

燕 山 大 学

机 械 原 理 课 程 设 计 报 告

题 目： 小型精刨机主切削运动机构

学 院： 车辆与能源学院

年级专业： 车辆工程（卓越计划）22-1

学 号： 202211130137

学生姓名： 王湛然

指导教师： 潘登

燕山大学课程设计（论文）任务书

院（系）：车辆与能源学院

基层教学单位：车辆工程系

学 号	202211130137	学生姓名	王湛然	专业（班级）	车辆（卓越）22-1
设计题目	小型精刨机主切削运动机构的设计方案分析				
设计 技 术 参 数	<p>要求主切削运动机构能使刨刀作往复直线运动。在工作行程时，刨刀速度要平稳，尽可能接近等速，在空回行程时，刨刀快速退回，即要有急回作用。具有良好的传力性能，结构简单，动作轻便灵活。主要设计参数如下：</p> <p>直线刨削行程 400mm</p> <p>工件刨削长度 320mm</p> <p>行程速比系数 1.41</p> <p>每分钟往复切削运动的次数 72 次/min</p> <p>切削阻力 4500N</p> <p>滑枕导路支承面离安装平面的距离需控制在 1000 mm 之内。</p>				
设计 要 求	<p>要求对小型精刨机主切削运动机构的备选设计方案 <u>2</u> 进行如下分析工作：</p> <p>（1）图解法对曲柄处在 $\phi_1 = 60^\circ$、$\phi_2 = 260^\circ$ 的两个位置进行运动分析与动力分析。</p> <p>（2）建立解析法分析模型，对机构进行运动分析、动力分析，并上机编制程序求解。</p> <p>（3）对图解法和解析法结果进行误差分析。</p> <p>（4）编写课程设计说明书。</p> <p>（5）1#图纸 1 张/人、2#图纸 1 张/组、设计说明书 1 份/人</p>				
指导教师 签字					

202__年 6 月____日

目 录

1 模型的建立.....	1
2 运动分析.....	3
2.1 位置分析.....	3
2.2 速度分析.....	5
2.3 加速度分析.....	7
3 力的分析.....	9
4 解析法分析.....	15
4.1 运动学分析.....	15
A.位置分析.....	15
B.速度分析.....	16
C.加速度分析.....	17
4.2 动力学分析.....	18
A.刨刀架分析.....	18
B.导杆机构分析.....	19
D.主动杆分析.....	21
4.3 程序源码.....	22
A.MATLAB 源码: JYBks_wzr_solve.m.....	22
B.python 源码: JYBks_wzr_solve.py.....	27
C.执行文件.....	27
D.开源网址.....	34

4.4 数据图像	35
5 SW MOTION 分析	39
5.1 SW motion 运动学分析	39
5.2 SW motion 动力学分析	41
6 误差分析	43
7 心得体会	47
8 参考文献	50

|

1 模型的建立

在如图 1-1 所示的牛头刨床主运动机构中, 已知各构件的尺寸和质心位置、各构件的质量和转动惯量、原动件 1 的方位角 θ_1 和匀角速度 ω_1 以及构件 5 的切削阻力 F_r , 已知行程速比系数 $K = \underline{1.41}$, 求各运动副中的反力和原动件 1 的尺寸, 及 1 上的平衡力矩 M_b (与作用在机构各构件上的已知外力矩和惯性力矩相平衡的待求外力矩)。

主要设计参数如下:

$$L_6 = \underline{350} \text{ mm}$$

$$H = \underline{400} \text{ mm}$$

$$K = \underline{1.41}$$

$$n = \underline{72} \text{ r/min}$$

$$F_r = \underline{4500} \text{ N}$$

滑枕导路支承面离安装平面的距离需控制在 1000 mm 之内。

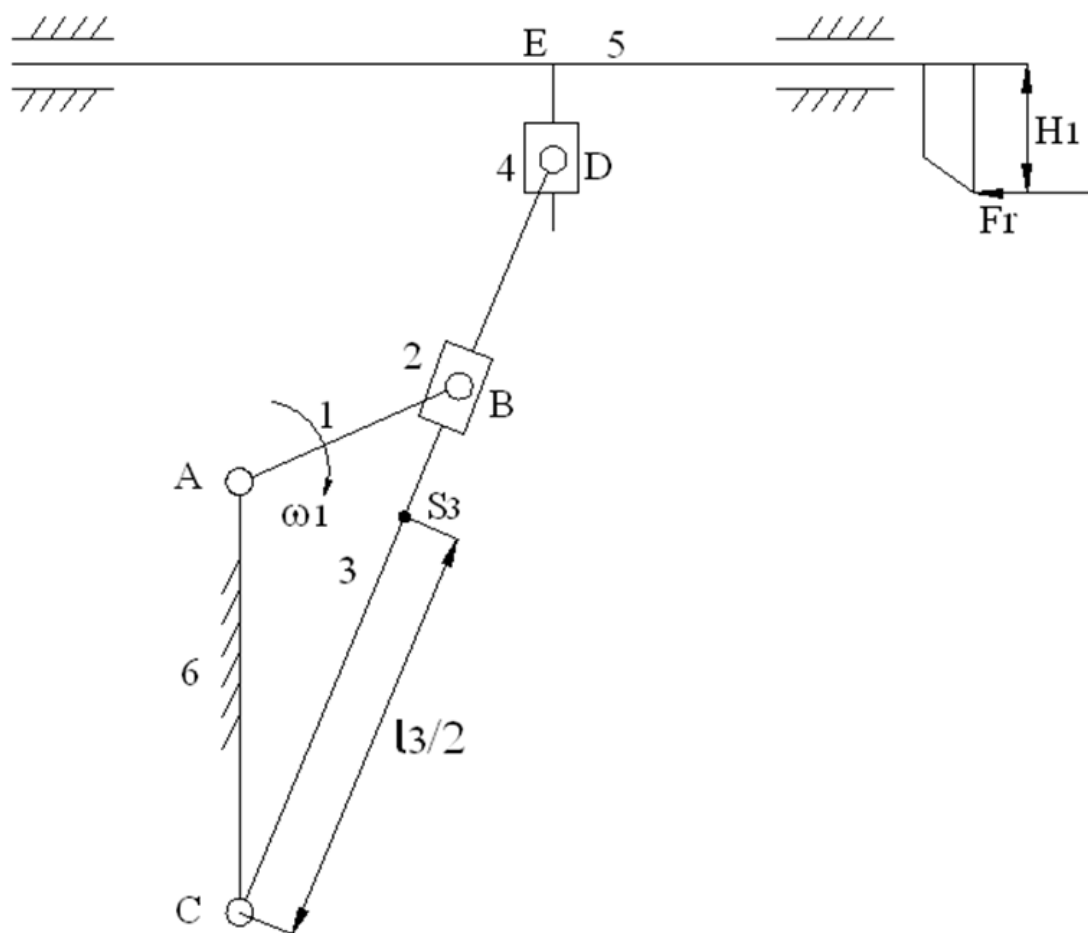


图 1 方案二模型

由公式 $\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1}$ ，及行程 $H=400\text{ mm}$ ，可得该装置的极位夹角 $\theta=30.62^\circ$ ，从而可计算其他构件尺寸及原动件角速度：

$$L_1 = L_6 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 92.4\text{ mm}$$

$$L_3 = \frac{\frac{H}{2}}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = 757.4\text{ mm}$$

$$\omega_1 = 2\pi n = 7.5\text{ rad/s}$$

2 运动分析

2.1 位置分析

机构运动简图如下：

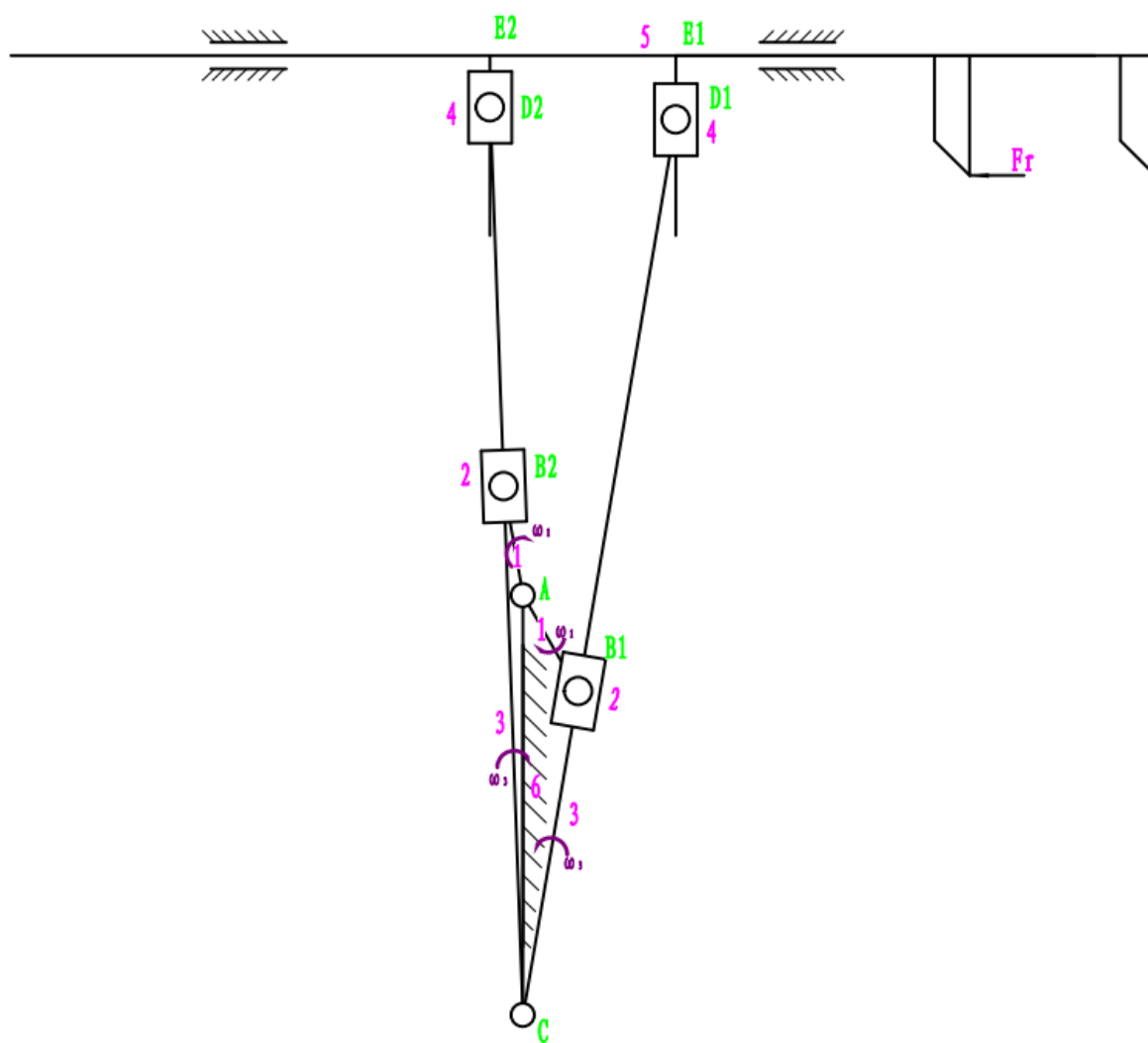


图 2 机构运动简图

图 3 为 60° 时的工作位置，为急回工况，杆 3 逆时针转动

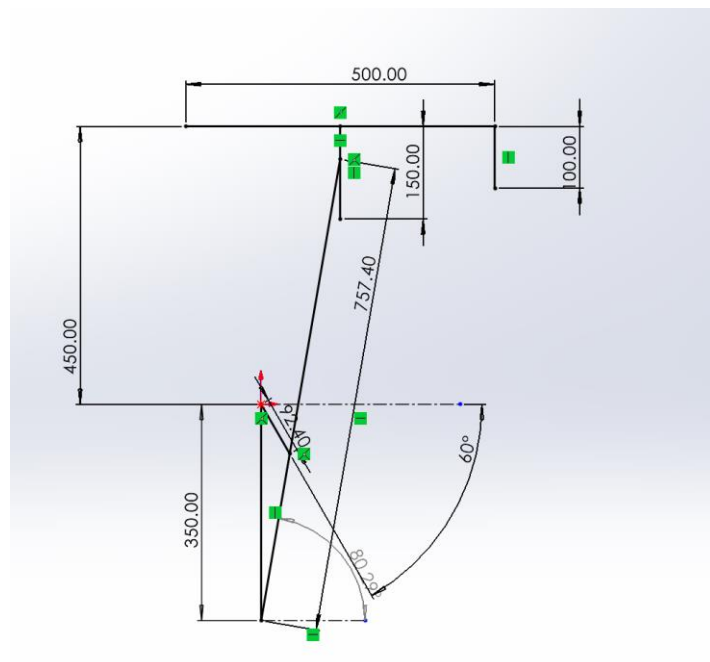


图 3 60° 工作位置

图 4 为 260° 时的工作位置，为进给工况，杆 3 顺时针转动

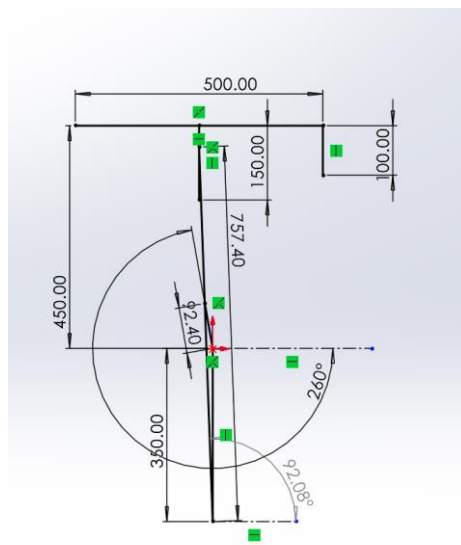


图 4 260° 工作位置

可以得到， 60° 时 $s = 327.53\text{mm}$ ， 260° 时 $s = 172.53\text{mm}$ 。

2.2 速度分析

① $\alpha_1=60^\circ$:

对速度进行分析，向量式如下：

$$v_{b3} = v_{b2} + v_{b3b2}$$

大小	?	$\omega_1 l_1$?
方向	✓	✓	✓

$v_{b2} = \omega_1 l_1 = 693 \text{ mm/s}$ ， v_{d4} 与 v_{b3} 成比例，与杆长有关，即 $v_{d4} = \frac{CD}{CB} v_{b3}$ ，

对构件 4、5 分析，因为如下速度关系，即

$$v_{b5} = v_E = v_{b4} + v_{b5b4}$$

大小	?	$\frac{CD}{CB} v_{b3}$?
方向	✓	✓	✓

利用图解法，取 p 为极点，速度比例尺 5 mm/s/mm，根据速度影像原理可做速度三角形如下，计算结果为

$$v_E = \mu_v |\overrightarrow{pe}| = 1453.35 \text{ mm/s}, \quad v_{b3b2} = \mu_v |\overrightarrow{b_2 b_3}| = 442.25 \text{ mm/s}, \quad \omega_3 = \frac{\mu_v |\overrightarrow{pb_3}|}{BC} = 1.96 \text{ rad/s}$$

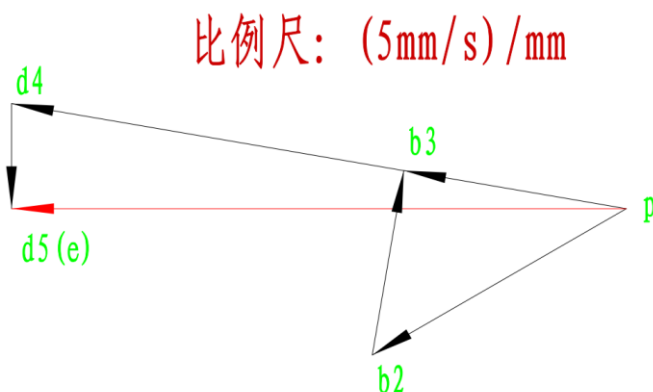


图 5 60° 时速度投影

② $\alpha_1=260^\circ$:

对速度进行分析，向量式如下：

$$v_{b3} = v_{b2} + v_{b3b2}$$

大小	?	$\omega_1 l_1$?
方向	✓	✓	✓

$v_{b2} = \omega_1 l_1 = 693 \text{ mm/s}$ ， v_{d4} 与 v_{b3} 成比例，与杆长有关，即 $v_{d4} = \frac{CD}{CB} v_{b3}$ ，

对构件 4、5 分析，因为如下速度关系，即

$$v_{b5} = v_E = v_{b4} + v_{b5b4}$$

大小	?	$\frac{CD}{CB} v_{b3}$?
方向	✓	✓	✓

利用图解法，取 p 为极点，速度比例尺 $\underline{3} \text{ mm/s/mm}$ ，根据速度影像原理可做速度三角形如下，计算结果为

$$v_E = \mu_v |\vec{pe}| = 1177.32 \text{ mm/s}, \quad v_{b3b2} = \mu_v |\vec{b_2b_3}| = 95.22 \text{ mm/s}, \quad \omega_3 = \frac{\mu_v |\vec{pb_3}|}{BC} = 1.56 \text{ rad/s}$$

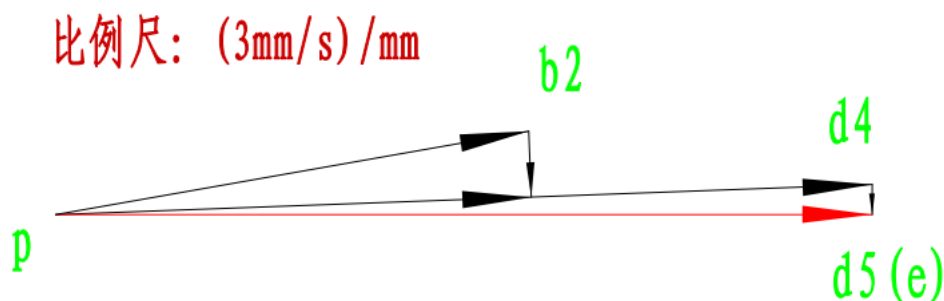


图 6 260° 时速度投影

2.3 加速度分析

① $\alpha_1=60^\circ$:

对加速度进行分析，向量式如下

$$a_{b3} = a_{b3}^n + a_{b3}^t = a_{b2}^n + a_{b3b2}^k + a_{b3b2}^t$$

大小: ?	$\omega_3^2 l_{b3}$?	$\omega_1^2 l_1$	$2\omega_3 v_{b3b2}$?
方向: ✓	✓	✓	✓	✓	✓

