

浙江大学



题 目 TY-460 自动平台轮转印刷机设计计算说明书

课程名称 机械原理课程设计

姓 名 徐屹寒

学 号 3230103743

指导老师 李立新

专业班级 机械 2305

年 级 2023 级

1. 滚筒传动链的参数设计和运动分析

1.1 给定 GN 与 AD 之间的水平间距 $w=290\text{mm}$ ，根据第五项中的参考尺寸，设计变位齿轮 1、2。

两齿轮实际中心距： $a' = \sqrt{w^2 + (e - AD)^2} = 290.29\text{mm}$

已知 $r'_1 = r'_2$ ，故 $z_1 = z_2$

$$\frac{m(z_1+z_2)}{2} = mz_1 = 290.29\text{mm}, \quad z_1 = z_2 = 72.57$$

取 $z_1 = z_2 = 72$ ，并计算得理论中心距 $a = \frac{m(z_1+z_2)}{2} = 288\text{mm}$

取 $\alpha = 20^\circ$ ，利用中心距和啮合角函数方程及无侧隙啮合方程：

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{a\cos\alpha}{a'}\right) = 21.207^\circ$$

$$x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2\tan\alpha}(\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha) = 0.589$$

其中 $x_\Sigma = x_1 + x_2$ ，我们取 $x_1 = x_2 = 0.2945$

已知 $m = 4$ ，计算变位齿轮的其他参数：

$$y = \frac{a' - a}{m} = 0.57, \quad \Delta y = x_\Sigma - y = 0.589 - 0.57 = 0.019$$

$$r_1 = r_2 = \frac{1}{2}mz_1 = 144\text{mm}, \quad r'_1 = r'_2 = r_1 = 144\text{mm}$$

$$r_{f1} = r_{f2} = r_1 - (h_a^* + c^* - x_1)m = 140.178\text{mm}$$

$$r_{a1} = r_{a2} = r_1 + (h_a^* + x_1 - \Delta y)m = 149.102\text{mm}$$

$$r_{b1} = r_{b2} = r_1\cos\alpha = 135.316\text{mm}$$

$$s_1 = s_2 = \frac{1}{2}m\pi + 2x_1m\tan\alpha = 7.14\text{mm}$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a2} = \arccos\frac{r_{b1}}{r_{a1}} = 24.83^\circ$$

$$s_{a1} = s_{a2} = s_1\frac{r_{a1}}{r_1} - 2r_{a1}(\text{inv}\alpha_{a1} - \text{inv}\alpha) = 3.10\text{mm}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi}[z_1(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') + z_2(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha')] = 1.71$$

见附图一

2. 平台传动链的机构选型、参数设计和运动分析

平台的行程为 620mm, 故 F 点的行程为 310mm

The diagram illustrates a mechanical linkage system. A horizontal bar of length 310 is pivoted at its left end to a fixed point F1. The right end of this bar is labeled F2. A second bar of length 520 is pivoted at F2 and its other end is labeled E1. A circular slider block of diameter 50 is shown, with its center labeled D. A line segment connects F1 to the center D. Another line segment connects E1 to a point E2 on the circumference of the circle. A dimension line indicates a distance of x from the center D to the point E2 along the circumference.

由图可知 $310 = \sqrt{(520+x)^2 - 50^2} - \sqrt{(520-x)^2 - 50^2}$

解得 $x = 154.21mm$

2.2 参考第五项中的尺寸，用作图法求出双曲柄机构 ABCD 以及曲柄连杆机构 DEF 的 12 个位置图以及 F 点的 12 个速度矢量图(每隔 30° 一个)，并标明双曲柄机构 ABCD 的最小传动角所在位置。

