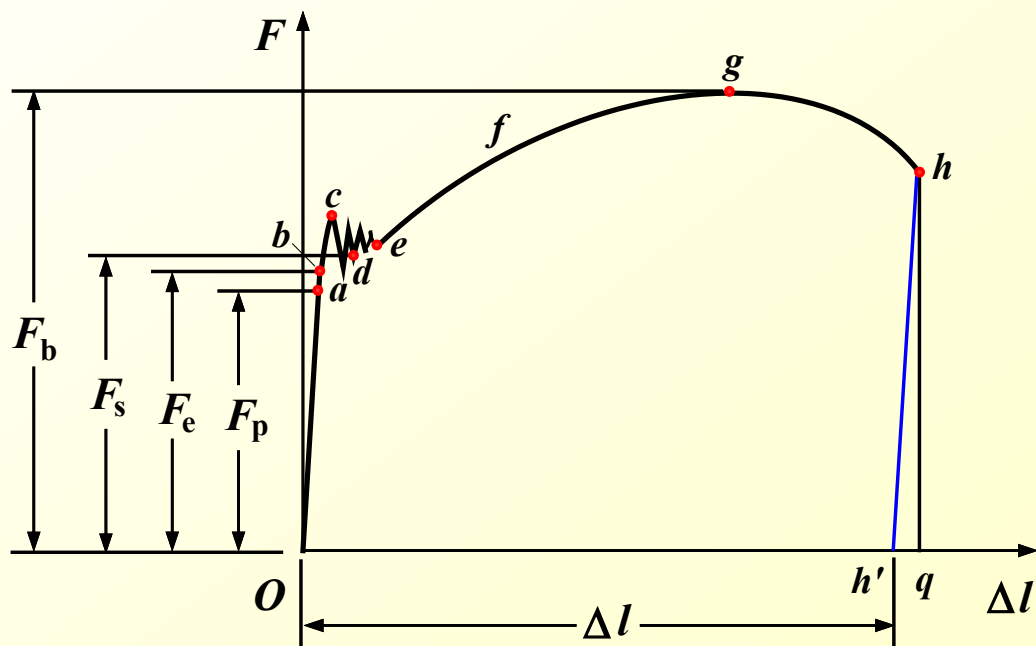




三、低碳钢在拉伸与压缩时的应力—应变曲线

1. 低碳钢在拉伸时的应力—应变曲线

(1) 拉伸图 (载荷—变形图、 $F-\Delta l$ 图)





$F-\Delta l$ 图与试样的几何尺寸 A 和 l 有关

它反映了某根试样的力学性能

材料的力学性能应与试样的几何尺寸无关

为此，将载荷—变形图改造(变换)为应力—应变图



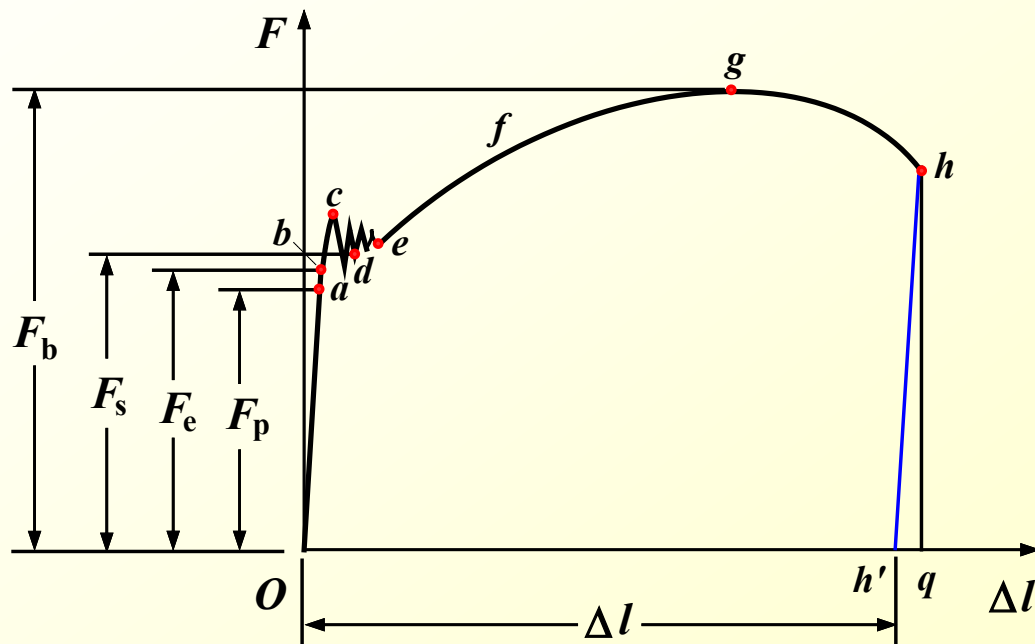
(2) 应力—应变曲线

(σ — ε 曲线)

作如下变换：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$





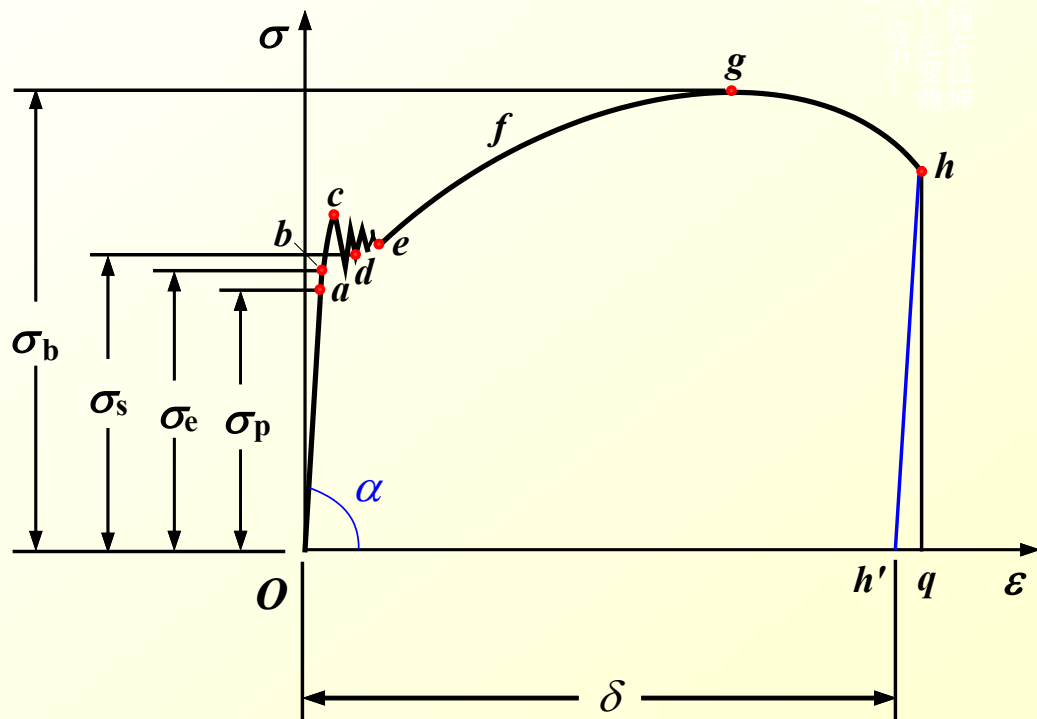
(2) 应力—应变曲线

(σ — ε 曲线)

作如下变换：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$





变形过程的四个阶段：

a. 弹性阶段 (Ob)

线弹性阶段 (Oa)

