

材料力学



主讲人: 吕杭原

邮箱: lvhy@mail.neu.edu.cn

办公室:新机械楼319

QQ: 494489092



- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 变形固体的基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式

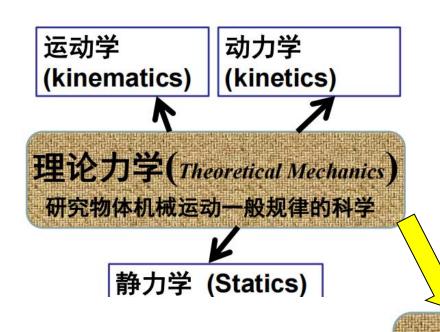


1.1 课程内容,任务和研究对象

一、课程内容

研究物体变形及破坏一般规律的科学

? 为什么会有这门课呢



涉及到变形,理论力学无能 为力,材料力学当仁不让。 材料力学(Mechanics of Materials) 研究物体变形及破坏一般规律的科学



1.1 课程内容,任务和研究对象

二、研究对象

变形固体



构件



杆件



等截面直杆

1、**构件**:工程结构或机械结构的各组成部分,如组成机械的零件和结构的元件。

2、构件的分类:

一维:杆件:长度远大于截面尺寸的构件



等截面直杆

二维:板、壳



曲杆

三维:块体





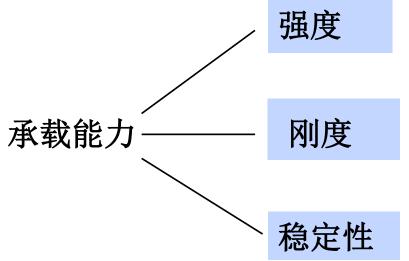
1.1 课程内容, 研究对象和任务

三、任务

通过对构件**承载能力**的研究,找到构件的截面尺寸、截面形状及所用材料的力学性质与所受载荷之间的内在关系,从而在满足既安全可靠又经济节省的前提下,给构件选择适当的材料和合理的截面尺寸、截面形状。

既安全又经济地设计构件







1.1 课程内容, 研究对象和任务

强度(Strength): 在外力作用下,构件抵抗破坏的能力。

不因发生断裂或塑性变形而失效。

断裂

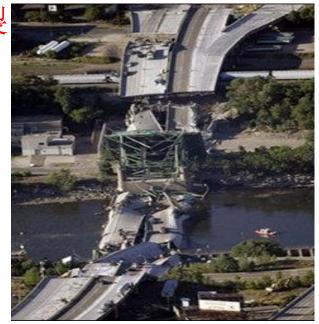


图1. 美国明尼苏达州跨桥事故现场

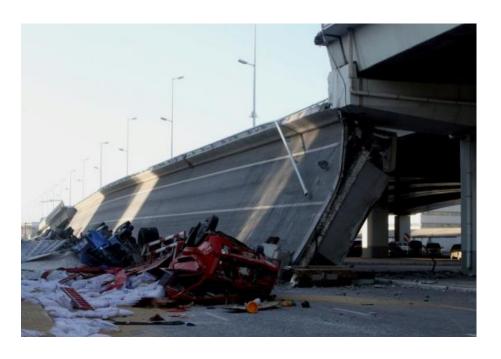


图2. 哈尔滨阳明滩大桥发生垮塌事故现场

大桥的工程与设计有缺陷,使得桥体强度不足而破坏



1.1 课程内容,研究对象和任务

强度(Strength): 在外力作用下,构件抵抗破坏的能力。

不因发生断裂或塑性变形而失效。

断裂:

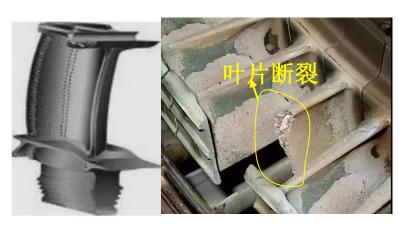


图3.航空发动机叶片断裂

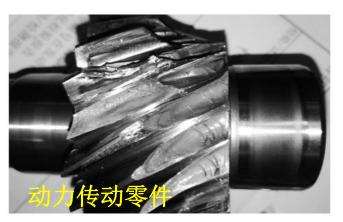


图4.汽车变速器中的齿轮折断

塑性变形



图5. 易拉罐



1.1 课程内容,任务和研究对象

刚度(Stiffness):

