

南京航空航天大学

第1页 (共13页)

二〇一九～二〇二〇学年 第2学期 《飞行器结构力学》考试试题

考试日期：2020 年 月 日

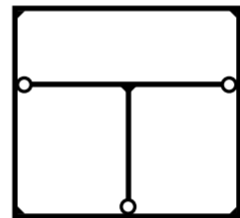
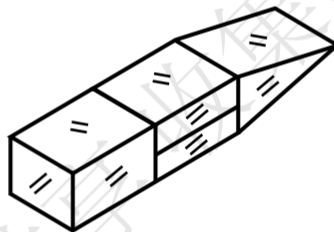
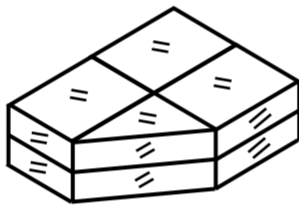
试卷类型：A

试卷代号：10009

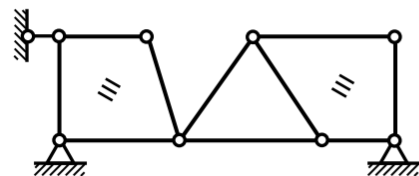
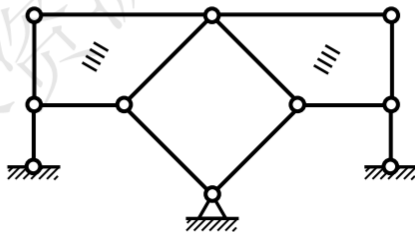
题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
得分											

本题分数	10
得分	

一、分析图示各系统的几何组成性质，指明各系统是何系统？(1)几何可变系统；(2)静定系统；(3)静不定系统，多余约束数是多少？(4)瞬变系统。（每小题2分）



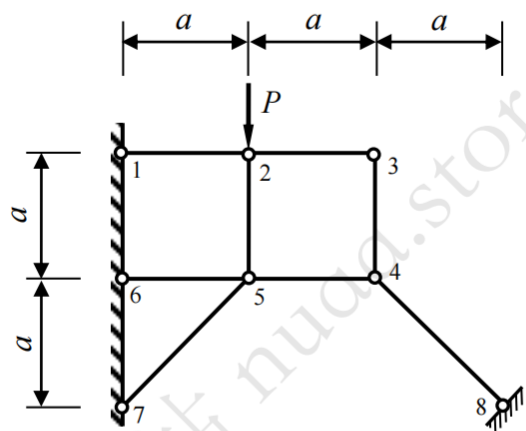
(a) _____ (b) _____ (c) _____



(d) _____ (e) _____

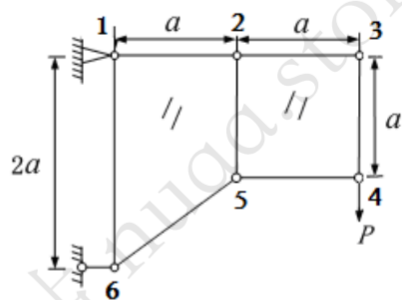
本题分数	15
得 分	

二、已知平面桁架的几何尺寸和载荷情况如图所示，杆的弹性模量均为 E ，截面积均为 f ，计算桁架各杆的内力，并将内力标注在图中。



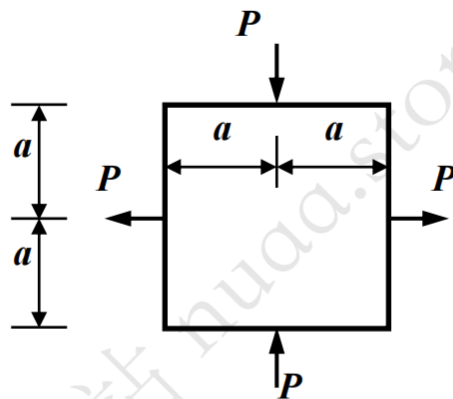
本题分数	15
得 分	

三、已知平面薄壁结构的形状、尺寸及受载情况如下图所示，求点 3 的水平位移。已知受剪板厚度为 t ，剪切弹性模量为 G ；杆截面积为 f ，杆的杨氏弹性模量为 E 。



