

材料力学习题集及解答

一、填空

1. 构件在外荷载作用下具有抵抗破坏的能力为材料的 ()；具有一定的抵抗变形的能力为材料的 ()；保持其原有平衡状态的能力为材料的 ()。

强度、刚度、稳定性。

2. 现代工程中常用的固体材料种类繁多，物理力学性能各异。所以，在研究受力后物体（构件）内部的力学响应时，除非有特别提示，一般将材料看成由 ()、()、() 的介质组成。

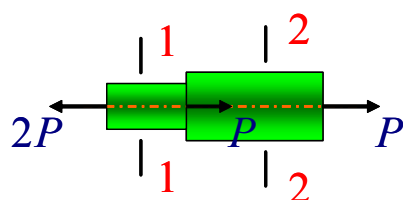
连续性、均匀性、各向同性。

3. 构件所受的外力可以是各式各样的，有时是很复杂的。材料力学根据构件的典型受力情况及截面上的内力分量可分为 ()、()、()、() 四种基本变形。

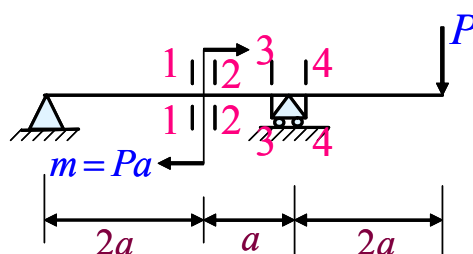
拉伸或压缩、剪切、扭转、弯曲。

二、计算

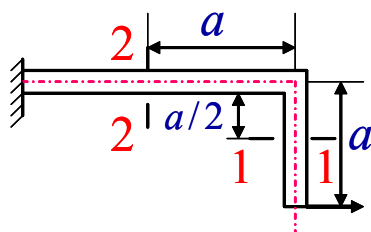
1. 试求下列杆件中指定截面上内力分量，并指出相应的变形形式。



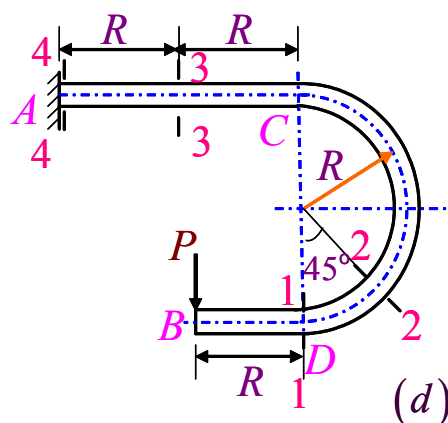
(a)



(b)



(c)



(d)

解：各截面上内力分量的方向从略，仅记大小。

(a) $N_1 = 2P$ (拉伸), $N_2 = P$ (拉伸);

(b) $Q_1 = P$, $M_1 = 2Pa$;

$Q_2 = P$, $M_2 = Pa$;

$Q_3 = P$, $M_3 = 2Pa$;

$Q_4 = P$, $M_4 = 2Pa$;

(弯曲)

(c) $Q_1 = P$, $M_1 = \frac{1}{2}Pa$; (弯曲)

$N_2 = P$, $M_2 = Pa$; (拉伸+弯曲)

(d) $Q_1 = P$, $M_1 = PR$, (BD段: 弯曲);

$N_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}P$, $Q_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}P$, $M_2 = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)PR$ 。(DC段: 拉伸+弯曲)

$Q_3 = P$, $Q_4 = P$, $M_4 = PR$, (AC段: 弯曲)。

第二章:拉伸与压缩

一、填空

1.轴力是指通过横截面形心垂直于横截面作用的内力,而求轴力的基本方法是()。

截面法。

2.工程构件在实际工作环境下所能承受的应力称为(),工件中最大工作应力不能超过此应力,超过此应力时称为()。

许用应力,失效。

3.金属拉伸标准试件有()和()两种。

圆柱形,平板形。

4.在低碳钢拉伸曲线中,其变形破坏全过程可分为()个变形阶段,它们依次是()、()、()、和()。

四,弹性、屈服、强化和颈缩、断裂。

5.用塑性材料的低碳钢标准试件在做拉伸实验过程中,将会出现四个重要的极限应力;其中保持材料中应力与应变成线性关系的最大应力为();使材料保持纯弹性变形的最大应力为();应力只作微小波动而变形迅速增加时的应力为();材料达到所能承受的最大载荷时的应力为()。

比例极限、弹性极限、屈服极限、强度极限。

6.通过低碳钢拉伸破坏试验可测定强度指标()和();塑性指标()和()。

屈服极限,强度极限;伸长率,断面收缩率。

7.功能守恒原理是指对于始终处于静力平衡状态的物体,缓慢施加的外力对变形体所做的外功 W 可近似认为全部转化为物体的变形能 U ,即()。 $W=U$

8.当结构中构件所受未知约束力或内力的数目 n 多于静力平衡条件数目 m 时,单凭平衡条件不能确定全部未知力,相对静定结构 ($n=m$),称它为()。称为(),这也是“多余”约束力或“多余”约束的数目。

