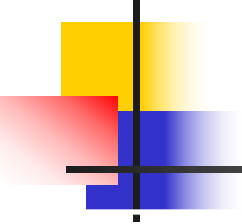


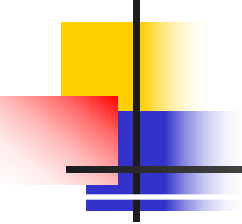
学习情境 六

工程构件轴向拉伸与压缩的承载能力设计



能力目标

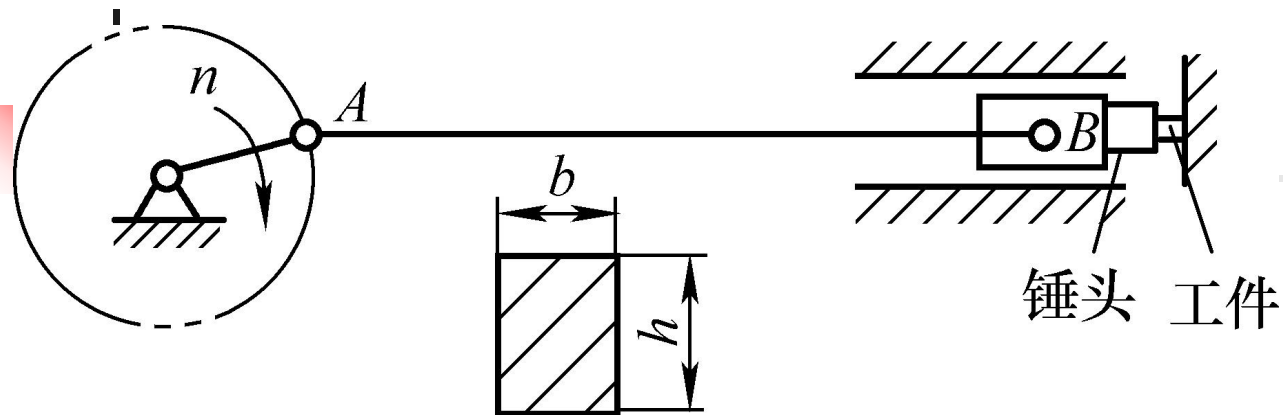
- 能够分析哪些工程构件承受轴向拉伸或压缩作用，并求其内力。
- 能够根据校核受轴向拉伸与压缩的构件的强度和刚度。
- 能够根据工程需要设计合格的承受轴向拉伸与压缩作用的构件。
- 能够确定某一杆件所能承受的最大拉伸与压缩载荷。



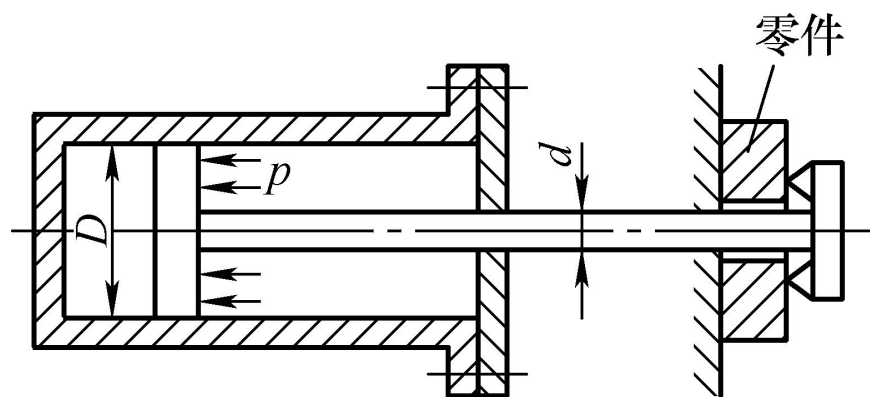
学习内容

- ◆6.1 构件承载能力与杆件变形形式
- ◆6.2 轴向拉伸或压缩的轴力、轴力图及应力计算
- ◆6.3 材料在轴向拉伸与压缩时的力学性能
- ◆6.4 轴向拉伸或压缩时的强度计算
- ◆6.5 轴向拉伸或压缩时的变形计算

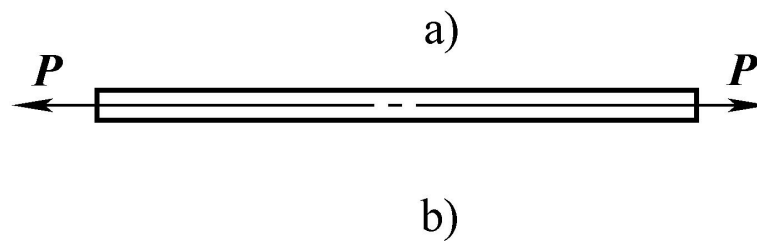
案例导入

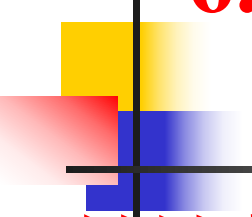


冷镦机的曲柄
滑块机构



气缸夹具





6.1 构件承载能力与杆件变形形式

材料力学的主要研究内容：物体受力后的变形和破坏。

当构件工作时，必须满足以下三点要求：

- (1) 有足够的强度
- (2) 有一定的刚度
- (3) 有足够的稳定性

在保证足够的强度、刚度、稳定性的前提下，构件所承受的最大载荷称为构件的承载能力。

变形固体作如下假设:

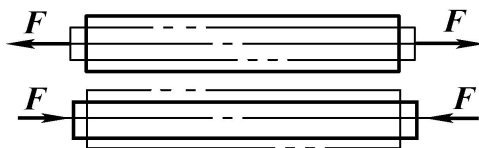
- 1) 连续性假设
- 2) 均匀性假设
- 3) 各向同性假设

材料力学研究的变形是**小变形**。

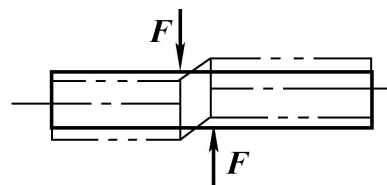
材料力学主要研究对象是:**杆**。

杆件的基本变形

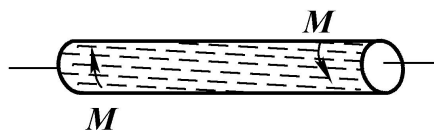
- a) 轴向拉伸与压缩变形
- b) 剪切与挤压变形
- c) 圆轴扭转变形
- d) 横梁弯曲变形



a)



b)



c)



d)

6.2 轴向拉伸或压缩 的轴力、轴力图及应力计算

一、内力的概念

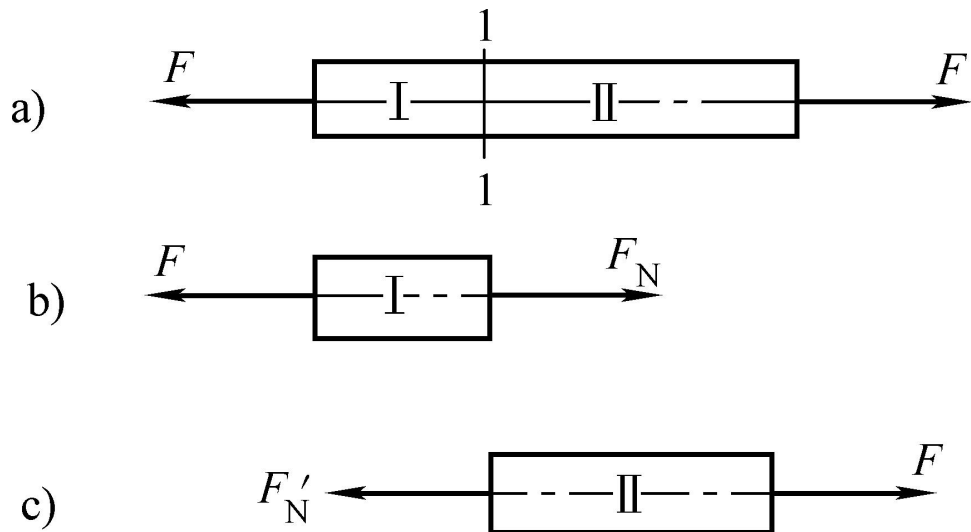
当物体在外力作用下，它将发生变形，物体内部各质点间相互作用的力也发生了改变，这种改变量称为**附加内力**，就是材料力学所要研究的内力。

注意：

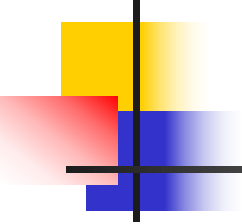
内力是由外力的作用而引起的，随着外力的变化而变化，当外力消失时，内力为零。

二、截面法、轴力和轴力图

- ✓ 假象截开
- ✓ 移除II段
- ✓ 对I段进行受力分析



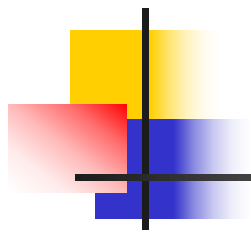
由于外力 F 的作用线与杆件的轴线重合，内力的合力 F_N 的作用线也必然与杆件的轴线重合，所以 F_N 称为**轴力**。



结论:

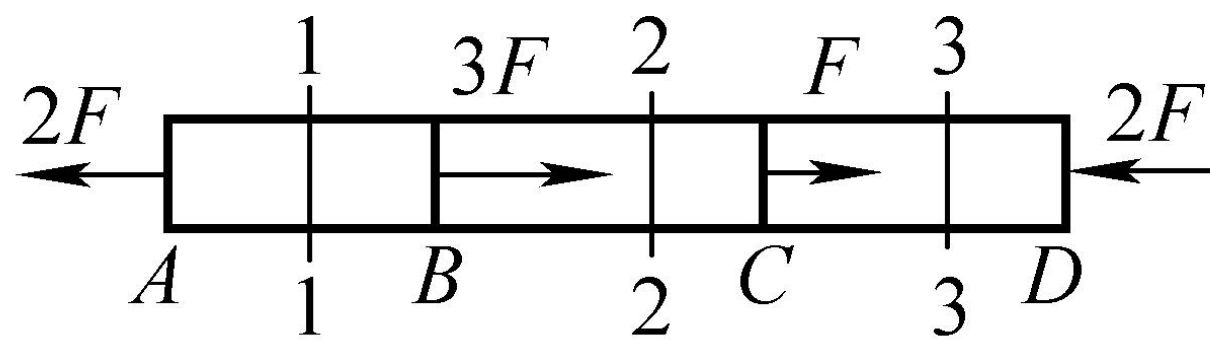
- 轴力 F_N （或 F'_N ）背离截面时为正号，反之，杆件受压缩，即 F_N 指向截面时为负号。
- 轴力的计算法则：轴力大小等于截面一侧所有外力的代数和。