应力与应变成正比

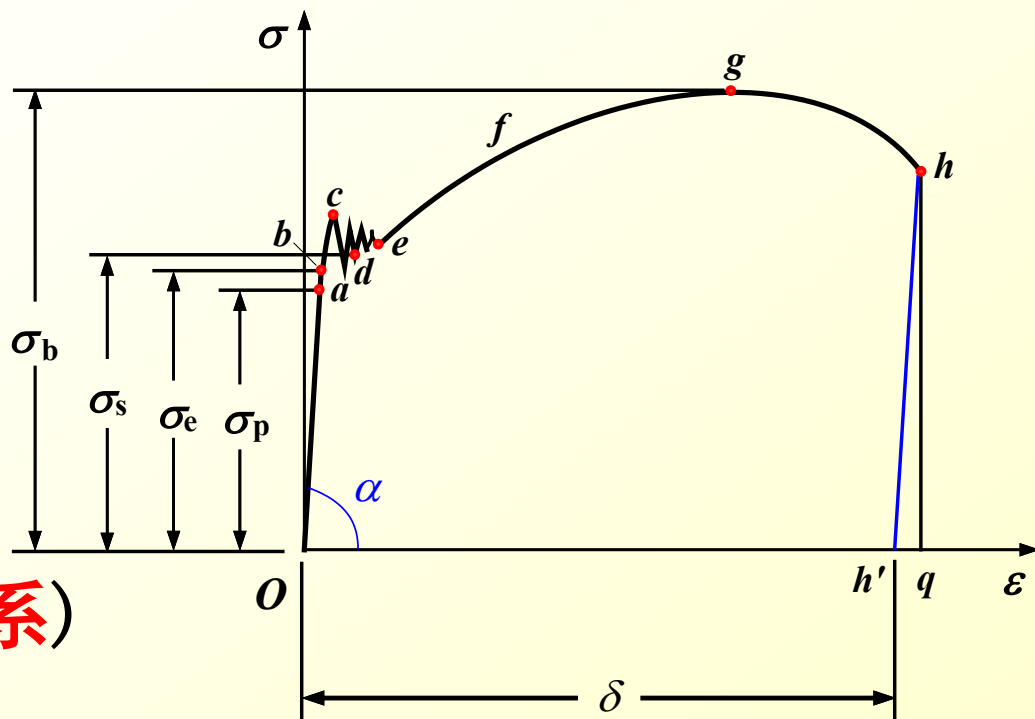
(应力与应变成线性关系)

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan \alpha = \text{常数} = E$$

即：

$$\sigma = E\varepsilon$$

胡克定律



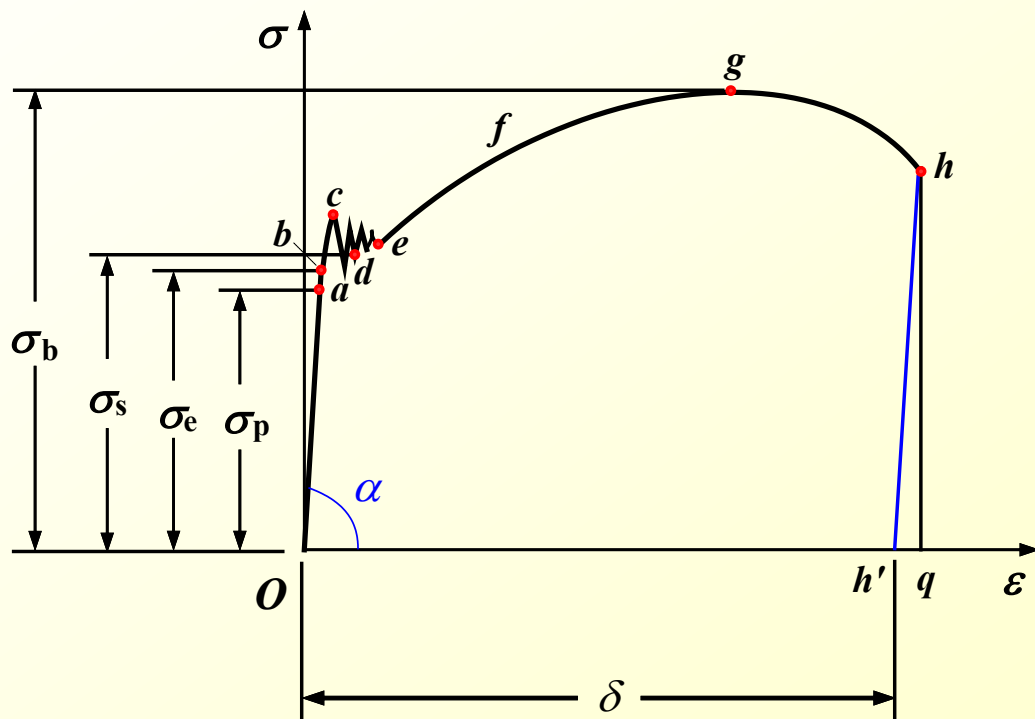


变形过程的四个阶段：

a. 弹性阶段 (Ob)

线弹性阶段 (Oa)

$$\sigma = E\varepsilon$$



比例极限 (σ_p)——线弹性阶段最高点 a 所对应的应力值

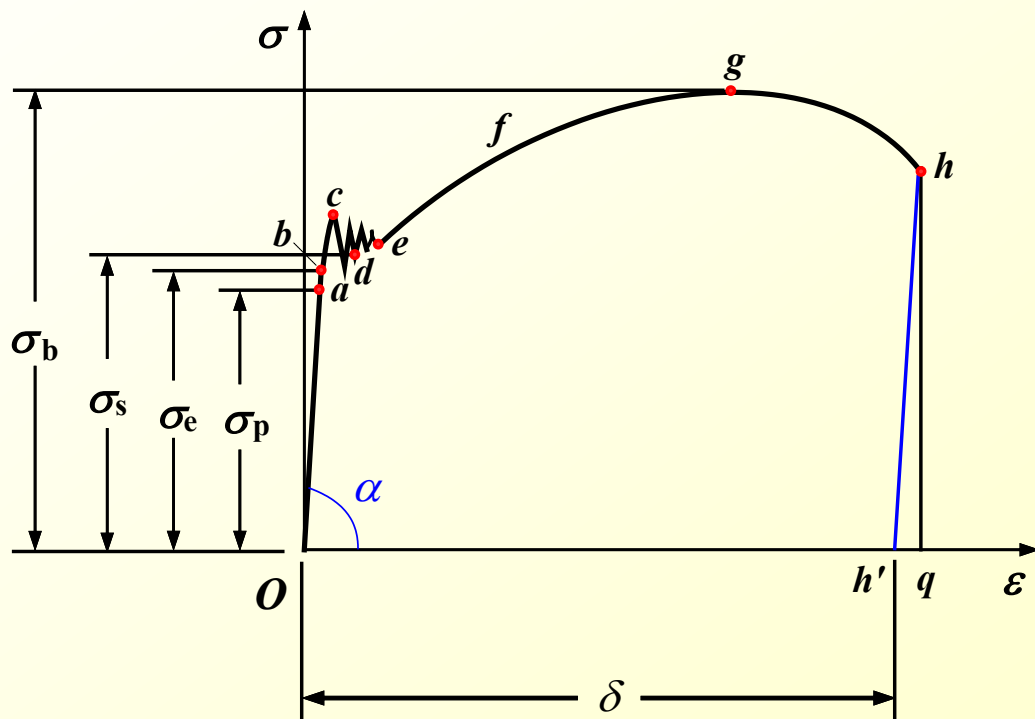
弹性极限 (σ_e)——弹性阶段最高点 b 所对应的应力值



变形过程的四个阶段：

b. 屈服阶段 (*be*)

(流动阶段)



