

# 《自动机械机构设计》的 计算机程序设计

(上机实验指导书)

编著 王良文

郑州轻工业学院机电学院机械设计及自动化系

学生 曹璐 班级 机设035 学号 10

# 目录

|    |                       |    |
|----|-----------------------|----|
| 一、 | 杆机构运动分析的计算机程序设计.....  | 1  |
| 二、 | 杆机构运动综合的计算机程序设计.....  | 8  |
| 三、 | 凸轮机构运动规律的计算机程序设计..... | 20 |

## 一. 杆机构运动分析的计算机程序设计

### 1. 实验目的

在学习杆机构运动分析通用理论方法(步骤)的基础上,掌握采用计算机分析杆机构运动的手段与方法。结合实际机构,通过编程及上机调试,熟悉程序设计的关键技术。

### 2. 杆机构运动分析的基本思想

- 1) 对于给定的机构,依其独立的闭环列出环路向量。
- 2) 将环路向量展开,获得位移方程组。
- 3) 对位移方程求导,获得速度方程组。
- 4) 对速度方程求导,获得加速度方程组。
- 5) 位移方程组通常为非线性方程组,需采用牛顿迭代法求解。速度、加速度方程组为线性方程组,采用高斯法求解。

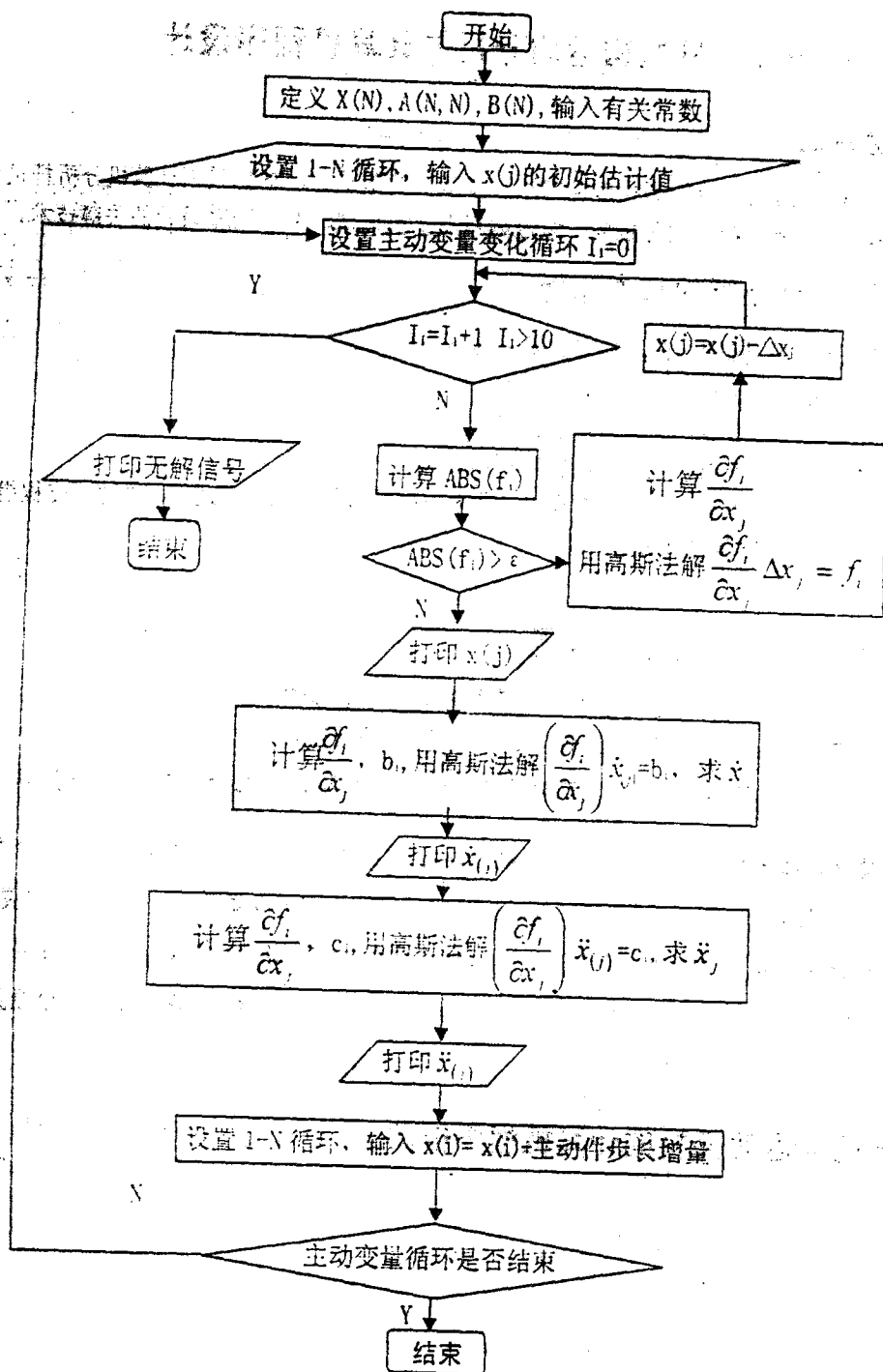
### 3. 程序设计中应该注意的问题

- 1) 位移方程的雅可比矩阵奇异点,在程序设计中必须注意判别。
- 2) 用牛顿迭代法求解非线性方程时,迭代初值的选择。

如果  $x_j^{(0)}$  值选择不当,太偏离于精确值,迭代可能不收敛,或者收敛于非真实解。

如果只计算一个位置,可用图解法确定机构的位置而确定  $x_j^{(0)}$ 。如果需计算一个循环周期(主动件旋转  $360^\circ$ ),只要主动件(输入)的计算步长增量  $H$  足够小,在第一个位置上,可用图解法确定  $x_j^{(0)}$ ;在其余位置上,可以假定所有变量的增量与主动件的增量相同。即第  $n+1$  个位置上,  $x_j$  的初值估计值  $x_j^{(0)(n+1)} = x_j^{(1)(n)} + H$ 。其中,  $x_j^{(1)(n)}$  为  $x_j$  在第  $n$  个位置的精确解。

### 4. 杆机构运动分析的计算机程序框图





$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -\alpha_4 \sin \phi_4 & -1 \\ -1 & 0 & \alpha_4 \cos \phi_4 & 0 \\ 0 & \cos \phi_4 & -r_3 \sin \phi_4 & 0 \\ -1 & \sin \phi_4 & r_3 \cos \phi_4 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{r}_1 \\ \ddot{r}_3 \\ \ddot{\phi}_4 \\ \ddot{r}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\alpha_2 \sin \phi_2 \dot{\phi}_2 \\ \alpha_2 \cos \phi_2 \dot{\phi}_2 \end{bmatrix}$$

3) 求机构的加速度方程

对方程(3-9)求导有

$$-\alpha_2 \dot{\phi}_2 \sin \phi_2 - \ddot{r}_3 = \alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2$$

$$\alpha_2 \dot{\phi}_2 \cos \phi_2 - \ddot{r}_1 = \alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2$$