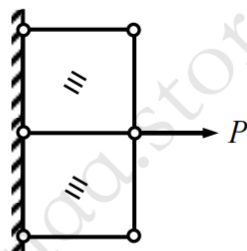
本题分数	20
得 分	

四、平面正方形刚架结构，边长为 $2a$ ，受如图所示的四个集中力 P 作用，求该平面刚架的弯矩，并画出弯矩图，已知刚架剖面 EJ 为常数。



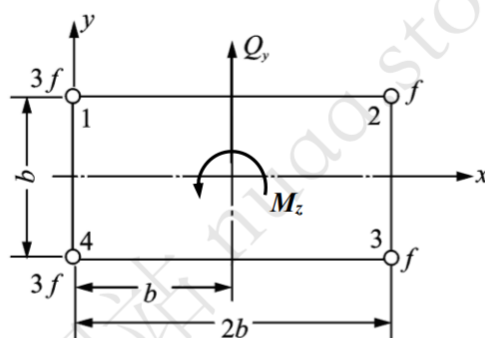
本题分数	20
得 分	

五、求图示平面杆板式薄壁结构的内力，并画出内力图。已知各杆截面面积为 f ，长度为 a ，板厚为 t ，杆弹性模量为 E ，板剪切模量为 G ，且有关系式 $Ef=10Gta$ 。

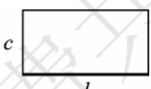
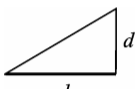
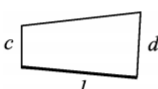

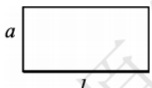
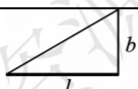

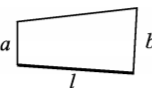
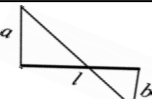


本题分数	20
得 分	

六、下图所示为四缘条单闭室剖面的薄壁梁，试求在剪力 Q_y 和扭矩 M_z （设其大小为 $M_z = Q_y b$ ）作用下剖面的剪流分布（并在剖面上画出剪流图）和相对扭角，并确定剖面的弯心位置。假设壁板不承受正应力，壁厚均为 t ，剪切模量为 G ，缘条面积已在图中注明。



附：图乘法计算公式

$\int M_1 M_P ds$ M_1 M_P				
	acl	$\frac{1}{2}adl$	$\frac{1}{2}a(c+d)l$	$\frac{1}{2}a(c-d)l$
	$\frac{1}{2}bcl$	$\frac{1}{3}bdl$	$\frac{1}{6}b(2d+c)l$	$\frac{1}{6}b(c-2d)l$
	$\frac{1}{2}acl$	$\frac{1}{6}adl$	$\frac{1}{6}a(2c+d)l$	$\frac{1}{6}a(2c-d)l$
	$\frac{1}{2}(a+b)cl$	$\frac{1}{6}(a+2b)dl$	$\frac{1}{6}[a(2c+d)+b(2d+c)]l$	$\frac{1}{6}[a(2c-d)+b(c-2d)]l$
	$\frac{1}{2}(a-b)cl$	$\frac{1}{6}(a-2b)dl$	$\frac{1}{6}[a(2c+d)-b(2d+c)]l$	$\frac{1}{6}[a(2c-d)-b(c-2d)]l$

一、(10 分)

- (a) 静不定系统, $K=14$ (2 分) (b) 静不定系统, $K=3$ (2 分)
 (c) 静不定系统, $K=6$ (2 分) (d) 瞬变系统 (2 分)
 (e) 静不定系统, $K=1$ (2 分)

二、(15 分)

解:

结构为静定结构, 由零力杆判断规则可知, 杆 2-3、3-4、4-8、5-4、1-2 的轴力均为零。

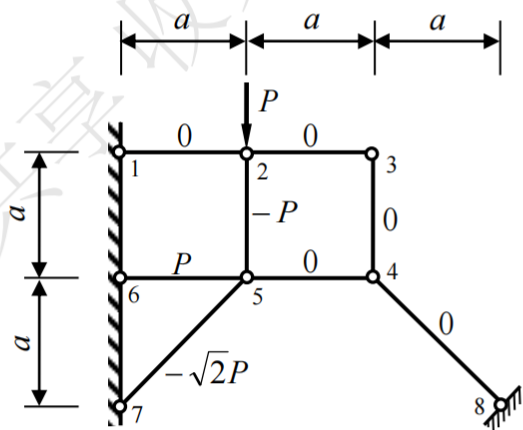
由节点 2 的平衡, 可得 $N_{25} = -P$

由节点 5 的平衡: $N_{57} \cos 45^\circ = N_{52} = -P$, 可得 $N_{57} = -\sqrt{2}P$

$$N_{57} \sin 45^\circ + N_{56} = 0, \text{ 可得 } N_{56} = P$$

各杆的轴力如图所示。

(共 8 根杆, 每杆 2 分, 全对 15 分, 结果应标注在图中, 未标在图中扣 1 分)