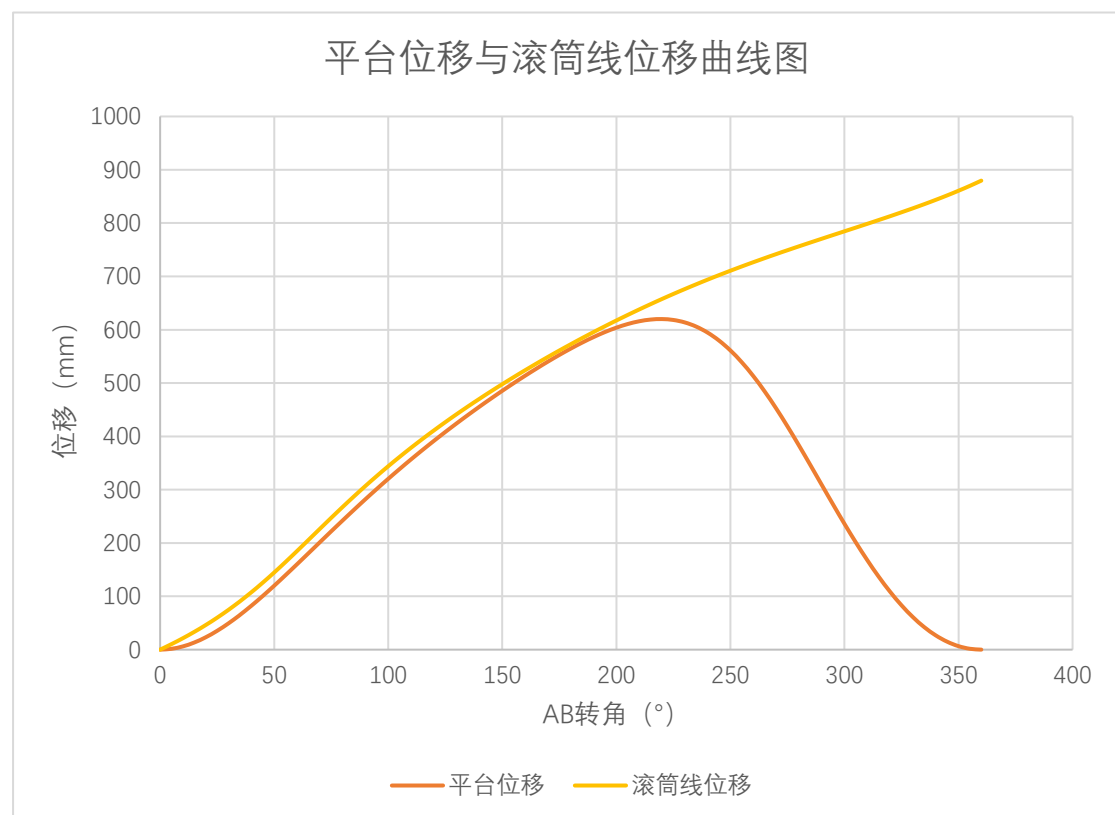
由 $\varphi_{GH0} = 57.109^\circ$ 及初始情形下 F,E,D 三点共线，可以求得 φ_{AB} 初始角。

