

# 材料力学（乙）

## Mechanics of Materials

### 第 2 讲

## § 1.3 外力及其分类

**外力：**来自构件外部的力。

**按作用方式分类：**体积力和表面力

**体积力：**连续分布在物体内部各点上的力  
如重力、惯性力、离心力...

**表面力：**作用于物体表面的力

**分布力：**连续分布在物体面上的力，如  
雪载荷、气动载荷、油缸的油压力...

**集中力：**力的作用面积很小



按作用随时间变化的情况分类：

**静载荷：**由零开始**缓慢**增加至某一定值后，不随时间变化或变动很不显著。

**缓慢：**惯性效应可忽略！

**动载荷：**随时间变化的力，如：交变载荷、冲击载荷.....



静止—静载荷  
停在桥上的动车  
置于楼板上重物



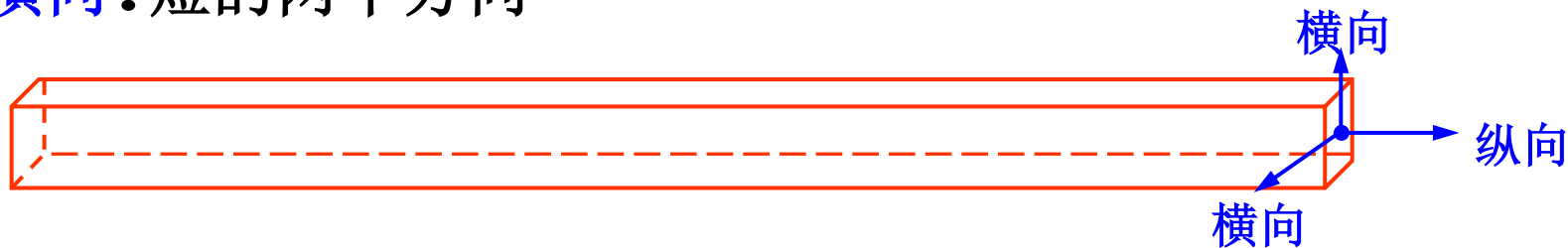
## § 1.4 主要研究对象

**杆** (bar) 器物上像棍子的细长部分。  
具有纵向（长度方向）尺寸远比横向（垂直长度方向）尺寸要大的特征。



**纵向**：长的一个方向

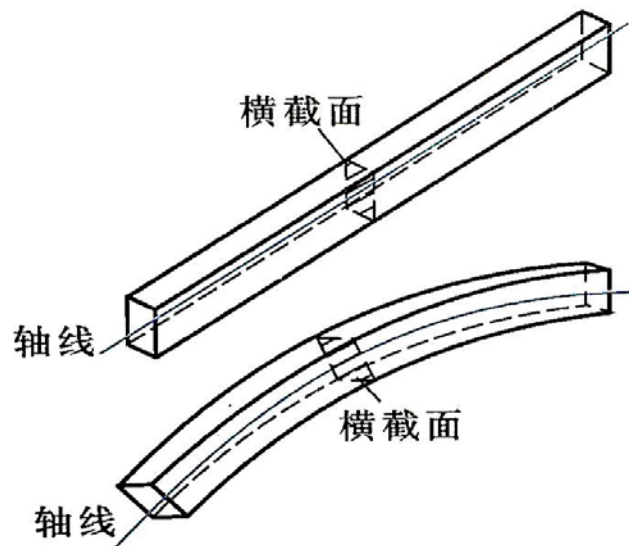
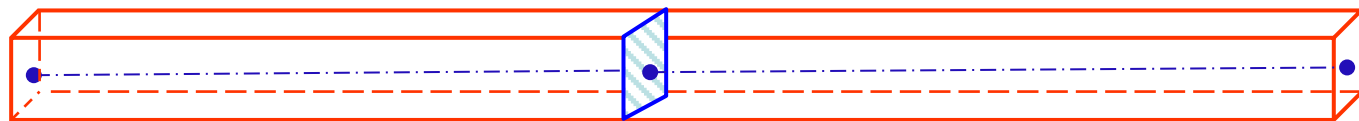
**横向**：短的两个方向



杆的两个主要几何因素：**横截面**和**轴线**。

**横截面**：**垂直**于长度方向的截面

**轴 线**：所有横截面**形心**的连线





杆件分类：按轴线形状分：

直杆—轴线是直线

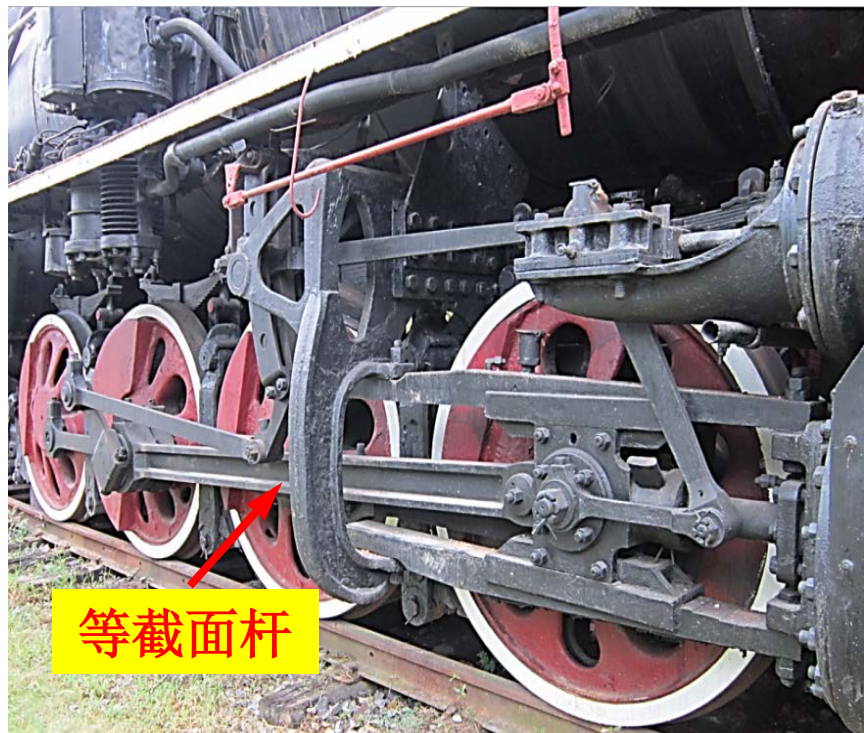
曲杆—轴线是曲线



## 按横截面形状和变化形式分：

圆截面杆，非圆截面杆（矩形截面杆、工字型截面杆.....）  
等截面杆（柱），变截面杆.....

