

### III. 模拟试卷及参考答案

#### 河北省普通高校专科接本科教育考试

#### 工程力学模拟试卷

(考试时间: 75 分钟)

(总分: 150 分)

说明: 请在答题纸的相应位置上作答, 在其他位置上作答的无效。

一、单项选择题 (本大题共 5 道小题, 每小题 5 分, 共 25 分。在每小题给出的备选项中, 选出一个正确的答案, 并将所选项前的字母填涂在答题纸的相应位置上)

1、在下述原理、法则、定理中, 只适用于刚体的有\_\_\_\_\_。

A、二力平衡原理; B、力的平行四边形法则;

C、作用与反作用定理; D、刚化原理。

2、一空间任意力系向某点简化后, 主矢为零, 主矩在  $z$  轴上的投影为零, 则该力系简化的最终结果可能是\_\_\_\_\_。

A、平衡; B、一个力偶或平衡; C、一个力; D、力螺旋。

3、如图 1 所示直杆, 横截面面积为  $A=100\text{mm}^2$ , 载荷  $P=10\text{kN}$ , 则  $\alpha=60^\circ$  斜截面上的正应力和切应力分别为\_\_\_\_\_。

A、 $25\text{MPa}$ ,  $-43.3\text{MPa}$ ; B、 $25\text{MPa}$ ,  $43.3\text{MPa}$ ;

C、 $-25\text{MPa}$ ,  $43.3\text{MPa}$ ; D、 $-25\text{MPa}$ ,  $-43.3\text{MPa}$ 。

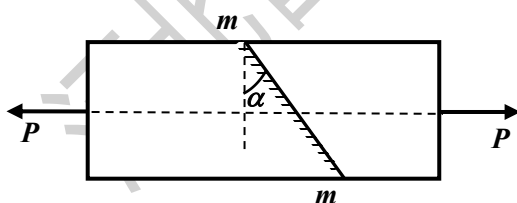


图 1

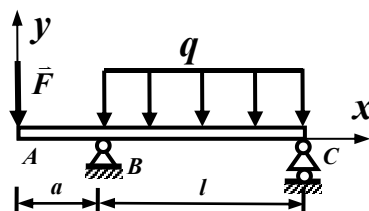


图 2

4、如果实心圆轴的直径增大一倍(其他情况不变), 其极惯性矩将\_\_\_\_\_。

A、增大 16 倍; B、增大 15 倍; C、增大 8 倍; D、增大 4 倍。

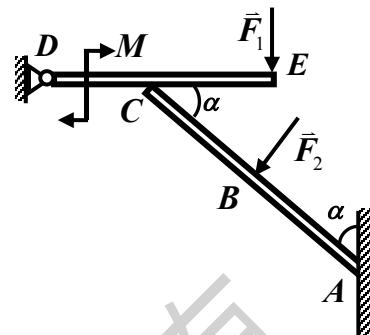
5、如图 2 所示梁, 若用积分法求梁的挠曲线方程时, 则相应的边界或连续条件为\_\_\_\_\_。

A、 $x_B=0$ ,  $y_B=0$ ,  $y_{B\text{左}}=y_{B\text{右}}$ ,  $y_C=0$ ; B、 $y_B=0$ ,  $y_C=0$ ,  $y_{B\text{左}}=y_{B\text{右}}$ ,  $\theta_{B\text{左}}=\theta_{B\text{右}}$ ;

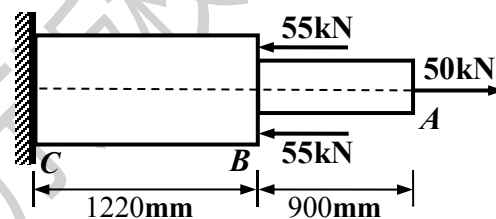
C、 $\theta_B=0$ ,  $y_B=0$ ,  $y_{B\text{左}}=y_{B\text{右}}$ ,  $y_C=0$ ; D、 $\theta_B=0$ ,  $y_B=0$ ,  $y_{B\text{左}}=y_{B\text{右}}$ ,  $\theta_C=0$ 。

二、计算题（本大题共 5 小题，第 1、2、3 小题各 25 分，第 4 小题 30 分，第 5 小题 20 分，共 125 分。请将解答的主要过程、步骤和答案填写在答题纸的相应位置上）

1、图示机构中， $A$  处为固定端约束， $C$  处为光滑接触， $D$  处为铰链连接。已知  $F_1=F_2=400\text{N}$ ， $M=300\text{N}\cdot\text{m}$ ， $AB=BC=400\text{mm}$ ， $CD=CE=300\text{mm}$ ， $\alpha=45^\circ$ ，不计各构件自重，求固定端  $A$  处与铰链  $D$  处的约束力。

