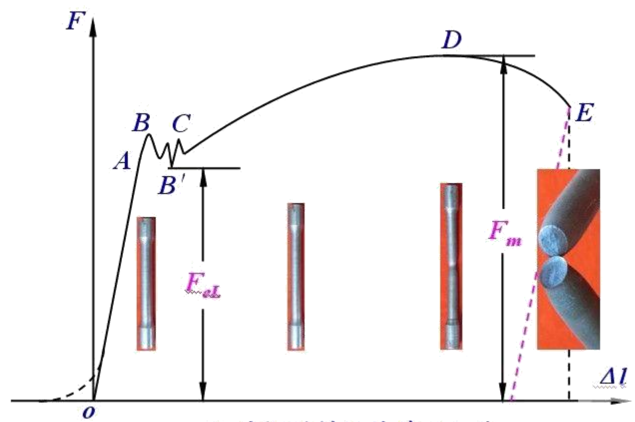
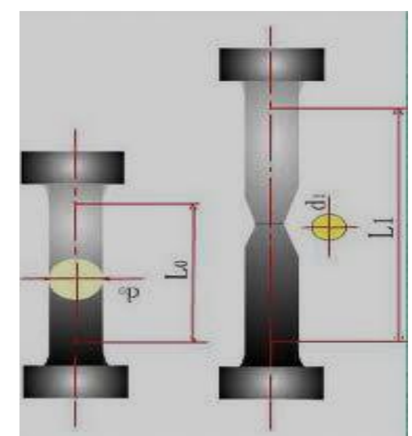
过程设备机械设计基础

3. 拉伸与压缩

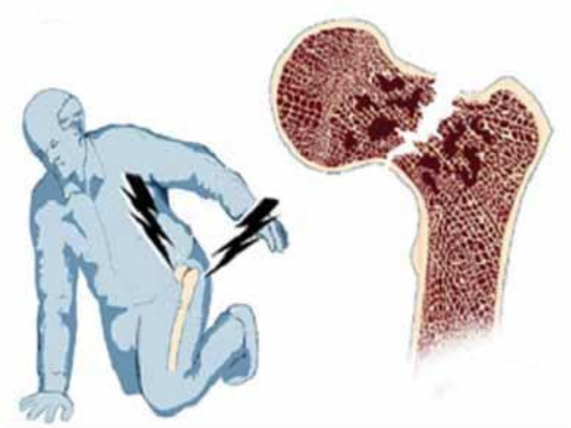


低碳钢材料拉伸特性曲线



材料安全工作的三个要求

1. 强度要求：抵抗破坏的能力
2. 刚度要求：抵抗变形的能力
3. 稳定性要求：保持原有平衡形状的能力

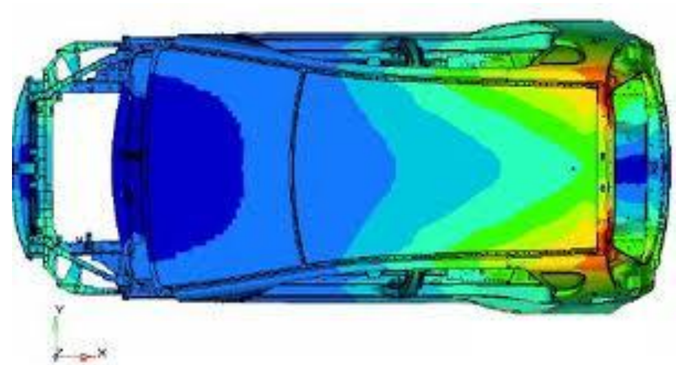


经济性与安全性间的矛盾

构件承载能力—强度(strength)

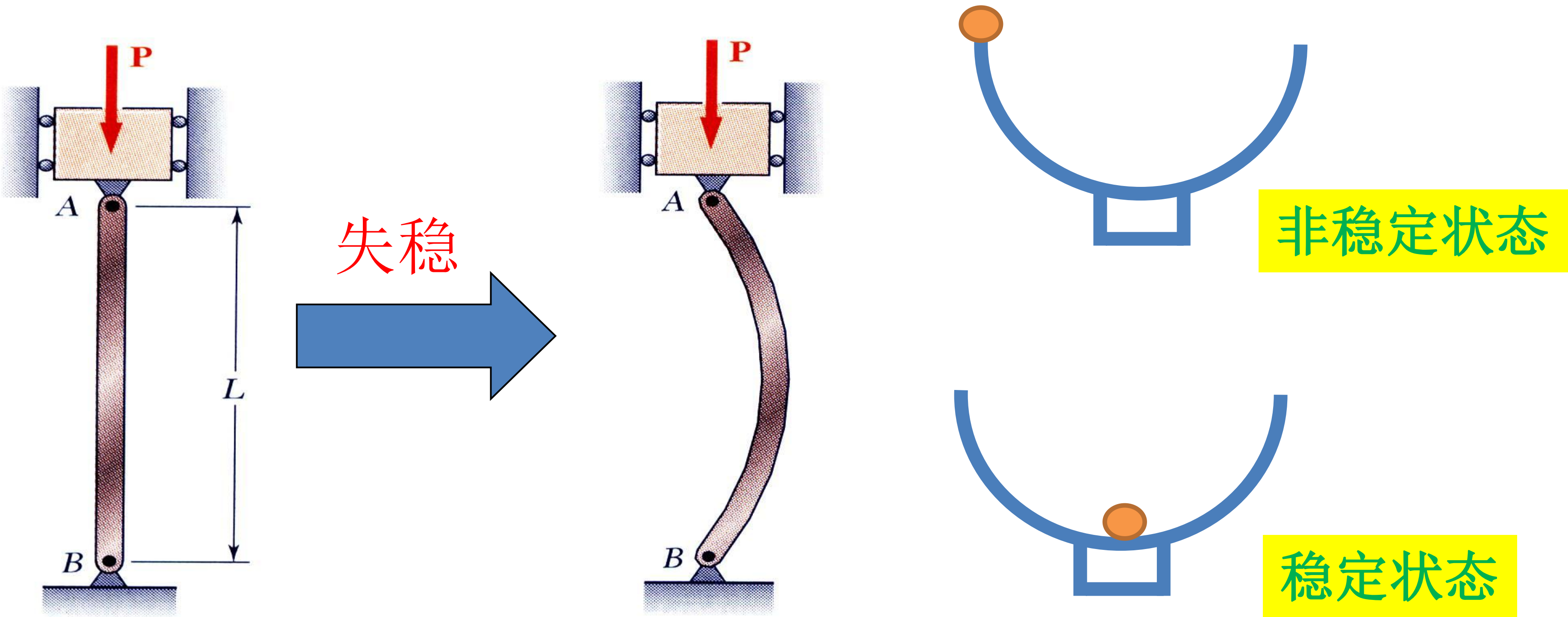
材料在外力作下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。包括抗压强度、抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度。

构件承载能力—刚度(stiffness)



