

# 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 胡家欣

学    号 3220102880

指导老师 从飞云

专业班级 机械 2203

年    级 2022 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： $a' = \sqrt{w^2 + (e - AD)^2} = \sqrt{290^2 + 13^2} = 290.29\text{mm}$

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：

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{a \cos \alpha}{a'}\right) = \arccos\left(\frac{288 * \cos(20^\circ)}{290.29}\right) = 21.207^\circ$$

$$x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2 \tan \alpha} (\text{inv} \alpha' - \text{inv} \alpha) = \frac{72 + 72}{2 * \tan 20^\circ} * (\text{inv} 21.207^\circ - \text{inv} 20^\circ) = 0.589$$

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

计算变位齿轮的其他参数如下：

$$y = \frac{a' - a}{m} = \frac{290.29 - 288}{4} = 0.57, \quad \Delta y = x_\Sigma - y = 0.589 - 0.57 = 0.019$$

$$r_1 = r_2 = \frac{1}{2} m z_1 = 144\text{mm}, \quad r'_1 = r'_2 = r_1 = 144\text{mm}$$

$$\begin{aligned} r_{f1} = r_{f2} &= r_1 - (h_a^* + c^* - x_1)m = 144 - (1 + 0.25 - 0.2945) * 4 \\ &= 140.178\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{a1} = r_{a2} &= r_1 + (h_a^* + x_1 - \Delta y)m = 144 + (1 + 0.2945 - 0.019) * 4 \\ &= 149.102\text{mm} \end{aligned}$$

$$r_{b1} = r_{b2} = r_1 \cos \alpha = 144 * \cos 20^\circ = 135.316\text{mm}$$

$$s_1 = s_2 = \frac{1}{2} m \pi + 2x_1 m \tan \alpha = \frac{1}{2} * 4 * \pi + 2 * 0.2945 * 4 * \tan 20^\circ = 7.14\text{mm}$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a2} = \arccos \frac{r_{b1}}{r_{a1}} = \arccos \frac{135.316}{149.102} = 24.83^\circ$$

$$\begin{aligned} s_{a1} = s_{a2} &= s_1 \frac{r_{a1}}{r_1} - 2r_{a1}(\text{inv} \alpha_{a1} - \text{inv} \alpha) \\ &= 7.14 * \frac{149.102}{144} - 2 * 149.102(\text{inv} 24.83^\circ - \text{inv} 20^\circ) = 3.10\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{1}{2\pi} [z_1(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha') + z_2(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha')] \\ &= \frac{72}{\pi} (\tan 24.83^\circ - \tan 21.207^\circ) = 1.71\end{aligned}$$

1.2 参考第五项中的尺寸，用作图法求出双曲柄机构 GHMN 的 12 个位置图以及与之相应的速度矢量图，据此确定相应位置的滚筒圆周速度（每隔  $30^\circ$  一个），并标明其中双曲柄机构 GHMN 的最小传动角所在位置。

见附图一

## 2. 平台传动链的机构选型、参数设计和运动分析

2.1 给定平台的行程为 620mm，根据第五项中的参考尺寸，计算确定曲柄连杆机构 DEF 中的曲柄长度  $L_{DE}$ 。

平台的行程为 620mm，故 F 点的行程为 310mm

$L_{EF} = 520$ ,  $e = 50$ ，设  $L_{DE} = x$

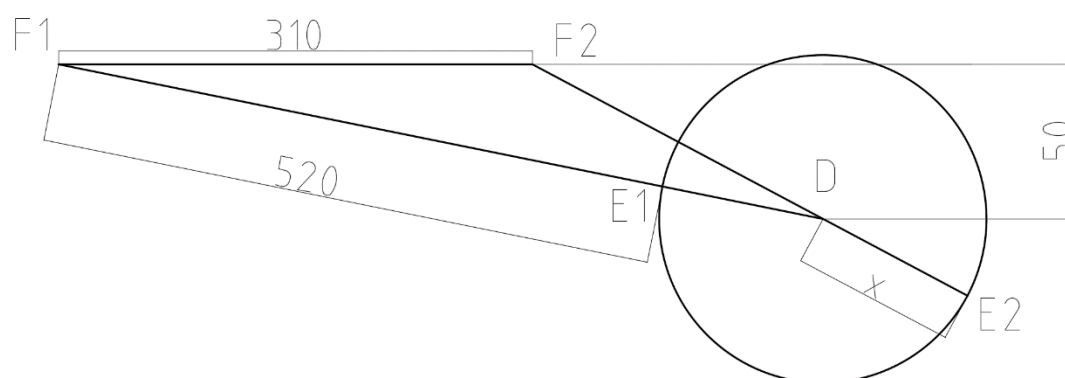


图 2.1.1：曲柄 DE 及杆 EF 位移简图

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

解得  $x = 154.21$

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  $30^\circ$  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  $\varphi_{AB}$  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。

