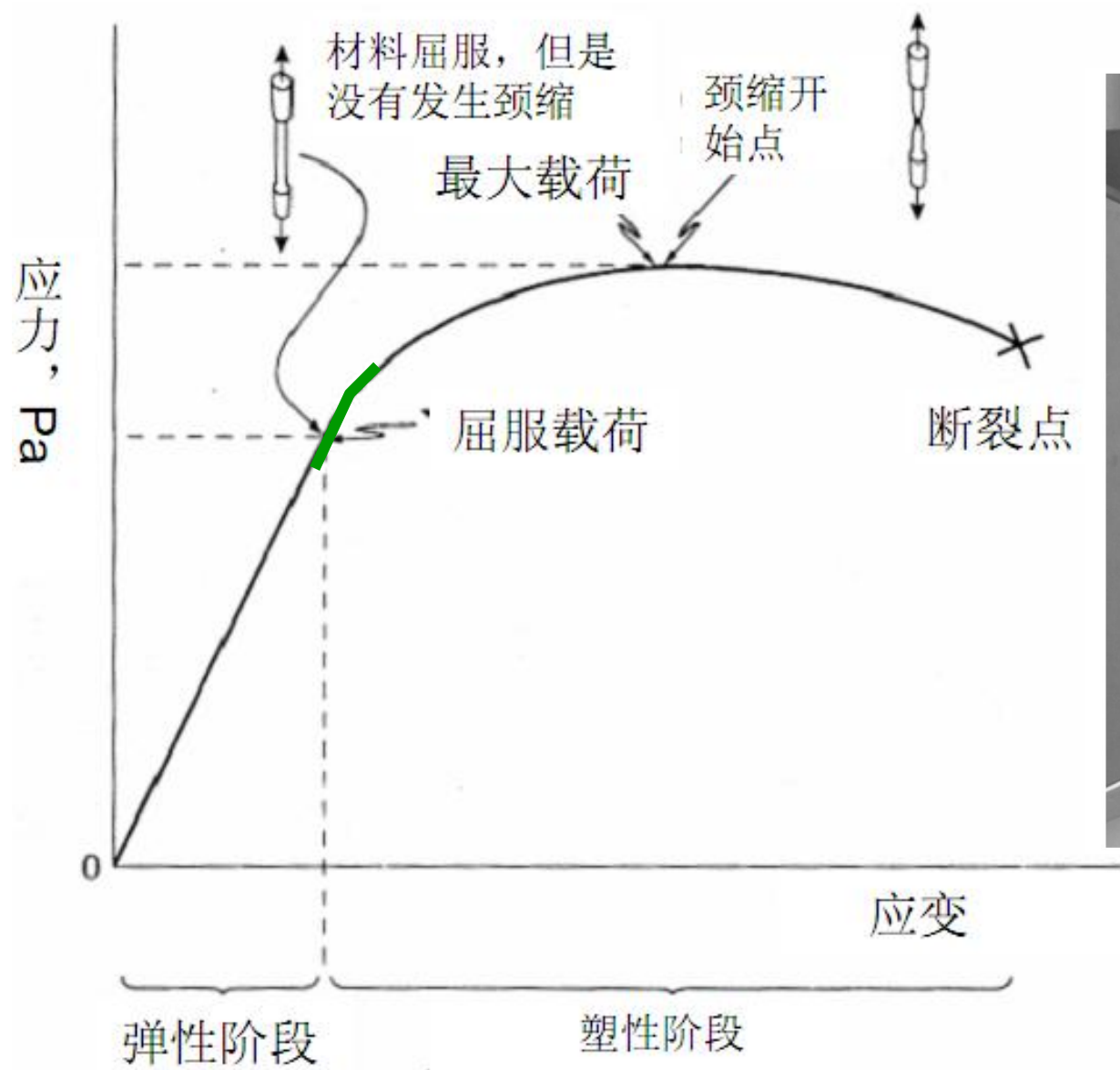
(1) 典型的拉伸曲线



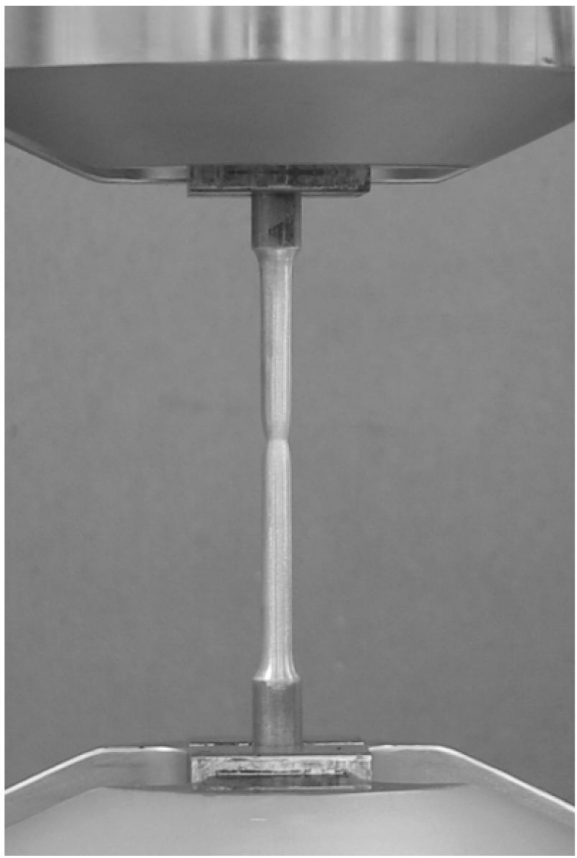
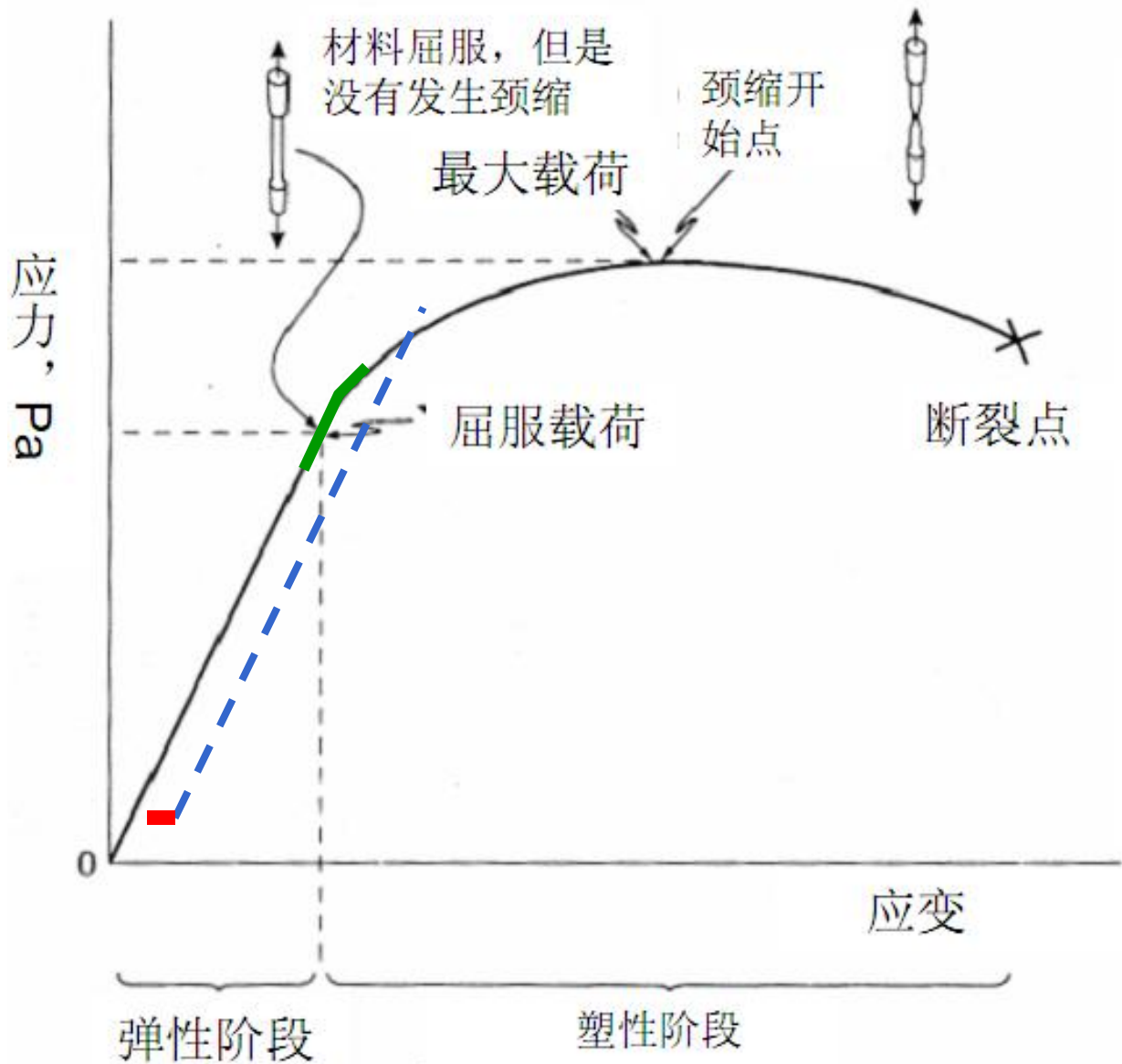
2.3 拉伸曲线 (2) 弹性变形阶段



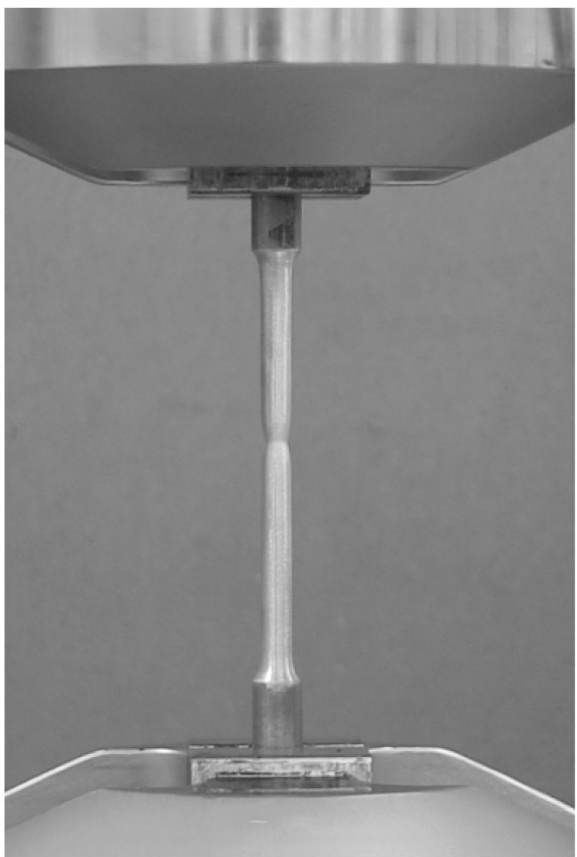
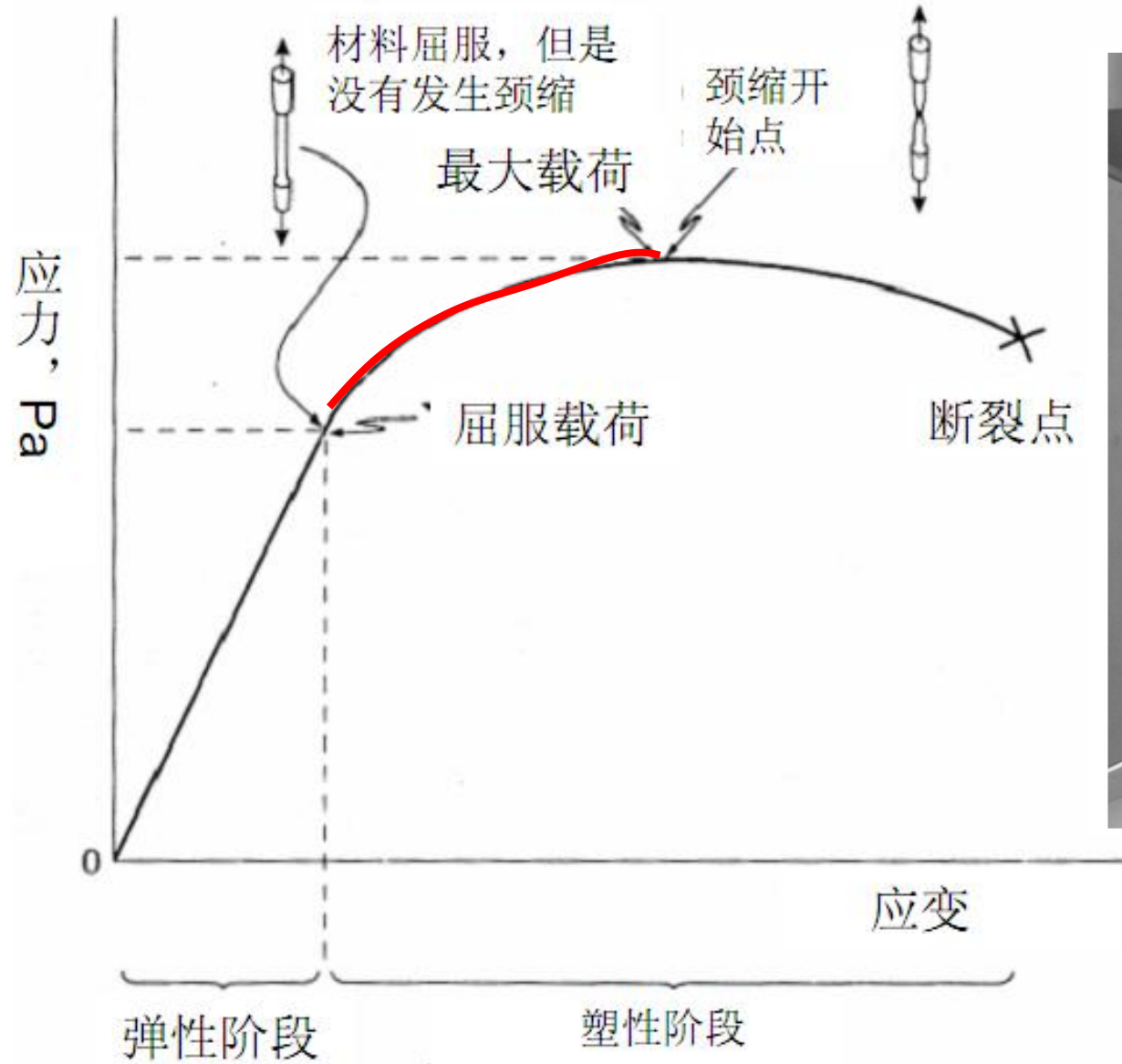
2.3 拉伸曲线 (3) 屈服点