静不定结构,静不定次数。

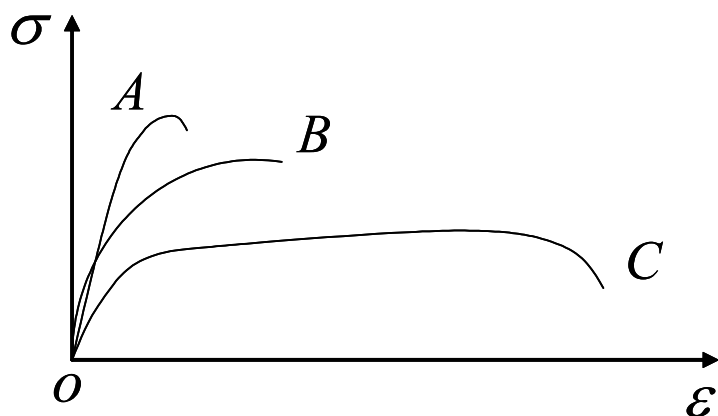
二、选择题

1.所有脆性材料,它与塑性材料相比,其拉伸力学性能的最大特点是()。

- (A) 强度低,对应力集中不敏感;
- (B) 相同拉力作用下变形小;
- (C) 断裂前几乎没有塑性变形;
- (D) 应力-应变关系严格遵循胡克定律。

C

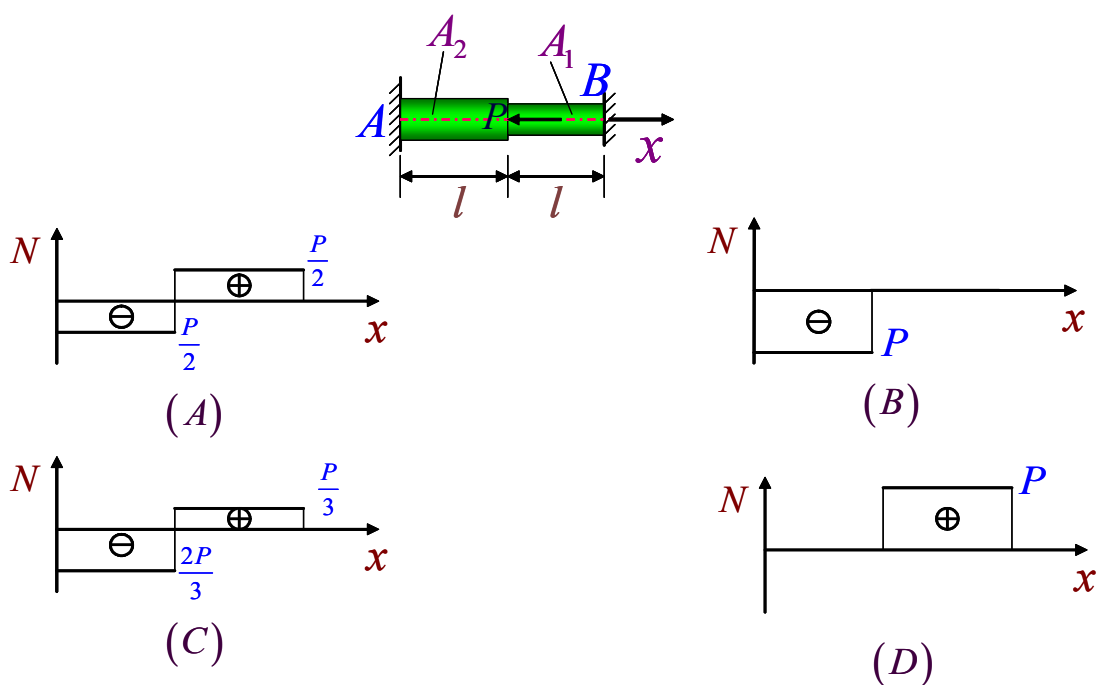
2. 现有三种材料的拉伸曲线如图所示。分别由此三种材料制成同一构件,其中: 1) 强度最高的是(); 2) 刚度最大的是(); 3) 塑性最好的是(); 4) 韧性最高,抗冲击能力最强的是()。



答案: A, B, C, C

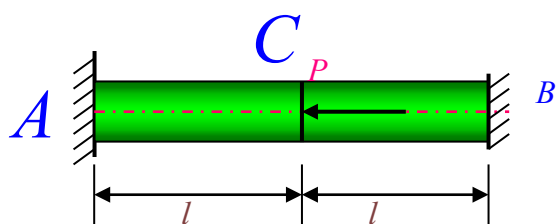
3. 两端固定的阶梯杆如图所示，横截面面积

，受轴向载荷 P 后，其轴力图是



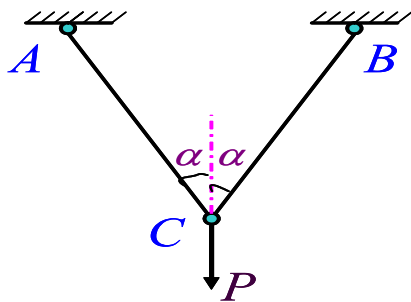
答案: C

1. 两端固定的等截面直杆受轴向载荷 P 作用，则图示 AC、CB 段分别受压缩 ($N_{AC} = -P$) 和拉伸 ($N_{CB} = +P$)。 ()



答案: ×

2. 图示结构由两根尺寸完全相同的杆件组成。AC 杆为铜合金，BC 杆为低碳钢杆，则此两杆在力 P 作用下具有相同的拉应力。 ()



答案: ×

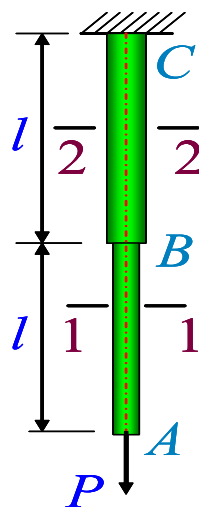
3. 正应变的定义为 $\varepsilon = \sigma / E$ 。 () 答案: ×

4. 任何温度改变都会在结构中引起应变与应力。 () 答案: ×

5. 对于拉伸曲线上没有屈服平台的合金塑性材料, 工程上规定 $\sigma_{0.2}$ 作为名义屈服极限, 此时相对应的应变量为 $\varepsilon = 0.2\%$ 。 () 答案: ×

四、计算

1. 矿井起重机钢绳如图 (a) 所示, AB段截面积 $A_1 = 300\text{mm}^2$, BC段截面积 $A_2 = 400\text{mm}^2$, 钢绳的单位体积重量 $\gamma = 28\text{kN/m}^3$, 长度 $l = 50\text{m}$, 起吊重物的重量 $P = 12\text{kN}$, 求: 1) 钢绳内的最大应力; 2) 作轴力图。



(a)