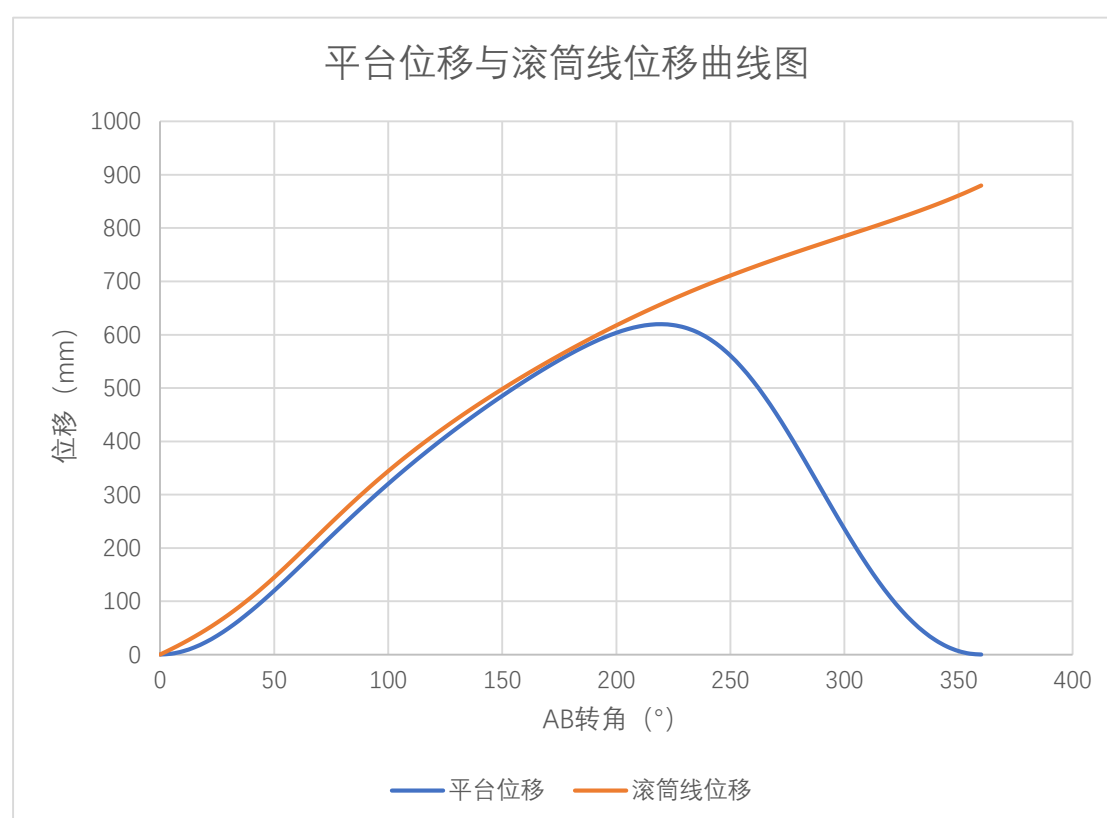


图 3.1.1：滚筒圆周位移曲线与平台位移曲线图

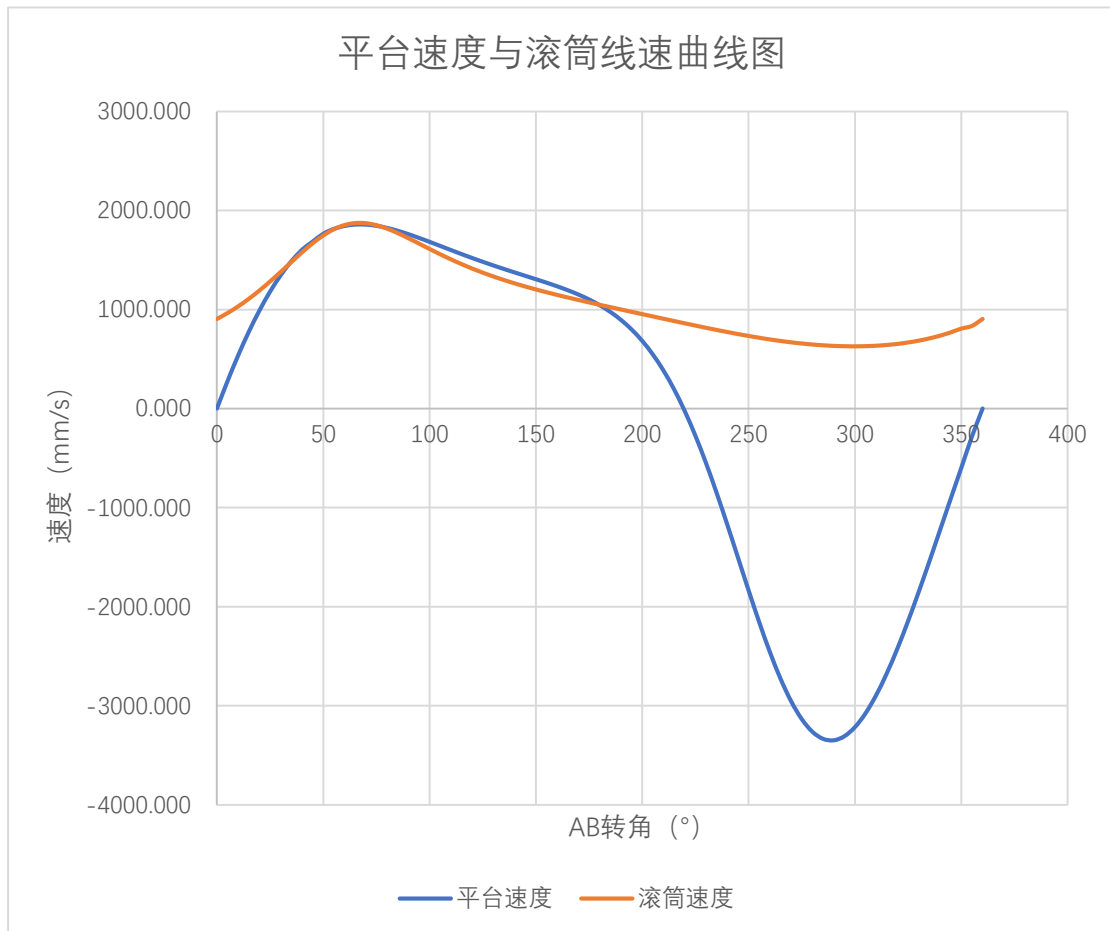


图 3.1.2：滚筒圆周速度曲线以及平台速度曲线图

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:取 AB 转角为  $34^{\circ}$  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  $155^{\circ}$ 。

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  $100^{\circ}$  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  $34^{\circ}$  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：

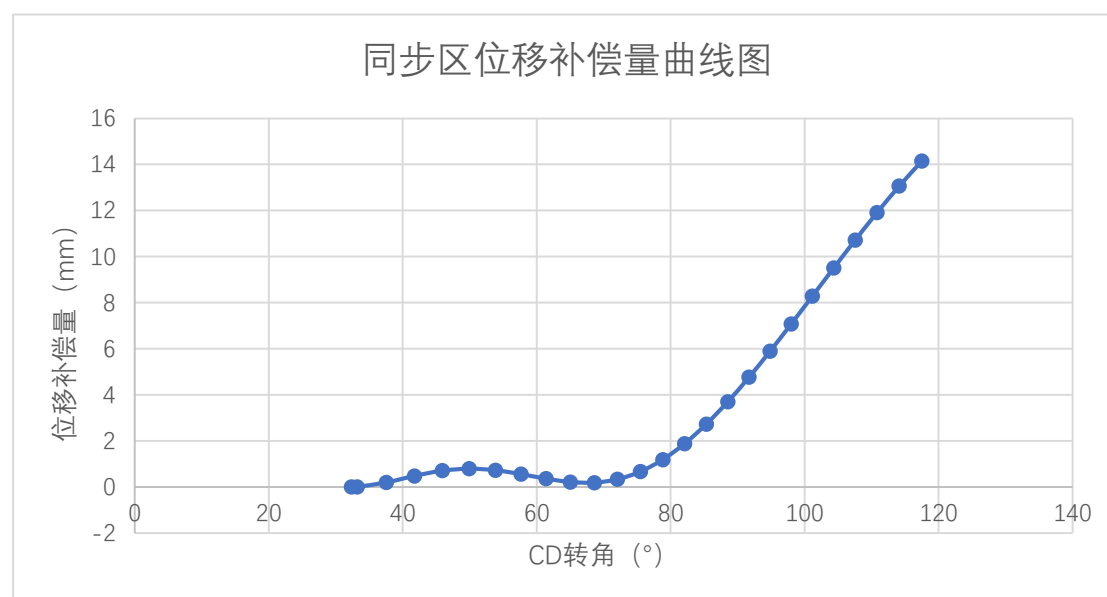


图 3.3.1：同步区的位移补偿量曲线图

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  $100^{\circ}$  左右，故 CD 转角在  $220^{\circ}$  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  $125^{\circ}$  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  $117.517^{\circ}$  为

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

其中 $v_p$ ,  $v_q$ 分别为凸轮转角为  $117.517^\circ$  时的平台速度与滚筒速度。 $\omega$ 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  $125^\circ$  与  $117.517^\circ$  时的位移之差 $\delta_x = 0.778mm$