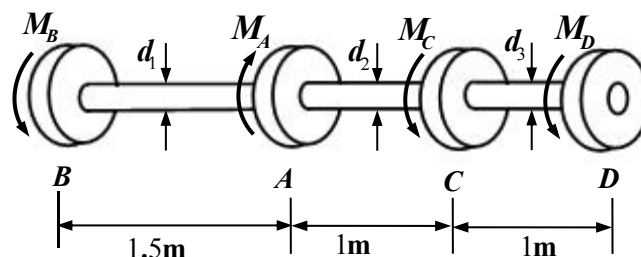


2、两根直径不同的实心截面杆， $d_1=65\text{mm}$ ， $d_2=38\text{mm}$ ，在  $B$  处焊接在一起，弹性模量均为  $E=200\text{MPa}$ ，受力和杆的尺寸如图所示。试求轴向变形总量。



3、如图所示阶梯形传动轴， $A$  为主动轮， $B$ 、 $C$ 、 $D$  为从动轮。 $A$  轮输入的转矩  $M_A=800\text{N}\cdot\text{m}$ ， $B$ 、 $C$ 、 $D$  轮输出的转矩分别为  $M_B=M_C=300\text{N}\cdot\text{m}$ ， $M_D=200\text{N}\cdot\text{m}$ 。传动轴的许用切应力  $[\tau]=40\text{MPa}$ ，许用扭转角  $[\theta]=1^\circ/\text{m}$ ，材料的剪切弹性模量  $G=80\text{GPa}$ 。

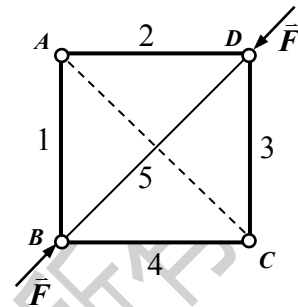
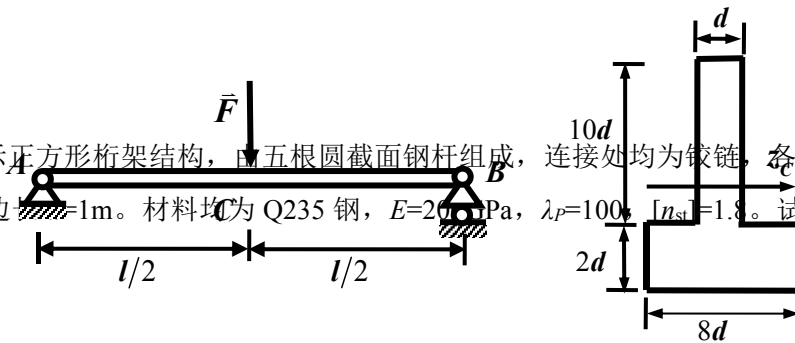
试求：1、轴的扭矩图；2、试根据轴的强度条件和刚度条件，分别确定传动轴各段的直径。



4、一铸铁简支梁的横截面如图所示，跨长  $l=2\text{m}$ ，在梁的跨中点受一集中载荷作用， $F=80\text{kN}$ 。已知许用拉应力  $[\sigma_t]=30\text{MPa}$ ，许用压应力  $[\sigma_c]=90\text{MPa}$ 。

试求：1、画出梁的剪力图和弯矩图；2、试确定截面尺寸  $d$ 。

5、图示正方形桁架结构，由五根圆截面钢杆组成，连接处均为铰链，各杆直径均为  $d=40\text{mm}$ ，边长  $l=1\text{m}$ 。材料均为 Q235 钢， $E=200\text{GPa}$ ， $\lambda_P=100$ ， $[n_{st}]=1.8$ 。试：求结构的许可载荷。



