

王知行 李瑰贤 编著

机械原理电算程序设计

哈尔滨工业大学出版社



7H11
W19

100154

机械原理电算程序设计

王知行 李瑰贤 编著



哈尔滨工业大学出版社

(黑) 新登字第 4 号

内 容 提 要

随着现代科学技术的发展,利用电子计算机对机构进行分析与综合的原理和方法显得日益重要,本书就此为读者提供必要的基本知识。

本书共分八章,包括平面机构的运动分析、受力分析、平面连杆机构设计、平面高副机构设计基础、凸轮机构设计、齿轮机构设计、机械的运转与调速和计算机绘图。在附录中还给出一些常用算法子程序。

书中给出必要的子程序和大量例题,可帮助读者掌握机构分析与综合的方法。在第八章中不仅介绍了计算机绘图的基本知识,其给出的算例还为机构运动的计算机仿真打下基础。全书的程序均是在IBM-PC系列微机上调试通过的。

本书可作为高等院校机械类专业机械原理课的补充教材或课程设计教材,也可作为其它专业师生和工程技术人员的参考书。

3253 56



机 械 原 理 电 算 程 序 设 计

王知行 李瑰贤 编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版
新华书店首都发行所发行
哈尔滨电工学院印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.625 字数 404 千字

1992年2月第1版 1994年12月第2次印刷

印数 1—2000

ISBN 7-5603-0544-X/TP·43 定价:14.8 元

前 言

随着机械学学科的发展和电子计算机应用的日益普及,促使机械原理教学内容在深度和广度上得到进一步提高。为了培养学生利用电子计算机解决实际问题的思维方法和动手能力,并打好机械CAD的基础,总结多年的教学实践,我们编写了《机械原理电算程序设计》一书。该书注意到解决机械工程实际问题的需要和计算机软硬件的发展与提高的情况,在概要地论述各种机构的分析与设计方法并建立必要的数学模型的基础上,用BASIC语言(特别引入QuickBASIC4.0版本的部分新功能)编写出通用性较强的子程序,同时还通过具体实例,说明子程序的用法和主程序的编写方法。书中还编写了计算机图形学及其在机械原理中的应用一章,给出了绘制运动线图和各种机构运动简图程序,其中机构运动动态图形的绘制,为课程设计教学和工程技术人员进行实际机构设计,检验其设计结果提供了有力的工具,也为机构的计算机仿真打下了基础。此外,本书还对机构分析和设计中所需的常用计算方法作了简介,并给出了可以独立调用的子程序。

本书是在哈尔滨工业大学教务处和机械原理教研室的积极支持下编写的,李华敏教授在该书编写过程中进行了指导和审阅,特此致谢。

本书的第一、二、五、六章由王知行编写,第三、四、七章和附录由李瑰贤编写,第八章由朱平和刘福利编写。由于我们的水平有限,书中定有不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

1991.3

目 录

第一章 平面机构的运动分析	(1)
§1-1 平面机构的组成.....	(1)
§1-2 构件上点的运动分析.....	(2)
§1-3 RRR II 级组的运动分析.....	(4)
§1-4 RRP II 级组的运动分析.....	(10)
§1-5 RPR II 级组的运动分析.....	(15)
§1-6 RPP II 级组的运动分析.....	(19)
§1-7 PRP II 级组的运动分析.....	(23)
§1-8 应用举例.....	(28)
习 题.....	(40)
第二章 平面机构的动态静力分析	(42)
§2-1 平面机构受力分析的基本知识.....	(42)
§2-2 RRR II 级组的受力分析.....	(43)
§2-3 RRP II 级组的受力分析.....	(46)
§2-4 RPR II 级组的受力分析.....	(48)
§2-5 RPP II 级组的受力分析.....	(50)
§2-6 PRP II 级组的受力分析.....	(50)
§2-7 主动件的力分析.....	(51)
§2-8 应用举例.....	(52)
习 题.....	(58)
第三章 平面连杆机构及其设计	(61)
§3-1 概述.....	(61)
§3-2 按给定传动角设计四杆机构.....	(65)
§3-3 按给定行程速比变化系数设计四杆机构.....	(70)
§3-4 按给定两连架杆的对应位置设计四杆机构.....	(75)
习 题.....	(84)
第四章 平面高副机构的设计基础	(85)
§4-1 瞬心线机构设计.....	(85)
§4-2 共轭曲线机构.....	(96)
习 题.....	(113)
第五章 凸轮机构设计	(115)
§5-1 从动件常用运动规律.....	(115)
§5-2 凸轮机构的压力角和最小基圆半径.....	(121)
§5-3 盘形凸轮轮廓曲线设计.....	(131)