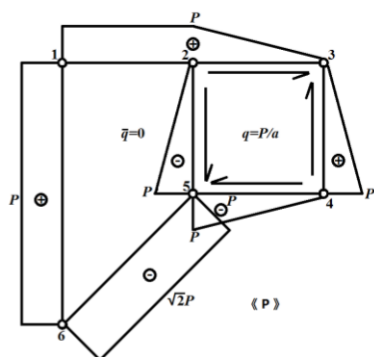


三、(15 分)

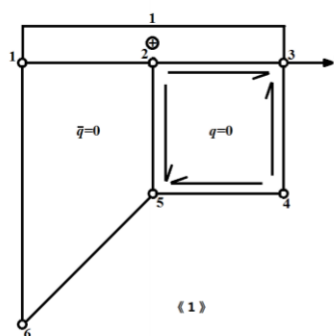
解:

1) 求解《P》状态, 得: $q_p = \frac{P}{a}$ (1.5 分); $\bar{q}_p = 0$ (1.5 分); 各杆的轴力如下图(a)所示。(每根杆得 0.5 分, 共 4 分)

2) 求解《1》状态, 得: $q_1 = 0$ (1 分); $\bar{q}_1 = 0$ (1 分); 各杆的轴力如下图(b)所示。(每根杆得 0.5 分, 共 3 分)



(a)



(b)

3) 求点 3 的水平位移: (2+1=3 分)

$$\Delta_{3\text{水平}} = \sum \int \frac{N_1 N_p ds}{Ef} + \sum \frac{q_1 q_p F}{Gt} = \frac{1}{Ef} \left(\frac{1}{2} \cdot P \cdot a \cdot 1 + P \cdot a \cdot 1 \right) = \frac{3Pa}{2Ef}$$

四、(20 分)

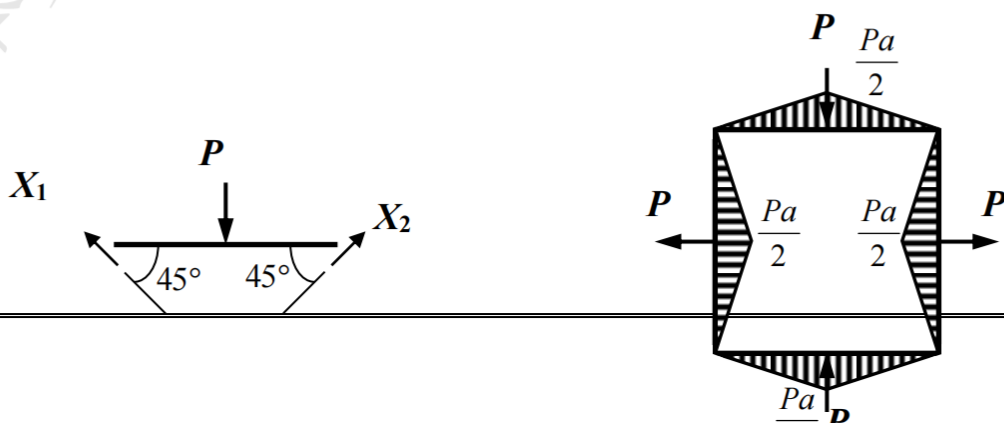
解:

方法(一): 结构对称, 若取对角线为对称轴, 则载荷为反对称, 取 1/4 结构进行计算。

由结构左右对称可知, $X_1 = X_2$, 系统为静定结构。 (5 分)

根据平衡方程, 可求出: $X_1 = X_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} P$ 。 (10 分)

结构弯矩图可由反对称性得出。 (5 分)