$$\ddot{r}_3 \cos \phi_2 - r_3 \ddot{\phi}_2 \sin \phi_2 = -\alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 + 2\dot{r}_3 \dot{\phi}_2 \sin \phi_2 + r_3 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2$$

$$\ddot{r}_1 \sin \phi_2 - r_3 \ddot{\phi}_2 \cos \phi_2 - \ddot{r}_1 = -\alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 - 2\dot{r}_3 \dot{\phi}_2 \cos \phi_2 + r_3 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 \quad (3-10)$$

写成矩阵形式

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -\alpha_2 \sin \phi_2 & -1 \\ -1 & 0 & \alpha_2 \cos \phi_2 & 0 \\ 0 & \cos \phi_2 & -r_3 \sin \phi_2 & 0 \\ -1 & \sin \phi_2 & r_3 \cos \phi_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{r}_1 \\ \ddot{r}_3 \\ \ddot{\phi}_4 \\ \ddot{r}_5 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 \\ \alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 \\ -\alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 + 2\dot{r}_3 \dot{\phi}_2 \sin \phi_2 + r_3 \dot{\phi}_2^2 \cos \phi_2 \\ -\alpha_2 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 - 2\dot{r}_3 \dot{\phi}_2 \cos \phi_2 + r_3 \dot{\phi}_2^2 \sin \phi_2 \end{bmatrix}$$

4) 其雅可比矩阵为

$$A(N, N)_{N \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\alpha_2 \sin \phi_2 & -1 \\ -1 & 0 & \alpha_2 \cos \phi_2 & 0 \\ 0 & \cos \phi_2 & -r_3 \sin \phi_2 & 0 \\ -1 & \sin \phi_2 & r_3 \cos \phi_2 & 0 \end{bmatrix}$$

5) 给定急回机构的  $\dot{\phi}_2 = 1, \ddot{\phi}_2 = 0$ , 分析  $\phi_2$  在  $0-360^\circ$  范围变化时机构的运动。

我们首先需通过图解法, 确定机构在某一位置时的初始估计解。如在  $\phi_2 = 0^\circ$  时,

通过图解法, 确定  $x(1)=r_1=1.1$ ,  $x(2)=r_3=1.4$ ,  $x(3)=\phi_3=1.2$ ,  $x(4)=r_5=0.85$  以下