$a_{b3}^n = \omega_3^2 l_{b3} = 1052.87 \text{ mm/s}^2$ ，1 杆匀角速度转动， a_{b2} 无切向加速度，只有法向加速度 $a_{b2}^n = \omega_1^2 l_1 = 5197.5 \text{ mm/s}^2$ ，相对运动有转动，存在科氏加速度

$a_{b3b2}^k = 2\omega_3 v_{b3b2} = 1733.6 \text{ mm/s}^2$ ， a_{d4} 与 a_{b3} 成比例，与杆长有关，即 $a_{d4} = \frac{CD}{CB} a_{b3}$ ，因为

$$a_{b5} = a_E = a_{b4} + a_{b5b4}$$

大小 ?	$\frac{CD}{CB} a_{b3}$?
方向 ✓	✓	✓

利用图解法，取 π 为极点，速度比例尺 50 mm/s²/mm，根据速度影像原理可做加速度三角形如下：

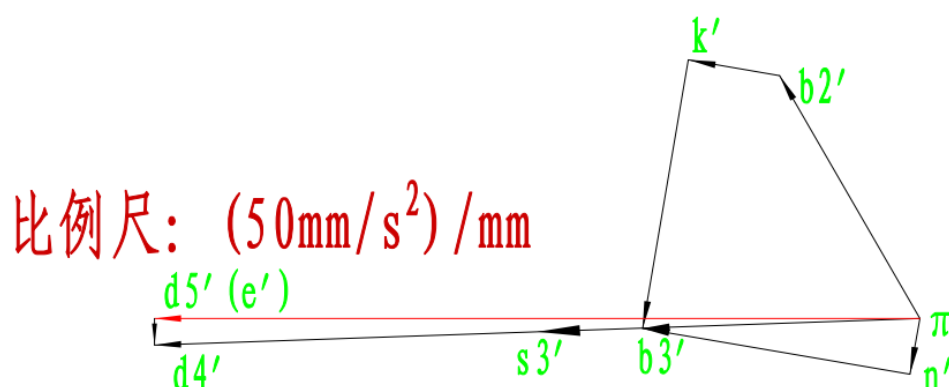


图 7 60° 时加速度投影

计算可得, $a_E = \mu_a |\vec{\pi e}| = 14210 \text{ mm/s}^2$, $\alpha_3 = \frac{\mu_a |\vec{n'b_3}|}{BC} = 18.3858 \text{ rad/s}^2$, 杆 3 质心

加速度 $a_{s3} = \mu_a |\vec{\pi s_3'}| = 7109 \text{ mm/s}^2$

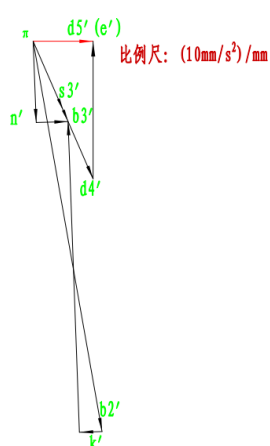
② $\alpha_1 = 260^\circ$:

对加速度进行分析, 向量式如下

$$\begin{aligned} a_{b3} &= a_{b3}^n + a_{b3}^{\tau} = a_{b2}^n + a_{b3b2}^k + a_{b3b2}^r \\ \text{大小: } ? & \quad \omega_3^2 l_{b3} \quad ? \quad \omega_1^2 l_1 \quad 2\omega_3 v_{b3b2} \quad ? \\ \text{方向: } \checkmark & \quad \checkmark \quad \checkmark \quad \checkmark \quad \checkmark \quad \checkmark \end{aligned}$$

$a_{b3}^n = \omega_3^2 l_{b3} = 1073.9 \text{ mm/s}^2$, 1 杆匀角速度转动, a_{b2} 无切向加速度, 只有法向加速度 $a_{b2}^n = \omega_1^2 l_1 = 5197.5 \text{ mm/s}^2$, 相对运动有转动, 存在科氏加速度 $a_{b3b2}^k = 2\omega_3 v_{b3b2} = 297.0864 \text{ mm/s}^2$, a_{d4} 与 a_{b3} 成比例, 与杆长有关, 即 $a_{d4} = \frac{CD}{CB} a_{b3}$, 因为

$$\begin{aligned} a_{b5} &= a_E = a_{b4} + a_{b5b4} \\ \text{大小 } ? & \quad \frac{CD}{CB} a_{b3} \quad ? \\ \text{方向 } \checkmark & \quad \checkmark \quad \checkmark \end{aligned}$$



利用图解法, 取 π 为极点, 速度比例尺 10 $\text{mm/s}^2/\text{mm}$, 根据速度影像原理可做加速度三角形如右图:

计算可得, $a_E = \mu_a |\vec{\pi e}| = 783.5 \text{ mm/s}^2$,

$\alpha_3 = \frac{\mu_a |\vec{n'b_3}|}{BC} = 0.9472 \text{ rad/s}^2$, 杆 3 质心加速度

$a_{s3} = \mu_a |\vec{\pi s_3'}| = 984.1 \text{ mm/s}^2$

图 8 260° 时加速度投影

3 力的分析

① $\alpha_1=60^\circ$:

A. 分析 4、5 机构组

对机构组和进行受力分析，包含机架给的反力 R_{65} （未知），刨刀架的惯性力 $P_{I5} = -m_5 a_E = 994.7N$ ，杆 3 对滑块 4 的反力 R_{34} （待求），刨刀架的自身重力 $G_5 = 700N$ ，由于此时为回程，没有工作阻力 F_r 。

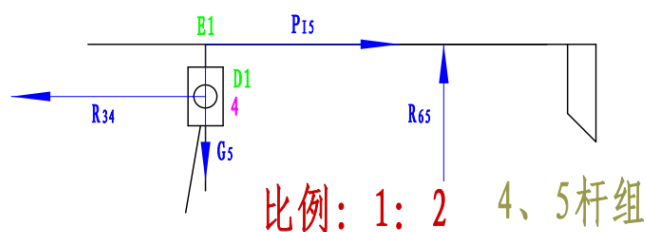


图 9 60° 时 45 机构组受力分析

机构组受力平衡，即

$$\sum F = R_{65} + P_{I5} + R_{34} + G_5 = 0$$

把力首尾相接，图解法求解，选取比例尺 10 N/mm

比例尺: 10N/mm

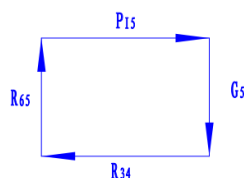


图 10 60° 时 45 机构组受力平衡

可以求得 $R_{34} = \mu_p |\overrightarrow{R_{34}}| = 994.7N$

B. 分析 2、3 机构组

对机构组进行受力分析,包含构件4给的约束反力 $R_{43} = -R_{34}$,1杆的约束反力 R_{12} (待求),考虑杆3自身的惯性力 $P_{I3} = -m_3 a_{s3} = 142.18N$ 和惯性力矩 $M_{I3} = -J_3 \alpha_3 = 20.22438Nm$ 及重力 $G_3 = 200N$,机架6的约束反力 R_{63x} 与 R_{63y} ,受力分析如下图

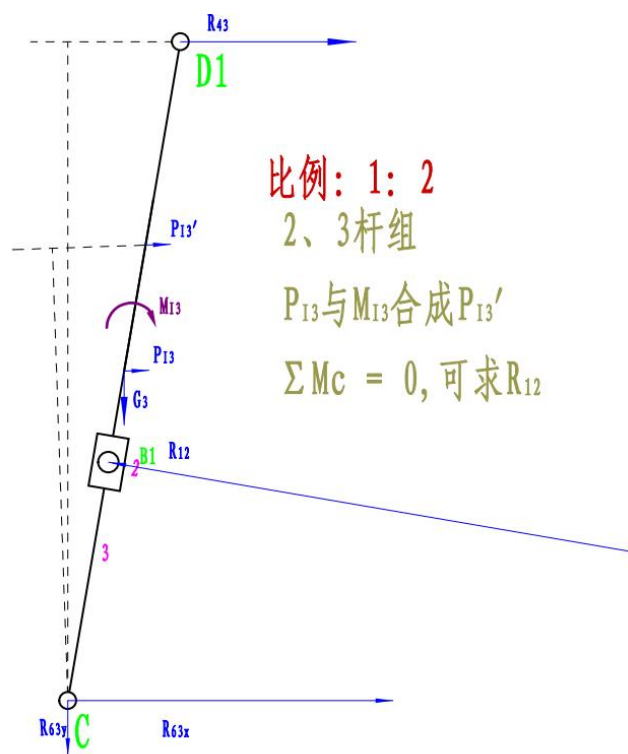


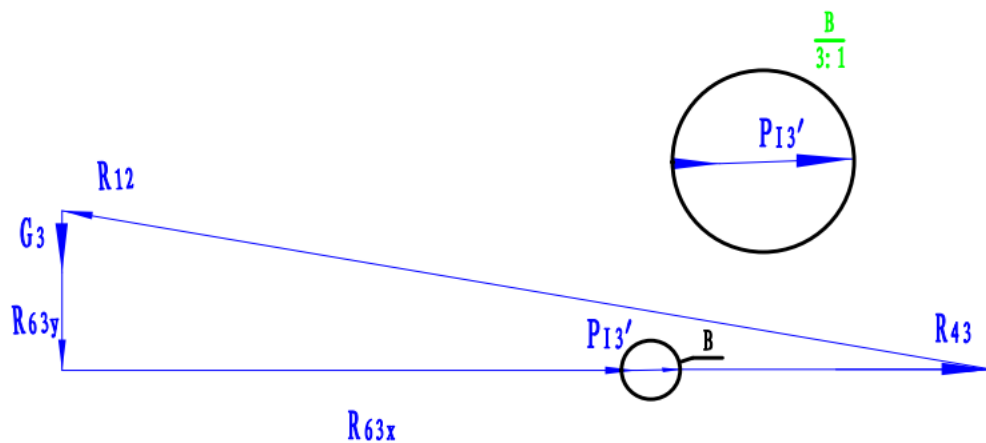
图 11 60° 时 23 机构组受力分析

将杆3自身的惯性力 P_{I3} 和惯性力矩 M_{I3} 合成为 P_{I3}' ,偏移 $h' = M_{I3}/P_{I3} = 141.92mm$

对C点取矩,即

$$\sum M_c = -R_{43}h_{dc} - P_{I3}'(h_{s3c} + h') - G_3h + R_{12}h_{bc} = 0$$

可以求得 $R_{12} = 3023.5N$,为了分析机架6的约束反力 R_{63} ,运用图解法分析,选取比例尺 10 N/mm



比例尺: 10N/mm

图 12 60° 时 23 机构组受力平衡

C. 分析杆 1

对机构进行受力分析，包含构件 2 的约束反力 R_{21} 和机架 6 的约束反力 R_{61} ，以及平衡力矩 M_b ，如下

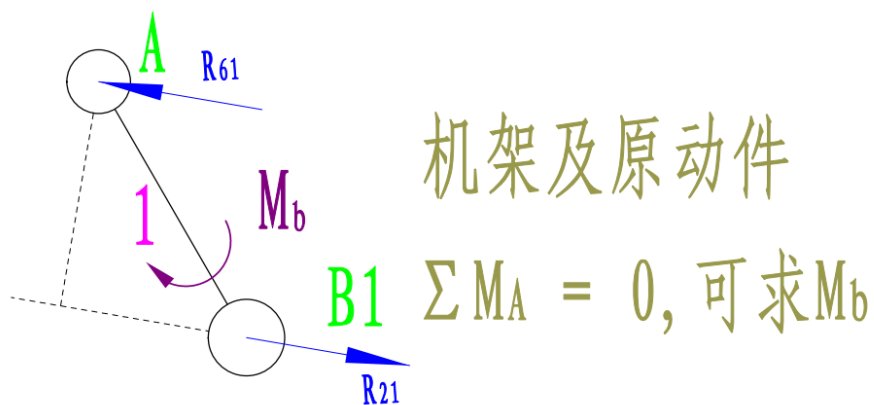


图 13 60° 时杆 1 受力分析

对 A 点取矩，即

$$\sum M_A = R_{21}h + M_b = 0$$

可以求得平衡力矩 $M_b = 214.46Nm$

② $\alpha_1=260^\circ$:

A. 分析 4、5 机构组

对机构组和进行受力分析，包含机架给的反力 R_{65} （未知），刨刀架的惯性力 $P_{I5} = -m_5 a_E = 68.845N$ ，杆 3 对滑块 4 的反力 R_{34} （待求），刨刀架的自身重力 $G_5 = 700N$ ，由于此时为进程，有工作阻力 F_r 。

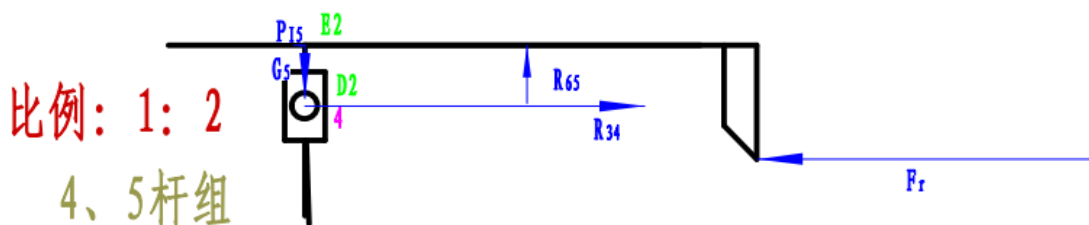


图 14 260° 时 45 机构组受力分析

机构组受力平衡，即

$$\sum F = R_{65} + P_{I5} + R_{34} + G_5 + F_r = 0$$

把力首尾相接，图解法求解，选取比例尺 30 N/mm

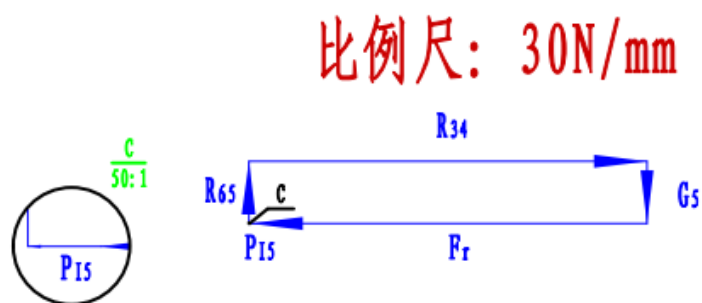


图 15 260° 时 45 机构组受力平衡

可以求得 $R_{34} = \mu_p |\overrightarrow{R_{34}}| = 4516.5N$

B. 分析 2、3 机构组

对机构组进行受力分析,包含构件 4 给的约束反力 $R_{43} = -R_{34}$, 1 杆的约束反力 R_{12} (待求), 考虑杆 3 自身的惯性力 $P_{I3} = -m_3 a_{s3} = 19.682N$ 和惯性力矩 $M_{I3} = -J_3 \alpha_3 = 1.0419Nm$ 及重力 $G_3 = 200N$, 机架 6 的约束反力 R_{63x} 与 R_{63y} , 受力分析如下图

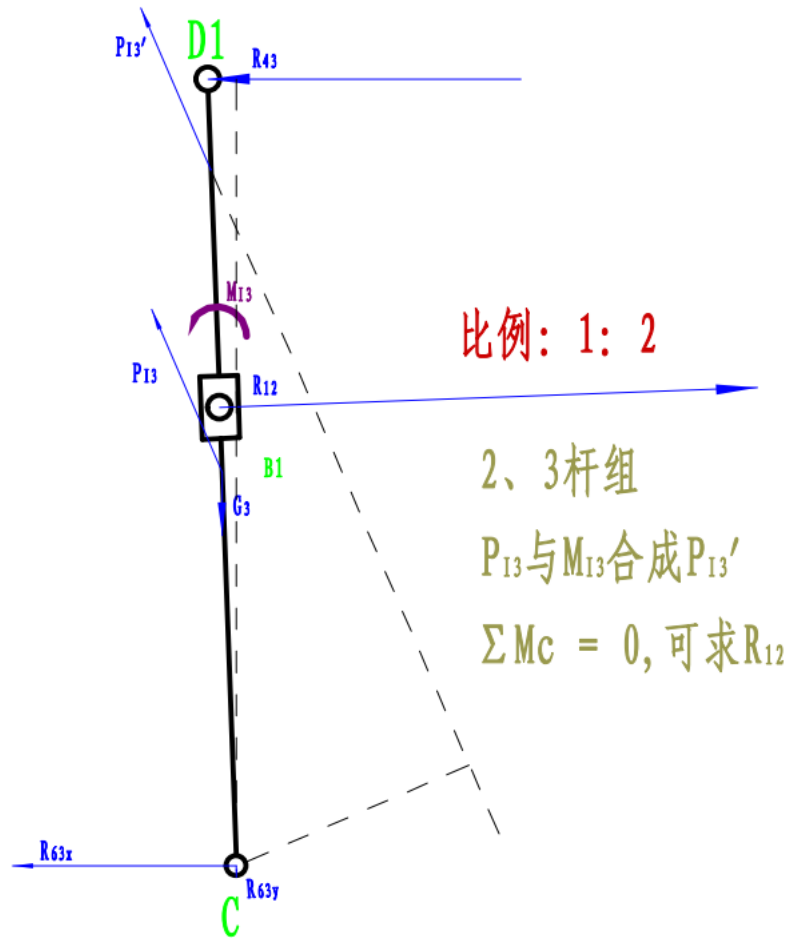


图 16 260° 时 23 机构组受力分析

将杆 3 自身的惯性力 P_{I3} 和惯性力矩 M_{I3} 合成为 P_{I3}' , 偏移 $h' = M_{I3}/P_{I3} = 52.9mm$ 对 C 点取矩, 即

$$\sum M_c = R_{43}h_{dc} + P_{I3}'(h_{s3c} + h') + G_3h - R_{12}h_{bc} = 0$$

可以求得 $R_{12} = 7763.7N$ ，为了分析机架 6 的约束反力 R_{63} ，运用图解法分析，选取比例尺 30 N/mm

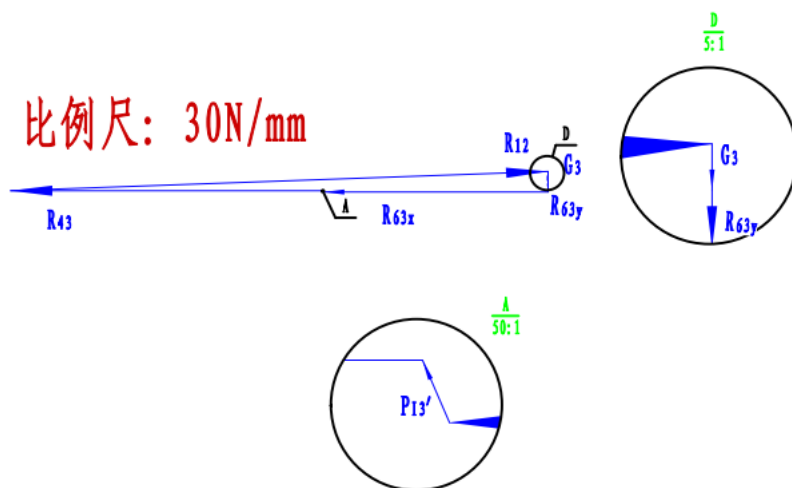


图 17 260° 时 23 机构组受力平衡

C. 分析杆 1

对机构进行受力分析，包含构件 2 的约束反力 R_{21} 和机架 6 的约束反力 R_{61} ，以及平衡力矩 M_b ，如下

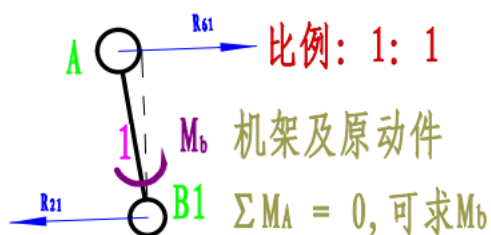


图 18 260° 杆 1 受力分析

对 A 点取矩，即

$$\sum M_A = R_{21}h + M_b = 0$$

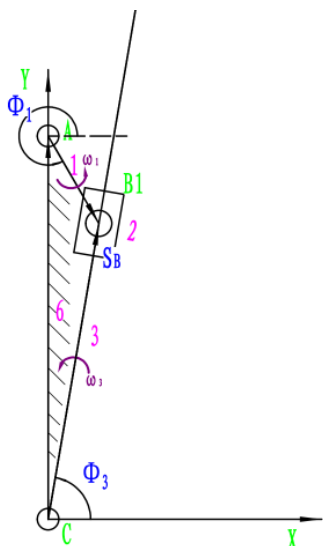
可以求得平衡力矩 $M_b = 710.534Nm$

4 解析法分析

4.1 运动学分析

A.位置分析

以我的 60° 运动状态为例子进行分析，先分析导杆机构，机构图如下



建立如右图的直角坐标系，将各构件表示为杆矢，并将各杆矢用指数形式的复数表示，即

$$\vec{l}_6 + \vec{l}_1 = \vec{s}_B \quad (1)$$

复数表示为

$$l_6 e^{i\frac{\pi}{2}} + l_1 e^{i\phi_1} = s_B e^{i\phi_3} \quad (2)$$

将实部虚部分离得

$$\begin{cases} l_1 \cos(\phi_1) = s_B \cos(\phi_3) \\ l_6 + l_1 \sin(\phi_1) = s_B \sin(\phi_3) \end{cases} \quad (3)$$