§5-4 应用举例	(138)
习 题	(151)
第六章 齿轮机构设计	(152)
§6-1 渐开线及渐开线函数	(152)
§6-2 渐开线直齿圆柱齿轮的基本尺寸及传动质量指标	(156)
§6-3 变位系数的选择	(165)
习 题	(177)
第七章 机械的运转及其速度波动的调节	(179)
§7-1 研究机械系统动力学的目的和本章电算程序设计的主要内容	(179)
§7-2 机械系统运动方程式	(179)
§7-3 用解析法求机器的真实运动	(180)
§7-4 机器速度波动调节的基本知识	(203)
§7-5 飞轮转动惯量的计算	(204)
第八章 计算机图形学及其在机械原理中的应用	(217)
§8-1 硬件环境	(217)
§8-2 BASIC绘图令指	(219)
§8-3 应用举例	(228)
附录 常用算法及其 BASIC程序	(245)
一、方程求根	(245)
二、线性方程组的求解	(249)
三、梯度法解非线性方程组	(253)
四、函数插值	(257)
五、数值积分	(259)
六、微分	(264)
七、龙格库塔法求解一阶微分方程组	(265)
八、一维优化的黄金分割法	(270)
参考文献	(274)

第一章 平面机构的运动分析

机构运动分析的目的，首先在于决定机构中各构件的位置，以及某些构件上特定点的轨迹，以确定机构的行程或外形尺寸；其次是决定各构件的角速度、角加速度及某些点的速度和加速度等运动参数，以便研究并评价机构的运动及动力性能。总之，运动分析是了解、分析现有机械或优化综合新机械的基本手段。

运动分析的方法有图解法和解析法之分，为了应用计算机算题或进行课程设计，本书只讨论解析法。本章主要讨论 I 级机构和各种 II 级基本杆组的运动分析，方法是根据机构的矢量封闭条件，建立机构的位置方程式，然后将位置方程对时间求导，即得速度方程和加速度方程。本章还通过多个例题说明 II 级机构的运动分析方法及各子程序的使用方法。

§1-1 平面机构的组成

平面连杆机构又称为平面低副机构（平面高副机构可以按照一定条件转化为低副机构），按其组成原理，可以将它看成由 I 级机构（由主动件和机架组成）和若干个自由度为 0 的基本杆组（阿苏尔组）所组成。当给定 I 级机构的运动规律后，机构中各基本杆组的运动是确定的、可解的。因此，机构的运动分析，可以从 I 级机构开始，通过逐次求解各基本杆组来完成。这样，把 I 级机构和各类基本杆组看成各自独立的单元，分别研究其运动分析并编写出相对独立的子程序，在对不同机构进行运动分析时，只要依次调用相应的子程序即可完成。

图 1-1 a) 中的六杆机构，可以看成由图 1-1 b) 的 I 级机构与图 c) 和 d) 的自由度为 0 的基本杆组所组成。对它进行运动分析时，可依次调用 I 级机构和两个基本杆组运动分析子程序来完成。

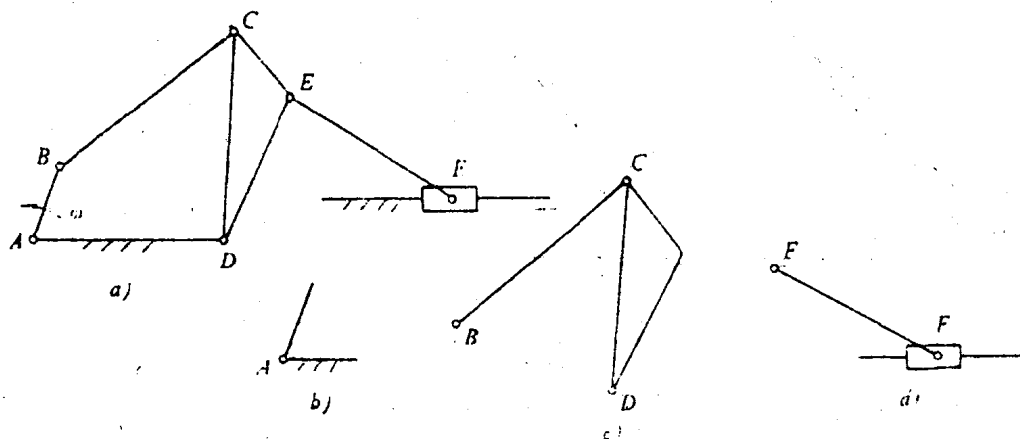


图 1-1

平面低副机构的基本杆组的条件为

$$3n - 2P_L = 0$$

式中 n 为活动构件数, P_L 为低副数; 它们均应为整数, 因此, 基本杆组的组合有: $n=2, P_L=3; n=4, P_L=6; \dots$

最简单的基本杆组是由两个构件三个低副组成的, 称为 I 级杆组, 它是应用得最广的基本杆组。对于 II 级杆组和 IV 级杆组, 由于实际应用较少, 并限于机械原理课程基本要求的规定, 本书不予讨论。

低副又有回转副 (Revolute pair, 用 R 代表) 与移动副 (Prismatic pair, 用 P 代表) 之分, 故由两个构件和三个低副组成的 I 级杆组, 根据 R 副和 P 副的数目和排列的不同, 可以有表 1-1 所示的杆组的类型。其中第二种 RRP 和第五种 PRR 杆组, 第四种 RPP 和第七种 PPR 杆组属于同一类型, 实际上, I 级基本杆组就只有五种了。具体情况如表 1-2 所示。本书将分别讨论这五种 I 级杆组的运动分析, 并给出相对独立的子程序, 以便机构运动分析时应用。