为采用 BASIC 语言编写的该机构运动分析程序。

```

10 REM fast back mechanism
20 DIM x(4), A(4, 4), B(4)
30 a1 = 1.2: a2 = 1.5: a4 = 3: n = 4
40 FOR i = 1 TO n: INPUT x(i): NEXT i
50 LPRINT "first date r1=": x(1): "r3=": x(2)
60 LPRINT "r4=": x(3): "r5=": x(4)
70 FOR K1 = 0 TO 255 STEP 5
80 t2 = 3.14159 * K1 / 180: LPRINT "t=": K1: t1 = 0
90 t1 = t1 + 1: IF t1 > 10 GOTO 70
100 GOSUB 100
110 FOR i = 1 TO n: IF ABS(B(i)) > .01 THEN 50
120 NEXT i
130 GOTO 60
140 GOSUB 200: GOSUB 1500: FOR i = 1 TO n: x(i) = x(i) - B(i): NEXT i
150 GOTO 20
160 FOR i = 1 TO n: LPRINT x(i): NEXT i
170 GOSUB 200: GOSUB 300: GOSUB 1500: GOTO 75
180 PRINT "iterations exceed 10"
190 GOTO 80

200 FOR i = 1 TO n: LPRINT "vel": i: "=": B(i): NEXT i
210 u1 = B(1): u2 = B(2): u3 = B(3): u4 = B(4): GOSUB 200: B(1) = u1: B(2) = u2: B(3) = u3: B(4) = u4
220 FOR i = 1 TO n: LPRINT "acc": i: "=": B(i): NEXT i
230 FOR i = 1 TO n: x(i) = x(i) + 3.14159 * 5 / 180: NEXT i
240 NEXT K1
250 END

100 B(1) = a4 * COS(x(3)) - x(4): B(2) = a4 * SIN(x(3)) - a1 - x(2)
110 B(3) = x(2) * COS(x(3)) - a2 * COS(t2): B(4) = x(2) * SIN(x(3)) - a2 * SIN(t2) - a3
120 RETURN

200 A(1, 1) = 0: A(1, 2) = 0: A(1, 3) = -a4 * SIN(x(3)): A(1, 4) = -
210 A(2, 1) = -1: A(2, 2) = 0: A(2, 3) = a4 * COS(x(3)): A(2, 4) = -
220 A(3, 1) = 0: A(3, 2) = COS(x(3)): A(3, 3) = -a2 * SIN(x(3)): A(3, 4) = 0
230 A(4, 1) = -1: A(4, 2) = SIN(x(3)): A(4, 3) = x(2) * COS(x(3)): A(4, 4) = 0: RETURN
300 B(1) = 0: B(2) = 0: B(3) = -a2 * SIN(t2): B(4) = a2 * COS(t2): RETURN
400 B(1) = a4 * u2 * u3 * COS(x(3)): B(2) = a4 * u2 * u3 * SIN(x(3))
410 B(3) = 2 * u2 * u3 * SIN(x(3)) + x(2) * u2 * u3 * COS(x(3)) - a2 * COS(t2)
420 B(4) = -2 * u2 * u3 * SIN(x(3)) - a2 * SIN(t2) - x(2) * u2 * u3 * SIN(x(3)): RETURN
1500 FOR k = 1 TO n - 1: s = 0: FOR i = k TO n: IF ABS(A(i, 2)) > ABS(s) GOTO 1500
1510 s = A(i, 2): u = 1
1600 NEXT i
1610 IF ABS(s) < 1E-09 GOTO 1730
1620 IF m = k GOTO 1650
1630 FOR j = k TO n: u = A(k, j): A(k, j) = A(m, j): A(m, j) = u: NEXT j
1640 u = B(k): B(k) = B(m): B(m) = u
1650 s = 1 / s: FOR j = k + 1 TO n: A(k, j) = A(k, j) * s
1660 FOR i = k + 1 TO n: A(i, j) = A(i, j) - A(i, k) * A(k, j): NEXT i: NEXT j
1670 B(k) = B(k) * s: FOR i = k + 1 TO n: B(i) = B(i) - B(k) * A(i, k): NEXT i: NEXT k
1690 B(n) = B(n) / A(n, n)
1700 FOR i = n - 1 TO 1 STEP -1: FOR j = i + 1 TO n: B(i) = B(i) - B(j) * A(i, j)
1710 NEXT j: NEXT i
1720 GOTO 1750
1730 PRINT "no solution"
1740 STOP
1750 RETURN

