

家用缝纫机  
送料机构研究报告

上海工业大学机械原理机械零件教研组  
上海市缝纫机研究所FB型缝纫机理论教研组

1982·5

# 目 录

一、前 言 .....	1
二、机构概述 .....	1
三、复矢量三角形解法 .....	4
1. 复矢量和其导数 .....	4
2. 复矢量三角形解法 .....	8
3. 标准矢量三角形方程解程序 .....	14
4. 复矢量三角形解法有关问题说明 .....	29
四、送布机构运动分析 .....	32
1. 大连杆机构 .....	32
2. 抬牙凸轮机构 .....	36
3. 针距机构 .....	50
4. 送布执行机构 .....	68
五、送布机构性能分析 .....	79
1. 几点统一约定及有关调整相位角 .....	79
2. 送布牙运动与其余机构运动协调关系 .....	80
3. 送布牙轨迹性能指标 .....	84
4. 现有送布机构送布牙轨迹分析 .....	90
六、参数影响的探讨 .....	104
1. “D”机构部分 .....	104
2. “E”机构部分 .....	107
3. “F”机构部分 .....	120
七、结束语 .....	123

附表 1	原始数据表 .....	1
附表 2 ~ 14	轨迹性能表 .....	5

# 家用缝纫机送布机构研究报告

## 一、前 言

本课题系轻工业部下达的(80)轻科便025号文件中提出重大科研项目“JB型缝纫机理论研究”的一个派生课题。目的是对家用缝纫机送料机构作较全面的研究。

本研究课题的分析对象是JA、JB型缝纫机,它是目前国内生产量最大,应用最广的普通家用缝纫机。JA型是仿美廿世纪初的产品,JB型则是廿世纪30年代的产品。由于长期来缺乏系统,全面的分析研究,国外资料亦甚少,加之各生产厂在引进和改型中规格、参数变动较多,性能差别较大。这些都不利于缝纫机的系列化、通用化和标准化。因此,如何进行现有各类缝纫机的性能分析和提出一整套家用缝纫机设计原理是一个很重要的课题。

本研究课题的主要内容是:(一)对目前常用的JA和JB型家用缝纫机送布机构提出一种用电子计算机进行辅助运算的、通用性和适应能力都较强的运动分析方法和程序。(二)对现有七种家用缝纫机十三种型式的送布机构的送布牙的轨迹进行分析。(三)以JB1—3型家用缝纫机为对象,探讨送布机构中若干主要参数对送布牙轨迹性能的影响,以期为今后探索创造更合理的结构和缝纫机送布机构的设计原则提供一些理论依据和资料。