图 19 导杆机构运动学分析

(3)式中的两个式子平方加和可得

$$s_B = \sqrt{l_1^2 + l_6^2 + 2l_1 l_6 \sin(\phi_1)} \quad (4)$$

转化(3)式子中的 1 式，可得

$$\phi_3 = \arccos\left(\frac{l_1 \cos(\phi_1)}{s_B}\right) \quad (5)$$

用 MATLAB 书写计算式

```
% b3 移动量求解
sb = sqrt((l1*cos(phy1))^2 + (l6+l1*sin(phy1))^2);
% phy3 转角求解
phy3 = acos(l1*cos(phy1)/sb);
```

则刨刀位置可得

$$s = 200 + l_3 \cos(\phi_3) \quad (6)$$

用 MATLAB 书写计算式

```
s = 13*cos(phy3)+200;
```

B.速度分析

对(2)式求导，即

$$i\omega_1 l_1 e^{i\phi_1} = v_{23} e^{i\phi_3} + s_B i\omega_3 e^{i\phi_3} \quad (7)$$

将实部虚部分离得

有欧拉公式

$$e^{i\phi} = \cos(\phi) + i\sin(\phi) \quad (8)$$

则

$$\begin{cases} i:l_1\omega_1\cos(\phi_1) = v_{23}\sin(\phi_3) + s_B\omega_3\cos(\phi_3) \\ -l_1\omega_1\sin(\phi_1) = v_{23}\cos(\phi_3) - s_B\omega_3\sin(\phi_3) \end{cases} \quad (9)$$

写成线性方程组形式，即

$$\begin{bmatrix} \cos(\phi_3) & -s_B\sin(\phi_3) \\ \sin(\phi_3) & s_B\cos(\phi_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{23} \\ \omega_3 \end{bmatrix} = l_1\omega_1 \begin{bmatrix} -\sin(\phi_1) \\ \cos(\phi_1) \end{bmatrix} \quad (10)$$

即为 $A_1 x_1 = b_1$ 形式，即

$$x_1 = A_1^{-1} b_1 \quad (11)$$

用 MATLAB 书写计算式

```
% v23、omega13 求解
sol1 = [cos(phy3) -sb*sin(phy3);...
        sin(phy3) sb*cos(phy3)]\ (omega1 * l1*[-sin(phy1);cos(phy1)]);
omega13 = sol1(2);
```

```
v23 = sol1(1);
```

求解刨刀速度，即为

$$v = -\omega_3 l_3 \sin(\phi_3) \quad (12)$$

用 MATLAB 书写计算式

```
vd = -omegal3*l3;  
v = vd*sin(phy3);
```

C. 加速度分析

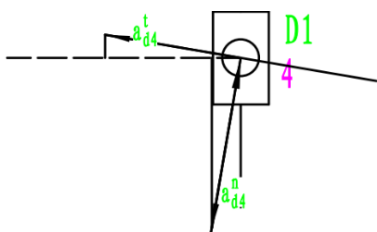
对式(9)求导，并转为矩阵形式，可得

$$\begin{bmatrix} \cos(\phi_3) & -s_B \sin(\phi_3) \\ \sin(\phi_3) & s_B \cos(\phi_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{23} \\ \alpha_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\omega_3 \sin(\phi_3) & -v_{23} \sin(\phi_3) - s_3 \omega_3 \cos(\phi_3) \\ \omega_3 \cos(\phi_3) & v_{23} \cos(\phi_3) - s_3 \omega_3 \sin(\phi_3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{23} \\ \omega_3 \end{bmatrix} = -\omega_1^2 l_1 \begin{bmatrix} \cos(\phi_1) \\ \sin(\phi_1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

即 $A_2 x_2 + c = b_2$ 形式，则 $x_2 = A_2^{-1}(b_2 - c)$

用 MATLAB 书写计算式

```
% a23、alpha3 求解  
sol2 = [cos(phy3) -sb*sin(phy3);...  
        sin(phy3) sb*cos(phy3)]\...  
        (-[-omegal3*sin(phy3) -v23*sin(phy3)-sb*omegal3*cos(phy3);...  
          omegal3*cos(phy3) v23*cos(phy3)-sb*omegal3*sin(phy3)]*sol1 ...  
        - omegal1^2*l1*[cos(phy1);sin(phy1)]);  
alpha3 = sol2(2);
```



如左图，即刨刀加速度为

$$a = -\omega_3^2 l_3 \cos(\phi_3) - \alpha_3 l_3 \sin(\phi_3) \quad (14)$$

图 20 刨刀加速度分析

用 MATLAB 书写计算式

```
a = -omegal3^2*l3*cos(phy3) - alpha3*l3*sin(phy3);
```

4.2 动力学分析

A. 刨刀架分析

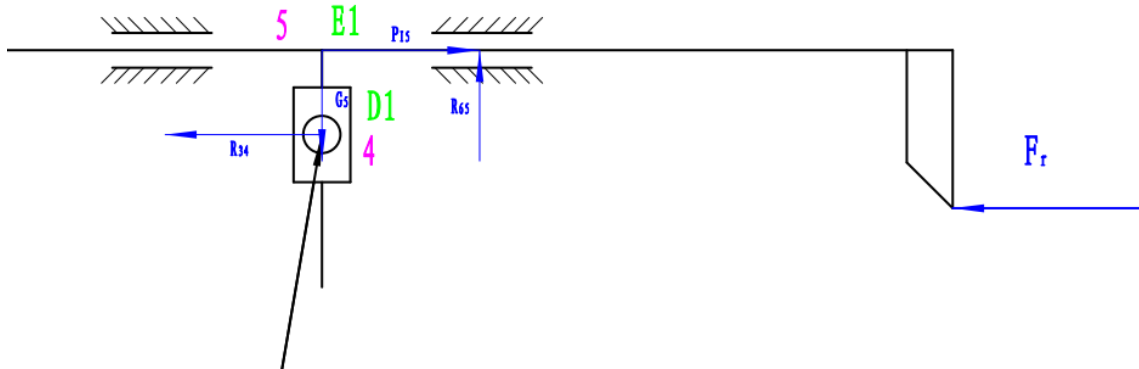


图 21 刨刀架受力分析

受力分析如上图所示,其中,当处在急回工况时, $F_r = 0$,当处在切削工况时, $F_r = 4500N$,根据

$$\sum F_x = P_{I5} + R_{34} + (F_r) = 0 \quad (15)$$

用 MATLAB 书写计算式

```
% 刨刀架分析
phy_cha = mod(phy1, -2*pi);
if (phy_cha < -15.31*pi/180) && (phy_cha > -(180-15.31)*pi/180)
    F_r = 0;
else
    F_r = -4500;
end
R_34 = -F_r - G5*(-a)*(1e-3)/g;
```

B.导杆机构分析

对如下图导杆机构进行受力分析

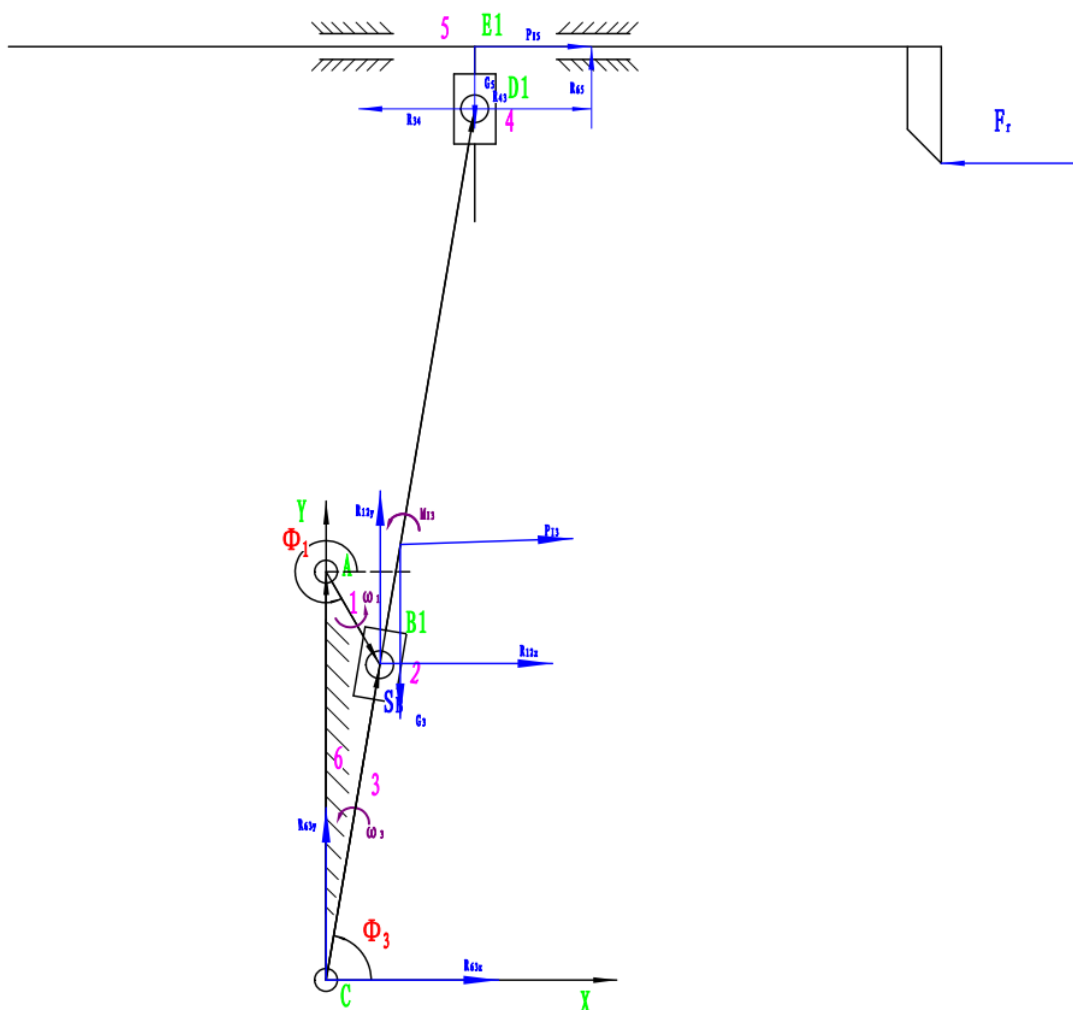


图 22 导杆机构受力分析

根据受力分析结果，包含构件 4 给的约束反力 $R_{43} = -R_{34}$ ，1 杆的约束反力 R_{12} （分解为 R_{12x} 、 R_{12y} ），考虑杆 3 自身的惯性力 $P_{I3} = -m_3 a_{s3}$ （分解为 P_{I3x} 和 P_{I3y} ）和惯性力矩 $M_{I3} = -J_3 \alpha_3$ 及重力 $G_3 = 200N$ ，机架 6 的约束反力 R_{63x} 与 R_{63y}

力&力矩（对杆 3 质心）平衡方程

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{I3x} + R_{23x} + R_{63x} + R_{43} = 0 \\ P_{I3y} + R_{23y} + R_{63y} - G_3 = 0 \\ -R_{43}l_{s3}\sin(\phi_3) - R_{23x}(s_B - l_{s3})\sin(\phi_3) + R_{63x}\sin(\phi_3) \\ + R_{23y}\cos(\phi_3) - R_{63y}\cos(\phi_3) + M_{I3} = 0 \end{array} \right. \quad (16)$$

几何协调条件

$$R_{63x}\cos(\phi_3) + R_{23y}\sin(\phi_3) = 0 \quad (17)$$

根据式(15)、(16)列出线性方程组，即

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -(s_B - l_{s3})\sin(\phi_3) & (s_B - l_{s3})\cos(\phi_3) & l_{s3}\sin(\phi_3) & -l_{s3}\cos(\phi_3) \\ \cos(\phi_3) & \sin(\phi_3) & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{23x} \\ R_{23y} \\ R_{63x} \\ R_{63y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P_{I3x} - R_{43} \\ -P_{I3y} + G_3 \\ R_{43}l_{s3}\sin(\phi_3) - M_{I3} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

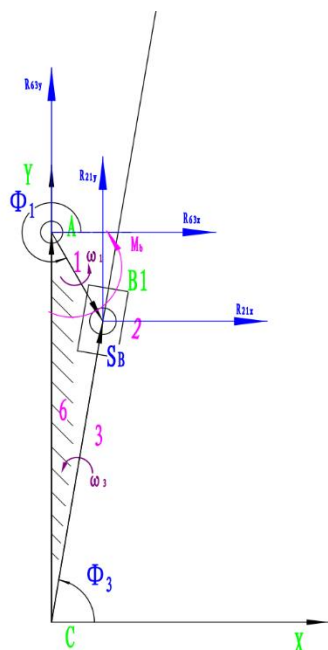
即为 $A_3 x_3 = b_3$ 形式，通过求解 $x_3 = A_3^{-1}b_3$ ，即可通过索引得到 R_{63x} 和 R_{23y} 。

用 MATLAB 书写计算式

```
sol3 = [1 0 1 0;
        0 1 0 1;
        -(sb-l_s3)*(1e-3)*sin(phy3) (sb-l_s3)*(1e-3)*cos(phy3) l_s3*(1e-3)*sin(phy3)
        -l_s3*(1e-3)*cos(phy3)];...
        cos(phy3) sin(phy3) 0 0]\[-P_I3x-R_43;
        -P_I3y+G3;
        R_43*l_s3*(1e-3)*sin(phy3)-M_I3;
        0];

R_23x = sol3(1);
R_23y = sol3(2);
%构件 1、2
R_21x = -R_23x;
R_21y = -R_23y;
```


D. 主动杆分析



对杆 1 受力分析，如右图

对 A 点取矩，分析各象限的力矩状态，

方程为

$$\sum M_A = M_b + R_{21x}h_x + R_{21y}h_y = 0 \quad (19)$$

可求

图 23 主动杆受力分析

用 MATLAB 书写计算式

```
%对支架取矩,def 逆时针+
if phy_cha <=0 && phy_cha >=-pi/2
    Mb = -R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
if phy_cha <-pi/2 && phy_cha >=-pi
    Mb = R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
if phy_cha <-pi && phy_cha >=-3*pi/2
    Mb = -R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
if phy_cha <-3*pi/2 && phy_cha >=-2*pi
    Mb = R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
```

4.3 程序源码

A.MATLAB 源码: JYBks_wzr_solve.m

```
clc;clear;close all;

%% 使用说明
% 燕山大学 YSU
% 机械原理 B 课程设计
% 小型精刨机主切削运动机构的设计 机构 2
% author:王湛然
% Email:wangzhanran@stumail.ysu.edu.cn

%% 基本数据条件
l1 = 92.4;
l6 = 350;
l3 = 757.4;
omega1 = -2.4*pi;
H1 = 100;
G3 = 200;
G5 = 700;
J_s3 = 1.1;
l_s3 = l3/2;
g = 10;

disp('机械原理 B 课程设计之《小型精刨机主切削运动机构的设计》,机构 2')
disp('author:王湛然')
disp('车卓 22-1,第二组')
disp('指导教师:潘登')
disp("Email:wangzhanran@stumail.ysu.edu.cn")
disp("代码说明:x 右为 0 度,涉及转动的,逆时针为正,笛卡尔坐标系")
disp('感谢组员李亮、秦子越以身试数,帮助修改代码中的 bug')
disp('推荐组长打开并行计算,嗯,已经打开了,嘿嘿嘿,之后会帮你关上的,保护好你的 cpu 诺')
disp('作为组长,总要为组员做点什么吧');
disp('Once you get the physics right, the rest is mathematics!')
%% 组长专属
ifzu = input('你是组长吗?,是为 1,不是为 0\n');
if ifzu == 1
    MyPar = parpool;
    ifzhouqi = input('周期绘图?,是为 1,不是为 0\n');

    if ifzhouqi == 1
        nzhouqi = input('几个周期?\n');
```

```

v = [];
a = [];
s = [];
Mb = [];
for i = -nzhouqi*2:0.01:0
    phy1 = pi*i;
    [vi,ai,si,Mb_i] = sol_wzr(l1,l6,l3,omegal1,phy1,G5,G3,g,l_s3,J_s3);
    v = [v,vi];
    a = [a,ai];
    s = [s,si];
    Mb = [Mb,Mb_i];
end
phy1_n = (-nzhouqi*2:0.01:0)*pi;
end
if ifzhouqi == 0
    v = [];
    a = [];
    s = [];
    Mb = [];
    for i = -2:0.001:0
        phy1 = pi*i;
        [vi,ai,si,Mb_i] = sol_wzr(l1,l6,l3,omegal1,phy1,G5,G3,g,l_s3,J_s3);
        v = [v,vi];
        a = [a,ai];
        s = [s,si];
        Mb = [Mb,Mb_i];
    end
    phy1_n = (-2:0.001:0)*pi;
end
end