在求代数和时，背离被研究截面的外力为正，指向被研究截面的外力为负。



为了表示轴力随截面位置的变化，往往画出轴力沿杆件轴向方向变化的图形，即轴力图。

【例6-1】 试画出图中所示直杆的轴力图。



解：

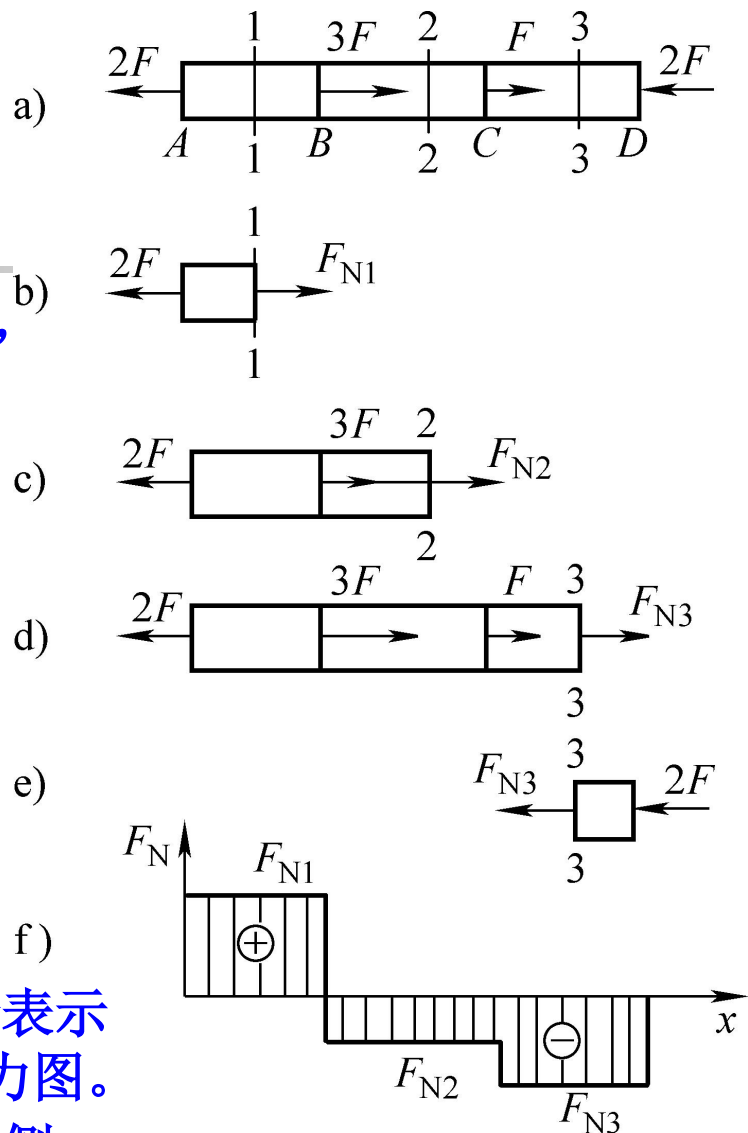
分析：杆在A、B、C、D点承受轴向外力，因此把直杆分为AB、BC、CD三段。用截面法分别计算出三段的轴力。

AB段： $F_{N1} = 2F$

BC段： $F_{N2} = 2F - 3F = -F$

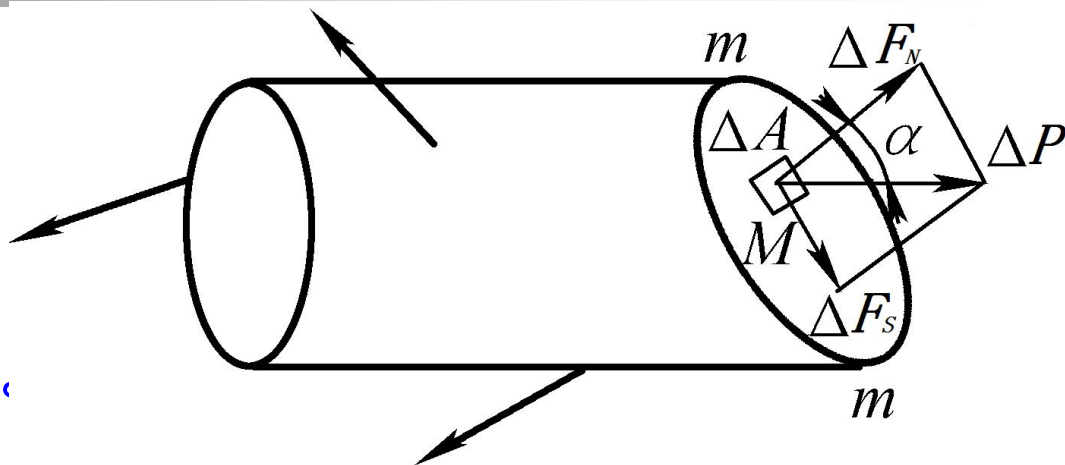
CD段： $F_{N3} = 2F - 3F - F = -2F$

以X轴表示截面的位置，以垂直X轴的坐标表示对应截面的轴力，按选定的比例尺画出轴力图。将拉力画在X轴的上侧，压力画在X轴的下侧。轴力图的分段和轴的分段要上下对齐。如图f所示。