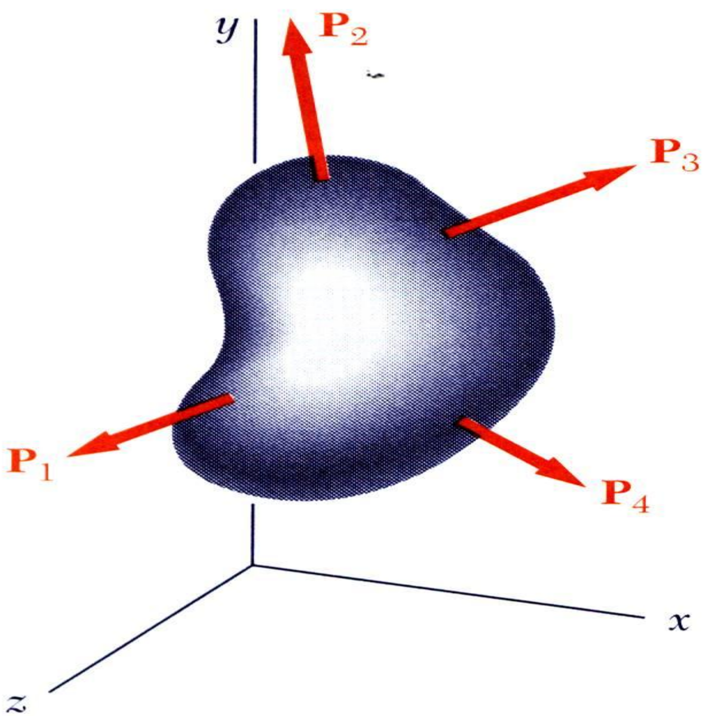
刚度：材料抵抗变形的能力，即引起单位位移所需的力，大小和材料的弹模相关。刚度的倒数称为柔度，即单位力引起的位移。

构件承载能力—稳定性(buckling)



受外力作用下，构件经过一个外部扰动过程仍然能够回到原来的平衡状态，我们称这个构件就是稳定的，否则称不稳定。

材料力学的基本假定

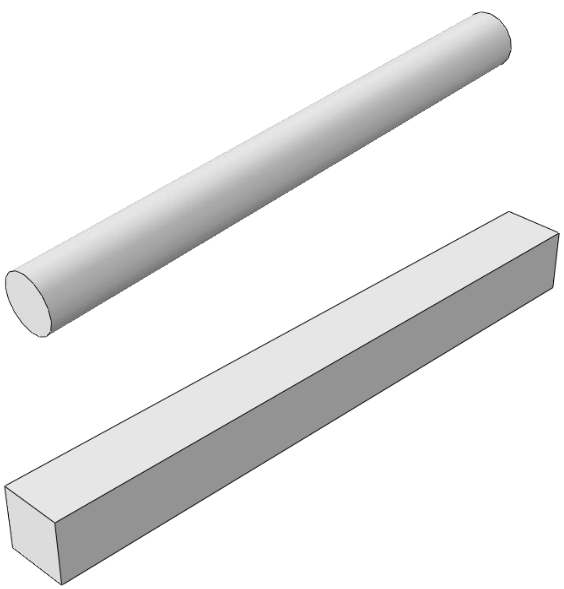


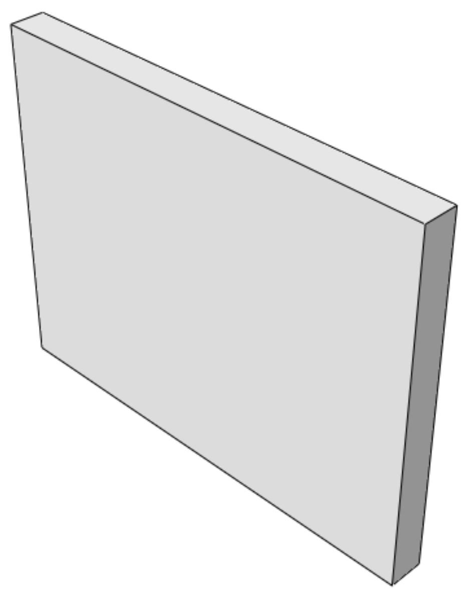
- 小变形：变形很微小
- 连续均匀：物质结构是密实的、连续的
- 各向同性：材料在各个方向的力学性质都相同

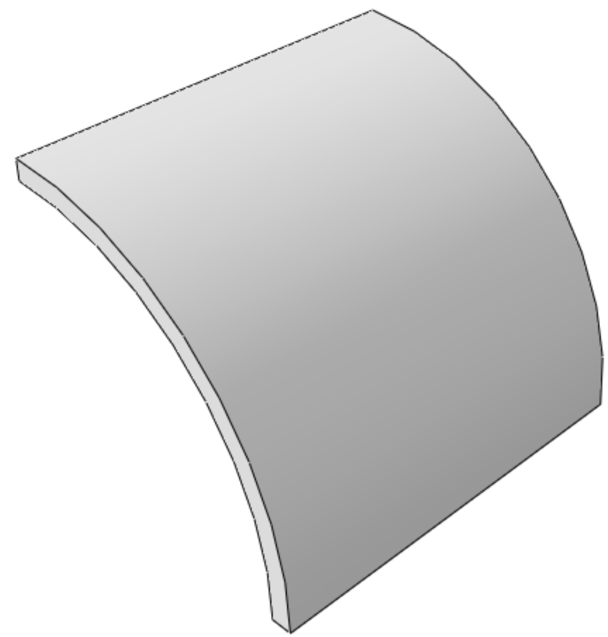
实际工程构件能满足吗?

构件类型

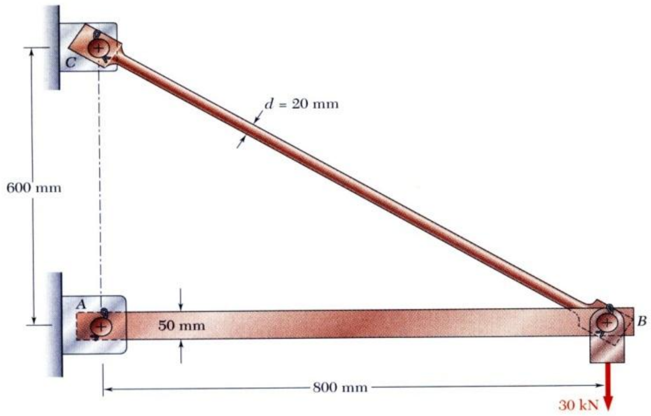
- 杆：纵向尺寸远大于横向尺寸的构件
- 板：厚度比其长度和宽度小的多的平面构件
- 壳：厚度比其长度和宽度小的多，但其几何形状不是平面，而是曲面的构件



