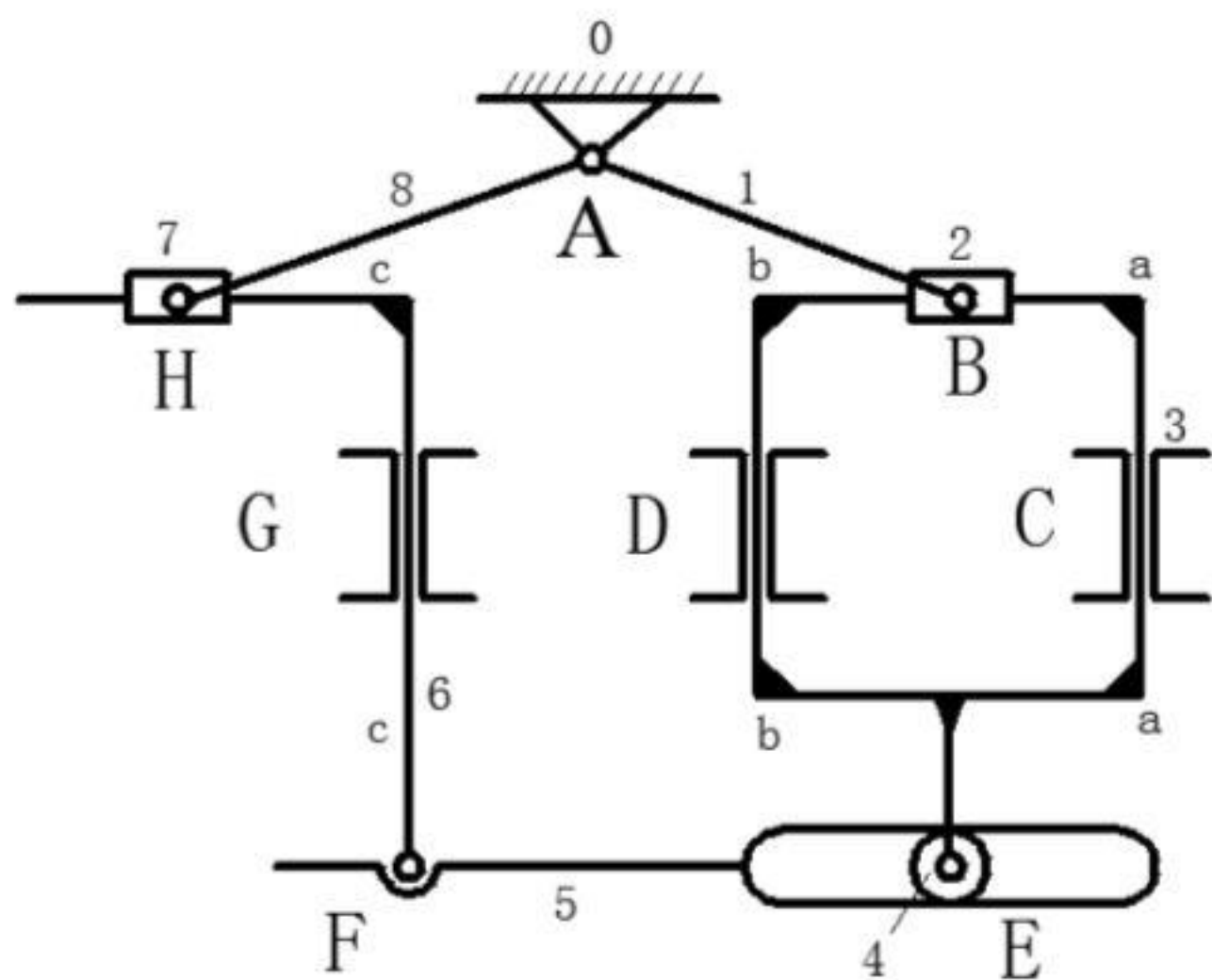


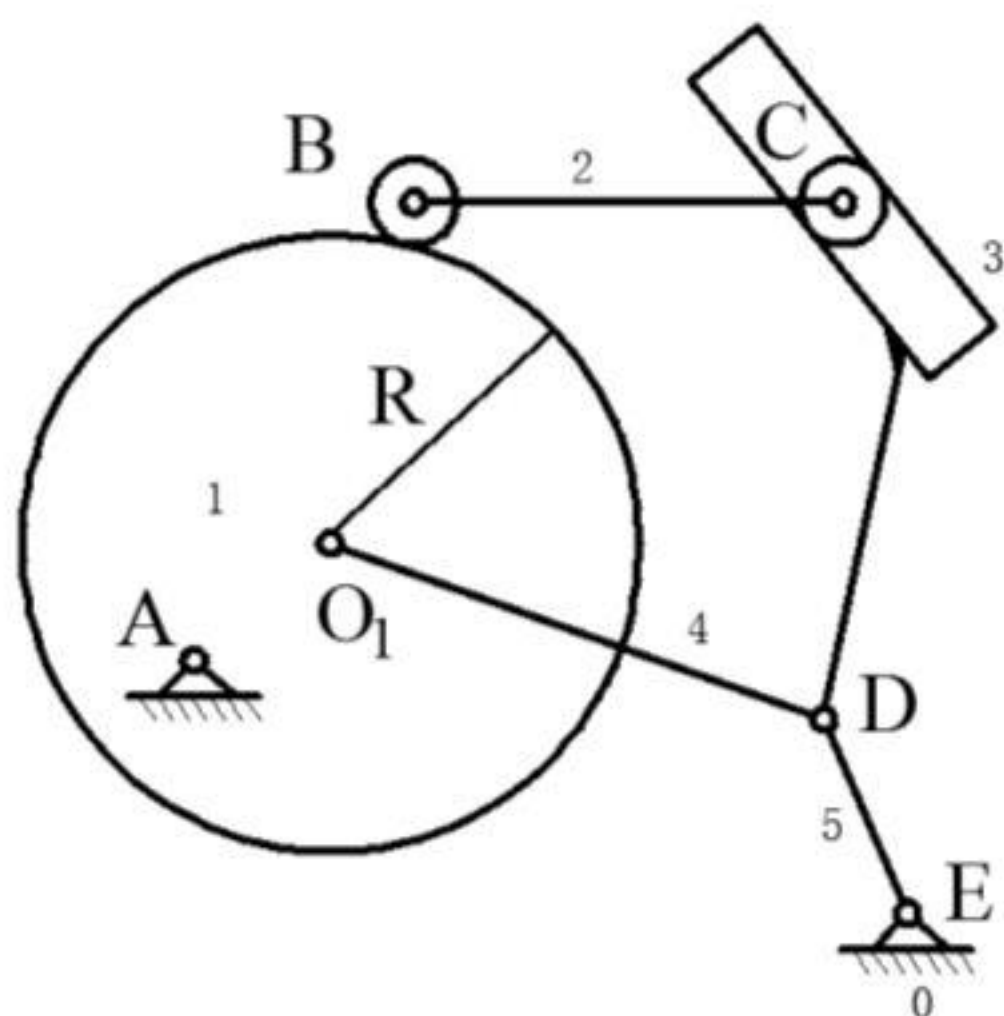
# 西南交通大学 2014 年研究生入学试题解析

## 考试科目：机械原理

一、(20 分) 计算题 1 图 a、b 所示机构的自由度。如果有符合铰链、局部自由度和虚约束，请予以指出。



(a)  $aa//bb//cc$



(b)