表 1-1

No	杆组类型
1	R R R
2	R R P
3	R P R
4	R P P
5	P R R (与 2 同)
6	P R P
7	P P R (与 4 同)

表 1-2

RRR I 级组	RRP 或 PRR I 级组	RPR I 级组
RPP 或 PPR I 级组	PRP I 级组	

§1-2 构件上点的运动分析

图 1-2 中 AB 为平面机构中的构件, 其回转副 A 的位置 (x_A, y_A) 、速度 (\dot{x}_A, \dot{y}_A) 和加速度 (\ddot{x}_A, \ddot{y}_A) 以及构件 AB 的长度 l_i 及其角位置 φ_i (自 x 轴正向逆时针为正,

反之为负)、角速度 $\omega_j (= \dot{\varphi}_j)$ 、角加速度 $\varepsilon_j (= \ddot{\varphi}_j)$ 均为已知。求构件上点 B 的位置、速度和加速度。

一、数学模型

1. 位置分析

B 点位置的矢量 \vec{r}_B 为

$$\vec{r}_B = \vec{r}_A + \vec{l}_i$$

将它投影到 x 轴和 y 轴上得

$$x_B = x_A + l_i \cos \varphi_j$$

$$y_B = y_A + l_i \sin \varphi_j$$

(1-1)

2. 速度和加速度分析

将式 (1-1) 对时间求导, 即可得速度方程和加速度方程:

$$\dot{x}_B = \dot{x}_A - \dot{\varphi}_j l_i \sin \varphi_j$$

$$\dot{y}_B = \dot{y}_A + \dot{\varphi}_j l_i \cos \varphi_j$$

(1-2)

$$\ddot{x}_B = \ddot{x}_A - \dot{\varphi}_j^2 l_i \cos \varphi_j - \ddot{\varphi}_j l_i \sin \varphi_j$$

$$\ddot{y}_B = \ddot{y}_A - \dot{\varphi}_j^2 l_i \sin \varphi_j + \ddot{\varphi}_j l_i \cos \varphi_j$$

(1-3)

式中: $\dot{x}_B = dx_B/dt$ 、 $\dot{y}_B = dy_B/dt$ 、 $\ddot{x}_B = d^2x_B/dt^2$ 、 $\ddot{y}_B = d^2y_B/dt^2$ 、 $\dot{\varphi}_j = d\varphi_j/dt$ 、 $\ddot{\varphi}_j = d^2\varphi_j/dt^2$ 。

若 A 点为固定回转副, 即 x_A 、 y_A 为常数时, 则该点的速度 \dot{x}_A 、 \dot{y}_A 和加速度 \ddot{x}_A 、 \ddot{y}_A 均为 0, 这时 AB 杆与机架组成 I 级机构, B 点则为曲柄上的一点。

若 A 点不固定时, 构件 AB 就相当于作平面运动的连杆。为求出 B 点的位置和运动, 必须先给定 A 点的位置和运动参数。若要求出连杆上任一点 B' 的运动参数, 只要再给出 AB' 的长度 l_i' 和夹角 δ 即可。

二、子程序及其说明

1. 子程序的功用

本子程序用于计算连架杆 (曲柄或摇杆) 上或连杆上任意一点的位置、速度和加速度。

要输入的参数:

1) A 点的位置及运动参数 x_A 、 y_A 、 \dot{x}_A 、 \dot{y}_A 、 \ddot{x}_A 、 \ddot{y}_A 。

2) AB 杆长度 l_i 及其与 x 轴的夹角 φ_j 、角速度 $\omega_j (= \dot{\varphi}_j)$ 、角加速度 $\varepsilon_j (= \ddot{\varphi}_j)$ 。

能输出的参数:

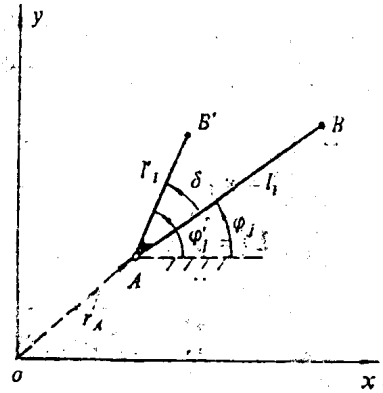


图 1-2

B点的位置及运动参数: $x_B, y_B, \dot{x}_B, \dot{y}_B, \ddot{x}_B, \ddot{y}_B$.

