

材料力学 (乙)

Mechanics of Materials



材料力学的主要任务

材料力学是研究构件**承载能力**的一门科学，**强度、刚度、稳定性**是衡量构件承载能力的三个方面。

材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下，为设计既经济又安全的构件，提供必要的理论基础和计算方法。

材料力学的主要任务

在满足强度、刚度和稳定性的要求下，为设计**既经济又安全**的构件，提供必要的理论基础和计算方法。



材料力学的主要任务，就是要在安全性的前提下，寻求最大的经济性。

§1.2 变形固体的基本假设

变形固体 (deformable solids)：构件是由固体材料制成，在外力作用下，**固体**将发生变形，故称为变形固体。

工程实际中使用的材料各不相同：大类可分为**金属**和**非金属**。近年来，**高分子材料 (polymer)** 在工程中得到越来越广泛地应用。



橡胶



泡沫



塑料



有机玻璃

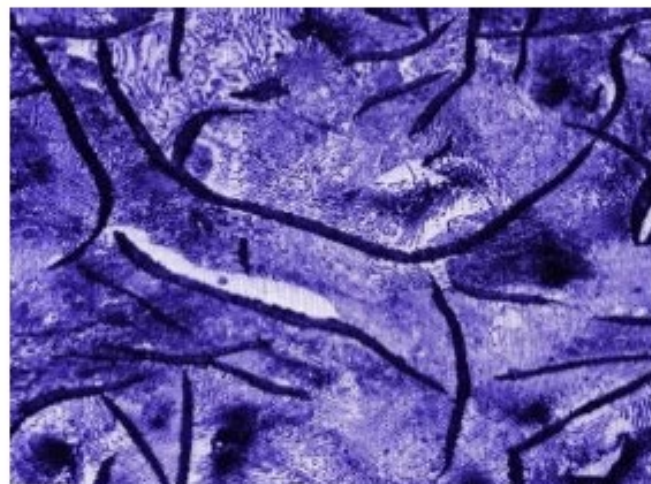
材料的物质结构均有不同程度的空隙，并可能存在气孔、杂质等缺陷。

§1.2 变形固体的基本假设

灰口铸铁与球墨铸铁

- 灰口铸铁：断口呈灰色，简称**灰铁**。凝固时收缩量小，抗压强度和硬度接近碳素钢，减震性好。用于制造机床床身、汽缸等结构件。

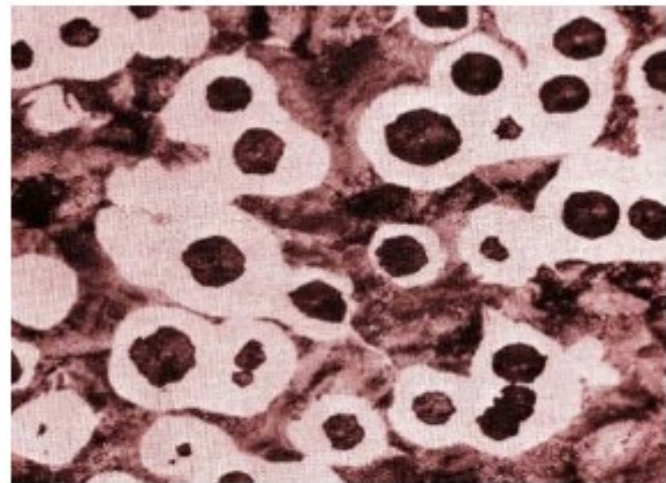
主要以片状石墨形态存在



灰口铸铁的显微组织

- 球墨铸铁：将灰口铸铁铁水经球化处理获得。比普通灰口铸铁有较高强度、较好韧性和塑性。用于制造内燃机、汽车零部件及农机具等。

球状，简称球铁



球墨铸铁的显微组织

§1.2 变形固体的基本假设

- 对于可变形固体制成的构件，进行力学分析时，通常需略去一些次要因素，将它们抽象为理想化材料。

材料力学中一般对变形固体有四个基本假设



连续性假设

均匀性假设

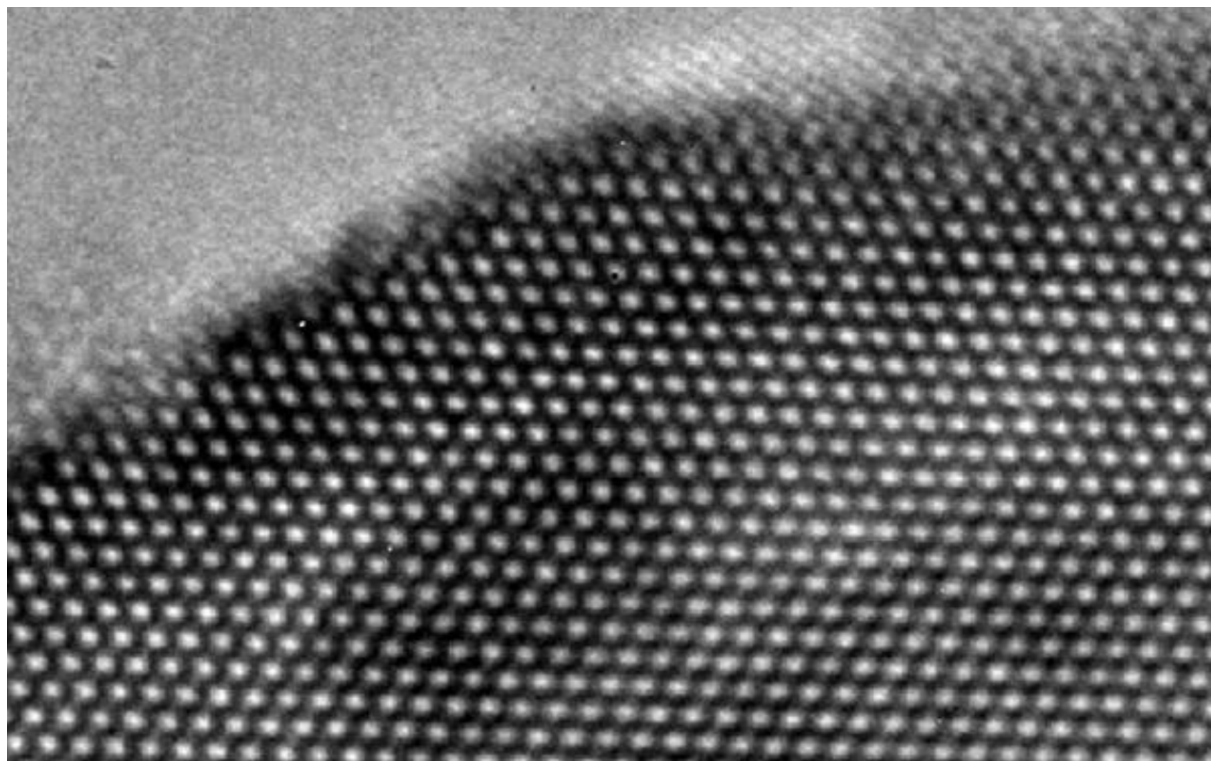
各向同性假设

小变形与线
弹性范围假设

§1.2 变形固体的基本假设

1、连续性假设 (continuity)

认为整个物体体积内毫无空隙地充满物质，结构是密实的，变形后仍保持连续。



原子尺度

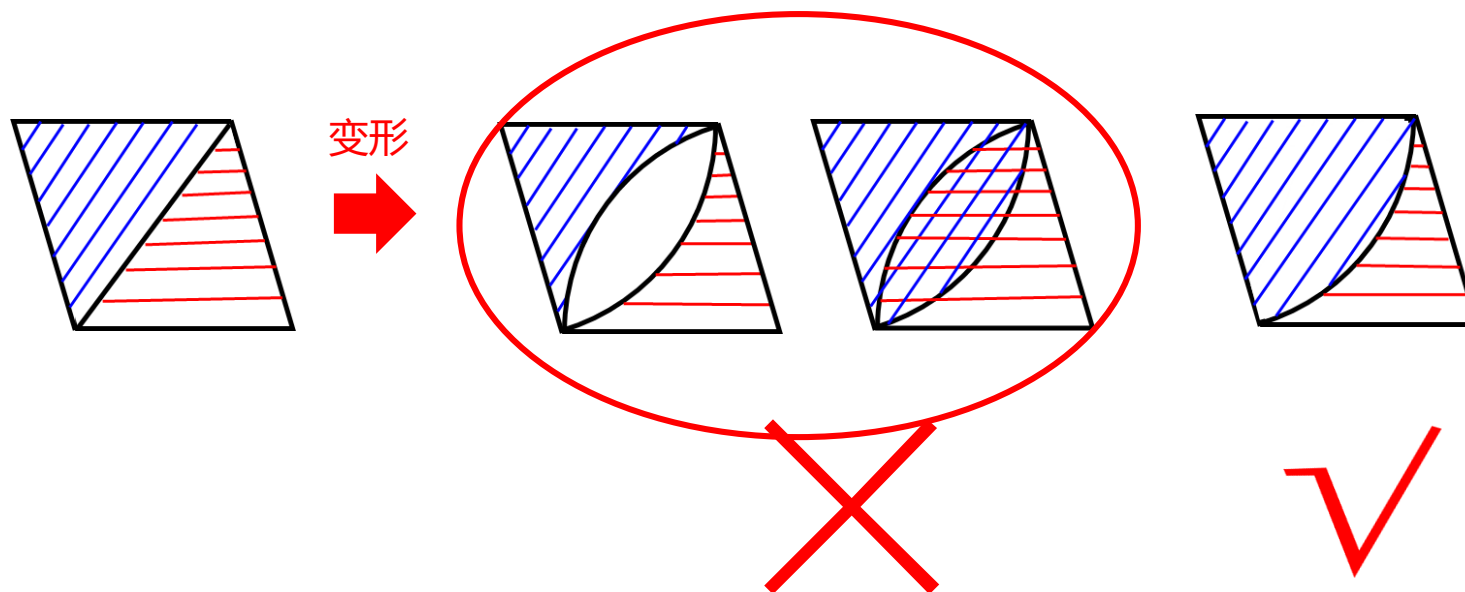


宏观尺度

§1.2 变形固体的基本假设

1、连续性假设 (continuity)