题 1 图

**解：**(a)A 处的铰链为复合铰链；E 处的滚子为局部自由度；a-a 或 b-b 处的移动副为虚约束。

机构的活动构件数  $n=7$ ；低副  $P_l=9$ ；高副

$$P_h=1;$$

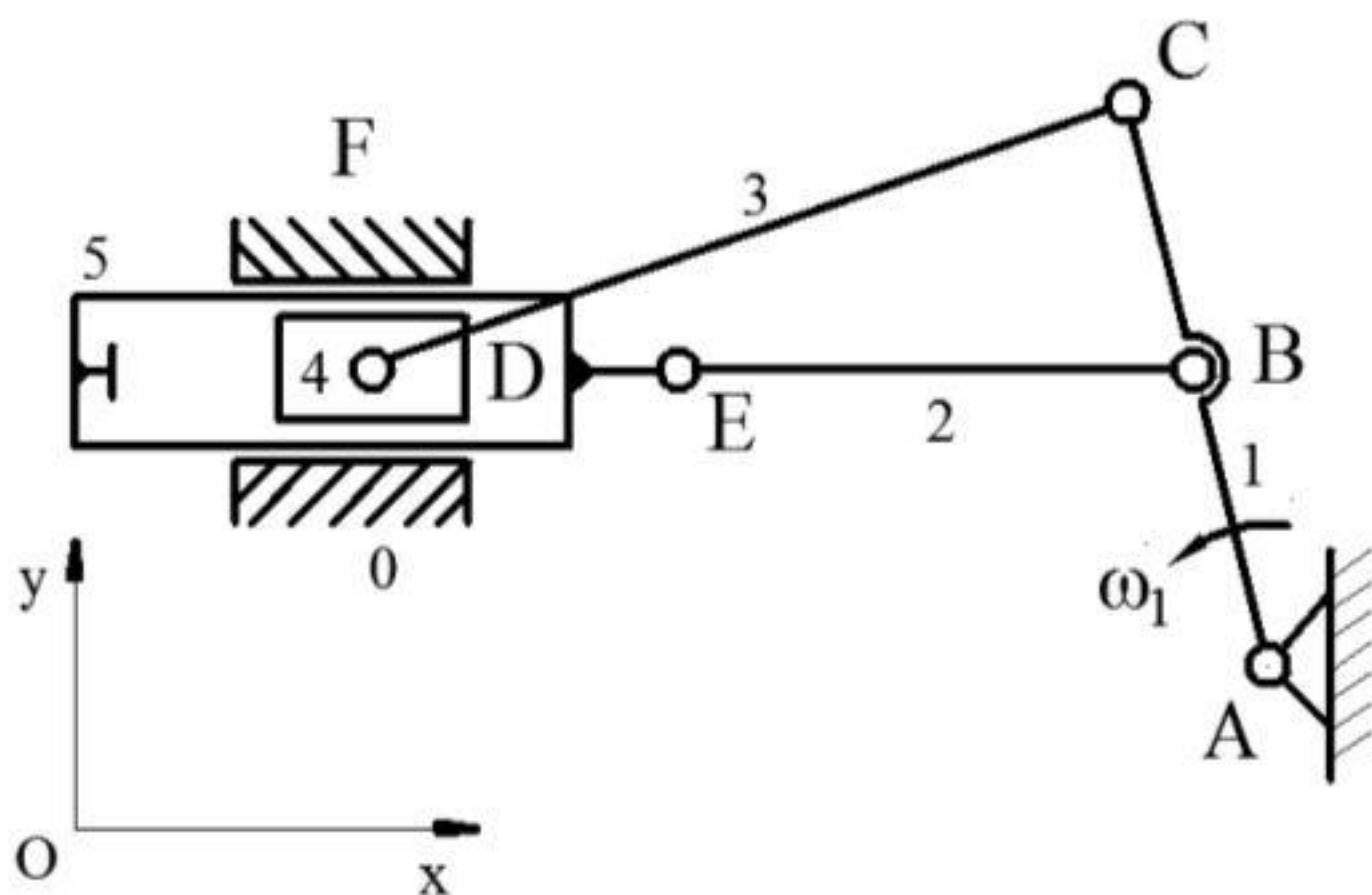
$$\text{所以： } F=3n-2P_l-P_h=3\times 7-2\times 9-1=2$$