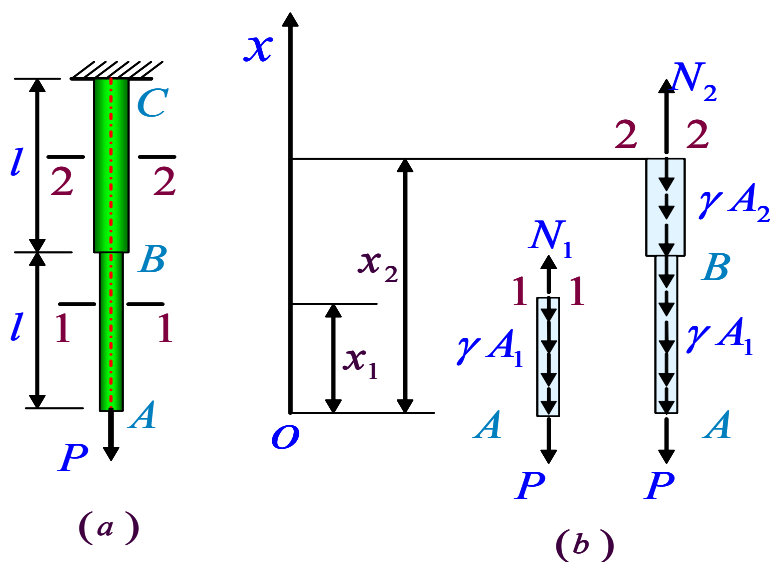
解: 1) 在可能危险的 1 段 B 面, 2 段 C 面截开 (图 b), 有

$$N_B = P + \gamma A_1 l = 12 + 28 \times 3 \times 10^{-4} \times 50 = 12.42\text{kN}$$

$$\sigma_B = \frac{N_B}{A_1} = \frac{12.42 \times 10^3}{3 \times 10^{-4}} = 41.4\text{MPa}$$

$$N_C = P + \gamma A_1 l + \gamma A_2 l = 12.42 + 28 \times 4 \times 10^{-4} \times 50 = 12.98\text{kN}$$

$$\begin{aligned} \sigma_C &= \frac{N_C}{A_2} = \frac{12.98 \times 10^3}{4 \times 10^{-4}} \\ &= 36.8\text{MPa} \end{aligned}$$



所以: $\sigma_{\max} = \sigma_B = 41.4 \text{ MPa}$

2) 作轴力图

取 1-1 截面 (AB 段, 见图 (b)) $N_1(x) = P + \gamma A_1 x_1 \quad (0 \leq x_1 \leq l) \quad (a)$

取 2-2 截面 (BC 段) $N_2(x) = P + \gamma A_1 l + \gamma A_2 (x_2 - l) \quad (l \leq x_2 \leq 2l) \quad (b)$

由式 (a)

$$N_A = N(O) = P = 12 \text{ kN}$$

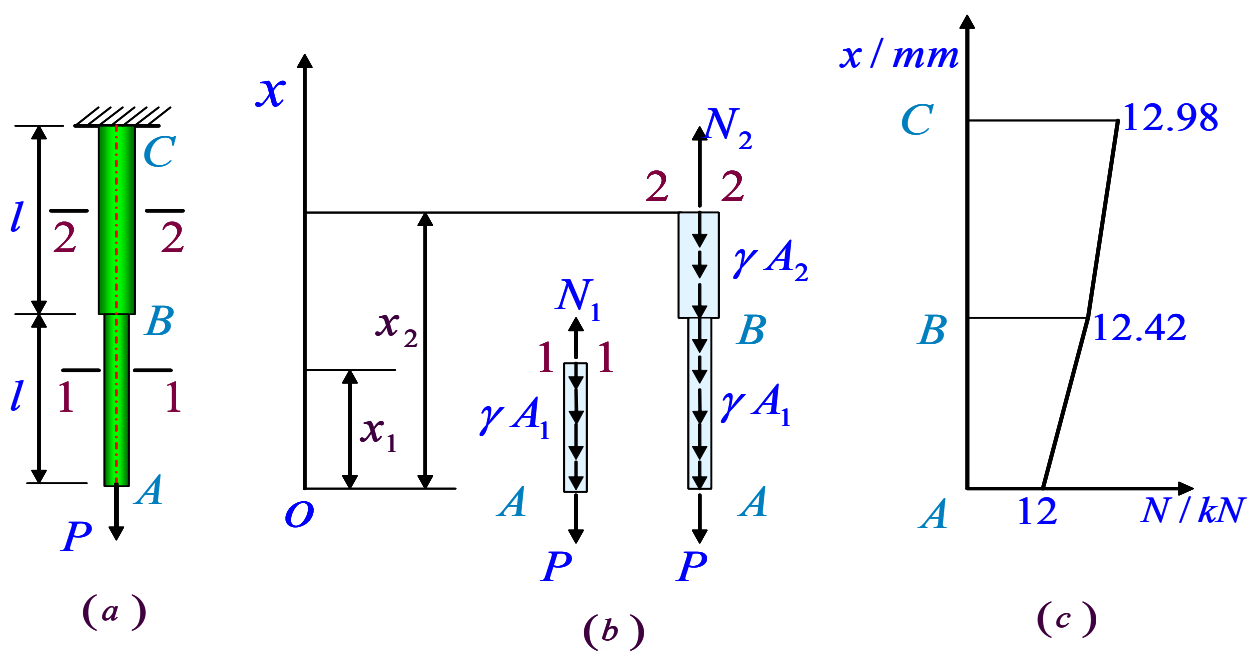
$$N_B = N(l) = P + \gamma A_1 l = 12.42 \text{ kN}$$

由式 (b) $N_B = N(l) = 12.42 \text{ kN}$

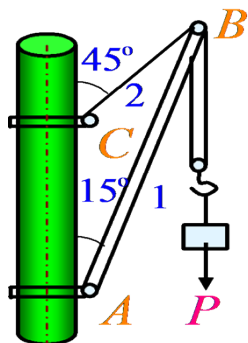
$$N_C = N(2l) = P + \gamma A_1 l + \gamma A_2 (2l - l)$$

$$= 1.42 + 28 \times 4 \times 10^{-4} \times 50 = 12.98 \text{ kN}$$

在图(c)所示 N---X 坐标下, 由式(a)、(b)知 N(X) 随 X 呈直线变化。由三个控制面上控制值画出由两段斜直线构成的轴力图。见下图



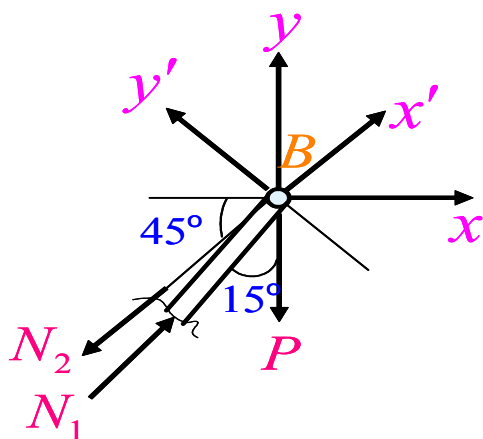
2. 某车间一自制桅杆式起重机的简图如图(a)。已知起重杆（杆1）为钢管，外径 $D=400\text{mm}$ ，内径 $d=20\text{mm}$ ，许用应力 $[\sigma]_1=80\text{MPa}$ 。钢丝绳2的横截面积 $A_2=500\text{mm}^2$ ，许用应力 $[\sigma]_2=60\text{MPa}$ 。若最大起重量 $P=55\text{kN}$ ，试校核此起重机的强度是否安全。