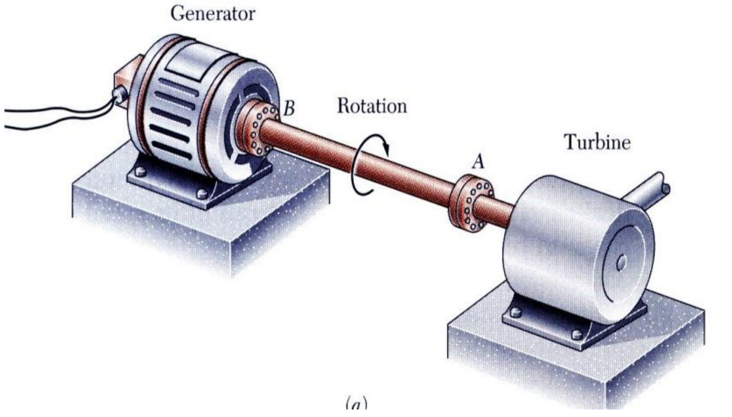




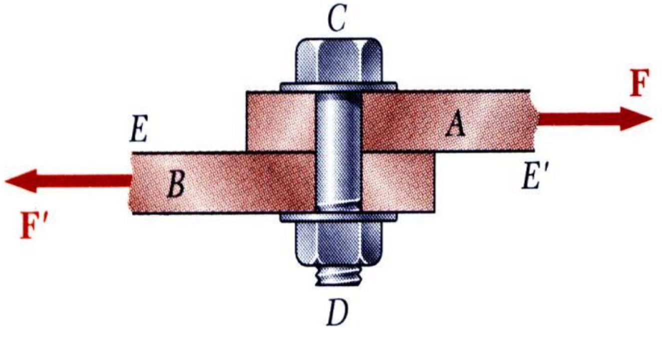
四种基本的变形



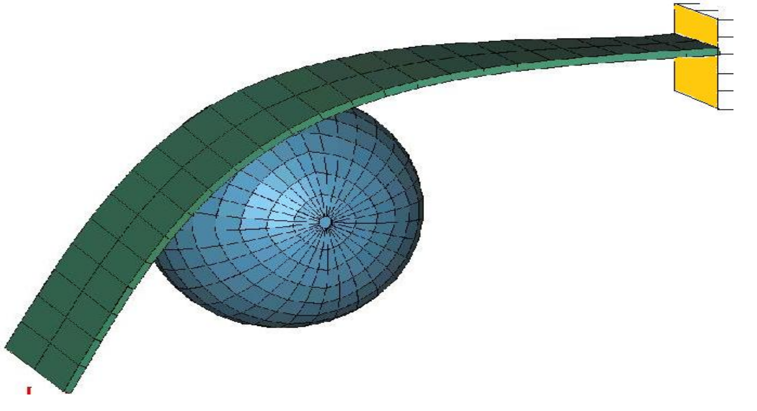
1）拉-压



3）扭转



2）剪切

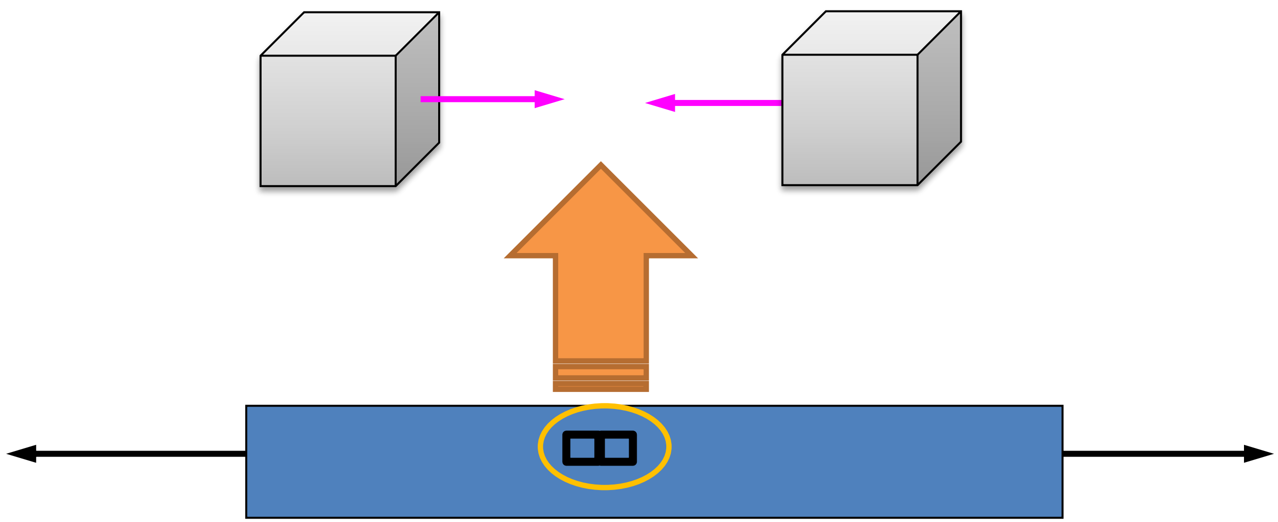


4）弯曲

外力和内力

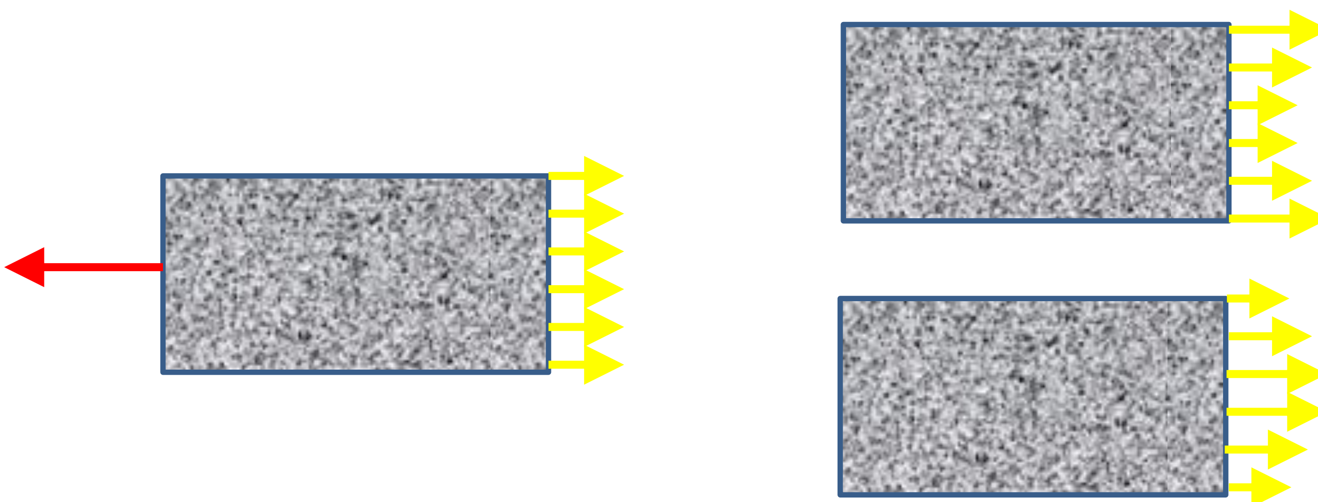
外力：物体对构件的作用，如约束反力、主动力

内力：构件一部分与相邻部分之间的相互作用力。拉伸为正，压缩为负



圣维南原理

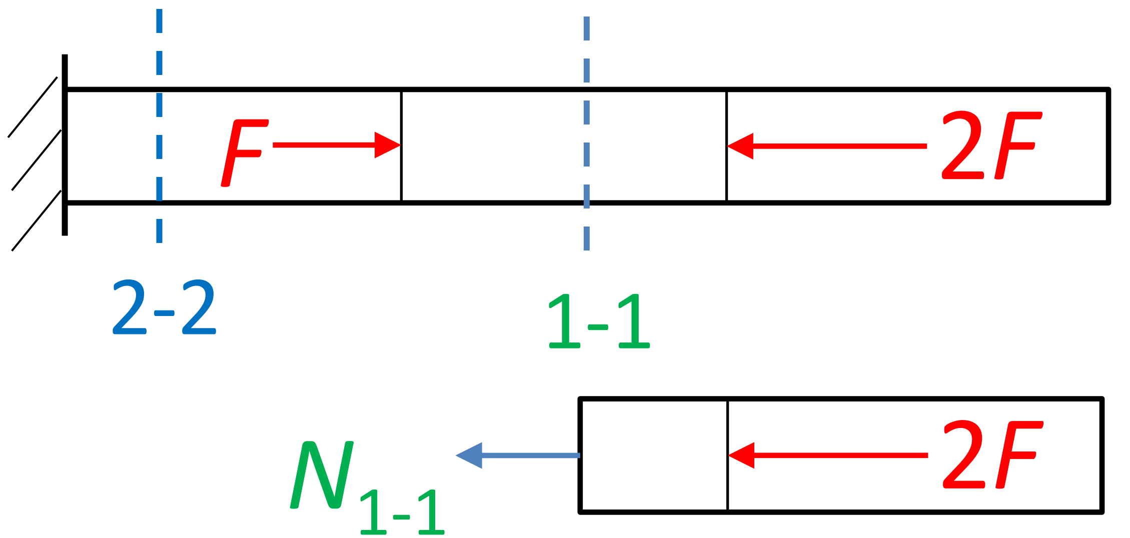
分布于弹性体上一小块面积（或体积）内的载荷所引起的物体中的应力，在离载荷作用区稍远的地方，基本上只同载荷的合力和合力矩有关；载荷的具体分布只影响载荷作用区附近的应力分布。