认为整个物体体积内毫无空隙地充满物质，结构是密实的，变形后仍保持连续。



§1.2 变形固体的基本假设

2、均匀性假设 (homogeneity)

认为物体内的任何部分，其力学性能相同，即物体任一点处取出的体积单元，均能代表整个物体的力学性能。

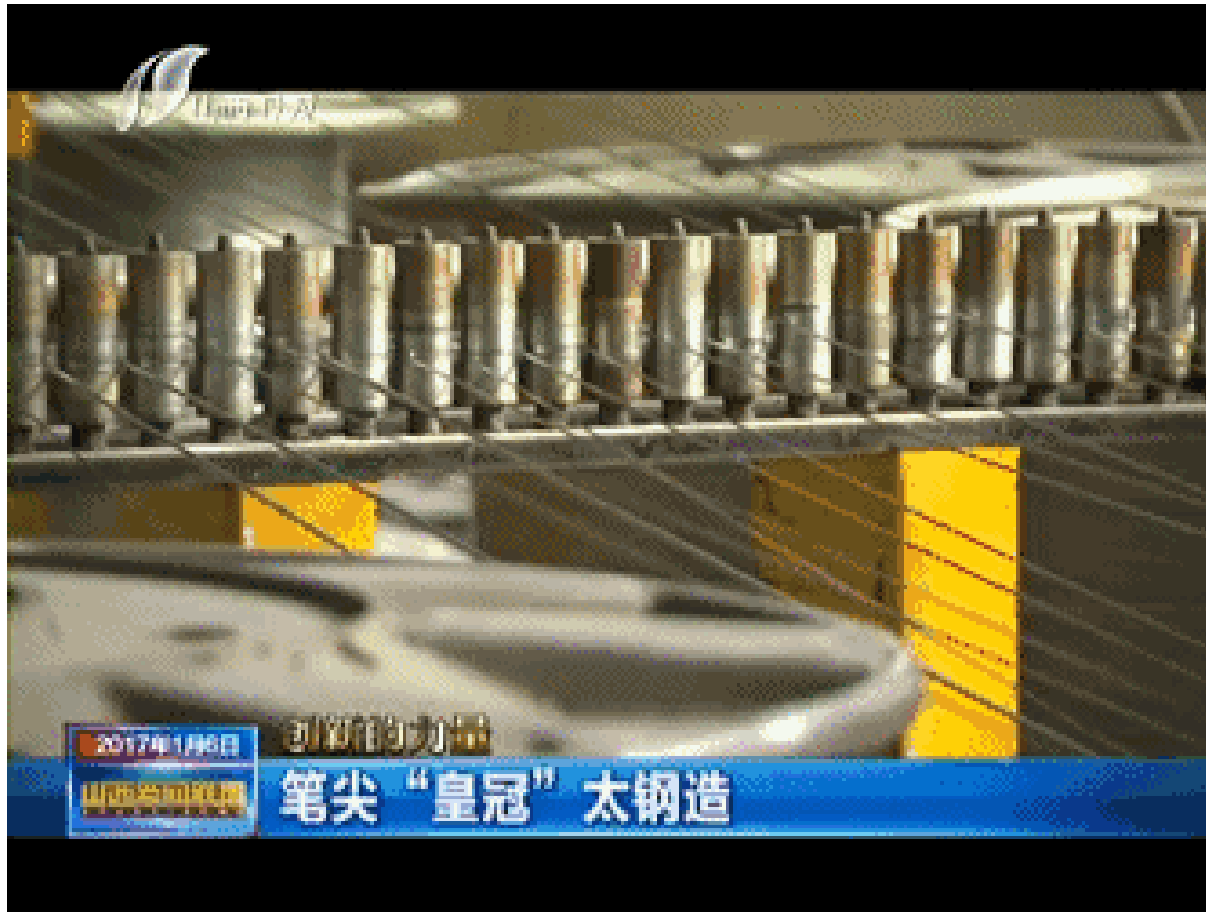
中国为什么造不出圆珠笔头？

如果不是李克强总理说出来，估计好多人都不知道。3000多家制笔企业、**年产圆珠笔400多亿支**，中国已经成为当之无愧的制笔大国，但是，小小的圆珠笔头却需要进口。中国**每年需要进口1000多吨生产笔尖的钢材**，付出**外汇1500万美元**。作为世界制造业大国和钢铁大国，我们造得出高铁和航天飞船，为何却无法实现小小圆珠笔头的完全自主研发和生产？



§1.2 变形固体的基本假设

2、均匀性假设 (homogeneity)



§1.2 变形固体的基本假设

3、各向同性假设 (isotropic)

认为在物体各个不同方向的力学性能相同。

各向异性 (anisotropic) 材料：沿不同方向力学性能不同的材料。如石墨、木材、胶合板、纤维增强材料等

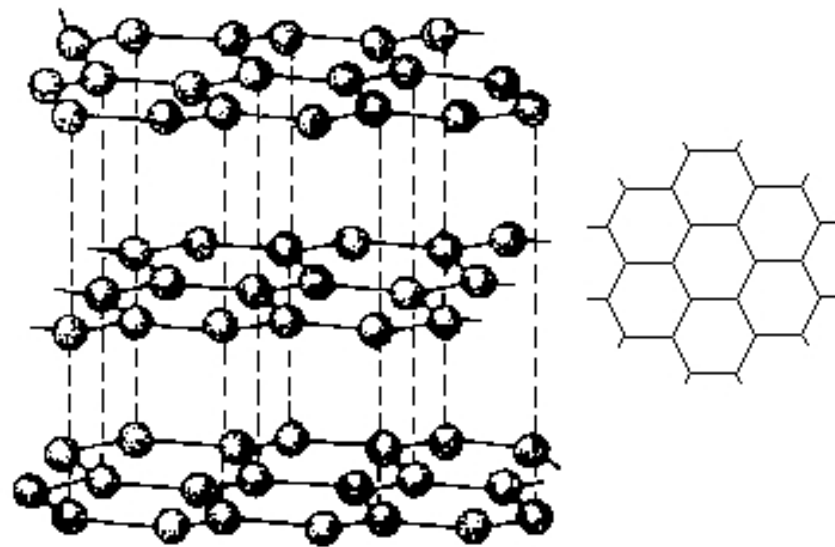


§1.2 变形固体的基本假设

均匀性与各向同性的区别

均匀性：各个**点**性质一样。

各向同性：各个**方向**性质一样。



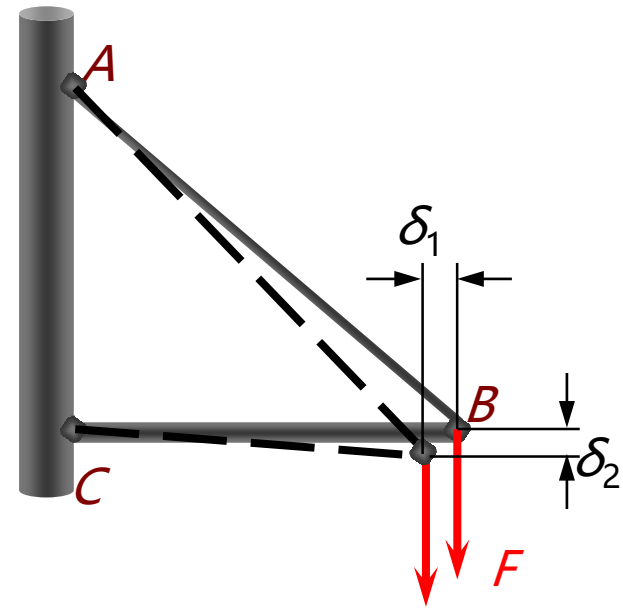
石墨是**均匀**的**非各向同性**（各向异性）材料

§1.2 变形固体的基本假设

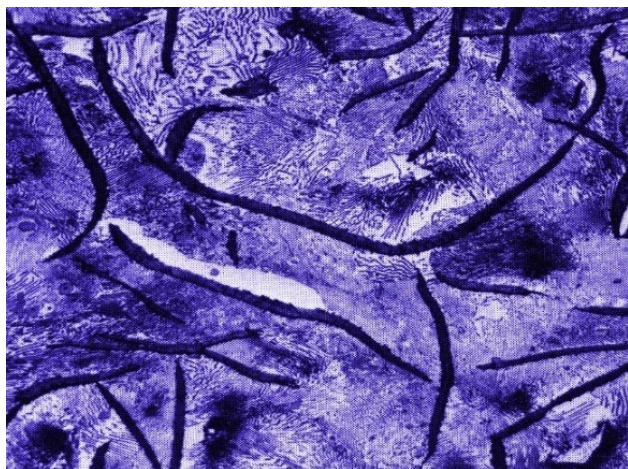
4、小变形与线弹性范围假设

认为构件的变形极其微小，比构件本身尺寸要小得多，因此在研究构件的平衡和运动时按变形前的原始尺寸进行计算，以保证问题在几何上是线性的。

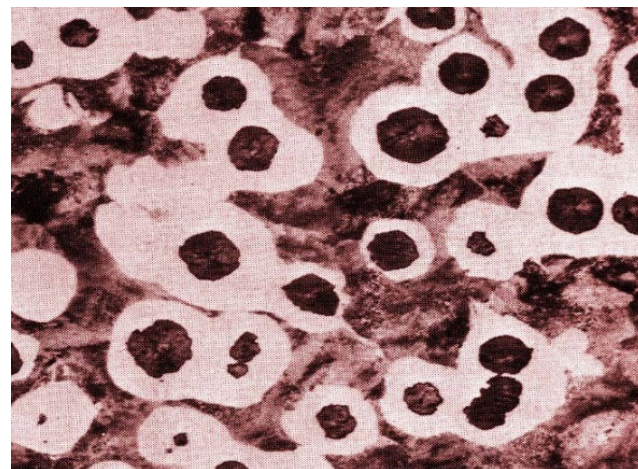
如右图， δ 远小于构件的初始尺寸，所以通过节点平衡求各杆内力时，把支架的变形略去不计。计算得到很大的简化。



