

# 目 录

牛头刨床机构的分析与综合 .....	
1 设计题目及原始数据 .....	
1.1 题目：牛头刨床机构的分析与综合 .....	
1.2 原始数据 .....	
1.3 名称符号的意义 .....	
2 机构运动简图 .....	
3 各部分设计计算结果及必要的说明 .....	
4 导杆机构的运动分析 .....	
4.1 已知数据 .....	
4.2 设计步骤 .....	
4.2.1 位置的划分 .....	
4.2.2 4, 8', 11 位置的运动分析 .....	
4.2.3 运动分析结果汇总表 .....	
5 导杆机构动态静力分析 .....	
5.1 已知数据 .....	
5.2 设计步骤 .....	
5.2.1 惯性力及力矩结果汇总表 .....	
5.2.2 求齿轮的重量 .....	
5.2.3 4, 8', 11 位置动态静力分析 .....	
5.2.4 动力分析结果汇总表 .....	
6 齿轮机构设计计算 .....	
6.1 已知数据 .....	
6.2 设计步骤 .....	
6.2.1 确定变位系数 .....	
6.2.2 计算齿轮几何尺寸 .....	

# 牛头刨床机构的分析与综合

## 1 设计题目及原始数据

### 1.1 题目：牛头刨床机构的分析与综合

### 1.2 原始数据

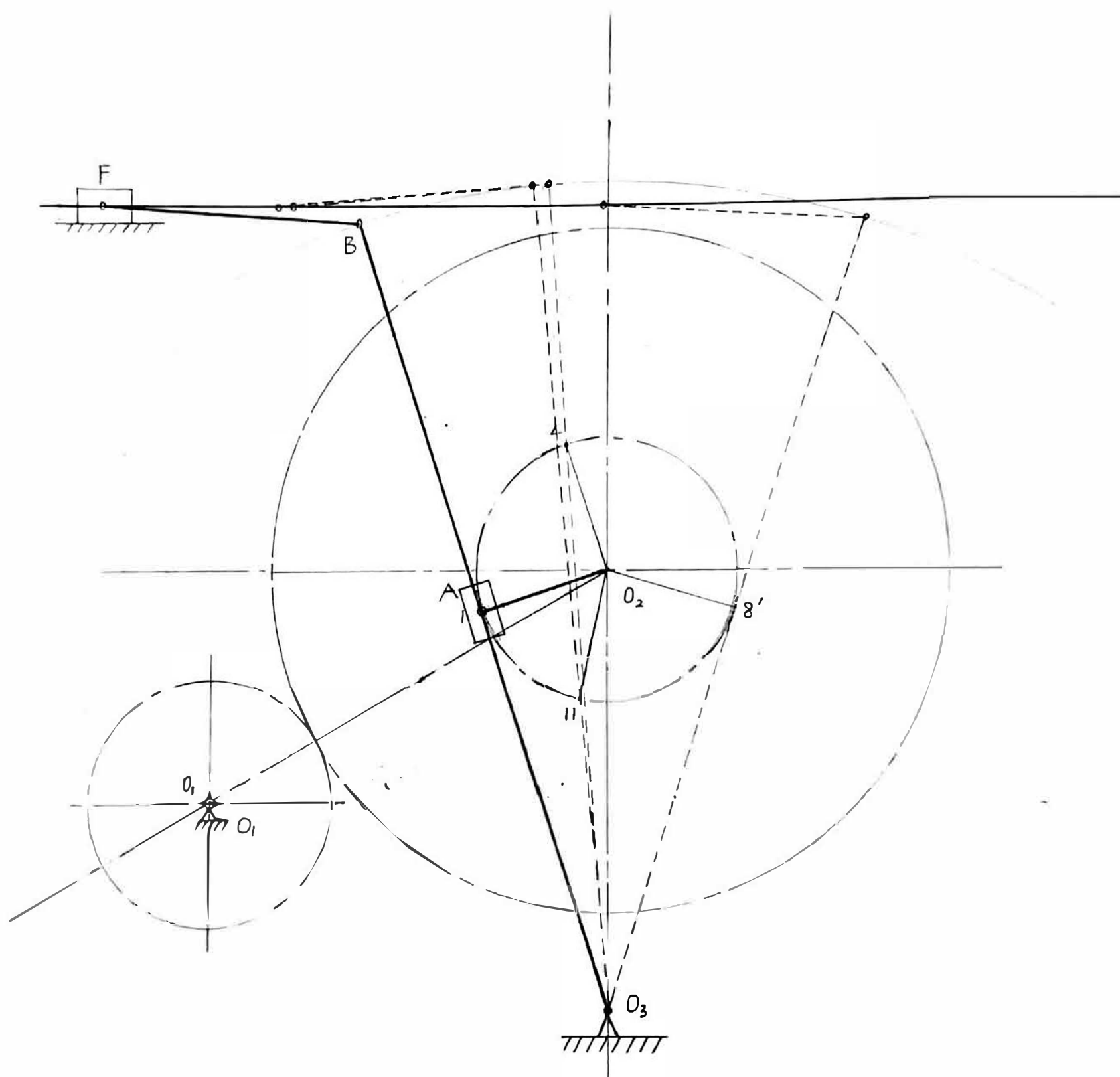
方案号	H mm	K	$L_{O_2O_3}$ mm	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$L_{FS_6}$ mm	$m_4$ kg	$m_5$ kg	$m_6$ kg
III	500	1.5	430	0.5	0.32	0.5	150	20	3	62
	$JS_4$ $kgm^2$	$JS_5$ $kgm^2$	$F_c$ N	$Y_p$ mm	$n_2$ r.p.m	$m$ mm	$Z_4$	$Z_5$		
	1.2	0.025	1500	180	80	14	16	48		