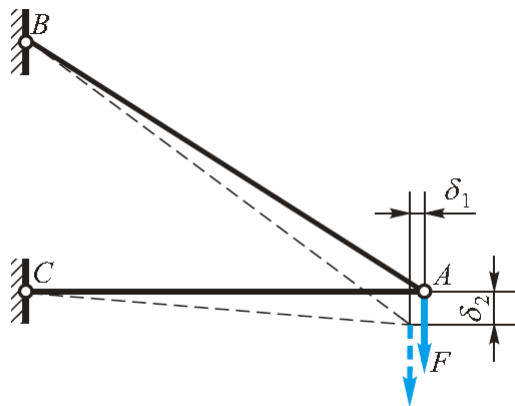






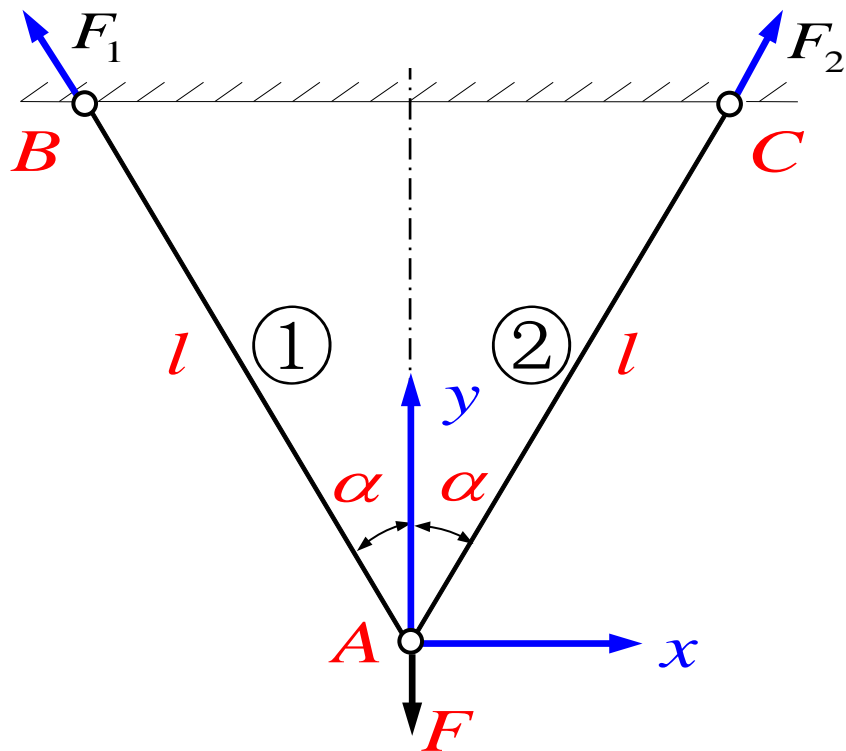
## 材料力学研究问题的范围：小变形问题

实际构件的变形一般是极其微小的，要用精密的仪器才可测定。材料力学所研究的问题限于小变形的情况，即认为无论是变形或因变形引起的位移，其大小都远小于构件的最小尺寸。



在列出构件的平衡方程时，仍用结构变形前的形状和尺寸，即把结构的变形忽略不计，这种方法称为原始尺寸原理，它可使计算得到很大的简化。

### 例1 求图示结构两根杆上的力。



**刚化公理：**若可变形体在已知力系作用下处于平衡状态，则可将此受力体视为刚体，其平衡不受影响。

**解：**此两根杆均是二力杆

上面两个铰支座的约束力必沿杆的方向

$$\sum F_x = 0 \quad F_2 \sin \alpha - F_1 \sin \alpha = 0$$

$$F_1 = F_2$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \alpha - F = 0$$

$$F_1 = F_2 = \frac{F}{2 \cos \alpha}$$

# § 1.5 杆件变形的的基本形式

## 杆件的四种基本变形

1. 轴向拉伸或压缩 杆受一对大小相等，方向相反的纵向力，力的作用线与杆轴线重合。



示意图



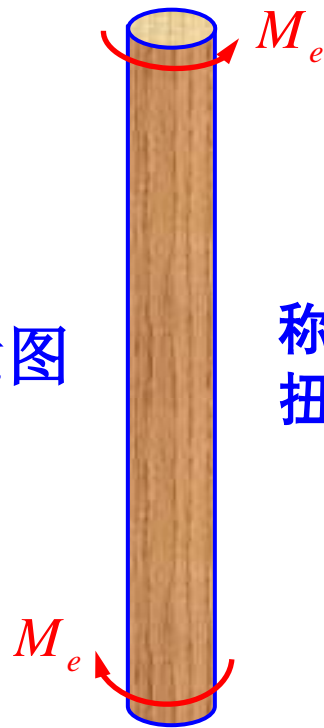
杆件发生轴向伸长或缩短的变形，称轴向拉伸或压缩变形

## 2. 扭转

杆受一对大小相等，方向相反的力偶，力偶作用面垂直于杆轴线。



示意图

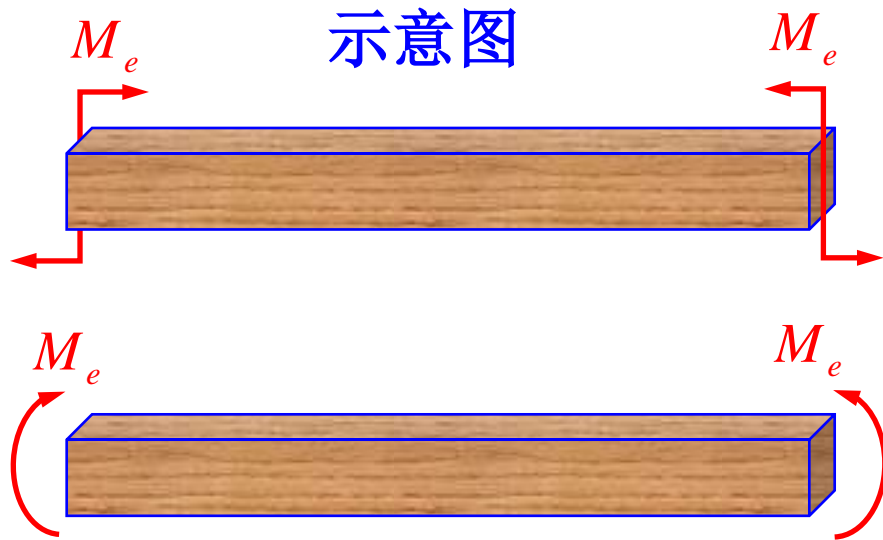
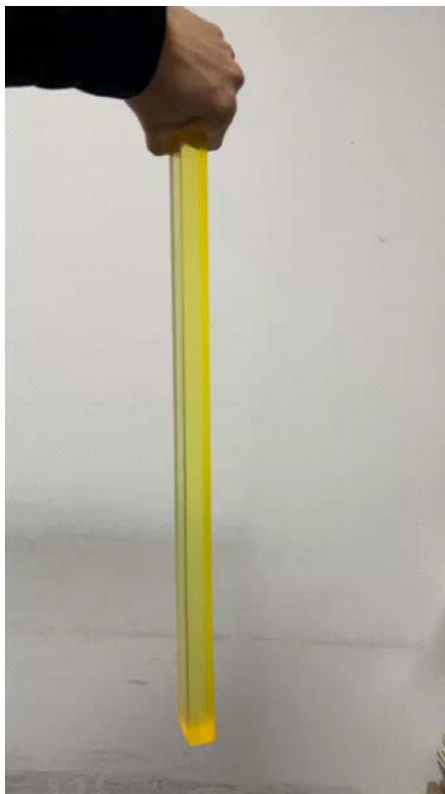