```

%% 绘图

% 设置背景颜色

```

set(gcf, 'Color', [1 1 1]);
subplot(2,2,1)
plot(phy1_n,v,'LineWidth',1.5,'Color','b')
title("速度分析",'FontSize',14)
xlabel('曲柄转角\theta_1/rad','FontSize',12)
ylabel('刨刀速度 v/(m/s)','FontSize',12)
hold on;
grid on;
axis tight;
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca, 'FontSize', 12)

```

```

legend('速度','Location','best')

subplot(2,2,2)
plot(phy1_n,a,'LineWidth',1.5,'Color','r')
title("加速度分析",'FontSize',14)
xlabel('曲柄转角\theta_1/rad','FontSize',12)
ylabel('刨刀加速度 a/(mm/s^2)','FontSize',12)
hold on;
grid on;
axis tight;
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca,'FontSize',12)
legend('加速度','Location','best')

subplot(2,2,3)
plot(phy1_n,s,'LineWidth',1.5,'Color','g')
title("位移分析",'FontSize',14)
xlabel('曲柄转角\theta_1/rad','FontSize',12)
ylabel('刨刀位移 s/mm','FontSize',12)
hold on;
grid on;
axis tight;
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca,'FontSize',12)
legend('位移','Location','best')

subplot(2,2,4)
plot(phy1_n,Mb,'LineWidth',1.5,'Color','k')
title("平衡力矩分析",'FontSize',14)
xlabel('曲柄转角\theta_1/rad','FontSize',12)
ylabel('平衡力矩 Mb/Nm','FontSize',12)
hold on;
grid on;
axis tight;
set(gca, 'XDir', 'reverse');
set(gca,'FontSize',12)
legend('平衡力矩','Location','best')
delete(gcf('nocreate'));
disp('作为组长,总要为组员做点什么吧')
disp('Once you get the physics right, the rest is mathematics!')
pause;
end
if ifzu == 0

```

```

% 独属于你的 phy
phy_for_you = input('输入你的角度(角度制),逆时针为正\n');
phy1_wzr = phy_for_you*pi/180;
[v_my,a_my,s_my,Mb_my,omega13_my,alpha3_my,R_34_my,P_I3_my,M_I3_my,R_21_my] =
sol_wzr(l1,l6,l3,omega11,phy1_wzr,G5,G3,g,l_s3,J_s3)
disp('大部分的人的图解法与我的解析法应该都有误差,保持在 2%以内即可!!!')
disp('严格了一些,但是尽量满足吧')
disp('Once you get the physics right, the rest is mathematics!')
pause;
end

function [v,a,s,Mb,omega13,alpha3,R_34,P_I3,M_I3,R_21] =
sol_wzr(l1,l6,l3,omega11,phy1,G5,G3,g,l_s3,J_s3)
%% 运动求解
% b3 移动量求解
sb = sqrt((l1*cos(phy1))^2 + (l6+l1*sin(phy1))^2);
% phy3 转角求解
phy3 = acos(l1*cos(phy1)/sb);
% v23、omega13 求解
sol1 = [cos(phy3) -sb*sin(phy3);...
        sin(phy3) sb*cos(phy3)]\ (omega11 * l1*[-sin(phy1);cos(phy1)]);
omega13 = sol1(2);
v23 = sol1(1);
% a23、alpha3 求解
sol2 = [cos(phy3) -sb*sin(phy3);...
        sin(phy3) sb*cos(phy3)]\ ...
        (-[-omega13*sin(phy3) -v23*sin(phy3)-sb*omega13*cos(phy3);...
          omega13*cos(phy3) v23*cos(phy3)-sb*omega13*sin(phy3)]*sol1 ...
        - omega11^2*l1*[cos(phy1);sin(phy1)]);
alpha3 = sol2(2);
% 刨刀 v a s 求解
vd = -omega13*l3;
v = vd*sin(phy3);
a = -omega13^2*l3*cos(phy3) - alpha3*l3*sin(phy3);
s = l3*cos(phy3)+200;

%% 力分析
% 刨刀架分析
phy_cha = mod(phy1,-2*pi);
if (phy_cha<-15.31*pi/180) && (phy_cha>-(180-15.31)*pi/180)
    F_r = 0;
else
    F_r = -4500;
end

```

```

end
R_34 = -F_r - G5*(-a)*(1e-3)/g;
% 导杆机构力分析
R_43 = - R_34;
% 构件 3 基本参数
a_s3x = -l_s3*(1e-3)*(omega13^2*cos(phy3)+alpha3*sin(phy3));
a_s3y = -l_s3*(1e-3)*(omega13^2*sin(phy3)-alpha3*cos(phy3));
P_I3x = -G3*a_s3x/g;
P_I3y = -G3*a_s3y/g;
P_I3 = sqrt(P_I3x^2+P_I3y^2);
M_I3 = -J_s3*alpha3;
% %构件 3 待求变量
% syms R_23x R_23y R_63x R_63y
% %4 个未知量，自然就是 4 个方程了啊
% eq1 = P_I3x+R_23x+R_63x+R_43 == 0;
% eq2 = P_I3y+R_23y+R_63y-G3 == 0;
% eq3 = - R_43*l_s3*(1e-3)*sin(phy3) - R_23x*(sb-l_s3)*(1e-3)*sin(phy3) +
R_63x*l_s3*(1e-3)*sin(phy3)...
% + R_23y*(sb-l_s3)*(1e-3)*cos(phy3) - R_63y*l_s3*(1e-3)*cos(phy3) + M_I3== 0;%
对 s3 取矩,def 逆时针+
% eq4 = R_23x*cos(phy3)+R_23y*sin(phy3) == 0;
% sol3 = solve(eq1,eq2,eq3,eq4);
% R_23x = double(sol3.R_23x);
% R_23y = double(sol3.R_23y);

sol3 = [1 0 1 0;
        0 1 0 1;
        -(sb-l_s3)*(1e-3)*sin(phy3) (sb-l_s3)*(1e-3)*cos(phy3) l_s3*(1e-3)*sin(phy3)
        -l_s3*(1e-3)*cos(phy3);...
        cos(phy3) sin(phy3) 0 0]\[-P_I3x-R_43;
        -P_I3y+G3;
        R_43*l_s3*(1e-3)*sin(phy3)-M_I3;
        0];

R_23x = sol3(1);
R_23y = sol3(2);
%构件 1、2
R_21x = -R_23x;
R_21y = -R_23y;
R_21 = sqrt(R_21x^2+R_21y^2);
%对支架取矩,def 逆时针+
if phy_cha <=0 && phy_cha >=-pi/2
    Mb = -R_21x*11*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*11*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end

```

```

if phy_cha <-pi/2 && phy_cha >=-pi
    Mb = R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
if phy_cha <-pi && phy_cha >=-3*pi/2
    Mb = -R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
if phy_cha <-3*pi/2 && phy_cha >=-2*pi
    Mb = R_21x*l1*(1e-3)*abs(sin(phy1))-R_21y*l1*(1e-3)*abs(cos(phy1));
end
end
end

```

B.python 源码: JYBks_wzr_solve.py

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.font_manager as fm

# 定义基本数据条件
l1 = 92.4
l6 = 350
l3 = 757.4
omegal1 = -2.4 * np.pi
H1 = 100
G3 = 200
G5 = 700
J_s3 = 1.1
l_s3 = l3 / 2
g = 10

def sol_wzr(l1, l6, l3, omegal1, phy1, G5, G3, g, l_s3, J_s3):
    phy1 = np.array(phy1) # Ensure phy1 is numpy array for element-wise operations

    # 运动求解
    sb = np.sqrt((l1 * np.cos(phy1)) ** 2 + (l6 + l1 * np.sin(phy1)) ** 2)
    phy3 = np.arccos(l1 * np.cos(phy1) / sb)

    sol1 = np.linalg.solve(np.array([[np.cos(phy3), -sb * np.sin(phy3)],
                                      [np.sin(phy3), sb * np.cos(phy3)]]),
                           omegal1 * l1 * np.array([-np.sin(phy1), np.cos(phy1)]))
    omegal3 = sol1[1]
    v23 = sol1[0]

    sol2 = np.linalg.solve(np.array([[np.cos(phy3), -sb * np.sin(phy3)],

```

```

        [np.sin(phy3), sb * np.cos(phy3)]]),
        -np.dot(np.array([-omegal3 * np.sin(phy3), -v23 *
np.sin(phy3) - sb * omegal3 * np.cos(phy3)],
        [omegal3 * np.cos(phy3), v23 *
np.cos(phy3) - sb * omegal3 * np.sin(phy3)]]),
        sol1) - omegal1 ** 2 * l1 * np.array([np.cos(phy1),
np.sin(phy1)]))
    alpha3 = sol2[1]

    vd = -omegal3 * l3
    v = vd * np.sin(phy3)
    a = -omegal3 ** 2 * l3 * np.cos(phy3) - alpha3 * l3 * np.sin(phy3)
    s = l3 * np.cos(phy3) + 200

    # 力分析
    phy_cha = np.mod(phy1, -2 * np.pi)
    F_r = np.where((phy_cha < -15.31 * np.pi / 180) & (phy_cha > -(180 - 15.31) * np.pi
/ 180), 0, -4500)
    R_34 = -F_r - G5 * (-a) * (1e-3) / g

    R_43 = -R_34
    a_s3x = -l_s3 * (1e-3) * (omegal3 ** 2 * np.cos(phy3) + alpha3 * np.sin(phy3))
    a_s3y = -l_s3 * (1e-3) * (omegal3 ** 2 * np.sin(phy3) - alpha3 * np.cos(phy3))
    P_I3x = -G3 * a_s3x / g
    P_I3y = -G3 * a_s3y / g
    P_I3 = np.sqrt(P_I3x ** 2 + P_I3y ** 2)
    M_I3 = -J_s3 * alpha3

    sol3 = np.linalg.solve(np.array([[1, 0, 1, 0],
        [0, 1, 0, 1],
        [-(sb - l_s3) * (1e-3) * np.sin(phy3), (sb - l_s3)
* (1e-3) * np.cos(phy3),
        l_s3 * (1e-3) * np.sin(phy3), -l_s3 * (1e-3) *
np.cos(phy3)],
        [np.cos(phy3), np.sin(phy3), 0, 0]]),
        np.array([-P_I3x - R_43,
        -P_I3y + G3,
        R_43 * l_s3 * (1e-3) * np.sin(phy3) - M_I3,
        0]))

    R_23x = sol3[0]
    R_23y = sol3[1]

    R_21x = -R_23x

```



```

R_21y = -R_23y
R_21 = np.sqrt(R_21x ** 2 + R_21y ** 2)

if np.logical_and(phy_cha <= 0, phy_cha >= -np.pi / 2):
    Mb = -R_21x * l1 * (1e-3) * np.abs(np.sin(phy1)) - R_21y * l1 * (1e-3) *
np.abs(np.cos(phy1))
elif np.logical_and(phy_cha < -np.pi / 2, phy_cha >= -np.pi):
    Mb = R_21x * l1 * (1e-3) * np.abs(np.sin(phy1)) - R_21y * l1 * (1e-3) *
np.abs(np.cos(phy1))
elif np.logical_and(phy_cha < -np.pi, phy_cha >= -3 * np.pi / 2):
    Mb = -R_21x * l1 * (1e-3) * np.abs(np.sin(phy1)) - R_21y * l1 * (1e-3) *
np.abs(np.cos(phy1))
elif np.logical_and(phy_cha < -3 * np.pi / 2, phy_cha >= -2 * np.pi):
    Mb = R_21x * l1 * (1e-3) * np.abs(np.sin(phy1)) - R_21y * l1 * (1e-3) *
np.abs(np.cos(phy1))

return v, a, s, Mb, omegal3, alpha3, R_34, P_I3, M_I3, R_21

if __name__ == "__main__":
    print("version:1.0")
    print("date:2024.6.21")
    print("'指导教师:潘登'")
    print("机械原理 B 课程设计之《小型精刨机主切削运动机构的设计》，机构 2")
    print("author:王湛然")
    print("Email:wangzhanran@stumail.ysu.edu.cn")
    print("'指导教师:潘登'")
    print("代码说明:x 右为 0 度,涉及转动的,逆时针为正,笛卡尔坐标系")
    print("感谢组员李亮、秦子越以身试数,帮助修改代码中的 bug")
    print("作为组长,总要为组员做点什么吧")
    print("Once you get the physics right, the rest is mathematics!")

    ifzu = int(input('你是组长吗?,是为 1,不是为 0\n'))

    if ifzu == 1:
        ifzhouqi = int(input('周期绘图?,是为 1,不是为 0\n'))

        if ifzhouqi == 1:
            nzhouqi = int(input('几个周期?\n'))
            v = np.array([])
            a = np.array([])
            s = np.array([])
            Mb = np.array([])
            phy1_n = np.arange(-nzhouqi * 2 * np.pi, 0, 0.01 * np.pi)

```

```

        for i in phy1_n:
            [vi, ai, si, Mb_i, _, _, _, _, _] = sol_wzr(l1, l6, l3, omegal1,
i, G5, G3, g, l_s3, J_s3)
            v = np.append(v, vi)
            a = np.append(a, ai)
            s = np.append(s, si)
            Mb = np.append(Mb, Mb_i)

    elif ifzhouqi == 0:
        v = np.array([])
        a = np.array([])
        s = np.array([])
        Mb = np.array([])
        phy1_n = np.arange(-2 * np.pi, 0, 0.001 * np.pi)
        for i in phy1_n:
            [vi, ai, si, Mb_i, _, _, _, _, _] = sol_wzr(l1, l6, l3, omegal1,
i, G5, G3, g, l_s3, J_s3)
            v = np.append(v, vi)
            a = np.append(a, ai)
            s = np.append(s, si)
            Mb = np.append(Mb, Mb_i)

# 加载中文字体
font_path = 'C:\\Windows\\Fonts\\msyh.ttc' # 微软雅黑字体路径
my_font = fm.FontProperties(fname=font_path)

# 绘图
fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(12, 10))
axs[0, 0].plot(phy1_n, v, 'b', linewidth=1.5)
axs[0, 0].set_title('速度分析', fontsize=14, fontproperties=my_font)
axs[0, 0].set_xlabel('曲柄转角  $\theta_1/\text{rad}$ ', fontsize=12, fontproperties=my_font)
axs[0, 0].set_ylabel('刨刀速度  $v/(\text{m/s})$ ', fontsize=12,
fontproperties=my_font)
axs[0, 0].grid(True)
axs[0, 0].invert_xaxis()

axs[0, 1].plot(phy1_n, a, 'r', linewidth=1.5)
axs[0, 1].set_title('加速度分析', fontsize=14, fontproperties=my_font)
axs[0, 1].set_xlabel('曲柄转角  $\theta_1/\text{rad}$ ', fontsize=12, fontproperties=my_font)
axs[0, 1].set_ylabel('刨刀加速度  $a/(\text{mm/s}^2)$ ', fontsize=12,
fontproperties=my_font)
axs[0, 1].grid(True)
axs[0, 1].invert_xaxis()

```

```

    axs[1, 0].plot(phy1_n, s, 'g', linewidth=1.5)
    axs[1, 0].set_title('位移分析', fontsize=14, fontproperties=my_font)
    axs[1, 0].set_xlabel('曲柄转角  $\theta_1/\text{rad}$ ', fontsize=12, fontproperties=my_font)
    axs[1, 0].set_ylabel('刨刀位移 s/mm', fontsize=12, fontproperties=my_font)
    axs[1, 0].grid(True)
    axs[1, 0].invert_xaxis()

    axs[1, 1].plot(phy1_n, Mb, 'k', linewidth=1.5)
    axs[1, 1].set_title('平衡力矩分析', fontsize=14, fontproperties=my_font)
    axs[1, 1].set_xlabel('曲柄转角  $\theta_1/\text{rad}$ ', fontsize=12, fontproperties=my_font)
    axs[1, 1].set_ylabel('平衡力矩 Mb/Nm', fontsize=12, fontproperties=my_font)
    axs[1, 1].grid(True)
    axs[1, 1].invert_xaxis()

    plt.tight_layout()
    plt.show()
    a = input('按任意键退出.....')

elif ifzu == 0:
    phy_for_you = float(input('输入你的角度(角度制),逆时针为正\n'))
    phy1_wzr = phy_for_you * np.pi / 180
    result = sol_wzr(l1, l6, l3, omegal1, phy1_wzr, G5, G3, g, l_s3, J_s3)
    v_my, a_my, s_my, Mb_my, omegal3_my, alpha3_my, R_34_my, P_I3_my, M_I3_my,
R_21_my = result
    print(f'刨刀速度: {v_my}')
    print(f'刨刀加速度: {a_my}')
    print(f'刨刀位移: {s_my}')
    print(f'平衡力矩: {Mb_my}')
    print(f'角速度: {omegal3_my}')
    print(f'角加速度: {alpha3_my}')
    print(f'力 R_34: {R_34_my}')
    print(f'力 P_I3: {P_I3_my}')
    print(f'力矩 M_I3: {M_I3_my}')
    print(f'力 R_21: {R_21_my}')
    print('大部分的人的图解法与我的解析法应该都有误差, 保持在 2%以内即可!!!')
    print('严格了一些, 但是尽量满足吧')
    print('Once you get the physics right, the rest is mathematics!')
    a = input('按任意键退出.....')

```

C.执行文件

编译 JYBks_wzr_solve.py