## 二、机 构 概 述

JA、JB型家用缝纫机尽管参数规格很多,但从其传动机



构而言，大体上可表达为如下形式。传动链为：

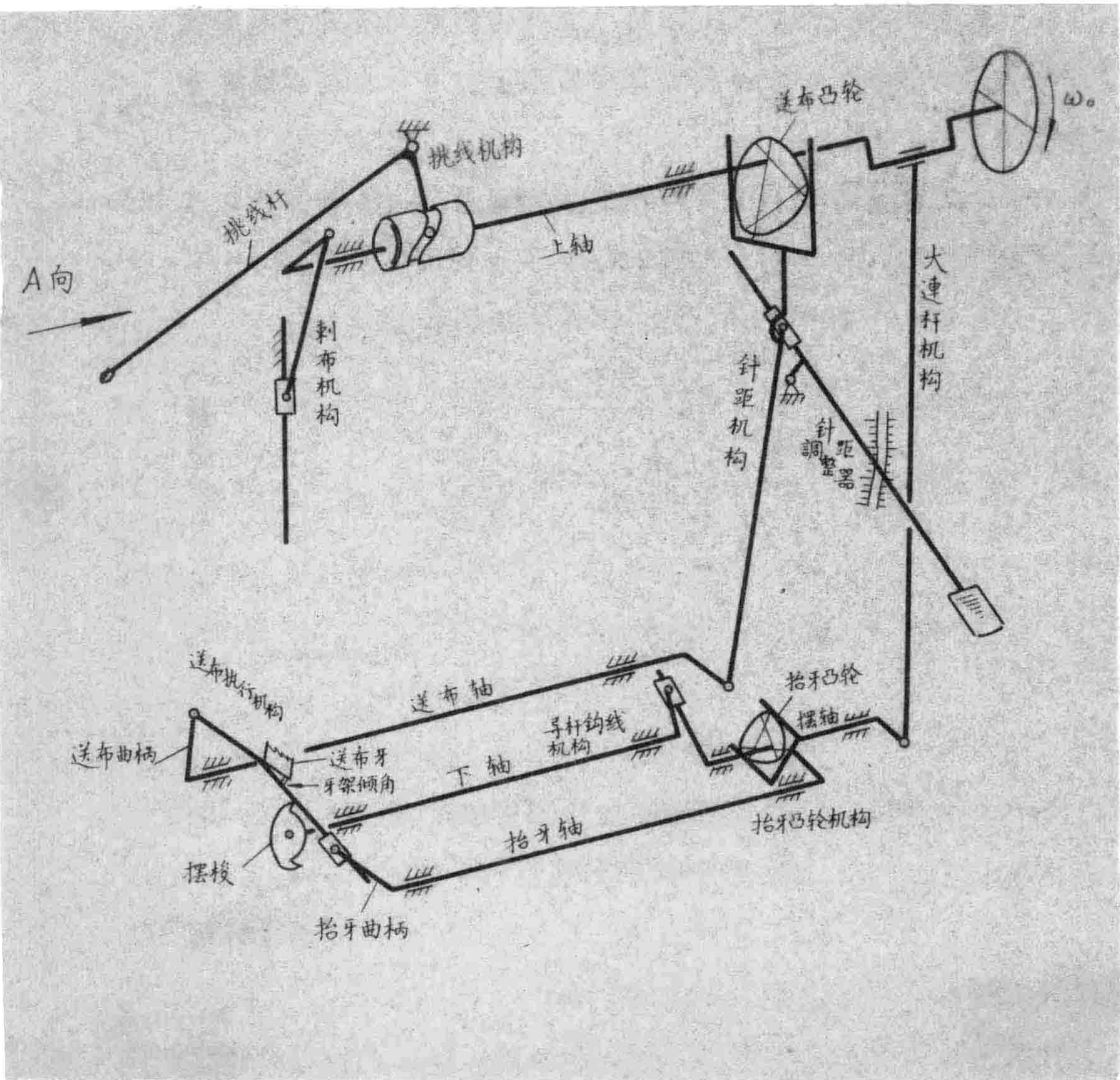
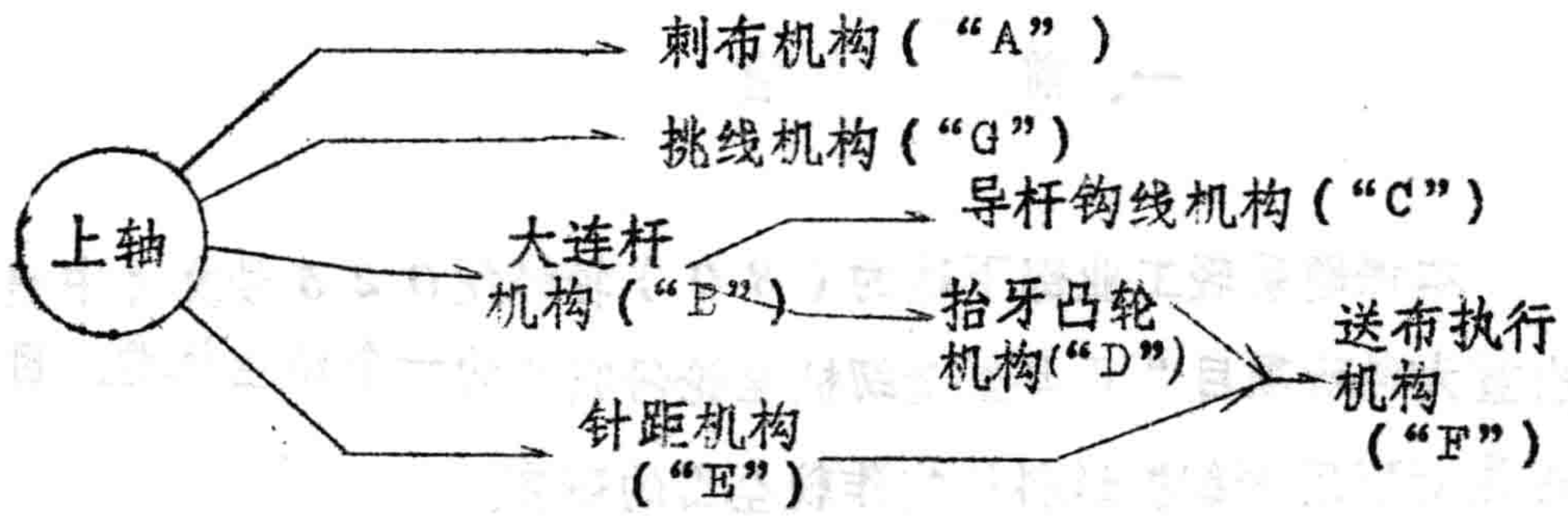