称杆件发生  
扭转变形



### 3. 弯曲

杆受一对大小相等，方向相反的力偶，力偶作用面是包含轴线的纵向面。



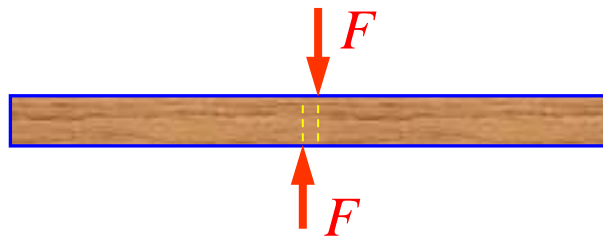
称杆件发生弯曲变形

#### 4. 剪切

杆受一对大小相等，方向相反的横向力，力的作用线靠得很近。



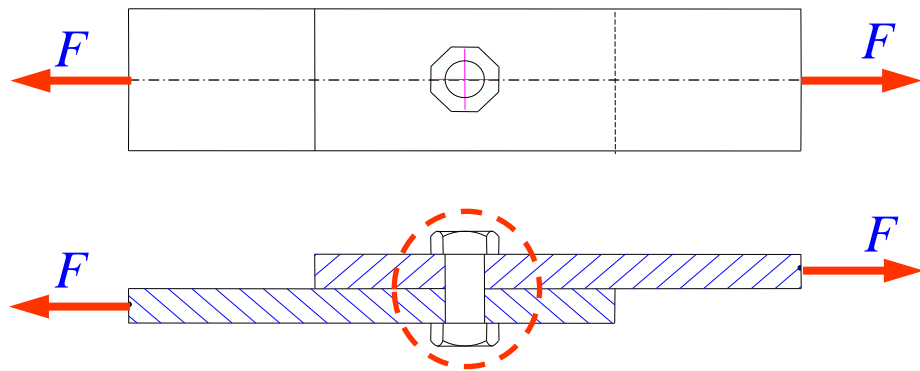
示意图



称杆件发生剪切变形

视频

# 销、键、螺栓、螺钉

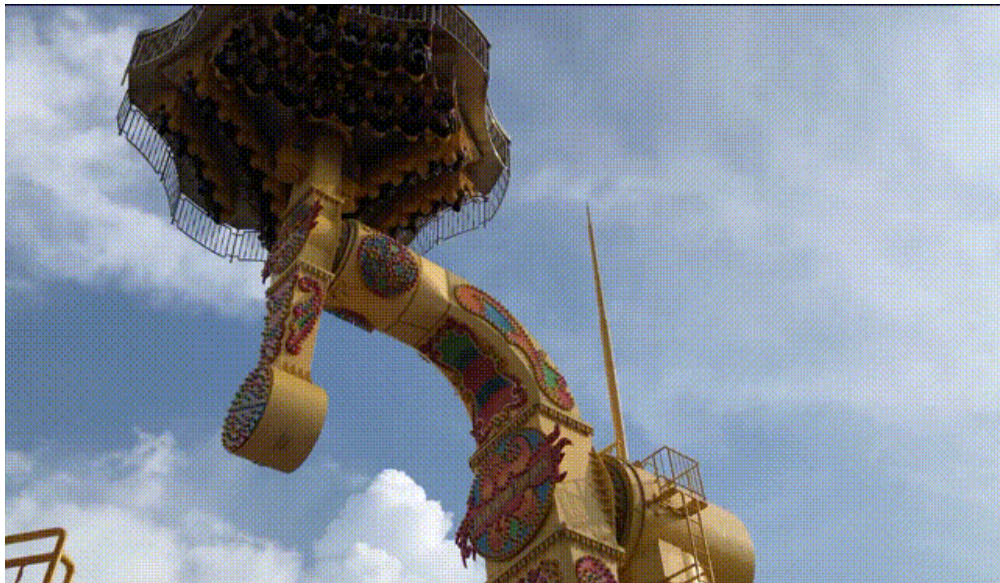


销

工程中，常见构件在载荷作用下，大都是上述几种变形的**组合**。  
**称杆件发生组合变形！**



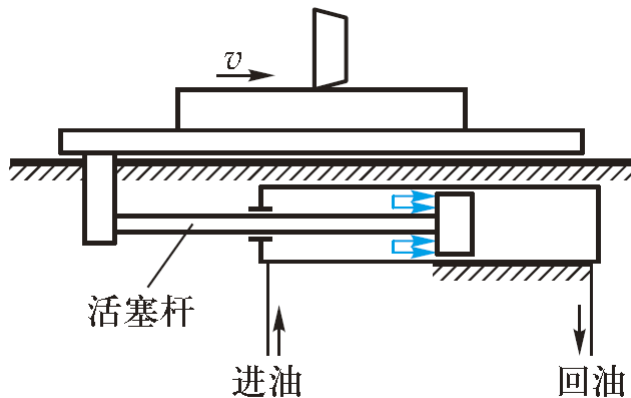




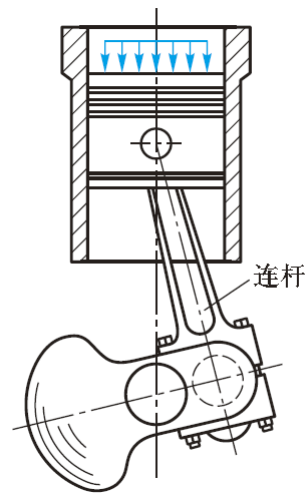
## 第二章 轴向拉伸与压缩 剪切与挤压

## § 2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例

### 工程实例（一）

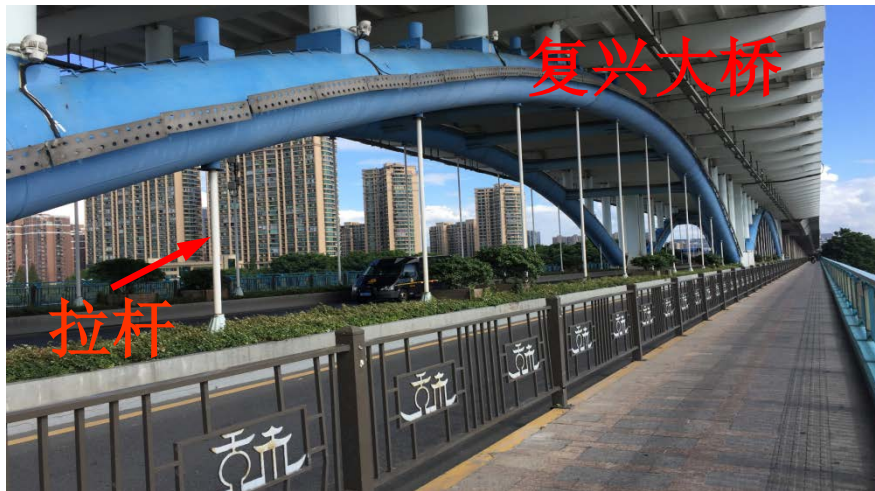