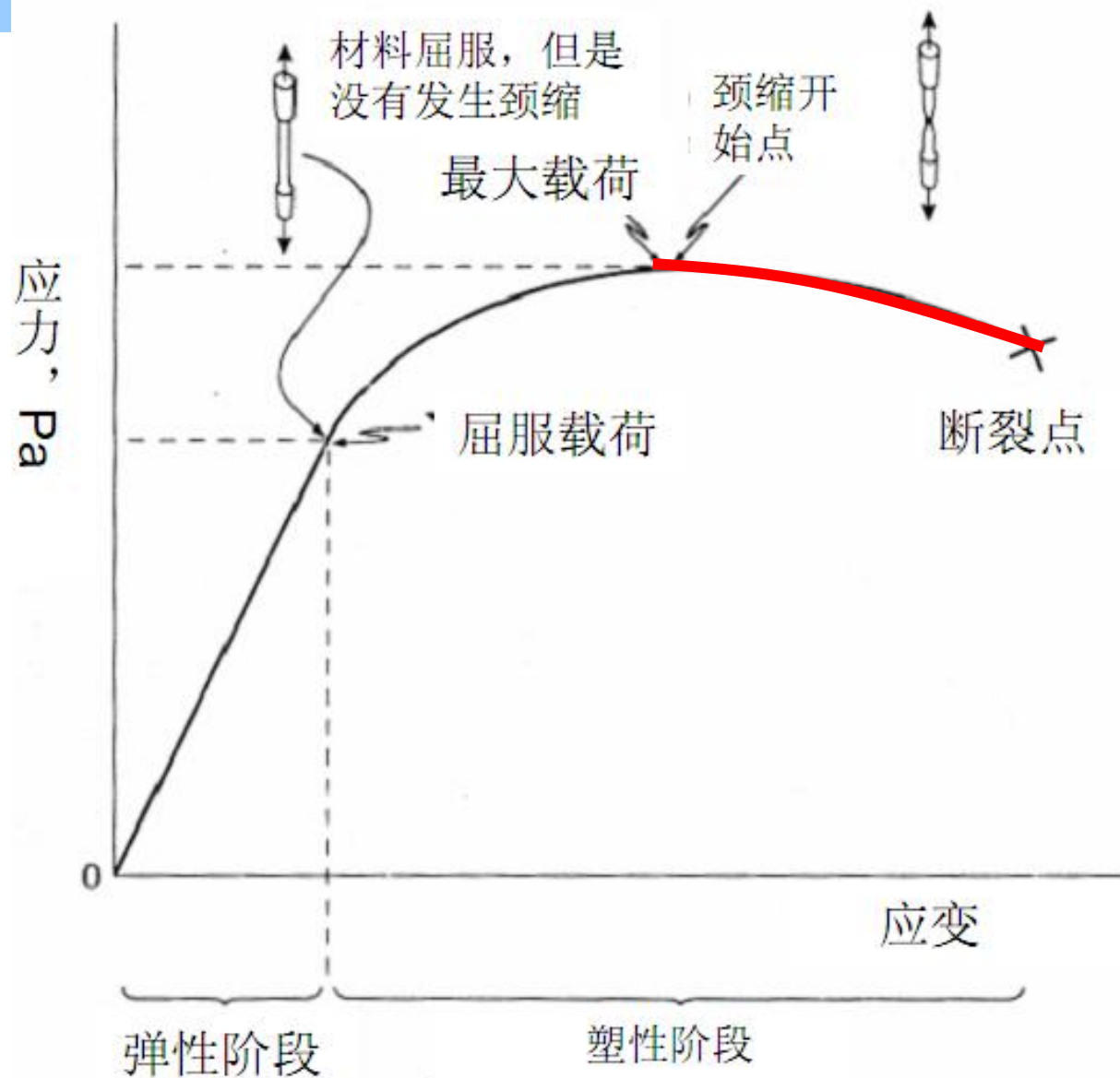
2.3 拉伸曲线 (4) 屈服发生后的卸载



2.3 拉伸曲线 (5) 均匀塑性变形阶段



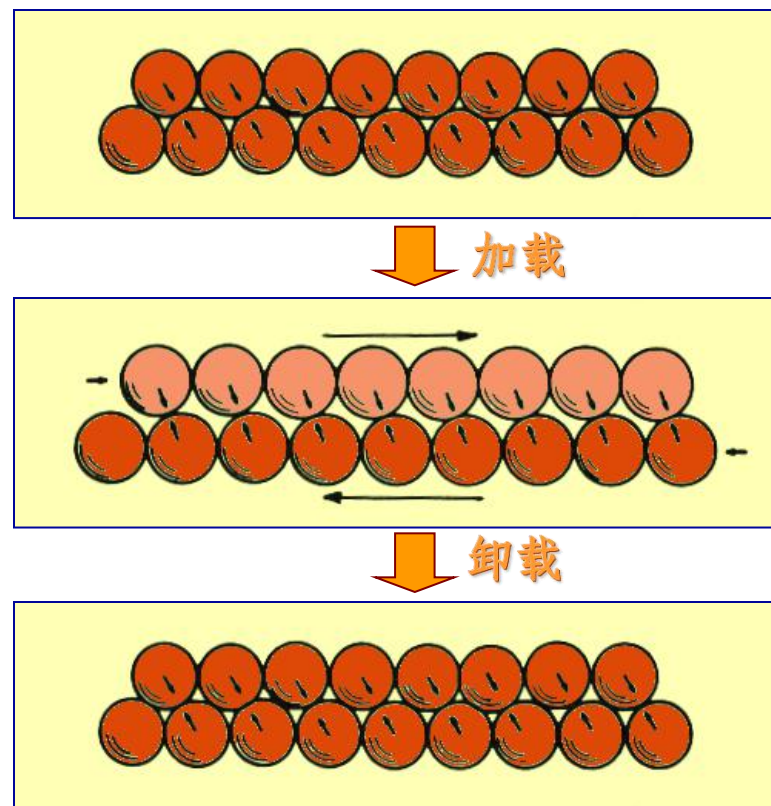
2.3 拉伸曲线 (6) 颈缩阶段



2.3 拉伸曲线 (7) 拉伸曲线

弹性变形过程:

❖ 原子间的距离发生伸长和缩短，但原子间的结合键并没有发生破坏



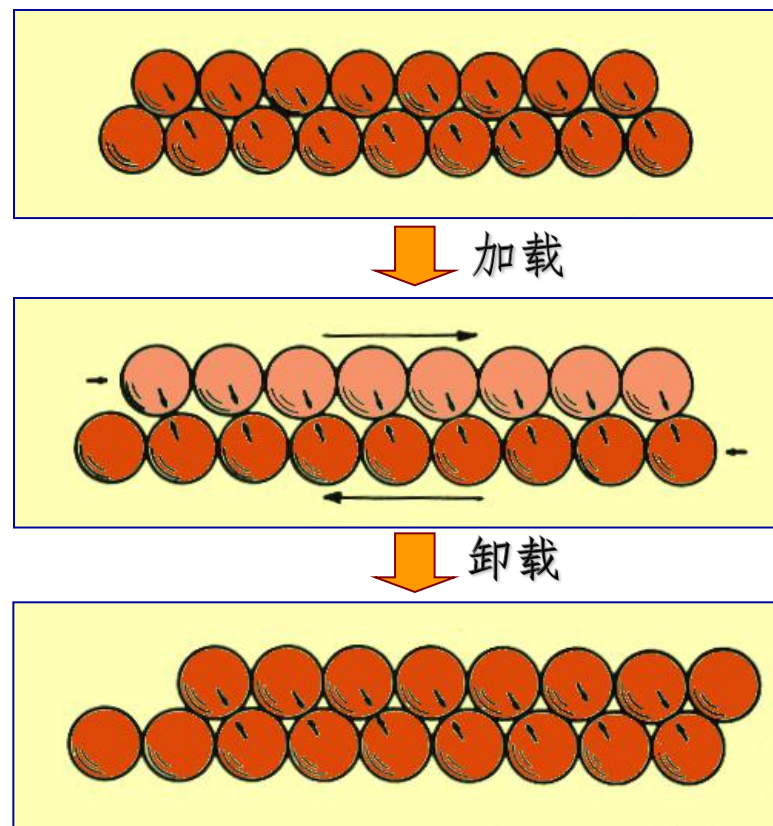
❖ 卸载后变形迅速恢复

2.3 拉伸曲线 (8) 拉伸曲线

塑性变形过程:

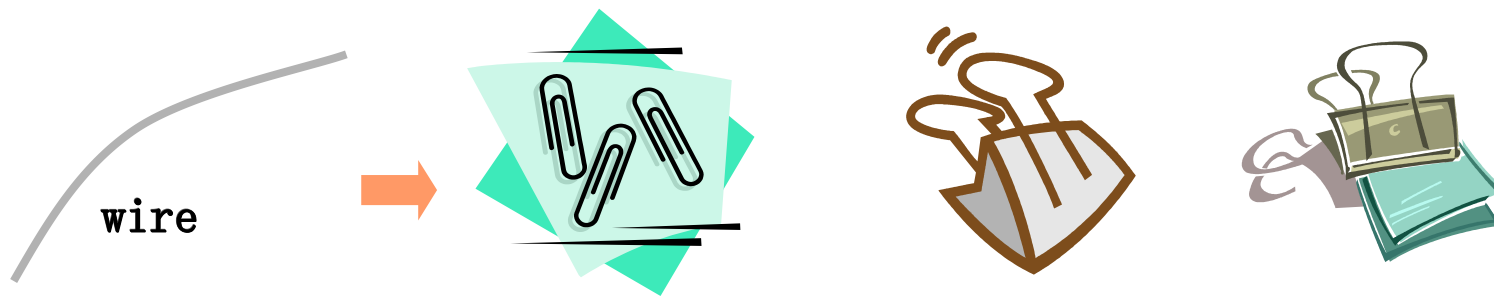
❖ 相邻原子改变，改变后又会迅速产生新的平衡

❖ 卸载后产生不可恢复的永久变形



2.3 拉伸曲线-塑性变形一定导致断裂吗？

- ❖ 一些材料可以承受一定的塑性变形而不破坏。



- ❖ 一些材料承受一定塑性变形就会发生破坏，如桥梁混凝土，陶瓷等。

2.3 拉伸曲线-基本设计准则

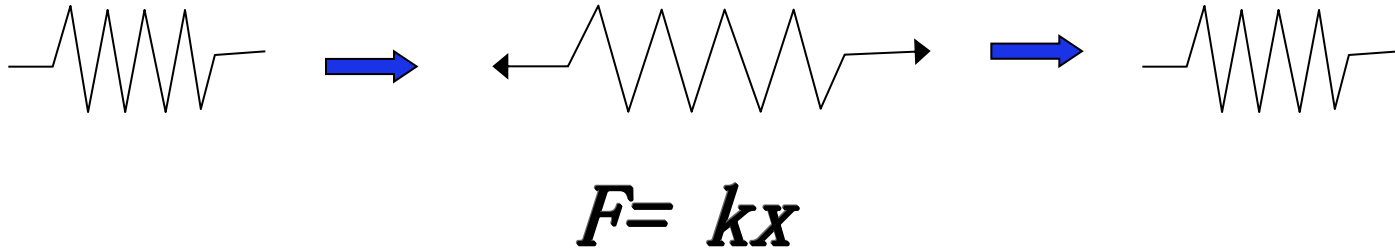
→ 施加的应力必须小于材料的强度



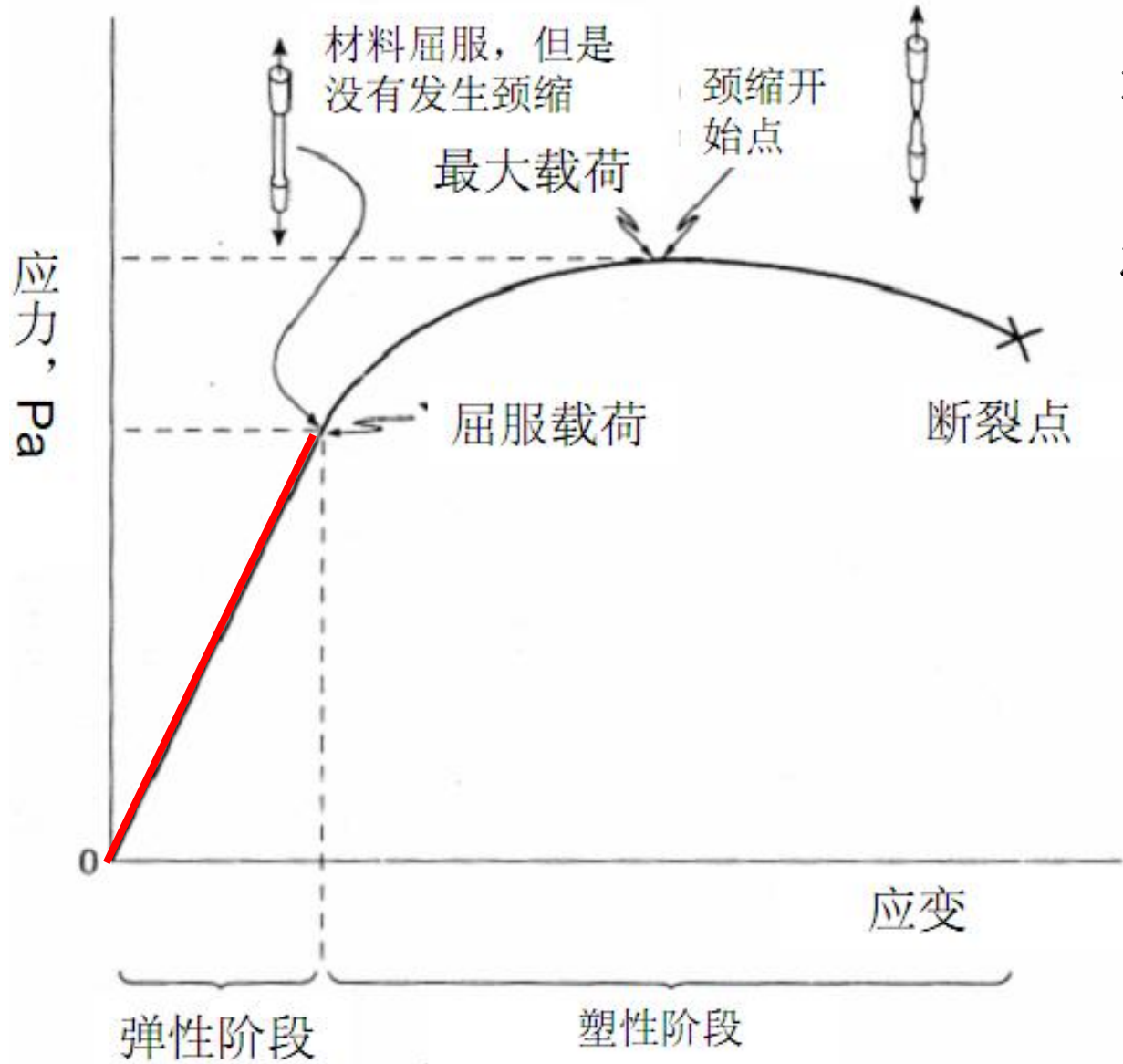
强度就是材料变形和断裂的临界应力

2.4 拉伸力学性能指标（1）弹性模量E

- ❖ 大多数的工程材料都可以看作弹性体，因此弹性模量具有普遍性。



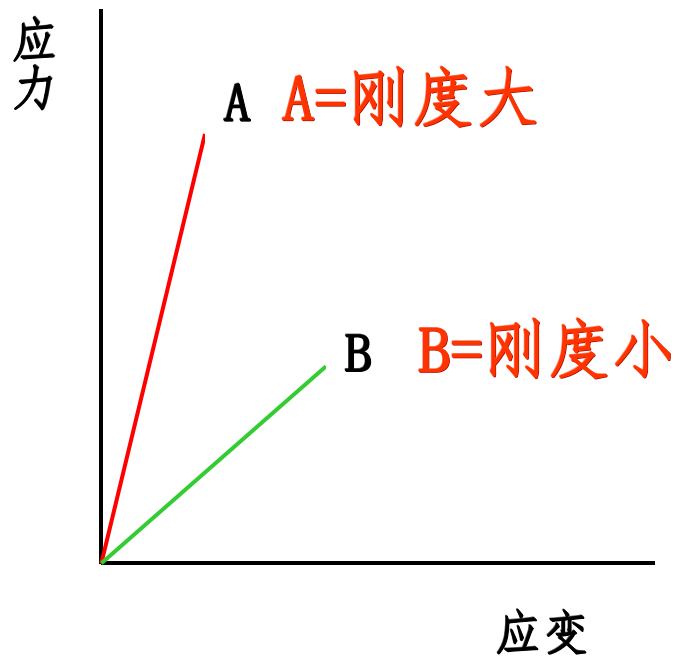
2.4 拉伸力学性能指标 (1) 弹性模量E



弹性模量E:
单纯弹性变形过程中应力与应变的比值。

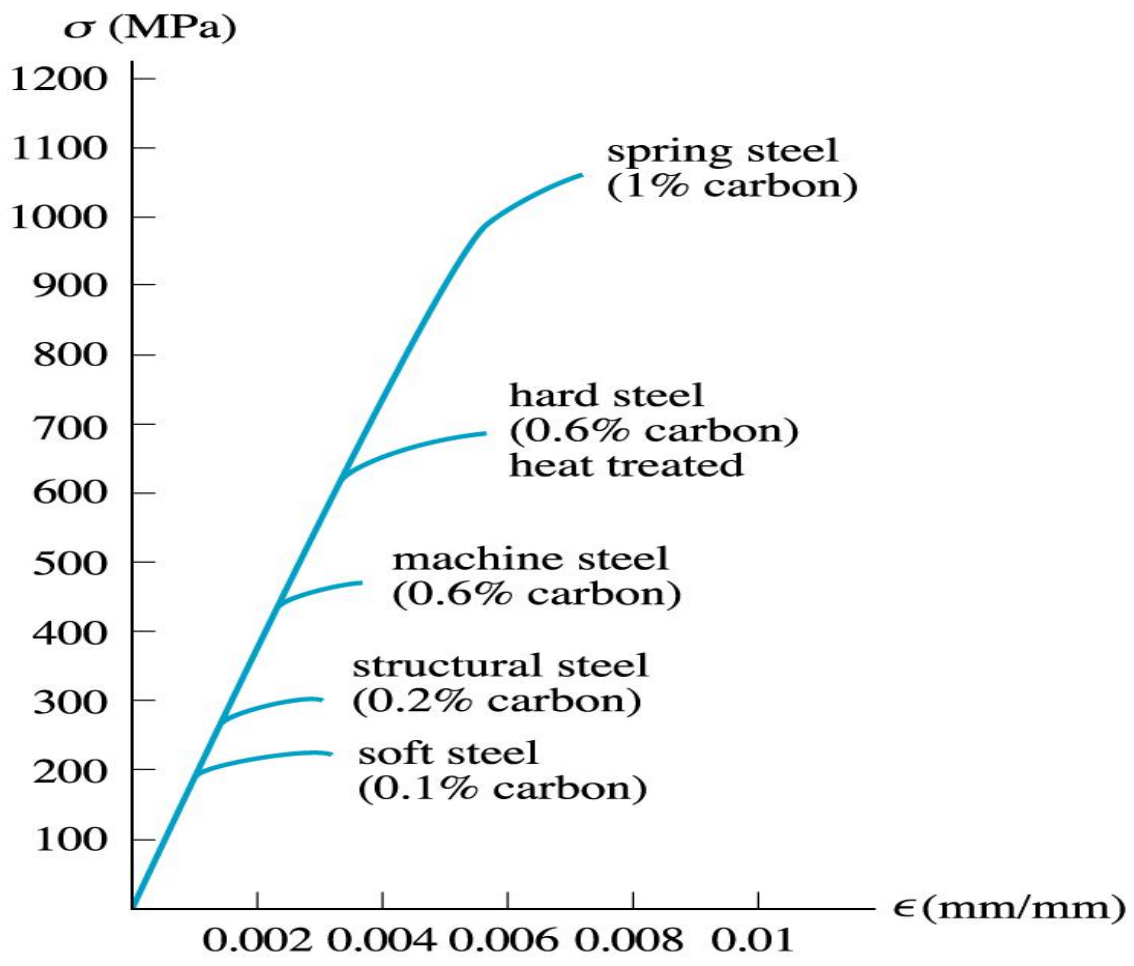
$$E = \sigma / e$$

2.4 拉伸力学性能指标 (1) 弹性模量E



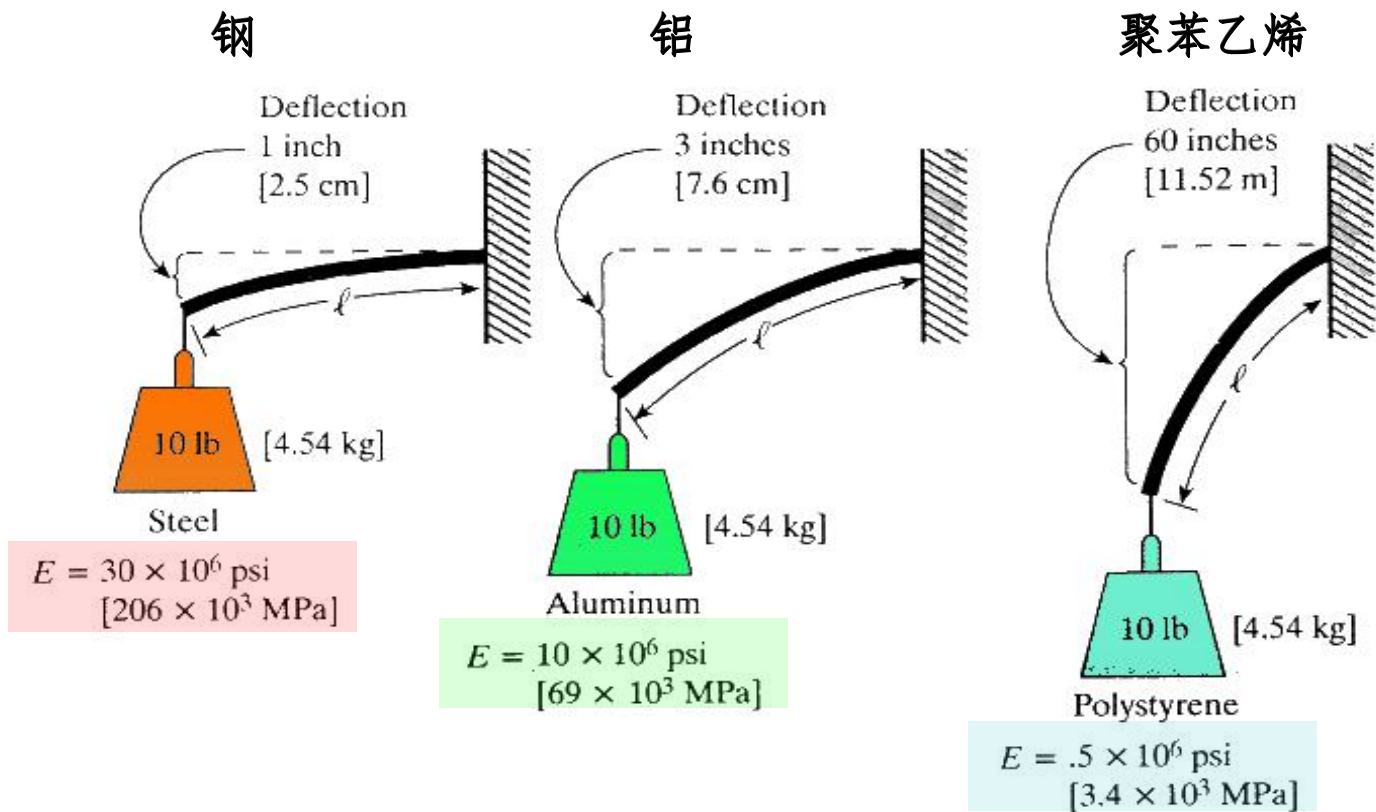
2.4 拉伸力学性能指标 (1) 弹性模量E

材料的弹性模量具有组织不敏感性！



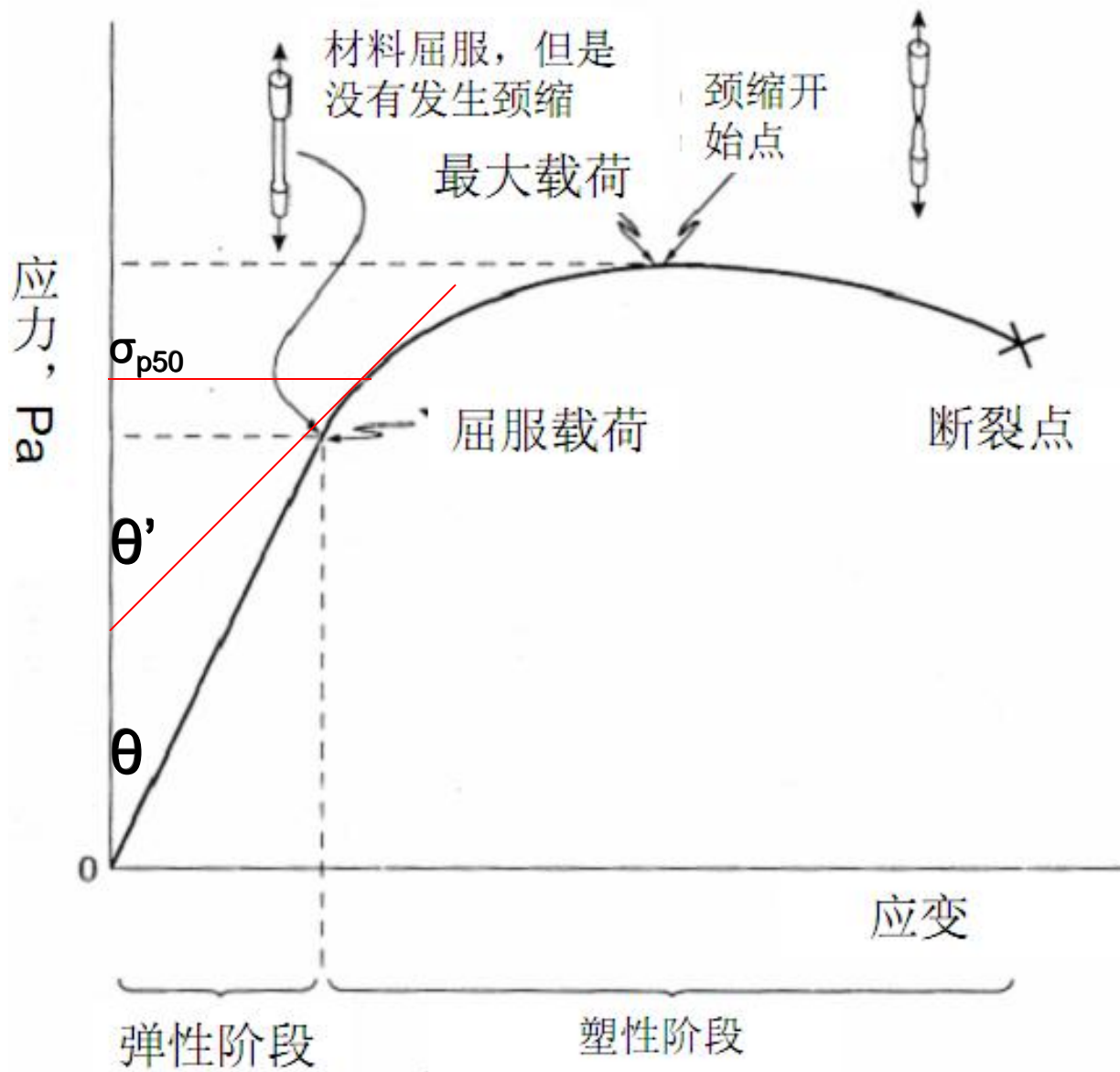
2.4 拉伸力学性能指标 (1) 弹性模量E

❖ 悬臂梁挠度与弹性模量



2.4 拉伸力学性能指标 (2) 比例极限

- ❖ 定义：满足线性关系的所能达到的最大应力。 $\text{tg } \theta' = 1.5 \text{tg } \theta$
- ❖ 偏离50%，此时， σ_{p50}
- ❖ 偏离25%或10%，记做 σ_{p25} ， σ_{p10}
- ❖ 也可以： P/A_0
- ❖ 意义：强调正比例关系，是弹性零件必须满足的性能指标。如弹簧秤。



2.4 拉伸力学性能指标 (3) 弹性极限

定义：发生弹性变形，而不发生塑性变形的最大应力。

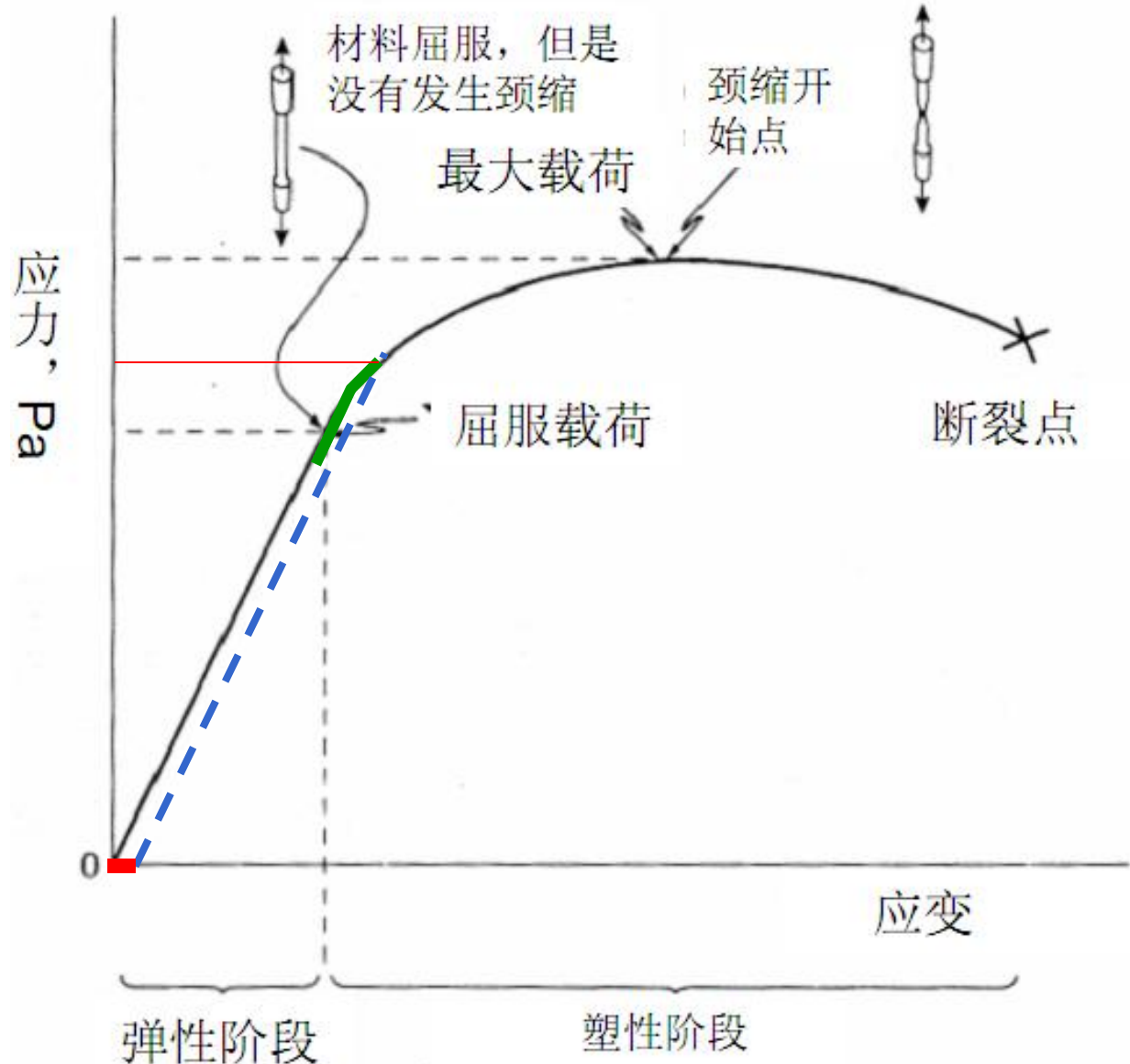
规定一个小的塑性变形量对应的应力值作为弹性极限，如0.005%，0.01%，0.05%。此时弹性极限分别记做：

