

目 录

牛头刨床机构的分析与综合	1
1 设计题目及原始数据	1
1.1 题目：牛头刨床机构的分析与综合	1
1.2 原始数据	1
1.3 名称符号的意义	1
2 机构运动简图	2
3 各部分设计计算结果及必要的说明	2
4 导杆机构的运动分析	3
4.1 已知数据	3
4.2 设计步骤	4
4.2.1 位置划分	4
4.2.2 1', 6, 9 位置的运动 分析	4
4.2.3 运动分析结果汇总表	10
5 导杆机构动态静力分析	11
5.1 已知数据	11
5.2 设计步骤	11
5.2.1 惯性力及力矩结果汇总表	11
5.2.2 求齿轮 的重量	11
5.2.3 1', 6, 9 位置动态静力分析	12
5.2.4 动力分析结果汇总表	15
6 齿轮机构设计计算	15
6.1 已知数据	15
6.2 设计步骤	16
6.2.1 确定变位系数	16
6.2.2 计算齿轮几何尺寸	16

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

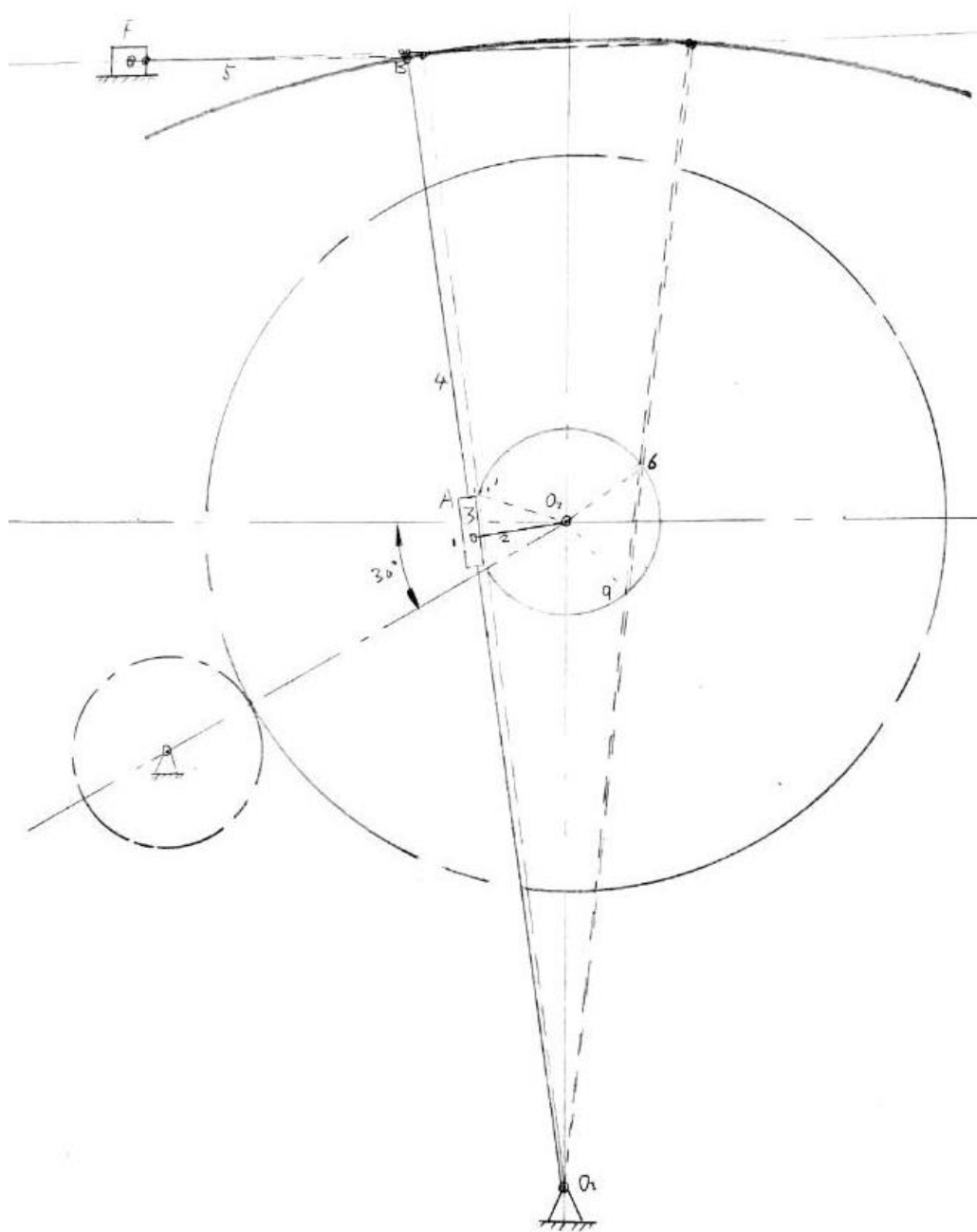
方案号	H mm	K	$L_{O_2O_3}$ mm	P_1	P_2	P_3	L_{FS_6} mm	m_4 kg	m_5 kg	m_6 kg
I	320	1.2	650	0.5	0.25	0.5	150	16	4	68
	JS_4 kgm^2	JS_5 kgm^2	F_c N	Y_p mm	n_2 r.p.m	m mm	Z_4	Z_5	$L_{O_2O_4}$ mm	L_{O_4C} mm
	1.6	0.03	1600	160	80	12	16	60	136	120