(a)

解: 1) 确定杆件受力

根据图(b)所示B铰受力图，在 $x-y$ 坐标下，由平衡条件



(b)

$$\sum X = N_1 \sin 15^\circ - N_2 \sin 45^\circ = 0$$

$$\sum Y = N_1 \cos 15^\circ - N_2 \cos 45^\circ = 0$$

解得

$$N_1 = \frac{P}{\sin 15^\circ \left(\frac{\cos 15^\circ}{\sin 15^\circ} - 1 \right)} = 1.414P$$

$$N_2 = \frac{P}{\sin 45^\circ \left(\frac{\cos 15^\circ}{\sin 15^\circ} - 1 \right)} = 0.518P$$

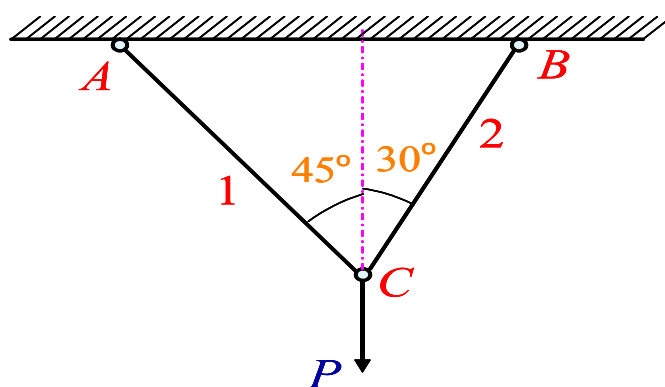
2) 校核各杆强度 设 σ_1 、 σ_2 分别为杆1、2杆应力，则

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{1.414 \times 55 \times 10^3}{\pi/4(4^2 - 2^2) \times 10^{-4}} = 82.5 > 80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{0.518 \times 55 \times 10^3}{500 \times 10^{-6}} = 57.0 < 60 \text{ MPa}$$

其中 σ_1 超过 $[\sigma]_1$ ，但它们相对差值 $\eta = (\sigma_1 - [\sigma]_1) / [\sigma]_1 = 3\% < 5\%$ ，工程上仍认为安全。

3. 图 (a) 所示结构中，杆1材料为碳钢，横截面面积为 $A_1 = 200 \text{ mm}^2$ ，许用应力 $[\sigma]_1 = 160 \text{ MPa}$ ；杆2材料为铜合金，横截面面积 $A_2 = 300 \text{ mm}^2$ ，许用应力 $[\sigma]_2 = 100 \text{ MPa}$ ，试求此结构许可载荷 $[P]$ 。



(a)

解: 1) 结构中各杆应满足平衡条件

对节点 C 取图(b)所示研究对象，有

$$\sum X = -N_1 \sin 45^\circ + N_2 \sin 30^\circ = 0 \quad (a)$$

$$\sum Y = N_1 \cos 45^\circ + N_2 \cos 30^\circ - P = 0 \quad (b)$$

由式 (a)、(b) 解得各杆轴力与外载的关系

$$N_1 = \frac{\sqrt{2}P}{1+\sqrt{3}} = 0.518P \quad (\text{拉杆}) \quad (a)$$

$$N_2 = \frac{2P}{1+\sqrt{3}} = 0.732P \quad (\text{拉杆}) \quad (b)$$

2) 结构中各杆应满足各自强度条件

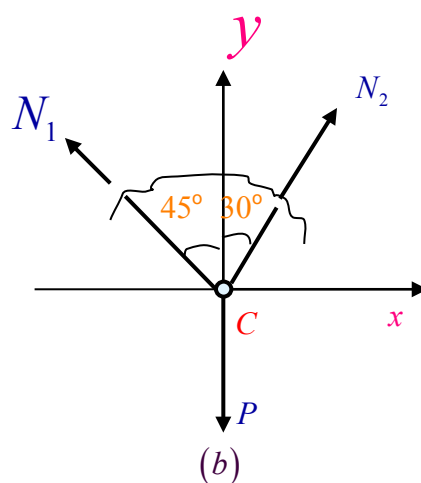
$$N_1 \leq [N_1] = A_1 [\sigma]_1 \quad (e)$$

$$N_2 \leq [N_2] = A_2 [\sigma]_2 \quad (f)$$

由式 (e)、式(f)，有

$$0.518P \leq A_1 [\sigma]_1$$

$$[P]_1 \leq \frac{2 \times 10^{-4} \times 160 \times 10^3}{0.518} = 61.78 \text{ kN}$$



(b)

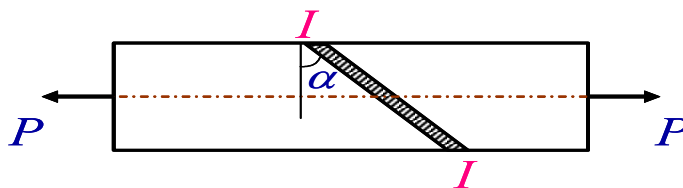
由式(f)、式(d), 有

$$0.732P \leq A_2[\sigma]_2$$

$$[P]_2 \leq \frac{3 \times 10^{-4} \times 100 \times 10^3}{0.732} = 40.98 \text{ kN}$$

$$\text{取 } [P] = [P]_2 = 40.98 \approx 41 \text{ kN}$$

4. 图示杆件由两种材料在I-I斜面上用粘结剂粘结而成。已知杆件横截面面积 $A = 2000 \text{ mm}^2$, 根据粘结剂强度指标要求粘结面上拉应力不超过 $\sigma_0 = 10 \text{ MPa}$, 剪应力不超过 $\tau_0 = 6 \text{ MPa}$, 若要求粘结面上正应力与剪应力同时达到各自容许值, 试给定粘结面的倾角 α 并确定其容许轴向拉伸载荷 P 。