(b)  $O_1$ 、D 处的铰链为复合铰链；B、C 处的滚子为局部自由度；

机构的活动构件数  $n=5$ ；低副  $P_l=6$ ；高副  $P_h=2$ ；

所以：  $F=3n-2P_l-P_h=3\times 5-2\times 6-2=1$

二、（25 分）在题 2 图中所示的机构中，已知原动件 1 的转向如图中所示。试



1、拆出机构中所含的基本杆组，并确定机构的级别；

2、确定图示位置是，构件 4 与构件 1 的速度瞬心  $P_{14}$  以及构件 5 与构件 1 的速度瞬心

$P_{15}$ ；

3、利用速度瞬心确定机构在图示位置时构件 4 与构件 5 相对运动速度  $V_{45}$  的方向。

解：

1、拆基本杆组如图 2-1 所示：

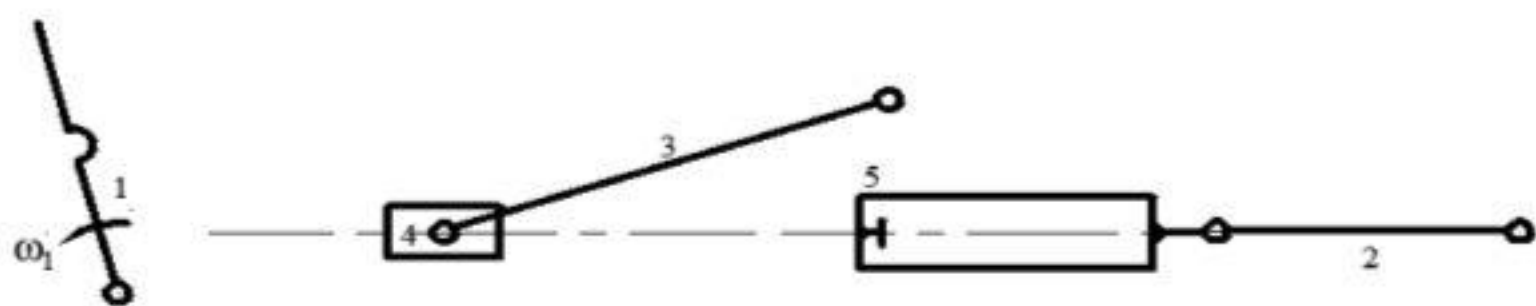


图 2-1

由图可确定机构级别为 2 级；

2、确定速度瞬心  $P_{14}$ 、 $P_{15}$ ，作图 2-2 如下：

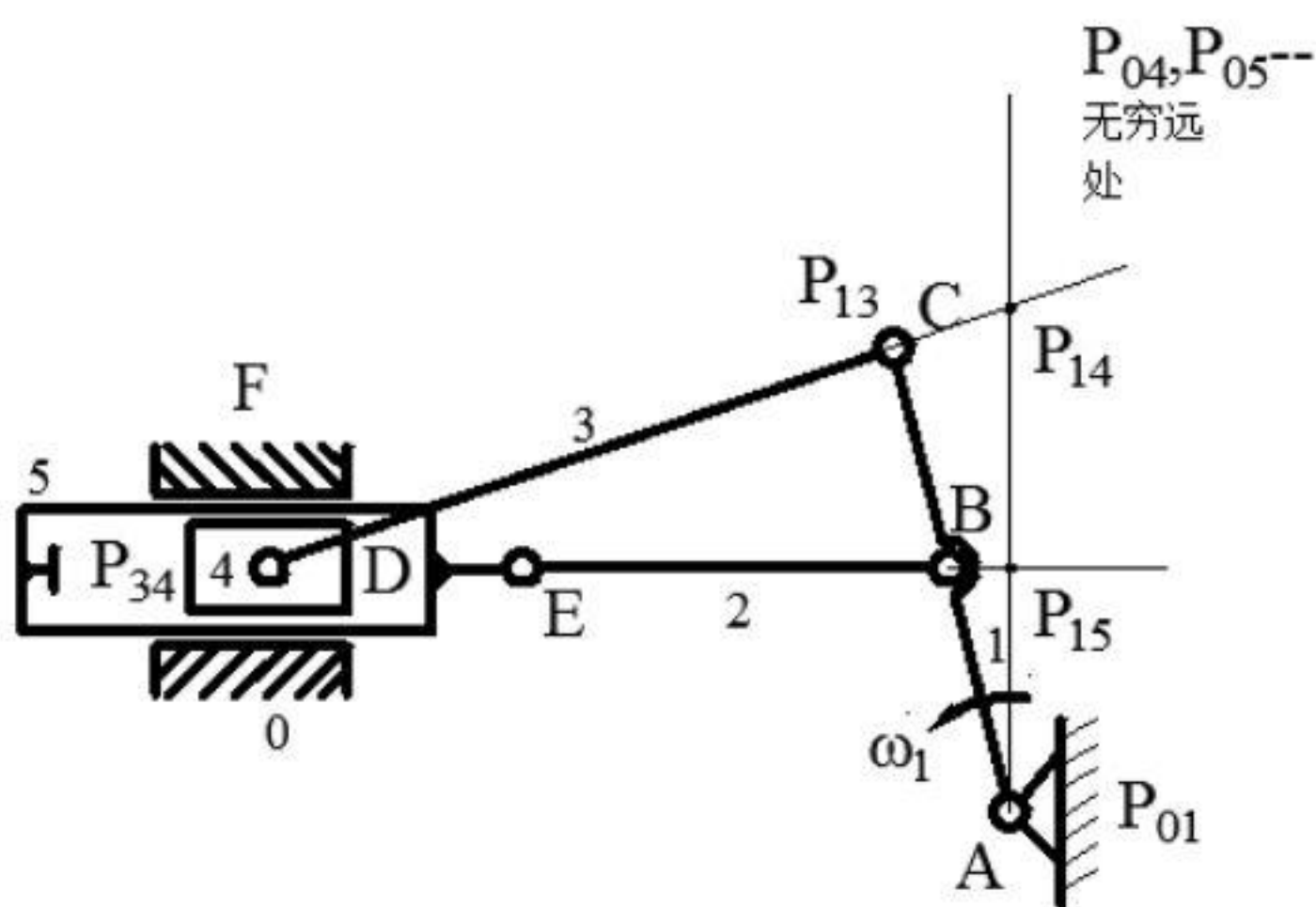


图 2-2

3、由速度瞬心  $P_{14}$ 、 $P_{15}$ ，可知

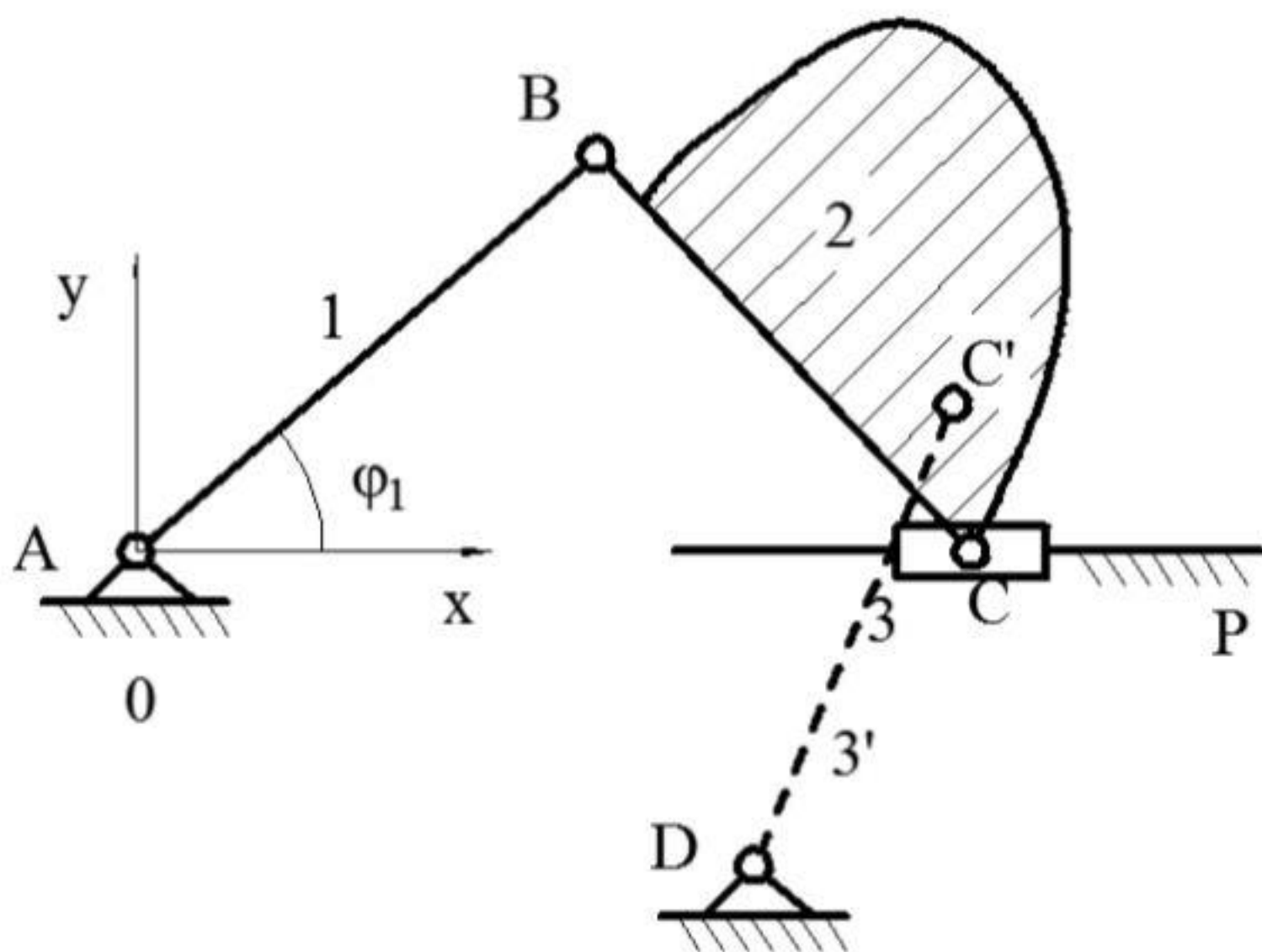
$$V_{45} = V_4 - V_5 = \omega_1 \cdot \overline{P_{01}P_{14}} - \omega_1 \cdot \overline{P_{01}P_{15}} = \omega_1 \cdot \overline{P_{15}P_{14}}$$

方向水平向左。

三、(25 分) 题 3 图所示连杆机构 ABC 的主要设计意图是实现构件 1 的转角 ( $\varphi_1 = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ) 与构件 2 的三个位置之间的对应关系。已知  $l_{AB} = l_{BC} = 50\text{mm}$ 。取坐标原点为 A。

1、如果构件 1 为原动件,问在  $\varphi_1 = 0^\circ \sim 60^\circ$  之内,机构的最大传动角  $\gamma_{\max}$  和最小传动角  $\gamma_{\min}$  分别为多少?

2、如果由于机构结构设计的原因,需要将



滑块导杆引导改变为转杆引导,即去掉滑块 3 以及构件 2 与构件 3 之间的转动副 C, 构件 3 与机架 0 之间的移动副 C, 而增加构件 3', 并使其与构件 2 形成转动副  $C'$ , 与机

架形成转动副 D，机构成为四杆机构  $ABC'D$ 。试说明如何确定铰链点  $C'$  和 D 的位置以及构件  $3'$  的长度。（若采用图解法，则必须说明作图过程；若采用解析法，则应说明如何建立设计方程）；

3、讨论采用上述改进措施、铰链点  $C'$  和 D 的位置以及构件  $3'$  的长度有多少组解。

注：

$$\begin{array}{ll} \sin 30^\circ = 0.500, & \cos 30^\circ = 0.866 \\ \sin 60^\circ = 0.866, & \cos 60^\circ = 0.500 \end{array}$$

解：1、当压力角  $\alpha$  最小时，传动角  $\gamma$  最大，  
即 AB，BC 水平时  $\alpha_{\min} = 0$ ，

$$\therefore \gamma_{\max} = 90^\circ;$$

当压力角  $\alpha$  最大时，传动角  $\gamma$  最小，即 AB  
与水平成  $60^\circ$  时  $\alpha_{\max} = 60^\circ$ ，

$$\therefore \gamma_{\min} = 30^\circ。$$

2、令  $A(x_{Ai}, y_{Ai}), B(x_{Bi}, y_{Bi}),$

$C'(x_{Ci}, y_{Ci}), D(x_{Di}, y_{Di})$

且已知  $A(x_{Ai}, y_{Ai})$ ;

$$D_{li} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{li} & -\sin \theta_{li} & 0 \\ \sin \theta_{li} & \cos \theta_{li} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

(其中  $\theta_{li} = \theta_1 - \theta_i$ ).....(1)

$$l_{AB}^2 = (x_A - x_{Bi})^2 + (y_A - y_{Bi})^2 \dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} & (x_{B1} - x_{C1})^2 + (y_{B1} - y_{C1})^2 \\ &= (x_{Bi} - x_{Ci})^2 + (y_{Bi} - y_{Ci})^2 \dots\dots(3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (x_{C1} - x_{D1})^2 + (y_{C1} - y_{D1})^2 \\ &= (x_{Ci} - x_{Di})^2 + (y_{Ci} - y_{Di})^2 \dots\dots(4) \end{aligned}$$

由上式(1),(2),(3),(4)确定  $C', D$  的位置;