截面法

截面法：假想将杆件切开，使内力转化为外力，运用静力平衡条件求出截面上内力的方法。（拉力为正，压力为负）

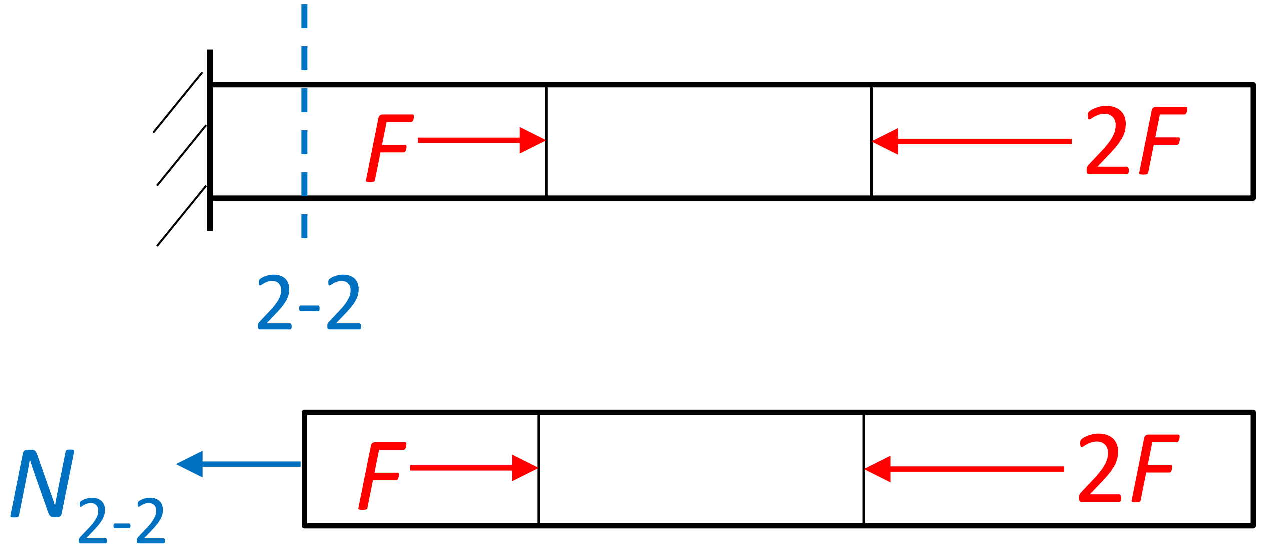
1-1截面



$$\sum F_x = 0 \qquad N_{1-1} = -2F$$

截面法

2-2截面

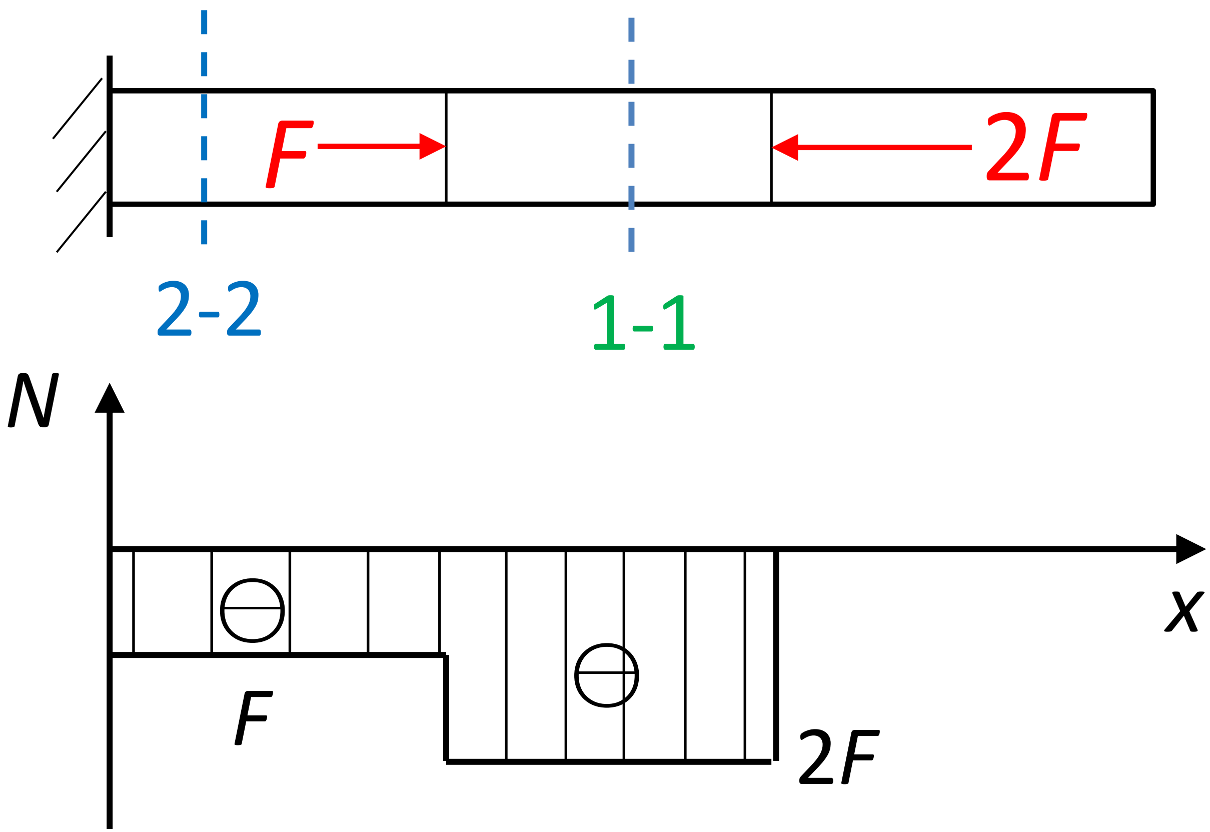


$$\sum F_x = 0 \qquad N_{2-2} - F + 2F = 0$$

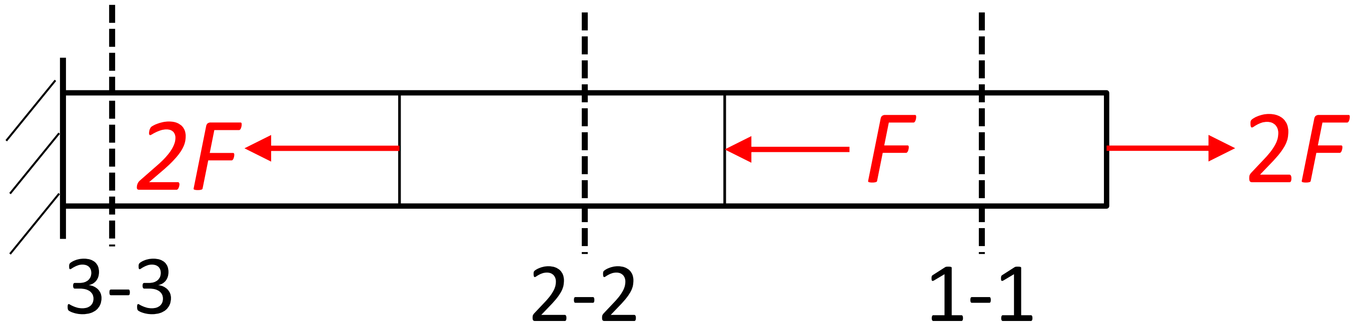
$$N_{2-2} = -F$$

轴力图

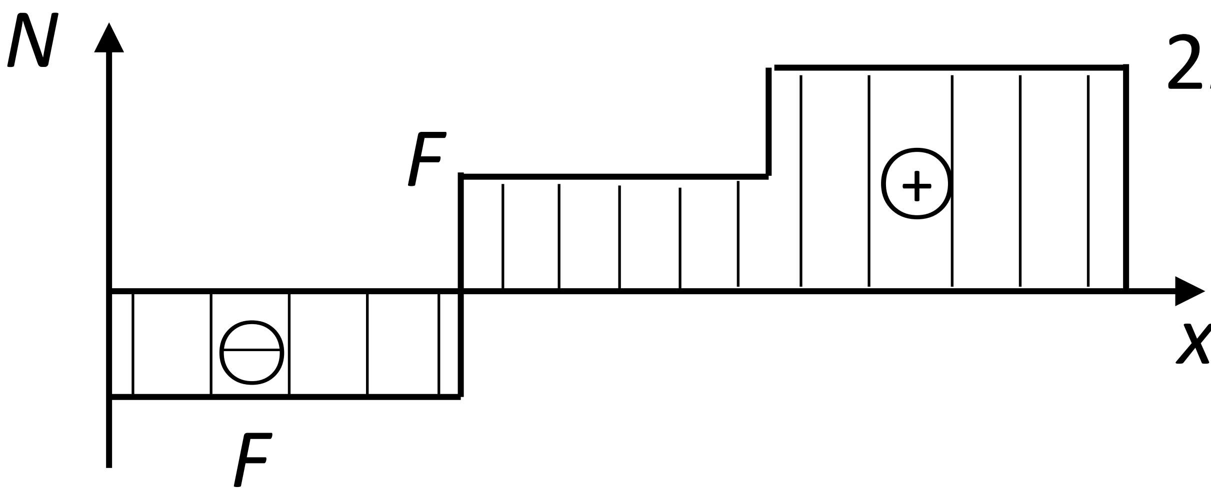