§1.2 变形固体的基本假设



灰口铸铁的显微组织



球墨铸铁的显微组织

真实的材料，在显微镜下观察，一般都是不均匀、不连续、非各向同性的。
但是**宏观**上，我们需要近似地做出这四个基本假设。

§1.2 变形固体的基本假设

为什么需要这些基本假设？

- 材料满足连续性，材料力学就可以被建立在微积分这个强大的数学基础之上。（断裂力学）
- 材料满足均匀性和各向同性，材料力学的理论才可以变得最简单。
- 材料满足小变形和线弹性范围，材料力学的计算才可以变得最简化（基于变形前的几何关系，胡克定律）。

材料力学是研究构件承受**外力**能力的一门科学，**强度、**

刚度和稳定性是衡量构件承受能力的三个方面



§1.3 外力及其分类

外力 (external forces)：来自构件**外部**的力（载荷、约束反力）。

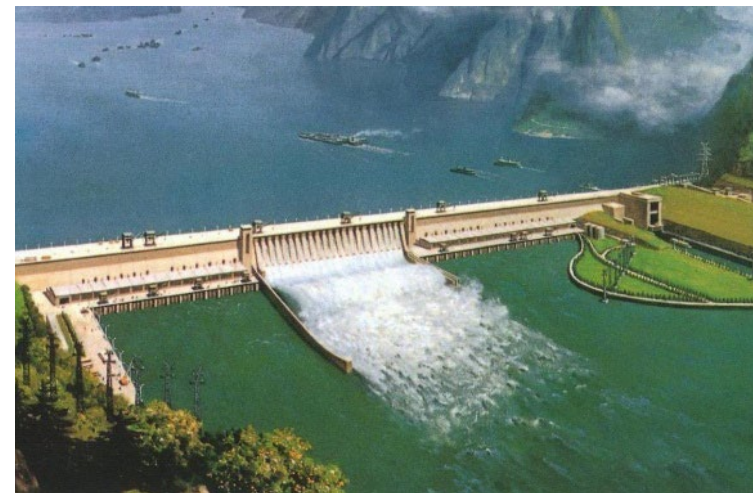
按外力作用的方式分类：

体积力：连续分布于物体**内部各点**的力。如重力和惯性力。

表面力：

分布力：连续分布于物体**表面**上的力。

集中力：若外力作用面积远小于物体表面的尺寸，
可作为**作用于一点**的集中力。



§1.3 外力及其分类

外力 (external forces) : 来自构件**外部**的力 (载荷和反力)。

按外力与时间的关系分类:

静载荷: 载荷**缓慢**地由零增加到某一定值后, 就保持不变的载荷。

缓慢: 不使物体产生加速度和惯性力。

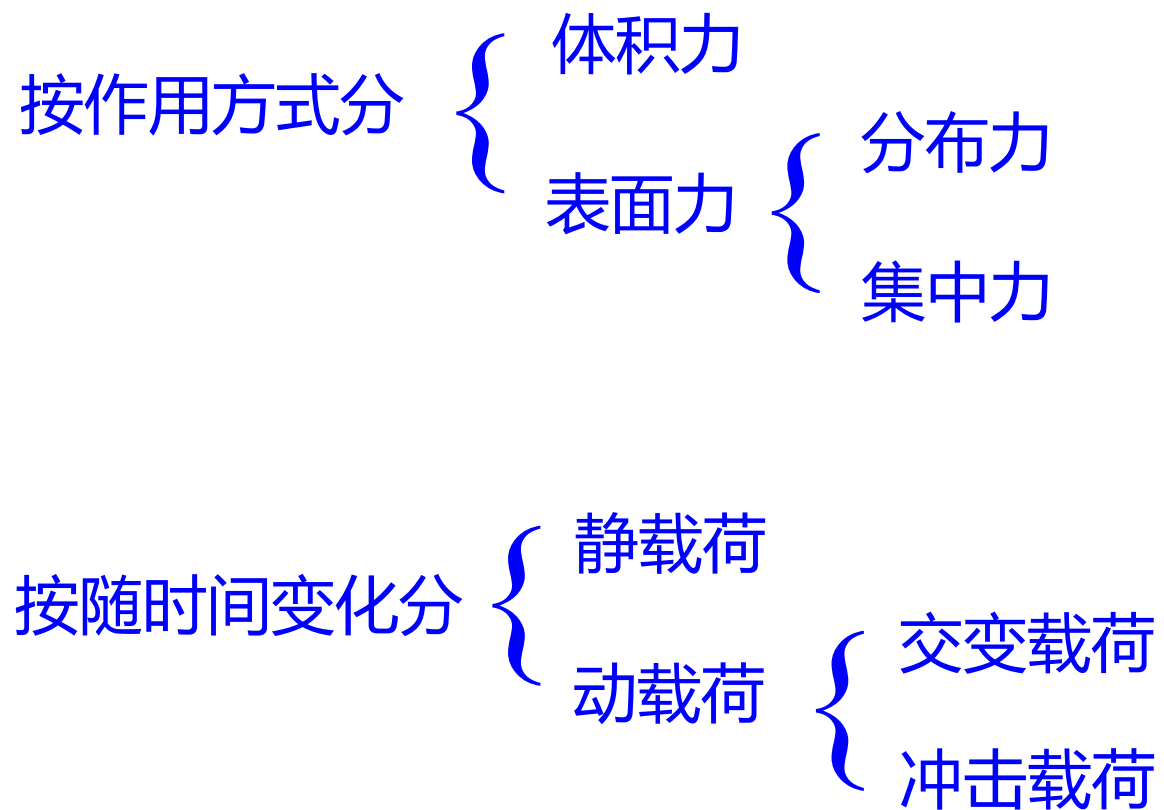
动载荷: 载荷随时间而变化。

如交变载荷和冲击载荷。



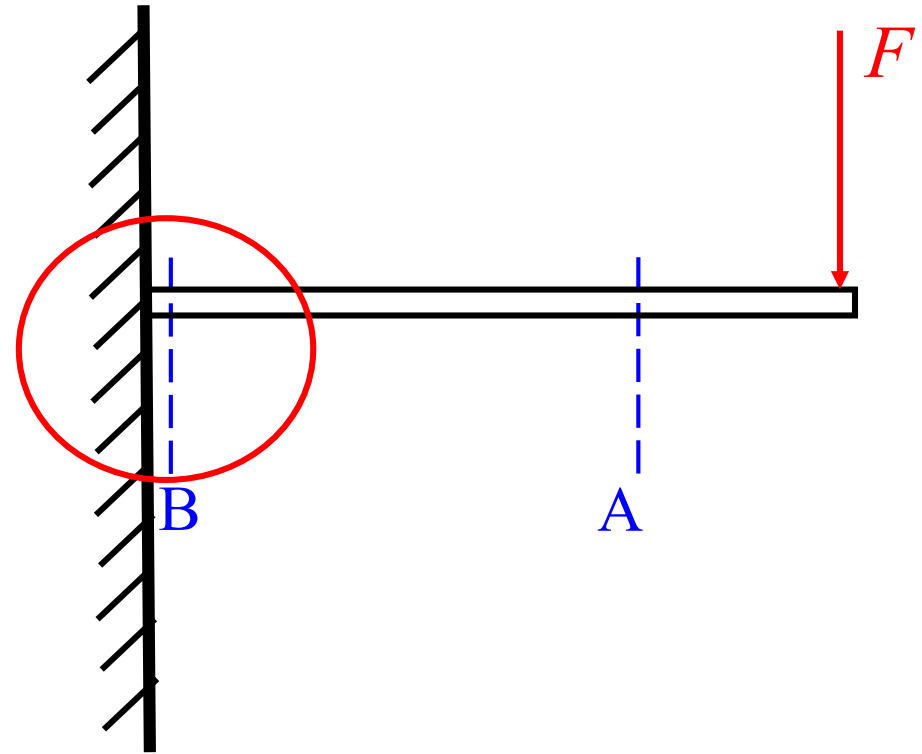
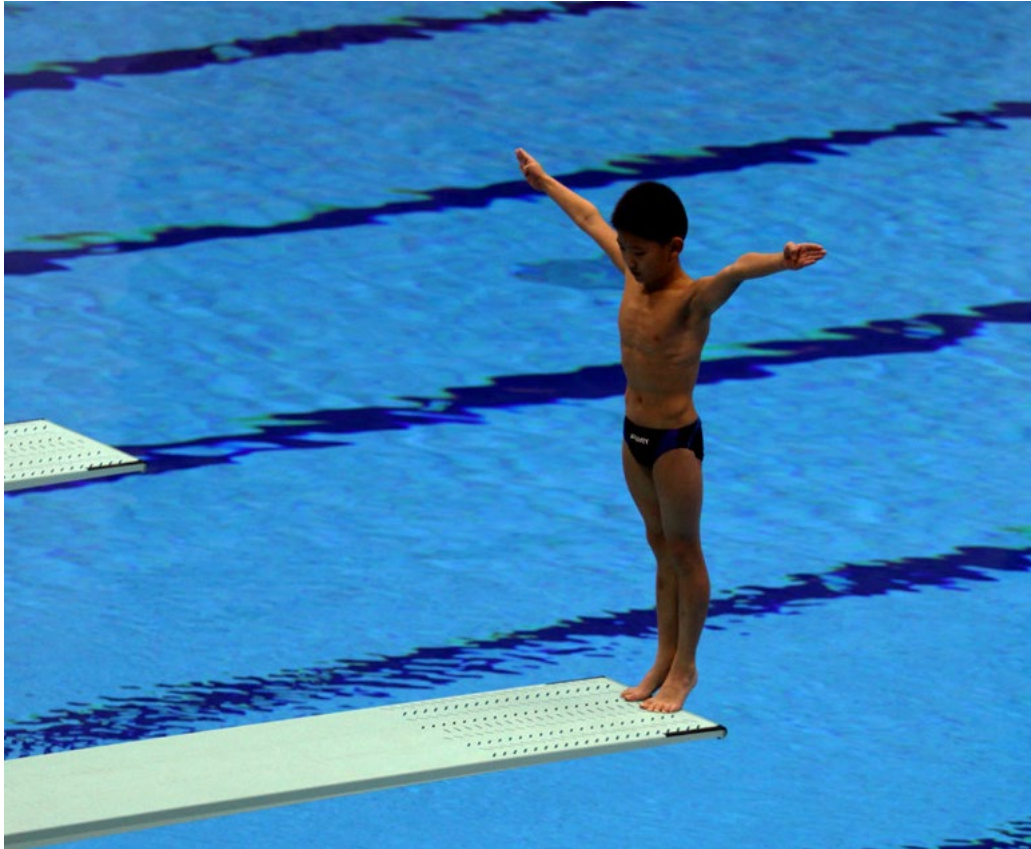
§1.3 外力及其分类