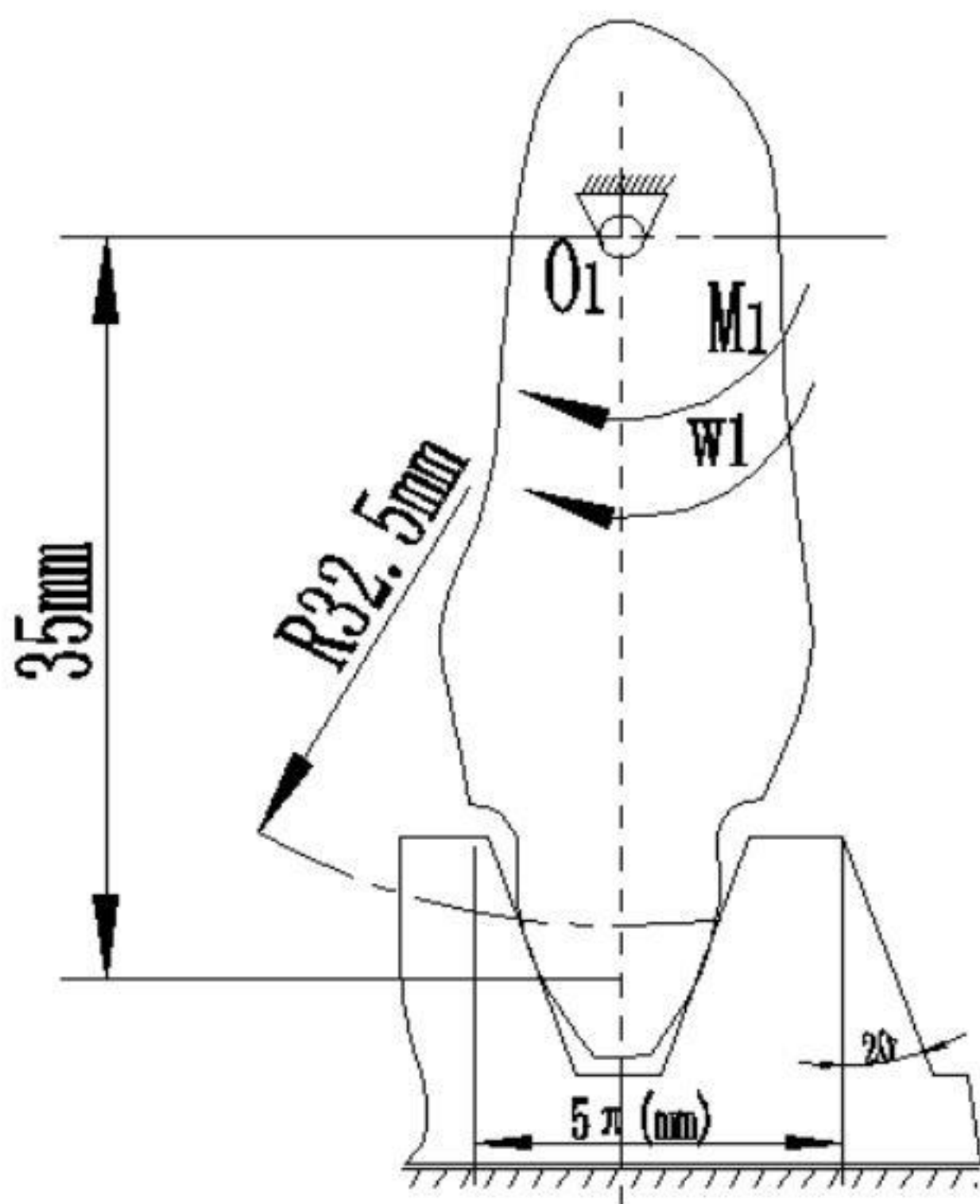
$$\text{由 } l_{C'D} = \sqrt{(x_{C1} - x_{D1})^2 + (y_{C1} - y_{D1})^2} \dots\dots(5)$$

确定  $l_{C'D}$  的长。



3、由于未知数的个数大于求解方程的个数  
所以改进后的措施有无穷多组解。

四、（25 分）现有渐开线正常直齿圆柱齿轮  
齿条传动。齿轮上受到的力矩  $M_1$  及转向  
 $\omega_1$ 、齿条的部分几何尺寸如题 4 图所示，并  
一直正确安装时齿轮传动中心到齿条分度



线之间的距离为 35mm，齿轮的分度圆半径为 32.5mm。

1、试确定齿轮 1 的模数  $m$ ，分度圆压力角  $\alpha$  以及变位系数  $x$ ；

2、判断齿轮是否存在根切现象；

3、画出齿轮传动的实际啮合线  $B_1B_2$  示意图，并说明如何判断齿轮是否能够连续传动；

4、如果齿面啮合的摩擦角为  $\varphi$  及转动副  $O_1$  的摩擦圆半径为  $\rho$ ，试画出当齿轮在节点啮合时，机架 0 作用在齿轮 1 上的运动副反力  $F_{R01}$  的作用线及方向。

解：1、 $\because p = \pi m \Rightarrow \pi m = 5\pi \Rightarrow m = 5 \text{ mm}$

模数  $m = 5 \text{ mm}$ ，压力角  $\alpha = 20^\circ$ ；

$$\because \frac{1}{2} m z_1 = r \Rightarrow \frac{1}{2} 5 z_1 = 32.5 \Rightarrow z_1 = 13$$

齿数  $z_1 = 13$ ;

$$\because \frac{1}{2}a' = \frac{1}{2}mz_1 + xm$$

$$\Rightarrow 35 = \frac{1}{2}13 \times 5 + 5x \Rightarrow x = 0.5$$

变位系数  $x = 1$

$$2、 \because x_{\min} = \frac{h_a^*(z_{\min} - z)}{z_{\min}} = \frac{17 - 13}{17} = 0.235$$

$x_1 > x_{\min}$  ,  $\therefore$  不会发生根切现象。

3、 齿轮传动示意图如图 4-1 所示:

$$r_b = r \cos \alpha = \frac{1}{2}mz \cos 20^\circ = 30.54mm$$

$$r_a = r + (h_a^* + x)m = \frac{1}{2}mz + (1 + 0.5) \times 5 = 40mm$$

$$\because \overline{B_1B_2} = \overline{N_1B_1} - \overline{N_1P} + \overline{B_2P}$$

$$\overline{N_1P} = r_b \tan \alpha', \overline{N_1B_1} = r_b \tan \alpha_a,$$

$$\overline{B_2P} = \frac{(h_a^* - x)m}{\cos \alpha'} \quad (\alpha_a = \arccos \frac{r_b}{r_a})$$

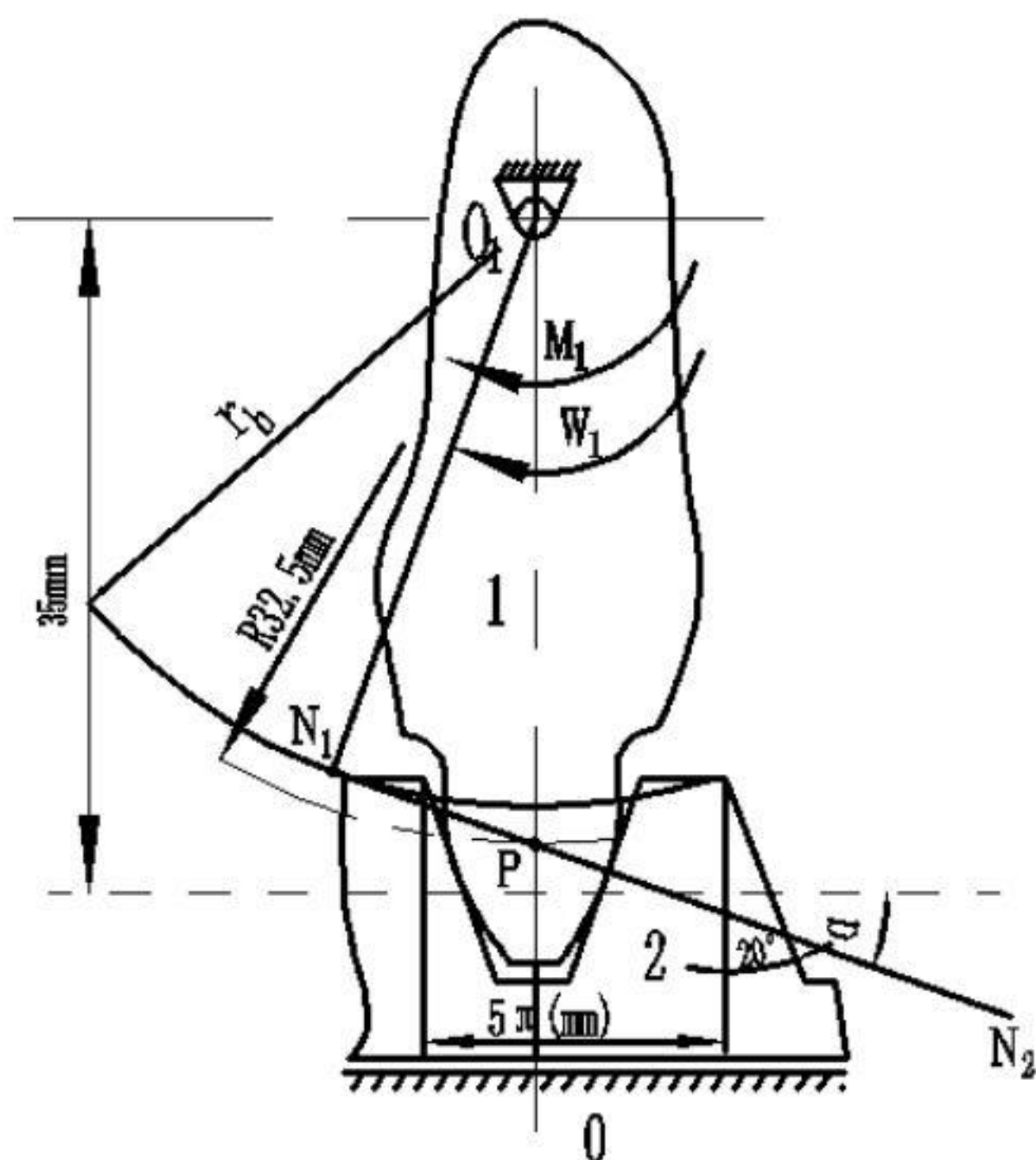


图 4-1

$$\begin{aligned} \because \overline{B_1B_2} &= \overline{N_1B_1} - \overline{N_1P} + \overline{B_2P} \\ &= r_b \tan \alpha_a - r_b \tan \alpha' + \frac{(h_a^* - x)m}{\cos \alpha'} \end{aligned}$$