屈服应力 (σ_s)——屈服阶段除初始最低点外的最低点 d 所对应的**应力值**，又称为**屈服点**

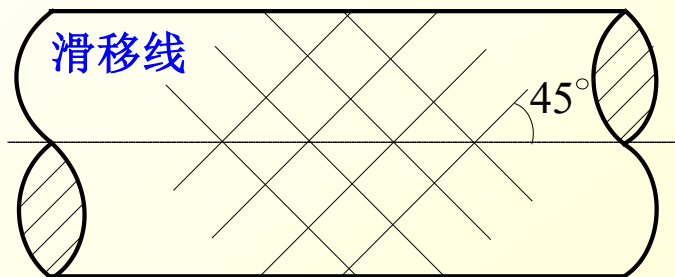
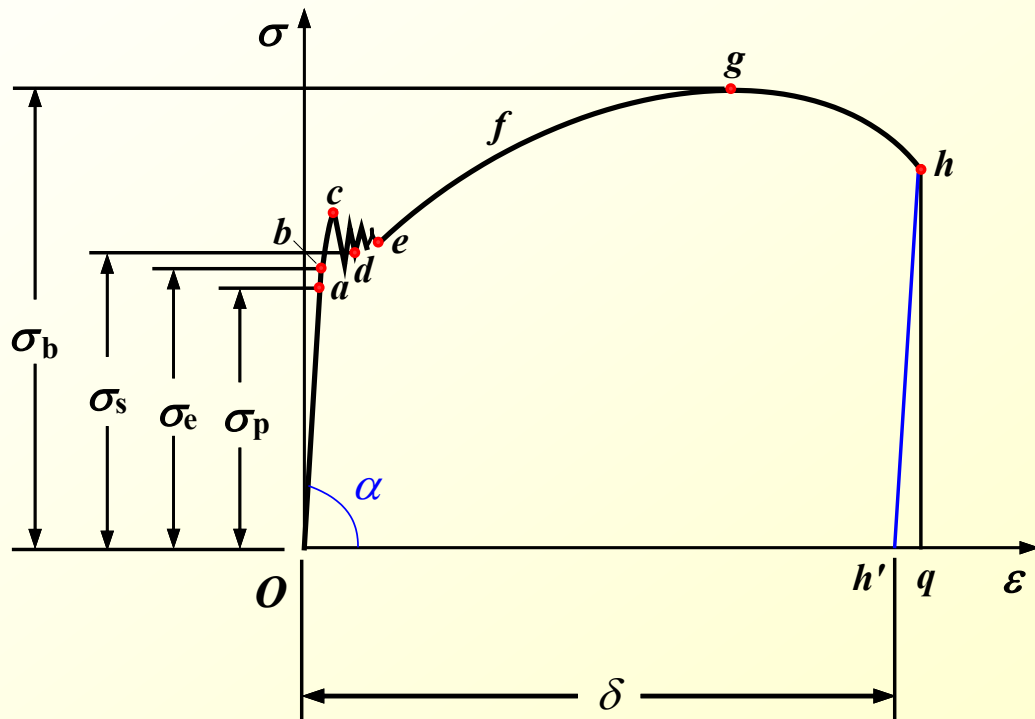


变形过程的四个阶段：

b. 屈服阶段 (be)

(流动阶段)

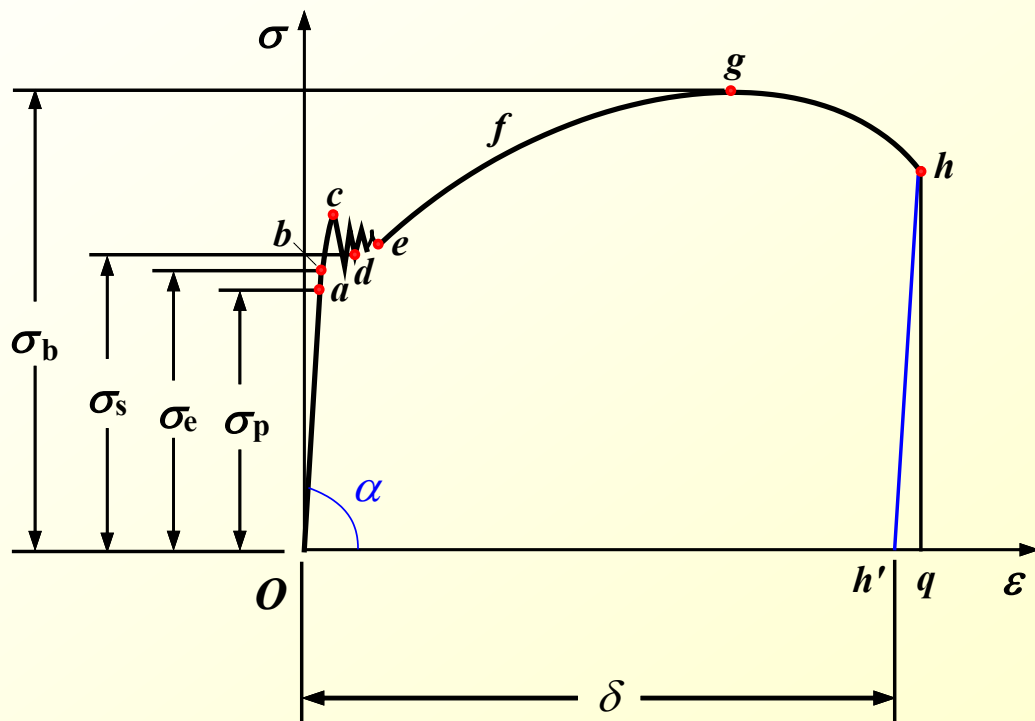
滑移线：





变形过程的四个阶段：

c. 强化阶段 (eg)

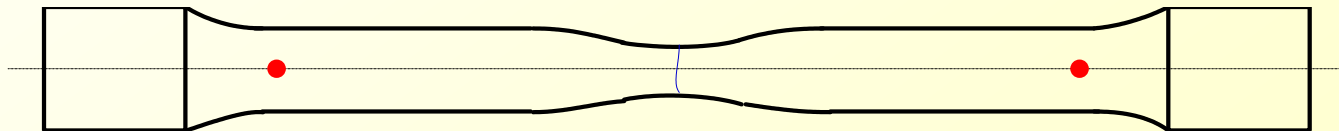
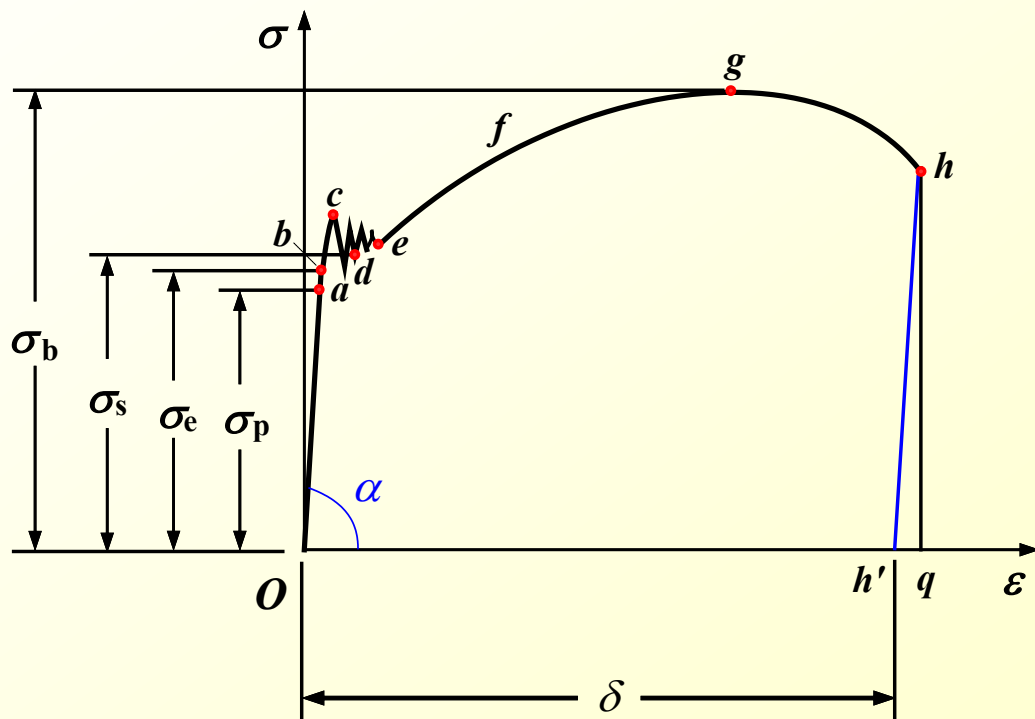