```
pyinstaller --onefile JYBks_wzr_solve.py
```

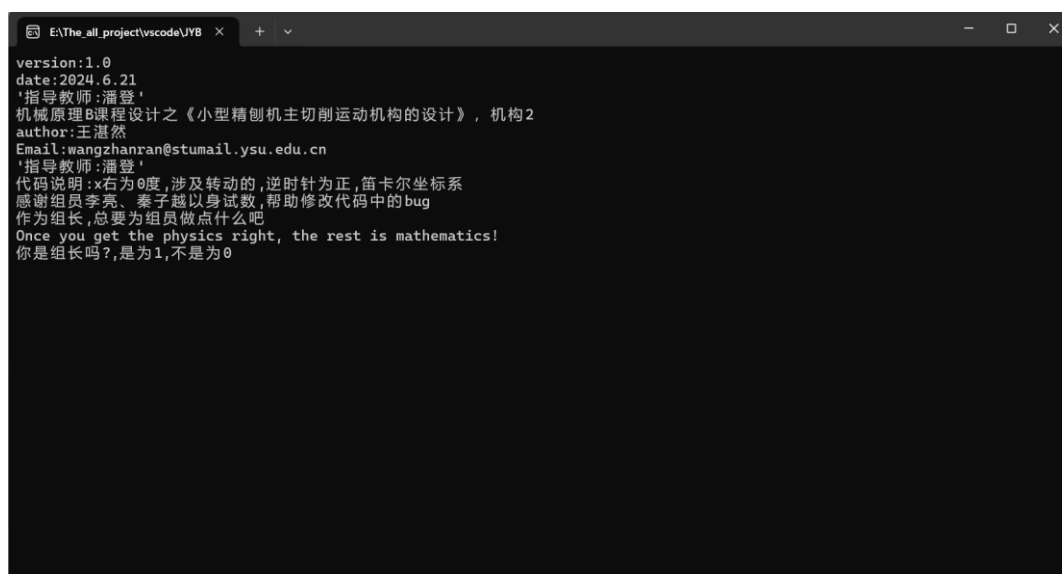
输出文件目录

build	2024-06-20 14:52	文件夹	
dist	2024-06-20 14:56	文件夹	
JYBks_wzr_solve.spec	2024-06-20 14:52	SPEC 文件	1 KB

图 24 py 可执行文件目录

执行文件~\solve_by_wzr\python\dist\JYBks_wzr_solve.exe

在 windows 命令行窗口可以得到



```
version:1.0
date:2024.6.21
'指导教师:潘登'
机械原理B课程设计之《小型精创机主切削运动机构的设计》, 机构2
author:王湛然
Email:wangzhanran@stumail.ysu.edu.cn
'指导教师:潘登'
代码说明:x右为0度,涉及转动的,逆时针为正,笛卡尔坐标系
感谢组员李亮、秦子越以身试数,帮助修改代码中的bug
作为组长,总要为组员做点什么吧
Once you get the physics right, the rest is mathematics!
你是组长吗?,是为1,不是为0
```

图 25 JYBks_wzr_solve.exe

对于组员检测数据正误,以 60° 为例