外力 (external forces) : 来自构件**外部**的力 (载荷、约束反力)。



§1.4 内力、截面法和应力的概念

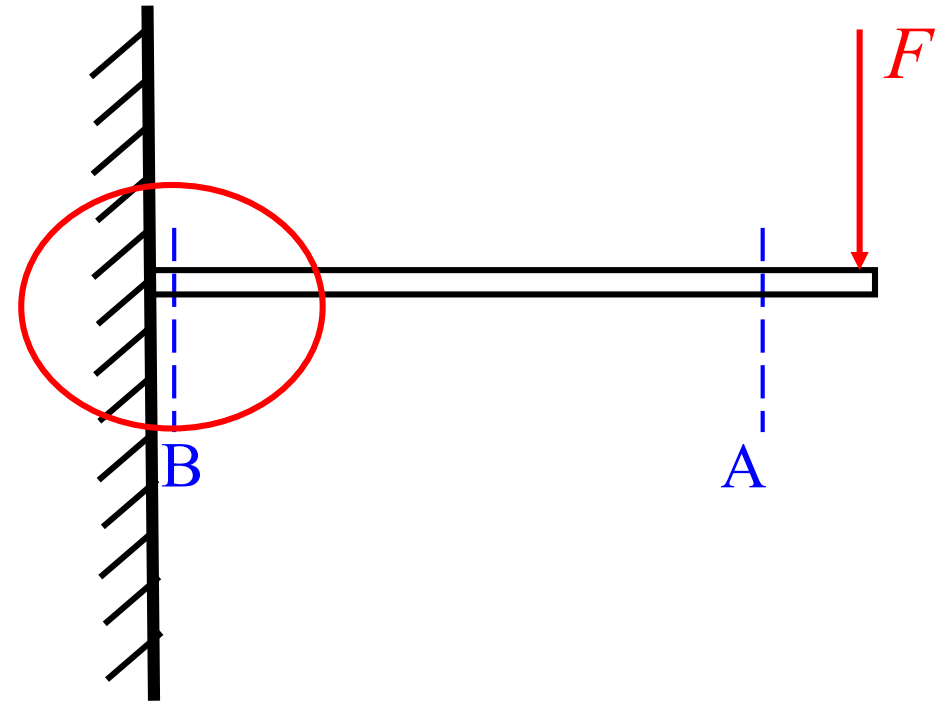
实例：跳水



如果跳板发生断裂，则更可能是出现在A处还是出现在B处？

§1.4 内力、截面法和应力的概念

实例：跳水

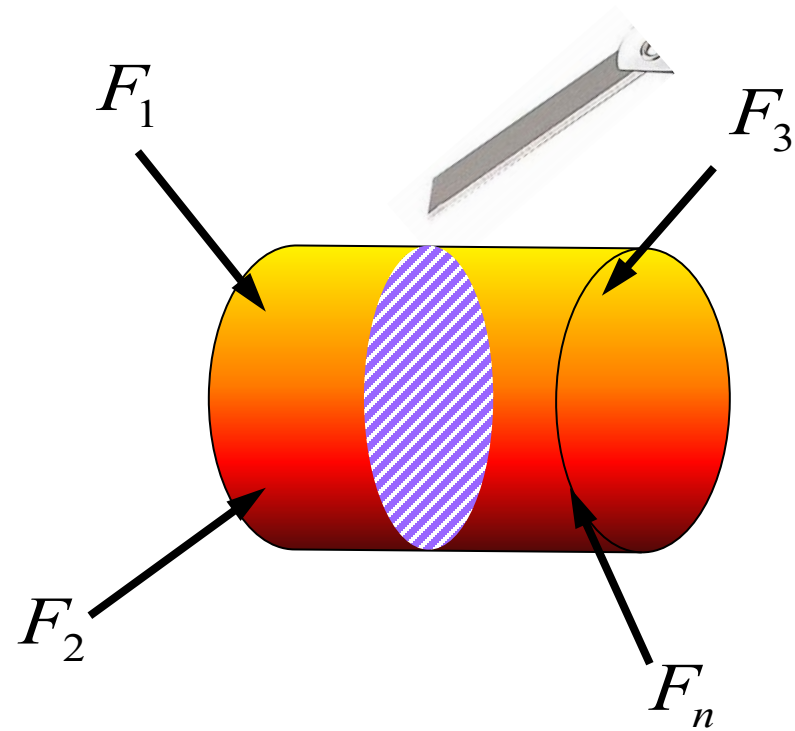


如果跳板发生断裂，则更可能是出现在A处还是出现在B处？

§1.4 内力、截面法和应力的概念

内力 (internal forces)：外力作用引起构件内部的附加相互作用力。

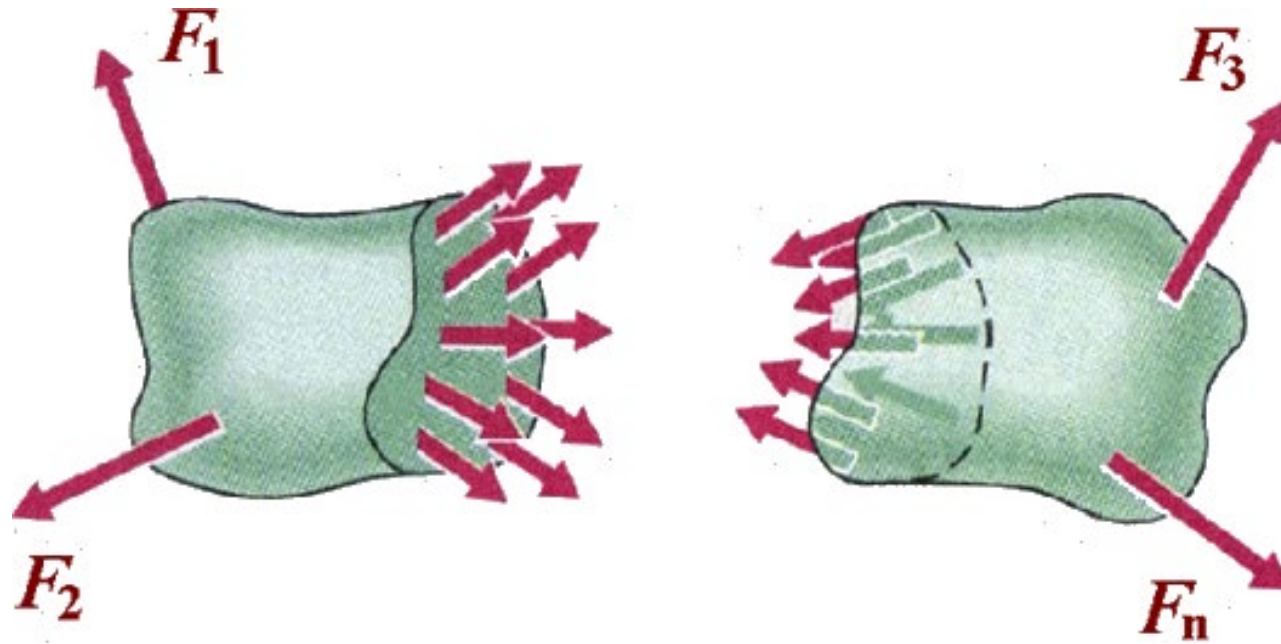
外力 → 构件内部相邻部分相对位移 → 内力



§1.4 内力、截面法和应力的概念

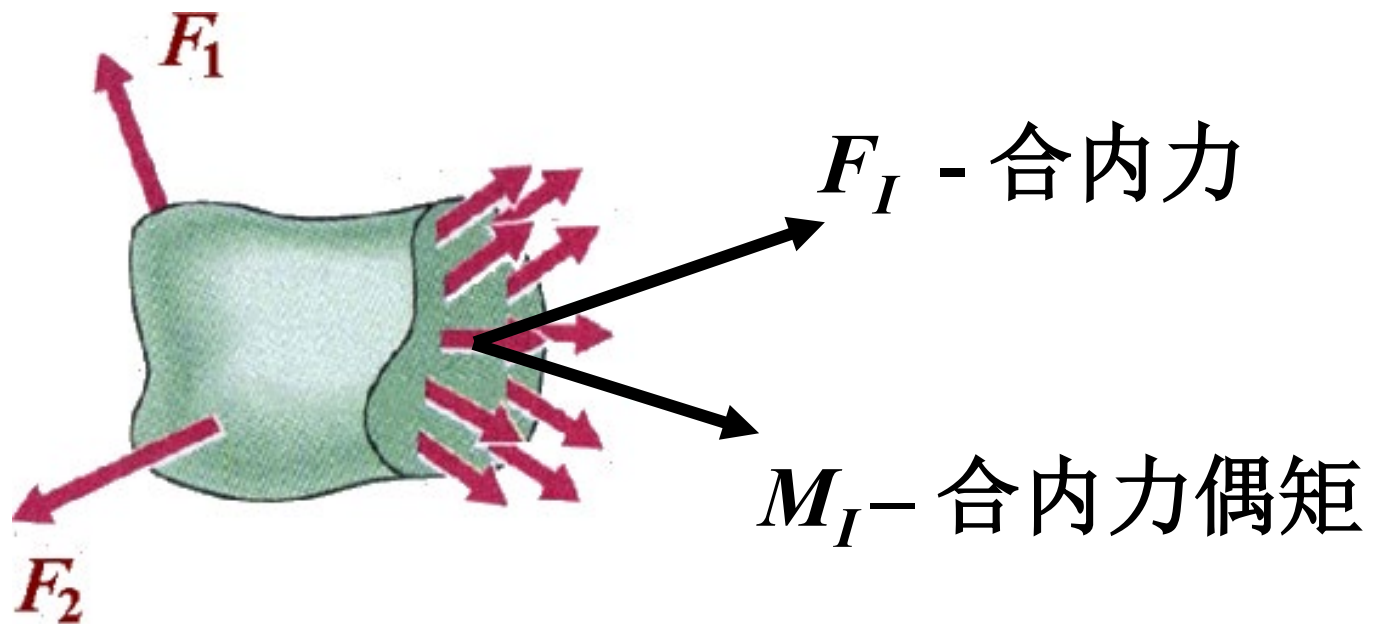
内力 (internal forces)：外力作用引起构件内部的附加相互作用力。

外力 → 构件内部相邻部分相对位移 → 内力



§1.4 内力、截面法和应力的概念

内力系简化?