### 1.3 名称符号的意义

H	刨头的最大行程
K	导杆机构行程速度变化系数
$L_{O_2O_3}$	导杆转动副 $O_3$ 至曲柄转动副 $O_2$ 的距离
$P_1$	导杆 4 质心 $S_4$ 至转动副 $O_3$ 之距与导杆长之比，即 $L_{BS5} / L_{BF}$
$P_2$	$L_{BF} / L_{O_3B}$ -----导杆 5 与导杆 4 的长度比
$P_3$	连杆 5 质心 $S_5$ 到转动副 B 之距与杆 5 长之比，即 $L_{BS5} / L_{BF}$
$L_{FS_6}$	刨头 6 质心到转动副 F 之距
$m_4, m_5, m_6$	分别为构件 4、5、6 的质量
$JS_4, JS_5$	分别为构件 4、5 对各自质心的转动惯量
$F_c$	刨头所受切削阻力
$Y_p$	切削阻力 $FC$ 至 $O_2$ 的垂直距离
$n_2$	曲柄 2，齿轮 5 及凸轮 7 的转速
$m$	齿轮 4、5 的模数

$Z_4, Z_5$	分别为齿轮 4、5 的齿数
------------	---------------

## 2 机构运动简图



## 3 各部分设计计算结果及必要的说明

1. 导杆机构的极位夹角  $\theta$  与导杆的最大摆角  $\psi$  :

$$\psi = \theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1} = 36^\circ$$

2.求导杆长  $L_{O_3B}$  :

$$L_{O_3B} = \frac{H}{2 \sin \frac{\Psi}{2}} = 809mm$$

3.求曲柄长  $L_{O_2A}$  :

$$L_{O_2A} = L_{O_2O_3} \sin \frac{\Psi}{2} = 133mm$$

4.求连杆长  $L_{BF}$  :

$$L_{BF} = L_{O_3B} \cdot P_2 = 259mm$$

5.求刨头导路 x—x 至  $O_3$  点的距离  $L_{O_3M}$  ; 从受力情况 (有较大的传动角) 出发, x—x 常取为通过  $B_1B_2$  的扰度 DE 的中点 M。由图得:

$$L_{O_3M} = L_{O_3B} - \frac{DE}{2} = L_{O_3B} \left( 1 + \cos \frac{\Psi}{2} \right) / 2 = 789mm$$

6.求导杆质心到转动副  $O_3$  之距  $L_{O_3S_4}$  :

$$L_{O_3S_4} = L_{O_3B} \cdot P_1 = 405mm$$

7.求连杆质心到转动副 B 之距  $L_{BS_5}$  :

$$L_{BS_5} = L_{BF} \cdot P_3 = 130mm$$

## 4 导杆机构的运动分析

### 4.1 已知数据

- 1.由机构综合确定各构件长度和质心位置 ;
- 2.曲柄转速  $n_2=80r.p.m$  。

## 4.2 设计步骤

### 4.2.1 位置的划分

将机构运动简图选定 17 个位置，其中 1 对应导杆的左极限位置，1—12 每个位置间隔为  $30^\circ$ ，1' 对应刨头开始切削的位置，7' 对应刨头结束切削的位置，4' 与 10' 对应曲柄与导杆共线的两个位置，8' 对应导杆的右极限位置。

### 4.2.2 4, 8', 11 位置的运动分析

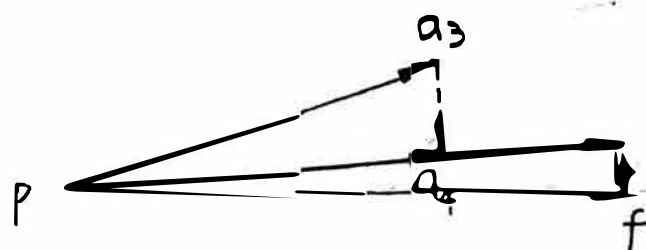
#### 4.2.2.1 4 位置运动分析

4 位置速度向量方程

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_{A4}} & = & \overrightarrow{V_{A3}} & + & \overrightarrow{V_{A_4A_3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_F} & = & \overrightarrow{V_B} & + & \overrightarrow{V_{FB}} \\ \text{水平} & & \perp 4 \text{ 杆} & & // 5 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