在外力作用下,构件抵抗变形的能力。

不因发生过大的弹性变形而失效。



图6. 华盛顿州的塔科马桥 由于桥面刚度太差,在高风速的情形下, 产生大的弹性变形。



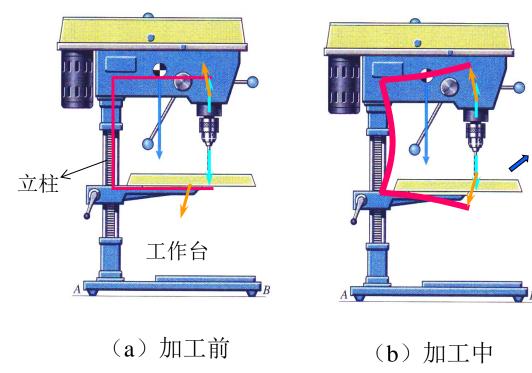
图7.火箭发射架的刚度要求很高



1.1 课程内容,研究对象和任务

刚度(Stiffness): 在外力作用下,构件抵抗变形的能力。

不因发生过大的弹性变形而失效。





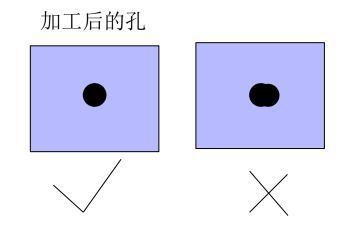


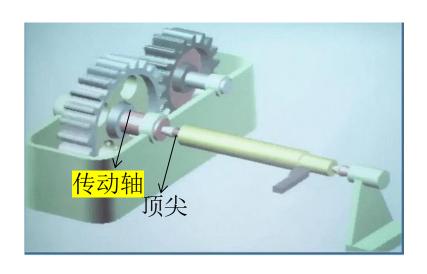
图8. 手动钻孔机床



1.1 课程内容,研究对象和任务

刚度(Stiffness): 在外力作用下,构件抵抗变形的能力。

不因发生过大的弹性变形而失效。



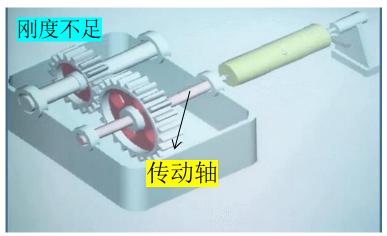


图9. 加工圆柱轴



1.1 课程内容,研究对象和任务

稳定性(Stability):

构件保持原有平衡状态的能力。

细长杆件或薄壁构件在外载荷作用下,容易处于一种不稳定的平衡状态,发生失稳现象,使其丧失承载能力。





图10. 高压铁塔失稳

图11. 又一个易拉罐



1.1 课程内容,研究对象和任务

强度与刚度的联系

一个是抵抗破坏的能力,一个是抵抗变形的能力。



刚度大,强度小

强度大, 刚度小

强度大,刚度大



1.1 课程内容, 研究对象和任务

纸桥过车

利用6吨废报纸,能否在10天时间内,设计制作出一个长6米,离地面高2米的纸桥,使之能让真正的吉普车通过?允许把报纸变成纸浆做成纸砖之类的方案,关键是整个纸桥要由纸做成。