液压传动机构中的活塞杆



内燃机的连杆

## 工程实例（二）





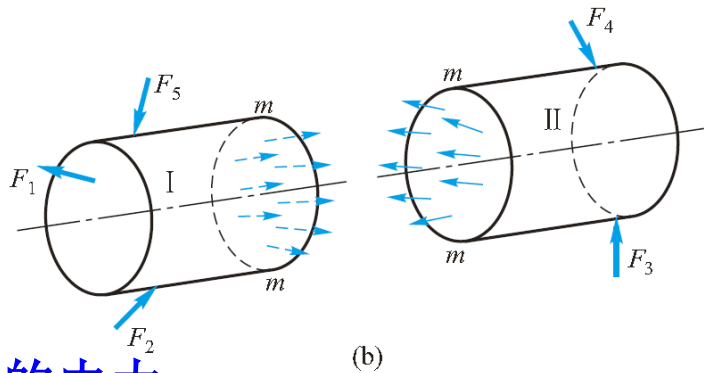
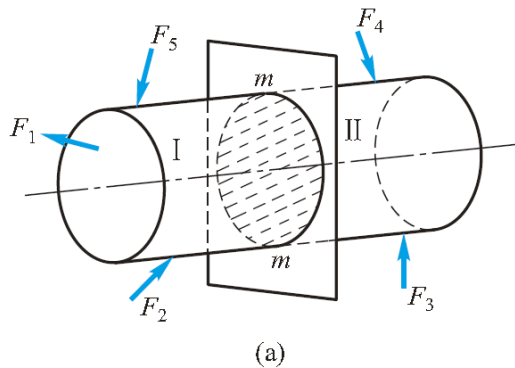
# 内力和截面法

**内力**：物体因受外力作用变形，其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用即是**内力**。

内力的确定方法 — **截面法**

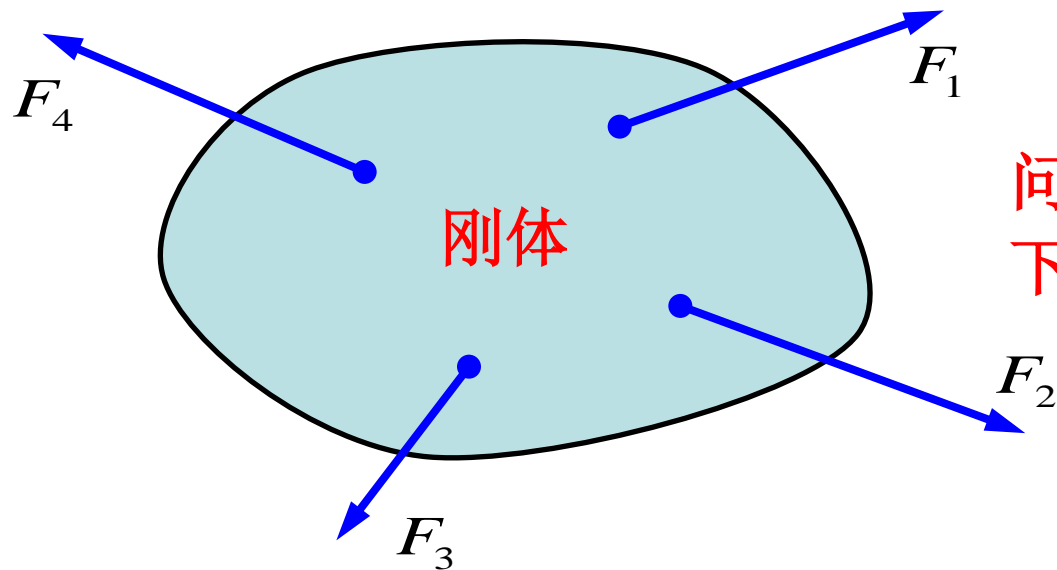
截面法的三个步骤：

1. **截开**：在需要求内力的截面处，假想地将杆截分为两部分；
2. **代替**：将两部分的任一部分留下（一般将简单易求部分留下），把弃去部分对留下部分的作用代之以作用在截开面上的内力（力或力偶）；
3. **平衡**：对留下部分建立平衡方程，求出未知的内力。