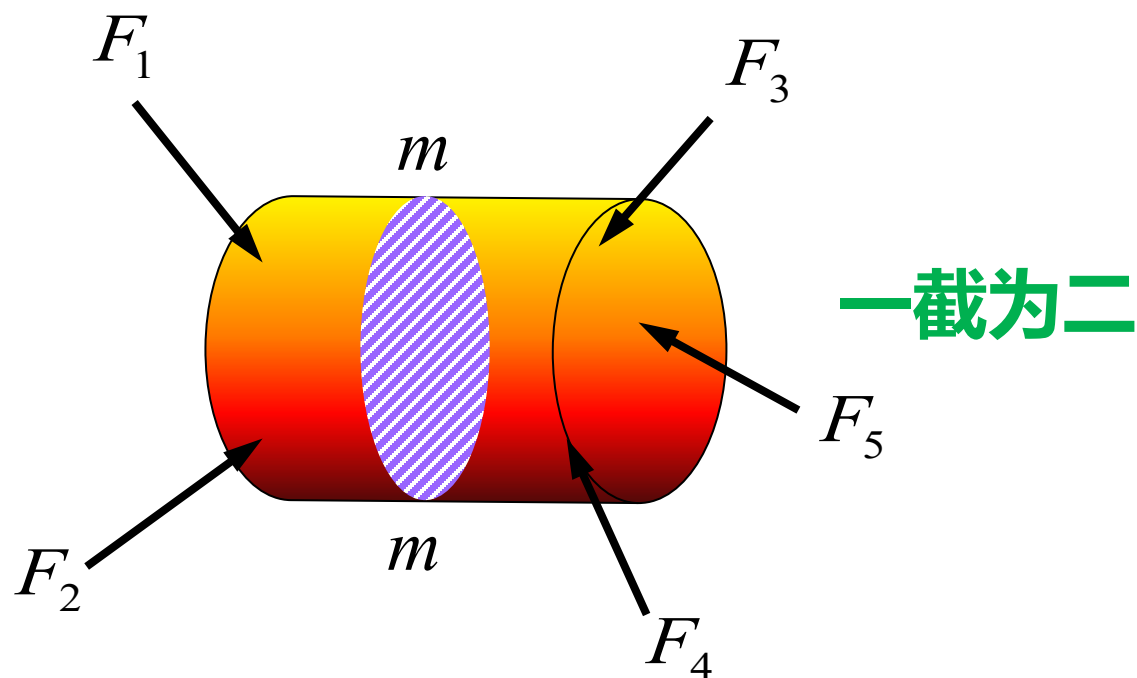


§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

截 取 代 平

1、截：在所求内力的截面处，假想地用截面 $m-m$ 将杆件一分为二。

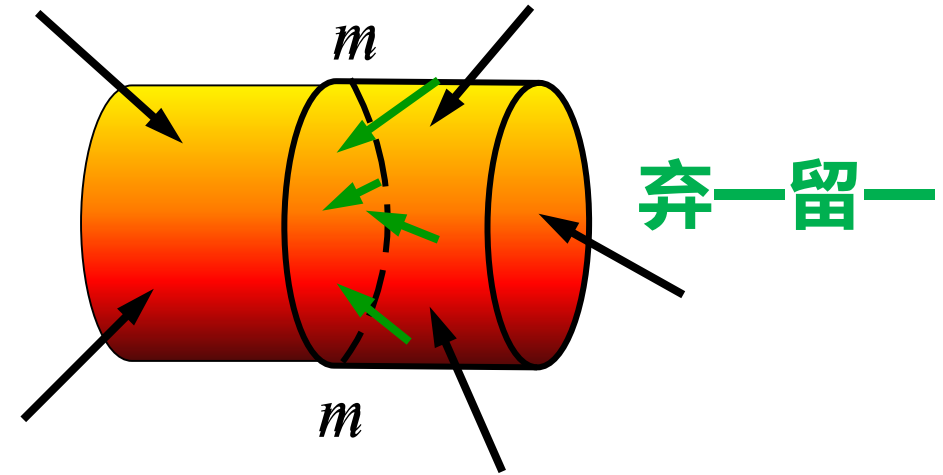


§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

截 取 代 平

2、取：任取一部分。在这里，
留下左半部分，弃去右半部分。

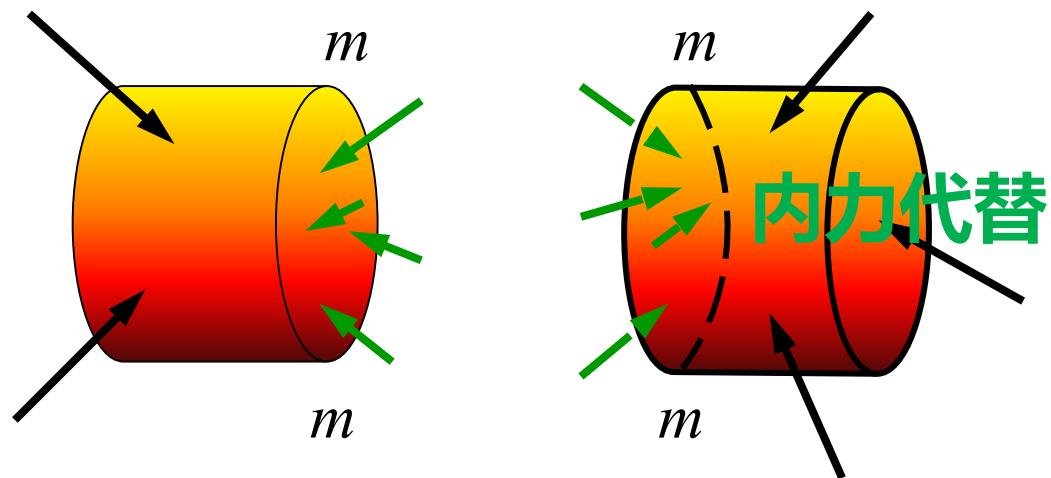


§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

截 取 代 平

3、代：弃去部分（右）对选取部分（左）的作用，用作用在截面上相应的内力（力或力偶）代替。

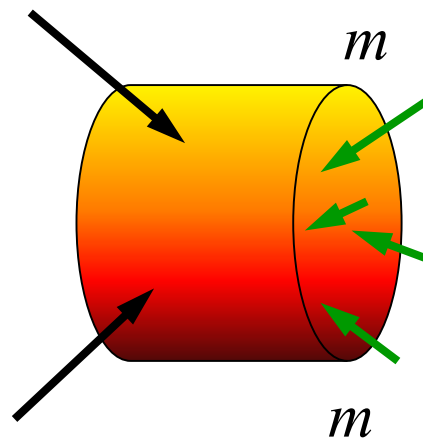


§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

截 取 代 平

4、平：对留下的部分建立平衡方程，根据其上已知外力来计算截面上的未知内力。