```

## 7. 作业

- 1) 请参照上述程序编写 VB 程序, 用于牛头刨床急回机构的运动分析。
- 2) 请根据以上思路, 编写 VB 程序, 用于摇筛机构的运动分析 (教材作业 3-1)。

## 8. 程序清单

- 1) 上机前所编程序

2) 上机调试后的正始清单(可附打印的程序清单)

## 9.上机调试所遇问题及解决方法

上机时间: \_\_\_\_\_

机台号: \_\_\_\_\_

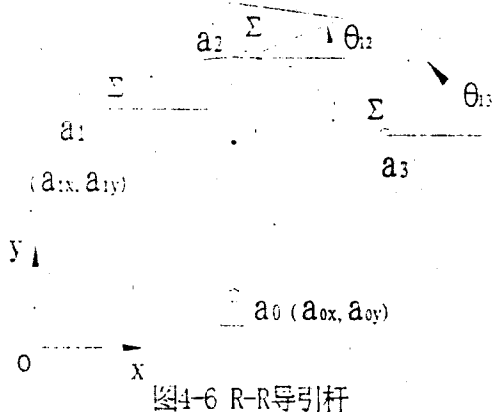
## 二. 杆机构运动综合的计算机程序设计

### 1. 实验目的

在学习杆机构运动综合通用理论方法(步骤)的基础上,掌握采用计算机进行杆机构运动综合的手段与方法。结合实际机构,通过编程及上机调试,熟悉程序设计的关键技术。

### 2. 杆机构运动综合的基本思想

- 1) 杆机构的运动综合问题,通常分为三类:即函数综合、轨迹综合、刚体导引。
- 2) 由于平面连杆机构的运动副只有转动副和移动副,因而作为导引杆的连架构件也只有 R-R 和 P-R 杆两种形式。
- 3) 对于 R-R 导引杆,我们以连杆恒定长度条件建立约束方程。

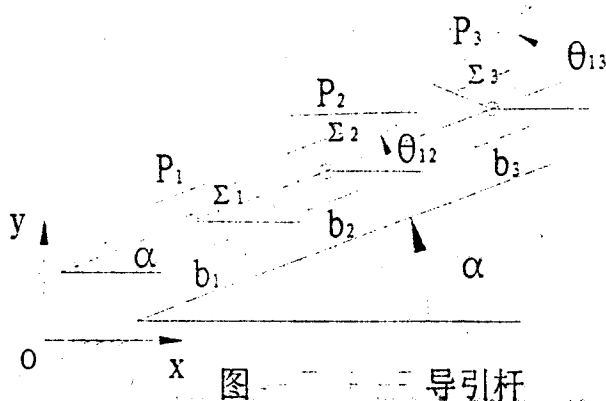


即以  $a_j=(a_{jx}, a_{jy})$  和  $a_0=(a_{0x}, a_{0y})$  表示连架杆铰链的坐标,如图 4-6。由此有连架杆的定长约束方程(又称位移约束方程)。

$$(\overline{a_j} - \overline{a_0})^T (\overline{a_j} - \overline{a_0}) = (\overline{a_1} - \overline{a_0})^T (\overline{a_1} - \overline{a_0}) \quad (j=2, 3, \dots, n) \quad (4-1)$$

$$\text{或者} \quad (a_{jx} - a_{0x})^2 + (a_{jy} - a_{0y})^2 = (a_{1x} - a_{0x})^2 + (a_{1y} - a_{0y})^2 \quad (j=2, 3, \dots, n) \quad (4-2)$$

- 4) 对于 P-R 杆,它与被导引构件的连杆组成转动副 R,而与机架组成移动副 P,如图 4-7。



而移动副 P(滑块)沿固定直线道轨上滑动,显然铰接点 b 满足定斜率方程

$$\tan \alpha = \frac{b_{jy} - b_{1y}}{b_{jx} - b_{1x}} = \frac{b_{2y} - b_{1y}}{b_{2x} - b_{1x}} \quad (j=3, 4, \dots, n) \quad (4-3)$$

5) 对于给定的各类机构综合问题, 均采用上述 (4-1), (4-2), (4-3) 式或者其变化形式建立约束方程, 并通过平面刚体位移矩阵将相互联系在一起。位移矩阵为表达式为:

$$\begin{bmatrix} q_x \\ q_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & p_x - p_{1x} \cos \theta + p_{1y} \sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta & p_y - p_{1x} \sin \theta - p_{1y} \cos \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1x} \\ q_{1y} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