抗拉强度 (σ_b)——强化阶段最高点 g 所对应的应力值
(整个阶段)



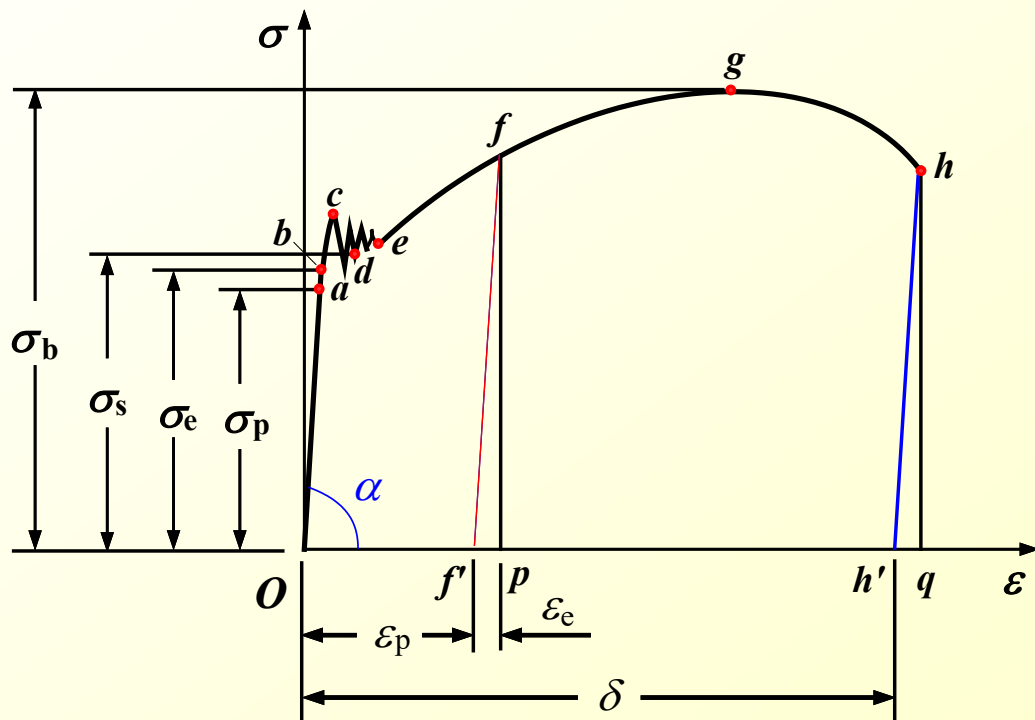
变形过程的四个阶段：

d. 颈缩阶段 (gh) :
(局部变形阶段)





(3) 两个现象



1. 卸载定律

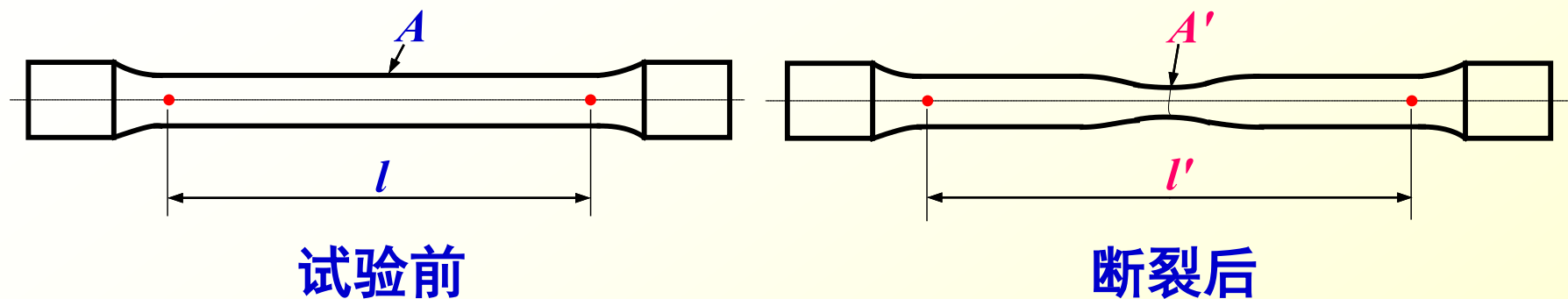
在强化阶段卸载时，应力与应变成线性关系

2. 冷作硬化

在强化阶段卸载后重新加载，使材料的比例极限提高、塑性变形减小的现象



(4) 两个塑性指标



a. **断后伸长率 (δ)**——反映**纵向 (轴向)** 塑性变形程度的量值

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

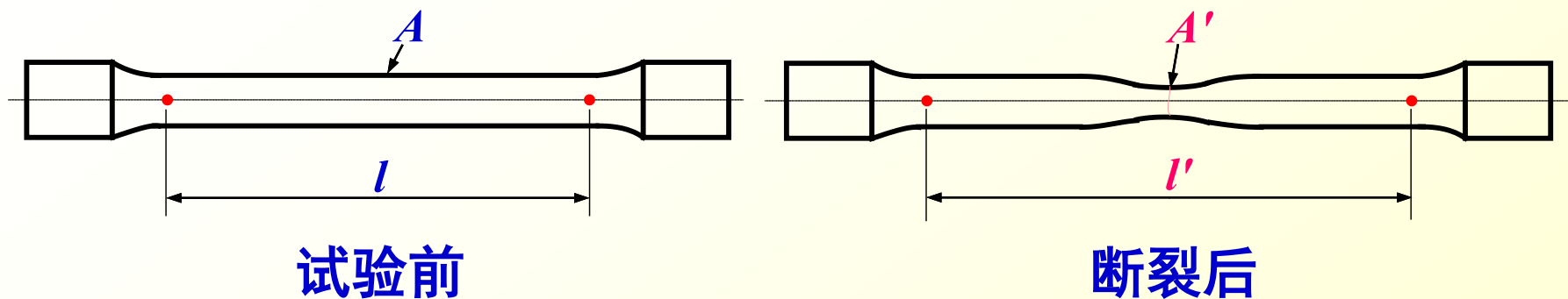
规定: $\delta = \delta_{10} \geq 5\%$ 的材料为**塑性材料**