```

version:1.0
date:2024.6.21
'指导教师:潘登'
机械原理B课程设计之《小型精刨机主切削运动机构的设计》,机构2
author:王湛然
Email:wangzhanran@stumail.ysu.edu.cn
'指导教师:潘登'
代码说明:x右为0度,涉及转动的,逆时针为正,笛卡尔坐标系
感谢组员李亮、秦子越以身试数,帮助修改代码中的bug
作为组长,总要为组员做点什么吧
Once you get the physics right, the rest is mathematics!
你是组长吗?,是为1,不是为0
0
输入你的角度(角度制),逆时针为正
-60
刨刀速度: -1460.7568866873946
刨刀加速度: -14384.141414312791
刨刀位移: 327.75249110463625
平衡力矩: -217.55644313204002
角速度: 1.9566815490010145
角加速度: 18.612367965655917
力R_34: -1006.8898990018955
力P_I3: 143.92163344196953
力矩M_I3: -20.47360476222151
力R_21: 3060.6594913476865
大部分的人的图解法与我的解析法应该都有误差,保持在2%以内即可!!!
严格了一些,但是尽量满足吧
Once you get the physics right, the rest is mathematics!
按任意键退出.....

```

图 26 JYBks_wzr_solve.exe

对于组长，获得图像，可以选择是否周期运行，效果如下图

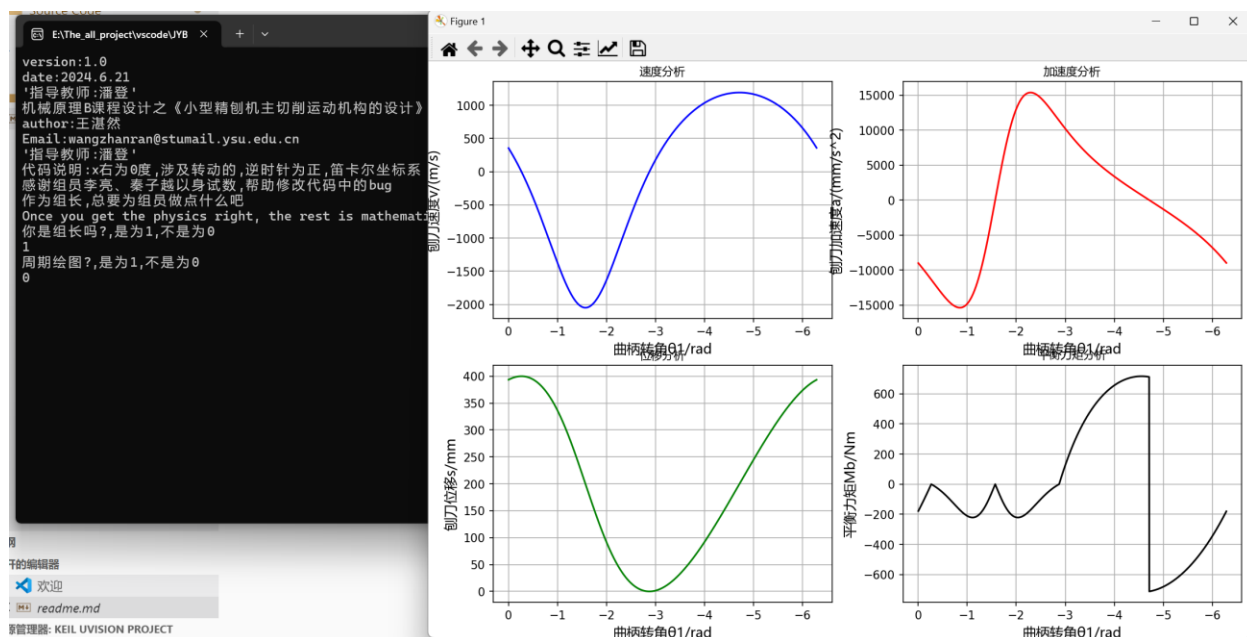


图 27 JYBks_wzr_solve.exe

封装和编译 JYBks_wzr_solve.m

依次执行命令

pcode JYBks_wzr_solve.m

mcc -m JYBks_wzr_solve.m

可以获得.p 封装文件 JYBks_wzr_solve.p 与 MATLAB 用户可执行文件 JYBks_wzr_solve.exe 如下图

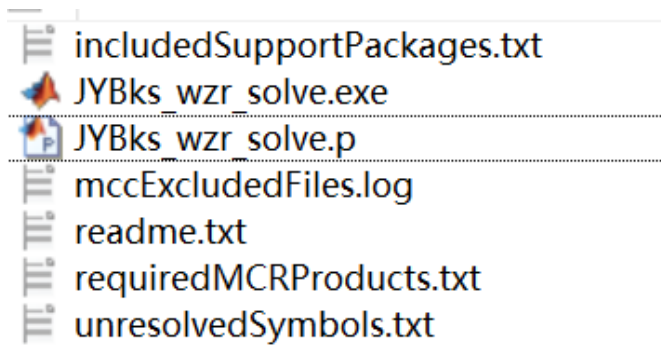


图 28 MATLAB 可执行文件目录

代码功能相同，此处便不再做赘述。

D. 开源网址

目前，该项目已开源在 https://github.com/hhhctvg/YSU_JY_B_ks/tree/master