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 $h = h_0 + \delta_x = 14.147 + 0.778 = 14.925mm$

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
Fai_CD = [117.517;125];
x1 = 14.147;
v1 = 1269.937;
v2 = 1175.302;
omega = 4500/3600*360;
k = (v1-v2)/omega;
theta_k = atan(k);
R = (Fai_CD(2)-Fai_CD(1))/sin(theta_k);
delta_x = R*(1-cos(theta_k));
% 复位区结束补偿量计算
h = x1+delta_x;
Delta_t = 100;
f = @(Delta_1) (h*(1-(Delta_1/Delta_t)+1/2/pi*sin(Delta_1/Delta_t*2*pi)));
Delta_1 = 0:5:100;
s = f(Delta_1);
% 绘制补偿量曲线
% 已知圆弧的起点和终点
startPoint = [Fai_CD(1), x1];
endPoint = [Fai_CD(2), h];
center = [Fai_CD(2), h-R];
% 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));
theta2 = atan2(endPoint(2) - center(2), endPoint(1) - center(1));
% 生成圆弧上的点
t = linspace(theta1, theta2, 100);
arcX = center(1) + R * cos(t);
arcY = center(2) + R * sin(t);
% 绘制最终补偿曲线
x = [arcX,Delta_1+arcX(100)];
y = [arcY,s];
plot(x,y)
```