$\delta = \delta_{10} < 5\%$ 的材料为**脆性材料**

低碳钢: $\delta = 20 \sim 30\%$



(4) 两个塑性指标



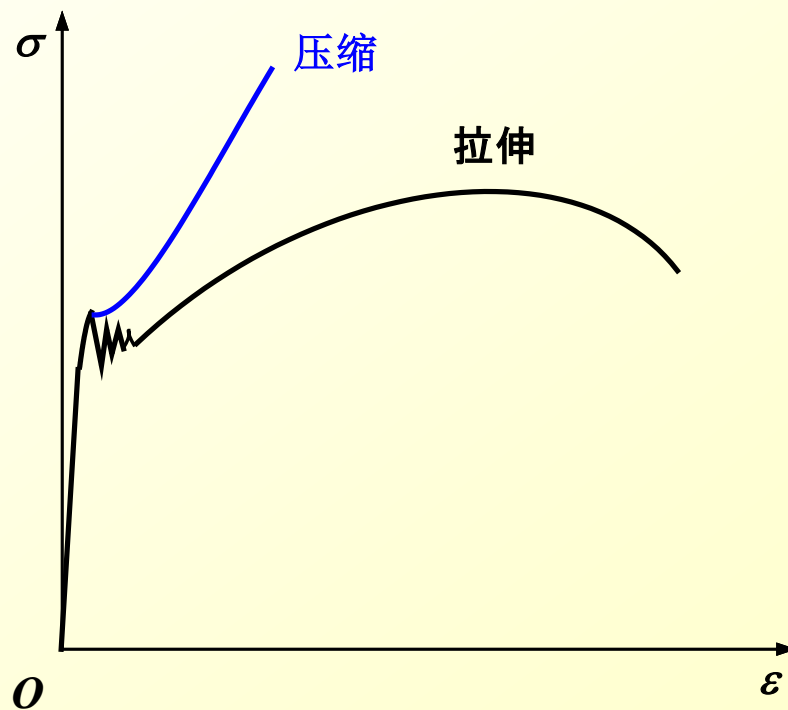
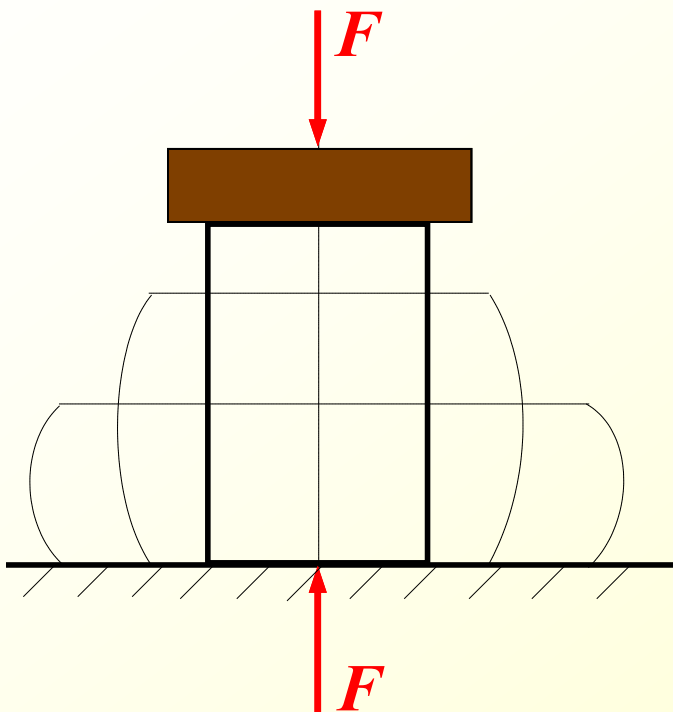
b. **断面收缩率 (ψ)**——反映**横截面**的塑性收缩程度的量值

$$\psi = \frac{A - A'}{A} \times 100\%$$

低碳钢: $\psi = 60 \sim 70\%$

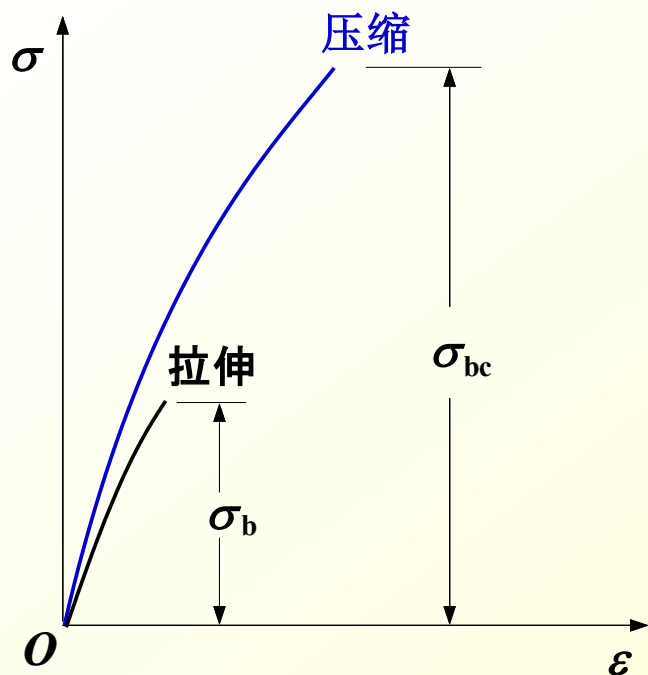


2. 低碳钢在压缩时的应力—应变曲线





四、灰铸铁在拉伸与压缩时的应力—应变曲线



脆性材料的抗压强度大于抗拉强度



五、脆性材料在桥中的应用（安徽歙县）



歙县紫阳桥：建于明代，长：120m



五、脆性材料在桥中的应用(江西婺源)





§ 3.5 许用应力和安全因数

- 一、失效的概念
- 二、危险截面与极限应力
- 三、许用应力与安全因数



一、失效的概念

失效——构件不能正常工作的现象

失效的形式：

1. 脆性断裂
2. 塑性屈服
3. 压杆失稳
4. 疲劳断裂



二、危险截面与极限应力

1. 几个名词

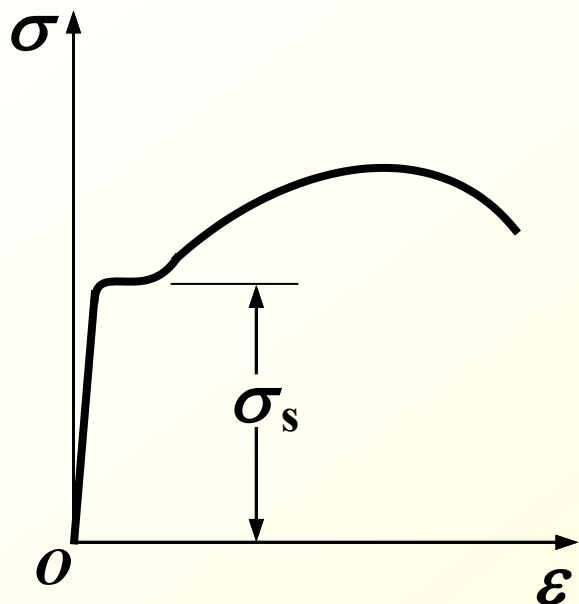
最大工作应力 (σ_{\max})——由于载荷引起的构件内的最大应力

危险截面——最大工作应力所在的横截面

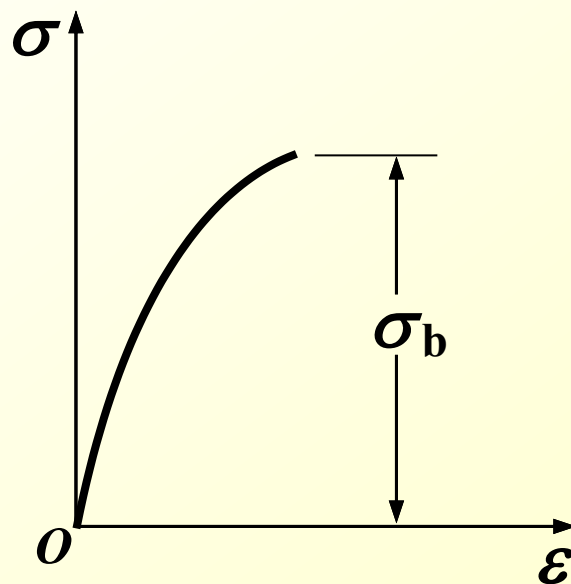
极限应力 (σ_u)——材料达到**失效**时的**应力值**



2. 极限应力的选取



低碳钢



铸铁

$$\sigma_u = \begin{cases} \sigma_s \\ \sigma_b \end{cases}$$

塑性材料

脆性材料



三、许用应力与安全因数

许用应力($[\sigma]$)——保证材料安全工作的最大应力值

即:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n} = \begin{cases} \frac{\sigma_s}{n_s} & \text{塑性材料} \\ \frac{\sigma_b}{n_b} & \text{脆性材料} \end{cases}$$