解: 根据轴向拉伸杆件斜截面上正应力和剪力公式, 各自的容许条件为

$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2 \alpha = \frac{P}{A} \cos^2 \alpha = \sigma_0 \quad (a)$$

$$\tau_\alpha = \sigma_x \sin \alpha \cos \alpha = \frac{P}{A} \sin \alpha \cos \alpha = \tau_0 \quad (b)$$

式(b)除以式(a), 得

$$\tan \alpha = 0.6, \quad \alpha = 30.96^\circ \approx 31^\circ$$

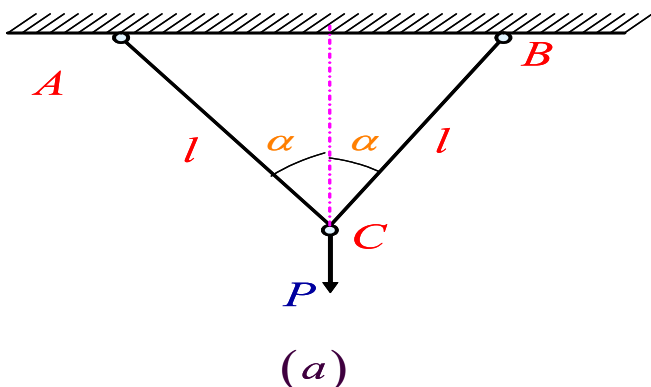
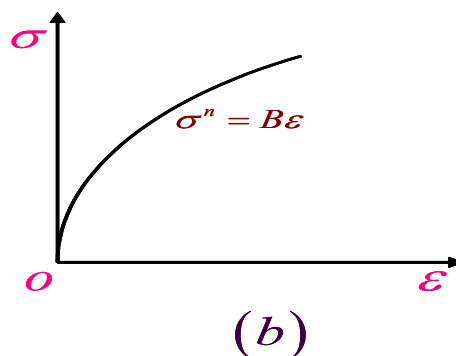
将此结果代入式(a), 得

$$P = \frac{\sigma_\alpha A}{\cos^2 \alpha} = \frac{10 \times 10^6 \times 2000 \times 10^{-6}}{\cos^2 31^\circ} = 27.2 \text{ kN}$$

可利用式(b)校核结果是否正确

$$\tau_\alpha = \frac{27.2 \times 10^3}{2000 \times 10^{-6}} \sin 31^\circ \cos 31^\circ = 6.0 \text{ MPa}$$

5. 图(a)所示简单桁架由 AC 杆、BC 杆组成, 杆的横截面积为 A , 长度为 l 。试求节点 C 的铅垂位移, 已知: 1) 材料的弹性模量为 E , 在载荷 P 作用下处于线弹性范围; 2) 材料在 P 作用下的应力-应变关系为 $\sigma^n = B\varepsilon$ (图(b)), 其中 n, B 为已知材料常数。

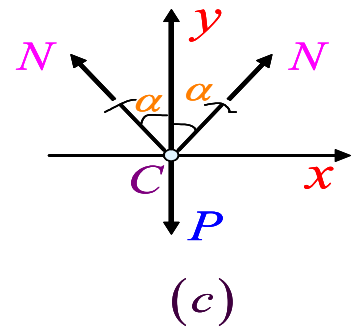


解: 1)对线弹性材料

(1)求杆的轴力

节点C的受力如图 (c)。由平衡条件

$$\sum Y = 2N \cos \alpha - P = 0, \text{ 得 } N = \frac{P}{2 \cos \alpha} \quad (a)$$

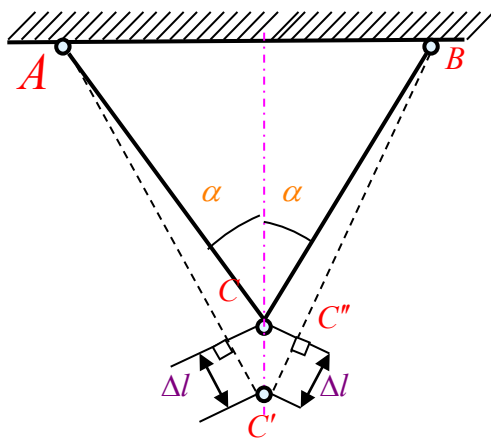


(2) 求杆的变形

AC、BC杆的伸长变形相同，即

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA} = \frac{Pl}{2EA \cos \alpha} \quad (b)$$

(3) 求节点位移



在变形-位移图 (图 (d)) 中，
知节点C受力P后位移至C'，铅垂位移 $\Delta c = |CC'|$ 。

由小变形条件，对 $\triangle CC'C''$ 可写出

$$\Delta c = \frac{\Delta l}{\cos \alpha} = \frac{Pl}{2EA \cos^2 \alpha} \quad (c)$$

(d)

2) 对非线性弹性材料

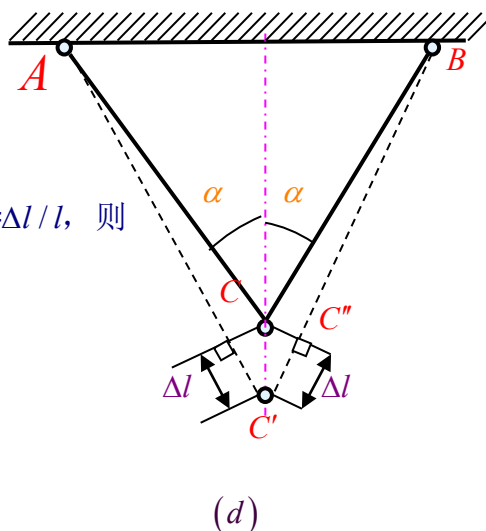
(1) 求杆的轴力：同 1)，结果仍为式 (a)