三、拉压杆截面上的应力

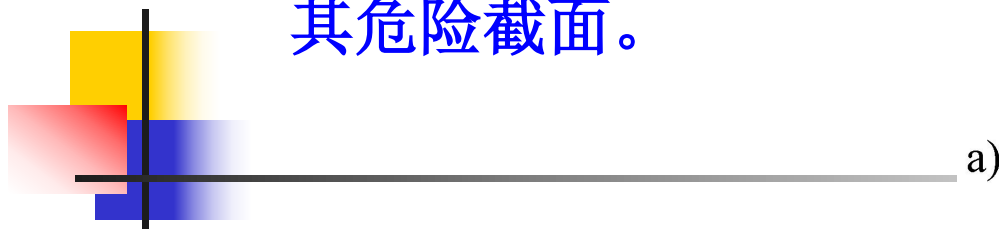
p 分解为垂直截面的分量 σ
和切于截面的分量 τ 。
 σ 称为正应力。 τ 称为剪应力。



在承受轴向拉伸与压缩的杆件的截面上，只有正应力，没有切应力。

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

【例6-2】 下图为一变截面拉压杆件，其受力情况如图示，试确定其危险截面。



解： 运用截面法求各段内力，作轴力图。

AC段： $F_{N1} = 2F$ **DE段：** $F_{N3} = -2F$

CD段： $F_{N2} = -4F$ **EB段：** $F_{N4} = 0$

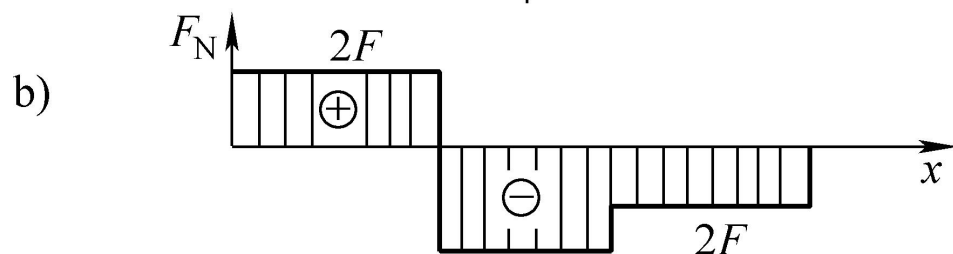
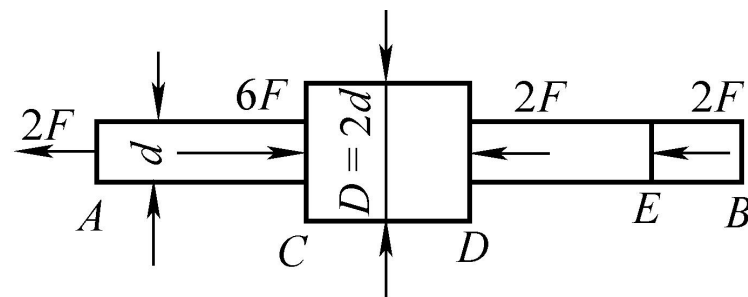
根据内力计算应力

AC段： $\sigma_1 = \frac{F_{N1}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{8F}{\pi d^2}$

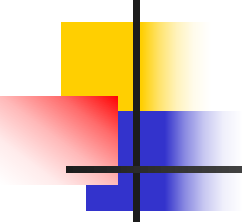
DE段： $\sigma_3 = \frac{F_{N3}}{\frac{\pi d^2}{4}} = -\frac{8F}{\pi d^2}$

CD段： $\sigma_2 = \frac{F_{N2}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{-4F}{\pi d^2}$

EB段： $\sigma_3 = \frac{F_{N4}}{\frac{\pi d^2}{4}} = -\frac{0}{\pi d^2} = 0$



最大应力所在的截面称为危险截面。由计算可知，**AC段和DE段为危险截面。**
AC段为拉应力；DE段为压应力。



总结

- ◆ 计算轴力时，以轴上受力截面为分段依据；
- ◆ 计算应力时，如果是等截面轴，以轴上的受力截面为分段依据；如果是变截面轴，既要考虑轴上的受力截面位置，同时也要考虑轴截面本身的变化。即要求使用应力计算公式时，在同一段内， F_N 和 A 是不变的。