显然, $n > 1$, 根据材料的性能与工程等级等因素而定

安全因数(n)——保证材料安全工作的安全储备

反映了安全与经济之间的矛盾



§ 3.6 轴向拉压杆的强度及变形计算

一、强度条件

二、强度计算的三类问题

三、变形的计算



一、强度条件

$$\sigma_{\max} = \left(\frac{F_N}{A} \right)_{\max} \leq [\sigma]$$

即：杆中的最大工作应力不超过所用材料的许用应力

对于等直杆

$$\frac{F_{N\max}}{A} \leq [\sigma]$$



二、强度计算的三类问题

$$\frac{F_{N\max}}{A} \leq [\sigma]$$

1. **校核强度**：已知 $[\sigma]$ 、 F 和 A ，检验

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{N\max}}{A} \leq [\sigma]$$

2. **选择截面**：已知 $[\sigma]$ 和 F ，求

$$A \geq \frac{F_{N\max}}{[\sigma]}$$

3. **确定最大(许用)载荷**：已知 $[\sigma]$ 和 A ，求

$$F_{\max} \leftarrow F_{N\max} \leq A[\sigma]$$



例1 某冷镦机的曲柄滑块机构如图所示。镦压时，矩形截面连杆 AB 在水平位置。已知： $h=1.4b$ ， $[\sigma]=90\text{MPa}$ ， $F=3780\text{kN}$ 。不计自重，试确定连杆的截面尺寸。

解：

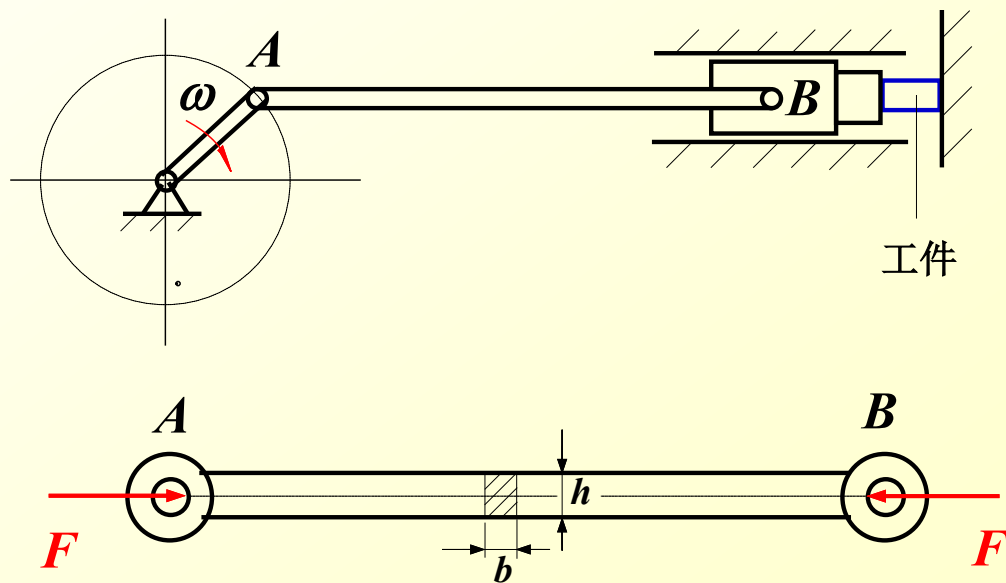
1. 求轴力

$$F_N = F = 3780 \text{ kN}$$

2. 求横截面面积

由 $\frac{F_N}{A} \leq [\sigma]$ ，得到

$$A \geq \frac{F_N}{[\sigma]} = \frac{3780 \times 10^3}{90} \text{ mm}^2 = 42 \times 10^3 \text{ mm}^2$$





例1 某冷镦机的曲柄滑块机构如图所示。镦压时，矩形截面连杆 AB 在水平位置。已知： $h=1.4b$ ， $[\sigma]=90\text{MPa}$ ， $F=3780\text{kN}$ 。不计自重，试确定连杆的截面尺寸。

解：

3. 确定横截面的尺寸

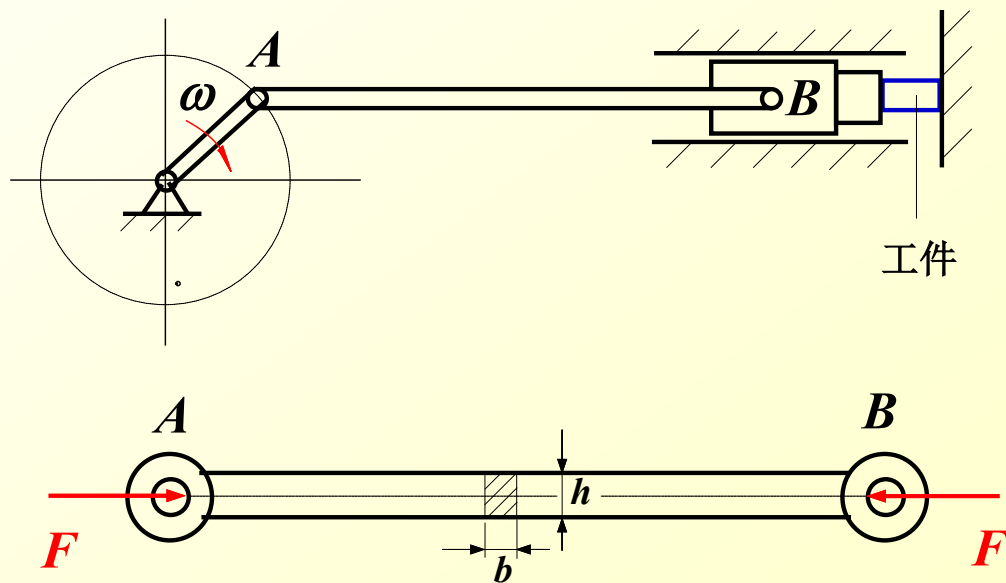
$$\begin{aligned} \text{由 } A &= hb = 1.4b^2 \\ &\geq 42 \times 10^3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

得到

$$b \geq 173 \text{ mm}$$

所以

$$h = 1.4b \geq 1.4 \times 173 \text{ mm} = 242 \text{ mm}$$





三、变形的计算

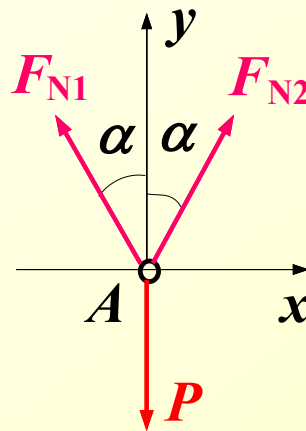
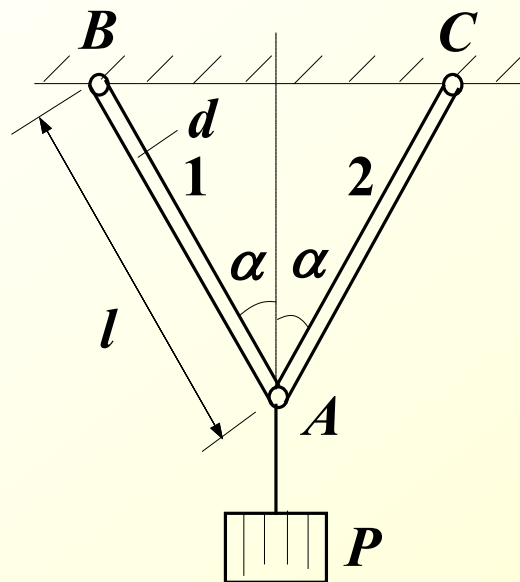


例2 已知: $l=2\text{m}$, $d=25\text{mm}$, $P=100\text{kN}$, $\alpha=30^\circ$, $E=210\text{GPa}$,
试求A点的位移 Δ_A 。

解:

1. 求内力

取节点A为研究对象



$$\sum F_x = 0: \quad F_{N2} \sin \alpha - F_{N1} \sin \alpha = 0$$

$$\sum F_y = 0: \quad F_{N1} \cos \alpha + F_{N2} \cos \alpha - P = 0$$

求得

$$F_{N1} = F_{N2} = \frac{P}{2 \cos \alpha}$$



例2 已知: $l=2\text{m}$, $d=25\text{mm}$, $P=100\text{kN}$, $\alpha=30^\circ$, $E=210\text{GPa}$,
试求A点的位移 Δ_A 。