清华代表队

两座纸桥虽然均未发生断裂(实现强度要求),但是不同的刚度造成了实用性上的巨大差别。



课堂小结

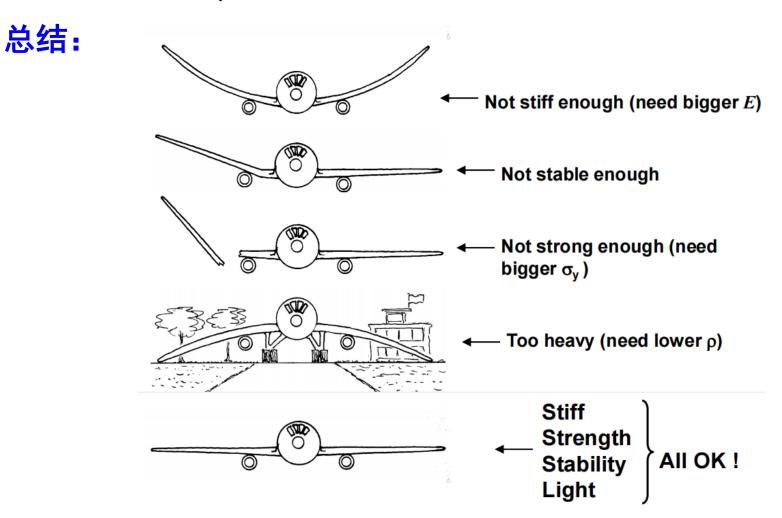
1. 骑自行车负重爬坡,出现"链条打滑"现象,从材料力学的角度分析,表明链条在"打滑"瞬间,()[A]强度不足[B]刚度不足[C]稳定性不足







1.1 课程内容,研究对象和任务





- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式

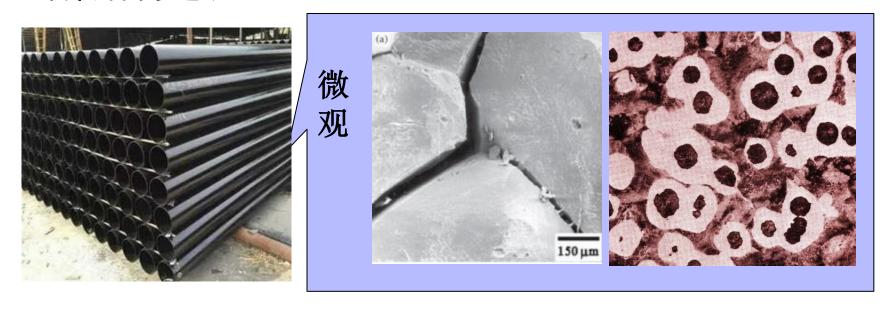
1.2 基本假设

注:连续性,均匀性和各向同性假设在宏观尺度下适用,是材料的理想化模型。在微细观尺度下,材料一般不服从此假设。

1.2 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。

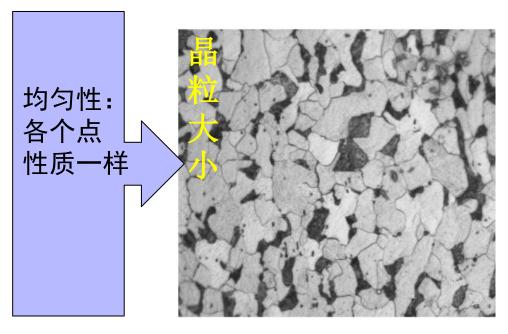


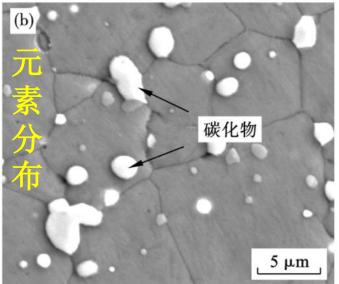
作用:各力学量可以表示为坐标的连续函数,便于我们用数学手段(微积分)加以分析。

1.2 基本假设

2、均匀性假设(homogenity):

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





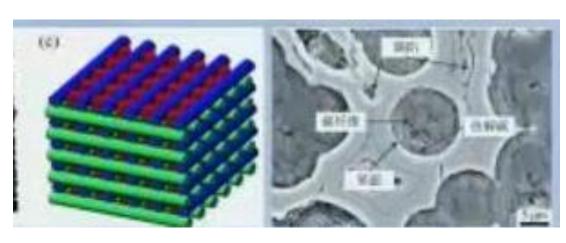
作用:在材料任意一处测得的力学性质(例如:弹性模量和泊松比)均相同。

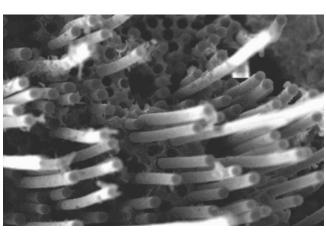
1.2 基本假设

3、各向同性假设:

认为在物体内各个不同方向的力学性能相同。

传统的金属材料为各向同性材料,服从各向同性假设,如碳纤维增强陶瓷基复合材料为各向异性材料,不服从该假设。





不同方向力学性质

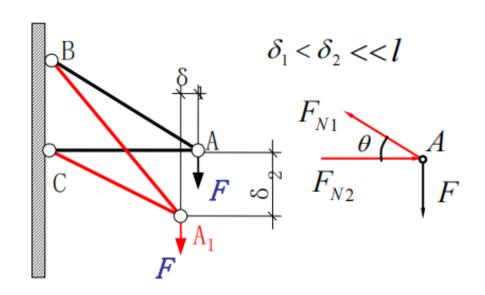
不同的材料?

作用: 在材料的任意方向都可以取相同的力学量计算。

1.2 基本假设

小变形: 指构件在外力作用下发生的变形量远小于构件的尺寸。

小变形假设的作用1: 对构件进行受力分析时可忽略其变形。计算用变形前尺寸,使得计算简化。





1.2变形固体的基本假设

小变形假设的作用2:保证构件处于纯弹性变形范围,

使得计算变得简单(胡克定律)

绝大多数工程材料的弹性变形都是小变形。

小变形假设的作用3:保证叠加法成立

叠加法指构件在多个载荷作用下产生的变形——可以 看作为各个载荷单独作用产生的变形之代数和。

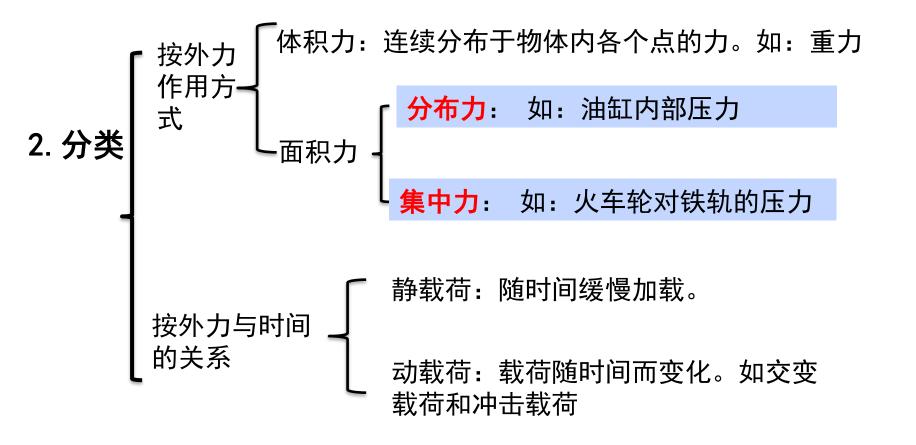


- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 变形固体的基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式



1.3 外力及其分类

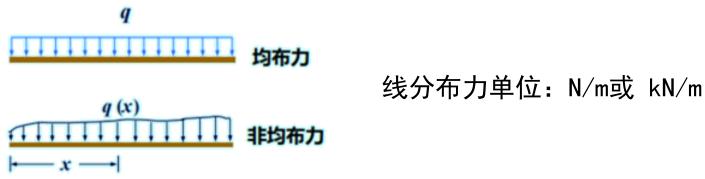
1. **外力**:来自构件外部的力就是外力。





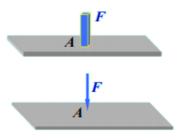
1.3 外力及其分类

3、分布力 q: 连续分布于物体表面上的力。



4、集中力 F: 外力的作用面非常小,可以简化成一点。

如火车轮对钢轨的压力。





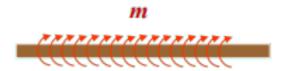


1.3 外力及其分类

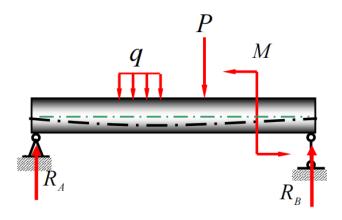
5、力偶 M_e



分布力偶, 单位:N.m/m



集中力偶,单位: N.m





- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 变形固体的基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式