4 位置速度多边形

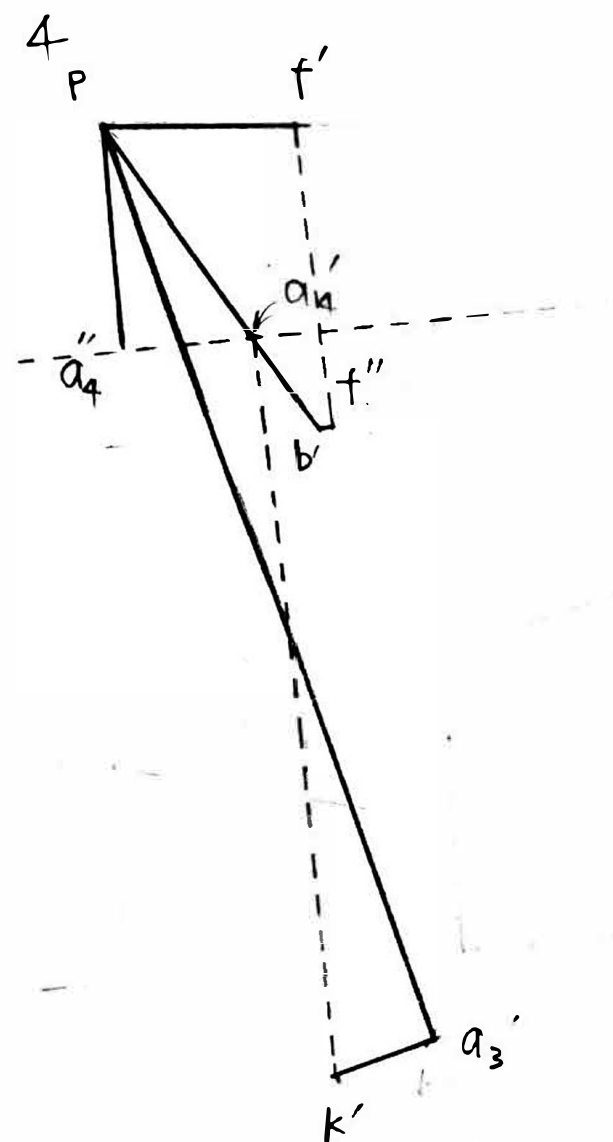


#### 4 位置加速度向量方程

$$\begin{array}{ccccccccc}
 \overrightarrow{a_{A4}^n} & + & \overrightarrow{a_{A4}^t} & = & \overrightarrow{a_{A3}} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^k} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^r} \\
 //4 \text{ 杆} & & \perp 4 \text{ 杆} & & //2 \text{ 杆} & & v_{A4A3} \text{ 沿 } \omega_4 \text{ 转 } 90^\circ & & //4 \text{ 杆} \\
 \checkmark & & ? & & \checkmark & & \checkmark & & ?
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 \overrightarrow{a_F} & = & \overrightarrow{a_B} & + & \overrightarrow{a_{FB}^n} & + & \overrightarrow{a_{FB}^t} \\
 \text{水平} & & \text{同 } a_4 \text{ 方向} & & //5 \text{ 杆} & & \perp 5 \text{ 杆} \\
 ? & & \checkmark & & \checkmark & & ?
 \end{array}$$

#### 4 位置加速度多边形



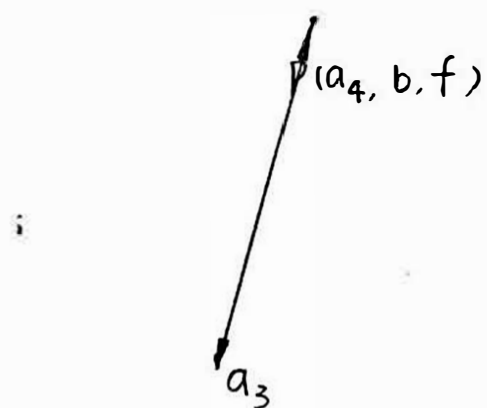
#### 4.2.2.2 8' 位置运动分析

8'位置速度向量方程

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_{A4}} & = & \overrightarrow{V_{A3}} & + & \overrightarrow{V_{A_4A_3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_F} & = & \overrightarrow{V_B} & + & \overrightarrow{V_{FB}} \\ \text{水平} & & \perp 4 \text{ 杆} & & // 5 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