根据

$$\xi = \frac{\overline{B_1B_2}}{P \cos \alpha} = \frac{r_b \tan \alpha_a - r_b \tan \alpha' + \frac{(h_a^* - x)m}{\cos \alpha'}}{\pi m \cos \alpha}$$

的大小判断是否连续传动

若  $\xi \geq 1$  则连续传动；

若  $\xi < 1$  则不能连续传动。

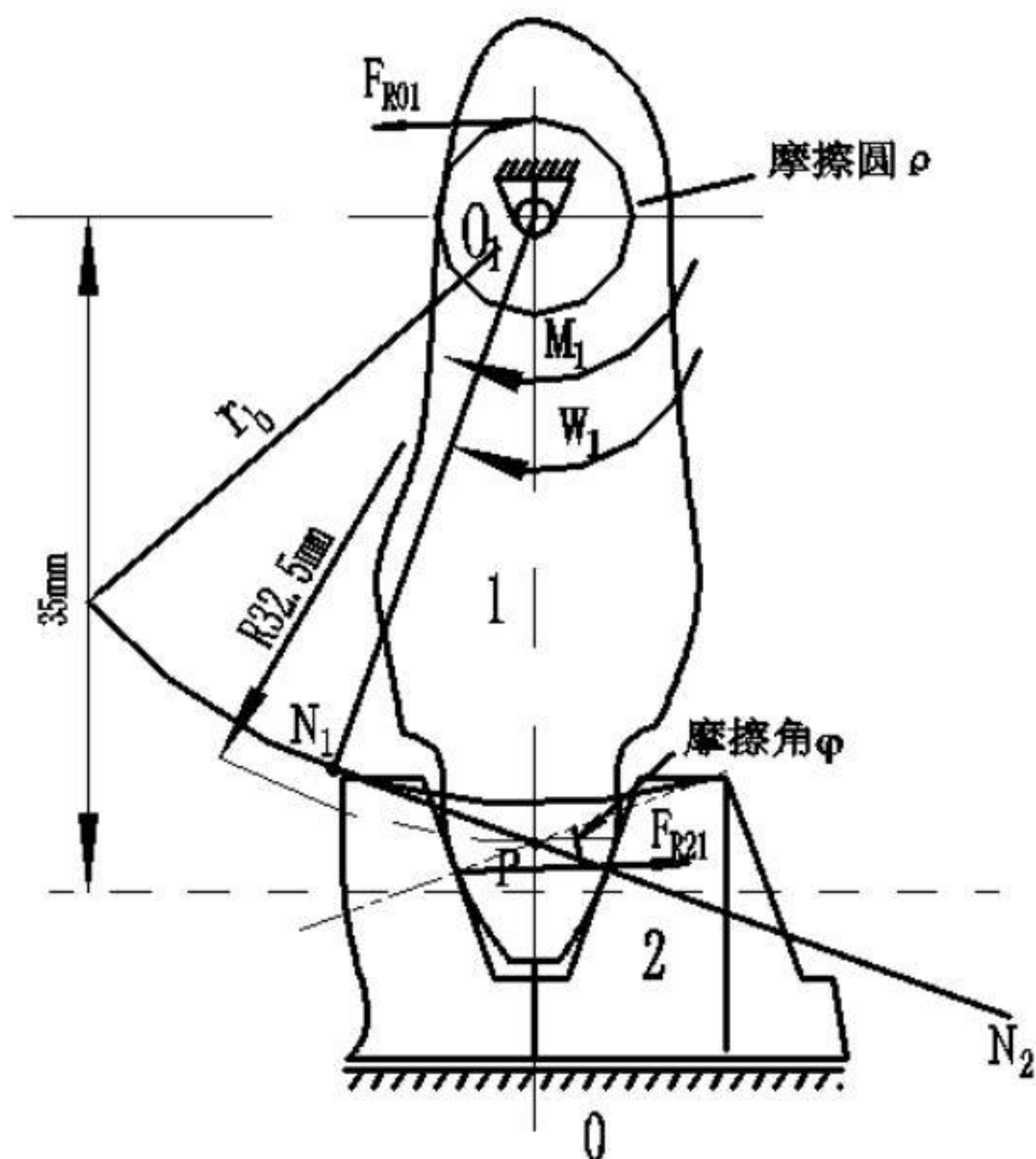
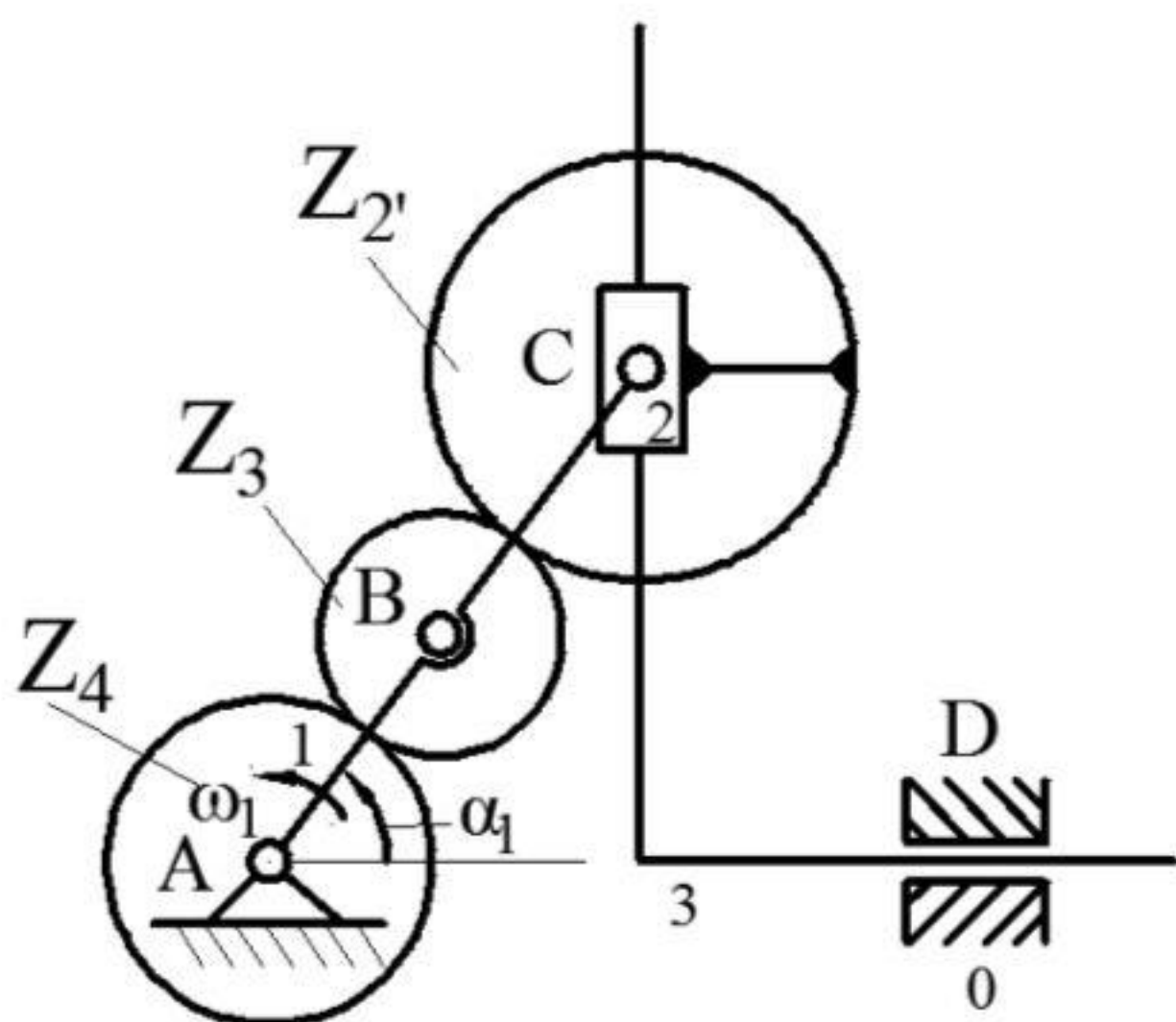


图 4-2

4、支反力如上图 4-2 所示。

五、(20 分)题 5 图所示机构, 齿轮  $Z_{2'}$ ,  $Z_3$ ,  $Z_4$  的齿数分别为 22、18、20, 齿轮  $Z_2$  与构件固结, 构件 1 的转速  $\omega_1 = 65\text{rad} / \text{s}$ 。