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_{BS_5} / 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_{BS_5} / 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 θ 与导杆的最大摆角 ψ :

$$\psi = \theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1} = 16.36^\circ$$

2. 求导杆长 L_{O_3B} :

$$L_{O_3B} = \frac{H}{2 \sin \frac{\psi}{2}} = 1124.27mm$$

3. 求曲柄长 L_{O_2A} :

$$L_{O_2A} = L_{O_2O_3} \sin \frac{\psi}{2} = 92.50mm$$

4. 求连杆长 L_{BF} :

$$L_{BF} = L_{O_3B} \cdot P_2 = 281.07mm$$

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:

$$L_{O_3M} = L_{O_3B} - \frac{DE}{2} = L_{O_3B} \left(1 + \cos \frac{\psi}{2} \right) / 2 = 1118.55mm$$

6. 求导杆质心到转动副 O_3 之距 $L_{O_3S_4}$:

$$L_{O_3S_4} = L_{O_3B} \cdot P_1 = 562.14mm$$

7. 求连杆质心到转动副 B 之距 L_{BS_5} :

$$L_{BS_5} = L_{BF} \cdot P_3 = 140.54mm$$

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 参照指导书上写明各位置的划分

将机构运动简图选定 15 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° ，4' 与 10' 对应于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 1', 6, 9 位置的运动分析

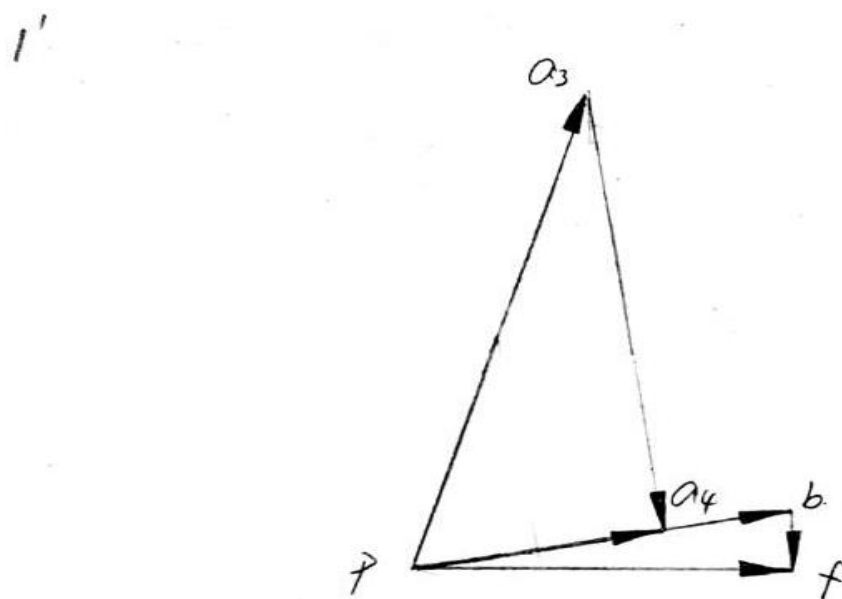
4.2.2.1 1' 位置运动分析

1'位置速度向量方程

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_{A4}} & = & \overrightarrow{V_{A3}} & + & \overrightarrow{V_{A_4A_3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \omega \cdot l_{O_2A} & & ? \end{array}$$