轴力图：拉力画在轴的上侧，压力画在轴的下测。



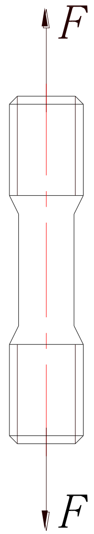
轴力图



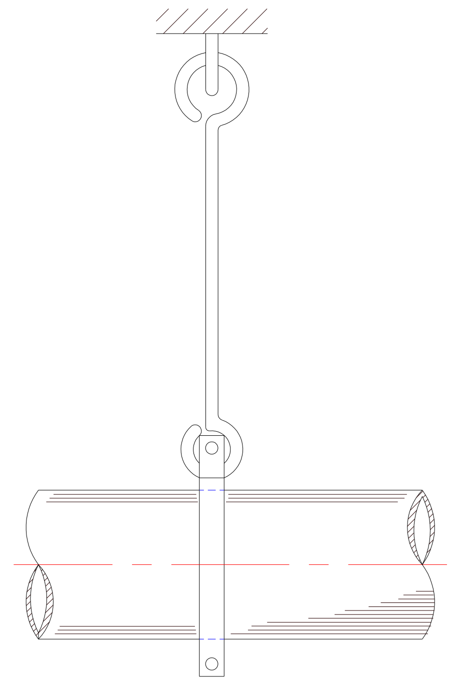
$$N_{1-1} = 2F \qquad N_{2-2} = F \qquad N_{3-3} = -F$$



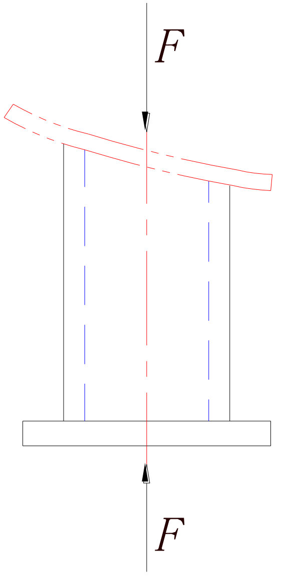
应力的基本概念



(a)



(b)

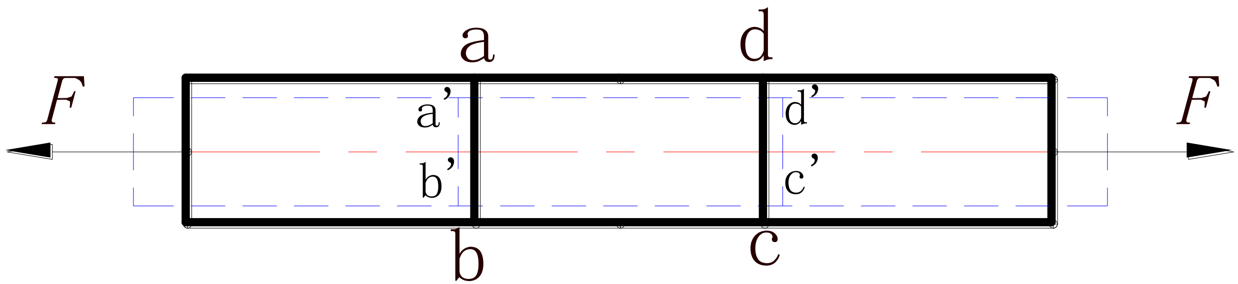


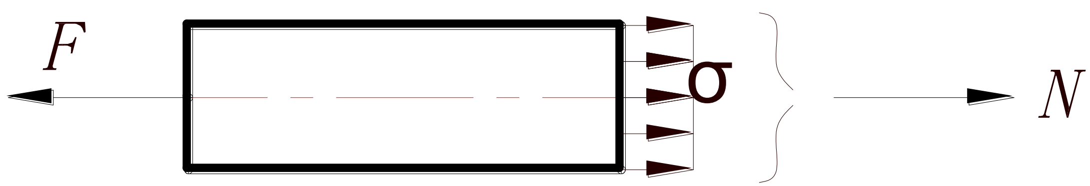
(c)