2. 子程序中与公式中的符号对照

$$\begin{array}{llll} L(I) = l_i & F(J) = \varphi_j & W(J) = \dot{\varphi}_j & E(J) = \ddot{\varphi}_j \\ X(A) = x_A & Y(A) = y_A & X(B) = x_B & Y(B) = y_B \\ VX(A) = \dot{x}_A & VY(A) = \dot{y}_A & VX(B) = \dot{x}_B & VY(B) = \dot{y}_B \\ AX(A) = \ddot{x}_A & AY(A) = \ddot{y}_A & AX(B) = \ddot{x}_B & AY(B) = \ddot{y}_B \\ DA = \delta & SI, CI \text{ 为中间变量.} & & \end{array}$$

3. 子程序的使用说明

1) 本子程序是利用 Quick BASIC 中的 SUB 语句编写的。子程序名为 CRANK, 但它不仅适用于曲柄的运动分析, 对于连杆或摇杆等单构件, 若已知其上一点的位置、运动参数以及该构件的角速度、角加速度时, 应用本子程序也可以计算出该构件上任一点的位置和运动参数。

2) 这类子程序必须用 CALL 语句调用。调用时, 对于 SUB CRANK 后括号内的形式参数 I, J, A, B, 必须给出对应的实际参数; 同时还要求用 DIM SHARED 或 COMMON SHARED 语句对所用的各子程序间要求“共享”的变量给予说明, 否则, 可能不允许计算或计算结果出错。详见本章第 8 节例题。

3) Quick BASIC 程序可以不用语句标号, 但是, 考虑到不同章节中用 GOSUB 语句调用子程序的情况以及便于读者区分各章的子程序起见, 本书中各章的子程序都加了四位数的语句标号, 其第一位数即为该章的顺序号。

4. 子程序清单

```

1000 SUB CRANK(I, J, A, B)
1004 F = F(J) + DA
1006 SI = L(I) * SIN(F)
1008 CI = L(I) * COS(F)
1010 X(B) = X(A) + CI
1012 Y(B) = Y(A) + SI
1014 VX(B) = VX(A) - W(J) * SI
1016 VY(B) = VY(A) + W(J) * CI
1018 AX(B) = AX(A) - W(J) * W(J) * CI - E(J) * SI
1020 AY(B) = AY(A) - W(J) * W(J) * SI + E(J) * CI
1022 END SUB

```

§1-3 RRR II 级组的运动分析

由两个构件和三个回转副组成的 RRR II 级组如图 1-3 所示。

已知杆长 l_1, l_2 , 外运动副 B 和 D 的位置 (x_B, y_B, x_D, y_D) 及运动参数 $(x_B,$

$y_B, x_B, y_D, x_D, y_D, x_D, y_D$ 。

求内运动副 C 的位置 (x_C, y_C) 、运动参数 $(\dot{x}_C, \dot{y}_C, \ddot{x}_C, \ddot{y}_C)$ 以及二杆的角位置 (φ_i, φ_j) 和角运动 $(\dot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_i, \dot{\varphi}_j, \ddot{\varphi}_j)$ 。

一、数学模型

1. 位置分析

内运动副 C 的矢量方程为

$$\vec{r}_C = \vec{r}_B + \vec{l}_i = \vec{r}_D + \vec{l}_j$$

其在 x, y 轴上的投影方程为

$$\left. \begin{aligned} x_C &= x_B + l_i \cos \varphi_i = x_D + l_j \cos \varphi_j \\ y_C &= y_B + l_i \sin \varphi_i = y_D + l_j \sin \varphi_j \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

或写成

$$\left. \begin{aligned} l_j \cos \varphi_j &= l_i \cos \varphi_i - (x_D - x_B) \\ l_j \sin \varphi_j &= l_i \sin \varphi_i - (y_D - y_B) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

将式 (1-5) 两等式两边分别平方相加后, 经简化整理得

$$A_0 \cos \varphi_i + B_0 \sin \varphi_i - C_0 = 0 \quad (1-6)$$

式中

$$\begin{aligned} A_0 &= 2l_i(x_D - x_B) \\ B_0 &= 2l_i(y_D - y_B) \\ C_0 &= l_i^2 + l_{BD}^2 - l_j^2 \\ l_{BD} &= \sqrt{(x_D - x_B)^2 + (y_D - y_B)^2} \end{aligned}$$

为保证机构的装配, 必须同时满足

$$\begin{aligned} l_{BD} &\leq l_i + l_j \\ l_{BD} &\geq |l_i - l_j| \end{aligned}$$

又因为

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{2 \tan(\varphi/2)}{1 + \tan^2(\varphi/2)} \\ \cos \varphi &= \frac{1 - \tan^2(\varphi/2)}{1 + \tan^2(\varphi/2)} \end{aligned}$$

则式 (1-6) 可以化成

$$\begin{aligned} A_0 \left(\frac{1 - \tan^2(\varphi_i/2)}{1 + \tan^2(\varphi_i/2)} \right) + B_0 \left(\frac{2 \tan(\varphi_i/2)}{1 + \tan^2(\varphi_i/2)} \right) - C_0 &= 0 \\ (A_0 + C_0) \tan^2(\varphi_i/2) - 2B_0 \tan(\varphi_i/2) - (A_0 - C_0) &= 0 \\ \therefore \tan(\varphi_i/2) &= \frac{B_0 \pm \sqrt{A_0^2 + B_0^2 - C_0^2}}{A_0 + C_0} \end{aligned} \quad (1-7)$$