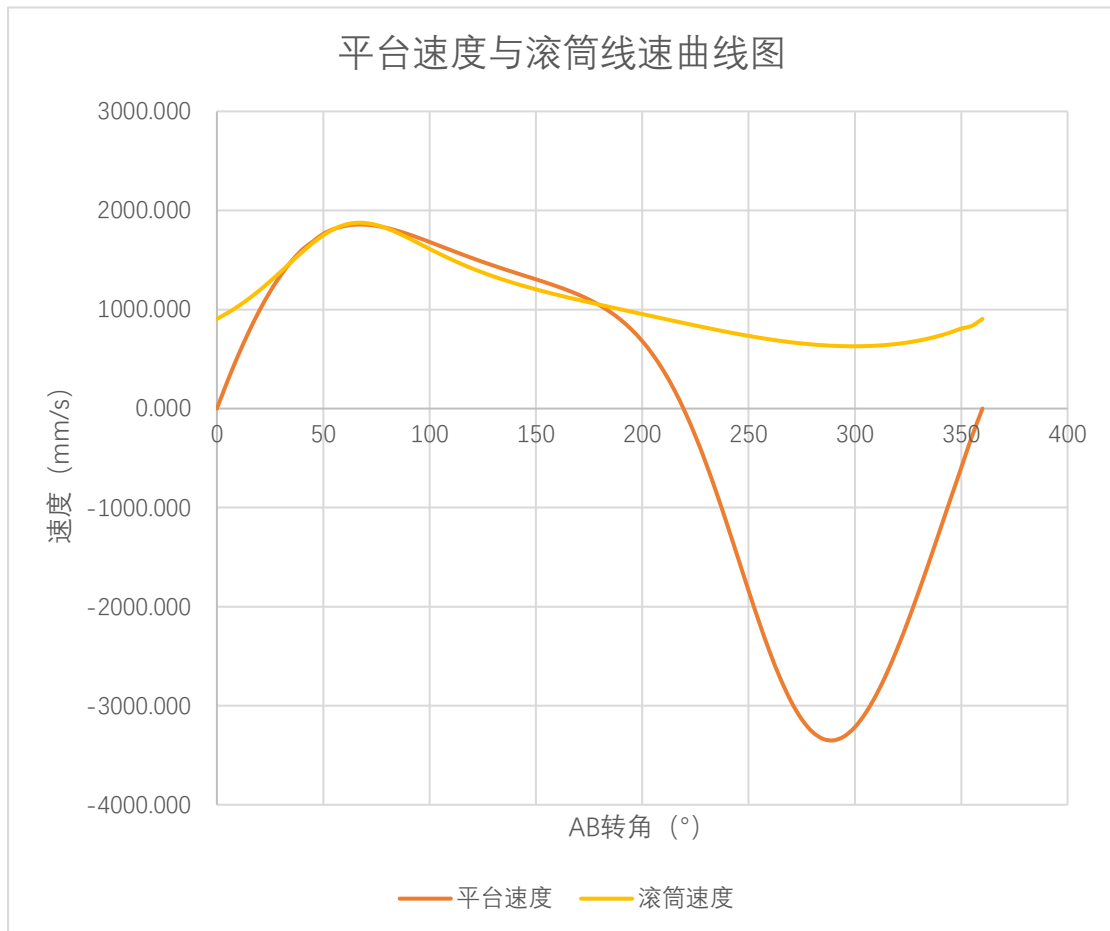
$$\varphi_{AB0} = 115.66^\circ$$

具体作图见附图二

3. 同步补偿凸轮机构设计

3.1 采用附录中的参考数据，绘制滚筒圆周位移曲线与平台位移曲线图；绘制滚筒圆周速度曲线以及平台速度曲线图。





3.2 确定同步区。同步区内滚筒圆周的线位移应大于印刷幅面的宽度320mm，建议取 420mm 左右。同步区的起点应取在滚筒圆周速度与平台速度相等的点上，以免在补偿起点产生刚性冲击。

同步区的起点:根据任务书，取 AB 转角为 34° 此时滚筒圆周速度与平台速度相等。

同步区的终点: 由 $87.349 + 420 = 507.349 < 511.107$ ，取 AB 转角 155° 。

所以同步区 AB 转角 $34^{\circ} - 155^{\circ}$ ，相对应的凸轮转角（即 CD 转角）范围是 $32.319^{\circ} - 117.517^{\circ}$

3.3 分析滚筒圆周位移曲线和平台位移曲线，绘制平台在同步区的位移补偿量曲线图；设计并绘制平台在复位区的位移补偿量曲线。建议复位区凸轮转角要取得大一些，到 100° 左右，以减小凸轮机构的回程压力角。设计复位区的位移补偿量曲线时要避免在其两端产生刚性冲击。