(2) 由应力求杆的变形，两杆的正应力均为

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{P}{2A \cos \alpha}$$

已知应力-应变关系 $\sigma^n = B\varepsilon$ ，而应变 $\varepsilon = \Delta l / l$ ，则

$$\Delta l = \varepsilon l = \frac{\sigma^n}{B} l = \left(\frac{P}{2A \cos \alpha} \right)^n \frac{1}{B}$$



3) 求节点位移

同1) 中 (3)，相应地有

$$\Delta c = \frac{\Delta l}{\cos \alpha} = \left(\frac{P}{2A} \right)^n \frac{l}{B \cos^{n+1} \alpha}$$

第三章:扭转与剪切

一、填空

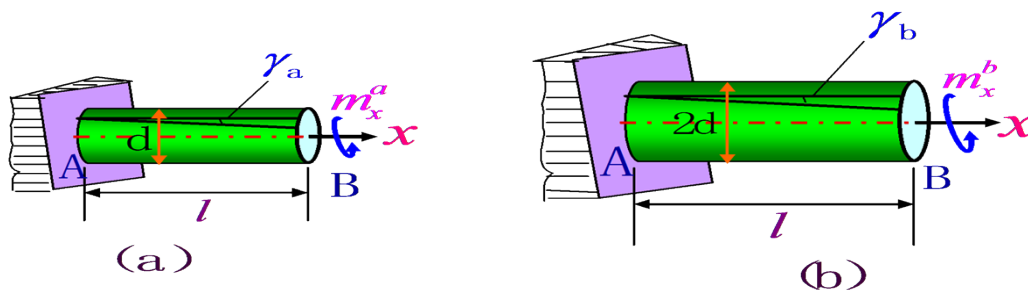
1. 空心圆轴外径为D，内径为d=D/2，两端受扭转力偶 m_x 作用，则其横截面上剪应力呈 () 分布， $\tau_{\max} = ()$ ， $\tau_{\min} = ()$ 。

答案: 线性， $\frac{256m_x}{15\pi D^3}$ 或 $5.43 \frac{m_x}{D^3}$ ， $1/2 \tau_{\max}$ 。

2. 圆截面杆扭转时，其变形特点是变形过程中横截面始终保持 ()，即符合 () 假设。非圆截面杆扭转时，其变形特点是变形过程中横截面发生 ()，即不符合 () 假设。

平面，平面假设，翘曲，平面假设。

3. 图 (a)、图 (b) 所示两圆轴的材料、长度相同，扭转时两轴表面上各点的剪应力相同 (即 $\gamma_a = \gamma_b$)，此时作用于两端的扭转力偶之比 $m_x^a / m_x^b = ()$ 。



答案: 1/8

4. 多边形截面棱柱受扭转力偶作用，根据 () 定理可以证明其横截面角点上的剪应力为 ()。
剪应力互等，零。

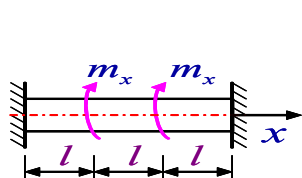
二、选择

1. 空心圆轴外径为D，内径为d，在计算最大剪应力时需要确定抗扭截面系数 W_t ，以下正确的是 ()。

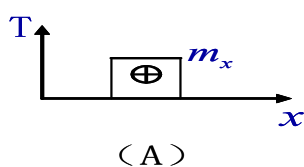
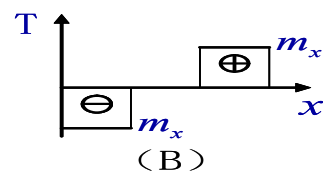
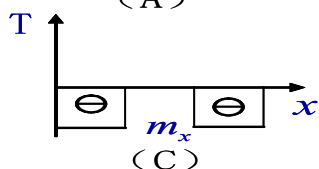
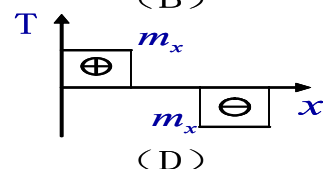
(A) $\frac{\pi D^3}{16}$ (B) $\frac{\pi d^3}{16}$ (C) $\frac{\pi}{16D} (D^4 - d^4)$ (D) $\frac{\pi}{16} (D^3 - d^3)$

答案: C

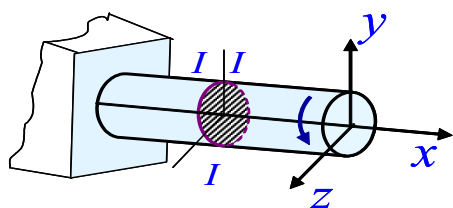
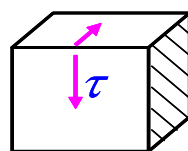
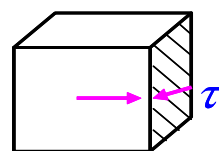
2. 图示为两端固定的受扭圆杆，其扭距图为（ ）。



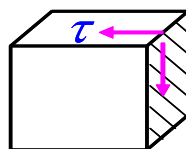
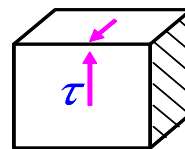
答案: B



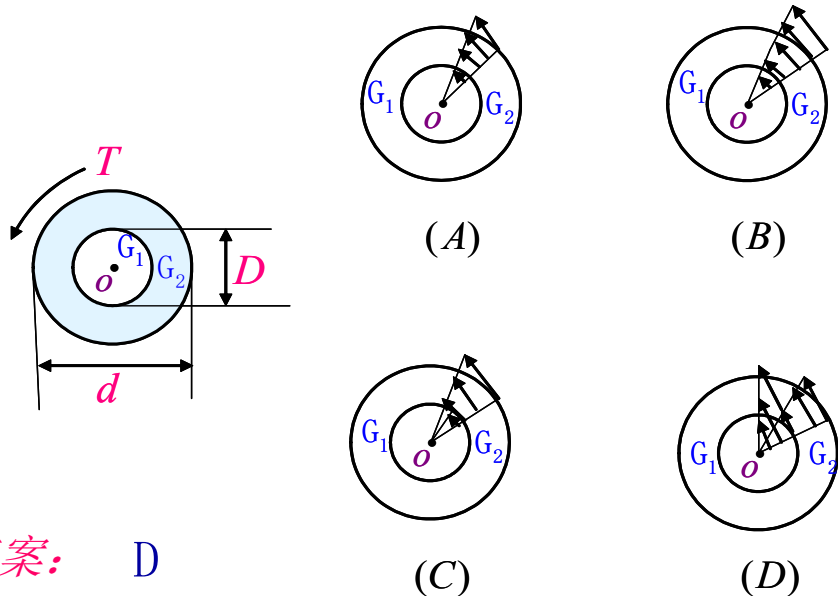
3. 圆轴受扭转如图所示。现取出I-I横截面上点1的纯剪切单元体，其成对存在的剪应力为（ ）。