8'位置速度多边形

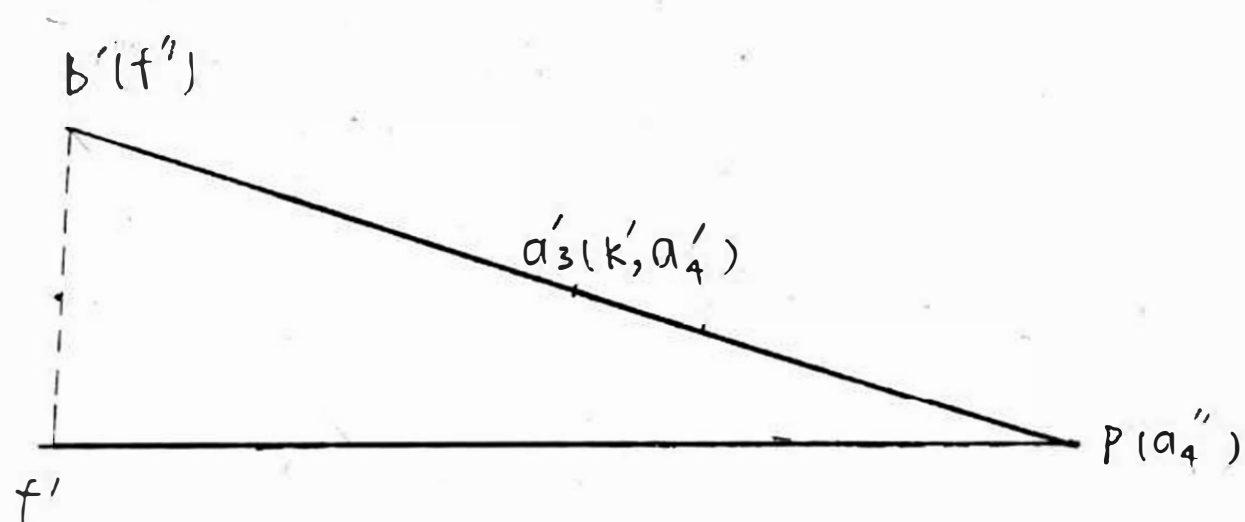


8'位置加速度向量方程

$$\begin{array}{ccccccc} \overrightarrow{a_{A4}^n} & + & \overrightarrow{a_{A4}^t} & = & \overrightarrow{a_{A3}} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^k} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^r} \\ // 4 \text{ 杆} & & \perp 4 \text{ 杆} & & // 2 \text{ 杆} & & V_{A4A3} \text{ 沿 } \omega_4 \text{ 转 } 90^\circ & & // 4 \text{ 杆} \\ \checkmark & & ? & & \checkmark & & \checkmark & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \overrightarrow{a_F} & = & \overrightarrow{a_B} & + & \overrightarrow{a_{FB}^n} & + & \overrightarrow{a_{FB}^t} \\ \text{水平} & & \text{同 } a_4 \text{ 方向} & & // 5 \text{ 杆} & & \perp 5 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & \checkmark & & ? \end{array}$$

8' 位置加速度多边形



#### 4.2.2.3 11 位置运动分析

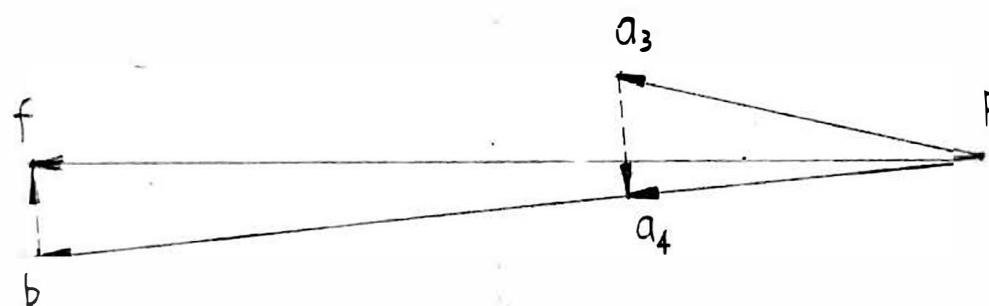
11 位置速度向量方程

$$\begin{array}{ccccccc} \overrightarrow{V_{A4}} & = & \overrightarrow{V_{A3}} & + & \overrightarrow{V_{A4A3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \overrightarrow{V_F} & = & \overrightarrow{V_B} & + & \overrightarrow{V_{FB}} \\ \text{水平} & & \perp 4 \text{ 杆} & & // 5 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & ? \end{array}$$

11 位置速度多边形



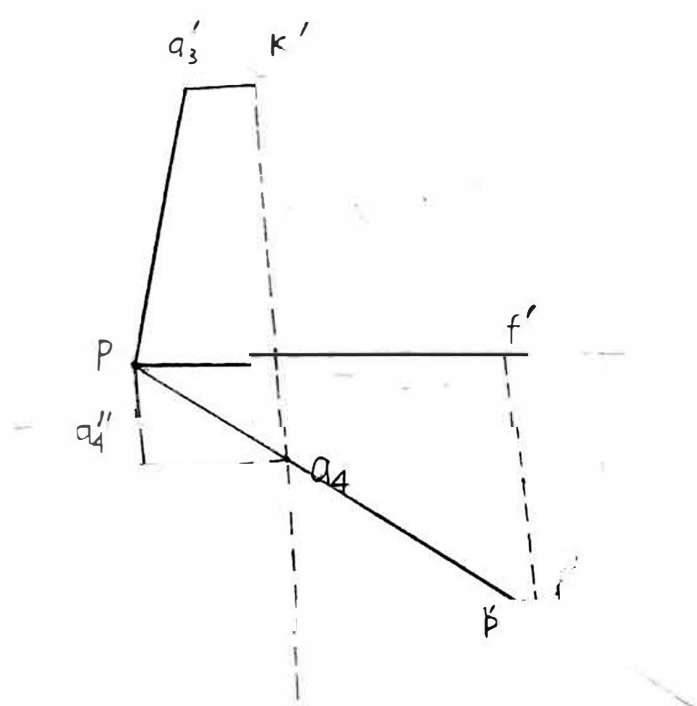


# 11 位置加速度向量方程

$$\begin{array}{ccccccccc} \overrightarrow{a_{A4}^n} & + & \overrightarrow{a_{A4}^t} & = & \overrightarrow{a_{A3}} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^k} & + & \overrightarrow{a_{A4A3}^r} \\ //4 \text{ 杆} & & \perp 4 \text{ 杆} & & //2 \text{ 杆} & & v_{A4A3} \text{ 沿 } \omega_4 \text{ 转 } 90^\circ & & //4 \text{ 杆} \\ \checkmark & & ? & & \checkmark & & \checkmark & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \overrightarrow{a_F} & = & \overrightarrow{a_B} & + & \overrightarrow{a_{FB}^n} & + & \overrightarrow{a_{FB}^t} \\ \text{水平} & & \text{同 } a_4 \text{ 方向} & & //5 \text{ 杆} & & \perp 5 \text{ 杆} \\ ? & & \checkmark & & \checkmark & & ? \end{array}$$