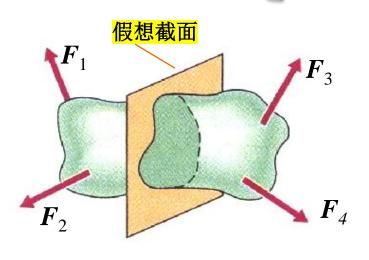
1.4 内力、截面法和应力的概念

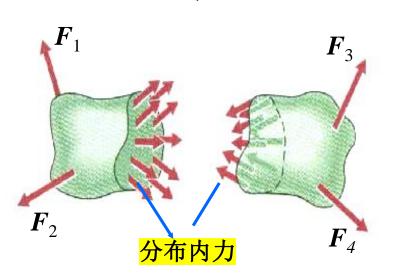
1、内力:由外力作用所引起的、物体内相邻部分之间的相互作用力。材料力学中的内力,是指由外力作用所引起的、物体内相邻部分之间相互作用力。

2、内力的特点:

(1)连续分布于截面上各处;

- (2)成对出现;
 - (3) 随外力的变化而变化;

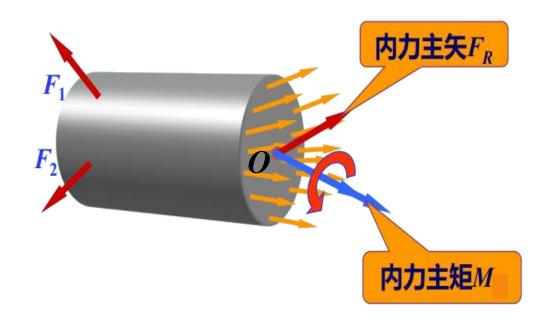






1.4 内力、截面法和应力的概念

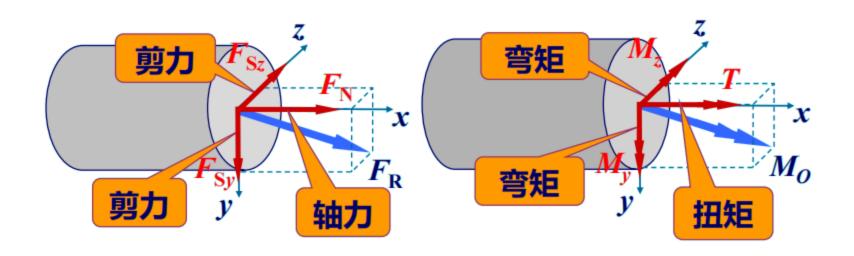
内力可以向<mark>截面形心简化为主矢和主矩</mark>,用 F_R 和M表示。





1.4 内力、截面法和应力的概念

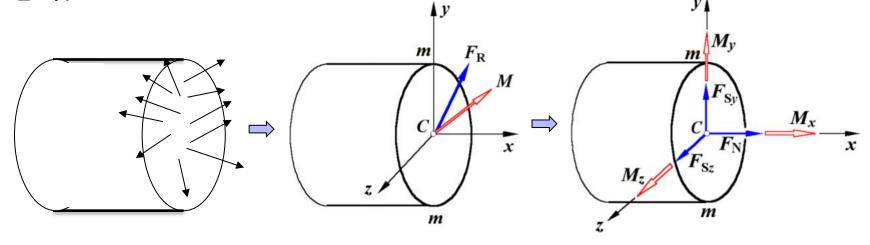
工程计算中有意义的是内力的主矢F_R和主矩*M*在确定 坐标系上的分量——内力分量。