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

1'位置速度多边形

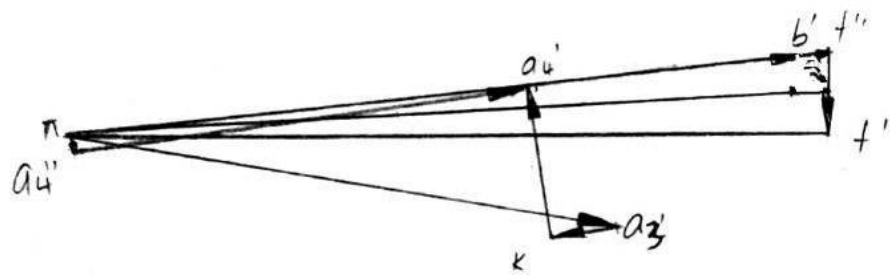


1'位置加速度向量方程

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

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

1'位置加速度多边形



$$\omega_a = 0.1 \frac{\text{m/s}^2}{\text{mm}}$$

4.2.2.2 6 位置运动分析

6 位置速度向量方程

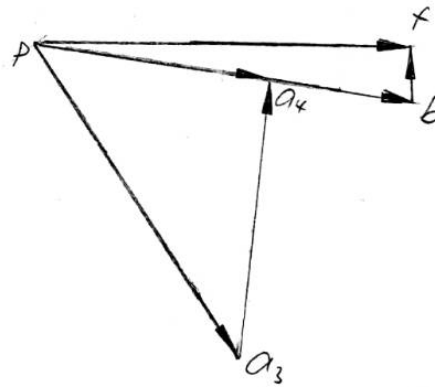
$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{v_{A4}} & = & \overrightarrow{v_{A3}} & + & \overrightarrow{v_{A4A3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \omega \cdot l_{O2A} & & ? \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{v_F} & = & \overrightarrow{v_B} & + & \overrightarrow{v_{FB}} \\ \text{水平} & & \perp 4 \text{ 杆} & & // 5 \text{ 杆} \end{array}$$

? √ ?

6 位置速度多边形

6.



$$\omega = 0.015 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

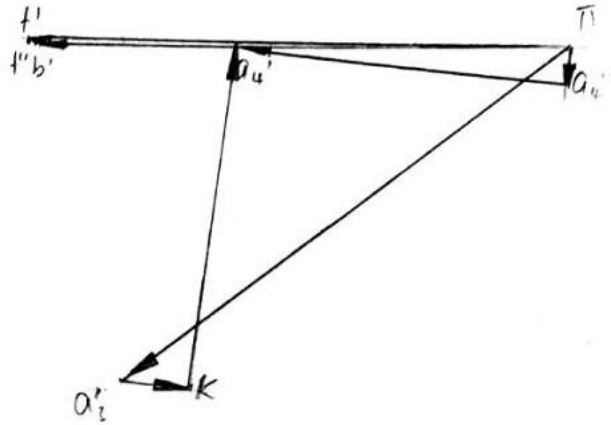
6 位置加速度向量方程

$$\vec{a}_{A4}^n + \vec{a}_{A4}^t = \vec{a}_{A3} + \vec{a}_{A4A3}^k + \vec{a}_{A4A3}^r$$