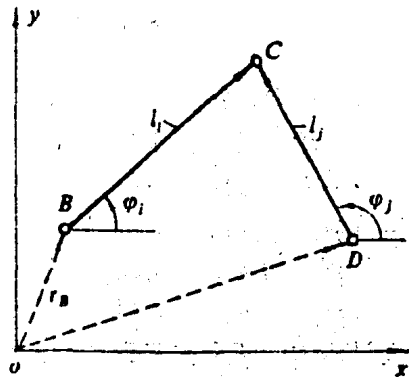


图1-3

$$\varphi_i = 2 \arctan \left(\frac{B_0 \pm \sqrt{A_0^2 + B_0^2 - C_0^2}}{A_0 + C_0} \right) \quad (1-8)$$

按式 (1-8), φ_i 应有两个解。为了正确地确定 φ_i 值, 应考虑到如图 1-4 a) 所示的两种情况, 即当机构尺寸相同时, 可能有实线所示的机构, 也可能有虚线所示的机构。若机构的初始位置如图中实线所示的情况, 则在机构运动过程中, 不会转移到虚线所示的情况。即在机构运动过程中, 运动副 B、C、D 的排列模式不会改变。

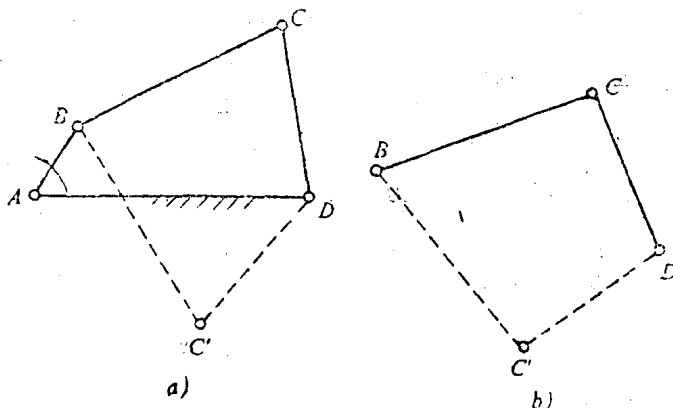


图 1-4

计算表明: 当运动副 B 与原动件相联时, 若 B、C、D 三运动副按顺时针排列 (如图 1-4b 实线所示), φ_i 应按式 (1-8) 中的 “+” 号计算; 若 B、C、D 三运动副按逆时针排列 (如图 1-4b 虚线所示), φ_i 应按 “-” 号计算。这样就可以利用初始模式参数 M 把式 (1-8) 改写为如下形式

$$\varphi_i = 2 \arctan \left(\frac{B_0 + M \sqrt{A_0^2 + B_0^2 - C_0^2}}{A_0 + C_0} \right) \quad (1-8')$$

当 B、C、D 为顺时针排列时, 取 $M = +1$;

当 B、C、D 为逆时针排列时, 取 $M = -1$ 。

为了求出构件 l_i 的角位置 φ_i , 可先求出 C 点的坐标值

$$\left. \begin{aligned} x_C &= x_B + l_i \cos \varphi_i \\ y_C &= y_B + l_i \sin \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

再由式 (1-4) 可得

$$\varphi_i = \arctan \left(\frac{y_C - y_D}{x_C - x_D} \right) \quad (1-10)$$

2. 速度分析

为了求出内运动副 C 点的速度, 可将式 (1-4) 对时间求导, 得

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_B - \dot{\varphi}_i l_i \sin \varphi_i &= \dot{x}_D - \dot{\varphi}_i l_i \sin \varphi_i \\ \dot{y}_B + \dot{\varphi}_i l_i \cos \varphi_i &= \dot{y}_D + \dot{\varphi}_i l_i \cos \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

令

$$\left. \begin{aligned} s_i &= l_i \sin \varphi_i & c_i &= l_i \cos \varphi_i \\ \dot{s}_i &= \dot{l}_i \sin \varphi_i & \dot{c}_i &= \dot{l}_i \cos \varphi_i \end{aligned} \right\}$$

故有

$$\left. \begin{aligned} -\dot{s}_i \varphi_i + \dot{s}_i \varphi_i &= \dot{x}_D - \dot{x}_B \\ \dot{c}_i \varphi_i - \dot{c}_i \varphi_i &= \dot{y}_D - \dot{y}_B \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

解式 (1-12) 得

$$\left. \begin{aligned} \dot{\varphi}_i &= [c_i(\dot{x}_D - \dot{x}_B) + s_i(\dot{y}_D - \dot{y}_B)]/G_1 \\ \dot{\varphi}_j &= [c_j(\dot{x}_D - \dot{x}_B) + s_j(\dot{y}_D - \dot{y}_B)]/G_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

式中 $G_1 = c_i s_j - c_j s_i$

根据式 (1-4) 得 C 点的速度

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_C &= \dot{x}_B - \dot{\varphi}_i l_i \sin \varphi_i \\ \dot{y}_C &= \dot{y}_B + \dot{\varphi}_i l_i \cos \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