$\sigma_{0.005}$ ， $\sigma_{0.01}$ ，
 $\sigma_{0.05}$

也可以： P/A_0

❖ 意义：强调不发生塑性变形；（比例极限强调符合正比例关系）。

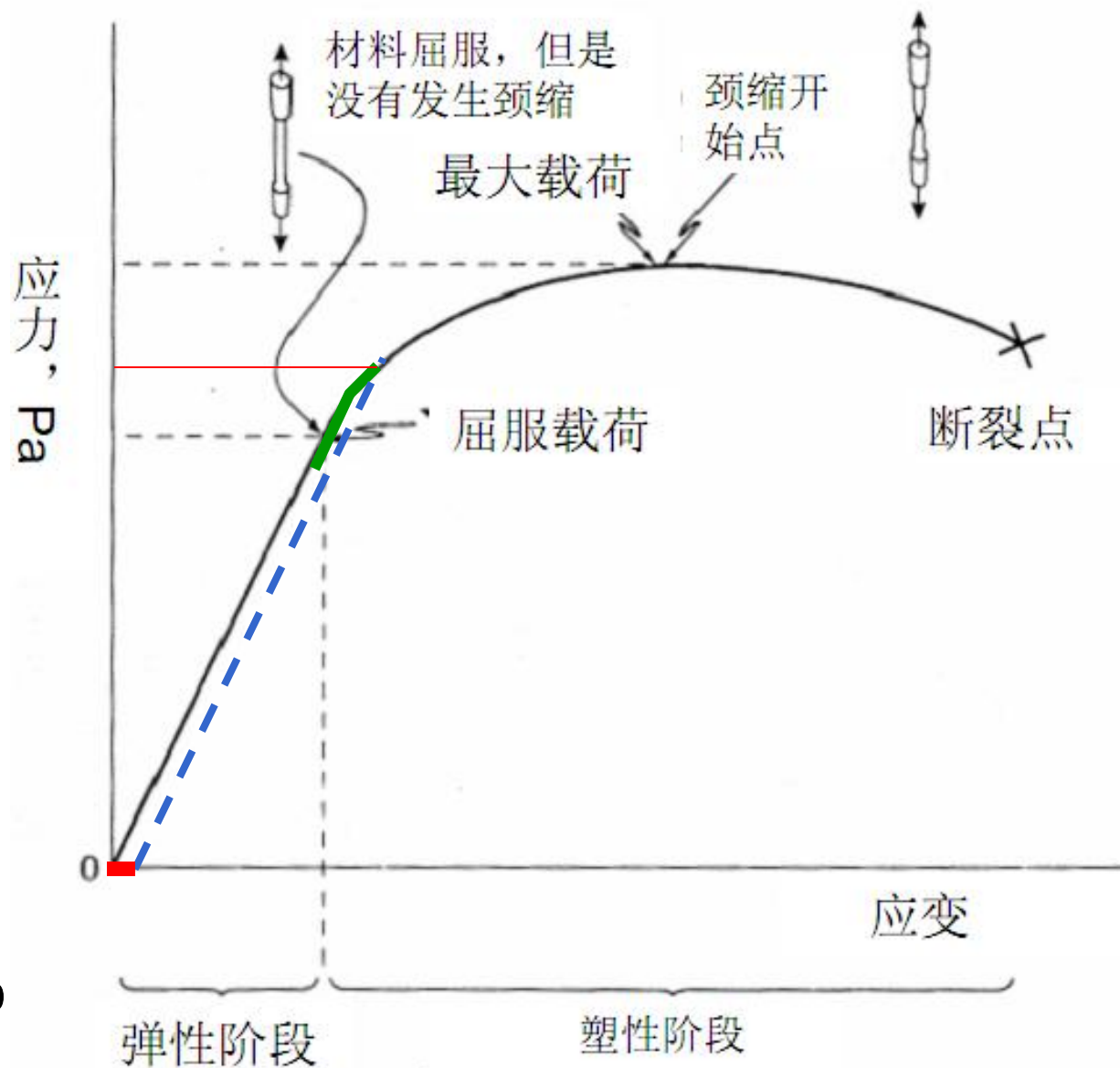
❖ 一般的弹性件，如紧固螺栓



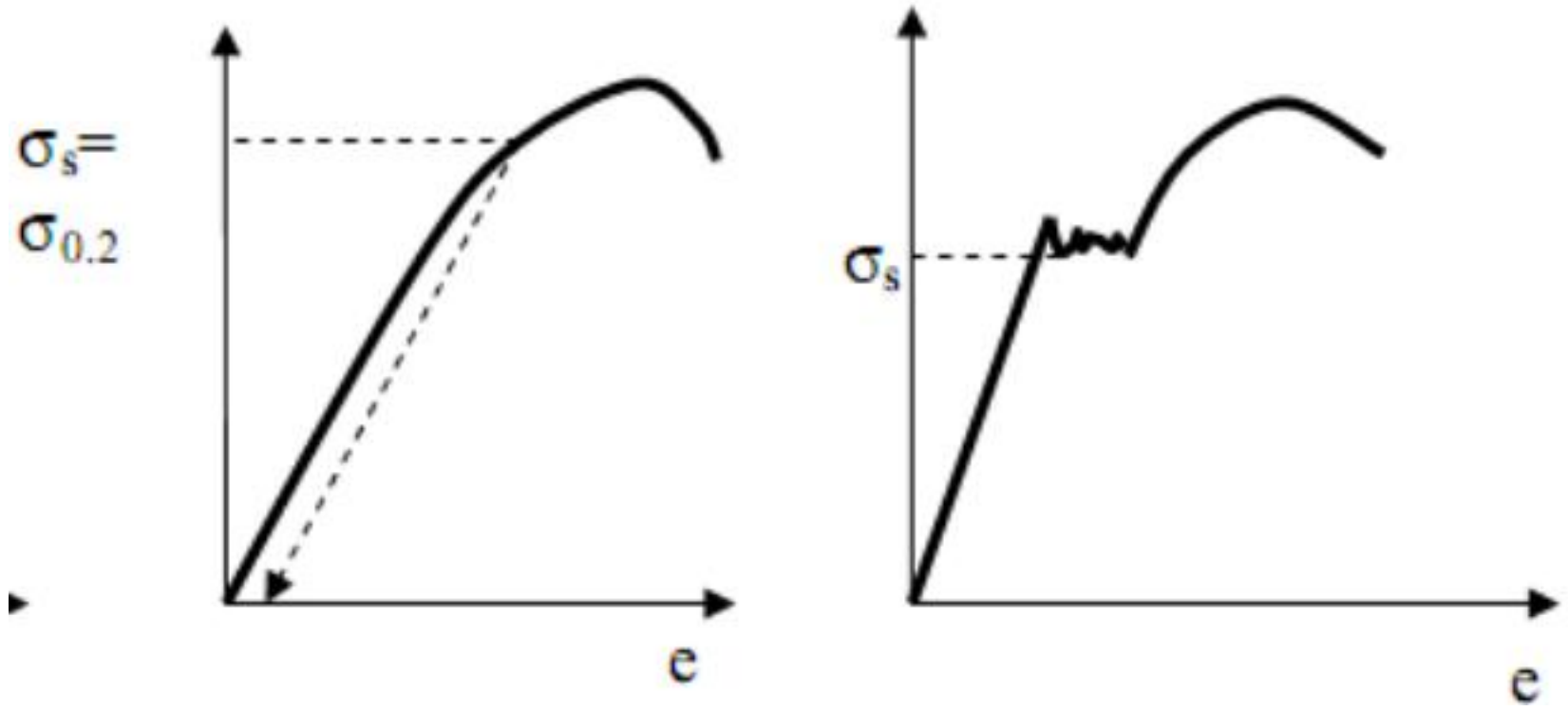
2.4 拉伸力学性能指标（4）屈服极限

❖ 对于拉伸曲线上有明显的屈服平台的材料，塑性变形硬化不连续，屈服平台所对应的应力即为屈服强度，记为 $\sigma_s = P_s / A_0$

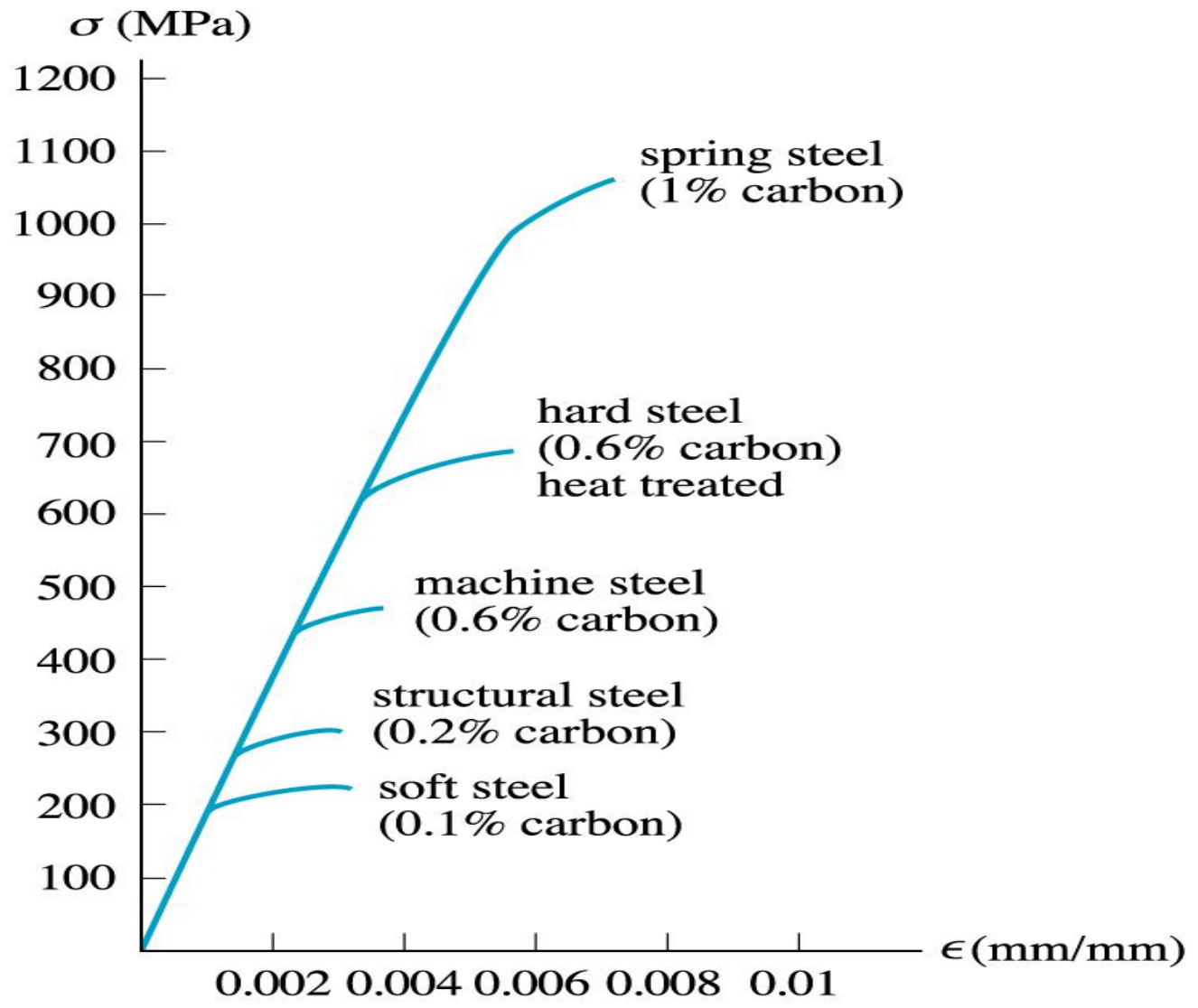
• 对于拉伸曲线上没有屈服平台的材料，塑性变形硬化过程是连续的，此时将屈服强度定义为产生0.2%残余伸长时的应力，记为 $\sigma_s = \sigma_{0.2} = P_{0.2} / A_0$



2.4 拉伸力学性能指标 (4) 屈服极限

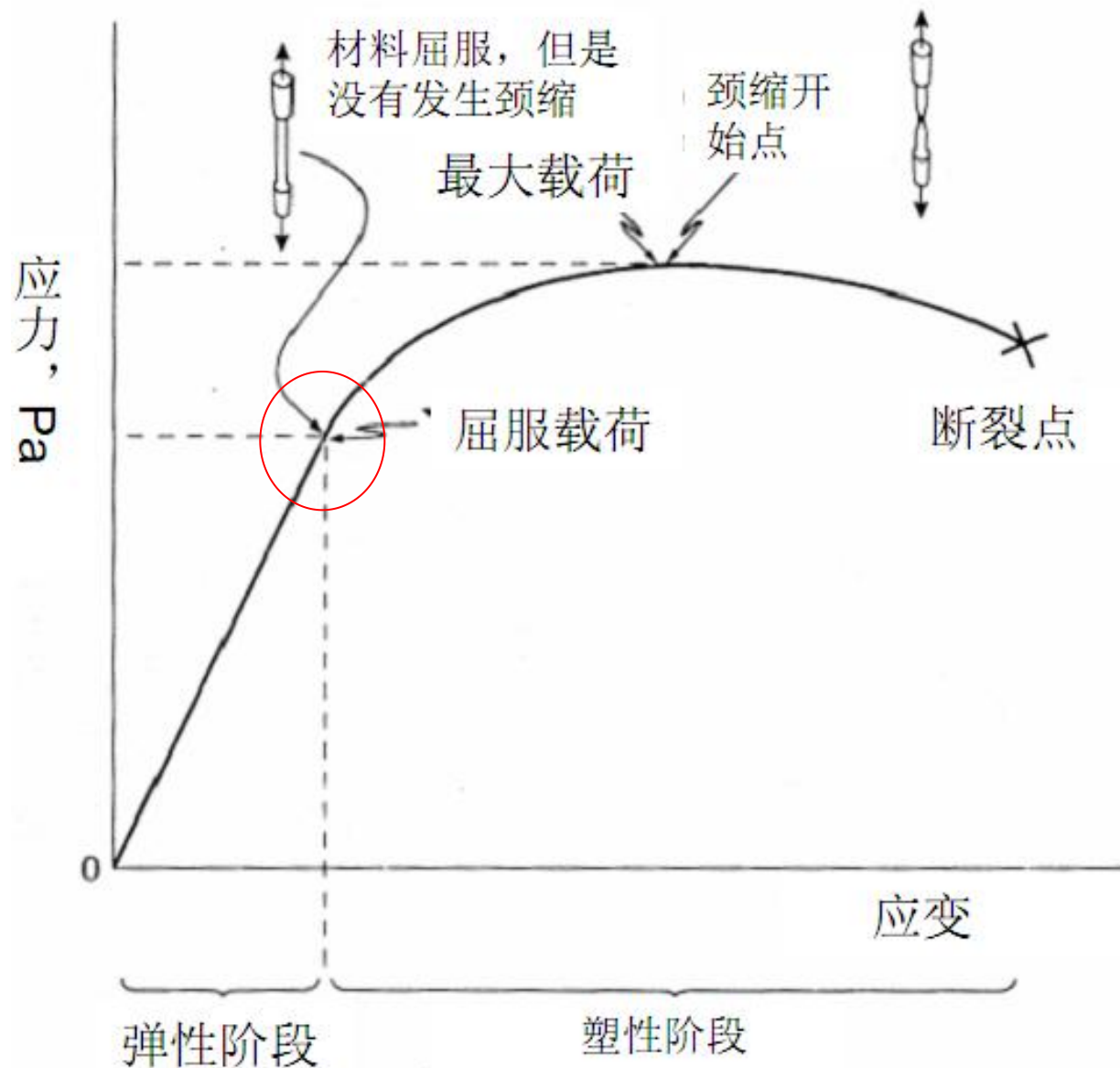


2.4 拉伸力学性能指标 (4) 屈服极限



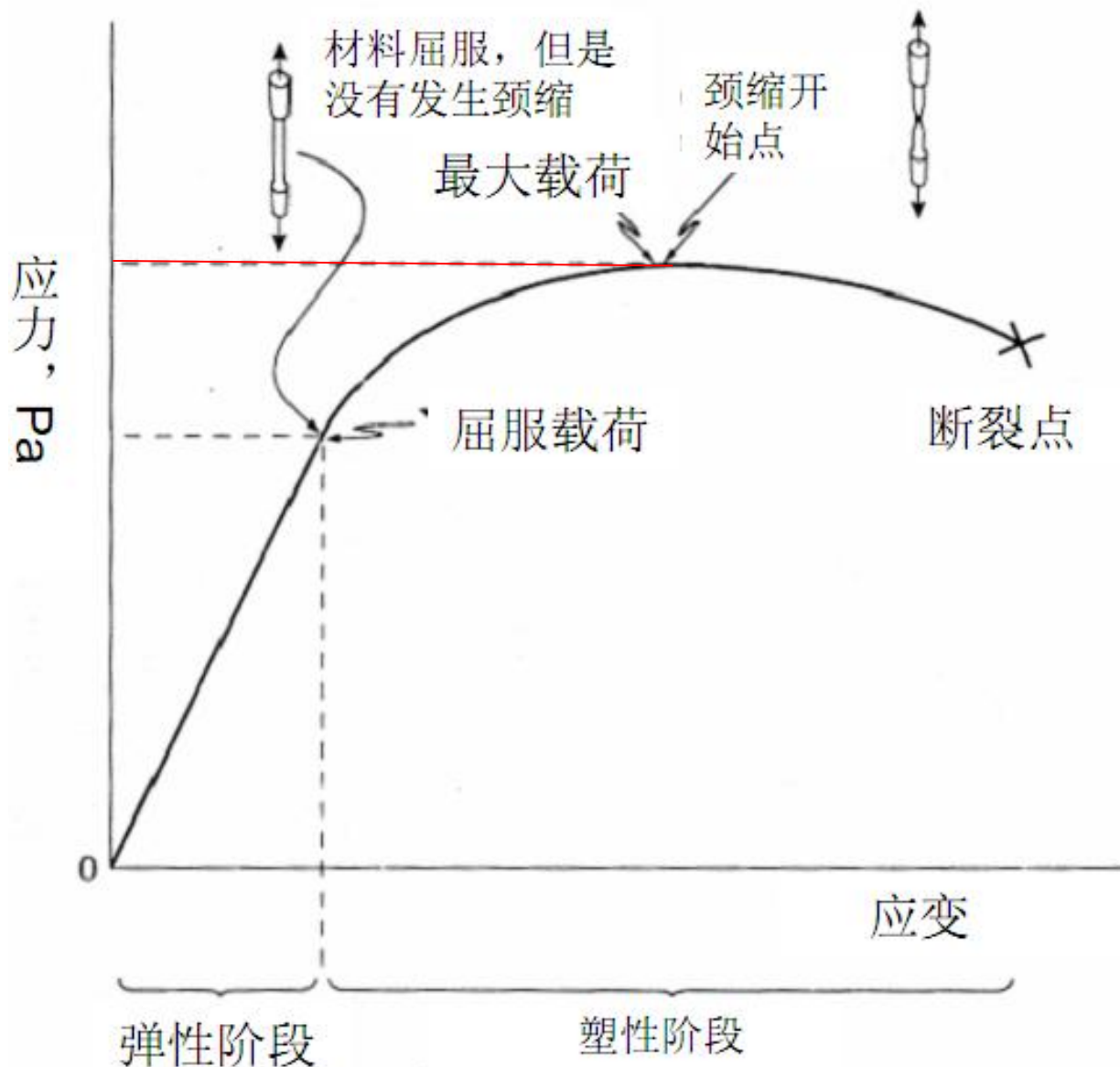
2.4 拉伸力学性能指标 (4) 屈服极限

❖ 小塑性变形 抗力指标



2.4 拉伸力学性能指标 (5) 抗拉强度

- ❖ 抗拉强度 σ_b :
- ❖ 定义为试件断裂前所能承受的最大工程应力，以前称为强度极限。取拉伸图上的最大载荷，即对应于b点的载荷除以试件的原始截面积，即得抗拉强度之值，记为 σ_b
- ❖ $\sigma_b = P_{max} / A_0$