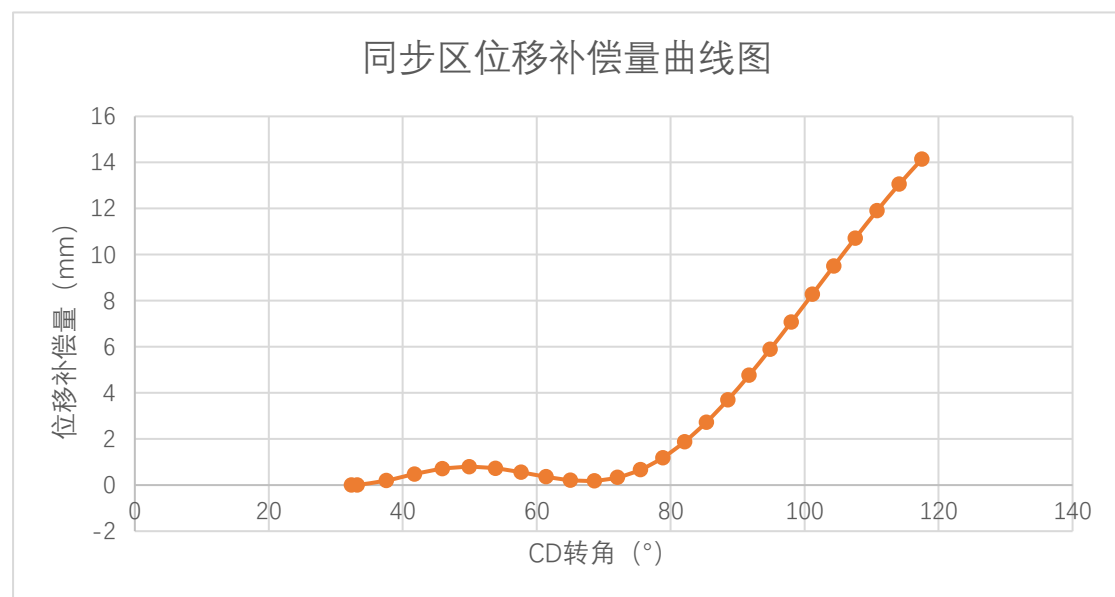
同步区：

从 AB 转角 34° 开始补偿，补偿量计算公式为：

$$\Delta s = (p - q) - (p_0 - q_0)$$

其中 p 为平台位移， q 为滚筒线位移。 p_0 为平台初始位移， q_0 为滚筒初始线位移。

故同步区的位移补偿量为：



复位区：

为了减小凸轮机构的回程压力角，将复位区凸轮转角(即 CD 转角)取为 100° 左右，故 CD 转角在 220° 左右完成复位。

因为同步区结束后齿条 6 的速度不为零，为了避免产生冲击，其位移变化应先采用一段圆弧过渡，使之速度减小到 0；

设从动件在凸轮转角为 125° 时减小到 0。为保证从动件速度不发生突变，取过渡圆弧斜率 k 在凸轮转角为 117.517° 为

$$k = (v_p - v_q)/\omega$$

其中 v_p , v_q 分别为凸轮转角为 117.517° 时的平台速度与滚筒速度。 ω 为凸轮每秒旋转角度(弧度制)。由此可以画出进入复位区的补偿曲线, 并计算得到从动件在 125° 与 117.517° 时的位移之差 $\delta_x = 0.778\text{mm}$

同时, 为了避免复位区结束时产生刚性冲击, 选择摆线运动(即正弦加速度运动)使齿条6复位, 同时速度减小到0。

从动件升程 $h = h_0 + \delta_x = 14.147 + 0.778 = 14.925\text{mm}$

从动件的摆线运动方程为 $s = h[1 - \frac{\delta_1}{\delta_t} + \frac{1}{2\pi} \sin(\frac{2\pi}{\delta_t} \delta_1)]$, 其中 $\delta_t = 100^\circ$