外力大小并不能判断杆件的受力程度，单位面积上的内力大小才能衡量构件的受力强弱

平面截面假设

变形前后，横截面轮廓线ab(a’ b’)和cd(c’ d’)始终为直线，且垂直于杆轴线





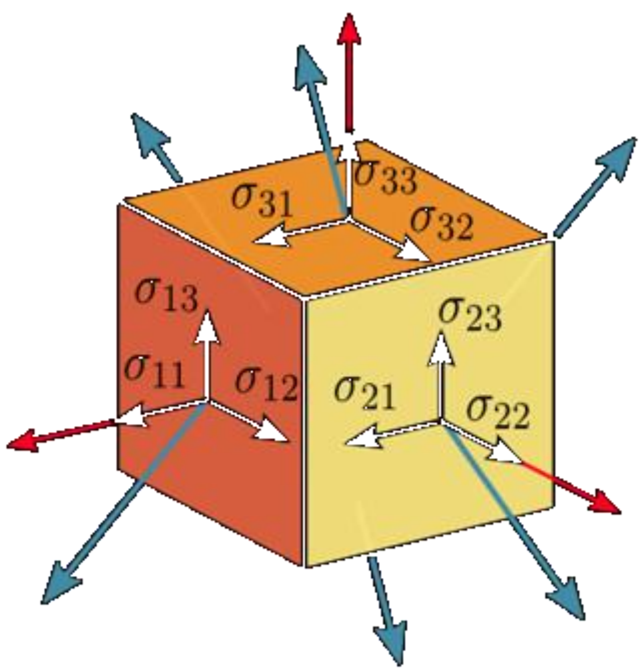
应力的定义 $$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F}{A}$$