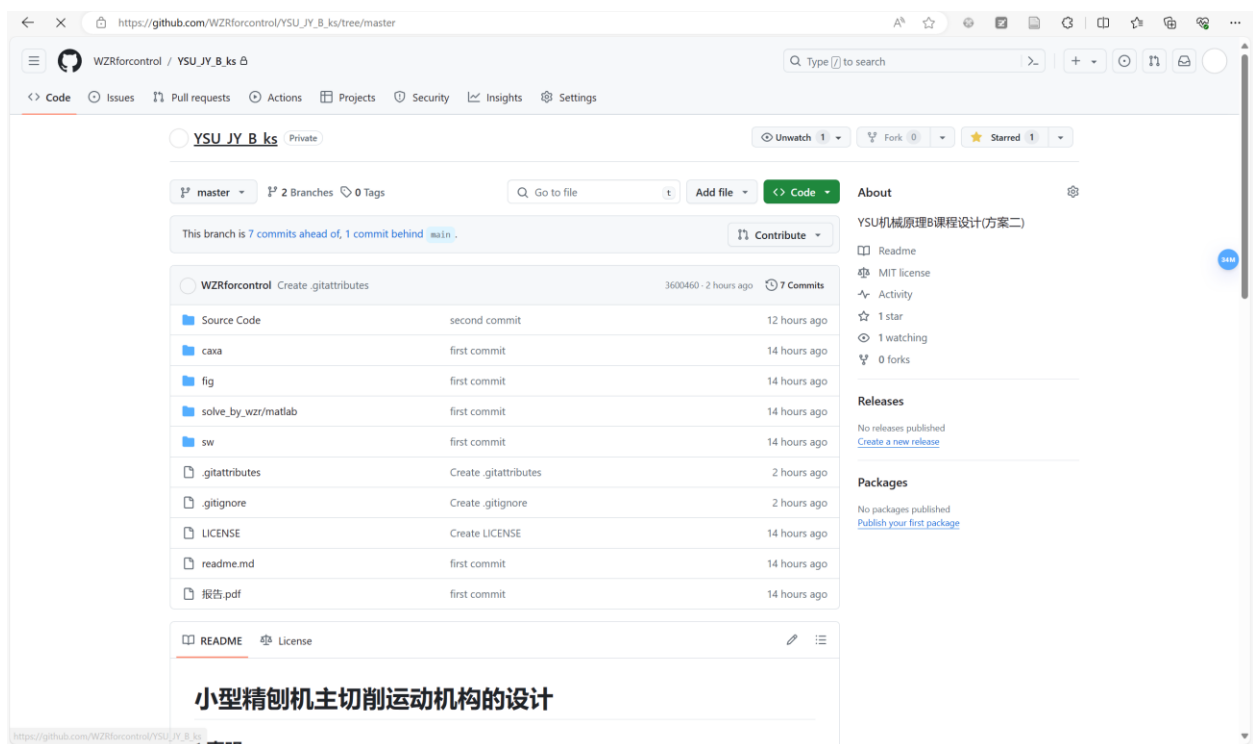
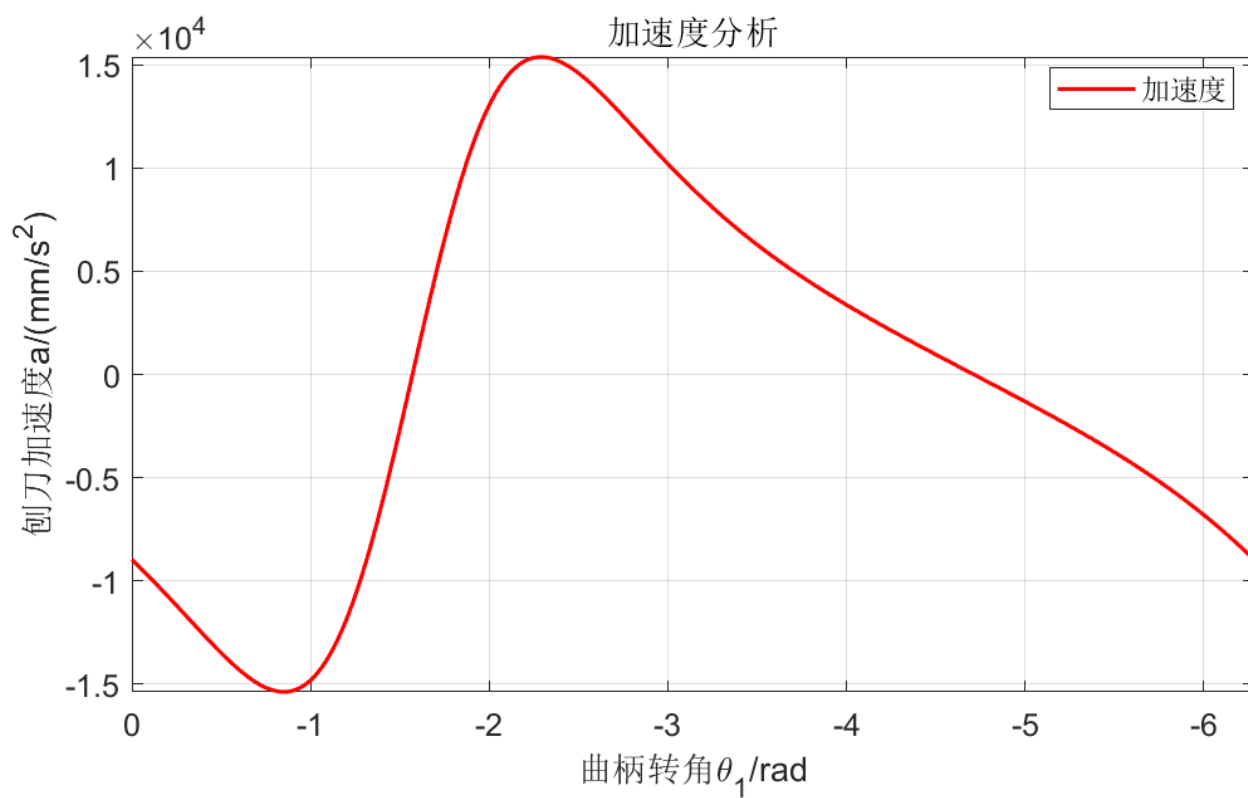
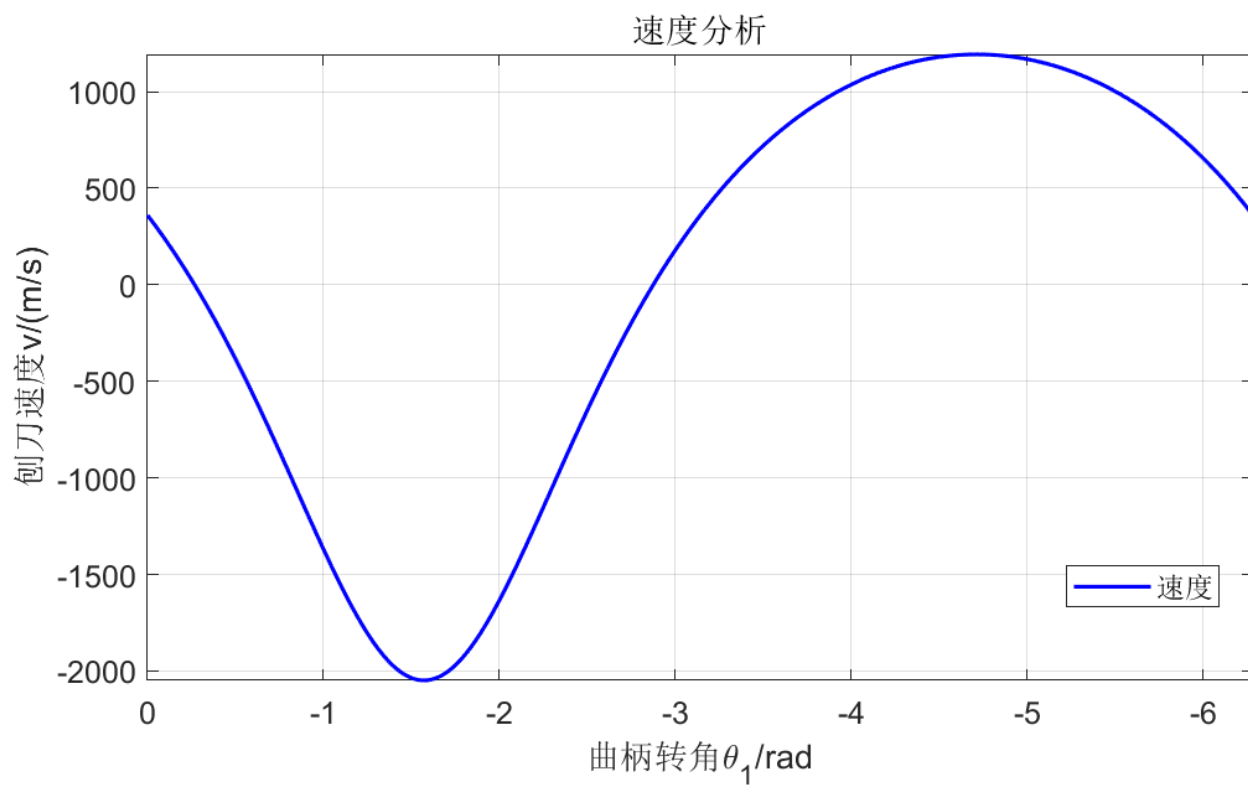


图 29 开源网址

4.4 数据图像

单周期工况图像，包含了 $0 \sim -360^\circ$ 范围内的刨刀速度、加速度、位移、杆 1 的平衡力矩。



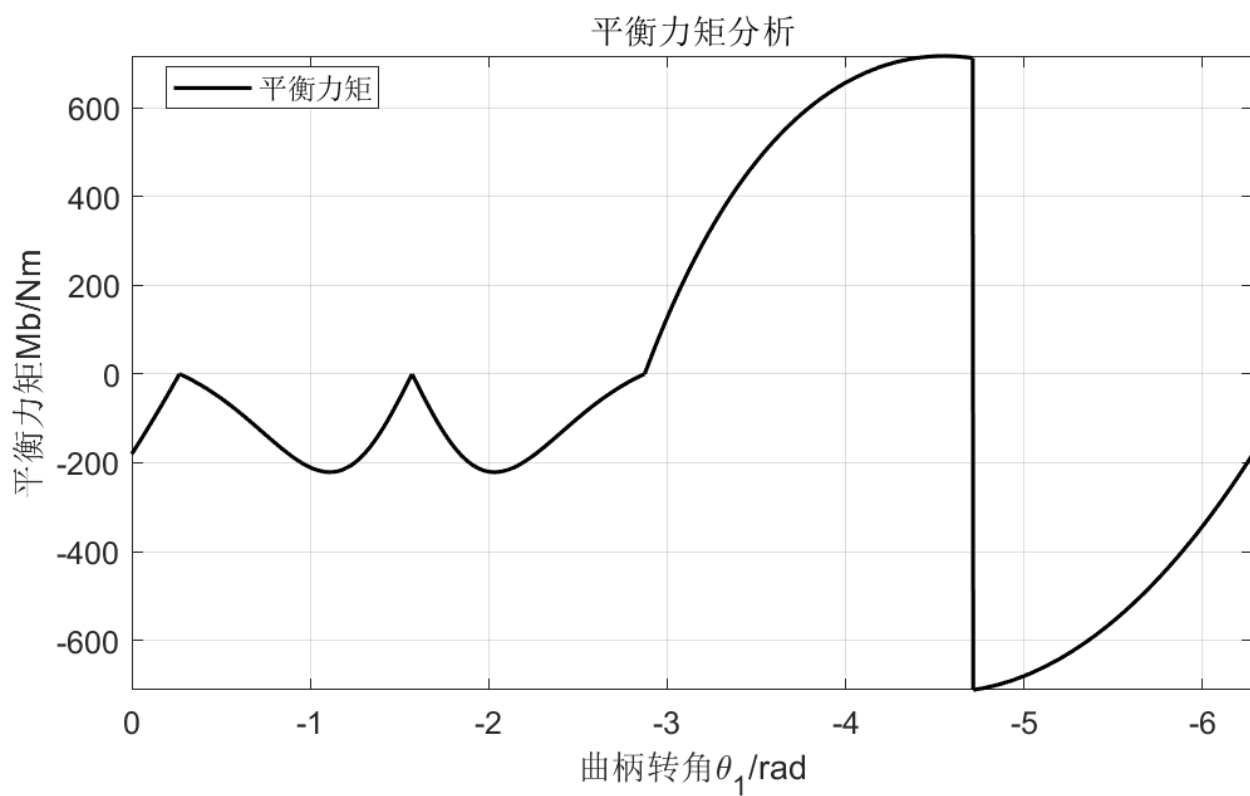
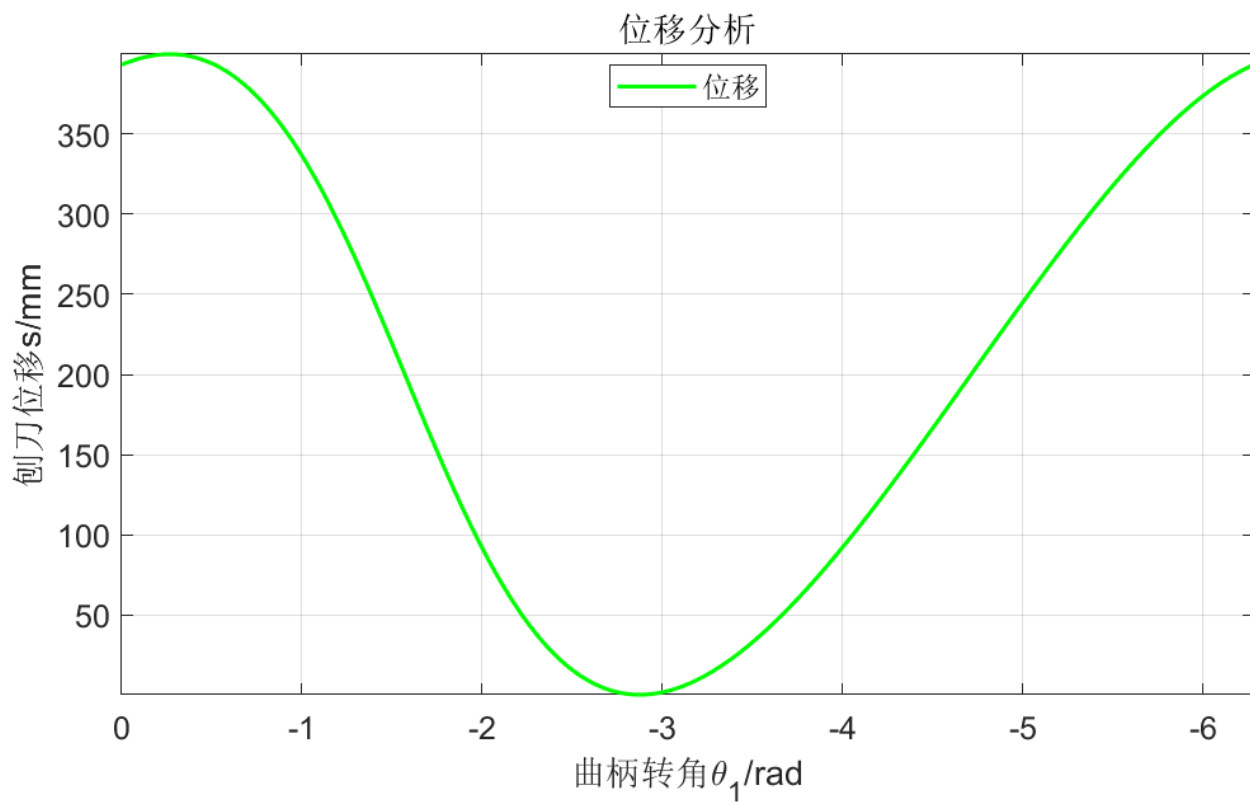
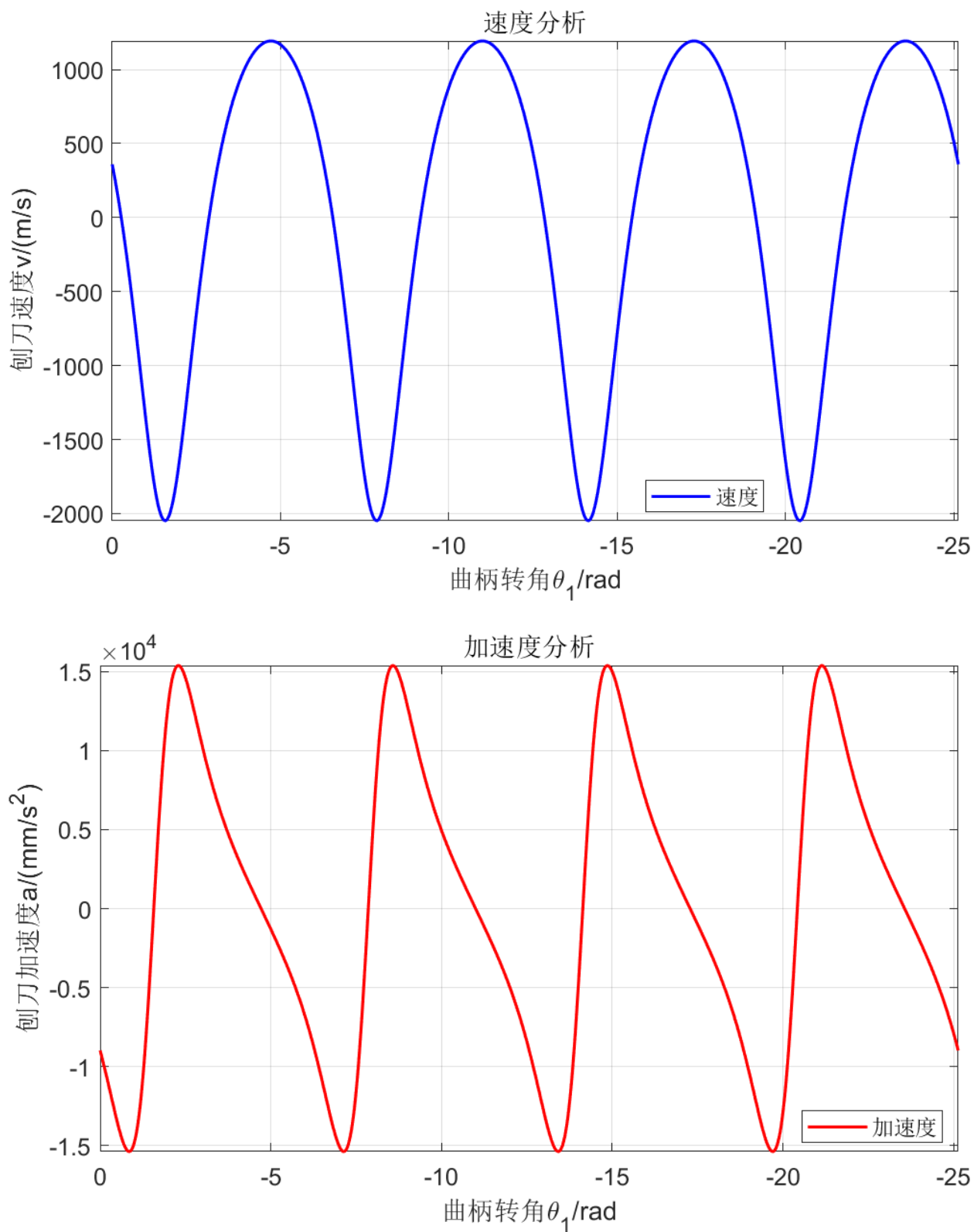


图 30 数据分析图像

多个周期图像，即为循环工况数据，以运行 4 次循环工况为例，图像如下



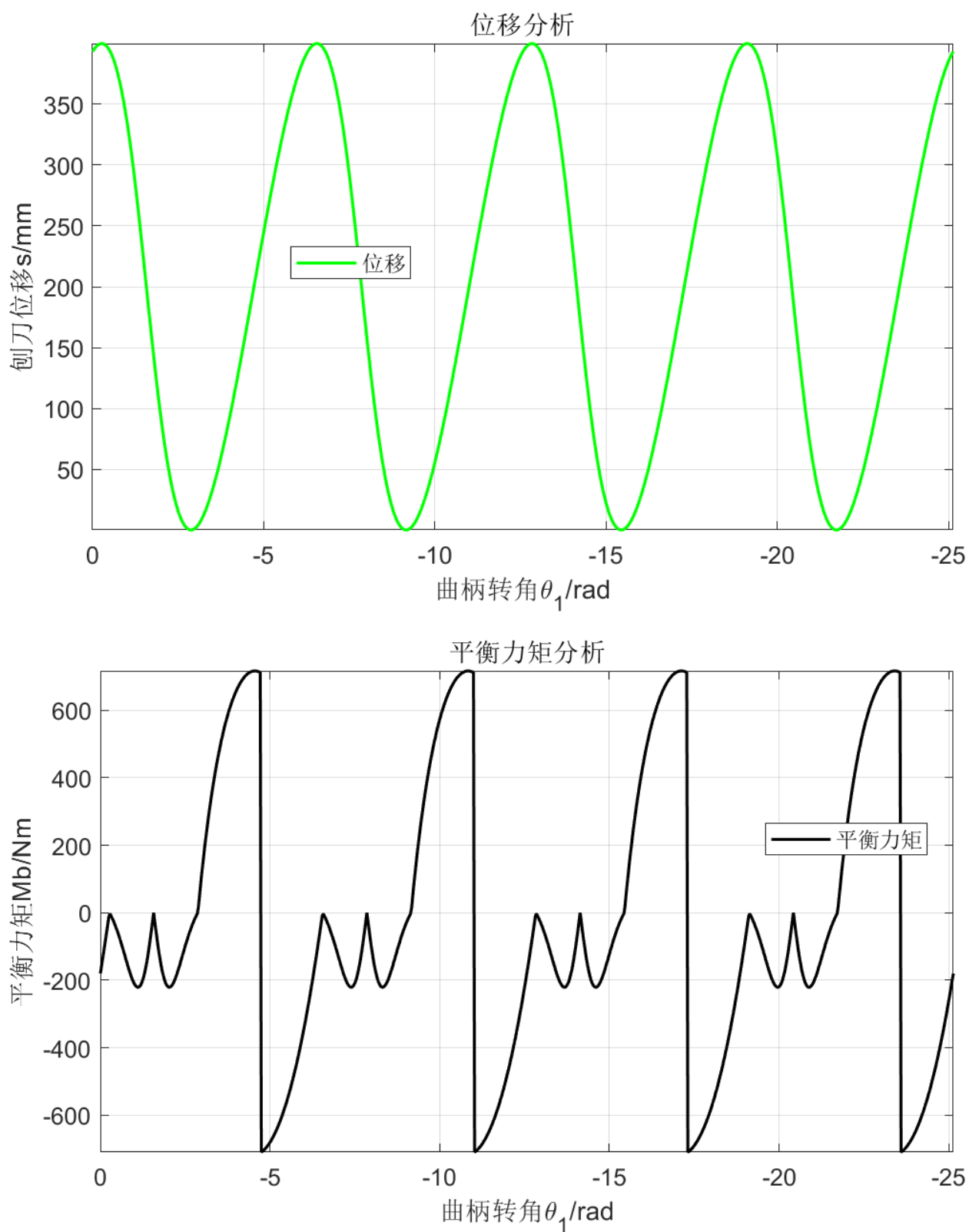


图 31 连续工作工况数据

5 SW motion 分析

5.1 SW motion 运动学分析

建立 SW 装配体模型，如图

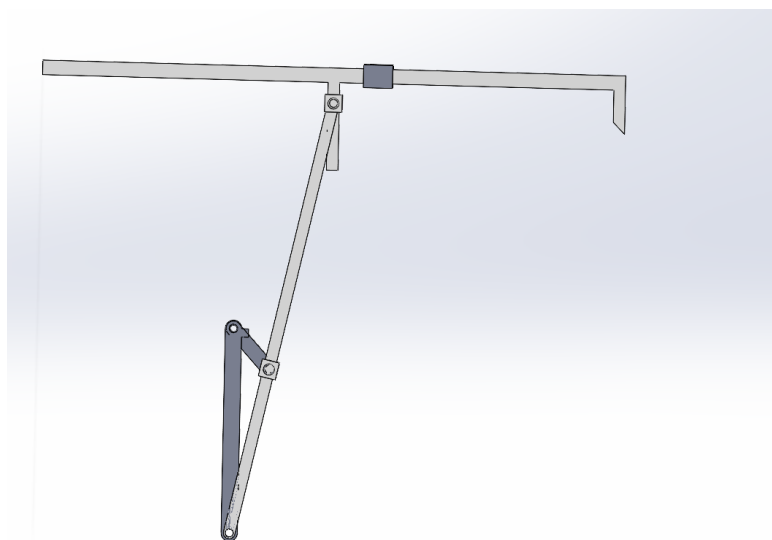


图 32 装配体模型

添加运动算例，设定 $n = 72$ 转/min，即 $\omega_1 = 7.5 \text{ rad/s}$ ，如下图

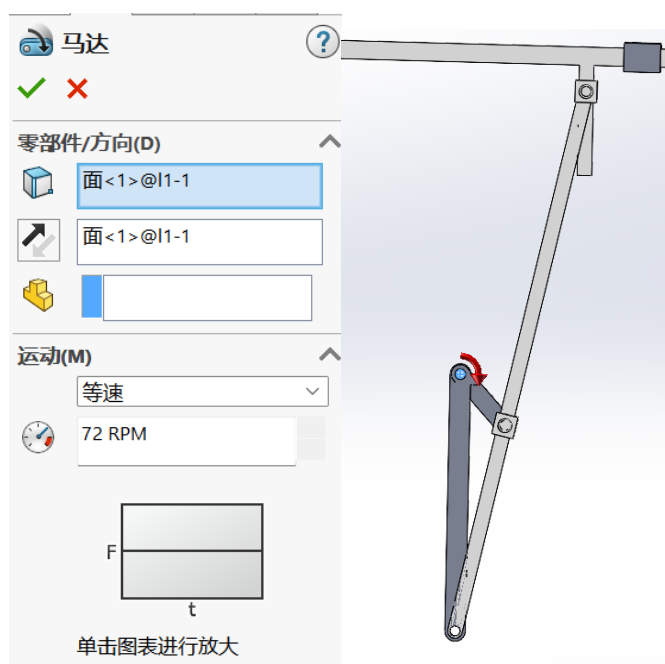


图 33 运动算例

添加 motion 分析

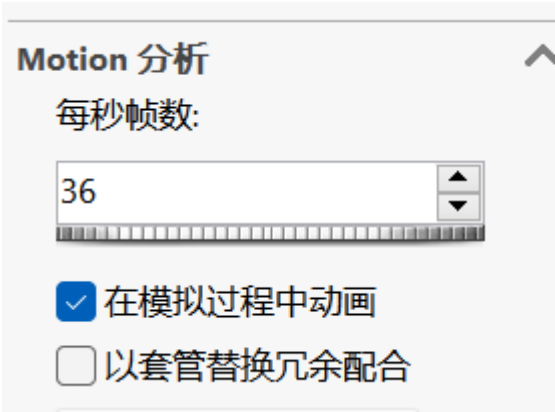


图 34 motion 分析

定义结果：刨刀线性位移、刨刀速度、刨刀加速度，分析结果图如下

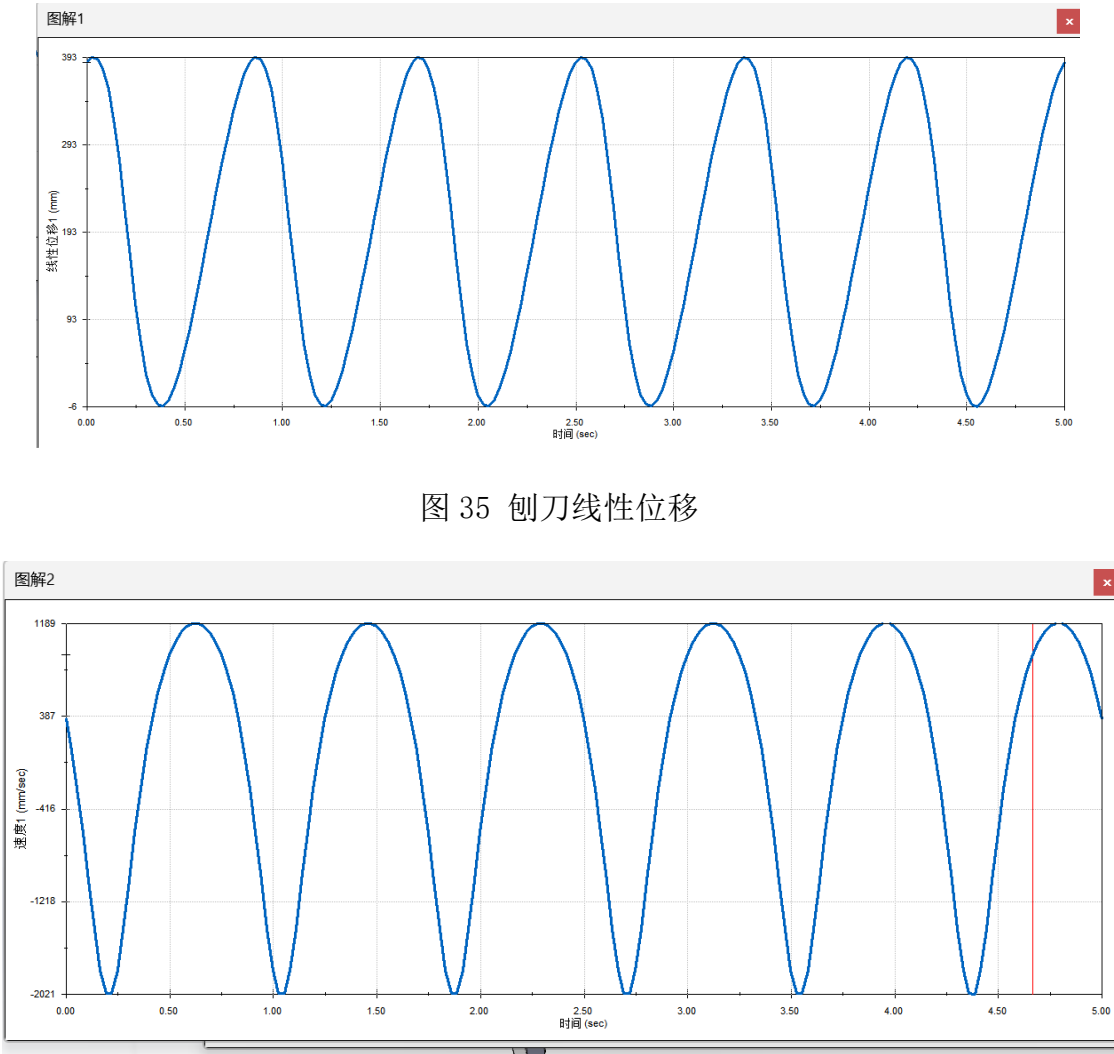


图 35 刨刀线性位移

图 36 刨刀速度

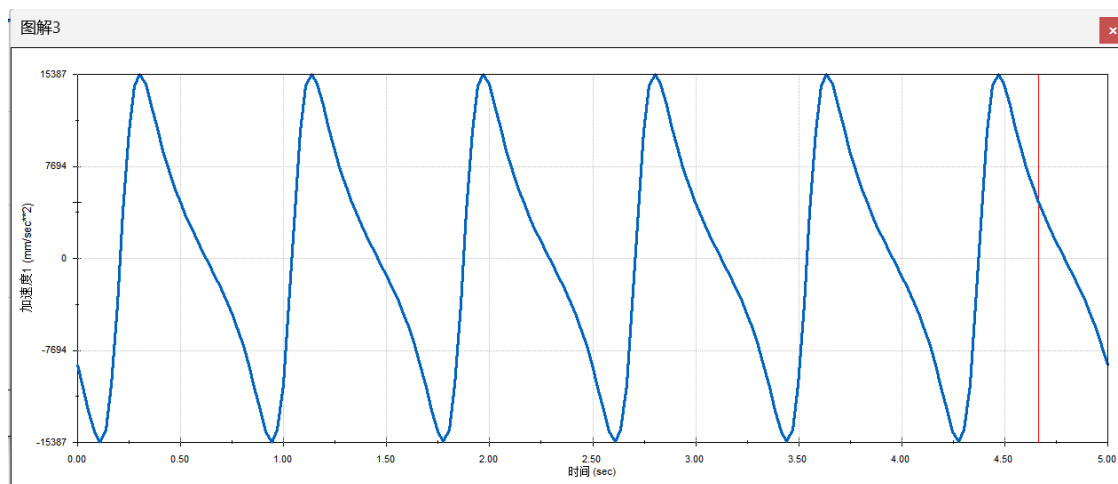
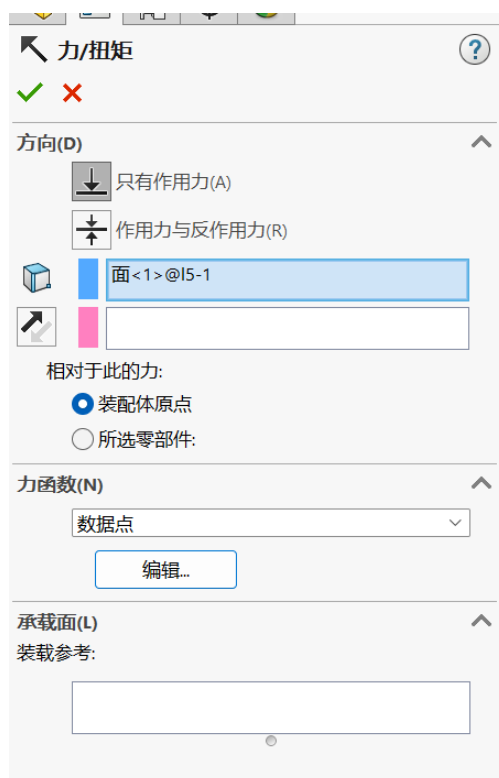


图 37 刨刀加速度

5.2 SW motion 动力学分析

定义刨刀受到的切削阻力，由于进程时有阻力 $F_r = 4500N$ ，急回工况时没有，利用 MATALB 生成数据点，生成 csv 文件，在 SW 中导入数据点



MATALB 源码如下：