```
xlabel("凸轮转角°")
ylabel("补偿量 mm")
title("复位区位移补偿量曲线图")
```

故复位区的位移补偿量为：

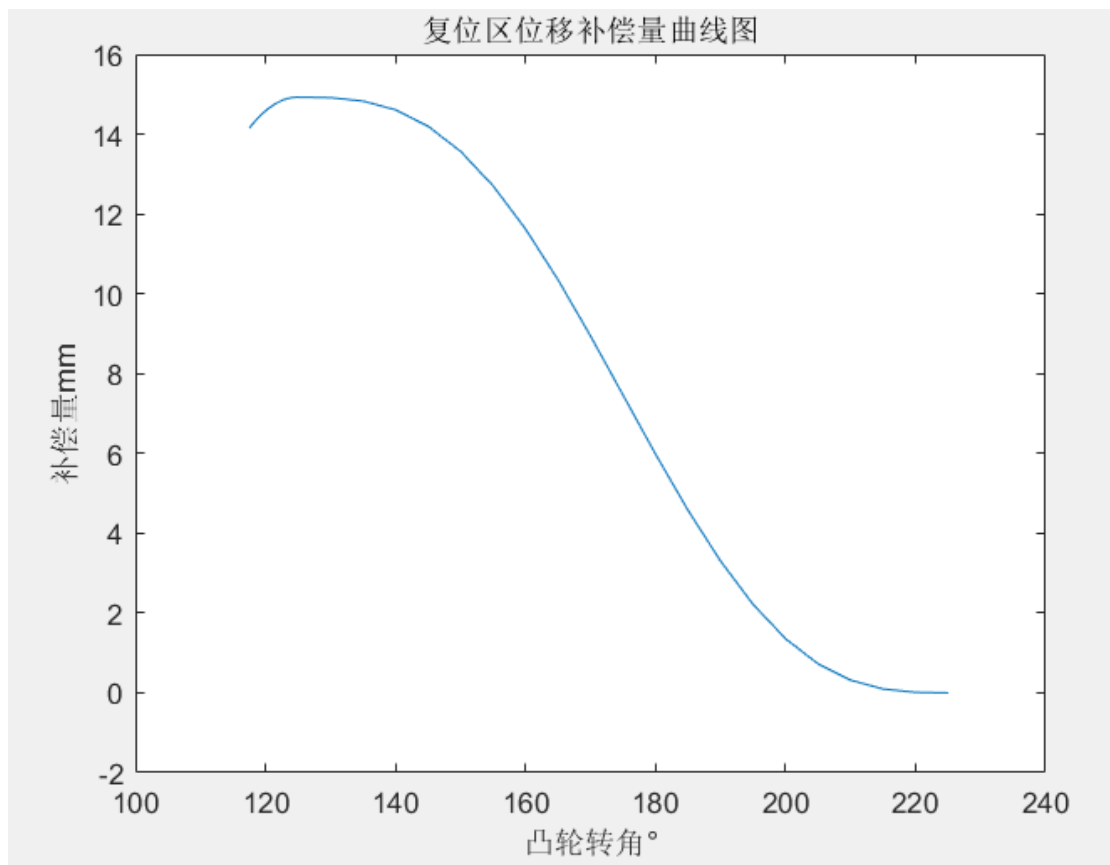


图 3.3.2：复位区的位移补偿量曲线图

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。

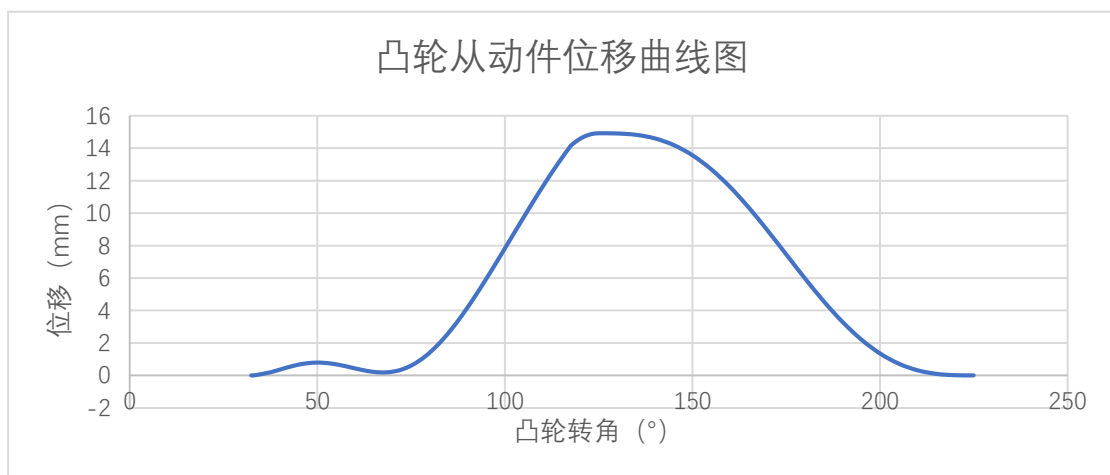


图 3.4.1：凸轮从动件位移曲线图



### 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  $180^\circ$  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：

$$r_{\max} = r_b - r_g + s_{\max} = 90 - 25 + 14.925 = 79.925\text{mm}$$

最小径向尺寸为：

$$r_{\min} = r_b - r_g + s_{\min} = 90 - 25 + 0 = 65.00\text{mm}$$

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

四杆机构求解程序

`%% 设置参数`

`LAB = 116; LBC = 100; LCD = 100; LDA = 37;`

`LGH=100;LHM=100; LMN=95; LNG=40;`

`m=4; r3=136;r4=136;r8=100;`

`e=50;LEF=520; a_CDE= 177/360*2*pi;`

`rb = 90; rg = 25;`

`omega = 4500/3600*2*pi;`

`%初始角度`

`Fai_GH0 = 57.109/360*2*pi; Fai_AB0 = 115.66/360*2*pi;`

`for i = 1:360`

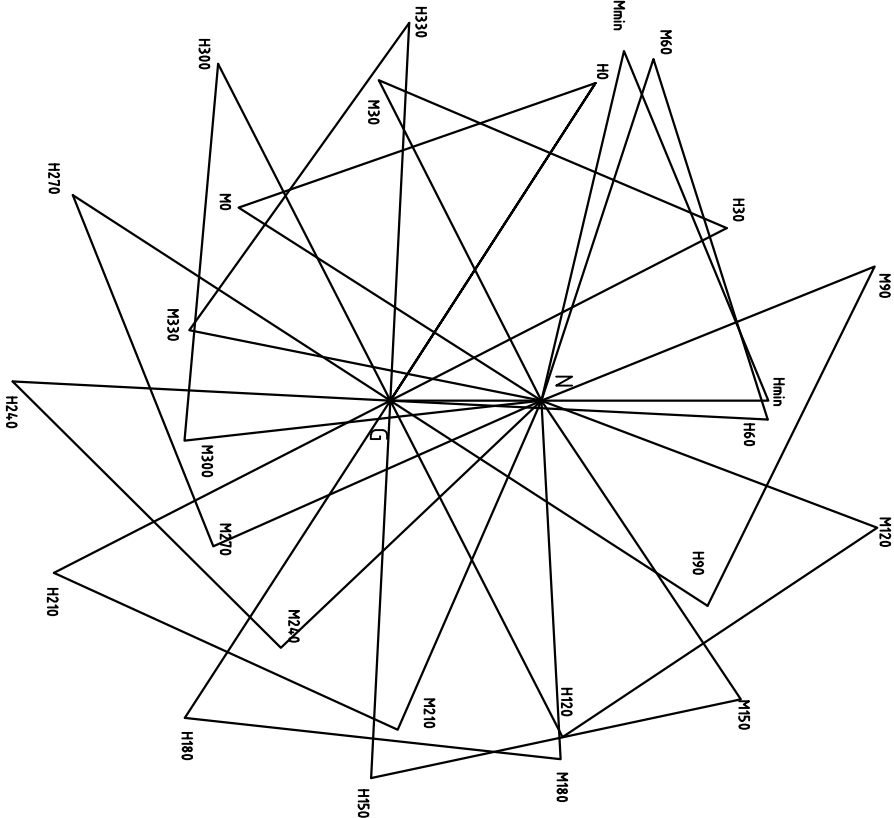
```