2.4 拉伸力学性能指标（5）抗拉强度

- ❖ 思考：工程零件实际服役应力以屈服强度设计，还是抗拉强度设计？

2.4 拉伸力学性能指标 (6) 真实断裂强度

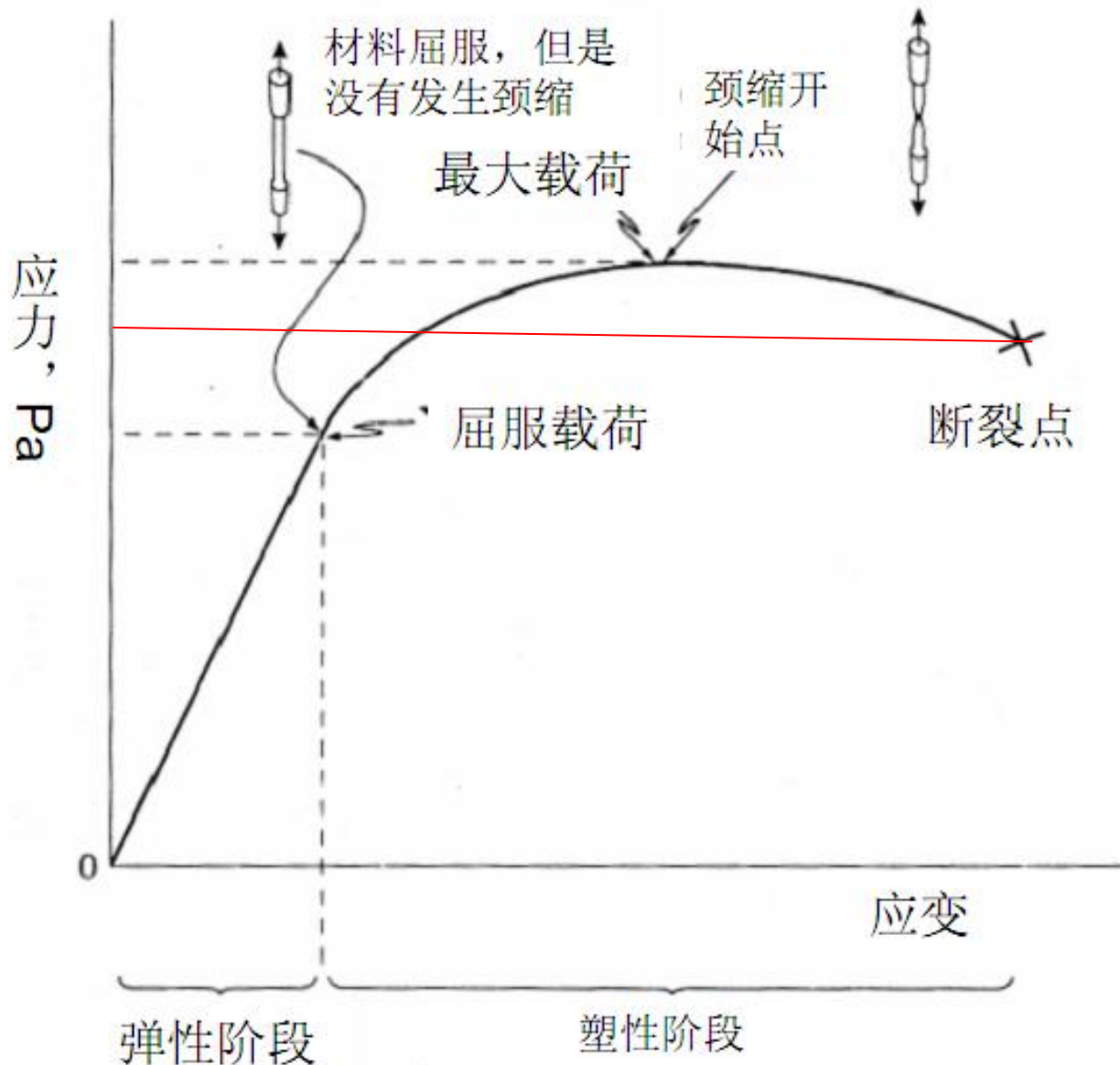
❖ 拉伸断裂时的真应力称为真实断裂强度，记为 σ_f 。试验时测出断裂点的截荷 P_f ，试件的最小截面积 A_f ，则断裂时的平均真应力，即平均断裂强度值， σ_f 表示如下

$$\sigma_f = P_f / A_f$$



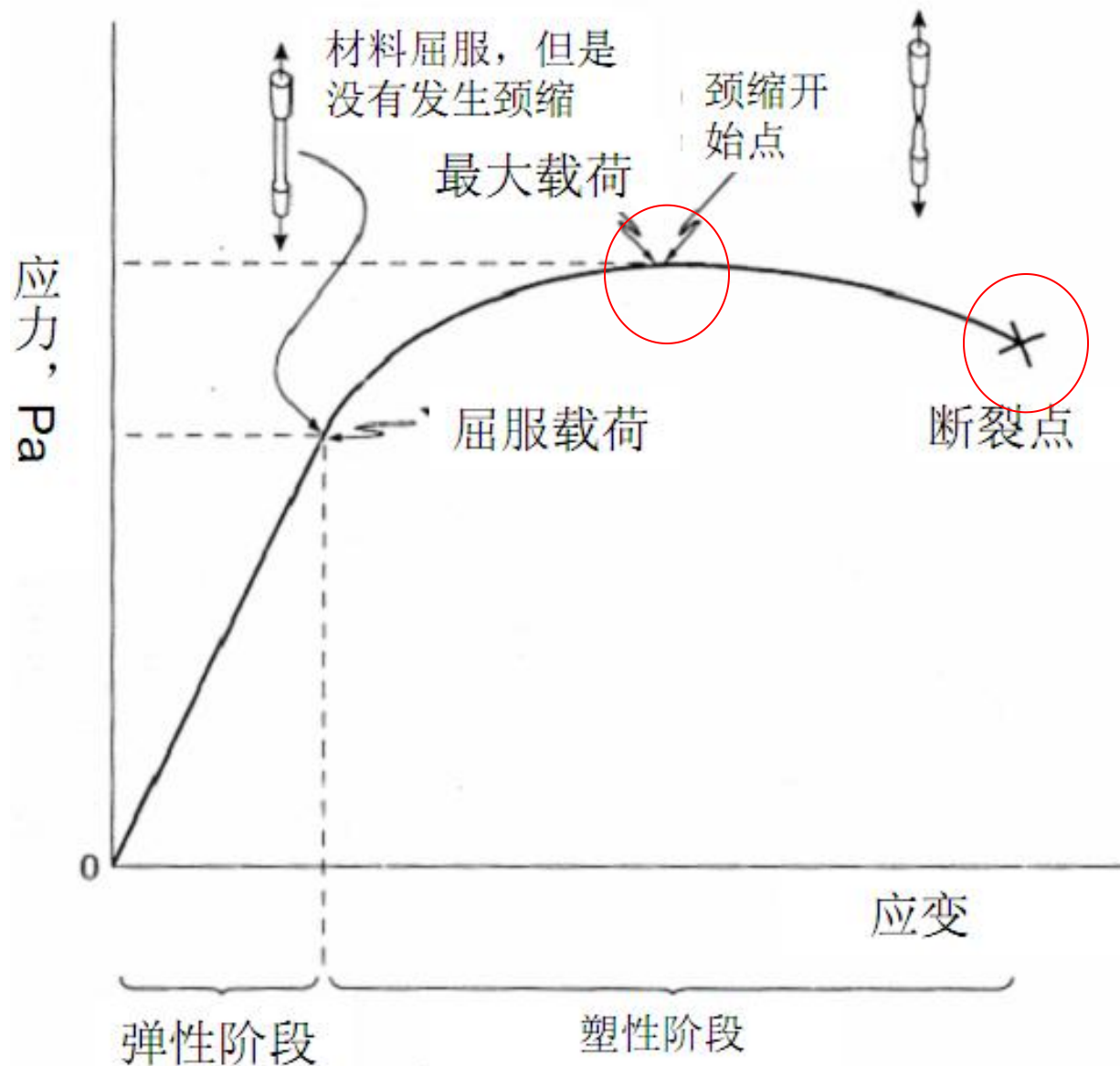
❖ 通常在拉伸试验中，不测定断裂强度。在这种情况下，可以根据下列经验公式估算断裂强度

$$\sigma_f = \sigma_b (1 + \Psi k)$$



2.4 拉伸力学性能指标 (6) 真实断裂强度

❖ 大塑性变形抗拉指标



2.4 拉伸力学性能指标 (7) 条件断面收缩率 (8) 条件延伸率

条件断面收缩率 ψ :

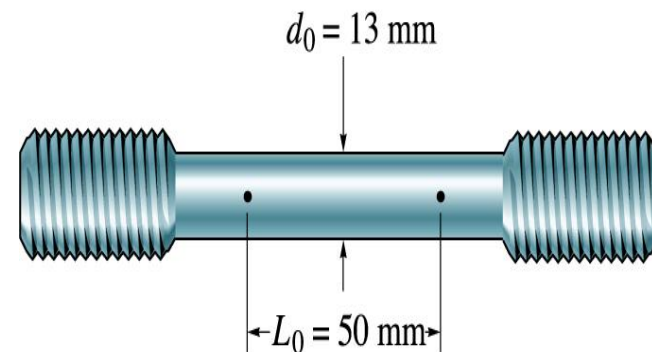
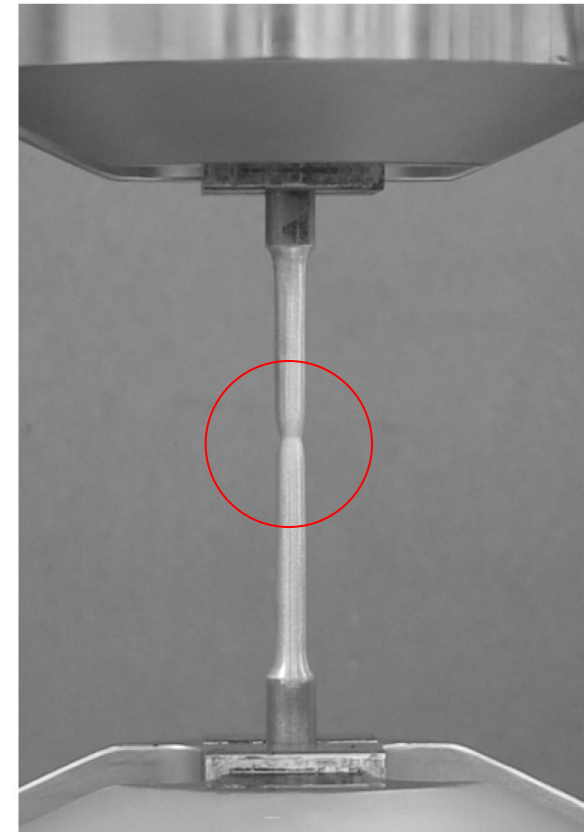
断面收缩率 ψ 是评定材料塑性的主要指标。

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100\%$$

条件延伸率 δ :

材料的塑性常用延伸率表示。测定方法如下：拉伸试验前测定试件的标距 L_0 ，拉伸断裂后测得标距为 L_k ，然后按下式算出延伸率

$$\delta = \frac{L_K - L_0}{L_0} \times 100\%$$



极限延伸率

极限延伸率等于试样断裂后的总条件延伸率，

$$\delta_K = \Delta L_K / L_0 \times 100\%$$

$$\text{其中 } \Delta L_K = \Delta L_E + \Delta L_N$$

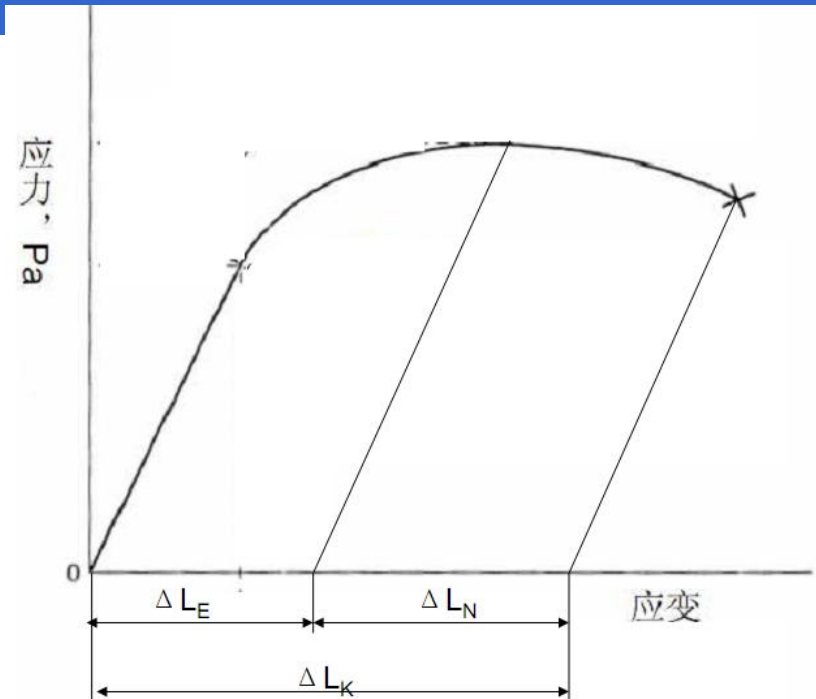
试验总结得出：

$$\Delta L_E = \beta \times L_0, \text{ 其中 } \beta \text{ 是常数}$$

$$\Delta L_N = \gamma \times A_0, \text{ 其中 } \gamma \text{ 是常数, } A_0 \text{ 是试样的原始截面积。}$$

因此：

$$\delta_K = \Delta L_K / L_0 \times 100\% = (\beta \times L_0 + \gamma \times A_0) / L_0 \times 100\% = \beta + \gamma \times A_0 / L_0$$



极限延伸率与试样尺寸 A_0 和 L_0 的比值有关。如果是细长试样， A_0/L_0 比值小，试样极限延伸率小；反之则大。为此国家标准对拉伸试样样品尺寸作出规定。两种：