复位区补偿计算 matlab 代码实现如下:

```
%% 进入复位区圆弧参数计算
% 定义复位区的角度范围(度)
Fai_CD = [117.517;125]; % 复位区起始角度和结束角度

% 定义初始位移参数
x1 = 14.147; % 复位区起始位移(mm)
v1 = 1269.937; % 复位区起始速度(mm/s)
v2 = 1175.302; % 复位区结束速度(mm/s)

% 凸轮转速计算
omega = 4500/3600*360; % 凸轮角速度: 4500 转/分钟转换为度/秒

% 计算速度变化率和倾斜角
k = (v1-v2)/omega; % 速度变化率(mm/度)
theta_k = atan(k); % 速度变化对应的角度(弧度)

% 计算圆弧半径和位移增量
R = (Fai_CD(2)-Fai_CD(1))/sin(theta_k); % 圆弧半径(mm)
delta_x = R*(1-cos(theta_k)); % 圆弧段的位移增量(mm)

%% 复位区结束补偿量计算
% 计算复位区结束时的总位移
h = x1+delta_x; % 复位区结束位移 = 起始位移 + 圆弧位移增量

% 定义补偿函数参数
Delta_t = 100; % 补偿区总角度范围(度)

% 定义位移补偿函数
f = @(Delta_1) (h*(1-
(Delta_1/Delta_t)+1/2/pi*sin(Delta_1/Delta_t*2*pi)));

% 生成补偿区角度序列和对应的位移
```

```

Delta_1 = 0:5:100;      % 补偿区角度范围，步长为5 度
s = f(Delta_1);         % 计算各角度对应的补偿位移

%% 绘制补偿量曲线