3. 加速度分析

将式 (1-11) 对时间再求导一次, 可求得加速度方程式

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_B - \ddot{\varphi}_i l_i \sin \varphi_i - \dot{\varphi}_i^2 l_i \cos \varphi_i &= \ddot{x}_D - \ddot{\varphi}_j l_j \sin \varphi_j - \dot{\varphi}_j^2 l_j \cos \varphi_j \\ \ddot{y}_B + \ddot{\varphi}_i l_i \cos \varphi_i - \dot{\varphi}_i^2 l_i \sin \varphi_i &= \ddot{y}_D + \ddot{\varphi}_j l_j \cos \varphi_j - \dot{\varphi}_j^2 l_j \sin \varphi_j \end{aligned} \right\}$$

整理得

$$\left. \begin{aligned} -s_i \ddot{\varphi}_i + s_j \ddot{\varphi}_j &= G_2 \\ c_i \ddot{\varphi}_i - c_j \ddot{\varphi}_j &= G_3 \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中

$$\begin{aligned} G_2 &= \ddot{x}_D - \ddot{x}_B + \dot{\varphi}_i^2 c_i - \dot{\varphi}_j^2 c_j \\ G_3 &= \ddot{y}_D - \ddot{y}_B + \dot{\varphi}_i^2 s_i - \dot{\varphi}_j^2 s_j \end{aligned}$$

解式 (1-15) 得

$$\ddot{\varphi}_i = (G_2 c_j + G_3 s_j)/G_1 \quad (1-16)$$

$$\ddot{\varphi}_j = (G_2 c_i + G_3 s_i)/G_1 \quad (1-17)$$

将式 (1-14) 对时间再求导一次, 可得 C 点的加速度方程

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_C &= \ddot{x}_B - \ddot{\varphi}_i l_i \sin \varphi_i - \dot{\varphi}_i^2 l_i \cos \varphi_i \\ \ddot{y}_C &= \ddot{y}_B + \ddot{\varphi}_i l_i \cos \varphi_i - \dot{\varphi}_i^2 l_i \sin \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

二、子程序及其说明

1. 子程序的功用

按上述数学模型, 可以容易地编写出 RRR II 级组运动分析子程序, 本子程序用于计算 RRR II 级组的位置、速度和加速度。

要输入的参数:

1) 杆长 l_i 、 l_j 及初始模式参数 M ;

2) x_B 、 y_B 、 \dot{x}_B 、 \dot{y}_B 、 \ddot{x}_B 、 \ddot{y}_B ;

3) x_D 、 y_D 、 \dot{x}_D 、 \dot{y}_D 、 \ddot{x}_D 、 \ddot{y}_D 。

能输出的参数:

1) $\dot{\varphi}_i, \dot{\varphi}_j, \ddot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_j, \ddot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_j$

2) $\dot{x}_C, \dot{y}_C, \ddot{x}_C, \ddot{y}_C, \ddot{x}_C, \ddot{y}_C$

2. 模式参数 M , 由给定机构中 RRR I 级组的三个回转副 B 、 C 、 D 的排列顺序来决定。若 B 、 C 、 D 为顺时针排列时取 $M+1$ (运动副 B 与原动件相联); 否则 $M=-1$ 。 M 值应在主程序中给定。

3. 子程序中与公式中的符号对照

程序中所用符号与公式中所用符号的对照如表 1-3。

表 1-3

程序中的符号	公式中的符号	意义
X(B)、Y(B)	x_B, y_B	B点在x、y轴上的坐标值
X(C)、Y(C)	x_C, y_C	C点在x、y轴上的坐标值
X(D)、Y(D)	x_D, y_D	D点在x、y轴上的坐标值
L(I)、L(J)	l_i, l_j	l_i, l_j 杆的杆长
VX(B)、VY(B)	\dot{x}_B, \dot{y}_B	B点速度在x、y轴上的分量
VX(C)、VY(C)	\dot{x}_C, \dot{y}_C	C点速度在x、y轴上的分量
VX(D)、VY(D)	\dot{x}_D, \dot{y}_D	D点速度在x、y轴上的分量
AX(B)、AY(B)	\ddot{x}_B, \ddot{y}_B	B点加速度在x、y轴上的分量
AX(C)、AY(C)	\ddot{x}_C, \ddot{y}_C	C点加速度在x、y轴上的分量
AX(D)、AY(D)	\ddot{x}_D, \ddot{y}_D	D点加速度在x、y轴上的分量
F(I)、F(J)	φ_i, φ_j	构件 l_i, l_j 与x轴正方向的夹角
W(I)、W(J)	$\dot{\varphi}_i, \dot{\varphi}_j$	构件 l_i, l_j 的角速度
E(I)、E(J)	$\ddot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_j$	构件 l_i, l_j 的角加速度