6) 通过整理方程, 消去某些不必要的参数, 即可使约束方程变为设计方程。

7) 当需要综合问题的位置较少时, 我们可以通过变化方程直接求解问题。

8) 当需要综合问题的位置较多时, 我们可以先综合出能实现其中几个位置功能的机构, 然后给定机构中某一参数以一系列的值变化, 求出一系列的其它值, 由此可得一系列的点  $a_{0i}(a_{0xi}, a_{0yi})$  和对应的圆点  $a_{1i}(a_{1xi}, a_{1yi})$ , 将这一系列的  $a_{0i}$  连成曲线, 成为圆心曲线; 将对应的一系列  $a_{1i}$  连成曲线, 成为圆点曲线。

9) 有了圆点曲线和圆心曲线以后, 就可根据其它条件, 如结构安装条件, 曲柄存在条件, 压力角要求等, 择优选择一对对应的点作为导引构件的动铰点和固定铰接点, 从而决定导引构件的长。

10) 对于更多位置的机构综合问题, 我们可能需求多条圆点曲线 (或圆心曲线) 的相交问题, 如果无交点, 则设计问题可能无解。如果有交点, 也需进行校验。

11) 无论任何问题, 我们均需对设计结果进行校验。

### 3. 以 刚体导引机构的综合问题说明相关过程

#### 1) 问题

如图 4-8, 已知连杆的三个位置, 即连杆上 P 点的三个位置及连杆的两个转角:  $P_1=(1.0, 1.0)$ ,  $P_2=(2.0, 0.5)$ ,  $\theta_{12}=0^\circ$ ,  $P_3=(3.0, 1.5)$ ,  $\theta_{13}=45^\circ$ , 综合该四杆导引机构。

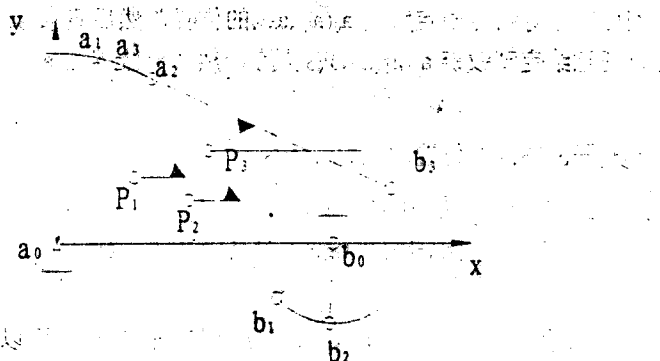


图4-8 四杆导引机构

#### 2) 求解思路:

以一侧的 R—R 导引杆综合过程为例

a) 首先设定铰点的坐标为  $a_0(a_{0x}, a_{0y})$ , 动铰点在第一个位置的坐标为  $a_1(a_{1x}, a_{1y})$

由 R—R 杆的定长约束条件有方程

$$(a_{2x}-a_{0x})^2+(a_{2y}-a_{0y})^2=(a_{1x}-a_{0x})^2+(a_{1y}-a_{0y})^2 \quad (4-4)$$

$$(a_{3x}-a_{0x})^2+(a_{3y}-a_{0y})^2=(a_{1x}-a_{0x})^2+(a_{1y}-a_{0y})^2 \quad (4-5)$$

b) 以刚体平面运动的位移矩阵将其相互联系在一起

$$\begin{bmatrix} a_{jx} \\ a_{jy} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{lj} & -\sin\theta_{lj} & p_{jx}-p_{1x}\cos\theta_{lj}+p_{1y}\sin\theta_{lj} \\ \sin\theta_{lj} & \cos\theta_{lj} & p_{jy}-p_{1x}\sin\theta_{lj}-p_{1y}\cos\theta_{lj} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (j=2, 3) \quad (4-6)$$

c) 整理相关方程, 即将 (4-6) 式代入式 (4-4)、式 (4-5), 并展开, 可得只含有  $a_0(a_{0x}, a_{0y})$  和  $a_1(a_{1x}, a_{1y})$  四个未知数的综合方程

$$(d_{11}a_{1x}+d_{12}a_{1y}-d_{13}-a_{0x})(d_{11}a_{1x}+d_{12}a_{1y}+d_{13}-a_{0x})+(d_{21}a_{1x}+d_{22}a_{1y}+d_{23}-a_{0x})(d_{21}a_{1x}+d_{22}a_{1y}+d_{23}-a_{0x}) \\ = (a_{1x}-a_{0x})^2+(a_{1y}-a_{0y})^2 \quad (j=2, 3) \quad (4-8)$$

式中

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_{lj} & -\sin\theta_{lj} & p_{jx}-p_{1x}\cos\theta_{lj}+p_{1y}\sin\theta_{lj} \\ \sin\theta_{lj} & \cos\theta_{lj} & p_{jy}-p_{1x}\sin\theta_{lj}-p_{1y}\cos\theta_{lj} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{1lj} & d_{12j} & d_{13j} \\ d_{2lj} & d_{22j} & d_{23j} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (j=2, 3) \quad (4-8a)$$