$$\vec{f} = \vec{a}_B + \vec{a}_{FB}^n + \vec{a}_{FB}^t$$

6 位置加速度多边形

6



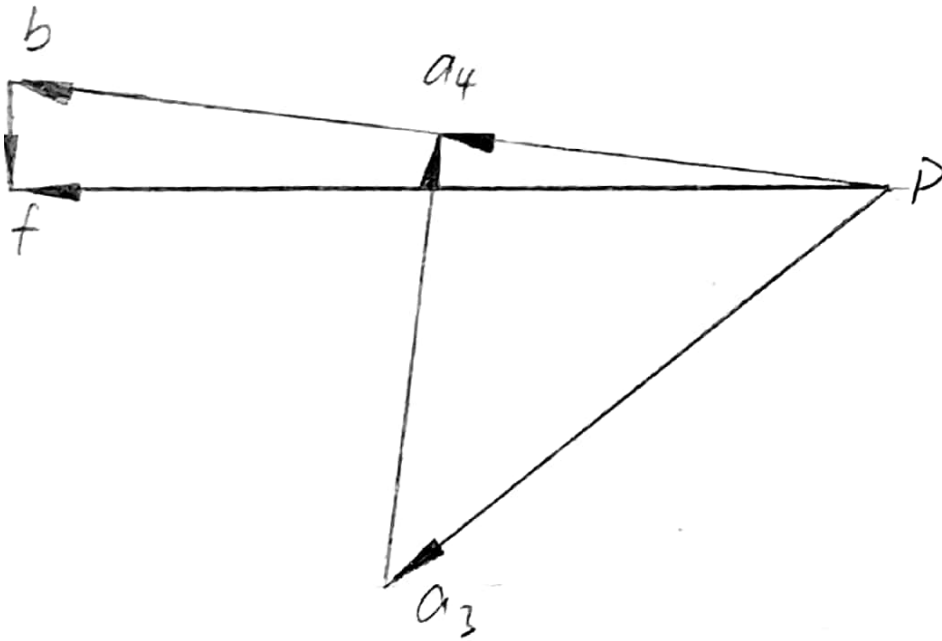
4.2.2.3 9 位置运动分析

9 位置速度向量方程

$$\begin{array}{ccccc} \overrightarrow{V_{A4}} & = & \overrightarrow{V_{A3}} & + & \overrightarrow{V_{A_4A_3}} \\ \perp 4 \text{ 杆} & & \perp 2 \text{ 杆} & & // 4 \text{ 杆} \\ ? & & \omega \cdot l_{O_2A} & & ? \end{array}$$

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

9 位置速度多边形

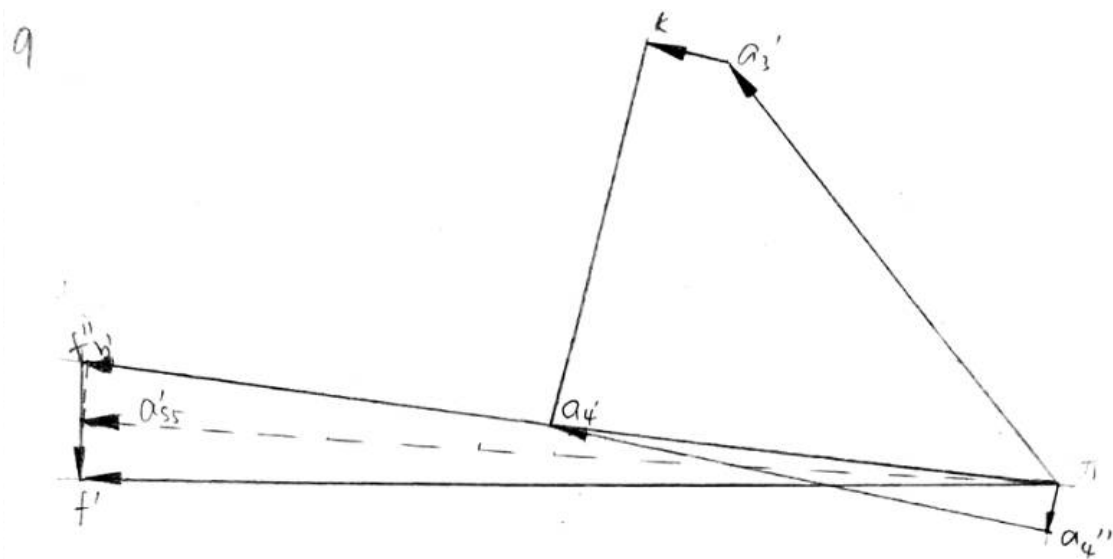


9 位置加速度向量方程

$$\vec{a}_{A4}^n + \vec{a}_{A4}^t = \vec{a}_{A3} + \vec{a}_{A4A3}^k + \vec{a}_{A4A3}^r$$

$$\vec{f} = \vec{a}_B + \vec{a}_{FB}^n + \vec{a}_{FB}^t$$

9 位置加速度多边形



4.2.3 运动分析结果汇总表

数值 位置	ω_4	ω_5	V_F	ε_4	ε_5	a_{s4}	a_{s5}	a_F
	rad/s	rad/s	m/s	rad/s ²	rad/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
1'	0.47	0.37	0.53	7.94	3.78	4.45	8.90	8.90
6	0.73	-0.40	0.83	-5.60	0.05	-3.10	-6.30	-6.30
9	0.95	0.45	-1.08	-10.68	4.98	-6.00	-11.90	-11.80