题 5 图

- 1、确定齿轮  $Z_4$  的转速大小及转向;
- 2、试说明齿轮  $Z_3$  在传动系统中的作用;
- 3、若以构件 1 为等效构件时, 系统的等效

转动惯量为  $J_{e1}$ ，等效力矩为  $M_{e1}$ 。试确定

以齿轮  $Z_4$  为等效构件时，系统的等效转动

惯量  $J_{e4}$  和等效力矩  $M_{e4}$ 。

**解:**1、以逆时针方向为正方向，有：

$$i_{42}^H = \frac{\omega_4 - \omega_1}{\omega_{2'} - \omega_1} = \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{Z_{2'}}{Z_3},$$

$$(\omega_2 = 0 \text{ rad} / \text{s})$$

帶入值求得  $\omega_4 = -6.5 \text{ rad} / \text{s}$ ，故旋转方向为顺时针；

2、齿轮  $Z_3$  为惰轮：

①调节系统部分构件的方向；

②增加中心距。

$$3、 J_{e1} = \sum_{i=1}^n \left[ m_i \left( \frac{v_{si}}{\omega_1} \right)^2 + J_{si} \left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right],$$

$$J_{e4} = \sum_{i=1}^n \left[ m_i \left( \frac{v_{si}}{\omega_4} \right)^2 + J_{si} \left( \frac{\omega_i}{\omega_4} \right)^2 \right]$$

$$\text{故有: } J_{e4} = J_{e1} \times \left( \frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2 ;$$

同理:

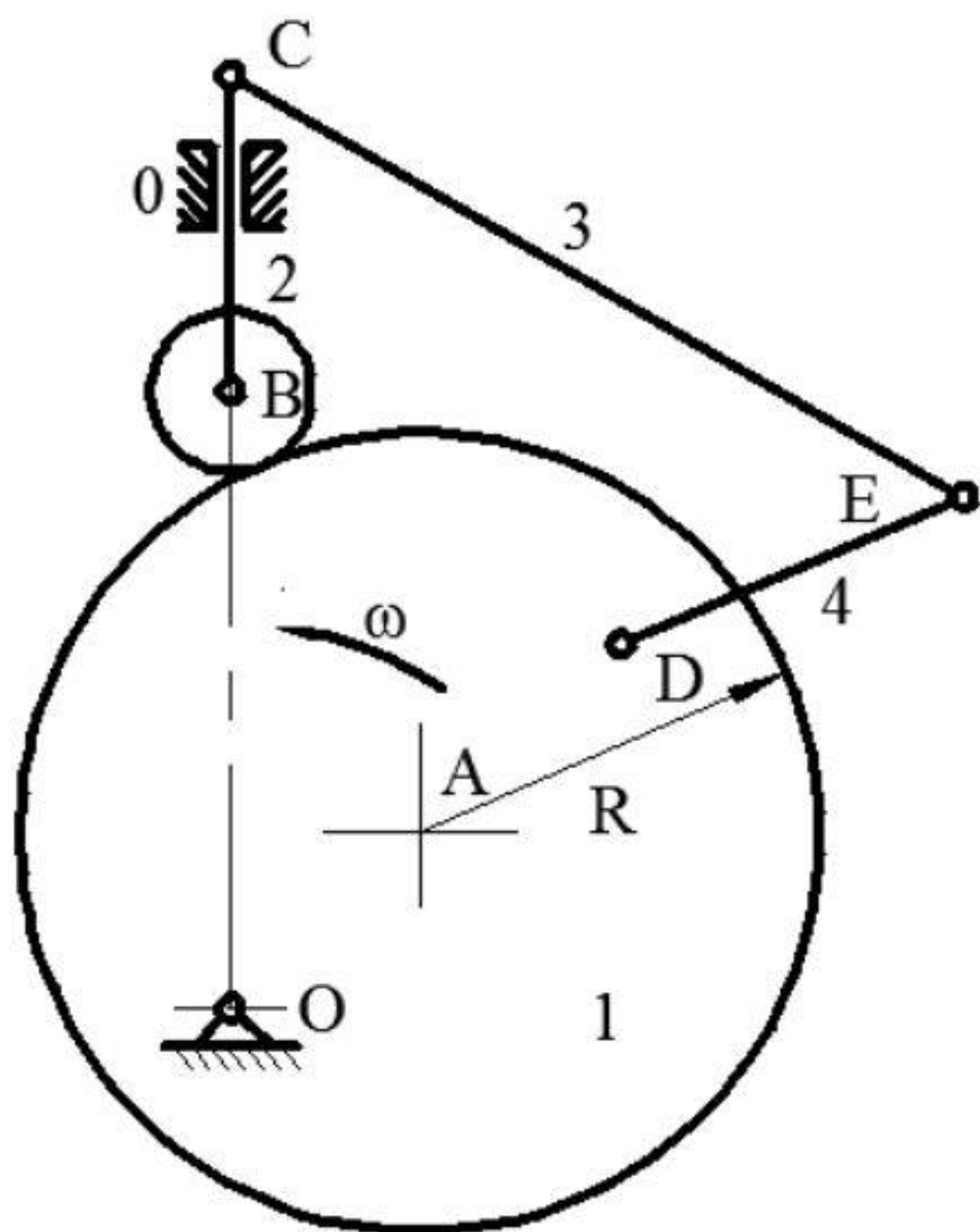
$$M_{e1} = \sum_{i=1}^n \left[ F_i \cos \alpha_i \left( \frac{v_i}{\omega_1} \right)^2 \pm M_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_1} \right)^2 \right] \quad ,$$

$$M_{e4} = \sum_{i=1}^n \left[ F_i \cos \alpha_i \left( \frac{v_i}{\omega_4} \right)^2 \pm M_i \left( \frac{\omega_i}{\omega_4} \right)^2 \right]$$

$$\text{所以: } M_{e4} = \frac{\omega_1}{\omega_4} M_{e1}$$

六、(20 分) 题 6 图为一个凸轮——连杆组合机构的示意图。凸轮轮廓为半径  $R = 50mm$ 、偏心距  $OA = 10mm$  的圆盘，滚子半径  $r_r = 5mm$ ， $OD = 20mm$ ，凸轮逆时针方向转动。





题 6 图

- 1、试确定该凸轮机构的基圆半径  $r_0$ ，并画出凸轮在任意一个位置时机构的压力角  $\alpha$ ；
- 2、如果当凸轮转角  $\delta = 0$  时，从动件 2 处于最低位置。试写出从动件的位移  $s$  与凸轮转角  $\delta$  之间的关系  $s(\delta)$ ；

3、简要说明如何求出点 E 的速度；

4、对机构进行高副低代，并画出机构的低副等效运动机构。

**解:**1、基圆半径

$$r_0 = R - OA + r_r = (50 - 10 + 5)mm = 45mm$$

压力角  $\alpha$  如图 6-1 所示：

2、由图 6-1 知：

$$a^2 + b^2 - c^2 = 2ab \cos(\pi - \delta)$$

所以：

$$b = a \cos(\pi - \delta) + \sqrt{c^2 - a^2 \sin^2(\pi - \delta)}$$

且：  $S(\delta) = b - r_0$ ， 则有：

$$\begin{aligned} S(\delta) &= a \cos(\pi - \delta) \\ &\quad + \sqrt{c^2 - a^2 \sin^2(\pi - \delta)} - (R - OA + r_r) \\ &= -10 \cos \delta + \sqrt{55^2 - 10^2 \sin^2 \delta} - 45 \end{aligned}$$

3、通过  $s(\delta)$  求得 C 点速度，对于  $V_E$  有

$$\vec{V}_E = \vec{V}_C + \vec{V}_{CE} = \vec{V}_D + \vec{V}_{DE}$$

大小：         $\sqrt{\quad}$     ?     $\sqrt{\quad}$     ?