10倍试样： $L_0 = 10 \times A_0$ ，延伸率记为 δ_{10} ；

5倍试样： $L_0 = 5 \times A_0$ ，延伸率记为 δ_5

2.5几个基本概念

(1) 泊松比

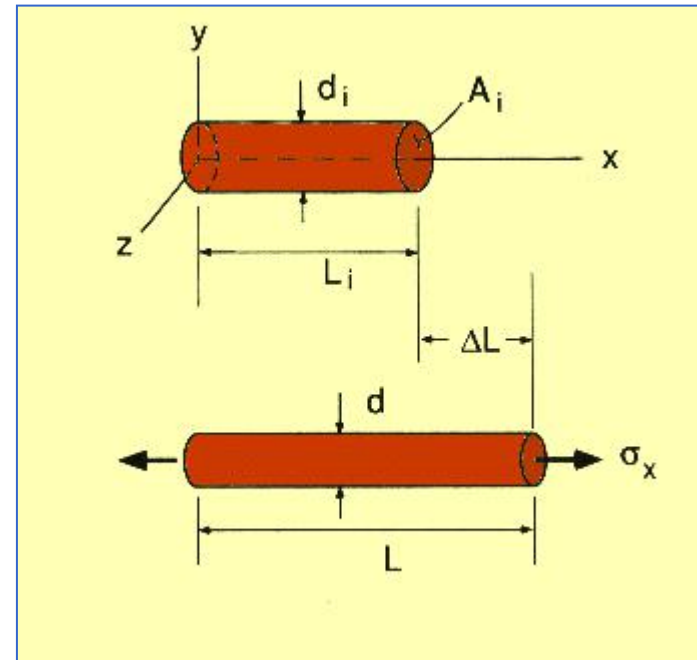
依据体积不变原理，纵向伸长，那么横向必然收缩。

$$\nu = - \frac{\text{横向应变}}{\text{纵向应变}} = - \frac{e_y}{e_x}$$

❖ 范围： 0 到 0.5

大多数工程材料约 0.3 ，如Al = 0.33, Zr = 0.31, Pb = 0.42, Nylon = 0.4, 硬塑料= 0.43, …

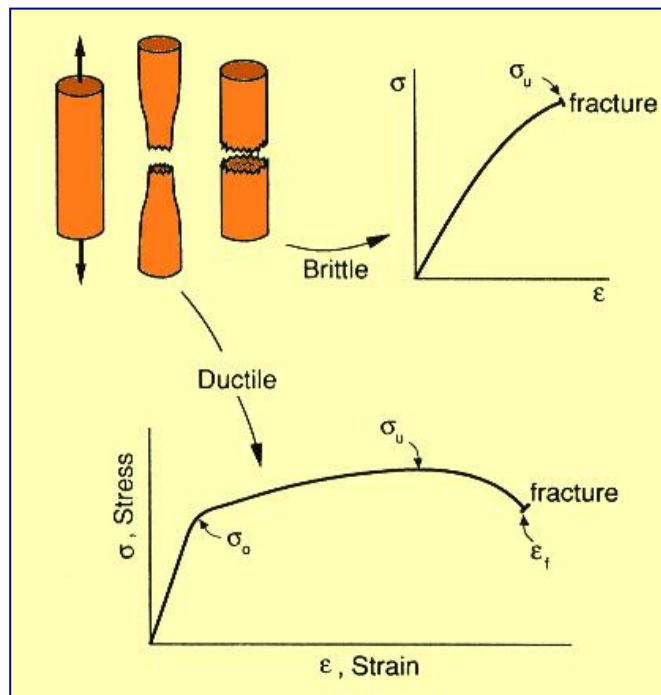
❖ 反泊松比材料



2.5几个基本概念

(2) 脆性与韧性

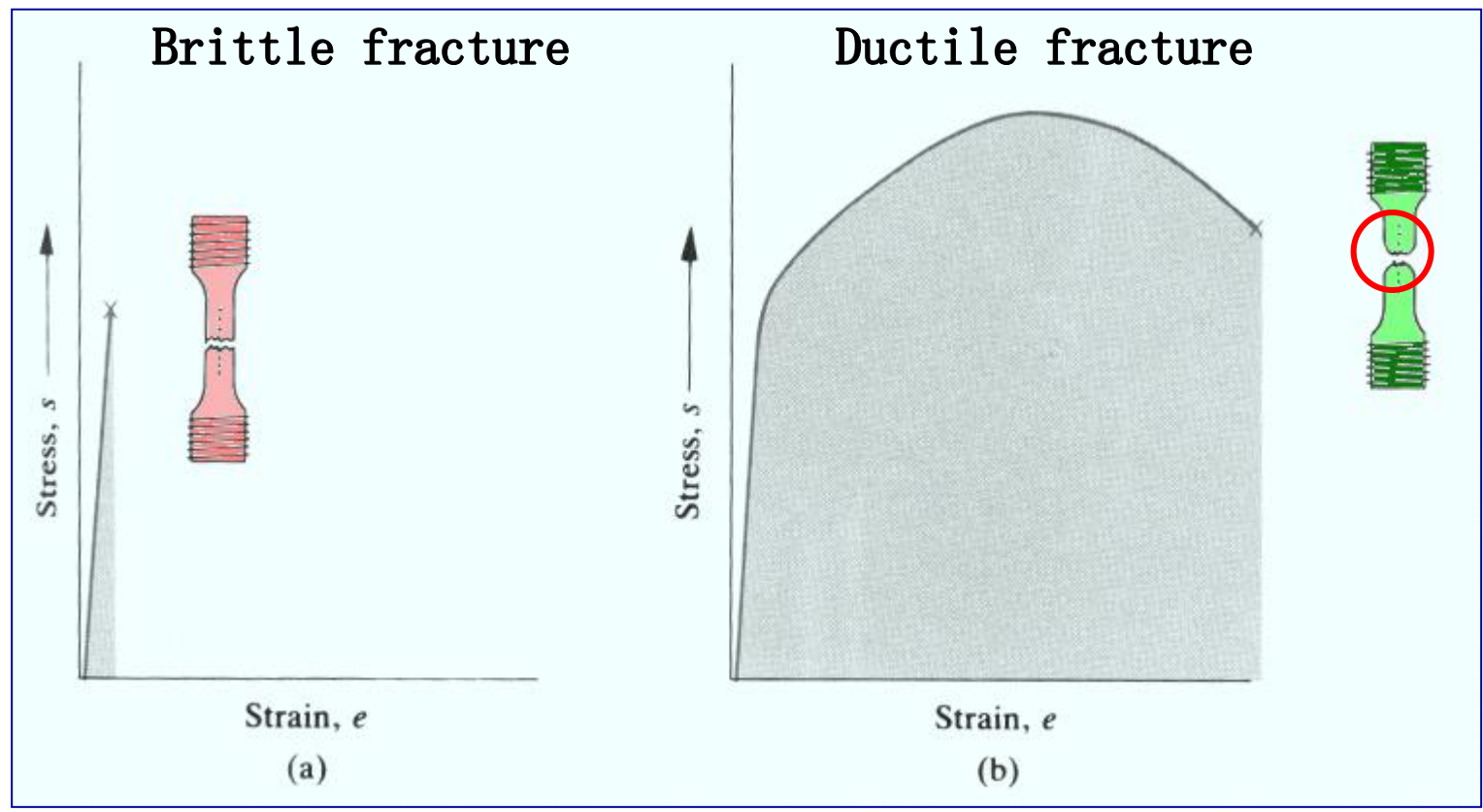
- ❖ 断裂前不发生明显塑性变形——脆性：玻璃、陶瓷、硬塑料、高强度钢；
- ❖ 断裂前发生明显塑性变形——韧性：低强度钢、铜、铝、铅…



2.5几个基本概念

脆性断裂

韧性断裂



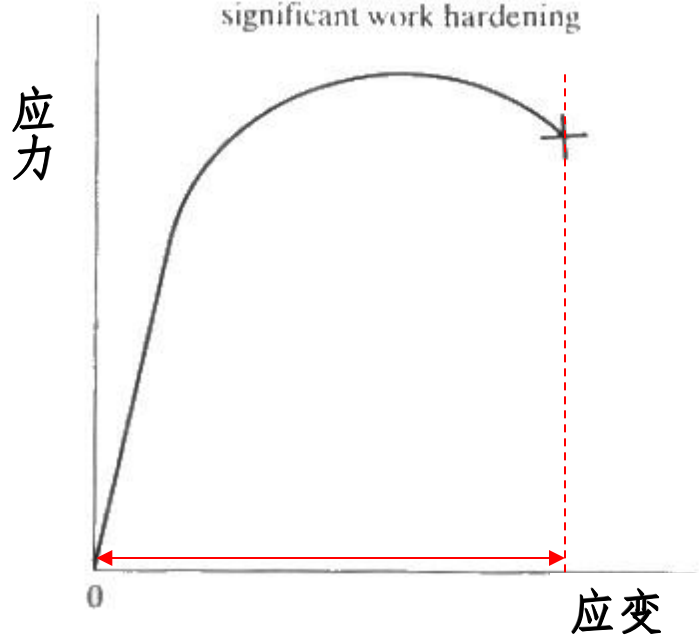
- ⇒ “脆性断裂”所需的能量：分开原子+新表面的表面能
- ⇒ “韧性断裂”所需的能量：分开原子+新表面的表面能+塑性变形消耗的能量（远大于前两者之和）

2.5几个基本概念

下面两种材料强度相近，谁的韧性大？

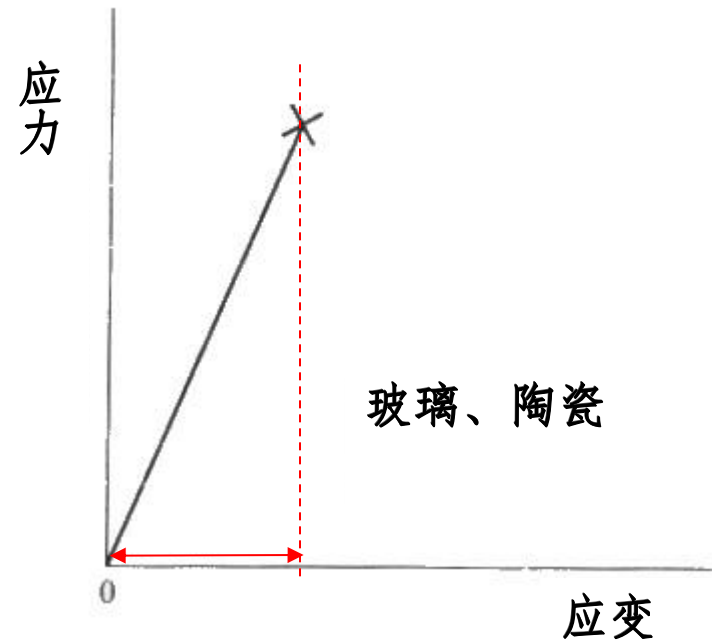
塑性材料

Ductile material with
significant work hardening



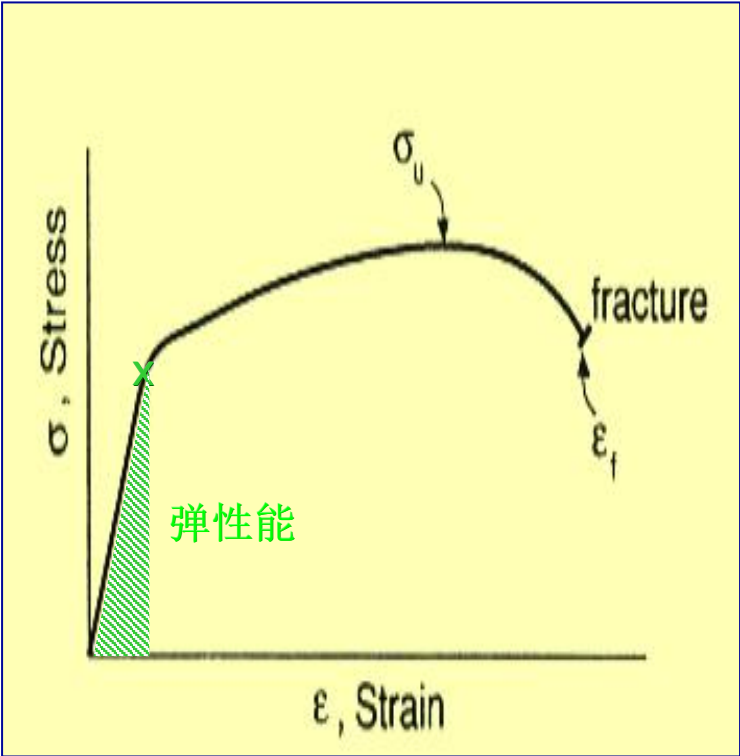
脆性材料

Brittle material



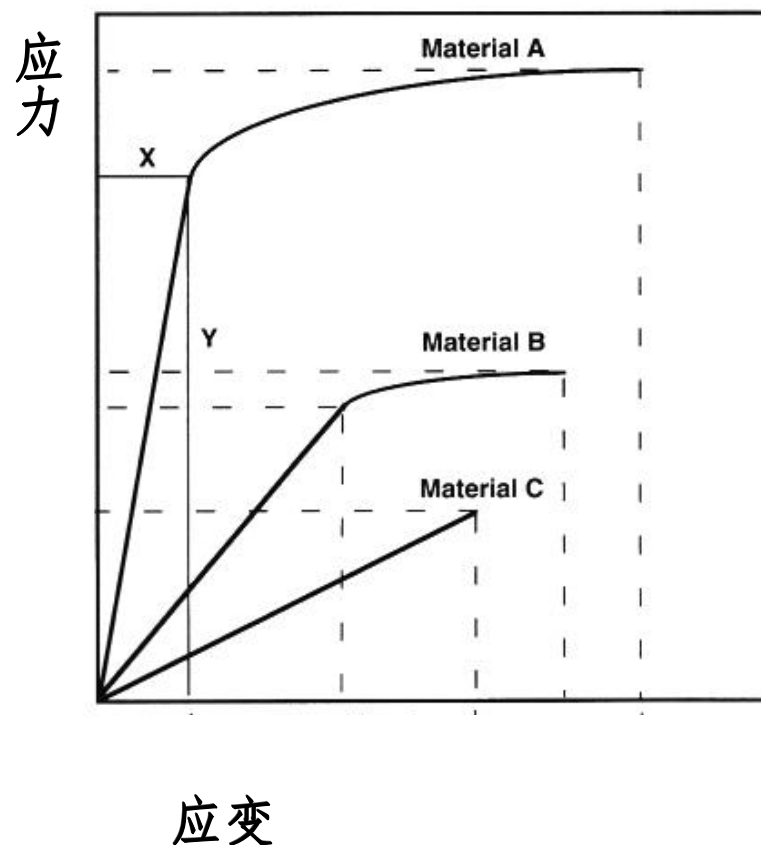
2.5几个基本概念

(3) 弹性能



2.5几个基本概念-思考

- ❖ 那种材料弹性模量最大? (A)
- ❖ 哪种材料脆性最大? (C)
- ❖ 那种材料塑性最好? (A)
- ❖ 那种材料韧性最好? (A)
- ❖ 比较强度:
 - 屈服强度
 - 抗拉强度
 - 断裂强度



2.5几个基本概念-思考

- 1) 有颈缩材料的拉伸应力应变曲线分为几个变形阶段？
- 2) 叙述金属拉伸力学性能指标的物理意义和测量方法。
- 3) 说明5倍拉伸试样和10倍拉伸试样测量得到的极限延伸率有什么差别，为什么？
- 4) 一个直径为2.5mm，长度200mm的杆，在载荷2000N作用下，直径缩小为2.2mm，计算：a) 杆的最终长度（体积不变原理）； b) 该载荷作用的真应力与真应变（计算时采用的面积应当是最终面积，按直径2.2mm计算得到）； c) 该载荷作用下的条件应力与条件应变（计算时采用的面积应当是最终面积，按直径2.5mm计算得到）。

三、实验设备及工具

1. 万能材料试验机

2. 游标卡尺（0.02mm）



图1 MTS C64.305静态液压万能试验机



图2 游标卡尺

四、试样

实验表明，试件的尺寸和形状对试验结果都有影响。为了避免这种影响，使各种材料的试验结果具有可比性，必须将试件尺寸、形状和试验方法都统一规定，使试验标准化，常用的拉伸试件有圆形和矩形截面两类。

4.1 圆截面试件

国家标准规定的圆形截面比例试样形状如图所示。



短试样

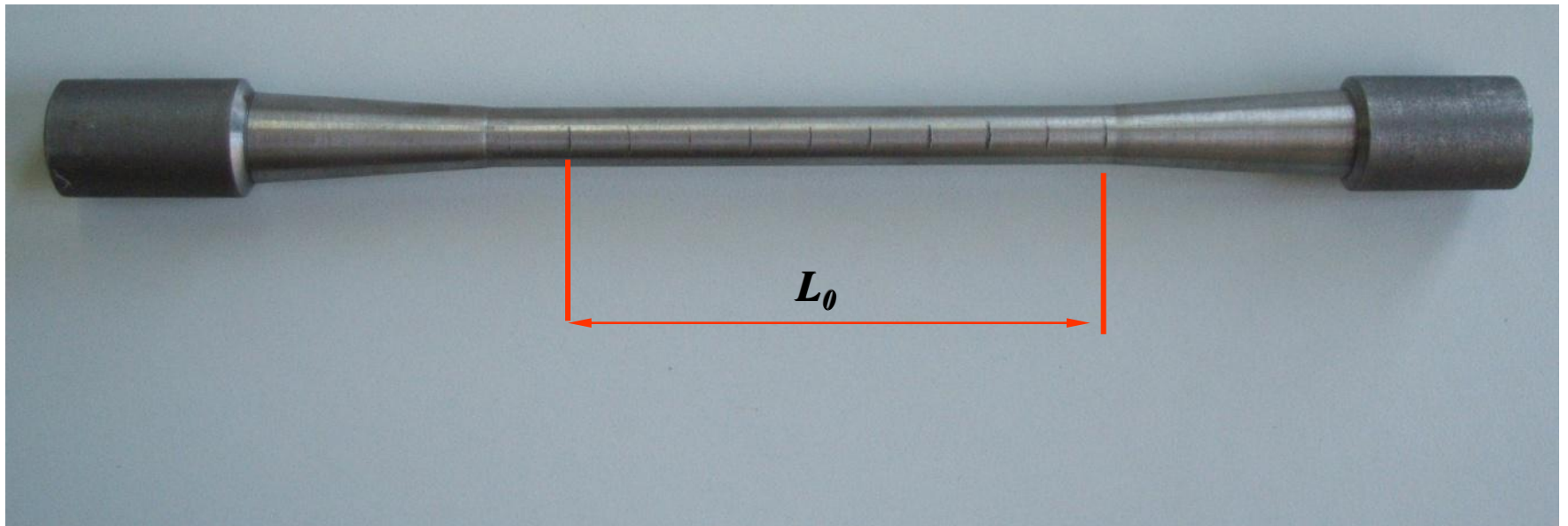


长试样

四、实验试样

标距：

图中试样的平行段两条刻线间的长度 L_0 称为原始标距；平行段部分的直径称为原始直径 d_0 。

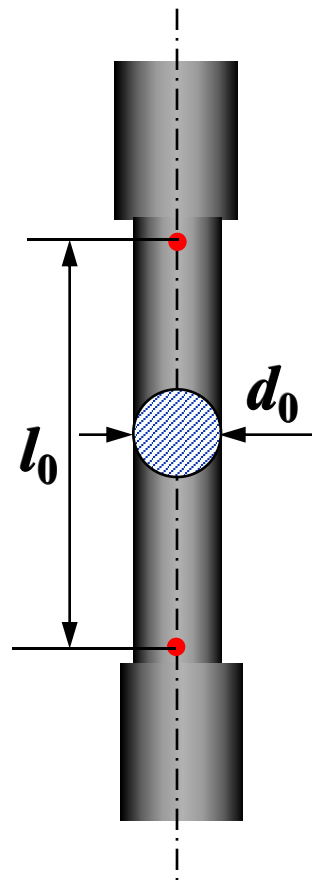
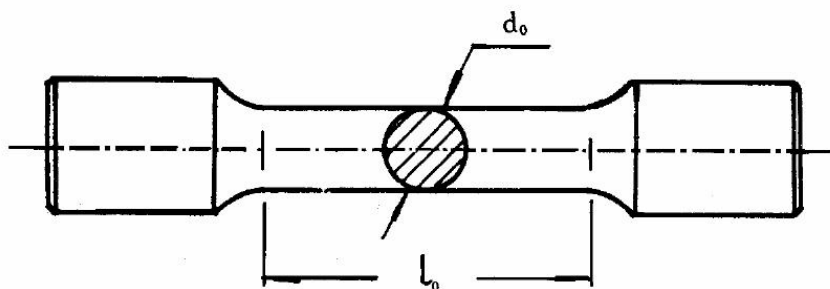