方法(二): 结构对称, 载荷左右对称, 上下对称, 取 1/4 结构进行计算。

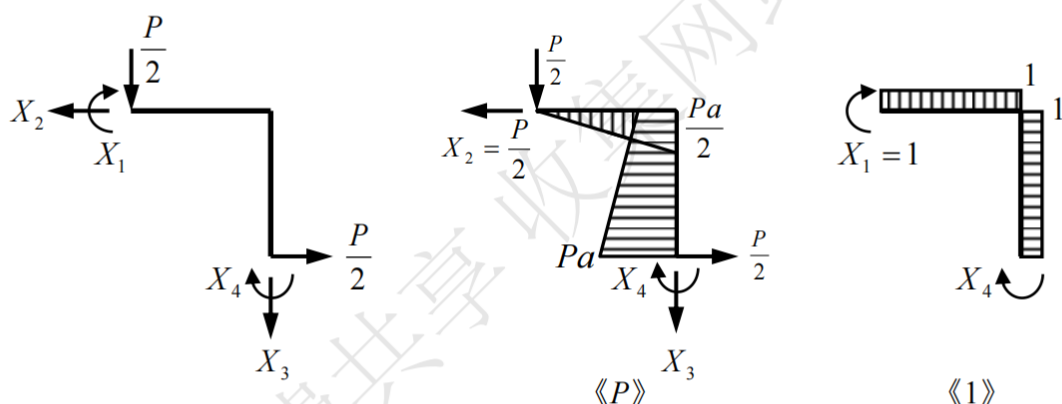
由平衡方程可得:

$$X_2 = \frac{P}{2}, \quad X_3 = -\frac{P}{2}, \quad X_1 = Pa - X_4$$

系统静不定度 $K=1$ 。

以 X_1 为未知力, 建立力法典型方程, 《P》状态和《1》状态弯矩图如下图所示。

(5+5=10 分)



计算影响系数和载荷系数:

(3+3=6 分)

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{M_1 M_1 ds}{EJ} = 2 \cdot \frac{1}{EJ} \cdot a \cdot 1 \cdot 1 = \frac{2a}{EJ}$$

$$\Delta_{1P} = \sum \int \frac{M_1 M_P ds}{EJ} = -\frac{1}{EJ} \left[\frac{1}{2} a \cdot \frac{Pa}{2} \cdot 1 + \frac{1}{2} (Pa + \frac{Pa}{2}) \cdot a \cdot 1 \right] = -\frac{Pa^2}{EJ}$$

代入力法的典型方程: $\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0$

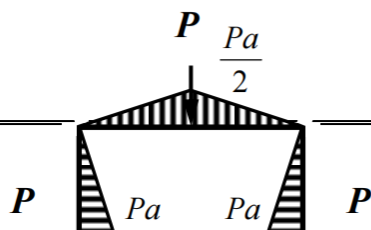
可得 $2X_1 - Pa = 0$, $X_1 = \frac{Pa}{2}$

(1+1=2 分)

结构弯矩: $M = M_P + X_1 \cdot M_1$

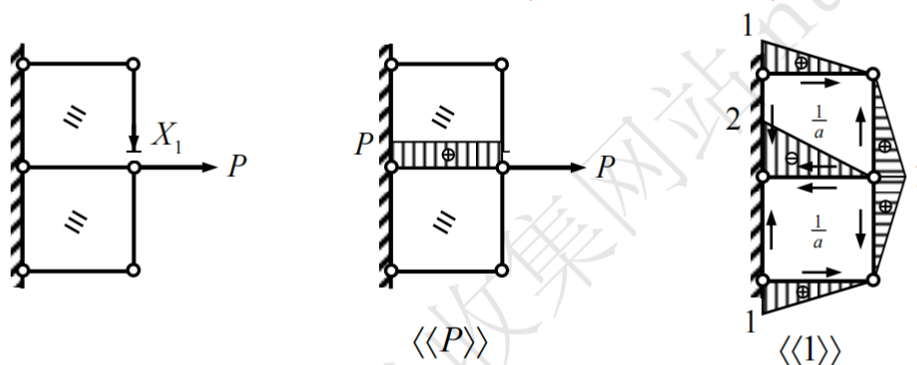
弯矩计算结果与方法(一)相同(左右对称, 上下对称)。

(2 分)



五、(20 分)

解：结构静不定度 $K=1$ 。如图所示选取一根杆为多余约束，切断杆端，得到静定结构。列力法典型方程，《P》状态和《1》状态的内力图如图所示。(每图 5 分，共 10 分)



计算影响系数和载荷系数：(3+3=6 分)

$$\delta_{11} = \sum \int \frac{N_1^2 ds}{Ef} + \sum \frac{q_1^2 F}{Gt} = \frac{1}{Ef} \left(4 \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{2} a \cdot 2 \cdot \frac{4}{3} \right) + 2 \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \frac{a^2}{Gt} = \frac{68a}{3Ef}$$