4. 当给定的尺寸不妥, 机构不能存在时, 程序将停止运行, 并给出不能装配的信息。

5. 为了计算角度 φ_i 和 φ_j 的大小并判断其所在的象限, 本子程序中又用 GOSUB 语句调用了以 1600 开始的一段子程序。

6. 本子程序必须用 CALL 语句调用, 其调用方法与“SUB CRANK”相同, 详见本章第 8 节例题。

7. 子程序清单

1100 SUB RRR(I, J, B, C, D)

1104 A0 = 2 * L(I) * (X(D) - X(B))

1106 B0 = 2 * L(I) * (Y(D) - Y(B))

1108 L = SQR((X(D) - X(B))^2 + (Y(D) - Y(B))^2)

```

1110 C0=L*L+L(I)*L(I)-L(J)*L(J)
1112 IF L>L(I)+L(J) OR L<ABS(L(I)-L(J)) THEN 1176
1114 Q=SQR(A0*A0+B0*B0-C0*C0)
1116 X=A0+C0
1118 Y=B0+M*Q
1120 GOSUB 1600
1122 PI=3.14159265#
1124 IF FI>PI THEN 1130
1126 F(I)=2*FI
1128 GOTO 1132
1130 F(I)=2*(FI-PI)
1132 SI=L(I)*SIN(F(I))
1134 CI=L(I)*COS(F(I))
1136 X(C)=X(B)+CI
1138 Y(C)=Y(B)+SI
1140 X=X(C)-X(D)
1142 Y=Y(C)-Y(D)
1144 GOSUB 1600
1146 F(J)=FI
1148 SJ=L(J)*SIN(F(J))
1150 CJ=L(J)*COS(F(J))
1152 G1=CI*SJ-CJ*SI
1154 W(I)=(CJ*(VX(D)-VX(B))+SJ*(VY(D)-VY(B)))/G1
1156 W(J)=(CI*(VX(D)-VX(B))+SI*(VY(D)-VY(B)))/G1
1158 VX(C)=VX(B)-W(I)*SI
1160 VY(C)=VY(B)+W(I)*CI
1162 G2=AX(D)-AX(B)+CI*W(I)*W(I)-CJ*W(J)*W(J)
1164 G3=AY(D)-AY(B)+SI*W(I)*W(I)-SJ*W(J)*W(J)
1166 E(I)=(G2*CJ+G3*SJ)/G1
1168 E(J)=(G2*CI+G3*SI)/G1
1170 AX(C)=AX(B)-E(I)*SI-CI*W(I)*W(I)
1172 AY(C)=AY(B)+E(I)*CI-SI*W(I)*W(I)
1174 GOTO 1180
1176 PRINT "Can not be assembled in 1112"
1178 STOP
1600 REM ANGLE
1602 IF ABS(X)>1E-10 THEN 1610
1604 FI=3.14159265#/2

```

```

1606 FI = FI - (SGN(Y) - 1) * FI
1608 GOTO 1614
1610 FI = ATN(Y/X)
1612 FI = FI - (SGN(X) - 1) * 3.14159265 # / 2
1614 RETURN
1180 END SUB

```

§1-4 RRP II 级组的运动分析

由两个构件与两个回转副和一个外移动副所组成的RRP II 级组如图1-5所示。

已知杆长 l_i, l_j (l_i 杆垂直于滑块的导路)、外回转副 B 的位置 (x_B, y_B) 、运动参数 $(\dot{x}_B, \dot{y}_B, \ddot{x}_B, \ddot{y}_B)$ 、滑块导路方向角 φ_i 以及计算滑块位移 s 的参考点 K 的位置 (x_K, y_K) 。有时，滑块导路也可能是运动的，这时还应给出 K 点和导路的运动参数 $(\dot{x}_K, \dot{y}_K, \ddot{x}_K, \ddot{y}_K, \dot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_i)$ 。

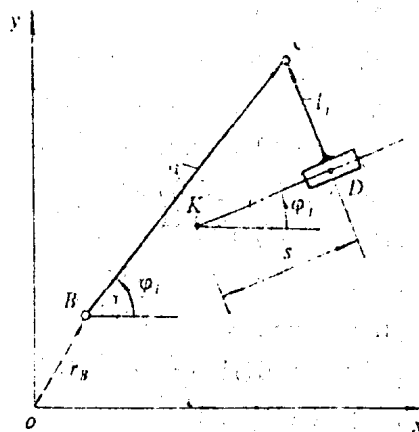


图1-5

求内运动副 C 、滑块 D 的位置 (x_C, y_C, x_D, y_D) 和运动参数 $(\dot{x}_C, \dot{y}_C, \ddot{x}_C, \ddot{y}_C, \dot{x}_D, \dot{y}_D, \ddot{x}_D, \ddot{y}_D)$ 。

一、数学模型

1. 位置分析

内运动副 C 的矢量方程为

$$\vec{r}_C = \vec{r}_B + \vec{l}_i = \vec{r}_K + \vec{s} + \vec{l}_j$$

其在 x, y 轴上的投影方程为

$$\left. \begin{aligned} x_C &= x_B + l_i \cos \varphi_i = x_K + s \cos \varphi_i - l_j \sin \varphi_j \\ y_C &= y_B + l_i \sin \varphi_i = y_K + s \sin \varphi_i + l_j \cos \varphi_j \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

式中仅有 φ_i 和 s 为未知数，若先消去 s 得

$$l_j \sin(\varphi_i - \varphi_j) = (x_B - x_K) \sin \varphi_i - (y_B - y_K) \cos \varphi_i + l_j$$