因为以上方程中, 含有四个未知数  $a_{0x}, a_{0y}, a_{1x}, a_{1y}$ , 可以预先给定四个未知数中的任意两个, 从而得到只有两个未知数的两个线性方程。

如我们可以任意给定固定铰链  $a_0(a_{0x}, a_{0y})$  的位置, 然后直接求出  $a_{1x}, a_{1y}$ 。

也可以任意给定动铰链  $a_1(a_{1x}, a_{1y})$  的位置, 然后直接求出  $a_{0x}, a_{0y}$ 。

### 3) 给定连杆平面的四个位置时

上述同样问题, 则方程扩展为

$$(a_{jx}-a_{0x})^2+(a_{jy}-a_{0y})^2=(a_{1x}-a_{0x})^2+(a_{1y}-a_{0y})^2 \quad (j=2, 3, 4) \quad (4-25)$$

上式包含四个未知量:  $a_{0x}, a_{0y}, a_{1x}, a_{1y}$ , 共有三个非线性方程。可以预先给定四个未知量中的任一个, 通过解非线性方程组求解其余三个。也可以给定其中任一个未知量一系列的值, 而求出一系列的其他三个值。如给定一系列的  $a_{0x}$ , 便可得一系列的  $a_{0i}(a_{0xi}, a_{0yi})$  点 (也称为中心点, 因为当机构中的连杆作平面运动时, 连杆与连架杆的铰链点在作圆或者圆弧运动。而圆弧的中心则是连架杆与机架固定铰接点, 即  $a_{0i}$ ) 和对应的  $a_{1i}(a_{1xi}, a_{1yi})$  (也称为圆点, 因为当机构中的连杆作平面运动时, 连杆与连架杆的铰链点在作圆或者圆弧运动。位于一个圆弧上的某一点, 就是连杆与连架杆的一个铰链点, 即  $a_{1i}$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, k$ 。将这一系列的  $a_{0i}$  连成曲线称为圆心曲线; 将对应的一系列  $a_{1i}$  连成曲线称为圆点曲线。

(应注意的是: 使用圆点曲线和圆心曲线综合导引构件 R-R 时, 必须一一对应, 即只能  $a_{0i}$  与  $a_{1i}$  相联, 不能错开。)

有了圆点曲线和圆心曲线以后, 就可根据其它条件, 如结构安装条件、曲柄存在条件、压力角要求等, 择优选择一对对应的点作为导引构件的动铰接点和固定铰接点, 从而决定导引构件的长。

#### 4). 给定连杆平面的五个位置时

五个位置是平面导引机构所能给定的连杆平面的最大位置数。此时, 由 R-R 导引杆的定长约束条件可得四个位移约束方程, 由四个方程组成的非线性方程组解四个未知量。因较难给出一个保证能收敛到解的初值, 所以通常采用计算两个四个位置问题的办法, 即求 1, 2, 3, 4 位置和 1, 2, 3, 5 位置圆点曲线(或圆心曲线)的交点。如果两组四个位置的圆点曲线(或圆心曲线)无交点, 则无解。如果有交点, 也可能只能装配, 而不能连续运动, 或者运动顺序不对, 需对相关约束条件进行校验。