6.3 材料在拉伸与压缩时的力学性能

一、低碳钢在拉伸时的力学性能

弹性阶段

σ_p σ_e

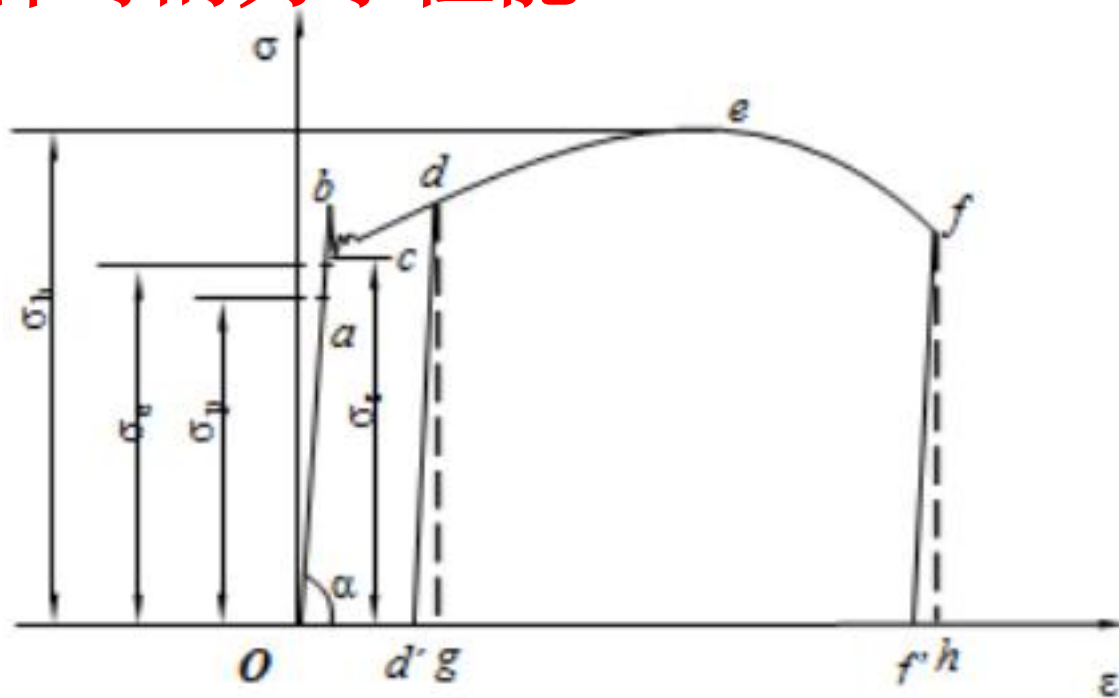
屈服阶段

σ_s

强化阶段

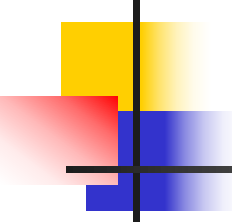
σ_b

缩颈阶段



屈服强度 σ_s 是衡量塑性材料强度的重要指标。

抗拉强度 σ_b 是衡量脆性材料强度的重要指标。



两个塑性指标

伸长率

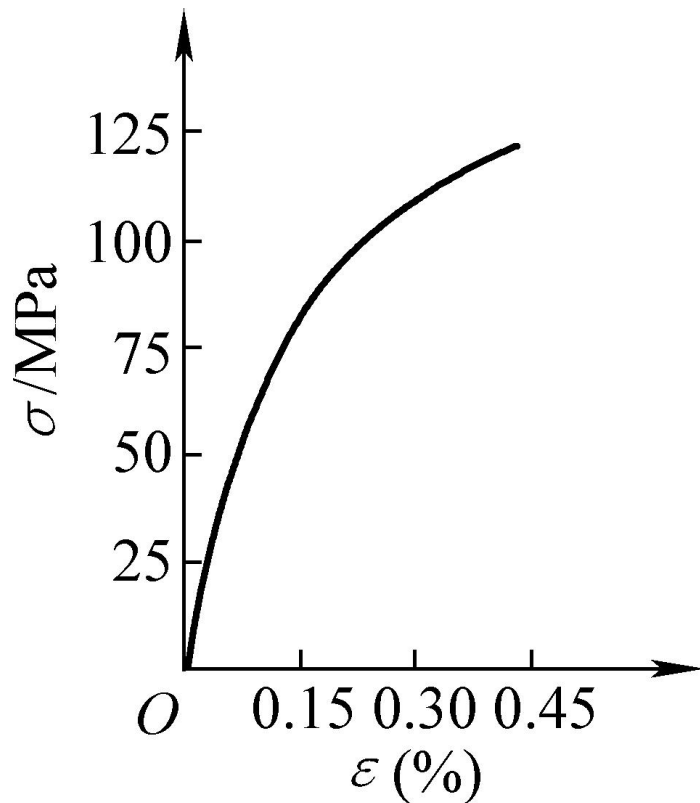
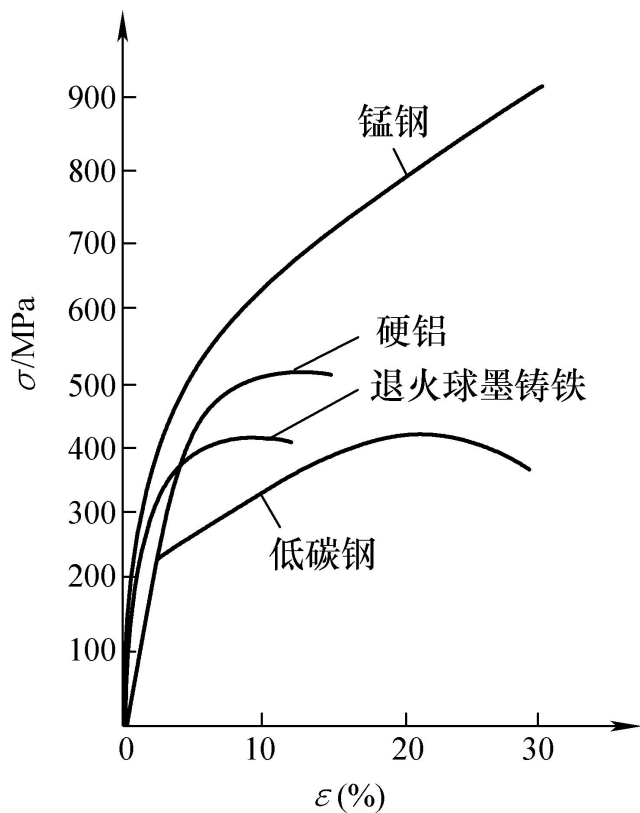
$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \times 100\%$$