Fai = i-1;
Fai_AB = Fai/360*2*pi; % AB 转角(弧度制)
%% 双曲柄 ABCD 求解
[theta,omega] = crank_rocker(Fai_AB+Fai_AB0,omiga,LAB,LBC,LCD,LDA);
theta_CD_list(i,2) = theta/pi*180 ; theta_CD_list(i,1) = Fai;
omega_CD = omega(2);
%% 曲柄滑块 DEF 求解
% [s,v] = slider_crank()
end
theta_CD_list(:,2) = theta_CD_list(:,2)-theta_CD_list(1,2);
function [theta3,omega] = crank_rocker(theta1,omega1,l1,l2,l3,l4)
    %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
function [s3,v3] = slider_crank(theta1,omega1,l1,l2,e)
    %计算线位移
    theta2 = asin((e-l1*sin(theta1))/l2);
    s3 = l1*cos(theta1)*l2*cos(theta2);

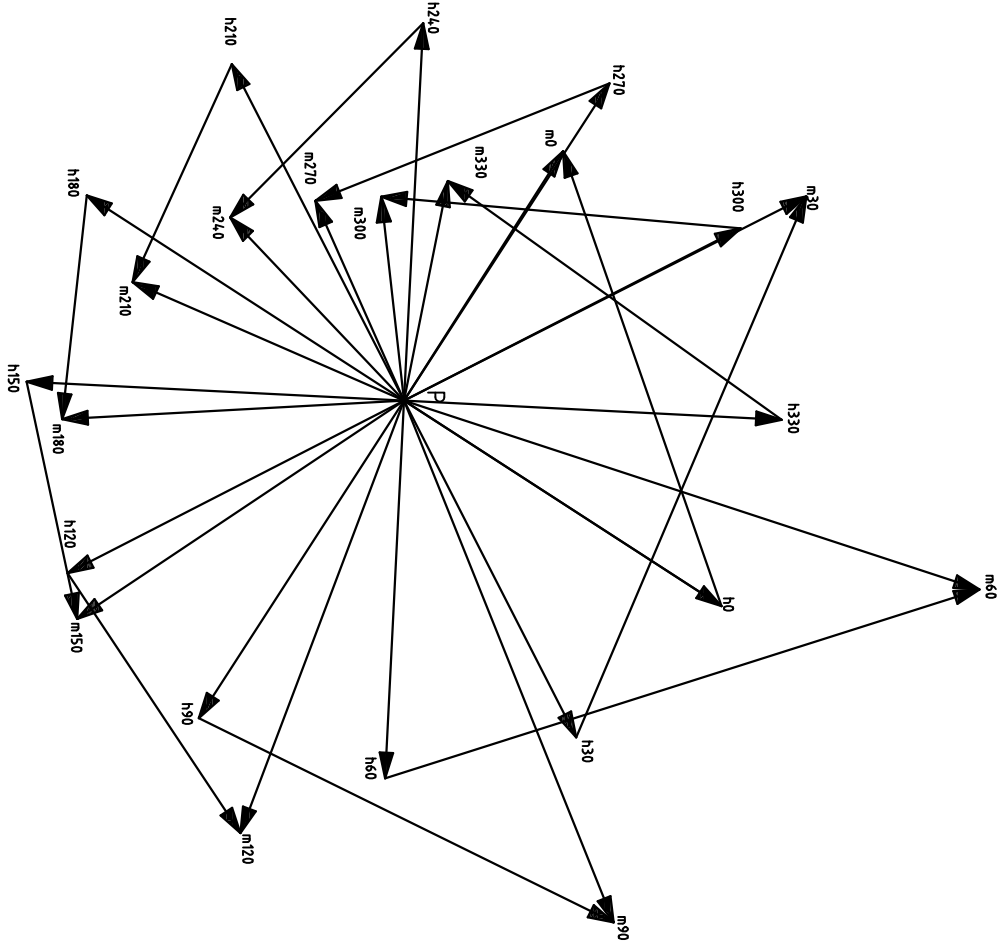
    %计算线速度
    A = [l2*sin(theta2),1;
        -l2*cos(theta2),0];
    B = [-l1*sin(theta1);l1*cos(theta1)];
    omega = A\(\omega1*B);
    v3 = omega(2);
end

```

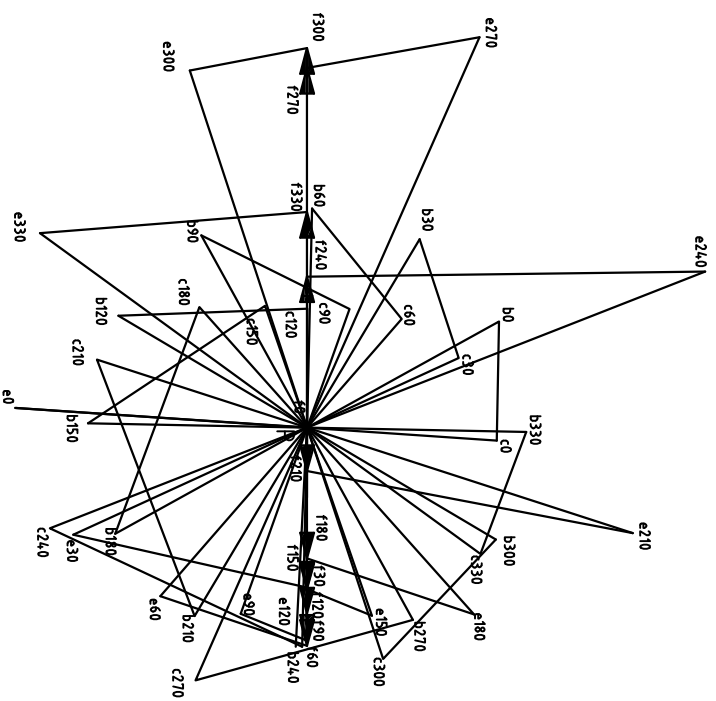
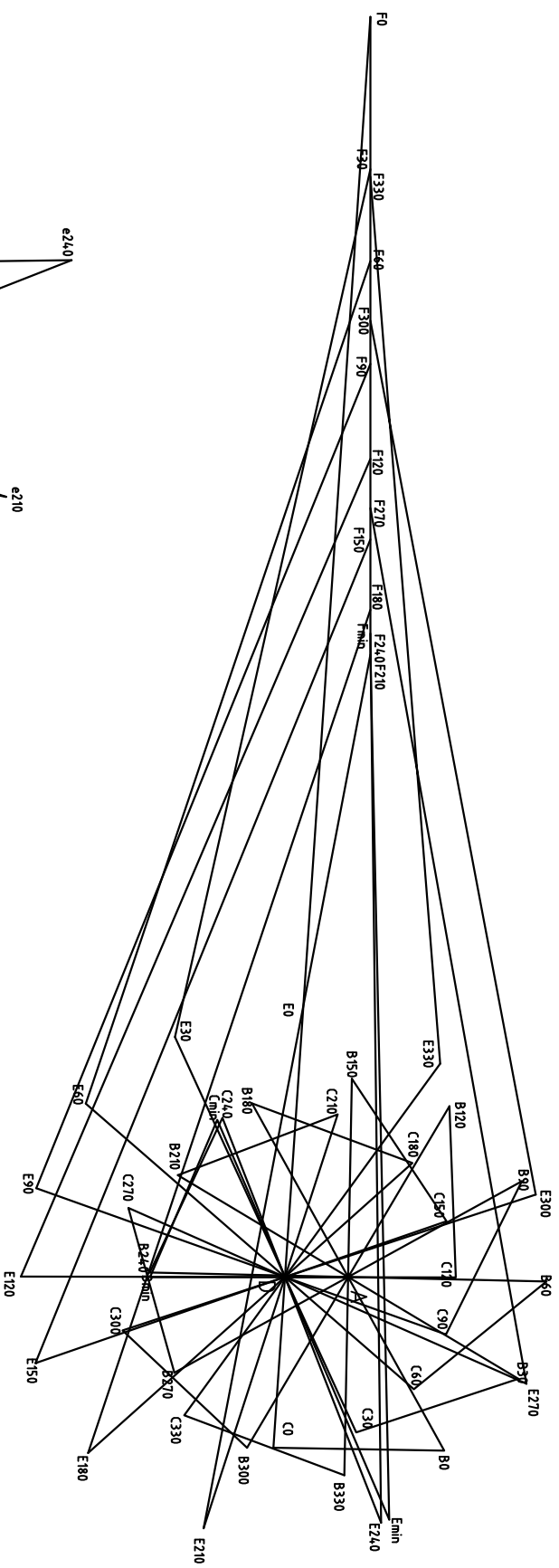
$\mu = 1$