## 工程力学参考答案

### 一、单项选择题

1. A 2. B 3. B 4. A 5. B

### 二、计算题

1、解：（1）取  $DE$  杆：（图+4 分）

$$\sum M_C = 0, \quad F_D \times 0.3 - F_1 \times 0.3 - M = 0,$$

$$F_D = 1400\text{N} (\downarrow) \quad (+4 \text{ 分})$$

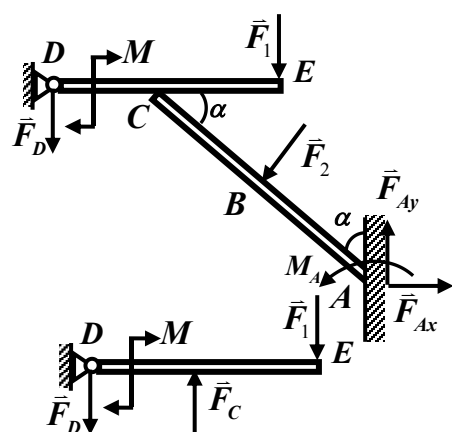
（2）取整体：（图+5 分）

$$\sum F_x = 0, \quad F_{Ax} - F_2 \times \cos 45^\circ = 0,$$

$$F_{Ax} = 282.8\text{N} (\rightarrow) \quad (+4 \text{ 分})$$

$$\sum F_y = 0, \quad F_{Ay} - F_1 - F_D - F_2 \times \sin 45^\circ = 0,$$

$$F_{Ay} = 2082.8\text{N} (\uparrow) \quad (+4 \text{ 分})$$

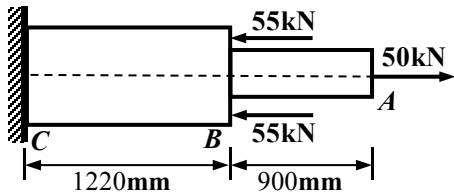


$$\sum M_A = 0 ,$$

$$F_D \times (0.3 + 0.8 \times \cos 45^\circ) + F_1 \times (0.8 \times \cos 45^\circ - 0.3) - M + M_A + F_2 \times 0.4 = 0 ,$$

$$M_A = -1178.4 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (+4 \text{ 分})$$

2、



解：(1)求端部约束力：(+3 分)

$$\sum F_x = 0 , \quad F_{RC} - 55 \times 2 + 50 = 0 ,$$

$$F_{RC} = 60 \text{ kN}$$

(2)求各段轴力：(+8 分)

$$F_{NBC} = 60 \text{ kN} \quad (\text{压力});$$

$$F_{NAB} = 50 \text{ kN} \quad (\text{拉力});$$

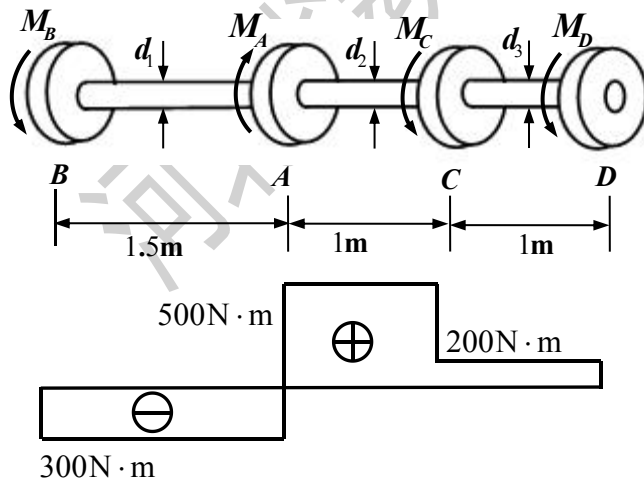
(2)求各段变形：

$$\Delta l_{BC} = \frac{F_{NBC} \cdot 1.22}{EA_{BC}} = -\frac{60 \times 10^3 \text{ N} \cdot 1.22 \text{ m}}{200 \times 10^6 \text{ Pa} \times \pi \left(65 \times 10^{-3} / 2\right)^2} = -110.4 \text{ mm} \quad (+5 \text{ 分})$$

$$\Delta l_{AB} = \frac{F_{NAB} \cdot 0.9}{EA_{AB}} = \frac{50 \times 10^3 \text{ N} \cdot 0.9 \text{ m}}{200 \times 10^6 \text{ Pa} \times \pi \left(38 \times 10^{-3} / 2\right)^2} = 198.5 \text{ mm} \quad (+5 \text{ 分})$$

$$\Delta l = \Delta l_{AB} - \Delta l_{BC} = (198.5 - 110.4) \text{ mm} = 88.1 \text{ mm} \quad (+4 \text{ 分})$$

3、解：(1)扭矩图如图所示。( +7 分)



(2)确定各段直径。

AB 段：(+6 分)

$$\tau_{AB \max} = \frac{T_{AB}}{W_{P1}} = \frac{300}{\frac{1}{16} \pi d_1^3} \leq [\tau] = 40 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{300 \times 16}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{300 \times 16}{\pi \times 40 \times 10^6}} = 33.7 \text{ mm}$$

$$\theta_{AB \max} = \frac{T_{AB}}{GI_{P1}} = \frac{300}{G \frac{1}{32} \pi d_1^4} \leq [\theta] = 1^\circ \times \frac{\pi}{180}$$

$$d_1 \geq \sqrt[4]{\frac{300 \times 32}{80 \times 10^9 \times \pi \times \frac{\pi}{180}}} = 38.5 \text{ mm}, \text{ 可得: } d_1 = 39 \text{ mm}$$