断面收缩率

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

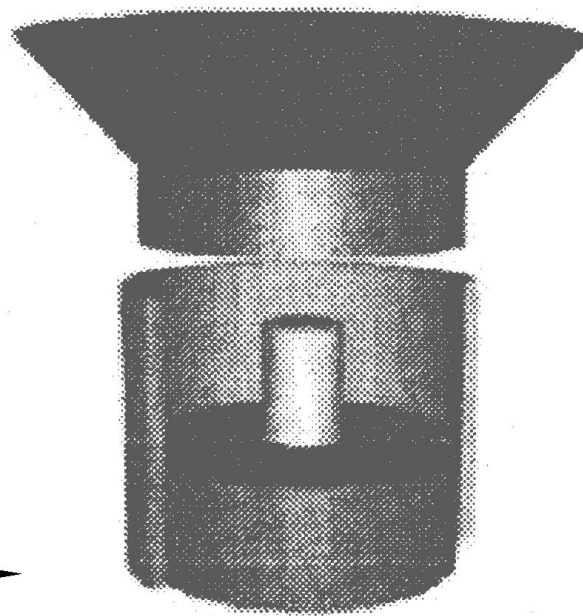
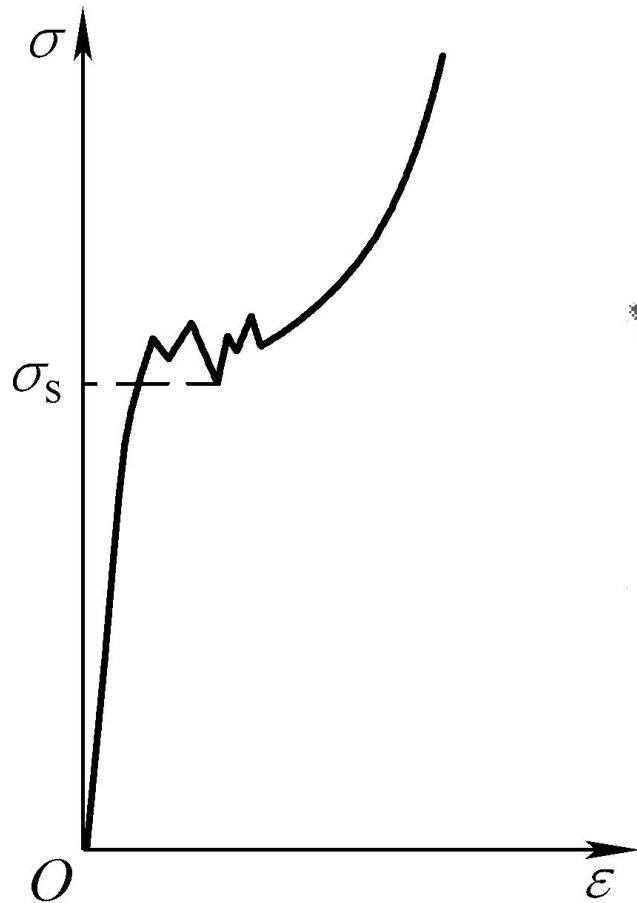
伸长率 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料，如低碳钢、铝合金、青铜等；
 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料，如铸铁、高碳钢、混凝土等。

二、其它金属材料在拉伸时的力学性能



灰铸铁在拉伸时的力学性能

三、低碳钢压缩时的应力 应变曲线



通过拉伸和压缩试验，可以获得材料力学性能的下述三类指标：

1) 刚度指标：弹性模量 E 。

2) 强度指标：屈服点应力 σ_s 和强度极限 σ_b 。

3) 塑性指标：断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

工程材料力学性能的比较：

1) 塑性材料断裂时伸长率大，塑性性能好。

2) 塑料材料在弹性范围内，应力与应变符合胡克定律；而多数脆性材料在拉压时 $\sigma-\varepsilon$ 曲线没有直线段，应力与应变间的关系不符合胡克定律，只是由于 $\sigma-\varepsilon$ 曲线的斜率小，在应用上假设它们成正比关系。

3) 多数塑料材料在拉压变形时的抗拉和抗压性能基本相同；而脆性材料的抗压能力大于抗拉能力。

4) 脆性材料承受动载能力差，塑性材料承受动载能力强，故承受动载作用的构件应由塑性材料制作。

6.4 轴向拉伸或压缩时的强度计算

一、极限应力、安全系数和许用应力

对于塑性材料

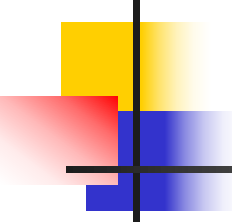
$$\sigma_u = \sigma_s$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n_s} = \frac{\sigma_s}{n_s}$$

对于脆性材料

$$\sigma_u = \sigma_b$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n_b} = \frac{\sigma_b}{n_b}$$



二、轴向拉压时的强度计算

利用强度条件，
可解决下列三类
强度计算问题

(1) 强度校核

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

(2) 设计截面

$$A \geq \frac{F_N}{[\sigma]}$$

(3) 确定许用载荷

$$F_N \leq A[\sigma]$$

【例6-3】 如图所示的上料小车，每根钢丝绳的拉力 $Q = 105\text{kN}$ ，拉杆的面积 $A = 6 \times 10^3 \text{mm}^2$ 材料为Q235钢， $\sigma_s = 240\text{MPa}$ ，安全系数 $n = 4$ 。试校核拉杆的强度。