四、实验试样

根据标距 l_0 与直径 d_0 的关系，圆形比例试件分以下两种：

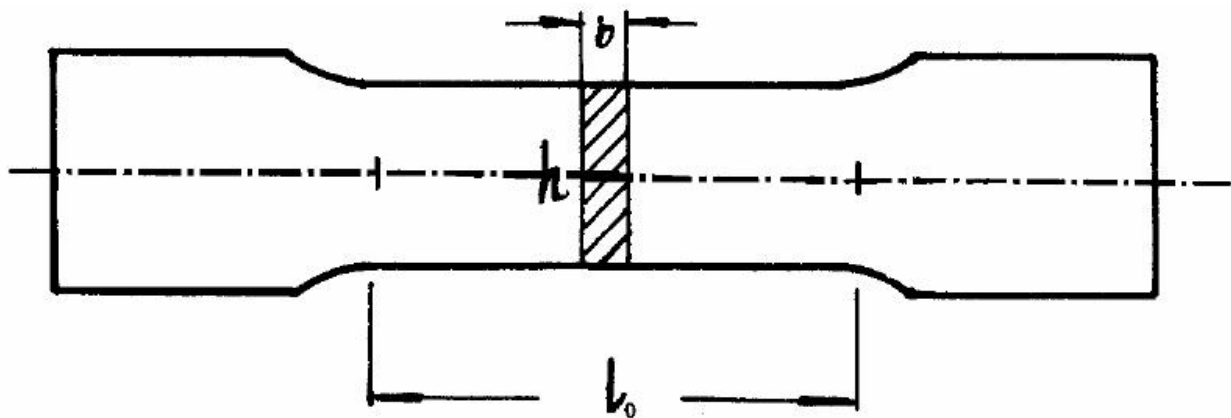
长试样（10倍试件）： $l_0=10d_0$

短试样（5倍试件）： $l_0=5d_0$



四、实验试样

4.2 板状试件



$$\frac{l_0}{\sqrt{A_0}} = 11.3 \text{ 或 } 5.63$$

A_0 为板试件横截面积，前者称为**长试件**，后者被称为**短试件**。

五、实验原理

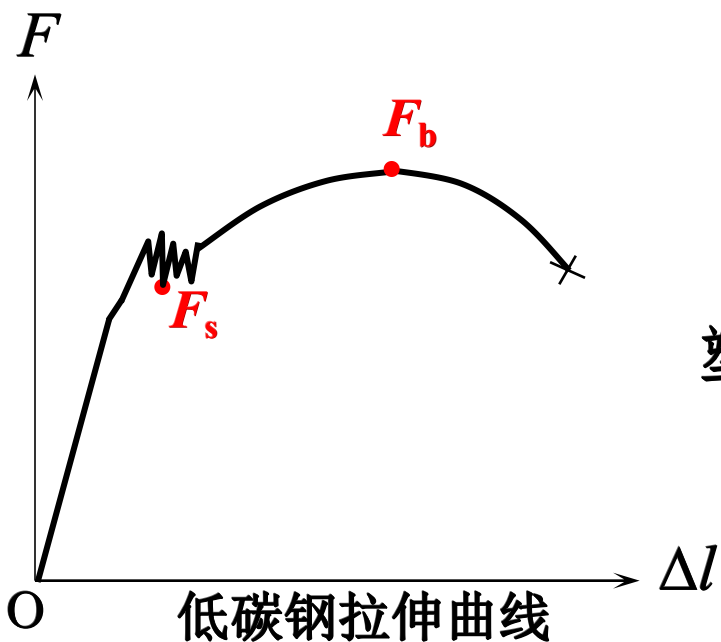
5.1 低碳钢拉伸时的力学性能

力学性能指标：**屈服极限、强度极限、延伸率和截面收缩率**是评定金属材料力学性能的主要依据。

这四大指标可以用材料的拉伸图来描述；而材料的拉伸图可以在实验中通过试验机的自动绘图仪绘出。

五、实验原理

试样装在试验机上，受到轴向拉力 F 作用，试样标距产生伸长量 Δl 。两者之间的关系如图。



强度指标:

屈服点

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

抗拉强度

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

塑性指标:

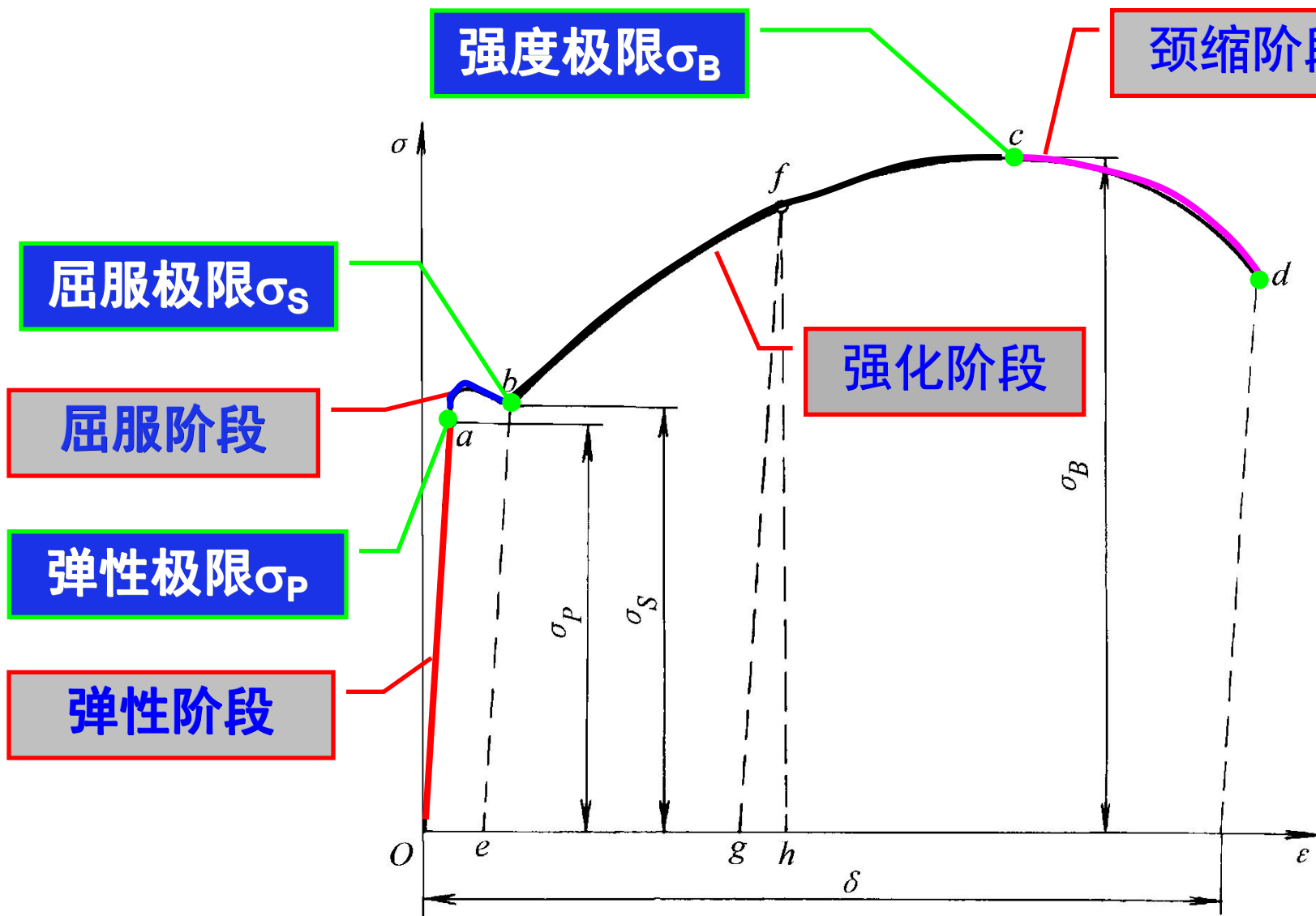
断后伸长率

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

断面收缩率

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

低碳钢试样的变形过程，大致可分为四个变形阶段——
弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、局部变形阶段。



五、实验原理

注意事项：

- ❖ 由自动绘图仪绘出的拉伸图中，拉伸变形是整个试件的伸长，并且包括机器本身的弹性变形和试件头部在夹板中的滑动。
- ❖ 在正比阶段，理论上的拉伸曲线应是一段直线，但因试件开始受力时，头部在夹板中滑动很大，所以自动绘图仪绘出的拉伸图最初一段是曲线。

五、实验原理

- ❖ 由于由于上屈服点受变形速度和试件形状等影响较大，而下屈服点则比较稳定，故工程上均以以下屈服点所对应的载荷作为材料屈服时的载荷，由公式，即可求得**屈服极限 σ_s** 。
- ❖ 对于拉伸曲线无明显屈服现象的材料，则必须测其屈服强度。屈服强度为试样在拉伸过程中，规定塑性变形为0.2%时的应力作为**条件屈服点**，称**屈服强度 $\sigma_{0.2}$** 。

五、实验原理

- ❖ 在强化阶段，当试件所受拉力达到最大载荷之前，在标距范围内的变形是均匀的，拉伸曲线是一段平缓上升的的曲线，在这段曲线的最高点，拉力达到最大值。由公式，即可求得**强度极限（抗拉强度）** σ_b 。
- ❖ **延伸率** δ 为试样拉断后标距长度的增量与原标距长度的百分比

$$\delta = (L_k - L_0) / L_0 \times 100\%$$

五、实验原理

❖ **截面收缩率** φ 为试样拉断后颈缩处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比，即

$$\varphi = (A_0 - A_K) / A_0 \times 100\%$$

❖ 拉断后颈缩处截面积 A_K 的测定，圆形试样在颈缩最小处两个互相垂直方向上测其直径，用两者的算术平均值计算。

五、实验原理

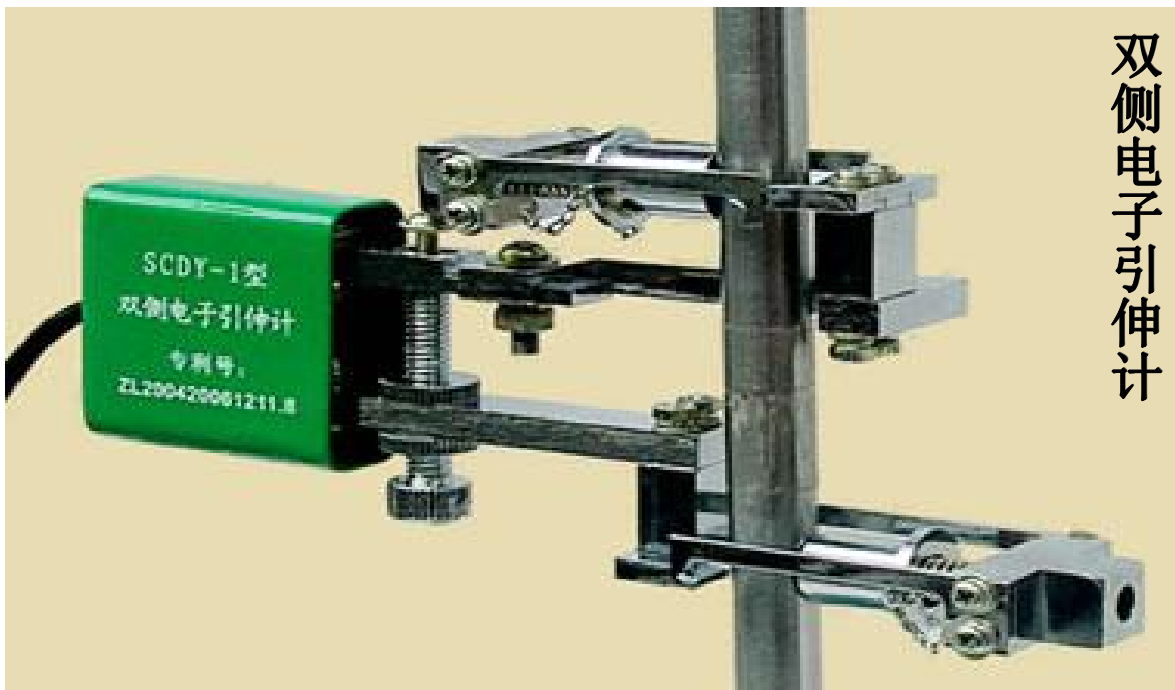
5.2 低碳钢拉伸弹性模量E

材料在弹性范围内服从虎克定律，其应力、应变成正比关系：

$$\sigma = E\varepsilon$$

将 $\sigma = \frac{F}{A_0}$ ， $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 代入上式，得

$$E = \frac{F \cdot l_0}{\Delta l \cdot A_0}$$



双侧电子引伸计

用双侧电子引伸计测量变形量 Δl

l_0 为引伸计刀口间距
离 $l_0 = 50mm$

五、实验原理

试验方法：

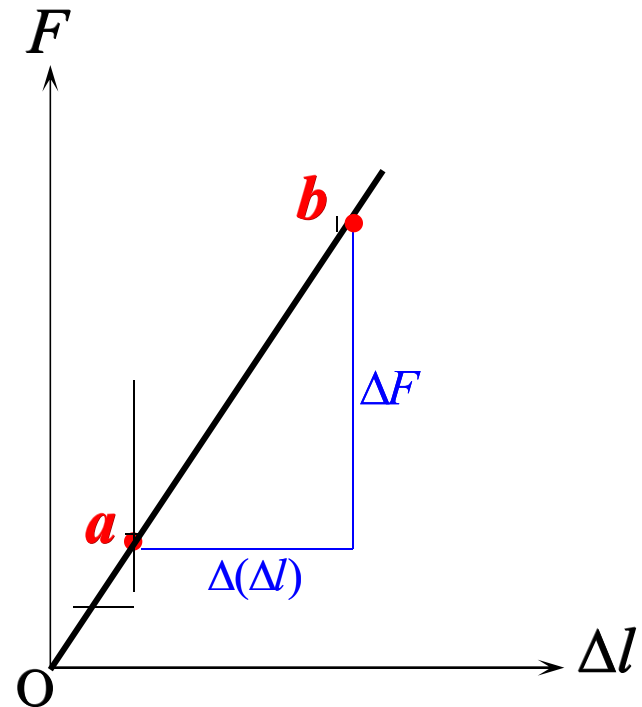
将引伸计安装在试样上，受拉力后所产生的伸长量与力之间的线性关系由**计算机显示**，如下图。

求出直线上 **a**、**b** 两点的力和伸长量，用增量法，计算弹性模量 **E**。

用增量法，计算式为：

$$E = \frac{\Delta F \cdot l_0}{\Delta(\Delta l) \cdot A_0}$$

上式中，
 $\Delta F = F_b - F_a$ （力增量）
 $\Delta(\Delta l) = \Delta l_b - \Delta l_a$ （伸长量增量）
 $l_0 = 50mm$
 A_0 为原始截面积



五、实验原理

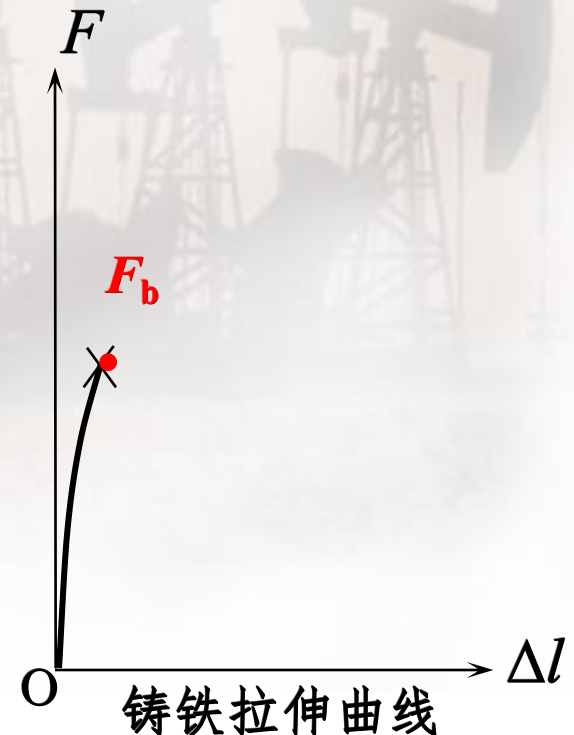
5.3 铸铁拉伸时的力学性能

试样装在试验机上，受到轴向拉力 F 作用，试样标距产生伸长量 Δl 。两者之间的关系如图。

铸铁没有明显直线部分，没有屈服和颈缩现象。在较小拉应力下被拉断，断后伸长率也很小。铸铁等脆性材料的抗拉强度很低，所以不宜作为抗拉零件的材料。

抗拉强度 $\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$ (强度指标)