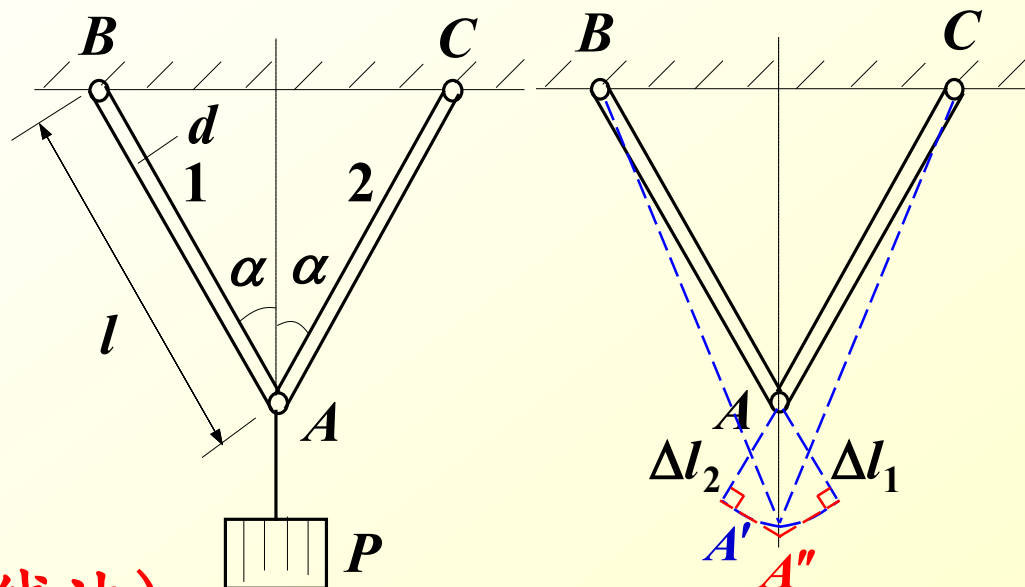
解:

2. 求变形

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = \frac{F_{N1} l}{EA \cos \alpha}$$

3. 求位移 (以切线代替弧线法)

$$\begin{aligned} \Delta_A &= \overline{AA'} \approx \overline{AA''} = \frac{\Delta l_1}{\cos \alpha} = \frac{\frac{Pl}{2EA \cos \alpha}}{\cos \alpha} = \frac{Pl}{2EA \cos^2 \alpha} \\ &= \frac{2 \times 100 \times 10^3 \times 2 \times 10^3}{210 \times 10^3 \times \pi \times 25^2 \times \cos^2 30^\circ} \text{ mm} = 1.3 \text{ mm} \end{aligned}$$





§ 3.7 简单拉压超静定问题

- 一、超静定问题的概念
- 二、超静定问题的一般解法
- 三、温度应力
- 四、装配应力



静定问题——约束反力或内力**可以**仅由平衡方程求得的问题

超静定问题——约束反力或内力**不能**仅由平衡方程求得的问题
(静不定问题)

即:

静定问题——未知力数**等于**平衡方程数

超静定问题——未知力数**多于**平衡方程数

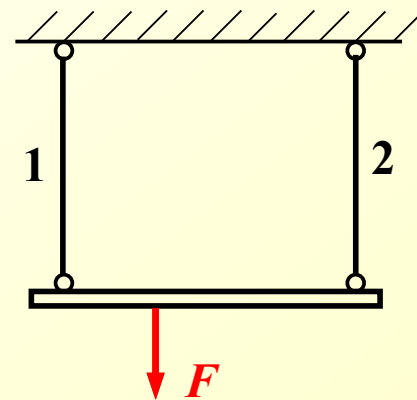
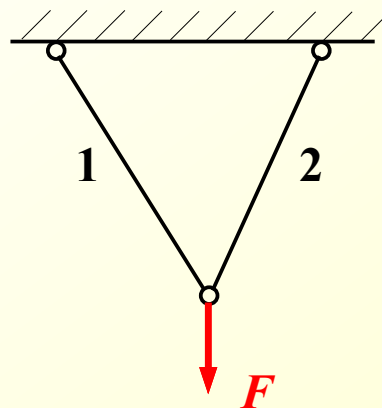
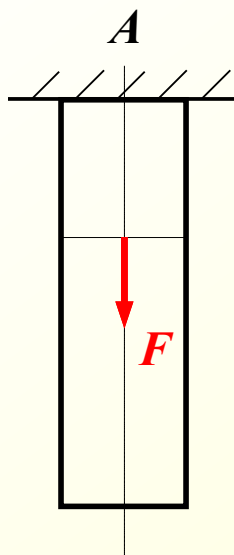
超静定次数——未知力数 **减** 平衡方程数
(即**多余约束数**)

多余约束数**是指**仅就平衡来说是不必要的约束





一、超静定问题的概念



平面力系： 共线力系

汇交力

平行力系

平衡方程数： 1

2

2

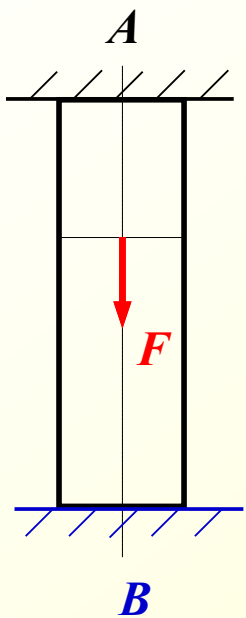
未知约束力数： 1

2

2



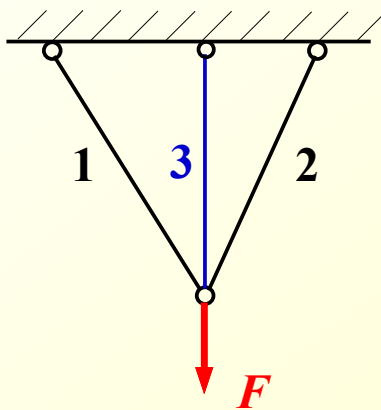
一、超静定问题的概念



平面力系：共线力系

平衡方程数： 1

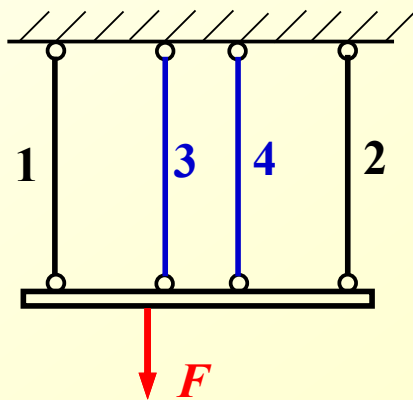
未知约束力数： 2



汇交力

2

3



平行力系

2

4



二、超静定问题的一般解法

- (1) 确定超静定次数；
- (2) 列出平衡方程；
- (3) 根据杆或杆系的变形几何关系，**建立变形几何方程**
(**变形协调方程、变形协调条件**)；
- (4) 列出物理方程(即胡克定律)；
- (5) 联立求解。