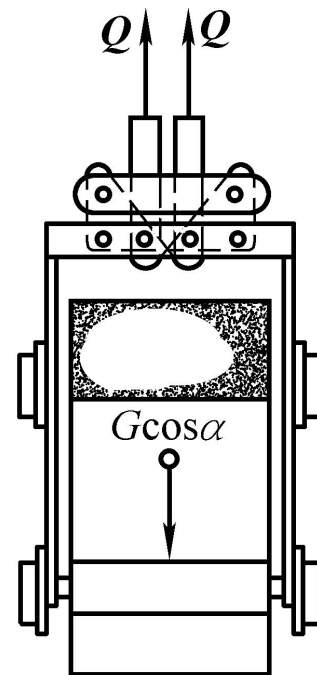
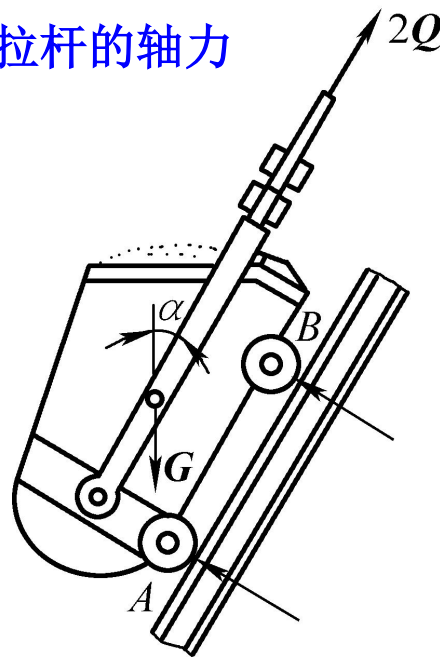
解：由于钢丝绳的作用，拉杆轴向受拉，每根拉杆的轴力

$$F_N = Q = 105\text{kN}$$

横截面积 $A = 6 \times 10^3 \text{mm}^2$

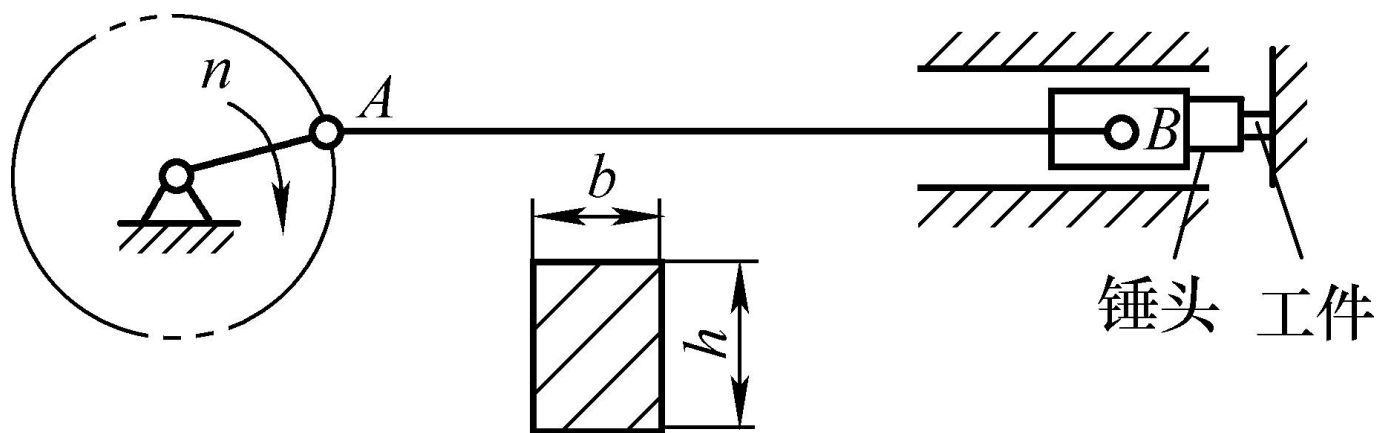
许用应力 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s} = 60\text{MPa}$

强度条件 $\sigma = \frac{F_N}{A} = \frac{105\text{kN}}{6 \times 10^3 \text{mm}^2} = 17.5\text{MPa} \leq [\sigma]$



故拉杆符合强度要求。

【例6-4】某冷镦机的曲柄滑块机构如图所示。连杆直径 $d=240\text{mm}$ ，连杆 **AB**接近水平位置时，镦压力 $P = 3780\text{kN}$ 。连杆材料为**45号钢**，许用应力 $[\sigma] = 90\text{MPa}$ ，试校核连杆；如果连杆由圆形改为矩形截面，高与宽之比为 $h/b=1.4$ ，试设计连杆的尺寸 h 和 b 。



解: (1) 求活塞杆的轴力。由题意可用截面法求得连杆的轴力为

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

(2) 校核圆截面连杆的强度。连杆横截面上的正应力为

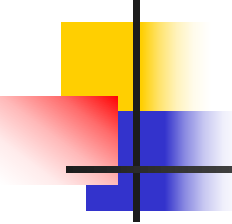
$$\sigma = \frac{F_N}{A} = \frac{3780 \times 10^3}{\pi \times (0.24)^2 / 4} \text{Pa} = 83.6 \text{MPa} \leq [\sigma]$$

故连杆的强度合格。

(3) 设计矩形截面连杆的尺寸

$$A = bh = 1.4b^2 \geq \frac{F_N}{[\sigma]} = \frac{3780 \times 10^3}{90 \times 10^6} \text{m}^2 = 0.042 \text{m}^2$$

分别计算出 $b \geq 0.173\text{m}$, $h \geq 0.242\text{m}$ 。实际设计时可取整为 $b = 175\text{mm}$, $h = 245\text{mm}$ 。



6.5 轴向拉伸或压缩时的变形计算

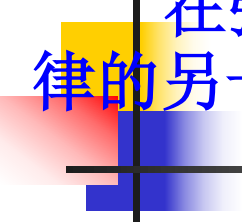
胡克定律:

$$\Delta l = \frac{F_N l}{EA}$$

比例常数 E 称为材料的弹性模量，其数值随材料的不同而异。
乘积 EA 越大，杆件的拉伸（或压缩）变形越小，所以 EA 称为杆件的抗拉（压）刚度。

适用条件为:

- (1) 杆件的变形应在线弹性范围内。
- (2) 在长为 l 的杆段内， F_N 、 E 、 A 均为常量。



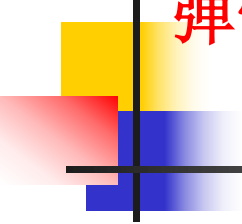
在弹性范围内，正应力与线应变成正比，这一关系为胡克定律的另一种表示形式，即：

$$\sigma = E\varepsilon$$

杆件横向线应变： $\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d} = \frac{d_1 - d}{d}$

且： $\left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| = \mu$

μ 称为横向变形系数或泊松比

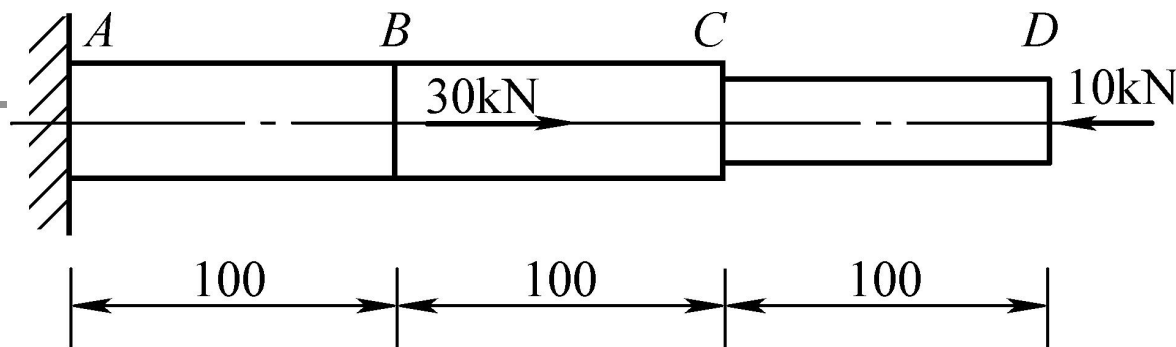


弹性模量 E 和泊松比 μ 都是材料固有的弹性常数。

表6-2 几种常用材料的 E 和 μ 的约值

材料名称	E (GPa) 值	μ 值
碳 钢	196~216	0.24~0.28
合 金 钢	186~206	0.25~0.30
灰 铸 铁	78.5~157	0.23~0.27
铜及其合金	72.6~128	0.31~0.42
铝 合 金	70	0.33

【例6-5】 阶梯状直杆受力如图所示，试求杆的总变形量。已知其横截面面积分别为 $A_{CD} = 300\text{mm}^2$ ， $A_{AB} = A_{BC} = 500\text{mm}^2$ ， $E = 200\text{GPa}$ 。

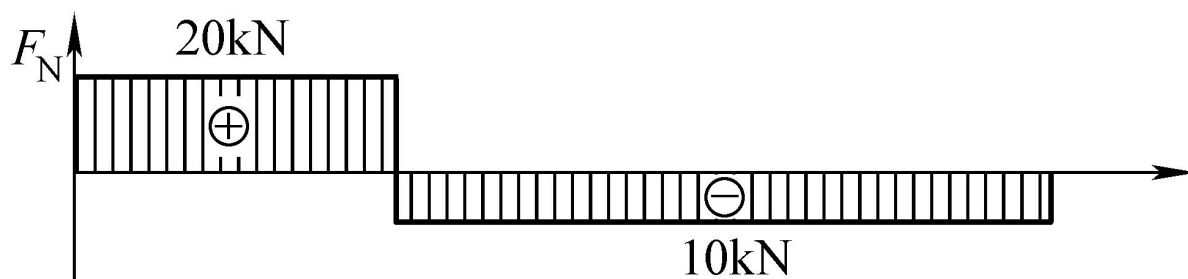


解：（1）作轴力图。用截面法求得CD和BC段轴力：

$$F_{NCD} = F_{NBC} = -10\text{kN}$$

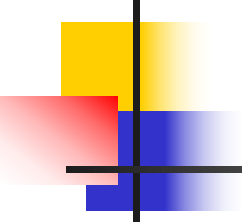
AB段的轴力为

$$F_{NAB} = 20\text{kN}$$



（2）计算各段杆的变形量。

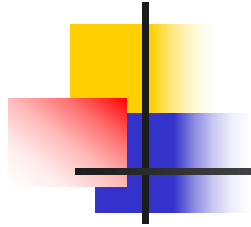
$$\Delta l_{AB} = \frac{F_{NAB} l_{AB}}{EA_{AB}} = \frac{20 \times 10^3 \times 0.1}{200 \times 10^9 \times 500 \times 10^{-6}} \text{m} = 2 \times 10^{-5} \text{m}$$


$$\Delta l_{BC} = \frac{F_{NBC} l_{BC}}{EA_{BC}} = \frac{-10 \times 10^3 \times 0.1}{200 \times 10^9 \times 500 \times 10^{-6}} \text{ m} = -1 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\Delta l_{CD} = \frac{F_{NCD} l_{CD}}{EA_{CD}} = \frac{-10 \times 10^3 \times 0.1}{200 \times 10^9 \times 300 \times 10^{-6}} \text{ m} = -1.67 \times 10^{-5} \text{ m}$$

(3) 计算杆的总变形量。

$$\Delta l = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} + \Delta l_{CD} = (2 - 1 - 1.67) \times 10^{-5} \text{ m} = -0.0067 \text{ mm}$$



END