1.4 内力、截面法和应力的概念

总结:



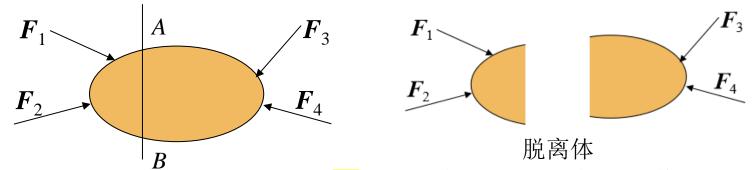
- 轴力 F_N
- 扭矩 M_x (T)

- 剪力F_{Sy}, F_{SZ}
 - 弯矩 M_y, M_z

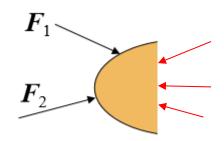


1.4 内力、截面法和应力的概念 截取代平

1 求某一截面上的内力时,用假想截面沿着AB把构件<mark>截</mark>成两部分;任意<mark>取</mark>出一部 分为研究对象:



2 用作用于截面上的内 (力、力偶) 代替<u>弃去部分</u> 对取出部分的作用;



3 列<mark>平</mark>衡方程求解:

$$\sum F = 0$$

$$\sum F = 0 \qquad \sum M = 0$$

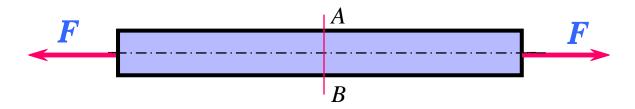


1.4 内力、截面法和应力的概念

例:求杆件沿着AB截面的内力?

- (1) 用假想截面沿着AB把杆件切成两部分,
- (2) 取左部分为研究对象,
- (3) 用内力 F_{Nx} 代替右部分对左部分的作用,
- (4) 列平衡方程, 求解内力。





$$F$$
 A
 F
 B

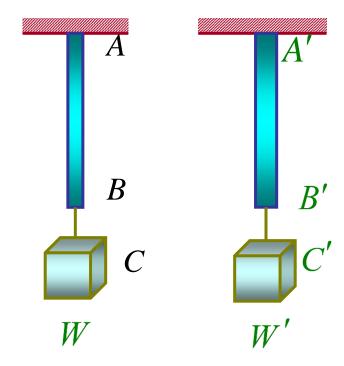
$$\sum F = 0$$
 \Rightarrow $F_{Nx} = F$



1.4 内力、截面法和应力的概念

思考, AB杆, A'B'杆材料相同, A'B'杆截面面积大于AB杆,

- 挂相同重物 ₩=₩ 哪根杆危险?
- 若重量 W>W 哪根杆危险?
- 什么量适合量度安全程度?横截面上的应力





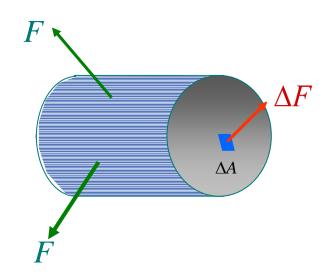
1.4 内力、截面法和应力的概念

1 应力的概念:

截面上一点处内力的聚集程度

(单位面积上的内力)

2 应力的计算:



平均应力—某个范围内,单位面积上的内力的平均集度:

平均应力
$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

某一点的全应力一当面积趋于零时,得到:

某一点的全应力
$$p = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

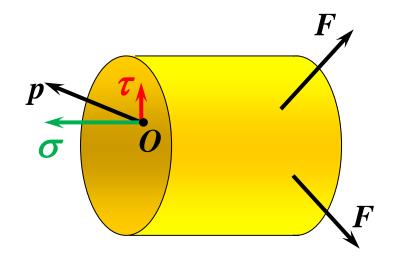


3 正应力和切应力

某一点的全应力可以分解成:

正应力(Normal stress)♂: 垂直于截面的应力分量

切应力(Shear stress) ₹: 平行于截面的应力分量



讲一点应力,通常 应同时考虑正应力 σ 和切应力τ

应力的国际单位: 1N/m² = 1Pa; 1MPa = 10⁶Pa, 1GPa=10⁹Pa;



- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 变形固体的基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式

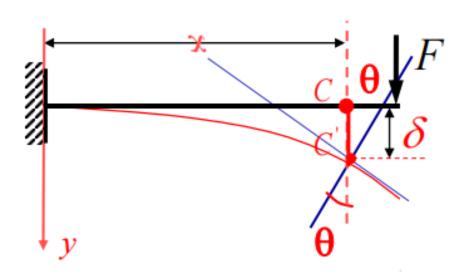


1.5 变形(deformation)与应变

一、位移(displacement): 物体上各个点的位置改变称为位移

线位移:一点空间位置的改变;单位:mm。如C点沿y方向的线位移为 δ 。

角位移:一面方位的改变;单位:rad。如C点所在截面转过的角位移为角度 θ 。

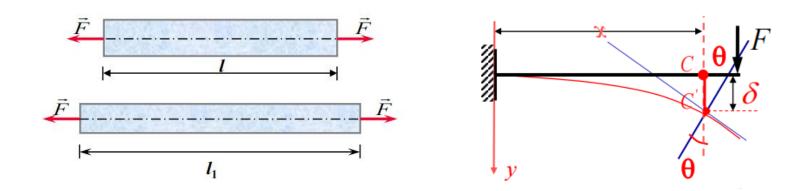




1.5 变形(deformation)与应变

二、变形(deformation): 在外力作用下物体形状和尺寸发生改变

对于构件任一点的变形,只有线变形和角变形两种基本变形。



如何客观的度量各点处的变形程度呢?

应变(strain): 度量构件一点处的变形程度。

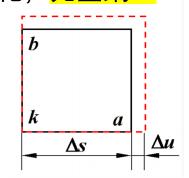


1.5 变形与应变(strain)

- 三、应变(strain): 度量构件一点处的变形程度。
- 1. 正应变(normal strain,又叫线应变)用 ε 表示,用来度量构件上一点在某方向上尺寸的改变程度。正应变是指长度的变化,无量纲。

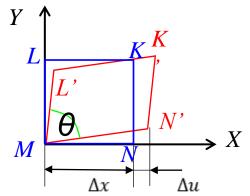
$$\varepsilon_{ka} = \frac{\Delta u}{\Delta s}$$
 棱边 ka 的平均正应变

$$\varepsilon = \lim_{\Delta s \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta s}$$
 k点沿棱边 ka 方向的正应变



2. 切应变(shear strain,又叫角应变)用γ表示,表示过一点相邻棱边所 夹直角的改变量。切应变一般是指角度的变化,无量纲。

$$M$$
点的切应变 γ : $\gamma = \lim_{\substack{ML \to 0 \ MN \to 0}} (\frac{\pi}{2} - \theta)$

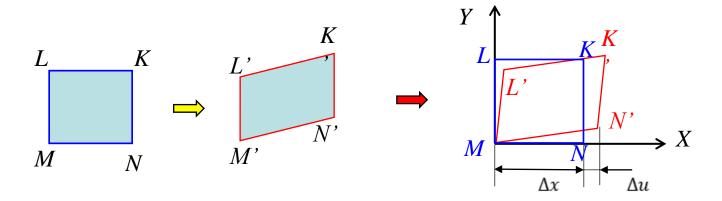




1.5 变形与应变(strain)

随堂练习:

求棱边MM的平均正应变?M点沿X方向的正应变?