例3 图示两端固定直杆，已知： F , l_1 , E_1 , A_1 , l_2 , E_2 , A_2 , 求： F_{Ay} , F_{By} 。

解：为一次超静定问题

1. 静力平衡方程

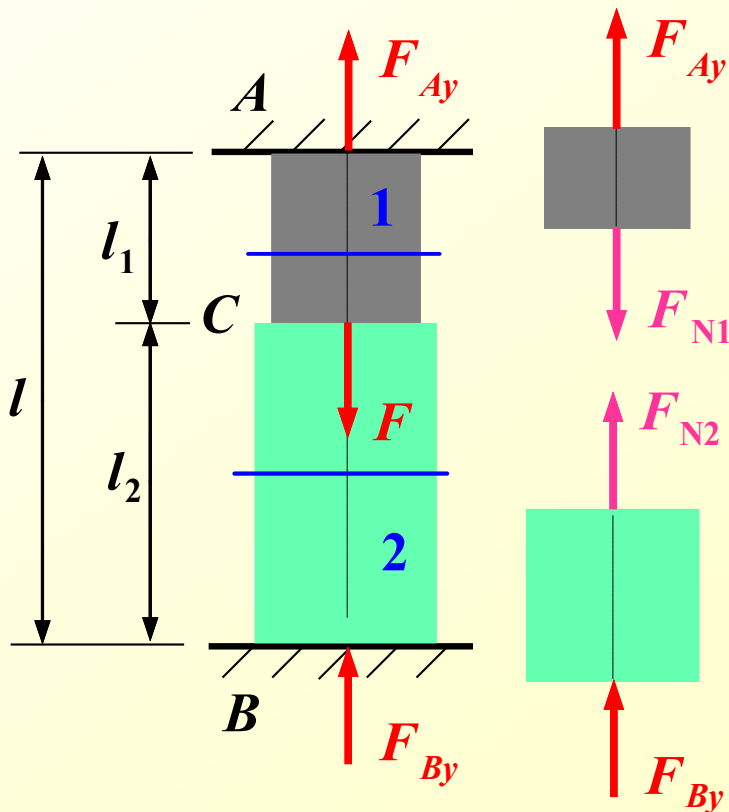
$$\sum F_y = 0: F_{Ay} + F_{By} - F = 0 \quad (1)$$

2. 变形几何方程

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 = 0$$

3. 物理方程

$$\Delta l_1 = \frac{F_{N1} l_1}{E_1 A_1} = \frac{F_{Ay} l_1}{E_1 A_1}, \quad \Delta l_2 = \frac{F_{N2} l_2}{E_2 A_2} = \frac{-F_{By} l_2}{E_2 A_2} \quad (3)$$

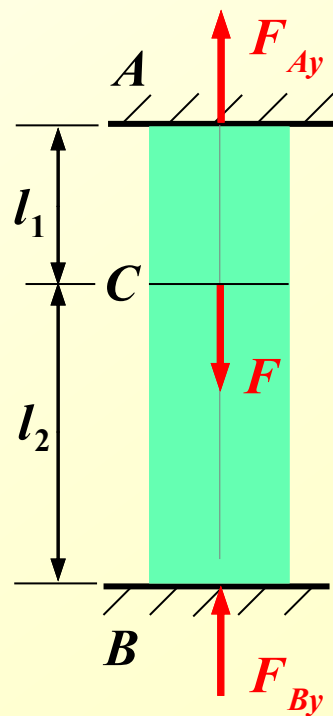




例3 图示两端固定直杆，已知： F , l_1 , E_1 , A_1 , l_2 , E_2 , A_2 , 求： F_{Ay} , F_{By} 。

4. 联立求解，得到

$$F_{Ay} = \frac{F}{1 + \frac{E_2 A_2 l_1}{E_1 A_1 l_2}}, \quad F_{By} = \frac{F}{1 + \frac{E_1 A_1 l_2}{E_2 A_2 l_1}}$$





§ 3.8 剪切和挤压的实用计算

一、定义

二、工程实例

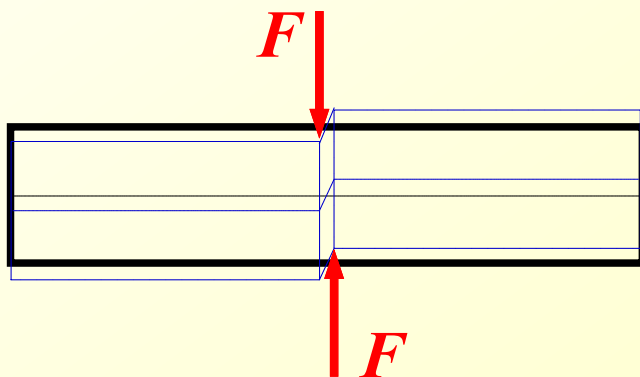
三、剪切的实用计算

四、挤压的实用计算



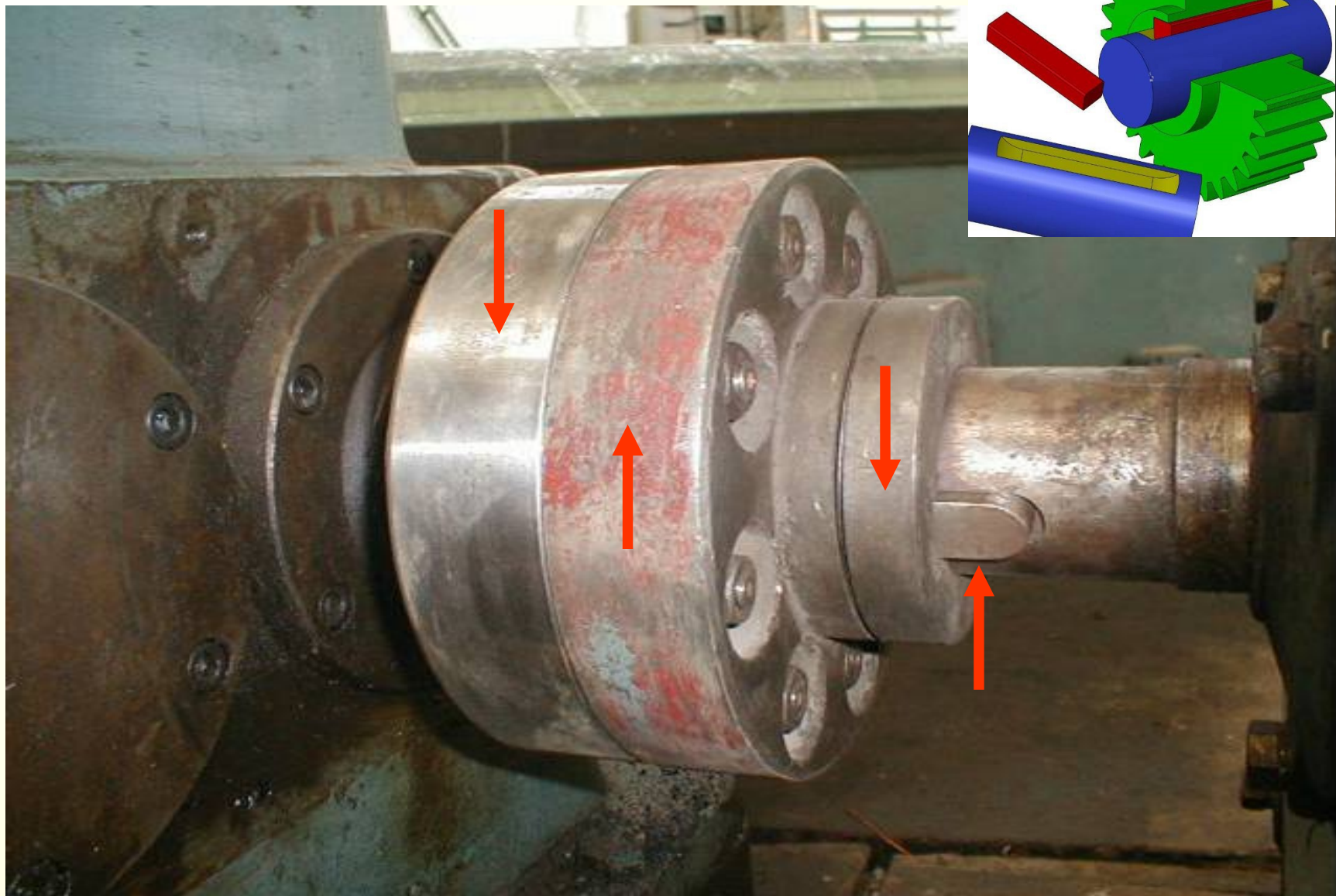
一、定义

剪切变形——在一对大小相等、方向相反、作用线平行且相距很近的外力作用下，使得杆件有发生**相对错动趋势**的变形现象。简称**剪切**。





二、工程实例——螺栓和键





二、工程实例——销钉





二、工程实例——销钉