% 定义圆弧段的几何参数
startPoint = [Fai_CD(1), x1]; % 圆弧起点坐标（角度，位移）
endPoint = [Fai_CD(2), h]; % 圆弧终点坐标（角度，位移）
center = [Fai_CD(2), h-R]; % 圆弧圆心坐标

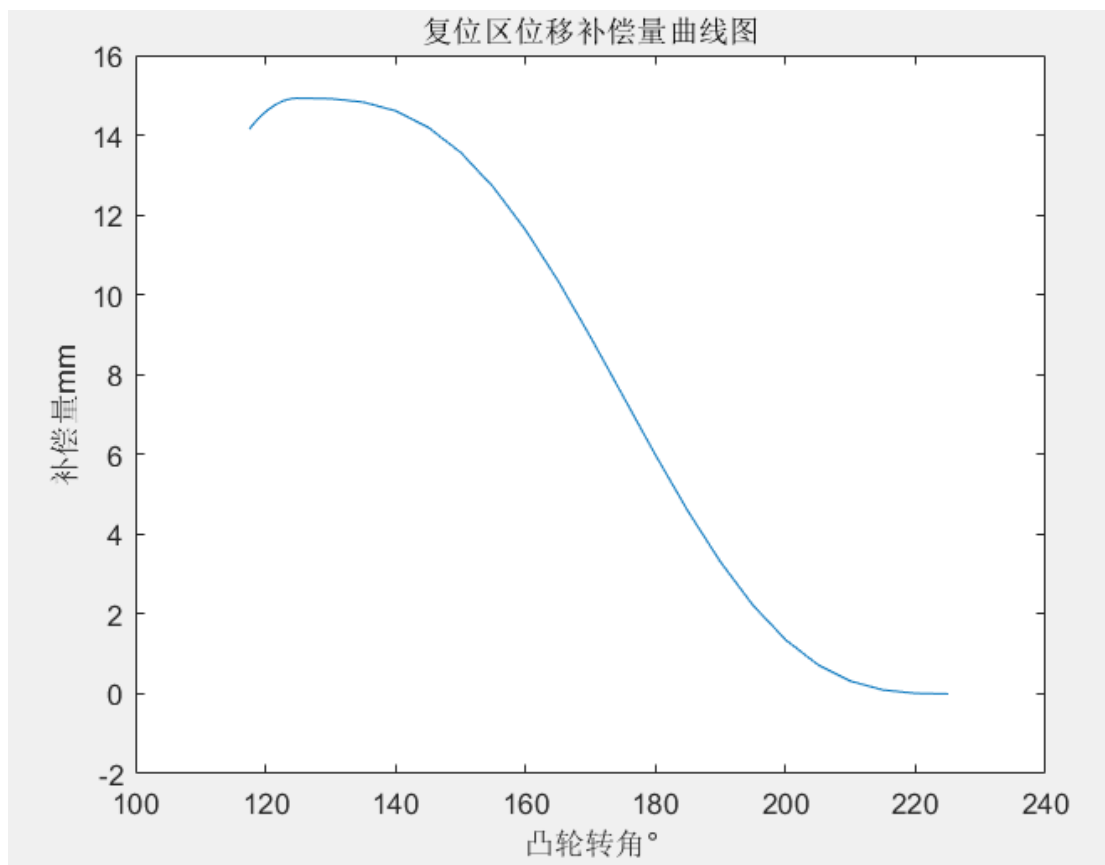
% 计算起点和终点相对于圆心的角度
theta1 = atan2(startPoint(2) - center(2), startPoint(1) - center(1)); %
起点角度
theta2 = atan2(endPoint(2) - center(2), endPoint(1) - center(1)); %
终点角度

% 生成圆弧上的采样点
t = linspace(theta1, theta2, 20); % 在起点和终点之间生成 20 个等间距角度
arcX = center(1) + R * cos(t); % 圆弧上各点的横坐标（角度）
arcY = center(2) + R * sin(t); % 圆弧上各点的纵坐标（位移）

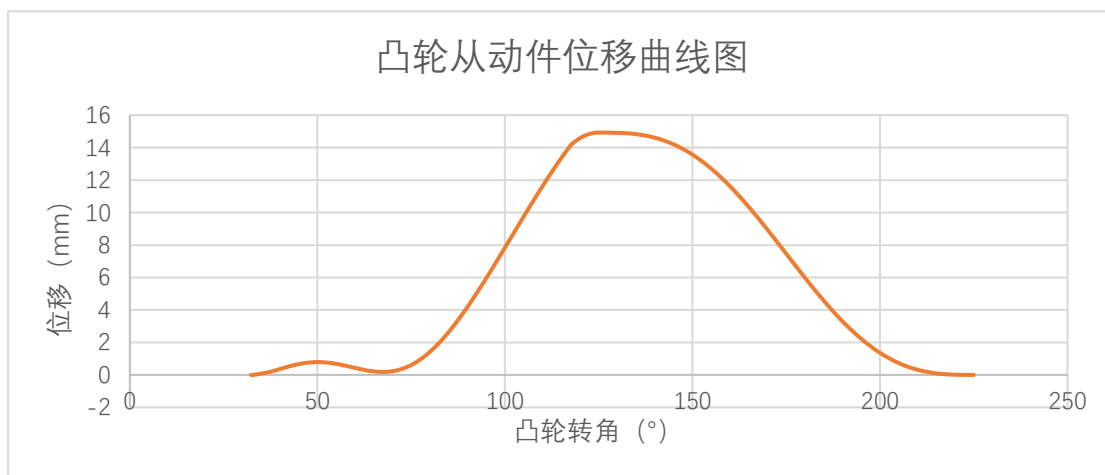
% 组合完整的补偿曲线数据
x = [arcX, Delta_1+arcX(20)]; % 横坐标：圆弧段 + 补偿段（相对于圆弧终
点）
y = [arcY, s]; % 纵坐标：圆弧位移 + 补偿位移

% 绘制最终的位移补偿曲线
plot(x,y)
xlabel("凸轮转角°") % 横轴标签
ylabel("补偿量 mm") % 纵轴标签
title("复位区位移补偿量曲线图") % 图标题
最终绘制结果为：