方向：         $\sqrt{\quad}$      $\sqrt{\quad}$      $\sqrt{\quad}$      $\sqrt{\quad}$     两个未知量，

利用图解法可求得  $V_E$ ；

4、高副低代机构如下图 6-2:

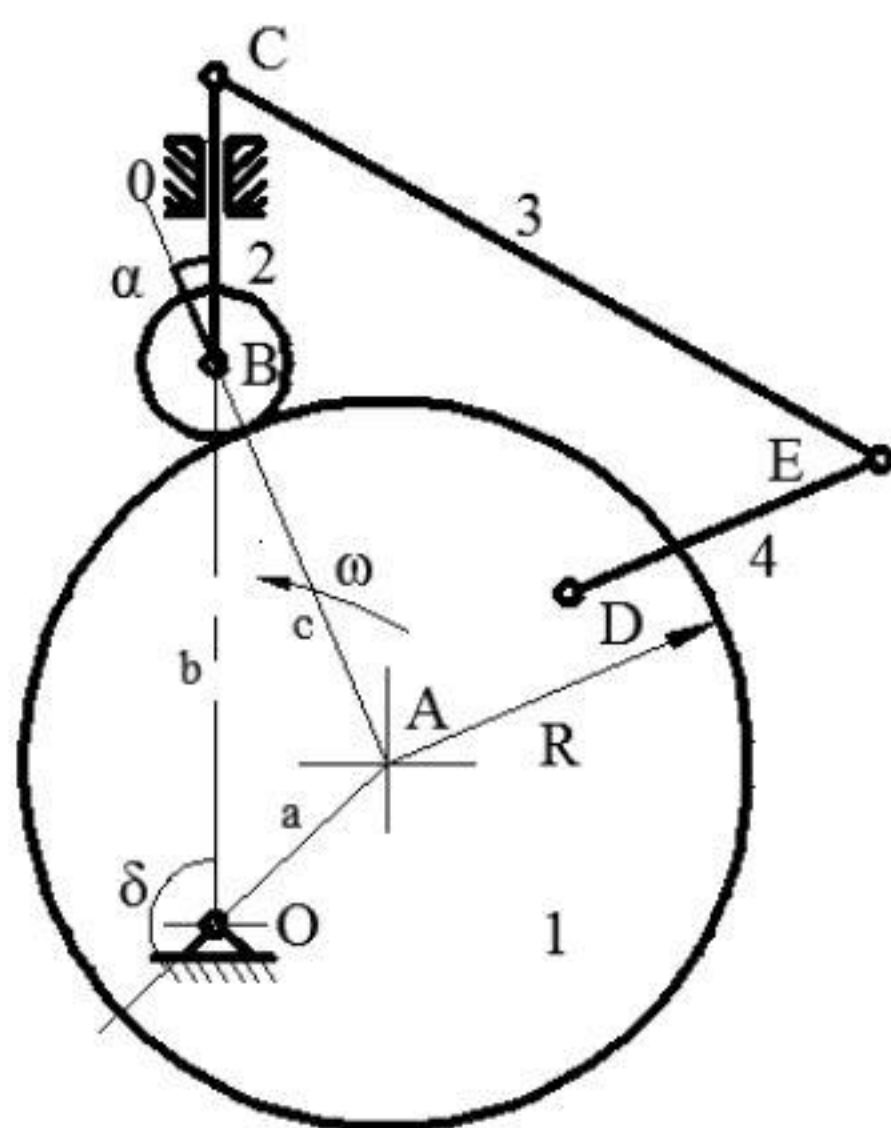


图 6-1

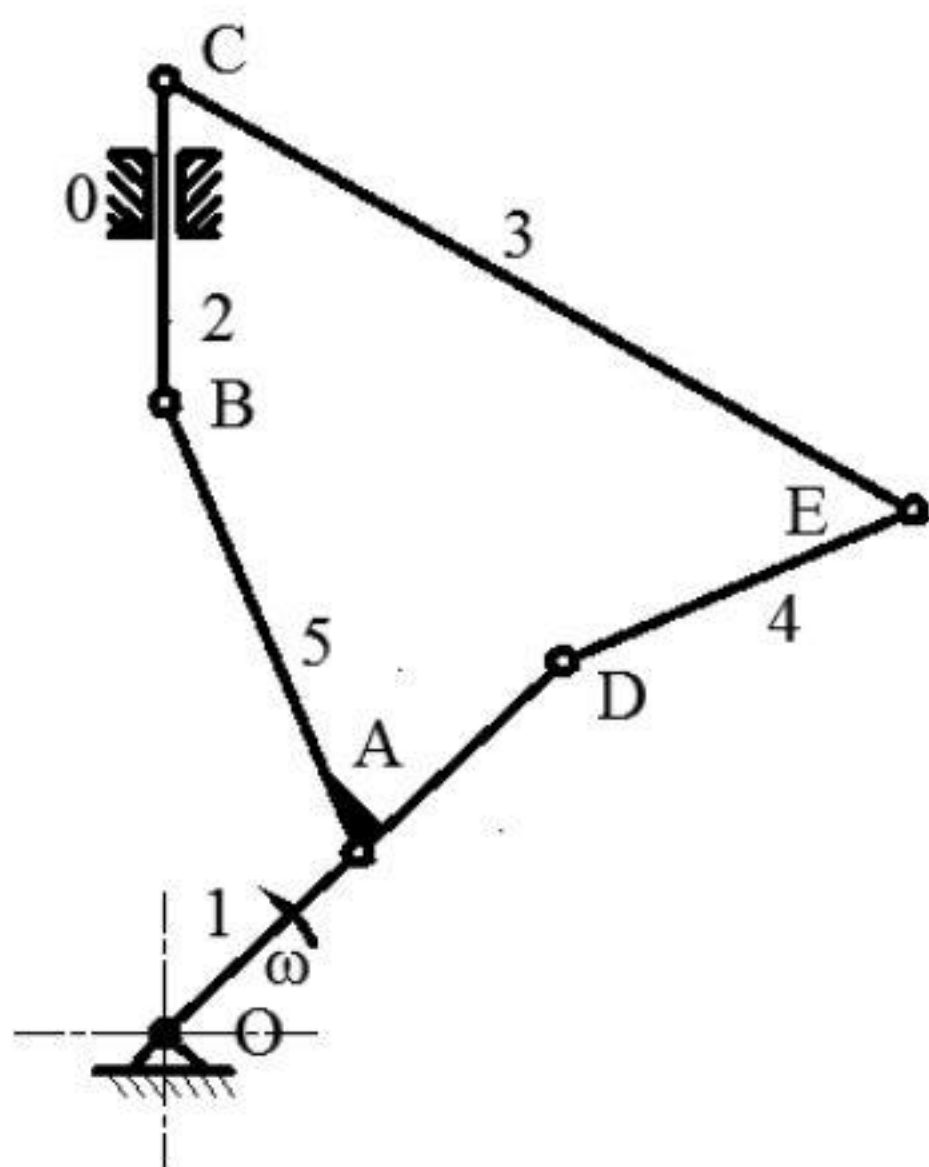
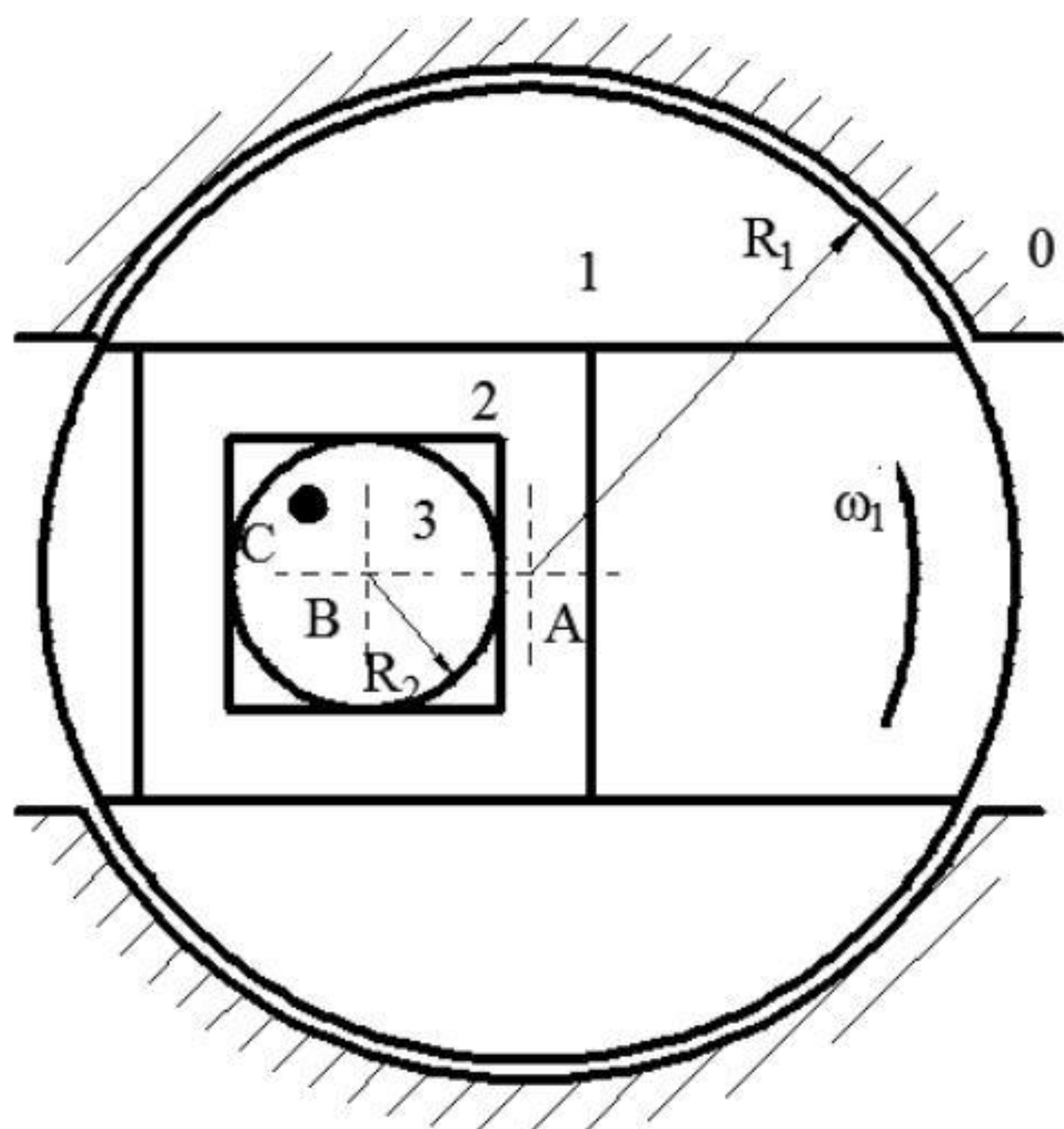