答案: B



4. 圆轴由两种材料组成，其剪切模量分别为 G_1 和 G_2 。设受扭时二者之间无相对滑动， $G_1 = 2G_2$ ，则其横截面上的剪应力分布为（ ）。



答案: D

三、判断题

1. 由不同材料制成的两圆轴，若长 l 、轴径 d 及作用的扭转力偶均相同，则其最大剪应力必相同。 ()

答案: 正确

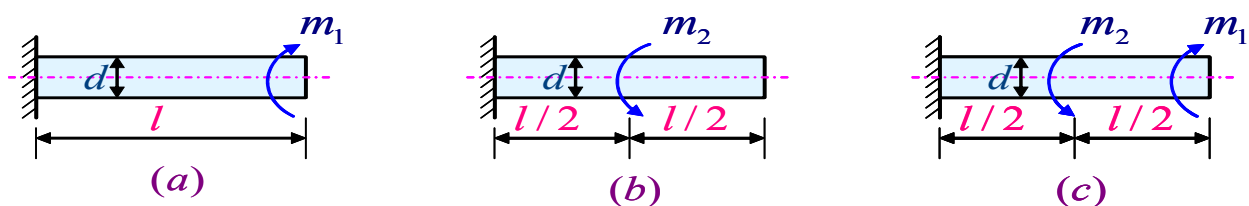
2. 由不同材料制成的两圆轴，若长 l 、轴径 d 及作用的扭转力偶均相同，则其相对扭角必相同。 ()

答案: 错误

3. 应用公式 $\tau_\rho = T_\rho / I_\rho$ 计算扭转剪应力的基本条件是等截面直圆杆，最大剪应力不超过材料的剪切比例极限。 ()

答案: 正确

4. 同一受扭圆杆在图示 (a)、(b)、(c) 三种情况下均处于线弹性、小变形状态，则 (c) 加载情况下的应力与变形等于 (a) 和 (b) 两种情况的叠加。 ()



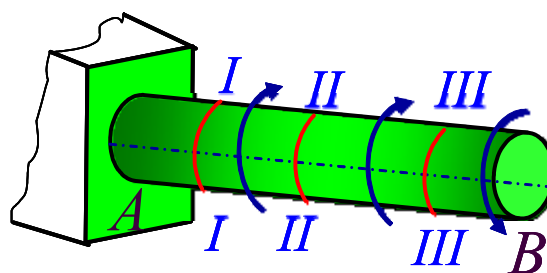
答案: ✓

5. (a)、(b)、(c) 三种情况同上，则 (c) 加载情况下的杆内变形能等于 (a) 和 (b) 两种加载情况的叠加。 ()

答案: 错误

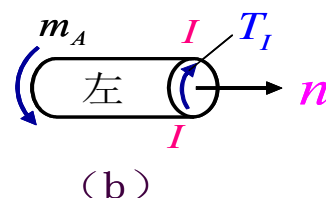
四、计算题

1.杆件受扭转力偶如图（a）所示。1）求指定横截面 I-I、II-II 上的扭距；2）作扭距图。



(a)

解:1)求 I-I 截面上的扭距



作 I-I 截面，取左段为研究对象（图（b））。为求 T_I 应先从整体平衡求出约束扭距 m_A ，然后由左段平衡求 T_I

由 AB 杆

$$\sum m_x = 0, \quad m_A = 15 + 10 - 10 = 15 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{转向如图 (b)})$$

由 I-I 截面左段

$$\sum m_x = T_I - m_A = 0, \quad T_I = m_A = 15 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (-)$$

其中 T_I 转向可自行假定，一般难按实际转向设定，如此处 T_I 。由平衡条件确定其大小与实际转向后，再根据扭距符号规定给以正、负号说明。如此处为负。

由 I-I 截面左段

作 II-II 截面，取右段为研究对象（图（c））。

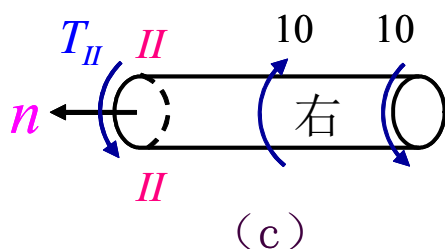
$$\text{由 } \sum m_x = T_{II} - 10 + 10 = 0, \quad T_{II} = 0$$

2) 作扭距图

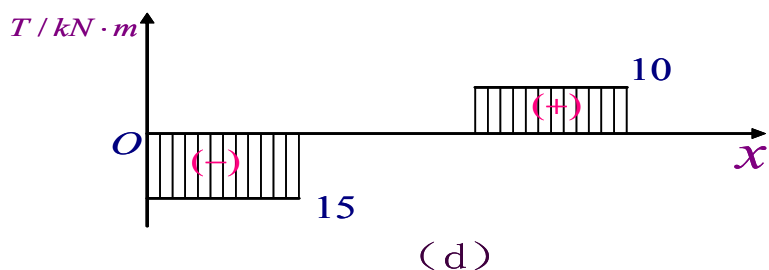
如1)，用截面法不难求得

$$T_I = -15 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad T_{II} = 0, \quad T_{III} = +10 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

作此杆扭距图（图（d））。



(c)