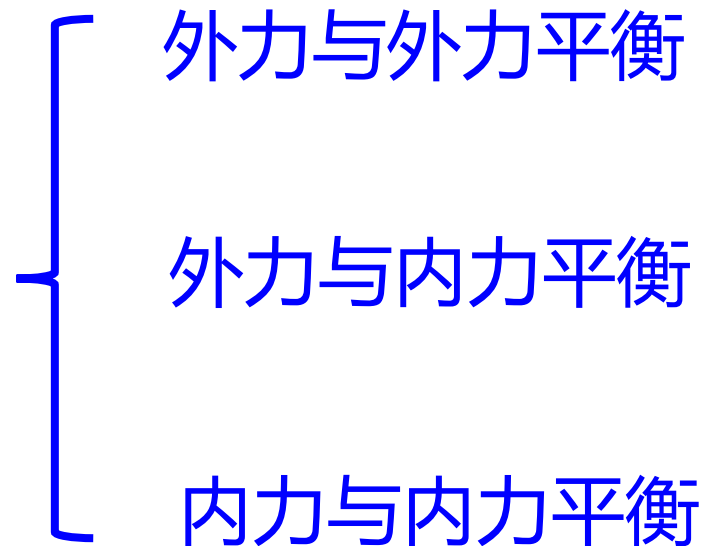
$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ \Sigma M &= 0\end{aligned}$$

平衡求力

§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

平衡条件



§1.4 内力、截面法和应力的概念

求内力的方法：截面法

例：求钻床截面 $m-m$ 上的内力。

解：用截面 $m-m$ 将钻床截为两部分，取上半部分为研究对象，

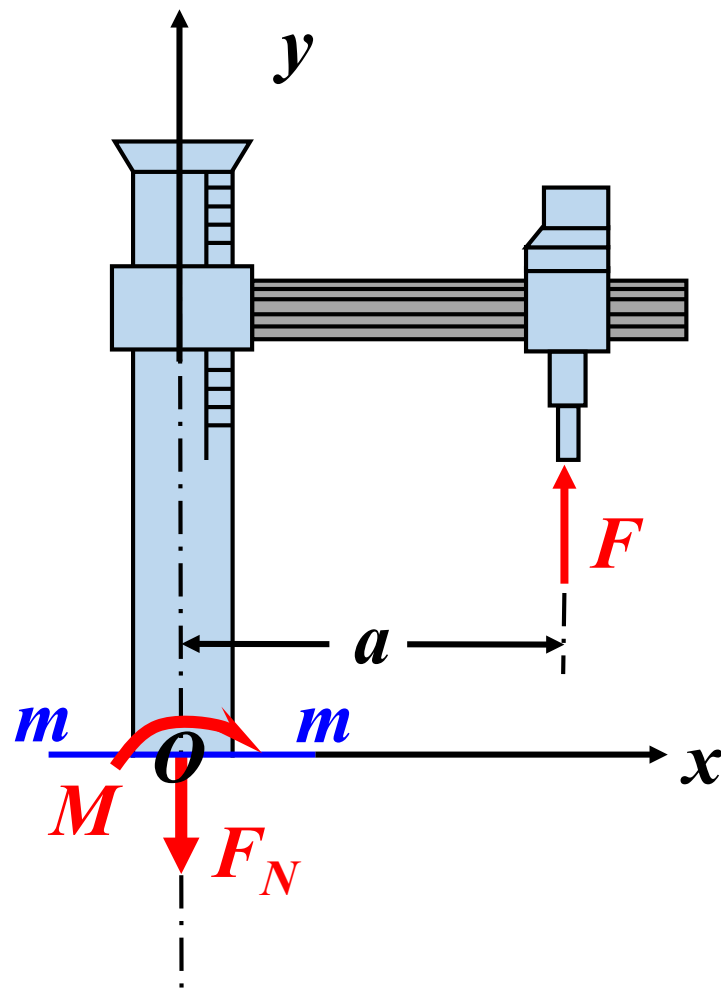
受力如图，列平衡方程：

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

$$\sum M_x = 0$$

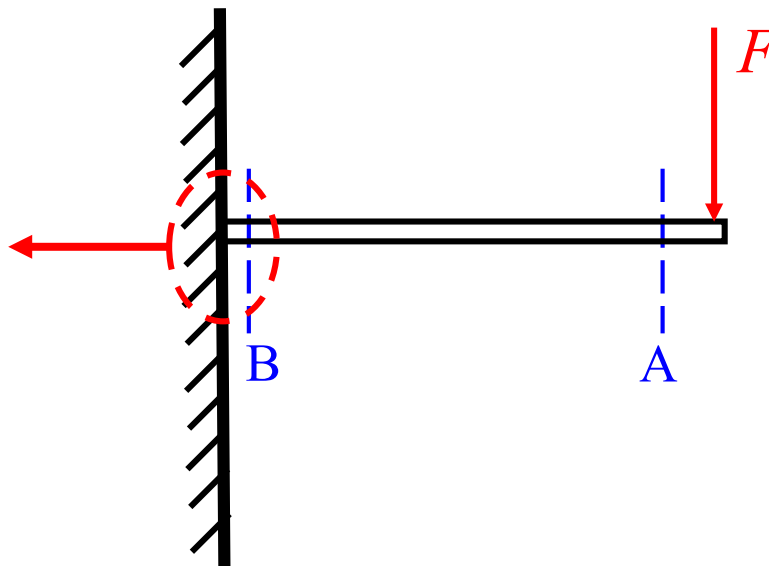
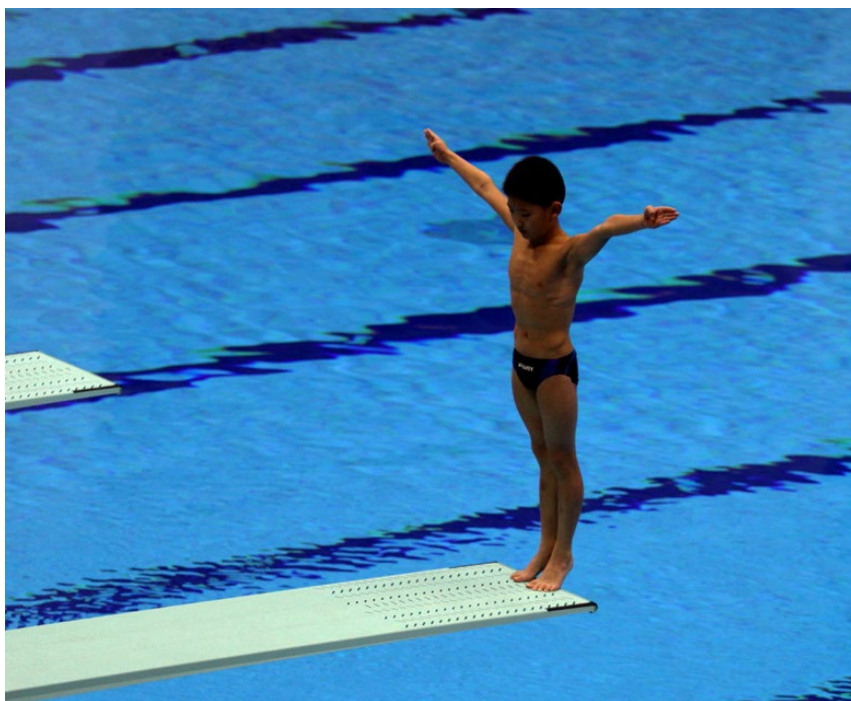
$$\Rightarrow Fa - M = 0$$

$$\Rightarrow M = Fa$$



§1.4 内力、截面法和应力的概念

应力 (stress)