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 ε_4 , ε_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
1'	71.2	12.7	180	35.6	0.113	3.16	610.0
6	49.6	9.0	180	25.2	0.0015	0.1	428.4
9	96.0	17.1	178	47.6	0.149	3.0	802.4

5.2.2 求齿轮的重量

齿轮 5 的重量用下式近似计算:

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

式中:

齿根圆直径 $d_f = m(Z_5 - 2.5)$;

齿圈截断面面积： $S = 3mB$ ，

B： 齿轮宽， 取为 100mm；

ρ ： 齿轮材料密度， 钢的密度为 7.8g/cm^3 。

$$G_{z5} = 1.274 \times 10^{-5} \pi d_f S \rho (\text{N}) = 775 \text{N}$$

5.2.3 1',6,9 位置动态静力分析

5.2.3.1 1'位置动态 静力分析

a、 杆组 6—5 力方程：

$$\overrightarrow{R_{45}^n} + \overrightarrow{R_{45}^t} + \overrightarrow{G_5} + \overrightarrow{F_{i5}} + \overrightarrow{G_6} + \overrightarrow{F_{i6}} + \overrightarrow{R_{i6}} = 0$$

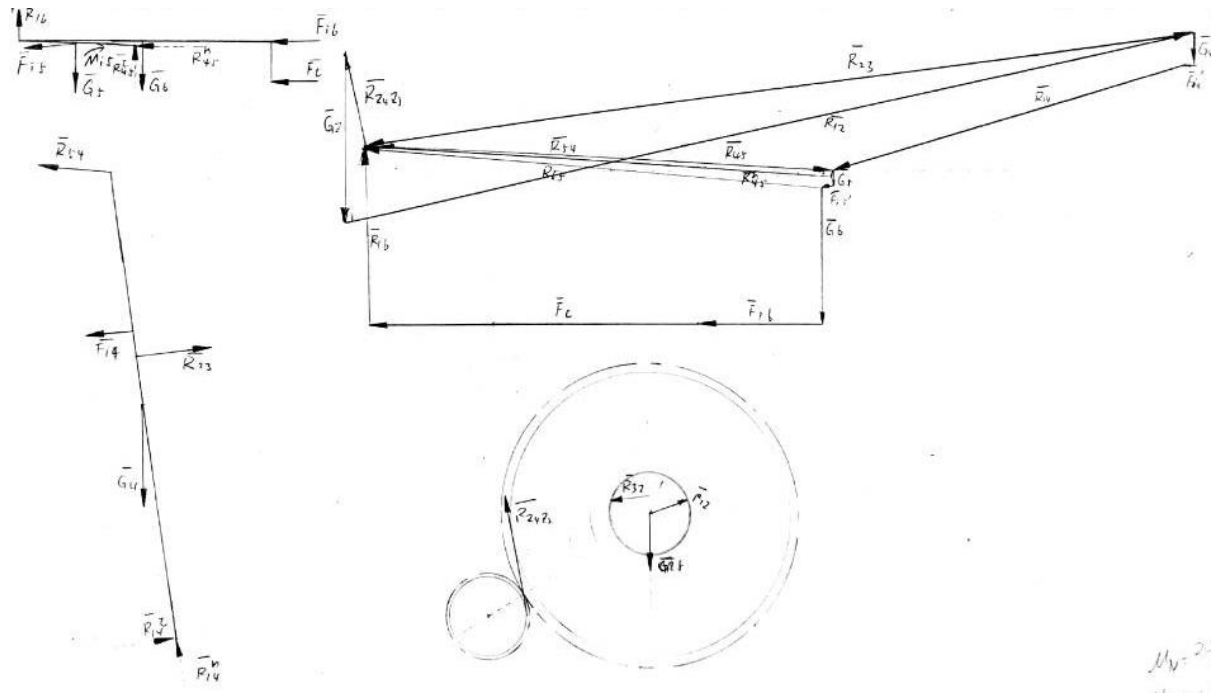
b、 杆组 3—4 力方程：

$$\overrightarrow{R_{34}} + \overrightarrow{R_{54}} + \overrightarrow{G_4} + \overrightarrow{F_{i4}} + \overrightarrow{R_{i4}} = 0$$

c、 曲柄 2(即齿轮 5) 力方程

$$\overrightarrow{R_{z4z5}} + \overrightarrow{R_{32}} + \overrightarrow{G_{z5}} + \overrightarrow{R_{i2}} = 0$$

d、 1'位置动态静力图



5.2.3.2 6 位置动态 静力分析

a、杆组 6—5 力方程：

$$\overrightarrow{R_{45}^n} + \overrightarrow{R_{45}^t} + \overrightarrow{G_5} + \overrightarrow{F_{i5}} + \overrightarrow{G_6} + \overrightarrow{F_{i6}} + \overrightarrow{F_c} + \overrightarrow{R_{16}} = 0$$