AC 段: (+6 分)

$$d_2 \geq \sqrt[3]{\frac{500 \times 16}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{500 \times 16}{\pi \times 40 \times 10^6}} = 39.9 \text{ mm},$$

$$d_2 \geq \sqrt[4]{\frac{500 \times 32}{80 \times 10^9 \times \pi \times \frac{\pi}{180}}} = 43.7 \text{ mm},$$

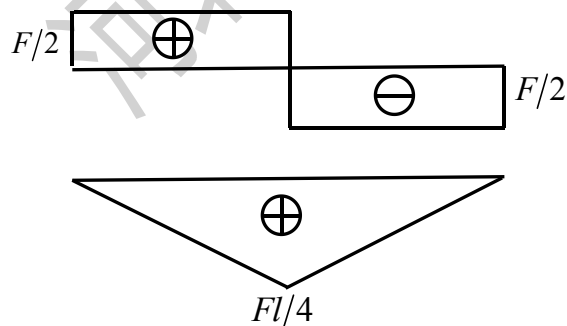
可得:  $d_2 = 44 \text{ mm}$

CD 段: (+6 分)

$$d_3 \geq \sqrt[3]{\frac{200 \times 16}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{200 \times 16}{\pi \times 40 \times 10^6}} = 29.4 \text{ mm},$$

$$d_3 \geq \sqrt[4]{\frac{200 \times 32}{80 \times 10^9 \times \pi \times \frac{\pi}{180}}} = 34.8 \text{ mm}, \text{ 可得: } d_3 = 35 \text{ mm}$$

4、解: (1) 剪力图弯矩图如图所示。(图+10 分)



(2) 确定尺寸  $d$ :

$$\text{最大弯矩为 } M_{\max} = \frac{Fl}{4} = \frac{80 \times 2}{4} = 40 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (+2 \text{ 分})$$

$$\text{截面形心: } y_c = \frac{8d \cdot 2d \cdot d + 10d \cdot d \cdot 7d}{8d \cdot 2d + 10d \cdot d} = 3.31d \quad (+3 \text{ 分})$$

$$I_z = \frac{1}{12} 8d (2d)^3 + (8d \cdot 2d) \cdot (3.31d - d)^2 + \frac{1}{12} d (10d)^3 + (10d \cdot d) \cdot (12d - 5d - 3.31d)^2$$

(+4 分)

$$I_z = 310.2046d^4 \quad (+1 \text{ 分})$$

$$\sigma_{t \max} = \frac{M_{\max} \times 3.31d}{I_z} = \frac{40 \times 10^3 \text{ N} \times 3.31d}{310.2046d^4} \leq 30 \times 10^6 \text{ Pa}, \quad d \geq 24.23 \text{ mm} \quad (+4 \text{ 分})$$

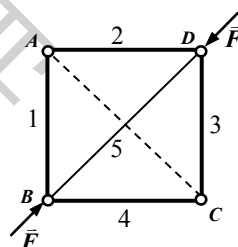
$$\sigma_{c \max} = \frac{M_{\max} \times (12 - 3.31)d}{I_z} = \frac{40 \times 10^3 \text{ N} \times 8.69d}{310.2046d^4} \leq 90 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (+4 \text{ 分})$$

$d \geq 23.18 \text{ mm}$ ，取  $d = 25 \text{ mm}$ 。( +2 分)

5、解：由图示结构可知，5 杆为压杆，杆件内力为  $F$ 。( +5 分)

$$i = d/4 = 10 \text{ mm} \quad (+4 \text{ 分}), \quad \lambda = \mu a \sqrt{2} / i = 141.4 > 100 \quad (+5 \text{ 分})$$

$$[F] = \frac{F_{Cr}}{n_{st}} = \frac{\pi^2 EI}{1.8 \times (a\sqrt{2})^2} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times \pi d^4 / 64}{1.8 \times (a\sqrt{2})^2} = 68.8 \text{ kN} \quad (+6 \text{ 分})$$