2. 汽车主传动轴将发动机输出的驱动力偶传递给后轮以推动汽车前进。设主传动轴能传递的最大扭转力偶为 $m_x = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，主传动轴则由外径 $D=89 \text{ mm}$ 、壁厚 $t=2.5 \text{ mm}$ 的钢管制成，且已知材料的剪切弹性模量 $G=80 \text{ GPa}$ 。求管的剪应力、剪应变和相应比能。

解:由钢管外径与壁厚可知

$$\frac{t}{D_0} = \frac{t}{D-t} = \frac{2.5}{89-2.5} = \frac{2.5}{86.5} 2.9\% < 5\%$$

可以应用薄壁圆筒扭转剪应力公式。由截面法知

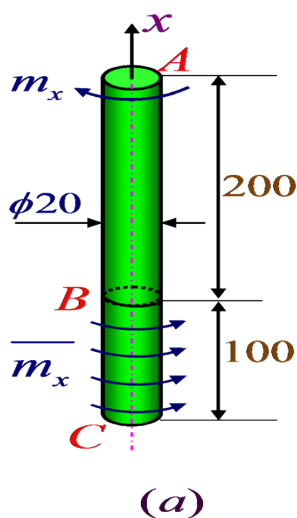
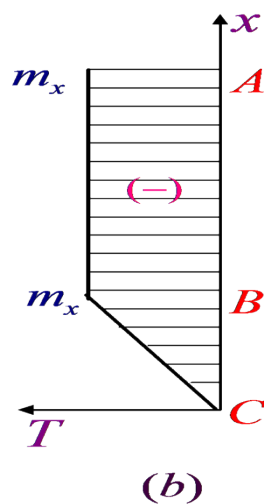
扭距 $T=m_x$ ，于是

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2T}{\pi D_0 t} = \frac{2m_x}{\pi D_0 t} = \frac{2 \times 2 \times 10^3}{\pi (86.5)^2 \times 10^{-8} \times 2.5 \times 10^{-3}} \\ &= 68.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 68.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{68.1}{80 \times 10^3} = 0.851 \times 10^{-3}$$

$$u = \frac{1}{2} \tau \gamma = \frac{1}{2} \times 68.1 \times 0.851 \times 10^{-3} = 29 \times 10^{-3} \text{ MPa} = 29 \text{ kJ/m}^3$$

3. 图 (a) 所示钻探机钻轴的下端一段长度上承受均布摩擦力 $\overline{m_x}$ (单位为 $\text{N} \cdot \text{m/m}$)。图中的长度单位为 mm 。已知钻轴材料的最大剪应力不能超过 70 MPa 。试求：1) 扭距 T 的最大许可值；2) 总扭转角 ($G=80 \text{ GPa}$)。



解：1) 求 $T_{\max}$

$$W_t = \frac{\pi}{16} d^3 = \frac{\pi}{16} \times 2^3 \times 10^{-6} = 1.57 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T_{\max} = [\tau] W_t = 70 \times 10^6 \times 1.57 \times 10^{-6} = 110 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2) 求 ϕ_{AC}

分 AB 段与 BC 段, AB 段 $T = m_x$, BC 段 $T(x) = \overline{m_x} \cdot x$

$= \frac{m_x}{l_{BC}} \cdot x$, 则有

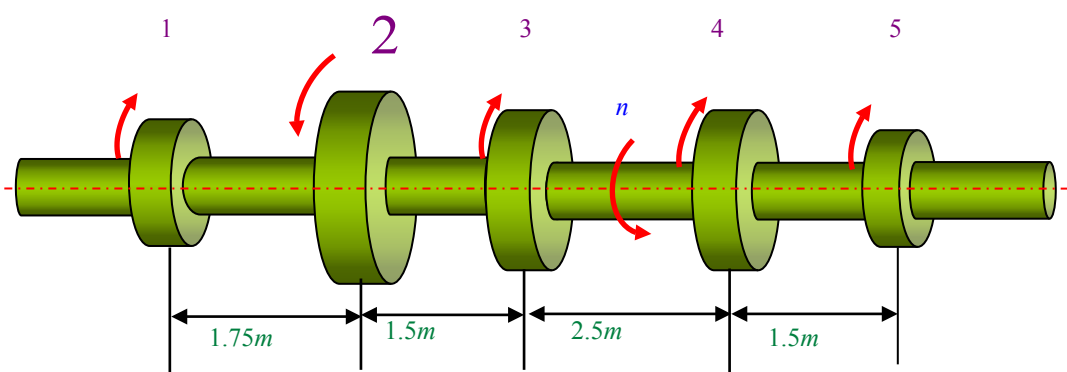
$$\phi_{AC} = \phi_{AB} + \phi_{BC} = \frac{m_x \cdot l_{AB}}{GI_P} + \int_0^{l_{BC}} \frac{m_x \cdot x dx}{l_{BC} \cdot GI_P} = \frac{m_x \cdot l_{AB}}{GI_P} \left(1 + \frac{l_{BC}}{2l_{AB}}\right)$$

取 $m_x = T_{\max} = 110 \text{ N} \cdot \text{m}$,

$$I_P = \frac{\pi}{32} \times 2^4 \times 10^{-8} = 1.57 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$\phi_{AC} = \frac{110 \times 0.2}{80 \times 10^9 \times 1.57 \times 10^{-8}} \left(1 + \frac{100}{2 \times 200}\right) = 0.0219 \text{ rad} = 1.25^\circ$$

4. 图 (a) 所示传动轴的转速 n 为 200 r/min , 从主动轮 2 上输入功率 55 kW , 由从动轮 1、3、4 及 5 输出的功率分别为 10 kW 、 13 kW 、 22 kW 及 10 kW 。已知材料的许用应力 $[\tau] = 40 \text{ MPa}$, 剪切弹性模量 $G = 81 \text{ GPa}$, 要求 $[\phi] = 0.5^\circ/\text{m}$ 。试选定轴的直径。



解：1) 由强度平衡条件求直径 $d^{(g)}$

作轴上各段功率 N 分配图 (图 (b)), 它可代表轴的扭距图。

$$T_{\max} = 9550 \frac{45}{200} = 2149 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{(\pi/16)d^3} \leq [\tau]$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16T_{\max}}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 2149}{\pi \times 40 \times 10^6}} = 6.5 \times 10^{-2} \text{ m} \approx 65 \text{ mm}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/767116066016006151>