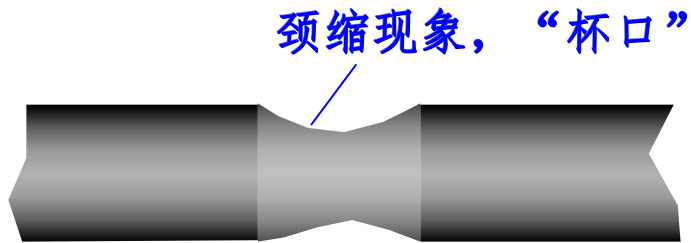
断后伸长率 $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$ (塑性指标)



五、实验原理

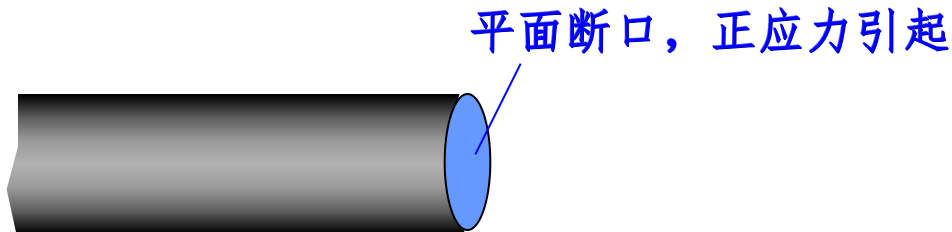
5.4 拉伸实验——观察现象

低碳钢



低碳钢试样拉伸破坏后，断口呈“杯口”状。

铸 铁



铸铁试样拉伸破坏后，断口在横截面上，呈平口状。

六、实验步骤

6.1 标距刻画与测量

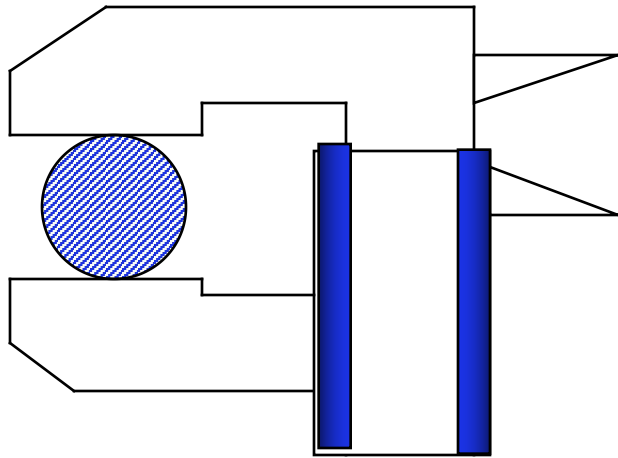
为了量取试件的原始标距和断后标距，在实验前应将试件的标距段用划线仪刻上均匀的刻度，如图所示。用游标卡尺测量试样原始尺寸：长度 l_0 。



六、实验步骤

6.2 测取试件尺寸

测取试件的原始直径 d_0 ，测量时取三个截面，在每个截面的相互垂直的两个方向上量取直径，然后算出该截面的平均直径；最后取三个截面的直径中的最小直径作为 d_0 。



六、实验步骤

6.3 选设备量程

根据试验材料估算试件所能承受的最大载荷，考虑试验机量程是否能够满足要求。确定实验的载荷使用量程，选好读数盘。

$$F_{\max} = \sigma_b \cdot A_0$$

六、实验步骤

6.4 装夹试件

将试样安装在上夹头内，再移动下夹头使之达到适当位置，将试样下端加紧，要求试样夹正，并对准中心，以保证试样轴向受力。



电子万能机上夹头

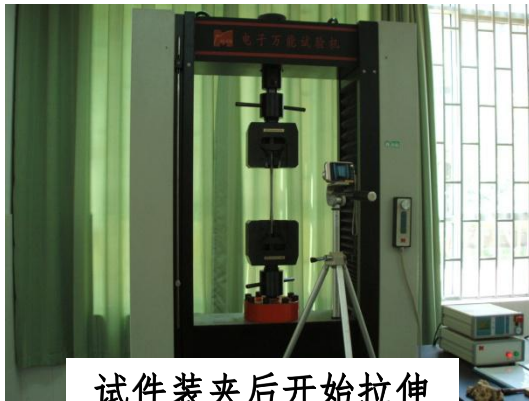


电子万能机下夹头

六、实验步骤

6.5 拉伸

设置试验条件并按所设条件进行拉伸实验，直至试件被拉断。不同试验机操作方法有所区别。打开送油阀，缓慢加载，当测力指针不动或第一次往回转时的最小载荷，就是屈服载荷 P_S 。过屈服阶段后，可稍快一些加载，直至试样断裂，记录下指针指示的断裂前的最大载荷 P_b 。关闭油门停机，取下试样。



试件装夹后开始拉伸



试件被拉断

六、实验步骤

6.6 断裂试样的测量

将两段试样尽量对紧在一起，用游标卡尺直接测量或用位移法换算后测量的标距长度 L_K ，并用游标卡尺在断口最小截面处测量断口直径，记录所得数据。

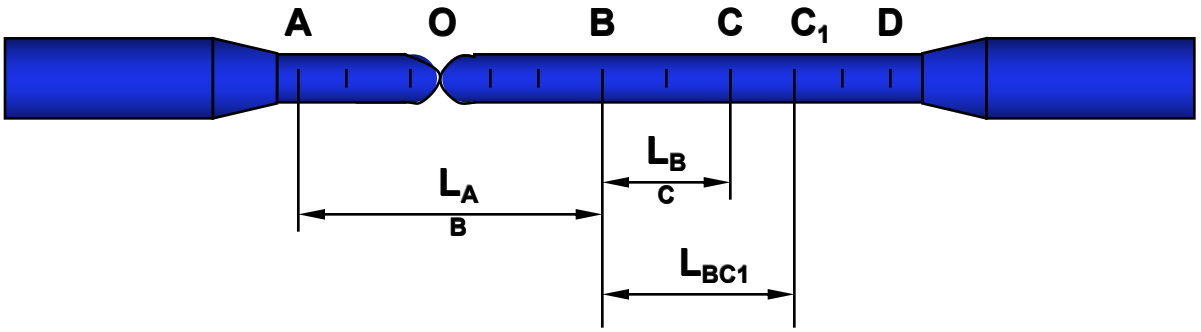
(1) 断后标距的测量

如果试件断口位于标距段中间1/3区域，那么就将断口对接起来，直接测量靠头部的两条刻线之间的距离，作为断后标距。



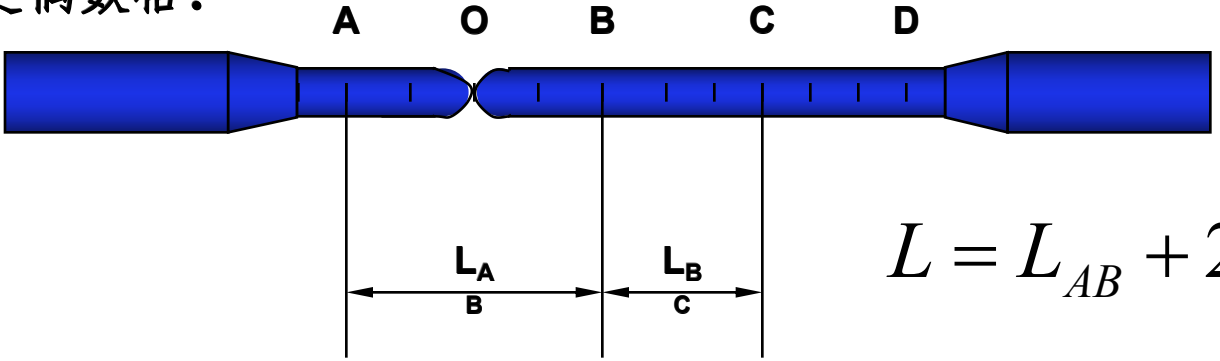
六、实验步骤

❖ 如果试件断口位于靠头部的1/3段内，则使用“移位法”：



BD之间是奇数格：
$$L = L_{AB} + L_{BC} + L_{BC_1}$$

BD之间是偶数格：



$$L = L_{AB} + 2L_{BC}$$

六、实验步骤

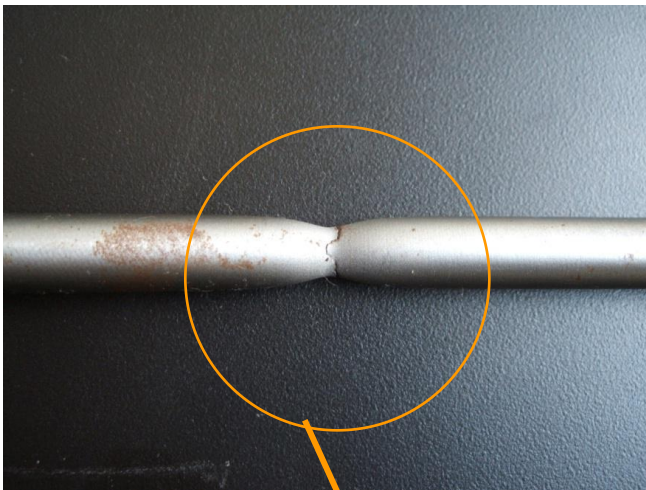
6.7 观察并描述试样破坏后断口特点

(1) 韧性断裂

构件经过大量变形后发生的断裂。主要条件是超过工作压力，主要特征是发生了明显的宏观塑性变形（不包括压缩失稳），且产生韧性断裂。

性质：断口一般能寻见纤维区和剪唇区

特点：通常有韧窝



低碳钢试件的断口形貌



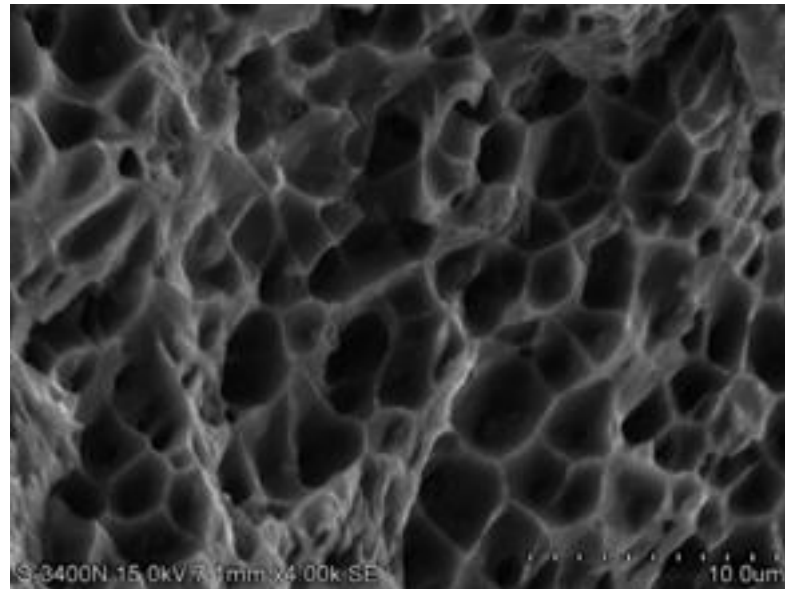
延性断裂后的断口形貌

六、实验步骤

断口尺度较大时还出现放射形及人字形山脊状花纹。形成纤维区断口的断裂机制一般是“微孔聚合”，在电子显微镜中呈韧窝状花样。韧性断裂一般由超载引起，而材料的塑性与韧性又很优良。纤维区一般是断裂源区。剪切唇总是在断口的边缘，并与构件的表面约成 45° 夹角，是在平面应力受力条件下发生剪切撕裂而形成的断口，剪切唇表面较光滑，断裂时的名义应力高于材料的屈服强度。

六、实验步骤

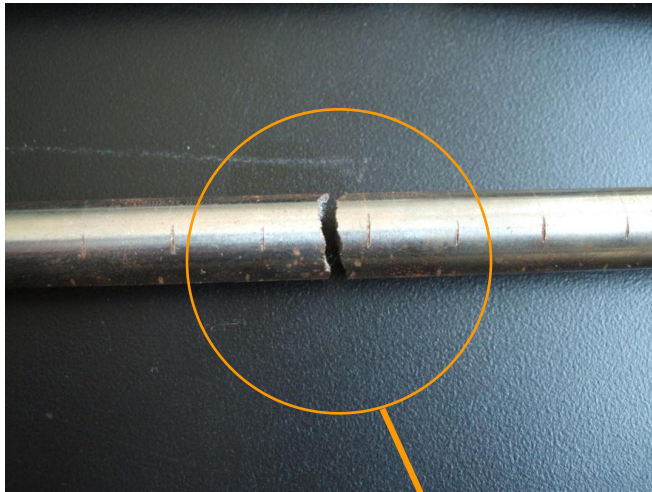
断口微观形貌通常有韧窝。韧窝是材料在为微区范围内塑性变形产生的显微空洞，经形核/长大/聚集，最后相互连接而导致断裂后，在断口表面所留下的痕迹。



六、实验步骤

(2) 脆性断裂

构件未经明显的变形而发生的断裂。断裂时材料几乎没有发生过塑性变形。如杆件脆断时没有明显的伸长或弯曲，更无缩颈，容器破裂时没有直径的增大及壁厚的减薄。脆断的构件常形成碎片。材料的脆性是引起构件脆断的重要原因。



铸铁试件的断口形貌

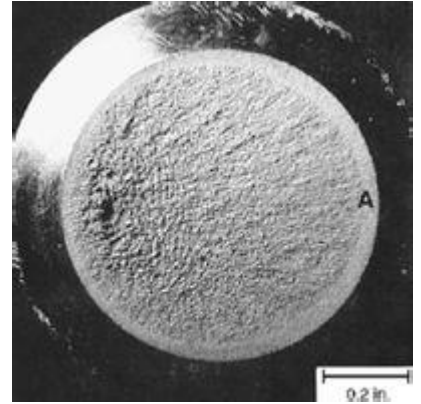


脆性断裂后的断口形貌

六、实验步骤

脆性断口宏观特点：

- ❖ 断口平齐而光亮，且与正应力垂直；
- ❖ 断口呈人字或放射花样；



脆性断裂的种类：

- ❖ 单晶体：解理断裂，裂纹沿解理面扩展；
- ❖ 多晶体：沿晶断裂，裂纹走向沿着晶面，而并不在某一平面内运动；
- ❖ 穿晶（晶内）断裂，裂纹沿着多晶粒的解理穿过，而不管晶界的位置如何。

六、实验步骤

宏观观察（5×，三个区域）：

纤维区：裂纹源形成区，有一定灰度

放射区：裂纹扩展区；裂纹扩展方向：放射条纹

破断区（剪切唇）：最后破断

六、实验步骤

微观观察（400×以上）：

❖ 纤维区：裂纹源形成区

大量韧窝（微坑）、撕裂棱（塑性变形的痕迹）

裂纹源形核：夹杂物、二相粒子、硬质点

❖ 放射区：裂纹扩展

剪切的韧窝

六、实验步骤

韧性断口→性能

	韧性好	韧性差
宏观	纤维区较大	纤维区较小；甚至没有
	纤维区灰度大	纤维区灰度小；甚至小亮点
	放射区较小	放射区较大；
微观	韧窝大且深	韧窝小且浅，甚至没有
	塑性变形充分	塑性变形不充分

六、实验步骤

6.8 实验结果处理

屈服极限: $\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$ 延伸率: $\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$

强度极限: $\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$ 截面收缩率: $\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$

七、实验报告要求

- 7.1 简述拉伸实验原理和试样要求；
- 7.2 说明拉伸实验步骤；
- 7.3 根据实验结果,计算所测材料的屈服极限、强度极限、延伸率、断面收缩率等；
- 7.4 描述拉伸断口特点；
- 7.5 比较两种材料的拉伸力学性能；
- 7.6 强度指标以**MPa**为单位 ($1\text{MPa} = 1\text{N}/\text{mm}^2$),并保留**3位**有效数字。

七、实验报告要求

❖ 将以下内容按要求完成后加在数据部分：

假设材料为X80钢，板厚10mm，请：

- (1) 设计试样：在试验数据中通过查找标准，设计试样（棒状或板状）。
- (2) 选择试验机规格。（常见规格：15吨、30吨、60吨、100吨等）

Thank You !

西安石油大学材料学院
材料科学与工程实验教学中心