C点和D点，哪一点先发生破坏？

§1.4 内力、截面法和应力的概念

为了表示内力在一点处的强度，引入内力集度。

应力（stress）：由外力引起的内力的集度。

在大多数情形下，构件的内力并非均匀分布

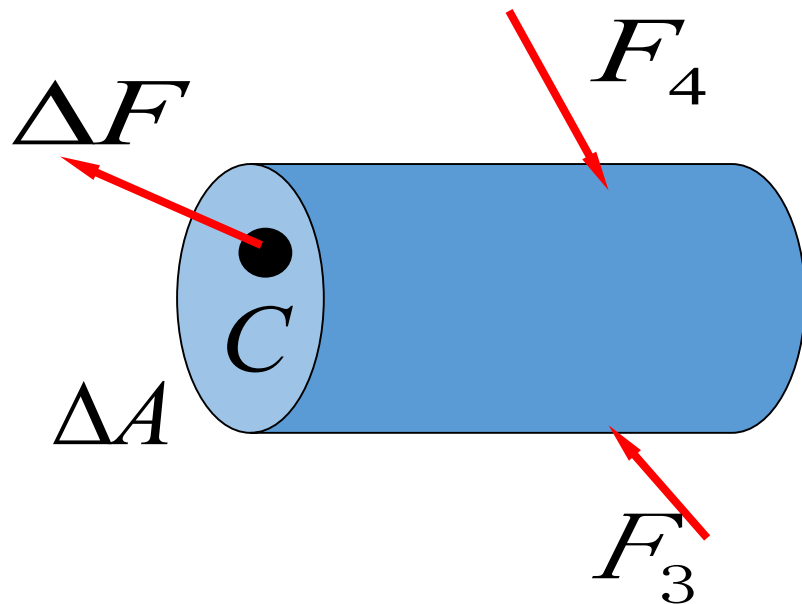
因此内力集度的定义非常重要

因为破坏或失效往往是从内力集度最大处开始的

§1.4 内力、截面法和应力的概念

应力 (stress) : 由外力引起的内力的集度

平均应力



$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

C点的应力

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

应力的国际单位为 **Pa** (帕斯卡) : **1 Pa = 1 N/m²**

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N/m}^2$$

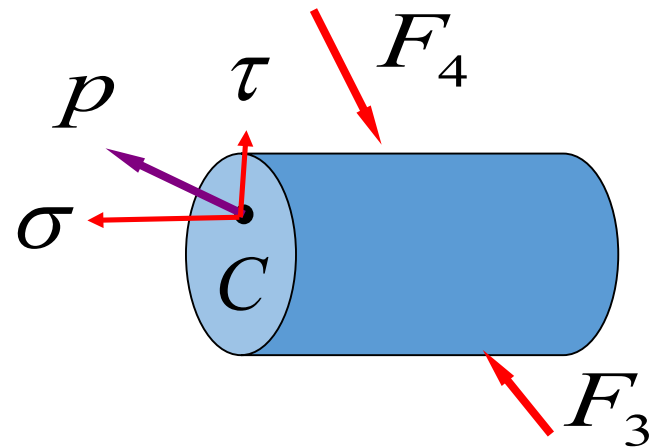
§1.4 内力、截面法和应力的概念

应力 (stress) : 由外力引起的内力的集度

应力是矢量, 通常分解为

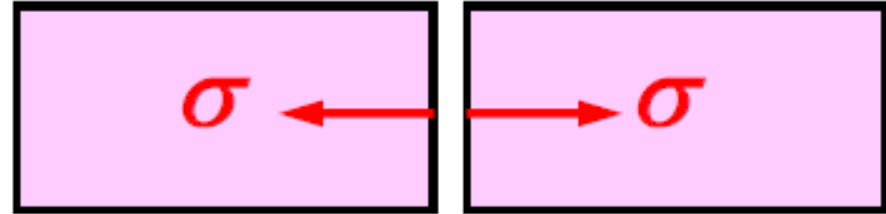
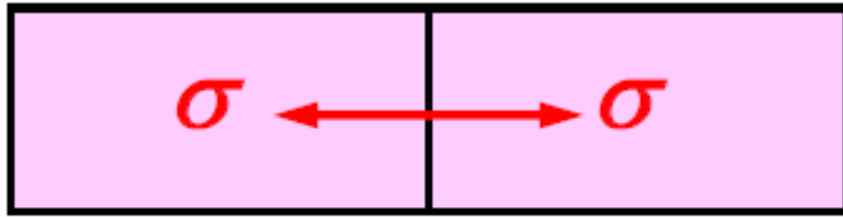
正应力 σ : 垂直于截面的应力

切应力 τ : 平行于截面的应力

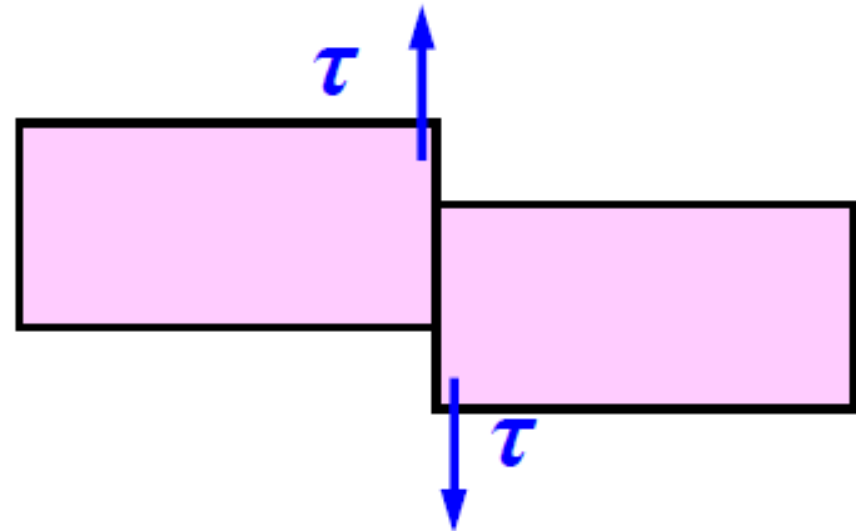
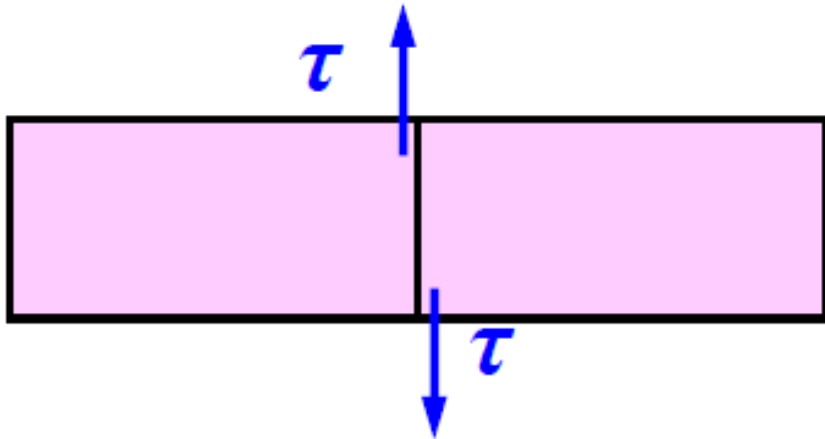


§1.4 内力、截面法和应力的概念

应力定义了**发生破坏的方向**



正应力：垂直方向破坏



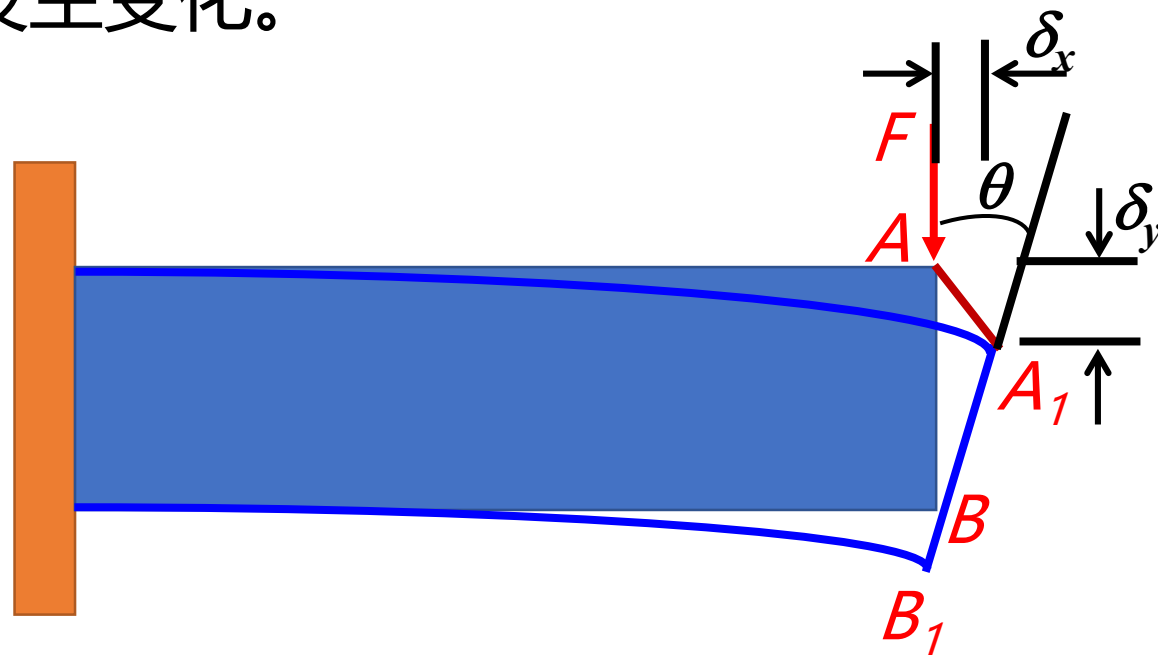
切应力：平行方向破坏

§1.5 变形与应变

1、**位移** (displacement) : 相对位置发生变化。

线位移: 某点从原位置到新位置的连线。

角位移: 线段或平面在位置改变时转过的角度。



§1.5 变形与应变

2、**变形 (deformation)**：物体内部任意两点的相对位置发生变化。
(在外力作用下物体形状和尺寸发生改变)

下列哪个是材料力学里的变形？



变形金刚



钢条拉伸

§1.5 变形与应变

- 1、**位移** (displacement) : 相对位置发生变化。
- 2、**变形** (deformation) : 物体内任意两点的相对位置发生变化。
(在外力作用下物体形状和尺寸发生改变)