```

3.4 以凸轮转角为横坐标，绘制全工作循环内从动件的位移曲线图。



3.5 设计主凸轮（右推凸轮 10）的轮廓。

结合从动件位移曲线图，运用反转法绘出主凸轮轮廓。

3.6 设计回凸轮（左推凸轮 11）的轮廓，要求与主凸轮有相同的最大径向尺寸，并确定 L_{s1s2} 。

滚子 s_1 与滚子 s_1 的中心距保持不变，且二者与相应凸轮的接触点保持 180° 不变，可据此设计出回凸轮轮廓。

凸轮轮廓见附图三

凸轮的最大径向尺寸为：

$$r_{\max} = r_b - r_g + s_{\max} = 79.925\text{mm}$$

最小径向尺寸为：

$$r_{\min} = r_b - r_g + s_{\min} = 65.00\text{mm}$$

故 $L_{s1s2} = r_{\max} + r_{\min} + 2 * r_g = 194.925\text{mm}$ 。

4. 绘制机构主运动简图

见附图四

5. 编程计算

四杆机构求解 matlab 程序

%% 设置参数

% 双曲柄机构 ABCD 的杆长参数（单位：mm）

LAB = 116; % 曲柄 AB 的长度

LBC = 100; % 连杆 BC 的长度

LCD = 100; % 摇杆 CD 的长度

LDA = 37; % 机架 DA 的长度

% 第二个机构 GHMN 的杆长参数（单位：mm）

LGH = 100; % 杆 GH 的长度

LHM = 100; % 杆 HM 的长度

LMN = 95; % 杆 MN 的长度

LNG = 40; % 杆 NG 的长度

% 其他机构参数

m = 4; % 质量参数

r3 = 136; % 半径参数 3

```

r4 = 136;    % 半径参数4
r8 = 100;    % 半径参数8
e = 50;      % 偏心距 (单位: mm)
LEF = 520;   % 杆EF 的长度 (单位: mm)
a_CDE = 177/360*2*pi; % 角度CDE (弧度制)

% 基圆和滚子半径参数
rb = 90;     % 基圆半径 (单位: mm)
rg = 25;     % 滚子半径 (单位: mm)

% 运动参数
omega = 4500/3600*2*pi; % 曲柄角速度: 4500 转/分钟转换为弧度/秒

% 初始角度设置 (弧度制)
Fai_GH0 = 57.109/360*2*pi; % 杆GH 的初始角度
Fai_AB0 = 115.66/360*2*pi; % 曲柄AB 的初始角度

% 主循环: 计算360度范围内的机构运动
for i = 1:360
    Fai = i-1; % 当前计算角度 (度)
    Fai_AB = Fai/360*2*pi; % 将角度转换为弧度制

    %% 双曲柄ABCD 求解
    % 调用曲柄摇杆机构求解函数, 计算CD 杆的角位移和角速度
    [theta,omega] = crank_rocker(Fai_AB+Fai_AB0,omega,LAB,LBC,LCD,LDA);

    % 存储计算结果
    theta_CD_list(i,2) = theta/pi*180; % 将弧度转换为度并存储
    theta_CD_list(i,1) = Fai; % 存储对应的输入角度
    omega_CD = omega(2); % CD 杆的角速度

    %% 曲柄滑块DEF 求解
    % [s,v] = slider_crank() % 待完善的滑块机构求解
end

% 对角位移数据进行相对化处理, 以初始位置为零点
theta_CD_list(:,2) = theta_CD_list(:,2)-theta_CD_list(1,2);

% 曲柄摇杆机构求解函数
function [theta3,omega] = crank_rocker(theta1,omega1,l1,l2,l3,l4)
    % 输入参数:
    % theta1 - 曲柄转角 (弧度)
    % omega1 - 曲柄角速度 (弧度/秒)
    % l1,l2,l3,l4 - 各杆长度

```

```

% 输出参数:
% theta3 - 摇杆角位移
% omega - 各杆角速度向量

%计算角位移
L = sqrt(l4*l4+l1*l1-2*l1*l4*cos(theta1));
phi = asin((l1./L)*sin(theta1)); %phi 记录直线BD 到AD 的角
if l1>L %l1 为最长边时phi 为钝角
    phi = pi/2-phi;
end
beta = acos((-l2*l2+l3*l3+L*L)/(2*l3*L)); %beta 记录直线CD 到BD 的角
if theta1 > pi
    phi = -phi;
end
theta3 = pi - phi - beta;
theta2 = asin((l3*sin(theta3)-l1*sin(theta1))/l2);
%计算角速度
A = [-l2*sin(theta2), l3*sin(theta3);
      l2*cos(theta2), -l3*cos(theta3)];
B = [l1*sin(theta1); -l1*cos(theta1)];
omega = A\ (omega1*B);
end

% 曲柄滑块机构求解函数
function [s3,v3] = slider_crank(theta1,omega1,l1,l2,e)
% 输入参数:
% theta1 - 曲柄转角 (弧度)
% omega1 - 曲柄角速度 (弧度/秒)
% l1,l2 - 曲柄和连杆长度
% e - 偏心距
% 输出参数:
% s3 - 滑块位移
% v3 - 滑块速度

% 计算线位移
theta2 = asin((e-l1*sin(theta1))/l2); % 连杆与水平线夹角
s3 = l1*cos(theta1)*l2*cos(theta2); % 滑块位移计算

% 计算线速度
% 建立速度方程组矩阵
A = [l2*sin(theta2), 1; % 速度约束矩阵
      -l2*cos(theta2), 0];
B = [-l1*sin(theta1); % 已知项向量
      l1*cos(theta1)];

```

```
omega = A\(\omega_1*B);           % 求解角速度和线速度
v3 = omega(2);                  % 提取滑块线速度
end
```