# 11 位置加速度多边形



### 4.2.3 运动分析结果汇总表

数值 位置	$\omega_4$	$\omega_5$	$V_F$	$\varepsilon_4$	$\varepsilon_5$	$a_{s4}$	$a_{s5}$	$a_F$
	rad/s	rad/s	m/s	rad/s <sup>2</sup>	rad/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
4	2.0	0.6	1.6	2.3	11.2	1.8	1.5	1.8
8'	0	0	0	23.2	21.6	9.3	18.0	18.2
11	3.5	1.0	2.9	15.7	32.4	7.9	13.8	12.9

## 5 导杆机构动态静力分析

### 5.1 已知数据

- 1.由运动分析确定的加速度与角加速度  $\varepsilon_4$  ,  $\varepsilon_5$  ,  $a_{s4}$  ,  $a_{s5}$  ,  $a_F$  ;
- 2.各构件的质量  $m_4$  ,  $m_5$  ,  $m_6$  (滑块 3 质量不计) ;
- 3.各构件的转动惯量  $JS_4$  ,  $JS_5$  ;
- 4.切削阻力  $F_c$  及其线图;
- 5.齿轮 5 模数  $m$  , 齿数  $Z_5$  , 两齿轮中心线  $O_1O_2$  与 X 轴夹角  $\alpha = 30^\circ$  。

### 5.2 设计步骤

#### 5.2.1 惯性力及力矩结果汇总表

名称 位置	导杆 4			导杆 5			刨头 6
	$F_{I4}$ N	$M_{I4}$ Nm	$H_{I4}$ mm	$F_{I5}$ N	$M_{I5}$ Nm	$H_{I5}$ mm	$F_{I6}$ N
4	35	2.81	80.29	4.38	0.28	63.93	111.6
8'	186	27.84	149.68	54	0.54	10.00	1128.4
11	159	18.89	118.81	41.4	0.81	19.57	799.8

## 5.2.2 求齿轮的重量

齿轮 5 的重量用下式近似计算：

$$G_{z5} = 1.274 \times 10^{-5} \pi d_f S \rho (N) = 835 N$$

式中：

齿根圆直径  $d_f = m(Z_5 - 2.5) = 637 mm$ ；

齿圈截断面面积： $S = 3mB = 4200 mm^2$ ；

B：齿轮宽，取为 100mm；

$\rho$ ：齿轮材料密度，钢的密度为  $7.8 g/cm^3$ 。

## 5.2.3 4,8', 11 位置动态静力分析

### 5.2.3.1 4 位置动态静力分析

a. 构件 5 力矩平衡：

$$F_{i5} \cdot l_{\vec{F}_{i5} \rightarrow F} + G_5 \cdot l_{\vec{G}_5 \rightarrow F} + R_{45}^t \cdot l_{\vec{R}_{45}^t \rightarrow F} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^t$  的大小和指向

b. 杆组 6—5 力方程：

$$\vec{R}_{45}^n + \vec{R}_{45}^t + \vec{G}_5 + \vec{F}_{i5} + \vec{G}_6 + \vec{F}_{i6} + \vec{F}_C + \vec{R}_{16} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^n$  和  $\vec{R}_{16}$  的大小

c. 构件 4 力矩平衡：

$$F_{i4} \cdot l_{\vec{F}_{i4} \rightarrow O_3} + G_4 \cdot l_{\vec{G}_4 \rightarrow O_3} + R_{34} \cdot l_{\vec{R}_{34} \rightarrow O_3} + R_{54} \cdot l_{\vec{R}_{54} \rightarrow O_3} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^t$  的大小和指向

d. 杆组 4—3 力方程：

$$\vec{R}_{54} + \vec{R}_{23} + \vec{G}_4 + \vec{F}_{i4} + \vec{R}_{14} = 0$$

求出  $\vec{R}_{14}$  的大小和方向

e. 构件 2 力矩平衡:

$$R_{z4z5} \cdot r_{b5} + R_{32} \cdot l_{\vec{R}_{32} \rightarrow O_2} = 0$$

求出  $\vec{R}_{z4z5}$  的大小和指向

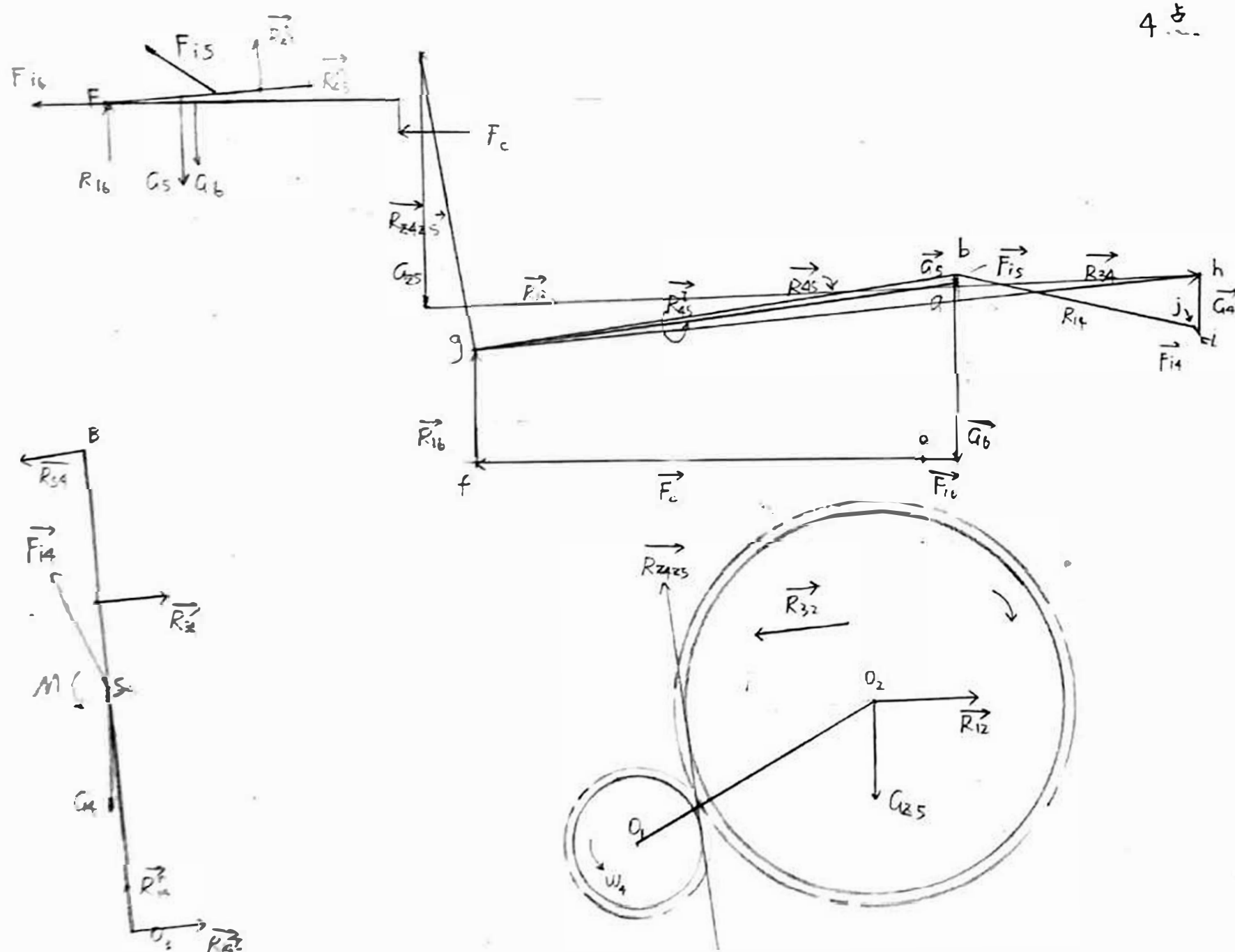
f. 齿轮  $Z_5$  力方程

$$\vec{R}_{32} + \vec{R}_{z4z5} + \vec{G}_{z5} + \vec{R}_{12} = 0$$

求得  $\vec{R}_{12}$

g. 4 位置动态静力图

4 点



### 5.2.3.2 8'位置动态静力分析

a. 构件 5 力矩平衡:

$$F_{i5} \cdot l_{\vec{F}_{i5} \rightarrow F} + G_5 \cdot l_{\vec{G}_5 \rightarrow F} + R_{45}^t \cdot l_{\vec{R}_{45}^t \rightarrow F} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^t$  的大小和指向

b. 杆组 6—5 力方程:

$$\vec{R}_{45}^n + \vec{R}_{45}^t + \vec{G}_5 + \vec{F}_{i5} + \vec{G}_6 + \vec{F}_{i6} + \vec{R}_{16} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^n$  和  $\vec{R}_{16}$  的大小

c. 构件 4 力矩平衡:

$$F_{i4} \cdot l_{\vec{F}_{i4} \rightarrow O_3} + G_4 \cdot l_{\vec{G}_4 \rightarrow O_3} + R_{34} \cdot l_{\vec{R}_{34} \rightarrow O_3} + R_{54} \cdot l_{\vec{R}_{54} \rightarrow O_3} = 0$$

求出  $\vec{R}_{54}$  的大小和指向

d. 杆组 4—3 力方程:

$$\vec{R}_{54} + \vec{R}_{23} + \vec{G}_4 + \vec{F}_{i4} + \vec{R}_{14} = 0$$

求出  $\vec{R}_{14}$  的大小和方向

e. 构件 2 力矩平衡:

$$R_{2425} \cdot r_{b5} + R_{32} \cdot l_{\vec{R}_{32} \rightarrow O_2} = 0$$

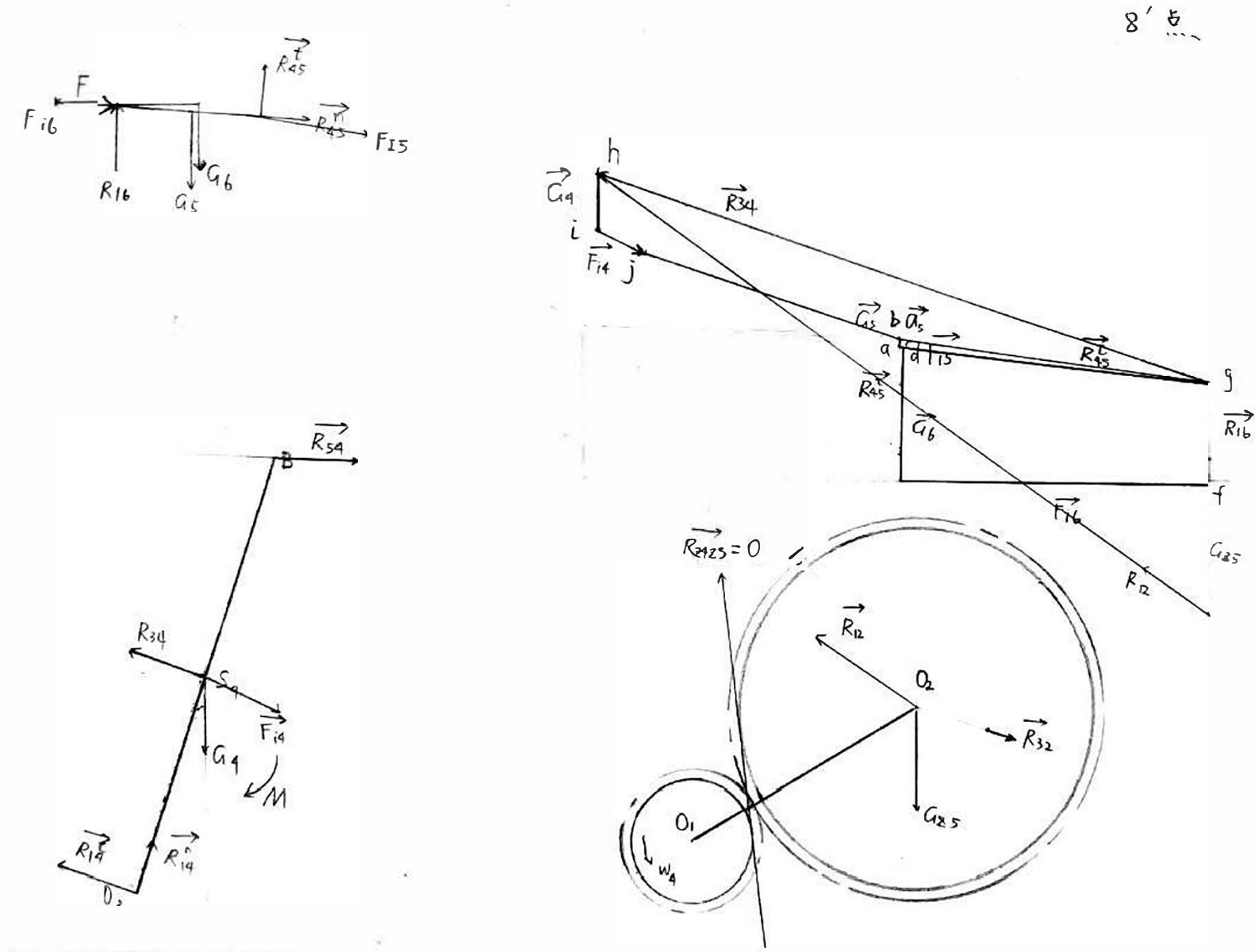
求出  $\vec{R}_{2425}$  的大小和指向

f. 齿轮  $Z_5$  力方程

$$\vec{R}_{32} + \vec{R}_{2425} + \vec{G}_{Z5} + \vec{R}_{12} = 0$$

求得  $\vec{R}_{12}$

g. 8'位置动态静力图



### 5.2.3.3 11 位置动态 静力分析

a. 构件 5 力矩平衡:

$$F_{i5} \cdot l_{\vec{F}_{i5} \rightarrow F} + G_5 \cdot l_{\vec{G}_5 \rightarrow F} + R_{45}^t \cdot l_{\vec{R}_{45}^t \rightarrow F} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^t$  的大小和指向

b. 杆组 6—5 力方程:

$$\vec{R}_{45}^n + \vec{R}_{45}^t + \vec{G}_5 + \vec{F}_{i5} + \vec{G}_6 + \vec{F}_{i6} + \vec{R}_{16} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^n$  和  $\vec{R}_{16}$  的大小

c. 构件 4 力矩平衡:

$$F_{i4} \cdot l_{\vec{F}_{i4} \rightarrow O_3} + G_4 \cdot l_{\vec{G}_4 \rightarrow O_3} + R_{34} \cdot l_{\vec{R}_{34} \rightarrow O_3} + R_{54} \cdot l_{\vec{R}_{54} \rightarrow O_3} = 0$$

求出  $\vec{R}_{45}^t$  的大小和指向

d. 杆组 4—3 力方程:

$$\vec{R}_{54} + \vec{R}_{23} + \vec{G}_4 + \vec{F}_{i4} + \vec{R}_{14} = 0$$

求出  $\vec{R}_{14}$  的大小和方向

e. 构件 2 力矩平衡:

$$R_{z4z5} \cdot r_{b5} + R_{32} \cdot l_{\vec{R}_{32} \rightarrow \bullet_2} = 0$$