### 4. 杆机构运动综合的计算机程序框图

以综合三个连杆位置的四杆导引机构为例。

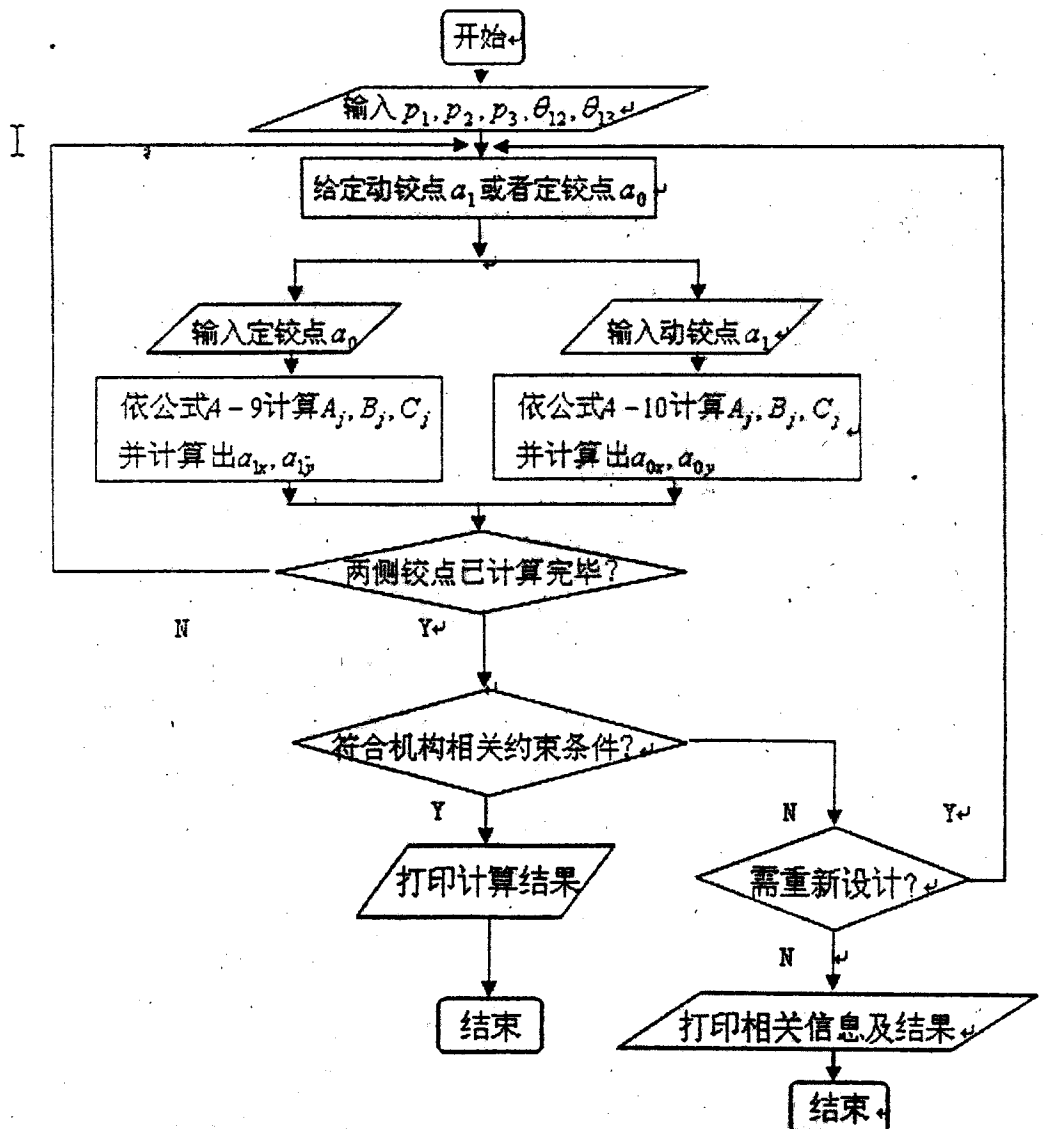


图 4-9 连杆机构三位置综合计算机程序流程

图 4-8 所示为图 4-7 所示机构中各构件的质心位置及转动惯量分布图。

图 4-8 质心位置及转动惯量分布图

## 5. 实例

以所给的图 4-8，编写的 VB 程序清单

程序原始画面 (注意: text 的序号不可变)

工程1 Microsoft Visual Basic [设计] - [Form1 (Form)]

文件(F) 编辑(E) 视图(V) 工程(O) 格式(O) 调试(D) 运行(R) 查询(Q) 连接(C) 工具(T) 外接程序(A) 窗口(W) 帮助(H)

3, -105 11525 x 8220

### R-R刚体引导综合界面

**相关参数区:**

A2= Text9  
B2= Text10  
C2= Text11  
A3= Text12  
B3= Text13  
C3= Text14

**类别选择:**

☐ 已知定纹点的坐标  
☐ 已知动纹点的坐标

**操作步骤如下:**

相关参数计算 (已知定纹点坐标)    相关参数计算 (已知动纹点坐标)

详细解输出

**已知数据区:**

P1X= Text1    P1Y= Text5  
P2X= Text2    P2Y= Text6  
P3X= Text3    P3Y= Text7  
P1与P2的夹角= Text4    P1与P3的夹角= Text8

**定纹点的坐标:**

a0x= Text15    b0x= Text17  
a0y= Text16    b0y= Text18

**动纹点的坐标:**

a1x= Text19    b1x= Text21  
a1y= Text20    b1y= Text22

程序运行时画面

R-R刚体引导的综合

### R-R刚体引导综合界面

**相关参数区:**

A2= 1  
B2= 5  
C2= 4.625  
A3= 3.5464466  
B3= 1.4748731  
C3= 10.308271

**类别选择:**

☐ 已知定纹点的坐标  
☐ 已知动纹点的坐标

**操作步骤如下:**

相关参数计算 (已知定纹点坐标)    相关参数计算 (已知动纹点坐标)