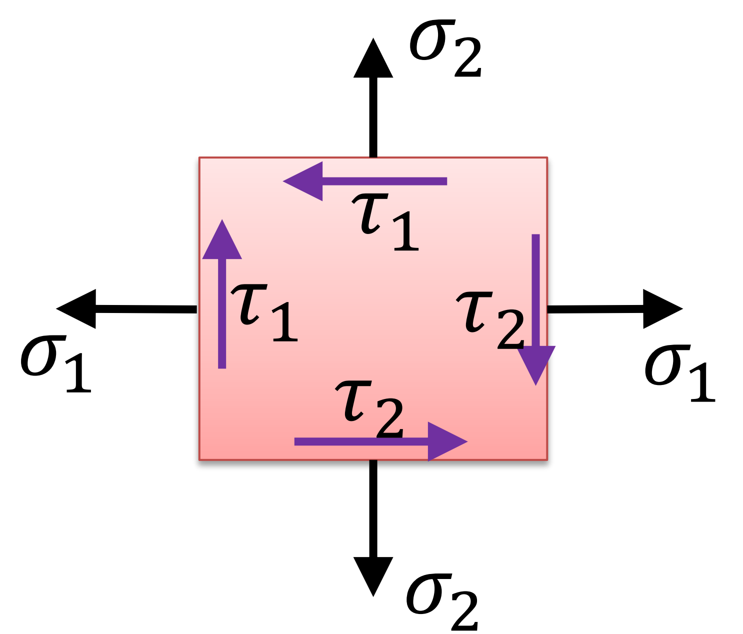
正值为拉应力，负值为压应力

国际单位：帕斯卡 Pa

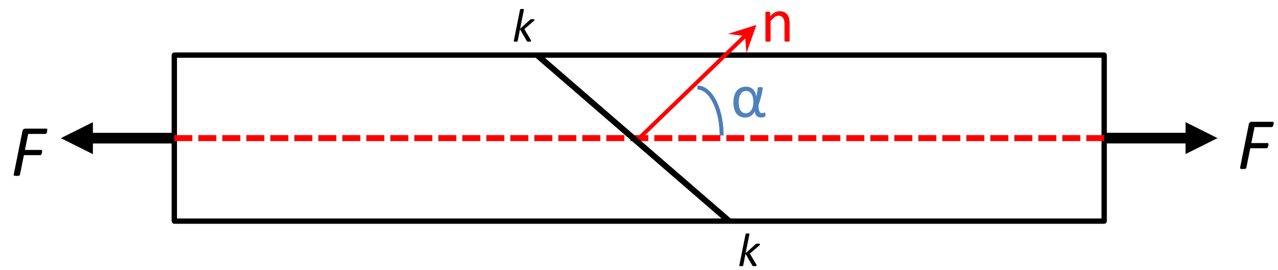
正应力和剪应力

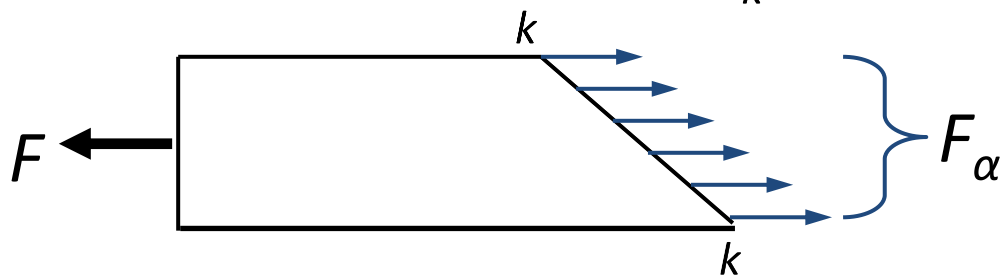
- 应力方向与截面垂直为正应力 σ
- 应力方向与截面平行为剪应力 τ



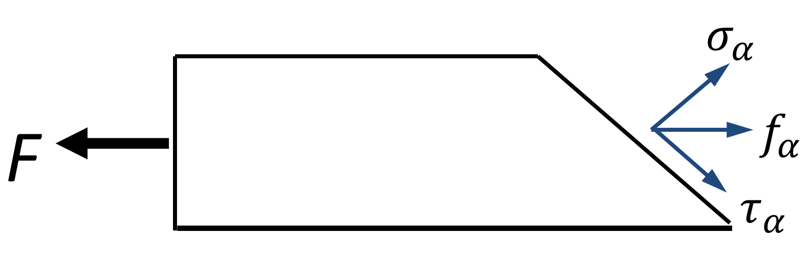


直杆拉伸时斜截面上的应力





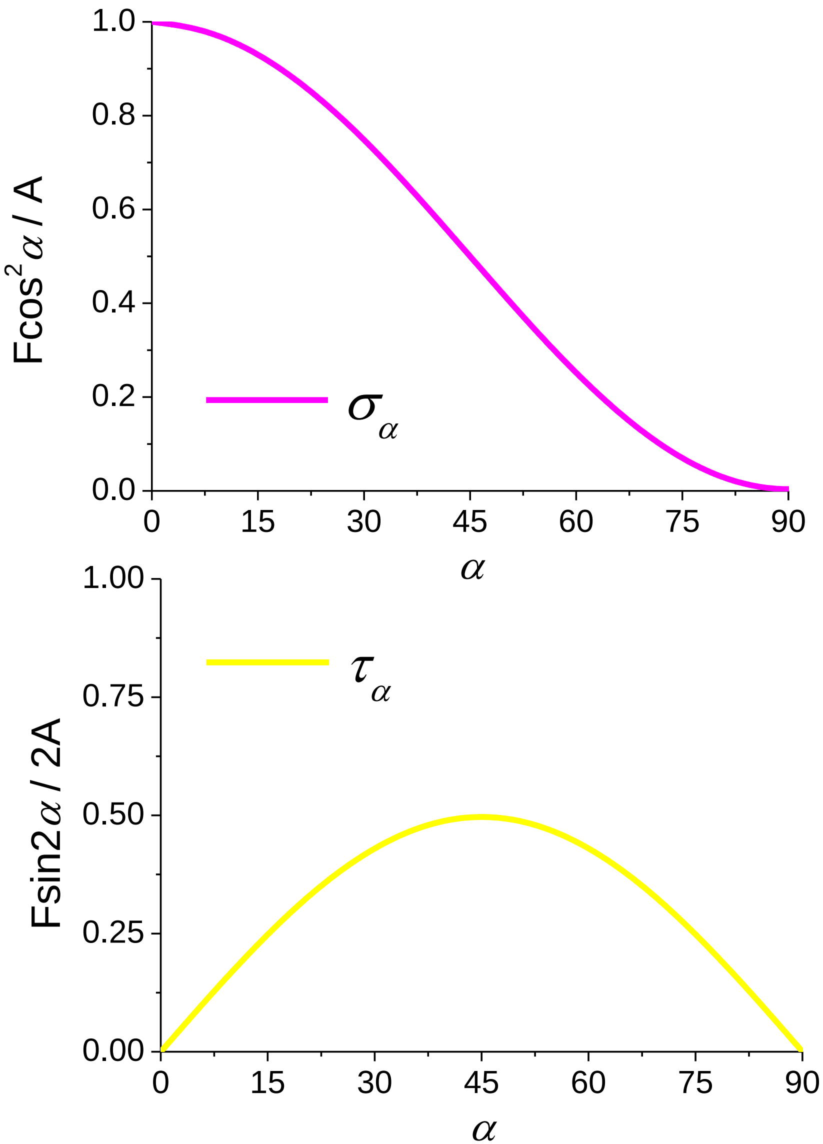
以 f_α 表示斜截面 k-k 上的应力 $f_\alpha = \dfrac{F_\alpha}{A_\alpha} = \dfrac{F\cos\alpha}{A}$



$$\sigma_\alpha = f_\alpha\cos\alpha = \frac{F\cos^2\alpha}{A}$$

$$\tau_\alpha = f_\alpha\sin\alpha = \frac{F\sin 2\alpha}{2A}$$

斜截面上应力的特点

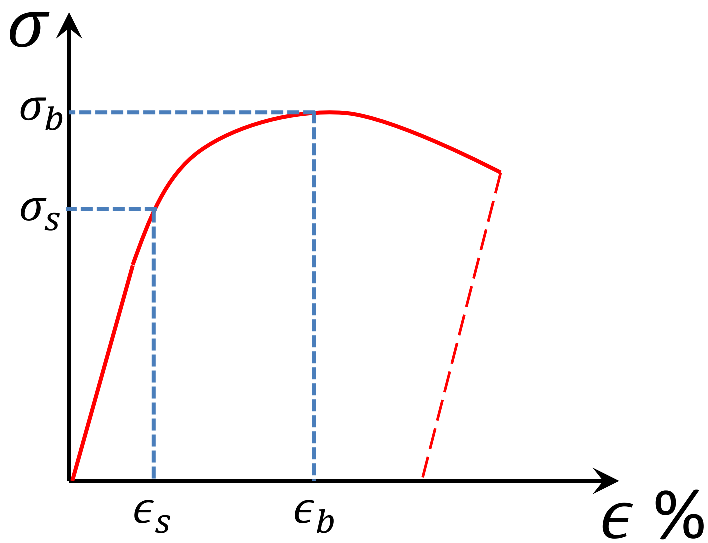


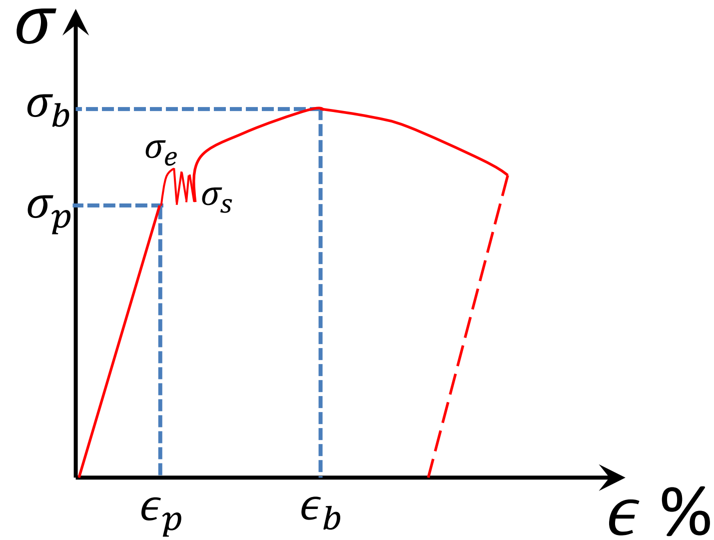
(1) $\alpha = 0$时，斜截面k-k垂直于轴线，σ_α达到最大值，而$\tau_\alpha = 0$