- A. 曲柄摇杆机构                      B. 单个棘轮机构  
C. 单个槽轮机构                      D. 单万向联轴节
7. 轻工机械中常需从动件作单向间歇运动, 下列机构不能实现该要求的是\_\_\_\_。
- A. 棘轮机构                      B. 蜗形凸轮机构  
C. 槽轮机构                      D. 摆动导杆机构
8. 在一传动机构中, 主、从动件的传动轴线平行, 但其轴间距离可能会发生变化, 现要求主、从动轴的传动比为定值。一种可供选择的机构是\_\_\_\_。
- A. 平行四边形机构                      B. 齿轮机构  
C. 十字滑块联轴节                      D. 转动导杆机构
9. 带传动工作时, 若小带轮为主动轮, 则带的最大应力发生于带\_\_\_\_处。
- A. 进入主动轮                      B. 退出主动轮  
C. 进入从动轮                      D. 退出从动轮
10. 带传动工作时产生弹性滑动是因为\_\_\_\_。
- A. 带的预紧力不够                      B. 带的紧边和松边拉力不等  
C. 带绕过带轮时有离心力                      D. 带与带轮间的摩擦力不够
11. 链传动张紧的主要目的是\_\_\_\_。
- A. 增大摩擦力                      B. 提高链传动工作能力  
C. 避免松边垂度过大引起啮合不良和链条振动                      D. 增大包角
12. 链传动中, 一般链轮最多齿数限制为 120, 是为了\_\_\_\_。
- A. 减小链传动的不均匀性                      B. 限制传动比  
C. 减少链节磨损后从链轮脱落的可能                      D. 保证链轮轮齿强度。
13. 代号为 6208 的轴承, 其内径是\_\_\_\_。
- A. 20mm                      B. 62mm  
C. 8mm                      D. 40mm
14. 滚动轴承的基本额定寿命是指\_\_\_\_。
- A. 在基本额定动载荷作用下, 轴承所能达到的寿命  
B. 在额定工况和额定载荷作用下, 轴承能达到的寿命  
C. 在额定工况和额定载荷作用下, 90%轴承能达到的寿命  
D. 同一批轴承进行实验时, 90%轴承能达到的寿命
15. 直动平底从动件盘形凸轮机构的压力角\_\_\_\_。
- A. 永远等于  $0^\circ$                       B. 等于常数  
C. 随凸轮转角而变化                      D.  $90^\circ$

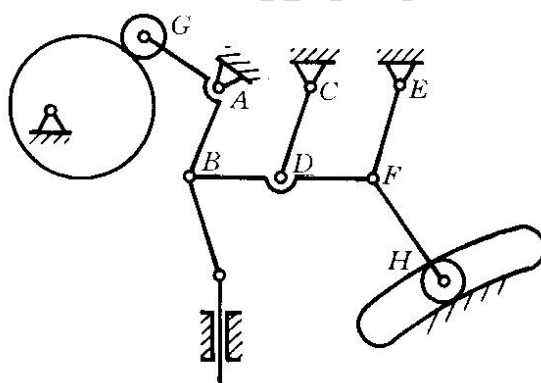
二、填空题(本大题共 10 小题, 每小题 3 分, 共 30 分。将答案填写在答题纸的相应位置上)



16. 在摆动导杆机构中, 导杆摆角  $\psi = 30^\circ$ , 其行程速度变化系数  $K$  的值为\_\_\_\_\_。
17. 曲柄滑块机构是通过改变曲柄摇杆机构中的\_\_\_\_\_而形成的。
18. 机械中的零件是\_\_\_\_\_的单元体。
19. 凸轮的基圆半径越小, 则凸轮机构的压力角越\_\_\_\_\_。
20. 在设计滚子从动件盘形凸轮机构时, 选择滚子半径的条件是\_\_\_\_\_。
21. 带传动的打滑是由于\_\_\_\_\_原因引起的失效现象, 在带的正常工作时应避免打滑。
22. 套筒滚子链中套筒与销轴之间的配合为\_\_\_\_\_配合。
23. 径向滑动轴承按结构形式可分为整体式和\_\_\_\_\_两大类。
24. 校核非液体摩擦滑动轴承的工作能力时, 除要演算轴承的平均压强外, 还要演算轴承的\_\_\_\_\_值。
25. \_\_\_\_\_, 称为滚动轴承的基本额定动载荷。