```
clc;clear;close all;
```

```
Fr = [];  
for t = 0:0.01:30  
    t = mod(t,5);  
    theta = t*360/5;  
    if theta > 15.31 && theta < (180-15.31)  
        Fr= [Fr;0];  
    else  
        Fr= [Fr;-4500];  
    end  
end  
Fr_t = [(0:0.01:30)',Fr];  
% 指定 CSV 文件的文件名  
filename = 'output.csv';  
% 将矩阵数据写入 CSV 文件  
writematrix(Fr_t, filename);
```

图 38 SW 定义 F_r

在 SW 中定义阻力数据点，选择 Akima 样条插值

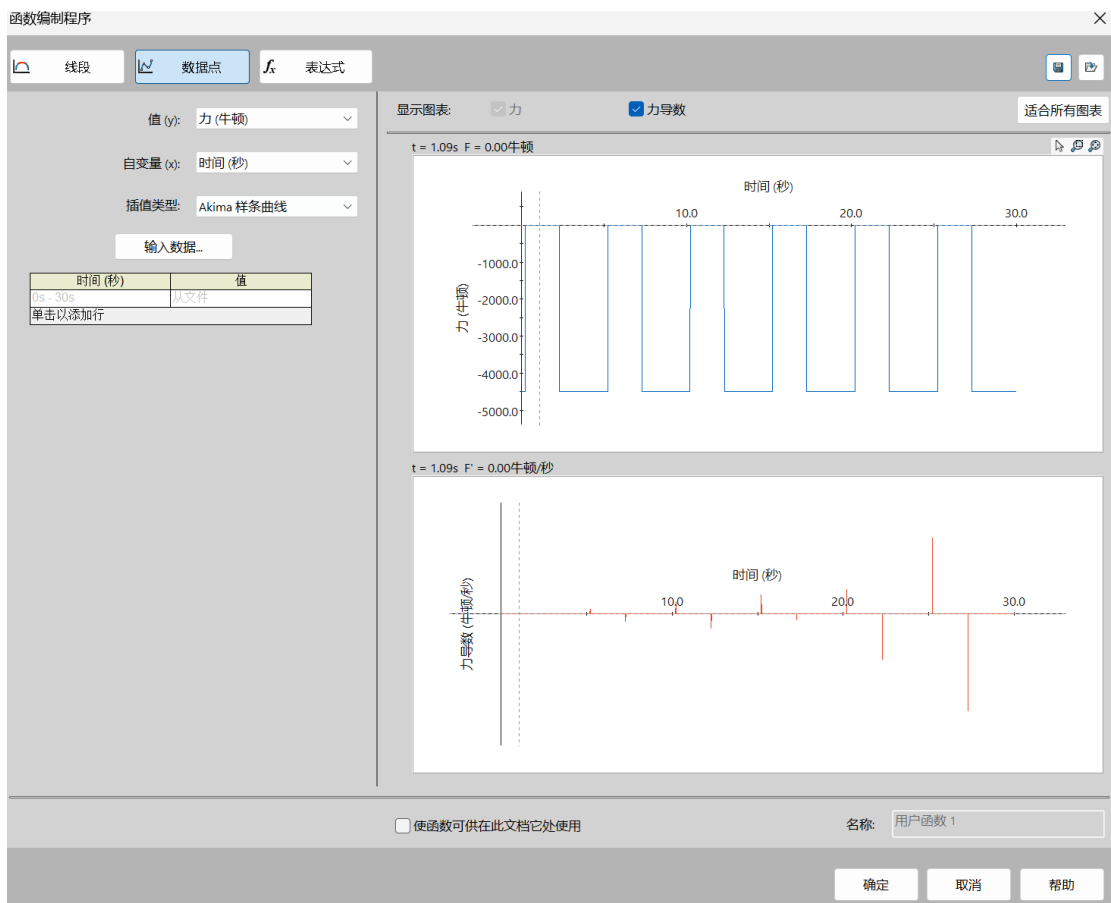


图 39 $SW F_r$ 数据点插值

定义引力

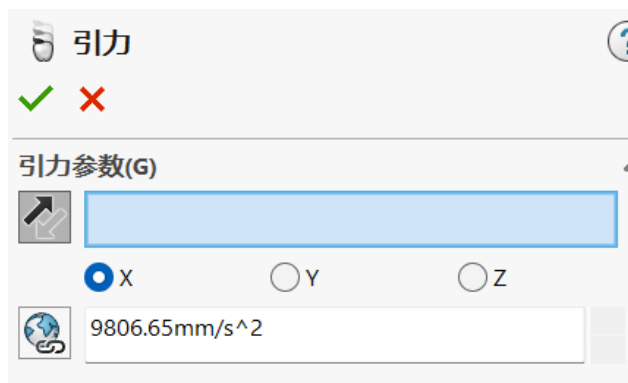


图 40 SW 引力

修改各零件参数（包括质量，转动惯量等），最后得到的平衡力矩图像如下

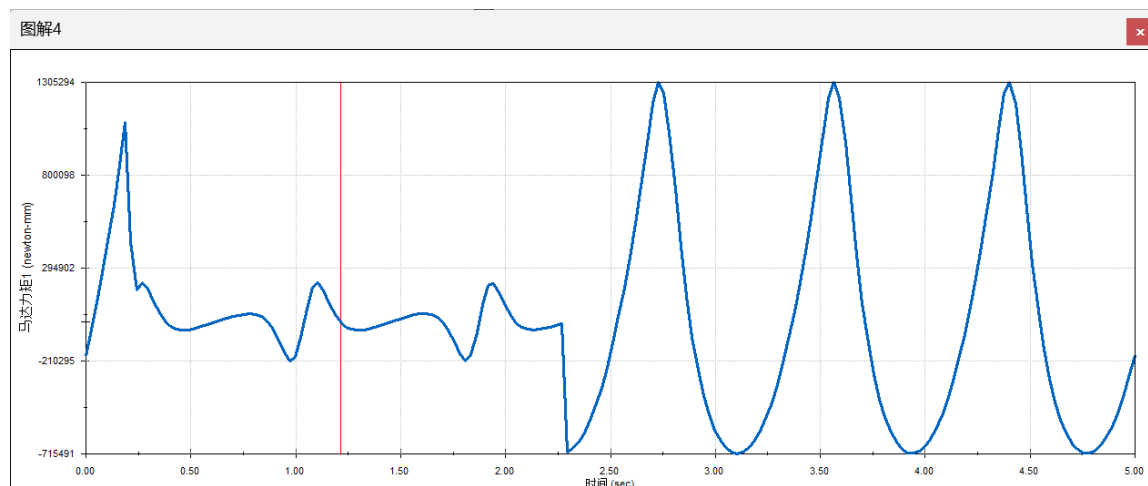


图 41 平衡力矩

6 误差分析

图解法的过程由于全过程手工作图，精度较低。在与解析法算得结果的对比中存在较大出入。结合解析法求得的相关数值和程序输出的图像，如果在进行数据对比后发现数值差距较大的情况，需要及时反推作图过程，避免一步错步步错，通过之前解析法的推导可以得到每个组员的真实数据，各项数据如下

表 1 组员数据

name	degree	s/mm	v/(mm/s)	a/(mm/s ²)	Mb/Nm
孔昱翔	0	393.3304	359.75	-8982.329	0
韩艺博	20	399.268	-130.2	-12006.5	-16.605
盘秦豪逸	40	379.24	-757	-14953.2	-115.35
王湛然	60	327.53	-1453.35	-14210	-214.46
郑晓	80	245.79	-1978.93	-6375.29	-130.25
李纪宏	100	176.58	-2027.5	6784	-133.296
李亮	120	71.5	-1461.8	14217	-218.9
秦子越	140	20.76	-779	15000	-120.995
贺思盈	160	0.74	-120.7	12087.5	-15.503
无人	180	6.67009313	359.7524094	8982.2918	249.1264
孔昱翔	200	31.96	712.5	6354.8	473.7156
韩艺博	220	70.964	1003.32	4452	608.903
盘秦豪逸	240	119.1	1111.1	2670.5	680.935
王湛然	260	172.53	1177.32	783.5	710.534
郑晓	280	227.95	1187.39	-789.59	-692.25
李纪宏	300	240.45	1106.3	-2424.8	-692.35
李亮	320	328.14	949.4	-4186	-526.28
秦子越	340	368.04	712.8	-6541.5	-360.379
贺思盈	360	392.64	359.5	-8942	-182.054

表 2 解析法数据

degree	s_true/mm	$v_true/(mm/s)$	$a_true/(mm/s^2)$	Mb_true/Nm
0	393.3299069	359.7524094	-8982.291828	-180.2964561
20	399.2679495	-127.6337984	-12133.69966	-16.36529296
40	379.2385048	-759.7446109	-14948.38879	-118.7894308
60	327.7524911	-1460.756887	-14384.14141	-217.5564431
80	246.8305948	-1973.051722	-6384.08934	-129.5853131
100	153.1694052	-1973.051722	6384.08934	-129.5853131
120	72.2475089	-1460.756887	14384.14141	-217.5564431
140	20.76149524	-759.7446109	14948.38879	-118.7894308
160	0.732050477	-127.6337984	12133.69966	-16.36529296
180	6.670093125	359.7524094	8982.291828	249.1263507
200	31.96066883	712.5386931	6354.899593	473.7165604
220	70.9630296	956.0085774	4232.025191	613.961299
240	119.0930612	1109.326856	2430.325611	691.0127215
260	172.4611783	1183.560488	793.5141309	716.4656565
280	227.5388217	1183.560488	-793.5141309	-696.3056088
300	280.9069388	1109.326856	-2430.325611	-633.1486731
320	329.0369704	956.0085774	-4232.025191	-527.1898815
340	368.0393312	712.5386931	-6354.899593	-376.8138532
360	393.3299069	359.7524094	-8982.291828	-180.2964561

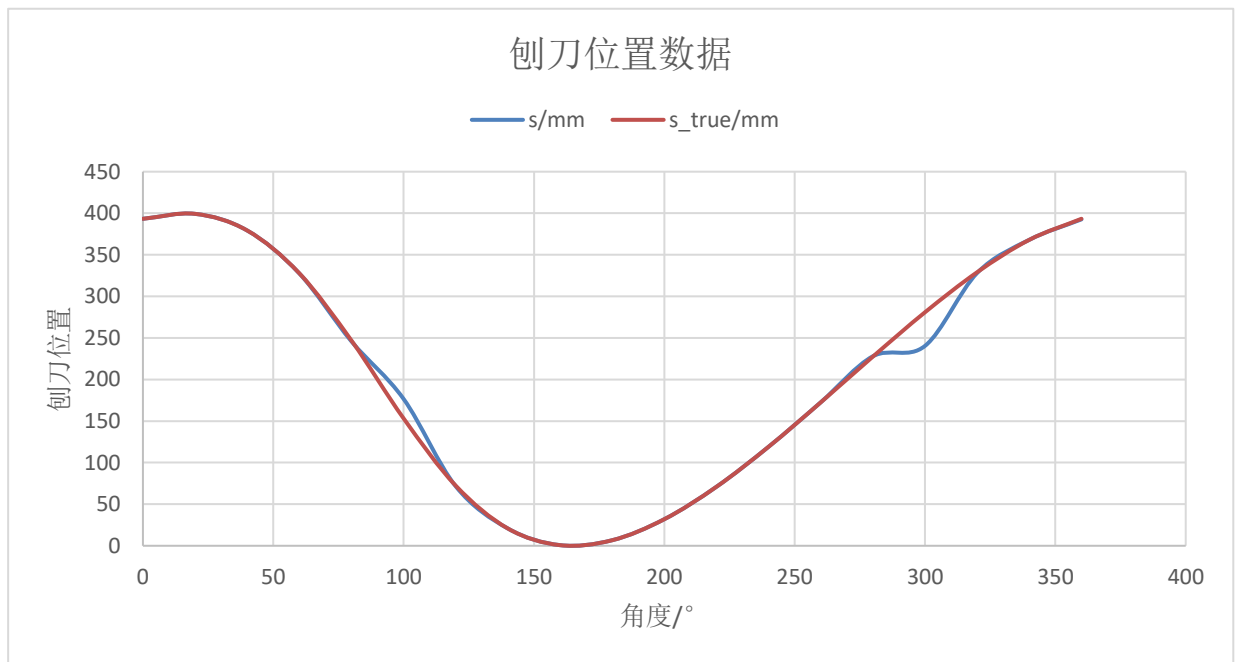


图 42 刨刀位置数据 $s(\phi)$

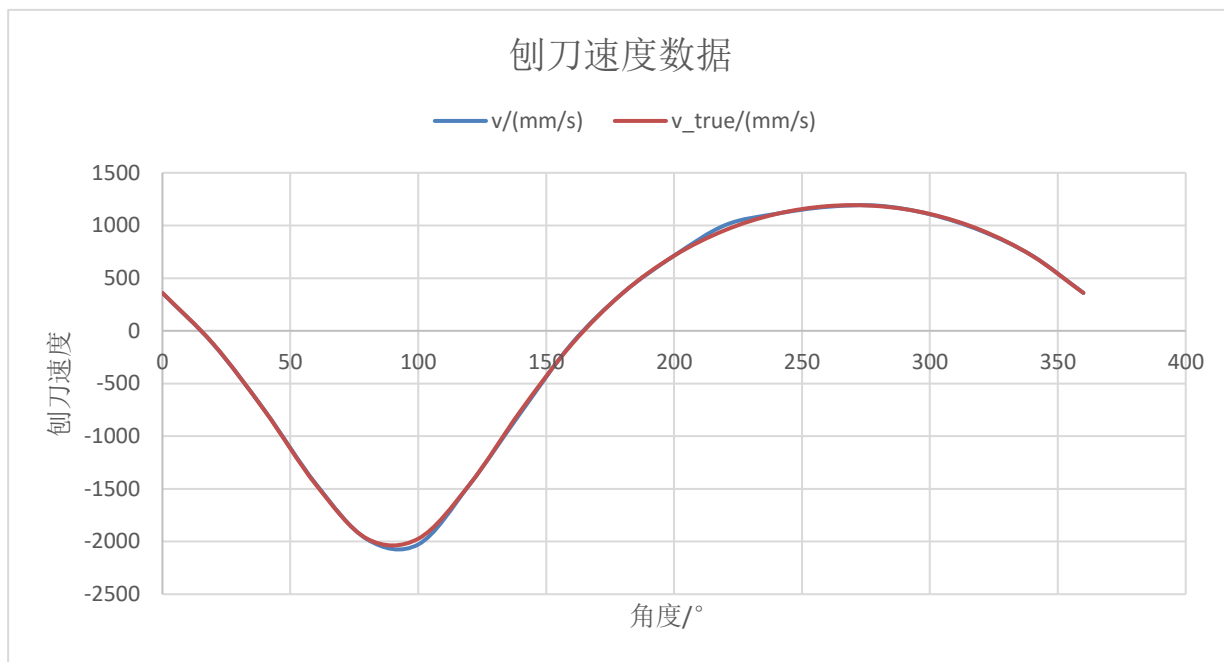


图 43 刨刀速度数据 $v(\phi)$

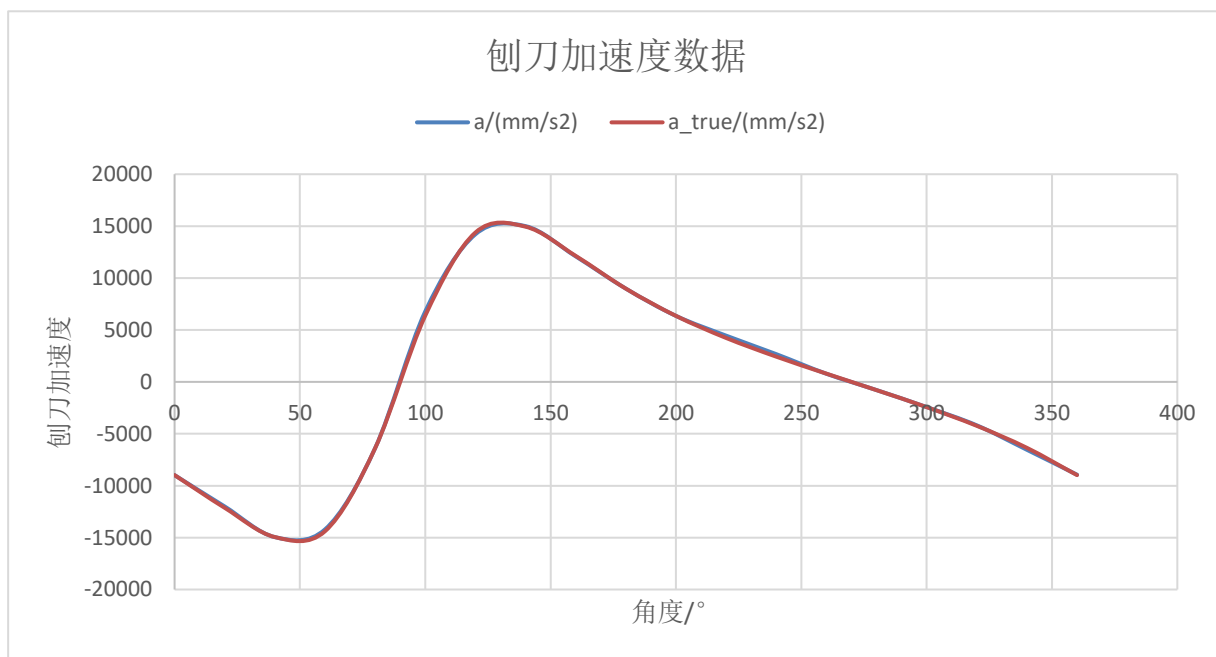


图 44 刨刀加速度数据 $a(\phi)$

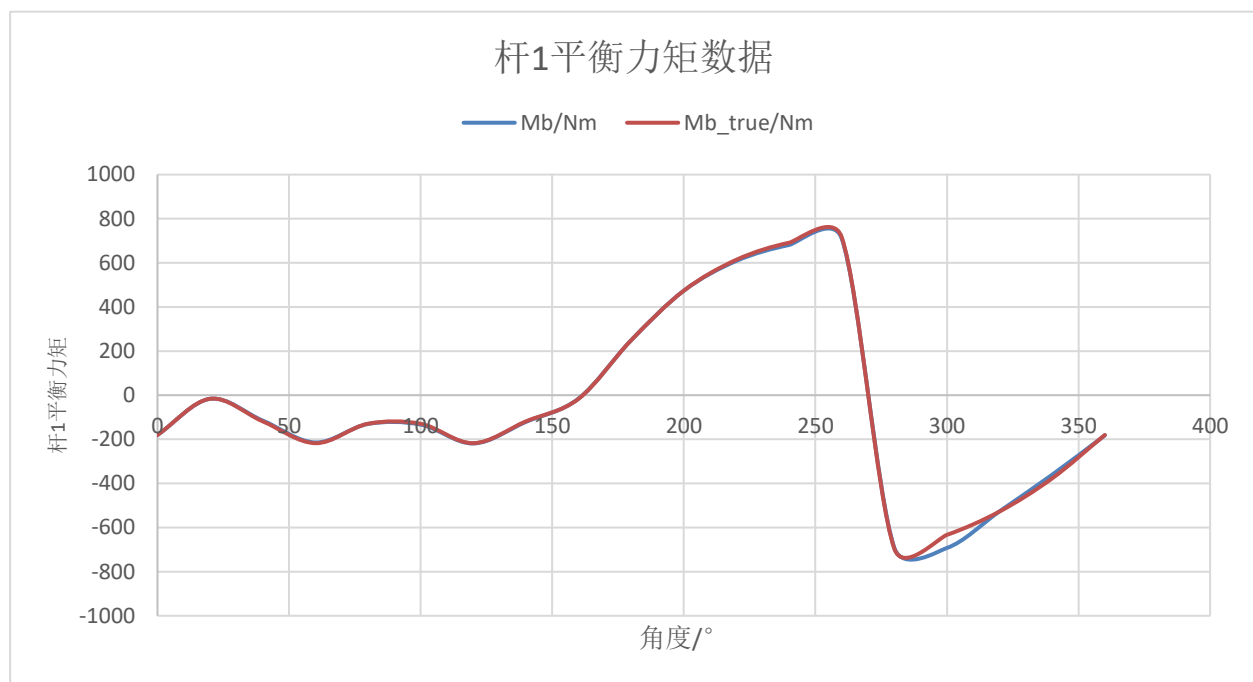


图 45 平衡力矩数据 $M_b(\phi)$

我们在设计小型精创机主切削运动机构时，图解法和解析法是两种常用的方法。然而，这两种方法在实际应用中都会产生一定的误差。

图解法误差分析

图解法是一种基于几何图形和图示分析的方法，通常用于初步设计和直观分析。其误差来源主要包括以下几个方面：

1. **图形绘制误差：**由于绘图工具和绘图精度的限制，图形绘制过程中会产生一定的误差。例如，手工绘图时，线条的粗细、长度、角度等都难以精确控制，这些误差在计算中会逐步积累。
2. **读数误差：**图解法需要从图形中读取数值，这个过程中会产生读数误差。即使是使用精密的测量工具，也难以避免人为读数带来的误差。
3. **比例失真：**在图解法中，通常会采用一定的比例尺进行绘图。如果比例尺选择不当，可能会导致图形失真，影响最终结果的准确性。
4. **简化假设：**图解法在设计过程中往往会进行一些简化假设，例如忽略摩擦、弹性变形等因素，这些简化会带来一定的理论误差。

解析法误差分析

解析法是一种基于数学模型和公式推导的方法，用于精确计算和分析。其误差来源主要包括以下几个方面：

1. **数学模型简化误差**: 在建立数学模型时, 通常需要对实际情况进行简化, 例如忽略一些次要因素或采用线性近似。这些简化会导致模型与实际情况之间存在偏差, 从而引入误差。
2. **数值计算误差**: 解析法需要进行大量的数学运算, 尤其是在使用数值方法求解复杂方程时, 计算过程中的舍入误差和截断误差是不可避免的。例如, 浮点运算中的舍入误差会逐步积累, 影响最终结果的准确性。
3. **参数估计误差**: 解析法需要依赖于一些参数的精确值, 而这些参数往往需要通过实验或经验估计。如果参数的估计值不准确, 会直接影响计算结果的准确性。
4. **边界条件和初值误差**: 在解析法中, 边界条件和初始值的选取对结果有重要影响。如果这些条件设置不当, 会导致解的不稳定性和误差。

两种方法误差的比较和综合

虽然图解法和解析法各有误差来源, 但它们在实际应用中各有优缺点:

- **图解法的优点**: 直观、简单, 适合初步设计和快速分析。对于一些复杂的几何关系, 图解法可以提供直观的理解和分析。
- **图解法的缺点**: 精度较低, 依赖于绘图工具和人工读数, 容易产生累积误差。
- **解析法的优点**: 精度较高, 适合精确计算和分析。尤其在计算机辅助设计中, 解析法可以利用强大的计算能力进行复杂运算。
- **解析法的缺点**: 依赖于数学模型的准确性和数值计算的精度, 对于一些复杂的非线性问题, 解析法的计算量大, 求解过程繁琐。

在实际设计中, 通常会结合使用图解法和解析法, 以发挥各自的优势。图解法可以用于初步设计和几何关系的直观分析, 而解析法可以用于精确计算和优化设计。通过综合使用这两种方法, 可以有效减小误差, 提高设计的准确性和可靠性。

在小型精刨机主切削运动机构的设计中, 图解法和解析法都会产生误差, 这些误差来源于绘图精度、读数误差、数学模型简化、数值计算误差等方面。通过了解这些误差的来源, 可以在实际设计中采取相应的措施, 例如提高绘图精度、改进参数估计方法、优化数学模型等, 以减小误差, 提高设计质量。同时, 综合使用图解法和解析法, 可以更好地发挥各自的优势, 提高设计的精度和可靠性。

7 心得体会

紧张而充实的为期一周的课程设计结束了。在这一周中, 我体会到了很多以前没有体会到的东西, 感触到了很多以前没有感触到的东西。这段经历不仅丰富了我的知识和技能, 还让我对机械设计有了更深刻的理解。

初步接触与题目分析

五天的课程设计从拿到题目开始。最初，我们面对的任务是设计一台小型精刨机的主切削运动机构。题目看似简单，但实际上包含了许多复杂的机械原理和设计挑战。我们首先需要确定杆长，这一步虽然看似基础，却是整个设计的关键所在。我们利用图解法和解析法对杆长进行计算和优化，这不仅需要我们扎实的理论知识，还需要细致的计算和精确的绘图能力。

学习与应用机械原理

在确定杆长的过程中，我们不断深入学习机械原理课程的相关知识。这些知识在课本上可能是枯燥的公式和理论，但在实际设计中却变得生动且充满挑战。例如，我们需要理解并应用机构运动学和动力学的基本原理，分析各个杆件的受力情况，确保设计的精确和可靠。同时，我们还需要考虑实际加工中的摩擦、磨损等因素，对设计进行适当的调整和优化。

提高绘图与计算能力

五天的设计过程中，我们不仅学习了理论知识，还大幅度提高了自己的绘图能力和计算能力。绘图是机械设计中不可或缺的一部分，准确的图纸可以直观地展示设计思路，帮助我们发现并解决问题。我们学习并使用了 CAD 软件，通过反复练习和修改，逐渐掌握了绘图技巧。在计算方面，我们需要进行大量的数值计算，包括杆长、角度、速度和加速度等参数的精确计算。这不仅需要我们具备扎实的数学基础，还需要耐心和细致的态度。

师生互动与指导帮助

在设计过程中，老师给予了我们极大的帮助。特别是在我遇到设计困难和解析法分析遇到问题时，潘登老师总是及时辅导我，耐心解答我的疑问。他不仅帮助我解决了具体的技术问题，还教会了我解决问题的方法和思路。例如，当我在进行杆长优化时遇到困惑，潘老师详细解释了不同优化方法的优缺点，并指导我选择最合适的方法。这不仅使我顺利完成了设计任务，还让我学到了宝贵的经验和技巧。在此，我对潘老师表示衷心的感谢。

设计中的挑战与解决

在设计过程中，我们遇到了许多挑战。例如，在初始设计阶段，我们发现某些杆件的运动轨迹不符合预期，这要求我们对设计进行调整和优化。我们利用图解法进行初步分析，然后通过解析法进行精确计算，最终找到了问题的根源并进行了相应的修改。通过这种方法，我们不仅解决了具体的设计问题，还加深了对图解法和解析法的理解和应用。

团队合作与协作

除了个人的努力，团队合作也是课程设计中不可或缺的一部分。在设计过程中，我们小组成员紧密合作，相互支持和帮助。我们定期进行讨论，分享各自的思路 and 想法，共同

解决遇到的问题。通过团队合作，我们不仅提高了设计的效率和质量，还培养了良好的协作能力和团队精神。

深入研究与不断学习

在这次课程设计中，我们不仅要解决具体的设计问题，还需要深入研究相关的理论知识。机械设计涉及的知识面非常广泛，包括机械原理、材料力学、机械制造工艺等各个方面。为了完成设计任务，我们需要对这些知识进行系统的学习和应用。例如，在设计小型精刨机的主切削运动机构时，我们需要了解切削力的基本原理，分析切削过程中各个部件的受力情况，确保设计的稳定性和可靠性。

实践中的理论应用

理论知识在课本上是枯燥的公式和定理，但在实践中却变得生动而有趣。通过这次设计，我深刻体会到了理论知识在实际应用中的重要性。例如，我们在分析切削力时，需要用到材料力学中的应力应变理论，通过计算切削力的大小和分布，确保各个部件在工作中的安全性和可靠性。同时，我们还需要考虑实际加工中的摩擦和磨损等因素，对设计进行适当的调整和优化。

创新思维与问题解决

机械设计不仅需要扎实的理论知识 and 实践经验，还需要创新的思维和解决问题的能力。在设计过程中，我们经常会遇到一些意想不到的问题，需要通过创新的思维来解决。例如，在设计过程中，我们发现某些杆件的运动轨迹不符合预期，这要求我们对设计进行创新和调整。通过反复思考和实验，我们最终找到了问题的根源，并提出了创新的解决方案。这不仅使我们顺利完成了设计任务，还提高了我们的创新能力和解决问题的能力。

动手实践与操作技能

除了理论知识和创新思维，动手实践和操作技能也是机械设计中不可或缺的一部分。在设计过程中，我们需要进行大量的实验和操作，通过实践来验证我们的设计是否可行。例如，在进行杆长的优化设计时，我们不仅需要进行理论计算，还需要通过实验来验证计算结果的准确性。在实验过程中，我们学会了使用各种工具和设备，提高了我们的动手能力和操作技能。

实习与实践机会

在这次课程设计中，我们还得到了宝贵的实习和实践机会。通过实习和实践，我们不仅了解了机械设计的基本流程和操作方法，还亲身体验了机械制造的实际过程。例如，在实习过程中，我们参观了学校的机械制造实验室，了解了各种机械设备的工作原理和操作方法。通过实习和实践，我们不仅提高了自己的专业能力，还积累了宝贵的实践经验。

对未来的展望

这次课程设计不仅是一次学习的机会，更是一次对未来的展望。通过这次设计，我对机械设计有了更深刻的理解和认识，对未来的学习和工作有了更明确的方向。我深刻体会到，机械设计不仅需要扎实的理论知识和实践经验，还需要不断学习和创新的精神。只有不断学习和不断创新，才能在未来的工作中取得更大的成绩。

感谢与致谢

在这次课程设计中，我得到了老师和同学们的大力支持和帮助。特别是在我遇到困难和问题时，老师总是耐心地指导我，帮助我解决问题。在此，我要特别感谢潘登老师，他不仅在技术上给予了我很多帮助，还在思维方法和学习态度上给了我很多启示。同时，我还要感谢我的同学们，在设计过程中，我们相互支持和帮助，共同解决了许多问题。通过这次课程设计，我深刻体会到了团队合作的重要性，也认识到了自己的不足和需要改进的地方。

自我反思与成长

通过这次课程设计，我对自己有了更清晰的认识和反思。在设计过程中，我发现自己在理论知识上还存在一些不足，需要进一步加强学习。同时，我也认识到自己在实践操作和创新思维方面还有很大的提升空间。通过这次设计，我不仅提高了自己的专业能力，还学会了如何有效地学习和解决问题。在未来的学习和工作中，我将继续努力，不断提高自己的专业能力和综合素质，争取取得更大的成绩。

总之，这一星期的课程设计使我对机械学科有了更深刻的了解与认知。这些知识和经验为我今后的学习和工作奠定了扎实的基础。在设计过程中，我不仅学到了具体的技术和技能，还收获了宝贵的经验和教训。例如，我认识到理论知识与实际应用之间的差距，学会了如何在实际设计中灵活应用理论知识。同时，我也体会到了团队合作的重要性，学会了如何与他人有效沟通和协作。

这一周的课程设计虽然紧张而充实，但却是一次宝贵的学习经历。通过这次设计，我不仅提高了自己的专业能力，还加深了对机械设计的热爱和兴趣。这将激励我在未来的学习和工作中不断努力，不断进步，争取更大的成就。

8 参考文献

[1] 安子军，机械原理（第三版），国防工业出版社；

[2] Matlab R2016a 从入门到精通，温欣研，清华大学出版社，2017；

[3] 基于 Matlab 平面连杆机构的动态仿真分析，曲秀全，哈尔滨工业大学出版社，2007。

燕山大学 《机械原理课程设计》 综评

项目	细则	成绩
平时成绩（只扣分）	出勤	(A)全勤
		(B)缺勤不多于 2 次
		(C)缺勤不多于 5 次
		(D)缺勤 5 次以上的
图面(60 分)	合理性 (30 分)	合理
		比较合理
		不合理
	图面质量 (30 分)	优
		良
		中
		及格
		不及格
设计报告 (20 分)		优
		良
		中
		及格
		不及格
答辩成绩 (20 分)		优
		良
		中
		差
总成绩		优
		良
		中
		及格
		不及格
指导教师签字	年 月 日	