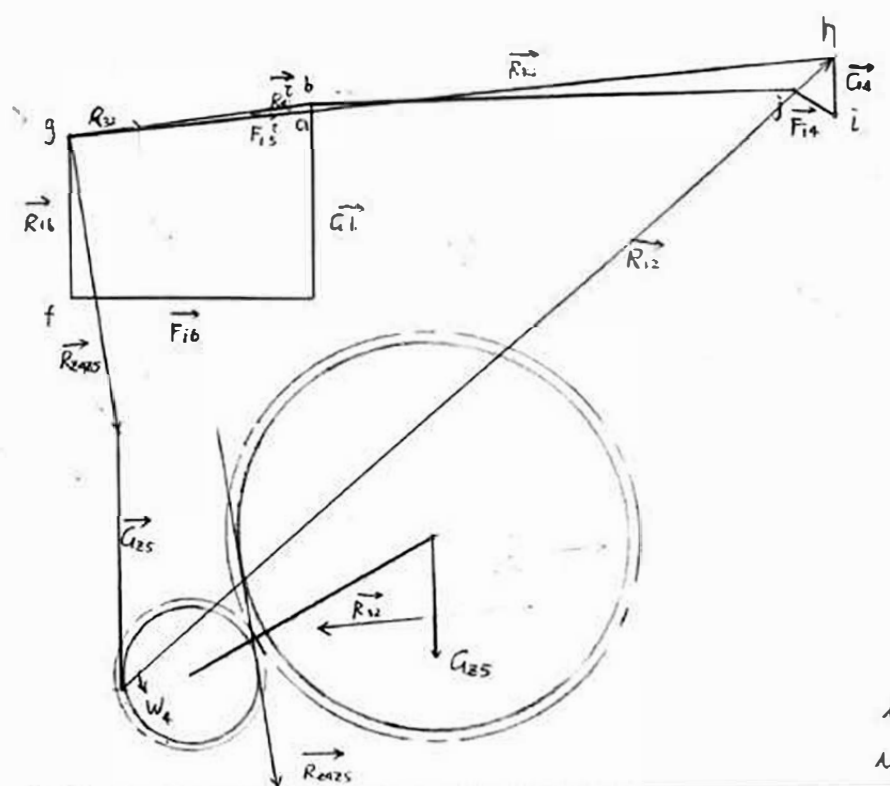
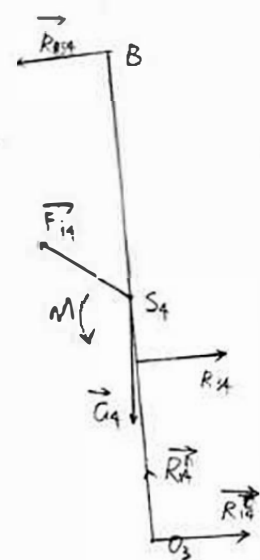
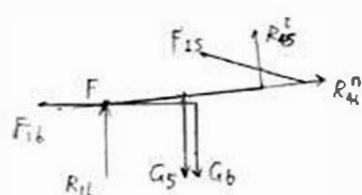
求出  $\vec{R}_{z4z5}$  的大小和指向

f. 齿轮 Z<sub>5</sub> 力方程

$$\vec{R}_{32} + \vec{R}_{z4z5} + \vec{G}_{z5} + \vec{R}_{12} = 0$$

求得  $\vec{R}_{12}$

g. 11 位置动态静力图



## 5.2.4 动力分析结果汇总表

名称 位置	$F_C$	$R_{16}$	$R_{65}$	$R_{54}$	$R_{43}$	$R_{14}$	$R_{12}$	$R_{Z4Z5}$	$M_b$
	N	N	N	N	N	N	N	N	Nm
4	1500	380	1640	1630	2442	800	2580	1008.0	106.1
8'	0	530	1110	1120	2510	960	2680	0	0
11	0	360	800	800	2414	1560	3120	996.3	-104.8

# 6 齿轮机构设计计算

## 6.1 已知数据

- a、齿数中  $z_4=16$ ,  $z_5=48$ ;
- b、模数  $m=14\text{mm}$ ;
- c、齿顶高系数  $h_a^* = 1$ , 径向间隔系数  $c^* = 0.25$ ;
- d、压力角  $\alpha = 20^\circ$ ;
- e、齿轮传动采用等高度变位传动。

## 6.2 设计步骤

### 6.2.1 确定变位系数

参阅附录三可确定变位系数  $x_4 = 0.366$ ,  $x_5 = -0.366$ 。



### 6.2.2 计算齿轮几何尺寸

名称	符号	计算公式	计算结果
分度圆直径	$d_4$	$d_4 = mz_4$	224mm
分度圆直径	$d_5$	$d_5 = mz_5$	672mm
基圆直径	$d_{b4}$	$d_{b4} = mz_4 \cos \alpha$	210.5mm
基圆直径	$d_{b5}$	$d_{b5} = mz_5 \cos \alpha$	631.5mm
齿根圆直径	$d_{f4}$	$d_{f4} = m(z_4 - 2h_a^* - 2c^* + 2x)$	199.2mm
齿根圆直径	$d_{f5}$	$d_{f5} = m(z_5 - 2h_a^* - 2c^* + 2x)$	626.8mm
齿顶圆直径	$d_{a4}$	$d_{a4} = m(z_4 + 2h_a^* + 2x)$	262.2mm
齿顶圆直径	$d_{a5}$	$d_{a5} = m(z_5 + 2h_a^* + 2x)$	689.7mm
分度圆齿厚	$s_4$	$s_4 = m(\frac{\pi}{2} + 2x \tan \alpha)$	25.7mm
分度圆齿厚	$s_5$	$s_5 = m(\frac{\pi}{2} + 2x \tan \alpha)$	18.3mm
齿顶圆齿厚	$s_{a4}$	$s_{a4} = s_4 \frac{r_{a4}}{r_4} - 2r_{a4}(\text{inv } \alpha_{a4} - \text{inv } \alpha)$	6.8mm
齿顶圆齿厚	$s_{a5}$	$s_{a5} = s_5 \frac{r_{a5}}{r_5} - 2r_{a5}(\text{inv } \alpha_{a5} - \text{inv } \alpha)$	11.5mm
中心距 a	$a$	$a = \frac{m(z_4 + z_5)}{2}$	448mm
重合度 $\varepsilon$	$\varepsilon$	$\varepsilon = \frac{1}{2\pi} [z_4(\tan \alpha_{a4} - \tan \alpha') + z_5(\tan \alpha_{a5} - \tan \alpha')]$	1.54