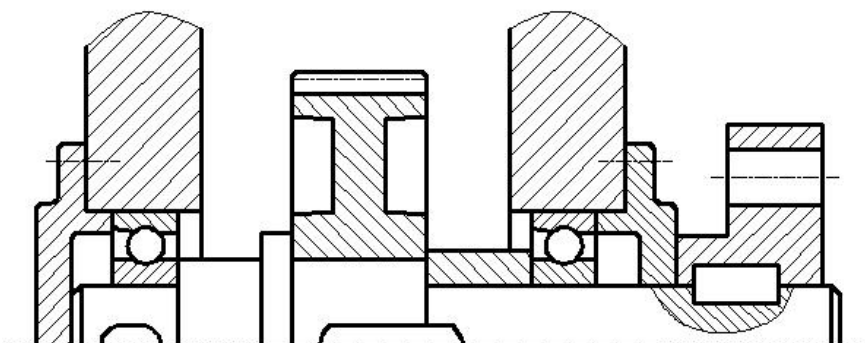
三、分析与设计题(本大题共 2 小题, 每小题 15 分, 共 30 分。将解答的主要过程、步骤和答案填写在答题纸的相应位置上)

26. 计算图示机构的自由度, 若有复合铰链、局部自由度和虚约束, 必须指出。(已知  $AB$ 、 $CD$ 、 $EF$  三杆长度相等且相互平行)



第 26 题图

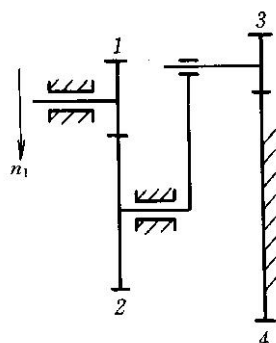
27. 指出图示轴系结构中的错误和不合理处, 并说明原因。



第 27 题图

四、计算题(本大题共 3 小题，每小题 15 分，共 45 分。将解答的主要过程、步骤和答案填写在答题纸的相应位置上。)

28. 已知图示轮系中各轮的齿数  $z_1 = 20$ ， $z_2 = 40$ ， $z_3 = 15$ ， $z_4 = 60$ ，轮 1 的转速为  $n_1 = 120 \text{ r/min}$ ，转向如图，试求轮 3 的转速  $n_3$  的大小和转向。

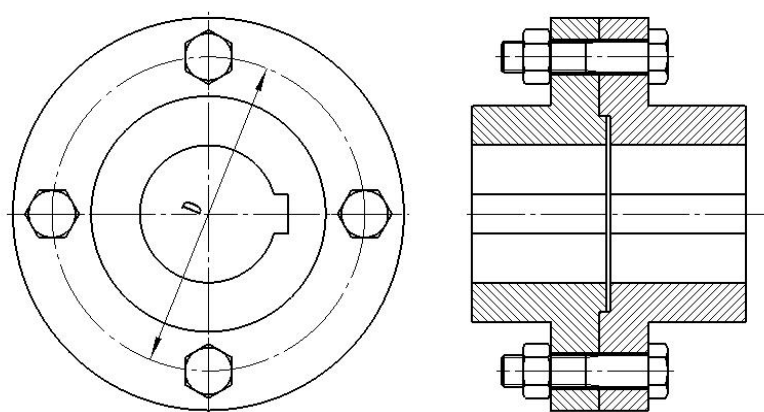


第 28 题图

29. 已知一对按标准中心距安装的渐开线直齿标准圆柱齿轮传动，中心距  $O_1O_2 = 100 \text{ mm}$ ，模数  $m = 4 \text{ mm}$ ，压力角  $\alpha = 20^\circ$ ，小齿轮为主动轮，传动比  $i = \omega_1 / \omega_2 = 1.5$ ，试：

(1) 计算齿轮 1 和 2 的齿数，分度圆、基圆、齿顶圆和齿根圆直径，并画图表示；(2) 在图中标出啮合起始点  $B_2$ 、啮合终止点  $B_1$ 、节点  $P$ 、啮合角  $\alpha'$  和理论啮合线与实际啮合线。

30. 如图所示凸缘联轴器，已知联轴器材料为 HT200，传递扭矩  $T = 1200 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，两个半联轴器用 4 个普通螺栓连接在一起，螺栓均匀分布于  $D = 160 \text{ mm}$  的圆周上，螺栓性能等级为 5.8 级，两个半联轴器的摩擦系数  $\mu = 0.15$ ，若连接的可靠系数  $K = 1.2$ ，螺栓安装时控制预紧力，安全系数  $S_s = 1.3$ ，试确定螺栓的小径最小值  $d_{1\min}$ 。



第 30 题图

## 机械设计基础模拟试卷参考答案

一、单项选择题(本大题共 15 小题, 每小题 3 分, 共 45 分, 选对得 3 分, 选错、未选或多选得 0 分)

1. C    2. B    3. C    4. C    5. B    6. C    7. D    8. C    9. A    10. B  
11. C    12. C    13. D    14. D    15. B