# 刚体的平衡条件的回顾

## 一、刚体的平衡条件（平面一般力系）：



问：刚体在什么条件下处于平衡状态？

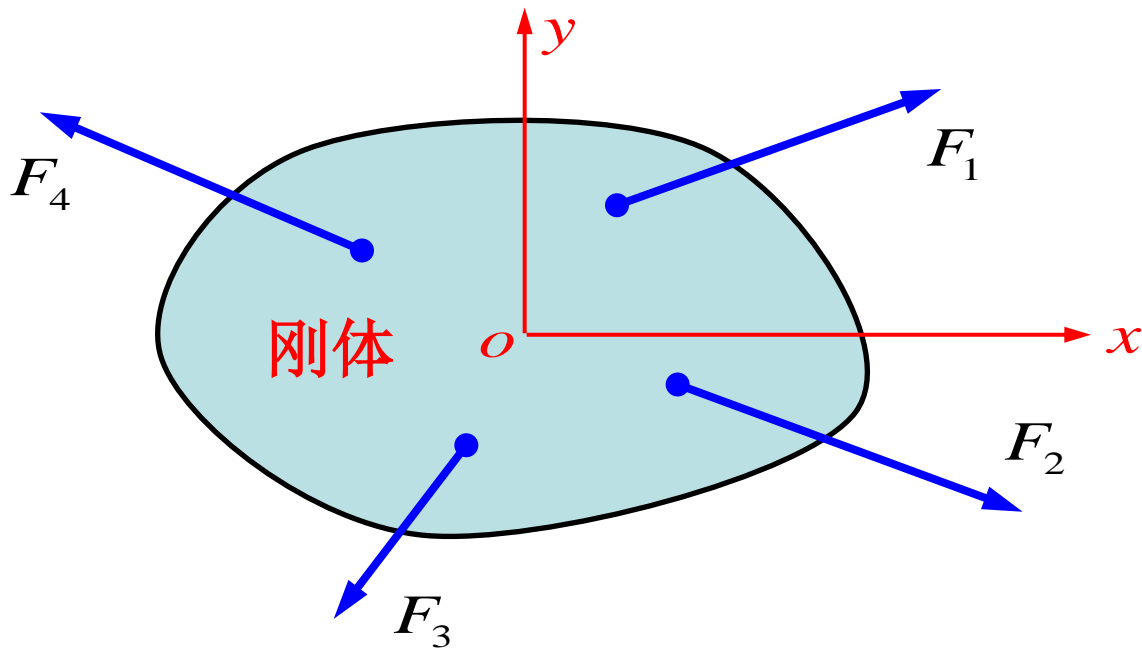
平衡条件: 力系的**主矢**和对作用面内任意一点的**主矩**都等于零。

## 平面一般力系的平衡方程式(1):

$$\sum F_x = 0;$$

$$\sum F_y = 0;$$

$$\sum M_o = 0.$$

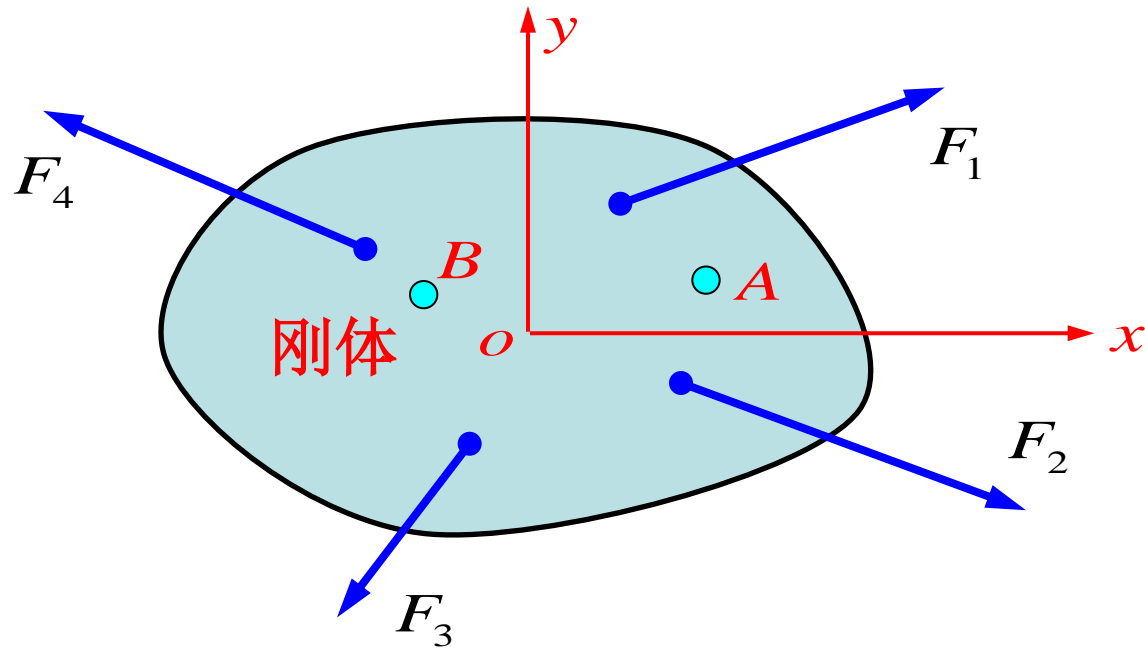


## 平面一般力系的平衡方程式(2):

$$\sum F_x = 0;$$

$$\sum M_A = 0;$$

$$\sum M_B = 0.$$





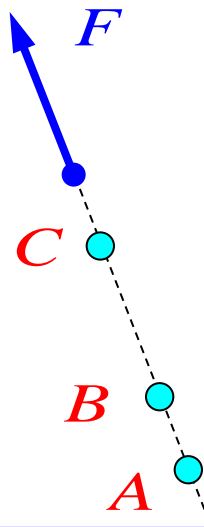
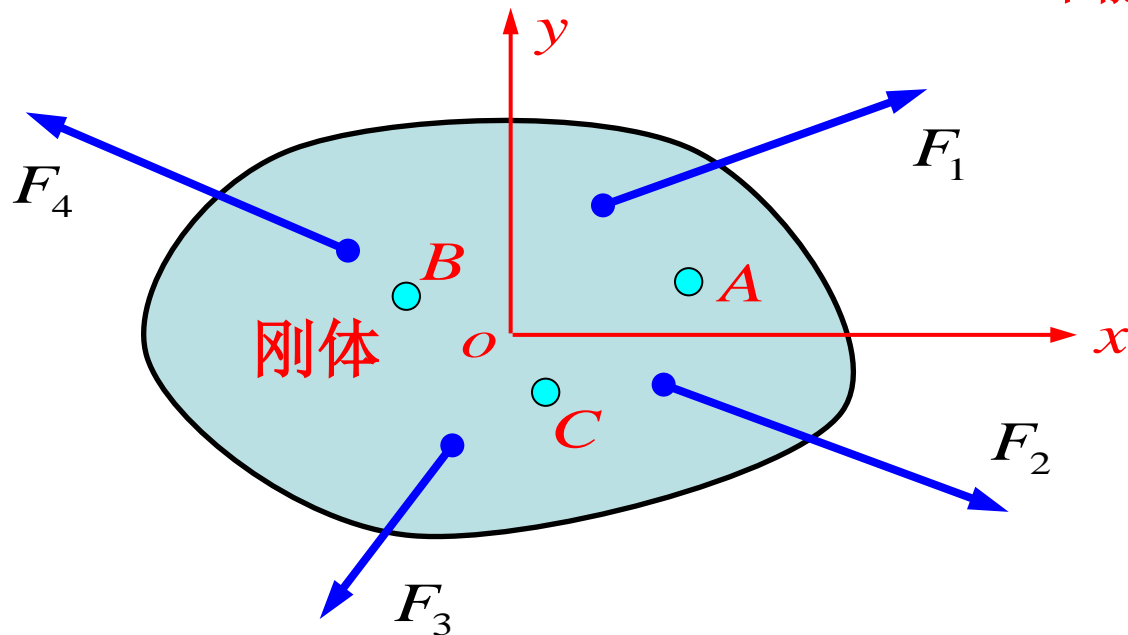
## 平面一般力系的平衡方程式(3):

$$\sum M_A = 0;$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$\sum M_C = 0.$$

A、B、C 三点  
不能共线!