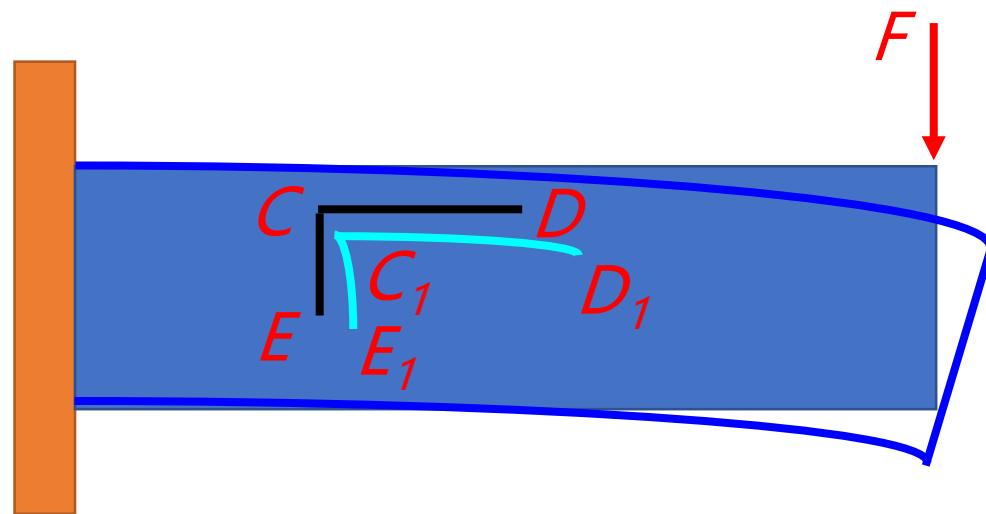
两种基本变形:

线变形: 线段长度的变化

$$l_{C_1D_1} - l_{CD}$$

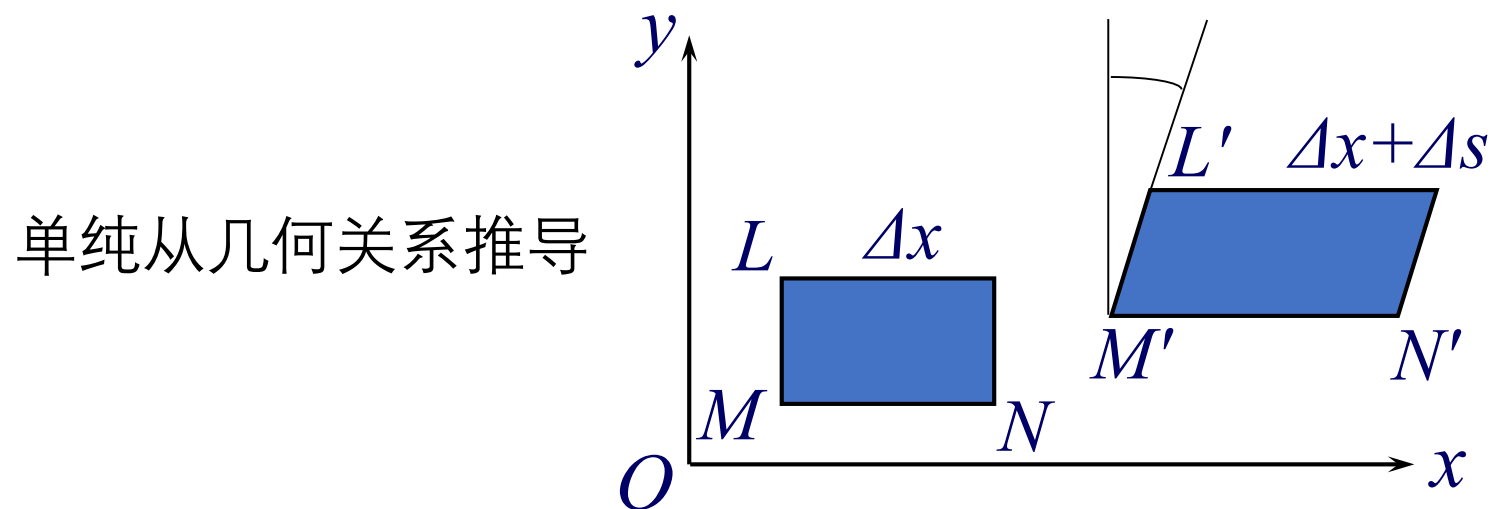
角变形: 线段间夹角的变化

$$\angle D_1C_1E_1 - \angle DCE$$



§1.5 变形与应变

应变 (strain)：度量构件**一点**处的变形程度。



正应变 (线应变)

x 方向的平均应变： $\epsilon_{xm} = \frac{\Delta s}{\Delta x}$

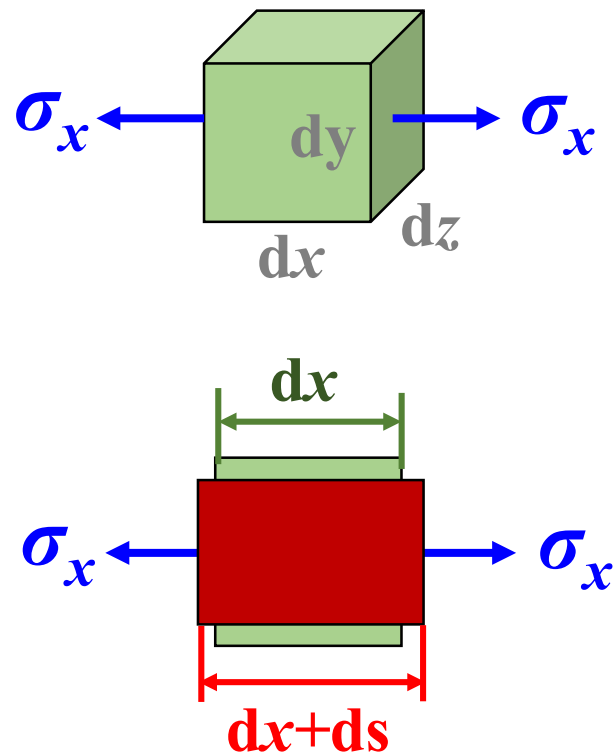
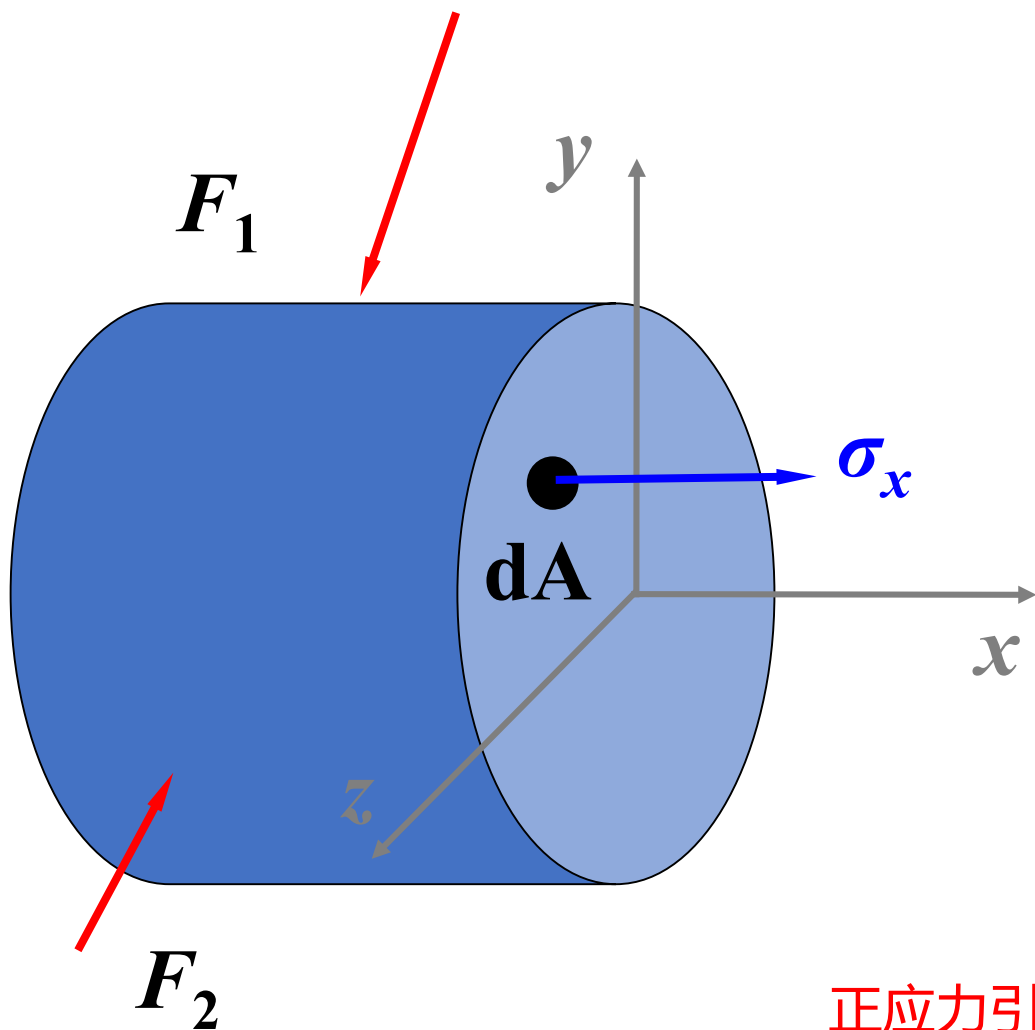
M 点处沿 x 方向的应变：

类似地，可以定义 ϵ_y, ϵ_z

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta x}$$

§1.5 变形与应变

应变 (strain) : 度量构件一点处的变形程度。



正应变 (线应变) $\epsilon_x = \frac{ds}{dx}$

正应力引起正应变 (单位? 关系?)