二、填空题(本大题共 10 小题, 每小题 3 分, 共 30 分, 填对得 3 分, 未填或填错得 0 分)

16.  $K = \frac{180 + \theta}{180 - \theta} = 1.4$     17. 摇杆长度和形状    18. 制造    19. 大

20. 滚子半径小于凸轮理论轮廓曲线上的最小曲率半径    21. 过载    22. 间隙

23. 剖分式    24.  $P_v$     25. 基本额定寿命为  $10^6 r$  时轴承所承受的最大载荷

三、分析与设计题(本大题共 2 小题, 每小题 15 分, 共 30 分, 解答过程、步骤和答案必须完整、正确)

26. 解:

(1) B、F 处的铰链为复合铰链.....(2 分)

CD 杆带来 1 个虚约束, 滚子 H 两侧高副接触之一为虚约束.....(5 分)

两滚子 G、H 绕自身转动各带来 1 个局部自由度.....(7 分)

(2)  $n = 7, p_L = 9, p_H = 2$ .....(9 分)

$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 2 = 1$ .....(15 分)

27. 答: (注: 本题的轴系结构共有 15 个错误和不合理处, 指出 1 个错误或不合理之处并正确说明原因得 1.5 分, 答对 10 个及以上得满分 15 分。)

(1) 左轴承端盖(或右轴承端盖)与箱体的连接处无调整垫片, 轴承轴向间隙无法调整。

(2) 与左轴承端盖及右轴承端盖连接的箱体处未铸造出凸台, 给箱体加工带来麻烦。

(3) 左侧轴颈长度过长, 其左端与左轴承端盖接触, 转动时会产生干摩擦, 且会给轴承安装带来麻烦。

(4) 左轴承处存在键连接, 轴承内圈与轴的连接属于过盈连接, 不存在键槽。

(5) 左右轴承同向安装, 只能承受一个方向的轴向载荷, 安装不合理。

(6) 左侧轴承右端轴肩过高, 轴承无法拆卸。

(7) 安装齿轮的轴头长度等于齿轮轮毂宽度, 齿轮定位不可靠。

- (8) 安装齿轮的键槽过长，套筒无法靠紧齿轮右端面，齿轮无法固定。
- (9) 套筒右端高度超过了右端轴承内圈的外径高度，轴承无法拆卸。
- (10) 安装右侧轴承的轴颈长度太长，轴承安装困难。
- (11) 右端轴承端盖与轴之间缺少密封且没有径向间隙，应该增加密封装置且设置间隙，避免端盖与轴之间的摩擦。
- (12) 右端半联轴器依靠右轴承端盖轴向定位，转动时会产生干摩擦，轴在此处应设计阶梯，使半联轴器左侧定位。
- (13) 与半联轴器连接的轴头长度大于半联轴器毂孔长度，影响与另外半联轴器的安装。
- (14) 轴上的两个键槽不再同一直线上，不便于加工。
- (15) 半联轴器的键槽不是通长键槽，联轴器无法安装。

**四、计算题(本大题共 3 小题，每小题 15 分，共 45 分，解答过程、步骤和答案必须完整、正确)**

28. 解：

(1) 划分轮系：本题轮系为复合轮系，1、2 为定轴轮系；2、3、4 为周转轮系。……(2 分)

(2) 定轴轮系传动比计算（设  $n_1 \downarrow$  为 “+”）：

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = -\frac{z_2}{z_1} = -\frac{40}{20} = -2$$

$$n_2 = -\frac{1}{2} \times 120 = -60 \text{ r/min} \dots\dots\dots(6$$

分)

(3) 周转轮系传动比计算：

$$i_{34}^2 = \frac{n_3 - n_2}{n_4 - n_2} = -\frac{z_4}{z_3} = -\frac{60}{15} = -4$$