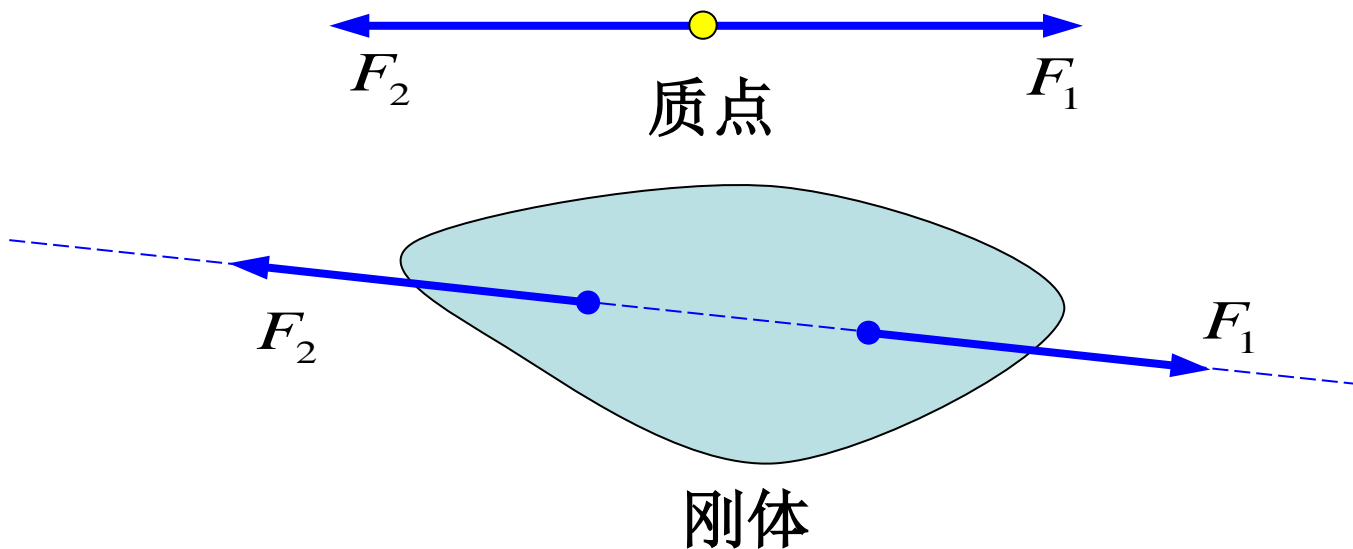


若A、B、C共线，满足  
所有三个力矩等于零的  
方程，但不平衡，存在  
主矢不为零!

## 几种特殊情形力系的平衡条件：

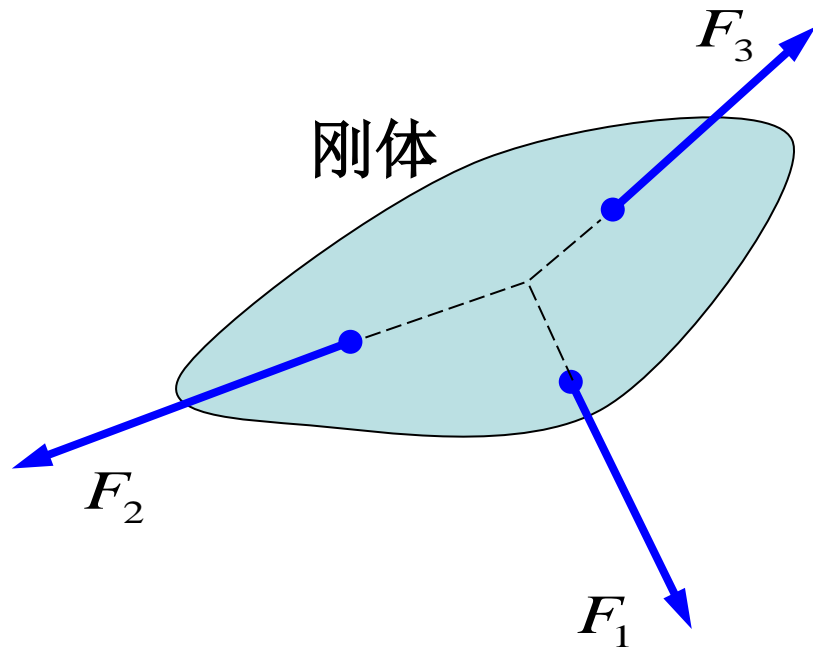
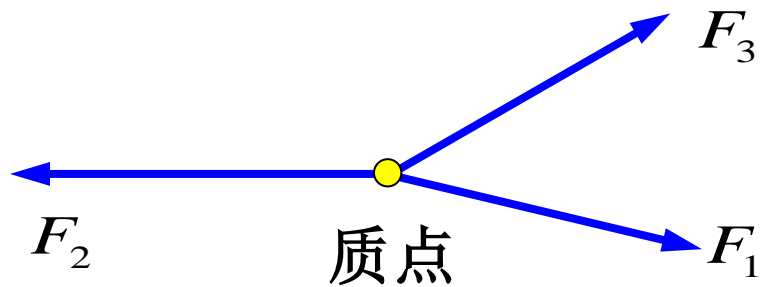
### 1. 二力平衡

大小相等，方向相反，作用于同一条直线上。



## 2. 汇交力系

力系的主矢等于零。



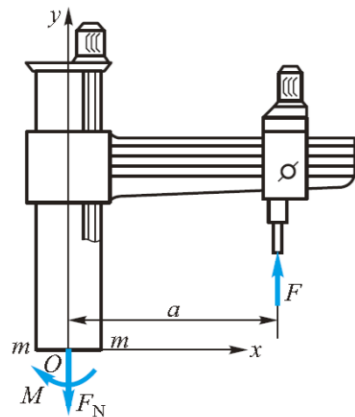
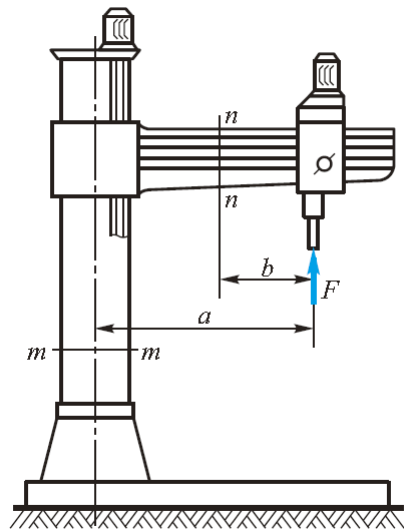
例2 钻床如图所示，在载荷 $F$ 作用下，试求： $m-m$ 截面上的内力。

解：用截面 $m-m$ 假想地将钻床分成两部分，取 $m-m$ 截面以上部分进行研究，如（图b）

列出平衡方程：

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F - F_N = 0 \Rightarrow F_N = F$$

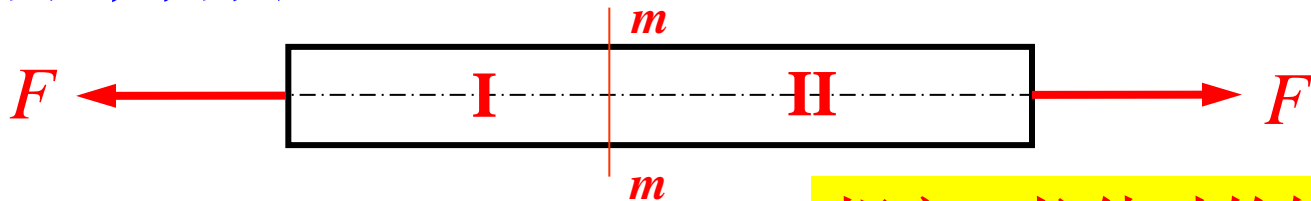
$$\sum M_O = 0 \Rightarrow Fa - M = 0 \Rightarrow M = Fa$$