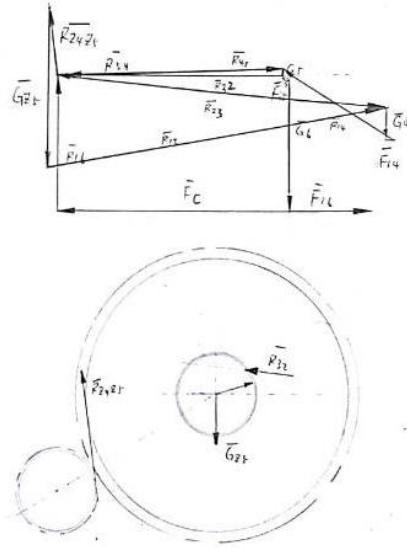
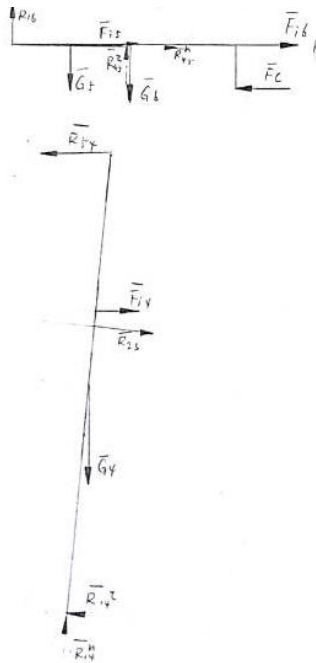
b、杆组 3—4 力方程：

$$\overrightarrow{R_{34}} + \overrightarrow{R_{54}} + \overrightarrow{G_4} + \overrightarrow{F_{i4}} + \overrightarrow{R_{14}} = 0$$

c、曲柄 2（齿轮 5）上力平衡：

$$\overrightarrow{R_{z4z5}} + \overrightarrow{R_{32}} + \overrightarrow{G_{z5}} + \overrightarrow{R_{12}} = 0$$

d、6 位置动态静力图



5.2.3.3 9 位置动态 静力分析

a、杆组 6—5 力方程：

$$\overrightarrow{R_{45}^n} + \overrightarrow{R_{45}^t} + \overrightarrow{G_5} + \overrightarrow{F_{15}} + \overrightarrow{G_6} + \overrightarrow{F_{16}} + \overrightarrow{R_{16}} = 0$$