$$\frac{n_3 + 60}{60} = -4$$

$$n_3 = -300 \text{ r/min} \dots\dots\dots(13$$

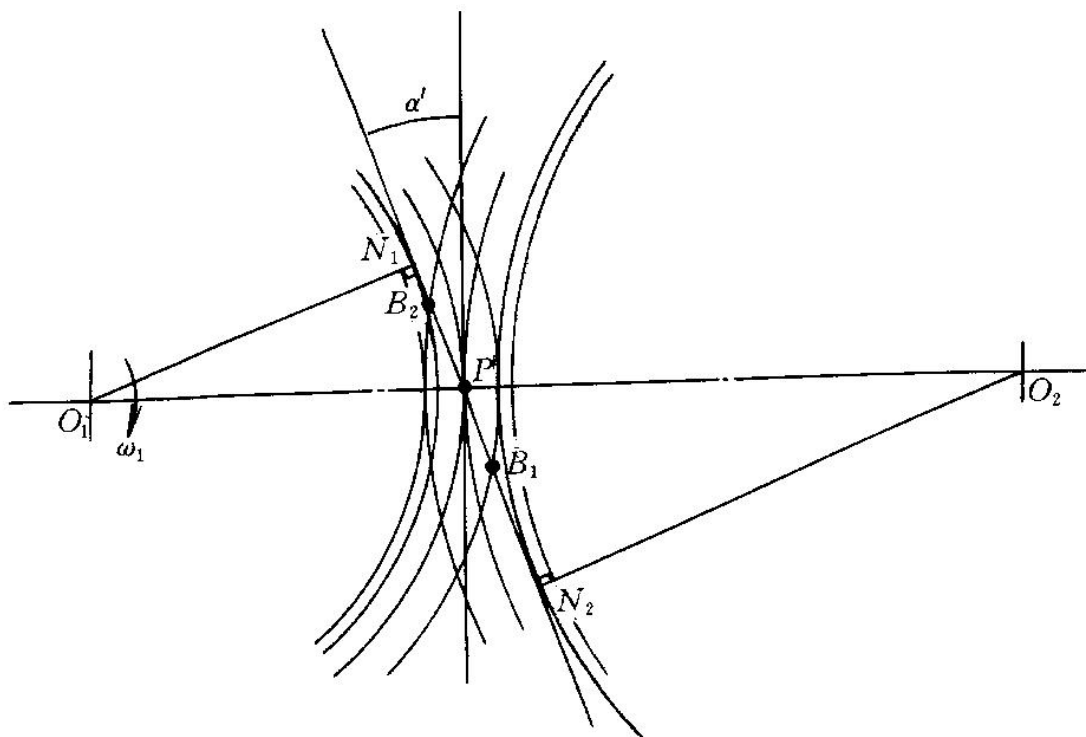
分 )

方向  $\uparrow$ ……(15 分)

29. 解：

$$(1) \text{ 由 } i_{12} = \frac{d_2}{d_1} = 1.5 \quad a = \frac{d_1 + d_2}{2} = 100 \text{ mm 得}$$

- 
- $d_1 = 80 \text{ mm}$ .....(1  
分 )
- $d_2 = 120 \text{ mm}$ .....(2  
分 )
- $z_1 = \frac{d_1}{m} = 20$  .....(3 分)
- $z_2 = \frac{d_2}{m} = 30$  .....(4 分)
- $d_{b1} = d_1 \cos 20^\circ = 75.18 \text{ mm}$ .....(5 分)
- $d_{b2} = d_2 \cos 20^\circ = 112.76 \text{ mm}$ .....(6 分)
- $d_{a1} = m(z_1 + 2h_a^*) = 88 \text{ mm}$ .....(7  
分 )
- $d_{a2} = m(z_2 + 2h_a^*) = 128 \text{ mm}$ .....(8 分)
- $d_{f1} = m(z_1 - 2h_a^* - 2c^*) = 70 \text{ mm}$ .....(9  
分 )
- $d_{f2} = m(z_2 - 2h_a^* - 2c^*) = 110 \text{ mm}$ .....(10 分)
- (2) 啮合起始点  $B_2$ 、啮合终止点  $B_1$ 、节点  $P$ 、啮合角  $\alpha'$  如图所示.....(13  
分 )
- $N_1N_2$  为理论啮合线.....(14 分)
- $B_1B_2$  为实际啮合线.....(15  
分 )



第 29 题答案图

30. 解:

(1) 求螺栓的许用应力

螺栓屈服强度:  $\sigma_s = 500 \times 0.8 = 400 \text{ MPa}$ .....(2 分)

螺栓的许用应力:  $[\sigma] = \sigma_s / S_s = 400 / 1.3 = 308 \text{ MPa}$ .....(4 分)

(2) 求单个螺栓受力

单个螺栓所受横向载荷:  $F_s = \frac{T}{4 \times \frac{D}{2}} = \frac{1200 \times 1000}{4 \times \frac{160}{2}} = 3750 \text{ N}$ .....(7 分)

单个螺栓预紧力:  $F_0 = \frac{KF_s}{\mu m} = \frac{1.2 \times 3750}{0.15 \times 1} = 30000 \text{ N}$ .....(11 分)

(3) 计算螺纹直径

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 30000}{3.14 \times 308}} = 12.7 \text{ mm}$$

$d_{1\min} = 12.7 \text{ mm}$ .....(15 分)