详细解输出

**已知数据区:**

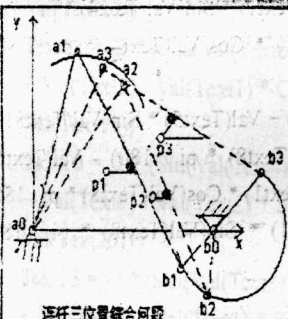
P1X= 1.0    P1Y= 1.0  
P2X= 2.0    P2Y= 0.5  
P3X= 5.0    P3Y= 1.5  
P1与P2的夹角= 0    P1与P3的夹角= 45

**定纹点的坐标:**

a0x=    b0x= 5.0  
a0y=    b0y= 0.0

**动纹点的坐标:**

a1x=    b1x= 3.6310106  
a1y=    b1y= -1.987978



连杆三位置综合问题

```

* Private Sub Form_Load()
    Text1 = "1.0": Text2 = "1.0": Text3 = "0": Text4 = "0": Text5 = "1.5": Text6 = "45": Text7 = "": Text8 = "": Text9 = "": Text10 = "": Text11 = "": Text12 = "": Text13 = "": Text14 = "": Text15 = "": Text16 = "": Text17 = "": Text18 = "": Text19 = "": Text20 = "": Text21 = "": Text22 = "":
    Option1 = True: Picture1 = LoadPicture("e:/1.bmp")
End Sub

* Private Sub Command1_Click()
    pi = 3.1415926
    If Text15 <> "" And Text16 <> "" Then
        Text9 = Cos(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text15) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text18) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180))
        Text12 = Cos(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text15) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text16) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180))
        Text10 = -Sin(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text16) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text15) - Cos(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180))
        Text13 = -Sin(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text16) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text15) - Cos(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180))
        Text11 = (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text15) + (Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text16) - ((Val(Text4) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180)) ^ 2 + (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) ^ 2) / 2
        Text12 = (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text15) + (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text16) - ((Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) ^ 2 + (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180)) ^ 2) / 2
    End If
    If Text17 <> "" And Text18 <> "" Then
        Text9 = Cos(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text17) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text18) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180))
        Text12 = Cos(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text17) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text18) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180))
    End If

```

```

Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text18) + Sin(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text7) - Val(Text1)) *
Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180))
Text10 = -Sin(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) +
Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text4) * pi / 180)) * Val(Text18) +
Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text17) - Cos(Val(Text4) * pi / 180) * (Val(Text6) - Val(Text1) *
Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180))
Text13 = -Sin(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) -
Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180)) + (1 - Cos(Val(Text8) * pi / 180)) * Val(Text18) +
Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text17) + Cos(Val(Text8) * pi / 180) * (Val(Text7) - Val(Text1) *
Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180))
Text11 = (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) + Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi /
180)) * Val(Text17) + (Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) *
Cos(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text18) - ((Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) -
Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180))) ^ 2 + (Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) +
Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) ^ 2) / 2
Text14 = (Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) + Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi /
180)) * Val(Text17) + (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) *
Cos(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text18) - ((Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) -
Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180))) ^ 2 + (Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) -
Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180)) ^ 2) / 2
End If
End Sub
* Private Sub Command2_Click()
pi = 3.1415926
If Text19 <> "" And Text20 <> "" Then
Text9 = -2 * (Cos(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text19) - Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text20) +
Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) + Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) -
Val(Text19))
Text12 = -2 * (Cos(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text19) - Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text20)
+ Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) -
Val(Text19))
Text10 = -2 * (Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text19) + Cos(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text20)
+ Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) -
Val(Text20))
Text13 = -2 * (Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text19) + Cos(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text20)
+ Val(Text7) - Val(Text1) * Sin(Val(Text8) * pi / 180) - Val(Text5) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) -
Val(Text20))
Text11 = Val(Text19) ^ 2 + Val(Text20) ^ 2 - (Cos(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text19) -
Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text20) + Val(Text2) - Val(Text1) * Cos(Val(Text4) * pi / 180) +
Val(Text5) * Sin(Val(Text4) * pi / 180)) ^ 2 - (Sin(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text19) +
Cos(Val(Text4) * pi / 180) * Val(Text20) + Val(Text6) - Val(Text1) * Sin(Val(Text4) * pi / 180) -
Val(Text5) * Cos(Val(Text4) * pi / 180)) ^ 2
Text14 = Val(Text19) ^ 2 + Val(Text20) ^ 2 - (Cos(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text19) -
Sin(Val(Text8) * pi / 180) * Val(Text20) + Val(Text3) - Val(Text1) * Cos(Val(Text8) * pi / 180) -

```