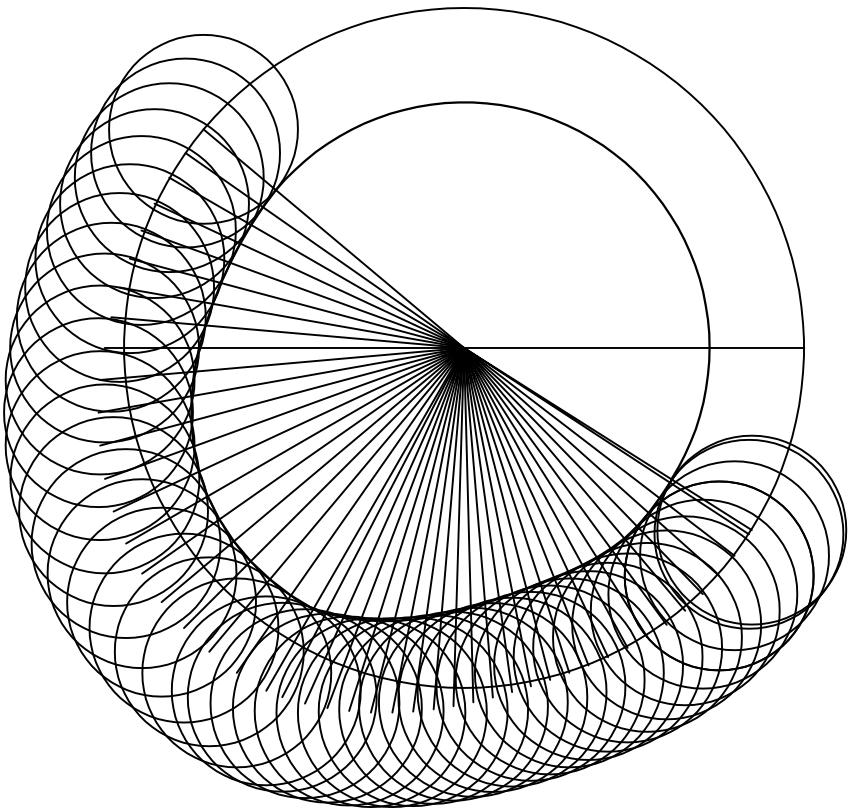
$\mu v = 7.853(\text{mm/s})/\text{mm}$



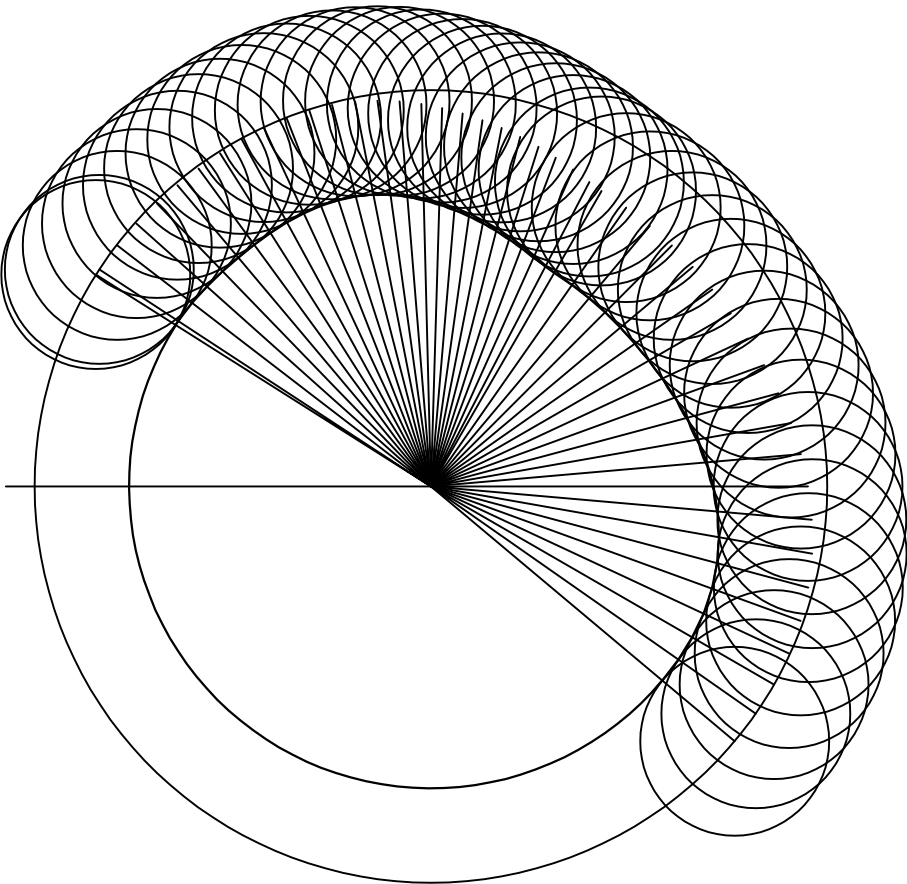
										浙江大学			
										附图一			



浙江大学									
<div> <div>材料标记</div> <div> <div>数量</div> <div>比例</div> </div> </div>									
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年、月、日				
设计	(姓名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)				
审核									
工艺									



主凸轮  $\mu=1$



回凸轮  $\mu=1$

										浙江大学	
										附图三	