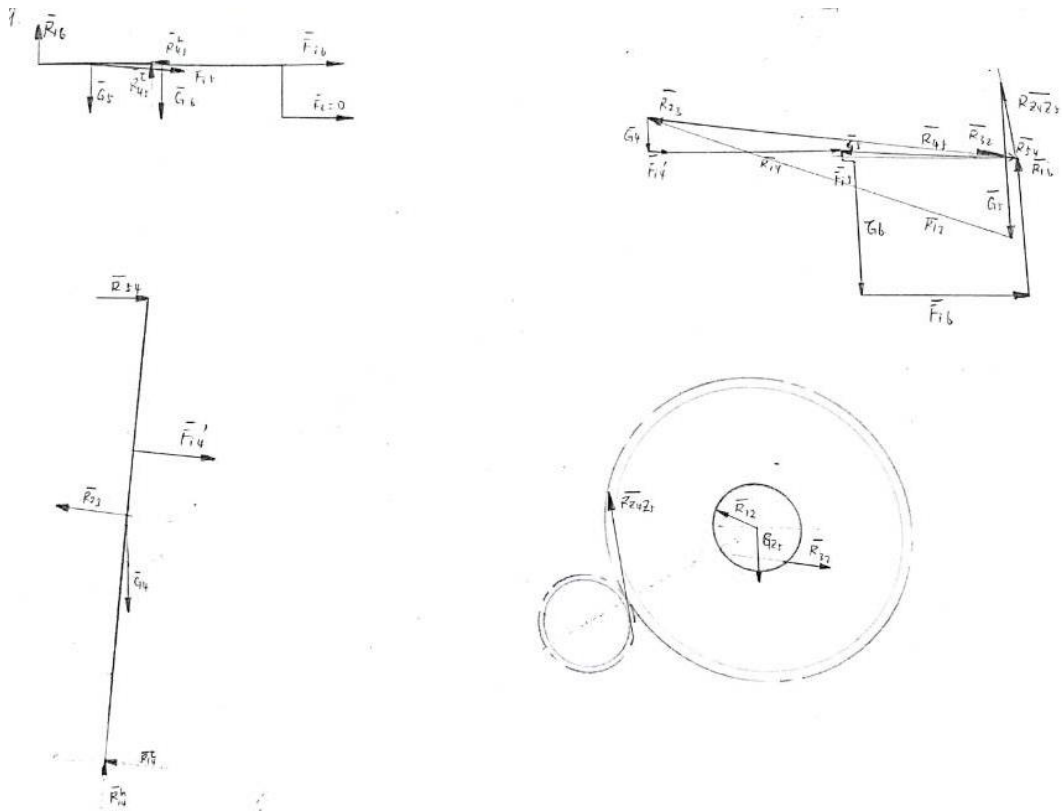
b、杆组 3—4 力方程：

$$\overrightarrow{R_{34}} + \overrightarrow{R_{54}} + \overrightarrow{G_4} + \overrightarrow{F_{14}} + \overrightarrow{R_{14}} = 0$$

d、曲柄 2（齿轮 5）上力平衡：

$$\overrightarrow{R_{z4z5}} + \overrightarrow{R_{32}} + \overrightarrow{G_{z5}} + \overrightarrow{R_{12}} = 0$$

e、9 位置动态静力图



5.2.4 动力分析结果汇总表

名称

位置 \ 名称	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
1'	1600	610.0	2240	2300	3929	1800	4400	460	41.4
6	1600	428.4	1200	1060	1675	600	1760	340	30.6
9	0	802.4	790	850	1792	840	1820	375	33.7

6 齿轮机构设计计算

6.1 已知数据

a、齿数中 $Z_4=16$, $Z_5=60$;

b、模数 $m=12\text{mm}$;

- 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 $X_1=0.397$ ， $X_2=-0.397$ 。

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	$d_4 = mZ_4$	192mm
分度圆直径	d_5	$d_5 = mZ_5$	720mm
基圆直径	d_{b4}	$d_{b4} = mZ_4 \cos \alpha_4$	180.4mm
基圆直径	d_{b5}	$d_{b5} = mZ_5 \cos \alpha_5$	659.7mm
齿根圆直径	d_{f4}	$d_{f4} = mZ_4 - 2(h_a^* + C^* - X)m$	171.5mm
齿根圆直径	d_{f5}	$d_{f5} = mZ_5 - 2(h_a^* + C^* + X)m$	680.5mm
齿顶圆直径	d_{a4}	$d_{a4} = mZ_4 + 2(h_a^* + X)m$	225.5mm
齿顶圆直径	d_{a5}	$d_{a5} = mZ_5 + 2(h_a^* - X)m$	734.5mm
分度圆齿厚	S_4	$S_4 = (\pi m) / 2 + 2Xm \tan \alpha$	22.3mm
分度圆齿厚	S_5	$S_5 = (\pi m) / 2 - 2Xm \tan \alpha$	15.4mm
齿顶圆齿厚	S_{a4}	$S_{a4} = S_4 r_{a4} / r_4 - 2r_{a4}(\text{inv} \alpha_{a4} - \text{inv} \alpha)$	5.5mm
齿顶圆齿厚	S_{a5}	$S_{a5} = S_5 r_{a5} / r_5 - 2r_{a5}(\text{inv} \alpha_{a5} - \text{inv} \alpha)$	6.26mm
中心距 a	a	$a = m(Z_4 + Z_5) / 2$	456mm
重合度 ε	ε	$\varepsilon = (Z_4(\tan \alpha_{a4} - \tan \alpha') + Z_5(\tan \alpha_{a5} - \tan \alpha')) / 2\pi$	1.841