(2) $\alpha = 45^o$时， τ_α达到最大值, $\tau_\alpha = \sigma/2$

(3) $\alpha = 90^o$时， $\sigma_\alpha = \tau_\alpha = 0$

强度条件





危险应力σ^0：构件开始破坏时的应力

强度条件：$\sigma_{max} < \sigma^0$

考虑实际情况及必要强度储备取，许用应力$[\sigma]$：

$$[\sigma] = \frac{\sigma^0}{n}$$ n：安全系数

脆性材料：$[\sigma] = [\sigma_b]/n_b$　　塑性材料：$[\sigma] = [\sigma_b]/n_b$

强度条件：$\sigma_{max} \le [\sigma]$

杆件的三类强度计算

对于杆件

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

取许用应力[σ]的理由：

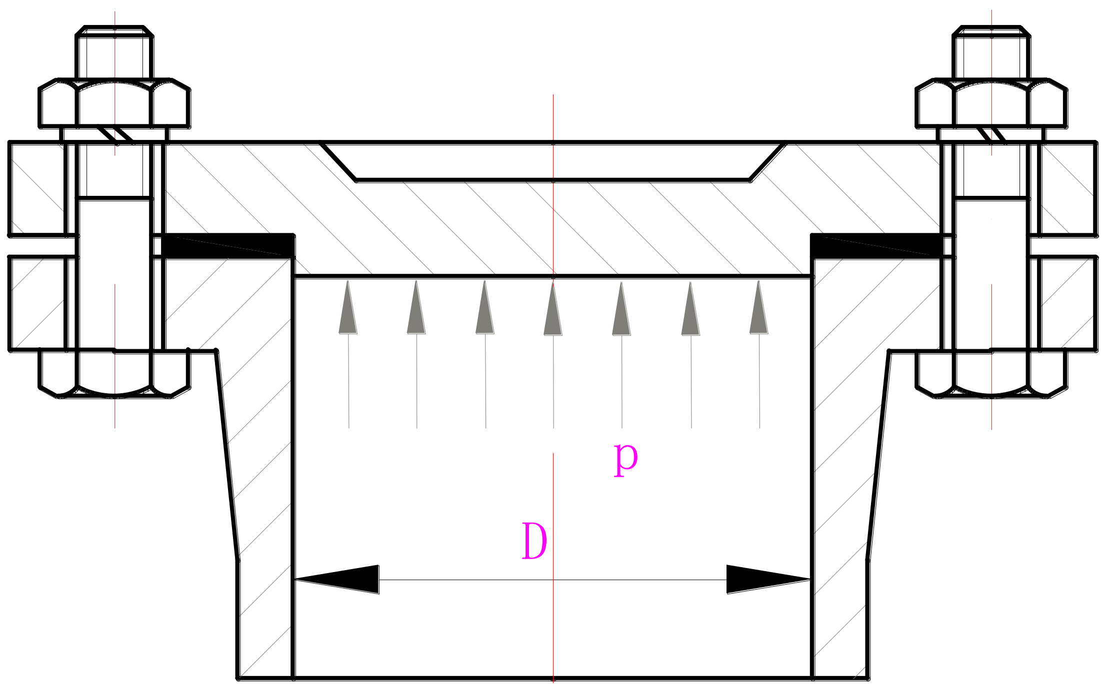
1. 补偿构件实际工作情况与设计计算时所设想的条件不一致
2. 必要的强度储备

根据强度条件可完成三件工作：

1. 强度校核： $\sigma_{max} \leq [\sigma]$
2. 截面设计： $A \geq N/[\sigma]$
3. 确定许用工作载荷： $N_{max} \leq [\sigma]A$

例

气缸盖用根径为20mm的8个螺栓与气缸体联接，如图所示。螺栓材料的许用应力[σ]= 100Mpa，气缸体内径D_i=600mm，试求气缸内允许的最大压力p（不考虑螺栓的预紧力）



解答

每个螺栓横截面积为：$a = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi \times 0.02^2}{4} = 3.14 \times 10^{-4} \mathrm{m}^2$

每个螺栓的许可轴力为：$F \leq [\sigma]a = 100 \times 10^6 \times 3.14 \times 10^{-4}$

$= 3.14 \times 10^4\ \mathrm{N}$

8个螺栓所承受的总载荷为：$F_{max} = 8F = 8 \times 3.14 \times 10^4$

$= 2.512 \times 10^5\ \mathrm{N}$

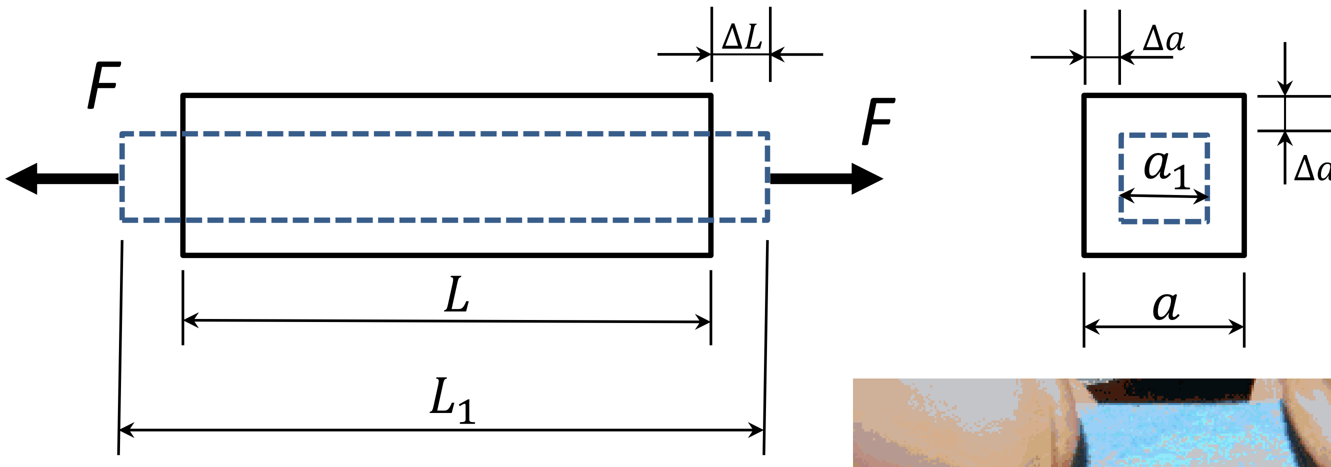
即气缸盖所受最大载荷为2.512×10^{5}N

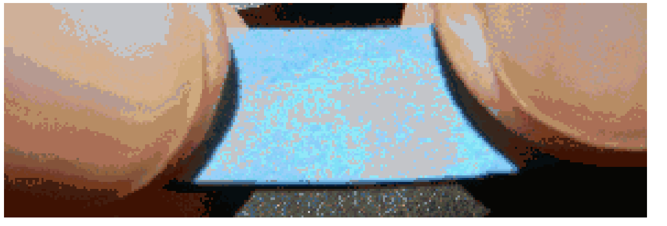
气缸盖的受力面积为：$A = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \times 0.6^2}{4} = 0.2826\ \mathrm{m}^2$

因此，缸内最大允许的压力为：

$$p = \frac{F_{max}}{A} = \frac{2.512 \times 10^5}{0.2826} = 8.889 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$$

泊松系数





应变定义： $\epsilon = \dfrac{\Delta L}{L} = \dfrac{L_1 - L}{L}$

$$\epsilon' = \frac{\Delta a}{a} = \frac{a_1 - a}{a}$$

泊松系数 (Poisson’s ratio) $\mu = -\dfrac{\epsilon'}{\epsilon}$ $\mu = -\dfrac{\mathrm{d}\epsilon'}{\mathrm{d}\epsilon}$

$$\mu = \left|\frac{\epsilon'}{\epsilon}\right| = \mathrm{const}$$

变形前后的体积变化

$$\mu = -\frac{d\epsilon'}{d\epsilon} = -\frac{\frac{da}{a}}{\frac{dL}{L}}$$

$$\int_{L}^{L+\Delta L} \mu \frac{dL}{L} = -\int_{a}^{a-\Delta a} \frac{da}{a}$$

$$\left(1+\frac{\Delta L}{L}\right)^{-\mu} = 1-\frac{\Delta a}{a}$$

$$\mu \ln\frac{L+\Delta L}{L} = -\ln\frac{a-\Delta a}{a}$$

一阶近似得

$$1-\mu\frac{\Delta L}{L} \approx 1-\frac{\Delta a}{a}$$

$$\mu \approx \frac{\frac{\Delta a}{a}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

变形前后体积分别为$\mathrm{V} = La^2$

$$\mathrm{V}+\Delta V = (L+\Delta L)(a-\Delta a)^2$$

$$\frac{\Delta V}{\mathrm{V}} = \frac{(L+\Delta L)(a-\Delta a)^2 - La^2}{La^2}$$

$$= \left(1+\frac{\Delta L}{L}\right)\left(1-\frac{\Delta a}{a}\right)^2 - 1$$

$$= \left(1+\frac{\Delta L}{L}\right)^{1-2\mu} - 1$$

变形前后的体积变化

一阶近似得 $$\frac{\Delta V}{V} \approx (1-2\mu)\frac{\Delta L}{L}$$