(b)

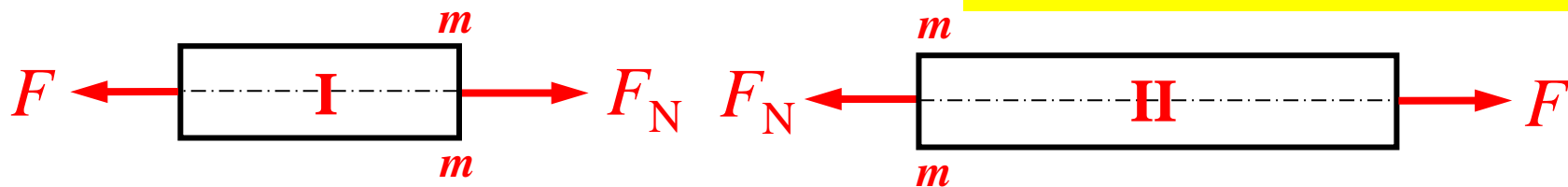
## § 2.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力和应力

### 一、轴力和轴力图



内力的求解方法：截面法

规定：拉伸时的轴力为正  
压缩时的轴力为负



$$F_N = F$$

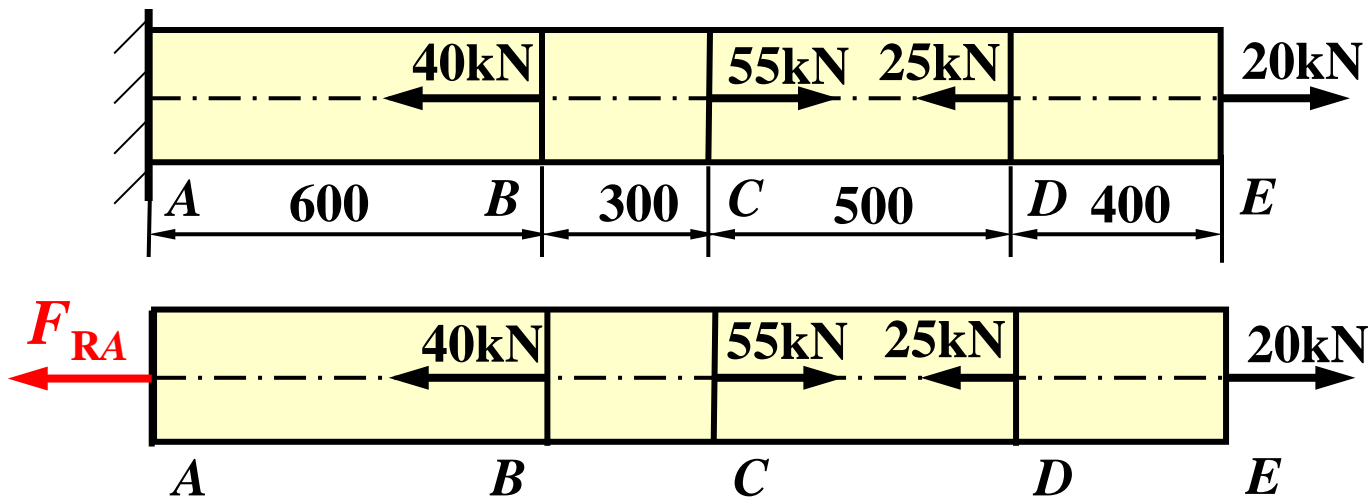
$$F_N = F$$

$F_N$  为杆件  $m$ - $m$  截面上的内力，其作用线与杆的轴线重合。

这种内力称为**轴力**，用  $F_N$  表示。



例3 一等直杆其受力情况如图所示，作杆的轴力图。

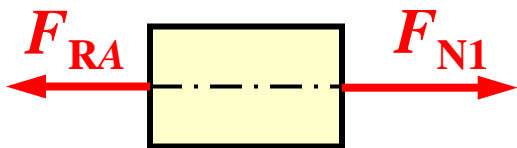
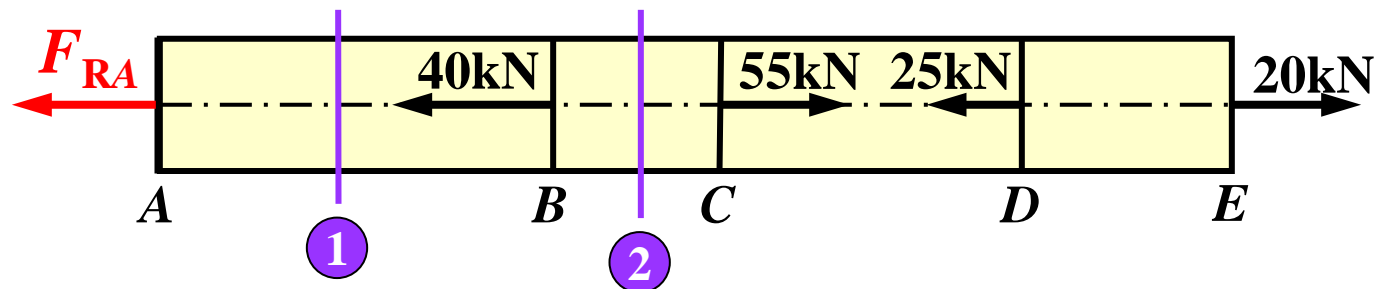