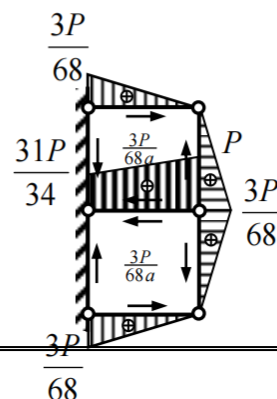
$$\Delta_{1P} = \sum \int \frac{N_1 N_P ds}{Ef} = \frac{1}{Ef} \left(\frac{1}{2} a \cdot 2 \cdot (-P) \right) = -\frac{Pa}{Ef}$$

代入力法的典型方程： $\delta_{11} X_1 + \Delta_{1P} = 0$ (1 分)

$$\text{可得 } \frac{68a}{3} X_1 - Pa = 0, \quad X_1 = \frac{3P}{68} \quad (1 \text{ 分})$$

结构的内力： $N = N_P + X_1 \cdot N_1$

内力如图所示。(2 分)



六、(20 分)

解:

因为剖面上下对称, 所以 x 轴是剖面的中心主轴。剖面对 x 轴的惯性矩为 (2 分)

$$J_x = \sum f_i y_i^2 = 2(3f + f) \left(\frac{b}{2} \right)^2 = 2fb^2$$

(1) 求开口剖面剪流 \tilde{q}_y : 在缘条 1 右侧开口, 开口处剪流为 q_0 , 如下图(a)所示。(4 分)

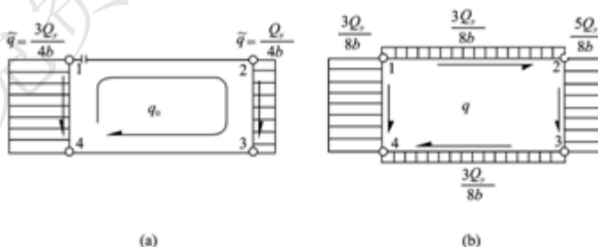
$$\begin{aligned} S_x^{1-2} &= 0 & \tilde{q}_y^{1-2} &= \frac{Q_y}{J_x} S_x^{1-2} = 0 \\ S_x^{2-3} &= \frac{fb}{2} & \tilde{q}_y^{2-3} &= \frac{Q_y}{J_x} S_x^{2-3} = \frac{Q_y}{2fb^2} \frac{fb}{2} = \frac{Q_y}{4b} \\ S_x^{3-4} &= 0 & \tilde{q}_y^{3-4} &= \frac{Q_y}{J_x} S_x^{3-4} = 0 \\ S_x^{1-4} &= \frac{3fb}{2} & \tilde{q}_y^{1-4} &= \frac{Q_y}{J_x} S_x^{1-4} = \frac{Q_y}{2fb^2} \frac{3fb}{2} = \frac{3Q_y}{4b} \end{aligned}$$

\tilde{q}_y 的大小及方向标注在下图(a)上。

利用力矩平衡求 q_0 。对 4 点取力矩平衡, 得 (2+1=3 分)

$$q_0 = \frac{1}{\Omega} [M_z + Q_y b - \int \tilde{q} \rho ds] = \frac{1}{4b^2} \left[Q_y b + Q_y b - \frac{Q_y}{4b} b \cdot 2b \right] = \frac{3Q_y}{8b}$$

剪流 q_0 为正, 将 \tilde{q}_y 与 q_0 叠加, 则得剖面剪流 q , 如下图 (b)所示。(1 分)



(2) 求相对扭角: (2+2=4 分)

$$\theta = \frac{1}{\Omega} \oint \frac{q ds}{Gt} = \frac{1}{Gt \cdot 2 \cdot 2b \cdot b} \left(\frac{3Q_y}{8b} \cdot 2b \cdot 2 + \frac{5Q_y}{8b} b - \frac{3Q_y}{8b} b \right) = \frac{7Q_y}{16b^2 Gt}$$

求得 θ 为正, 扭角是逆时针方向。

(3) 求弯心: (2+2+2=6 分)

x 轴是对称轴, 弯心在 x 轴上。假定弯心位于剪力 Q_y 右侧, 则由于单位扭矩产生的相对扭角为

$$\theta_1 = \frac{1}{\Omega^2} \oint \frac{ds}{Gt} = \frac{(2b+b) \times 2}{(2 \times 2b \times b)^2 Gt} = \frac{3}{8b^3 Gt}$$

则

$$\frac{\theta_{Q_y}}{\theta_1} - M_z = -Q_y X \Rightarrow \frac{7Q_y}{16b^2 Gt} \cdot \frac{8b^3 Gt}{3} - Q_y b = -Q_y X$$

$$X = -\frac{b}{6}$$

负号表示弯心位于剪力 Q_y 左侧 $\frac{b}{6}$ 处。