图 6-2

七（15 分）题 7 图所示机构中，构件 1 为一个带有槽的圆盘，几何中心在点 A。构件 3 也为一个圆盘，嵌入到构件 2 的方形孔中，并且点 C 为构件 3 与机架 0 之间的一个铰链，构件 1 为原动件，构件 3 为运动输出构件。图示比列为  $\mu_l = 0.005m/mm$ 。

1、画出机构的运动简图，并说明机构属于高副机构还是低副机构；

- 2、判断构件 1 能否相对机架 0 转动  $360^\circ$ ，说明判断的依据，并画出构件 1 的最大摆角；
- 3、判断在机构的运动过程中是否存在死点位置；
- 4、设计一个具有相同的功能但与图示机构又有所不同的机构，画出所设计机构的示意图，并说明主要不同之处。



题 7 图

解：1、机构运动简图如右图 7-1 所示， 该机构为低副机构；

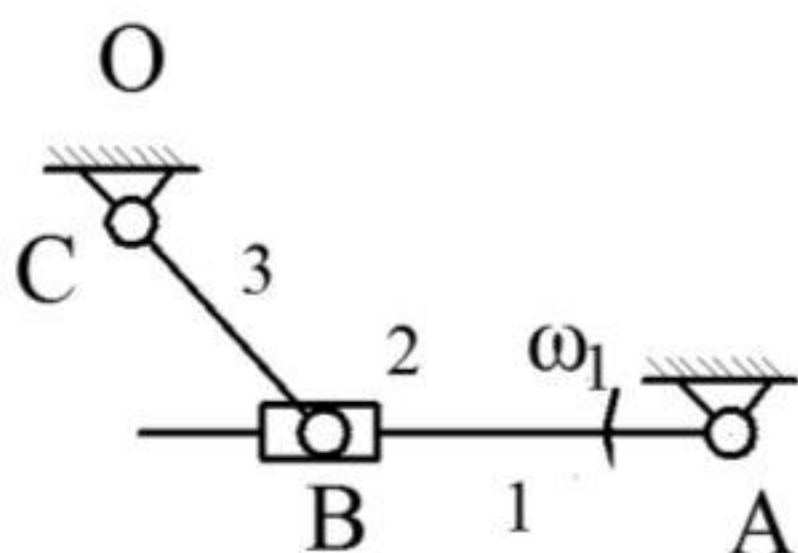


图 7-1

2、构件 1 不能相对机架 0 转动  $360^\circ$ ，由于 CB 距离小于 AB，不构成转动副条件，构件最大摆角  $\varphi_{\max}$  如右下图 7-2 所示；

3、机构在运动过程中有死点，处于  $B', B''$  位置时，机构的压力角为  $90^\circ$ ，处于死点位置。

4、四杆机构的双摇杆机构，可以实现两杆的摆动；主要不同之处在于：双摇杆机构没有移动副，均为转动副；且若以非相邻构件

为主动件，运动型式不变。示意图如下图 7-3 所示：

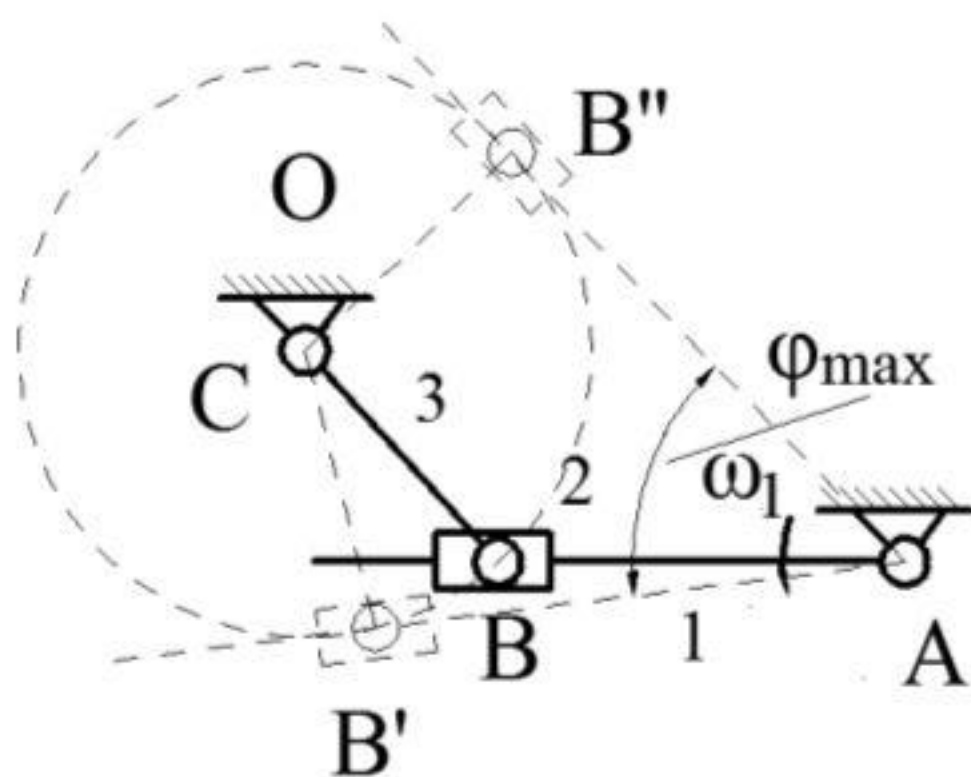


图 7-2

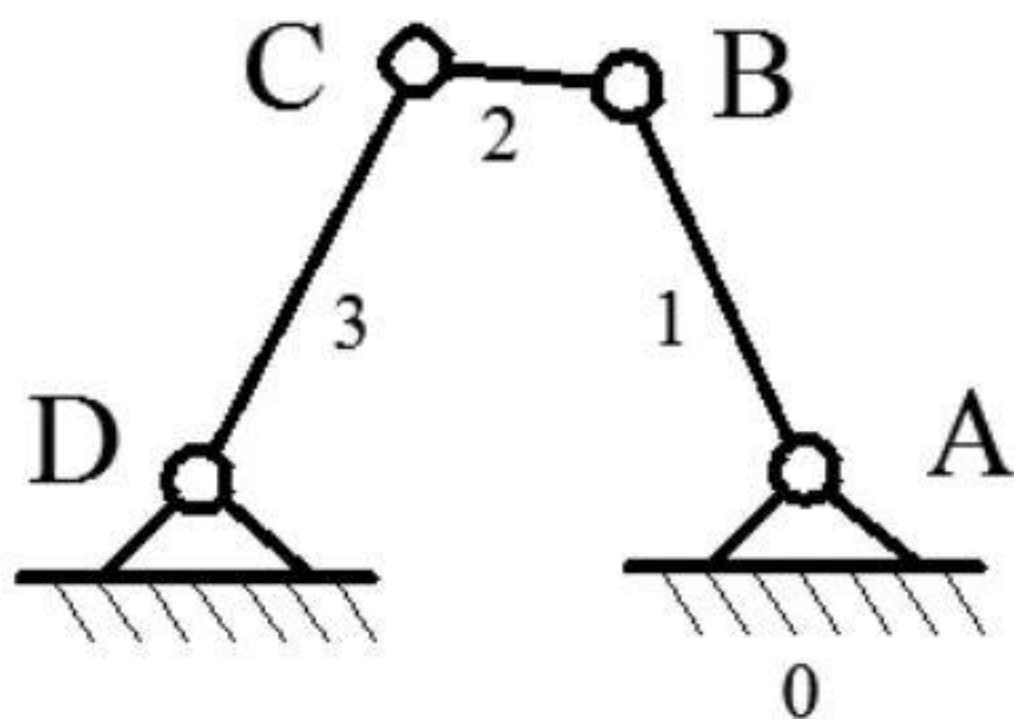


图 7-3