- 1.1 课程内容,任务和研究对象
- 1.2 变形固体的基本假设
- 1.3 外力及其分类
- 1.4 内力、截面法和应力的概念
- 1.5 变形与应变
- 1.6 杆件变形的基本形式



1.6 杆件变形的基本形式

拉伸、压缩

剪切

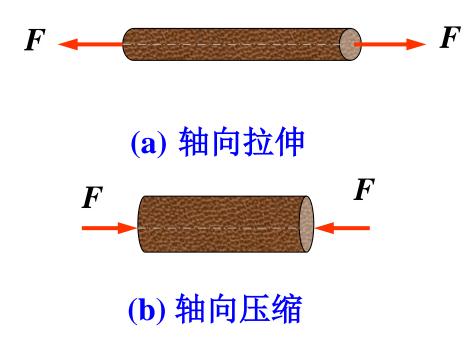
扭转

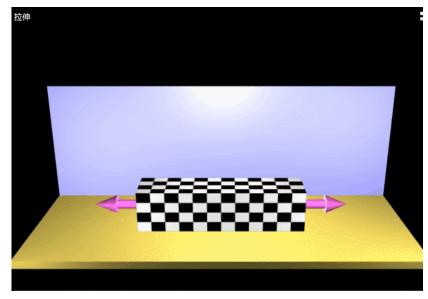
弯曲



1.6 杆件变形的基本形式

拉伸或压缩:由大小相等方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起,表现为杆件的长度伸长或缩短。







例题:下面的几种情况哪个是拉压变形?





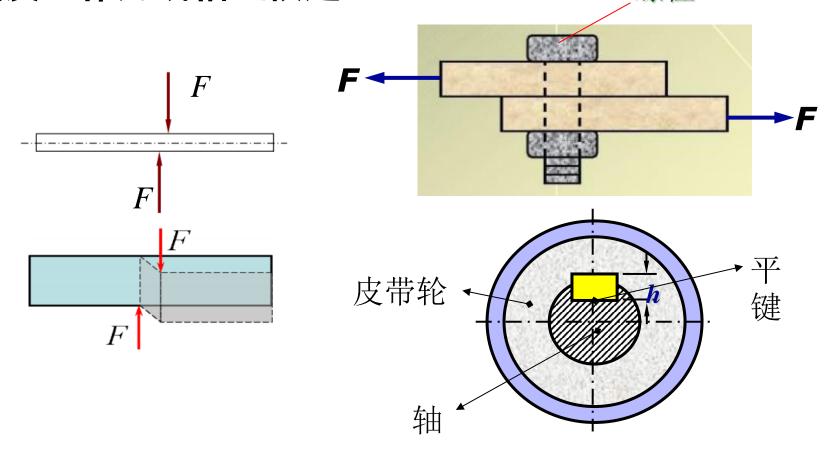






1.6 杆件变形的基本形式

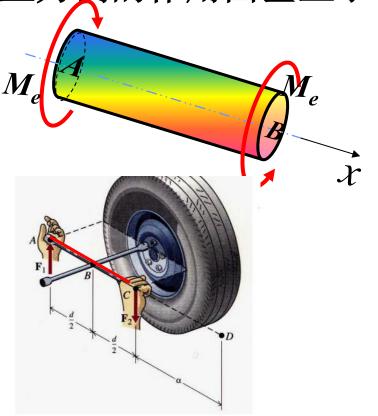
剪切:作用在构件两侧面上的外力合力大小相等、方向相反且作用线相距很近。 螺栓

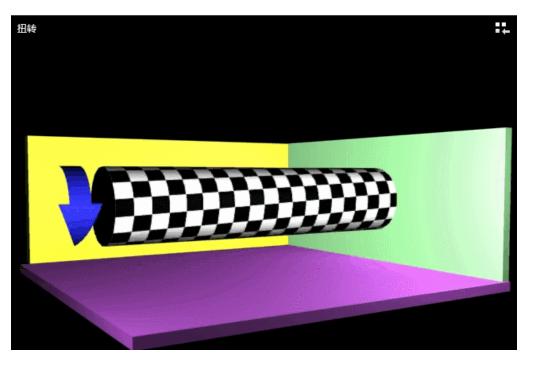




1.6 杆件变形的基本形式

扭转: 若杆件受到一对大小相等、方向相反的力偶作用,且力偶的作用面垂直于杆轴,则杆件发生扭转变形。







1.6 杆件变形的基本形式

<mark>弯曲:</mark>杆件受<mark>垂直于</mark>轴线的外力或外力偶矩的作用时,轴线 变成了曲线,这种变形称为弯曲。