解: 先求A支座的反力（假设杆件A端受拉）

$$\Sigma F_x = 0 \quad -F_{RA} - 40 + 55 - 25 + 20 = 0$$

求得  $F_{RA} = 10 \text{ kN}$

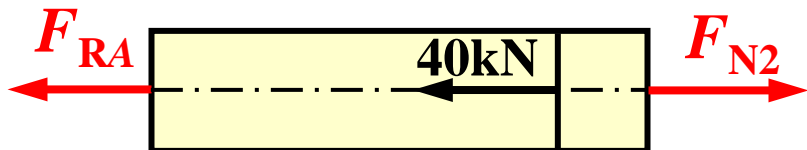
## AB段内的轴力



$$F_{N1} - F_{RA} = 0$$

$$F_{N1} = F_{RA} = +10 \text{ kN } (+)$$

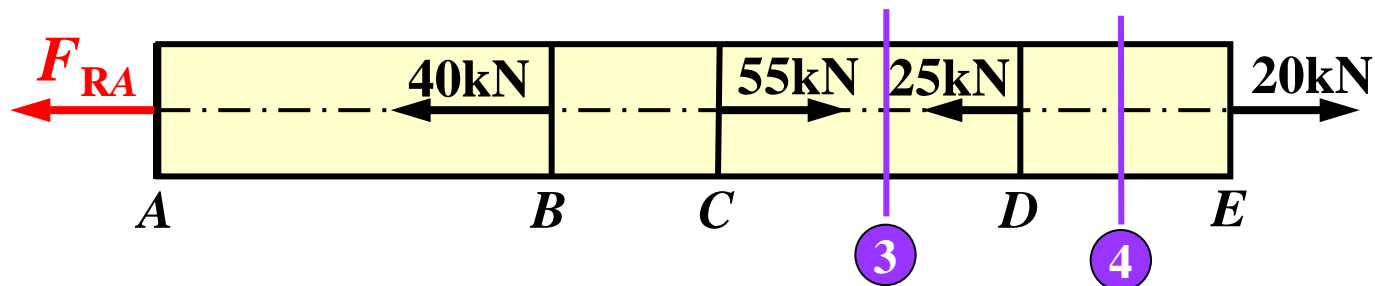
## BC段内的轴力



$$F_{N2} - F_{RA} - 40 = 0$$

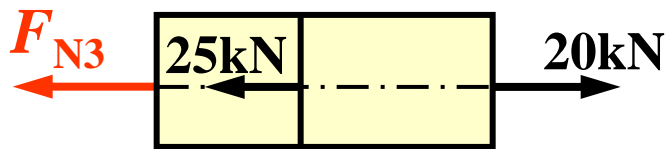
$$F_{N2} = F_{RA} + 40 = +50 \text{ kN } (+)$$

## CD段内的轴力



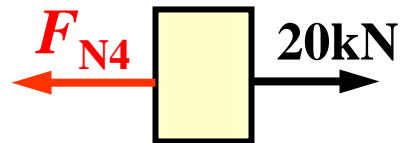
$$-F_{N3} - 25 + 20 = 0$$

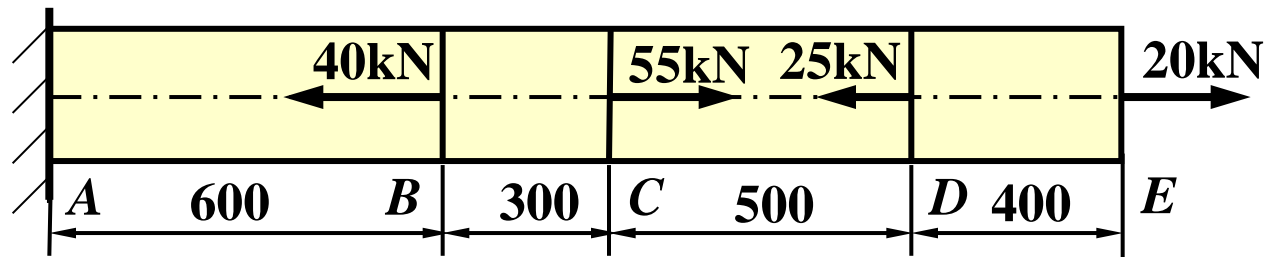
$$F_{N3} = -5\text{kN} \quad (-)$$



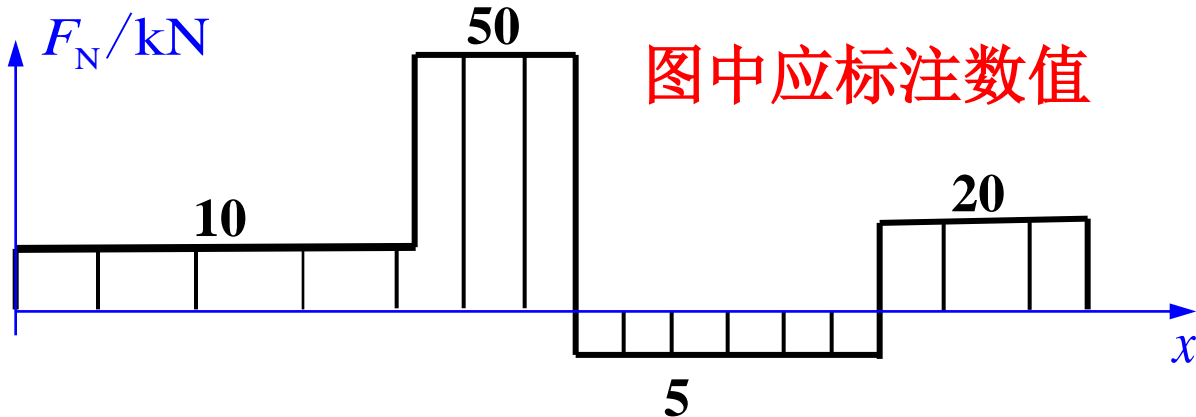
## DE段内的轴力

$$F_{N4} = +20\text{ kN} \quad (+)$$





作轴力图



图中应标注数值

$$F_{N1} = 10 \text{ kN (拉)}$$

$$F_{N2} = 50 \text{ kN (拉)}$$

$$F_{N3} = -5 \text{ kN (压)}$$

$$F_{N4} = 20 \text{ kN (拉)}$$

$$F_{N, \max} = 50 \text{ kN}$$

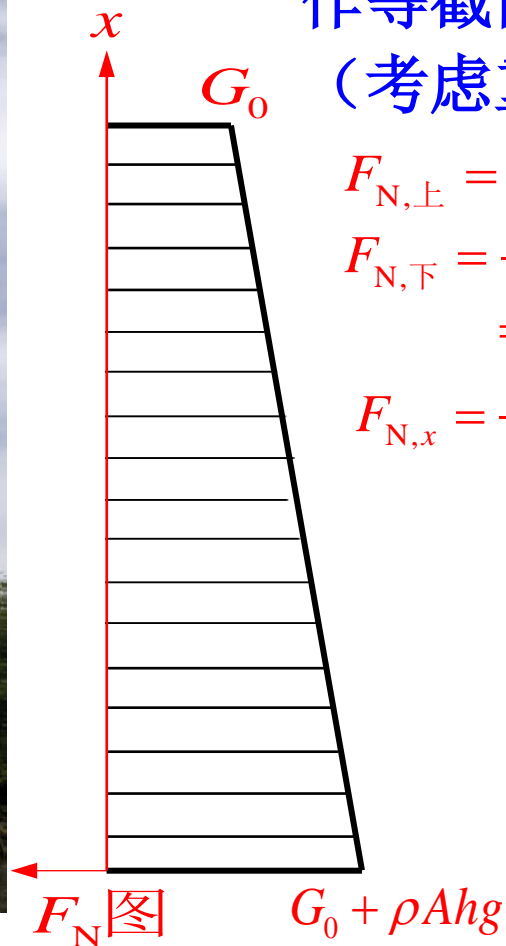
轴力图

表示轴力与截面位置关系的图线

习惯上将正值的轴力画在上侧，负值的画在下侧



## 作等截面水塔柱的轴力图 (考虑重力的作用)



$$F_{N,上} = -G_0$$

$$\begin{aligned} F_{N,下} &= -(G_0 + m_{柱}g) \\ &= -(G_0 + \rho Ahg) \end{aligned}$$

$$F_{N,x} = -[G_0 + \rho A(h-x)g]$$



# 谢谢大家！

---

下次课的内容：

拉（压）杆的应力和变形