即

$$\sin(\varphi_i - \varphi_j) = (A_0 + l_j) / l_j$$

式中

$$A_0 = (x_B - x_K) \sin \varphi_i - (y_B - y_K) \cos \varphi_i$$

$$\therefore \varphi_i = \arcsin((A_0 + l_j) / l_j) + \varphi_j \quad (1-20)$$

由式 (1-19) 可得内运动副 C 的位置和滑块的位移 s 为

$$\left. \begin{aligned} x_C &= x_B + l_i \cos \varphi_i \\ y_C &= y_B + l_i \sin \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-21)$$

$$s = (x_C - x_K + l_i \sin \varphi_i) / \cos \varphi_i \quad (1-22)$$

$$\text{或} \quad s = (y_C - y_K - l_i \cos \varphi_i) / \sin \varphi_i \quad (1-22')$$

滑块上 D 点的坐标值为

$$\left. \begin{aligned} x_D &= x_K + s \cos \varphi_i \\ y_D &= y_K + s \sin \varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

(2) 应用上述公式的注意事项:

1) 点 K 为计算滑块位移所选取的参考点, 该点应选在滑块的导路上, 距离滑块行程起点不宜太远。

2) 为保证机构能够存在, 应满足装配条件:

$$|A_0 + l_i| \leq l_i$$

3) 导路方向角 φ_i 为滑块位移 s 值增大的方向与 x 轴正向之间的夹角。图1-6a) 中 $\varphi_i < 90^\circ$, 图1-6b) 中 $\varphi_i > 90^\circ$ 。

4) l_i 值可为“+”或“-”, 当按上述方法确定 φ_i 角时, 运动副 B 、 C 、 D 按顺时针排列时 (运动副 B 与原动件相联), 取 l_i 为“+”, 否则, 若 B 、 C 、 D 按逆时针排列时, 则取 l_i 为“-”, 图1-6a)、b) 中, 实线位置 l_i 为“+”, 虚线位置 l_i 为“-”。

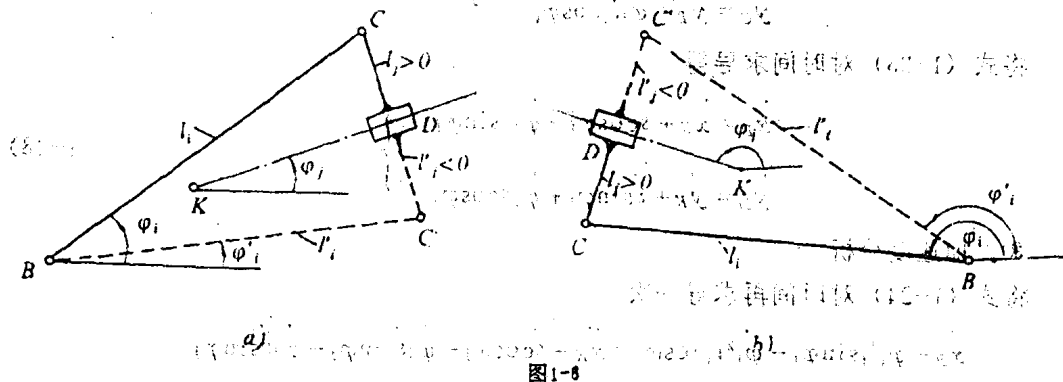


图1-6

还应指出, 当应用RRP I级组组成曲柄滑块机构时, 如图1-7 a) 所示, 滑块导路与 x 轴正向夹角 φ_i 为常数, 图示机构 $\varphi_i = 0$ 。当应用该基本杆组组成转动导杆机构时, 如图1-7 b) 所示, 此时滑块导路成为曲柄之一, 它与 x 轴正向间夹角 φ_i 是变化的, 计算时应先给定 φ_1 、 φ_2 和 φ_3 才行。此时 DCB 杆组即为PRR I级组。

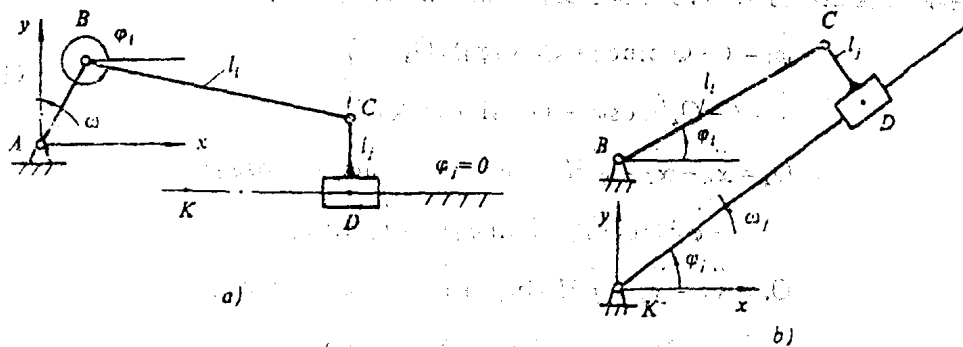


图1-7