图 1 机 构 简 图

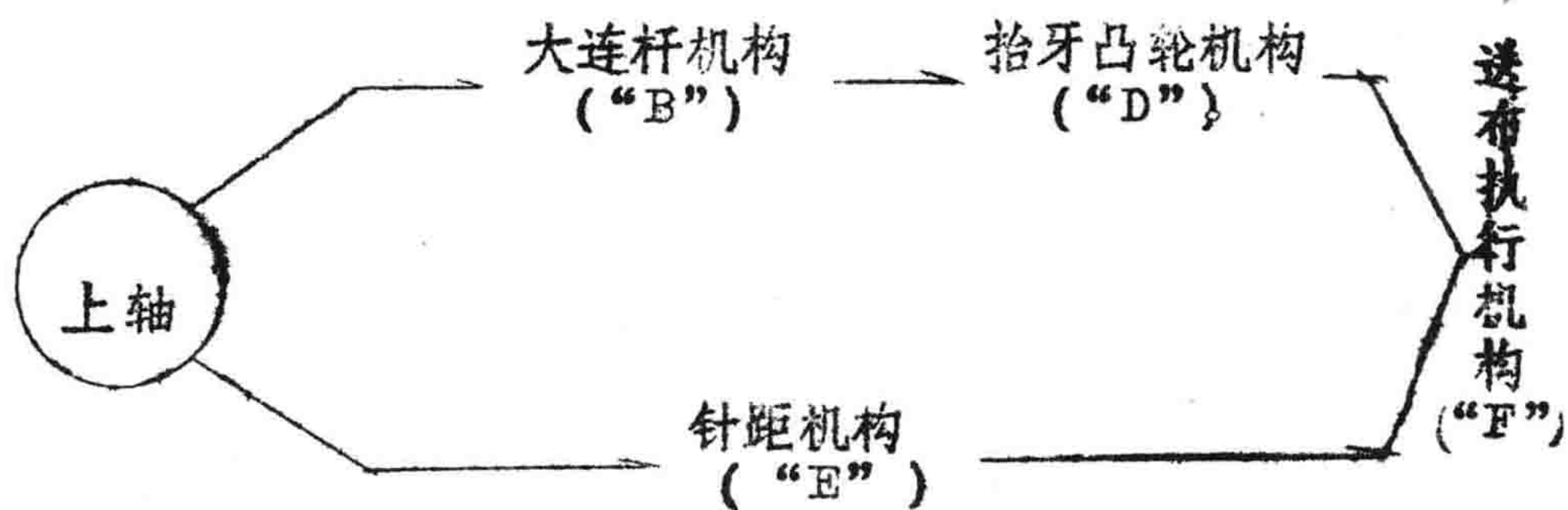
刺布机构用以完成机针的上、下运动，以实现刺料和引线的目的。

挑线机构形成挑线杆的适时动作，以配合其它机构动作进行适时控制供、收线量，以形成正确线迹。其中J A型挑线机构为空间凸轮摆杆式（如图），J B型挑线机构为平面四连杆式。

钩线机构由导杆钩线机构组成，以形成摆梭正确的运动来完成钩线和脱出线环等工作。

送布机构由大连杆机构、抬牙凸轮机构、针距机构和送布执行机构组成。用以使送布牙形成正确的轨迹和适时的运动以配合其余机构工作。

送布机构性能的优劣主要由送布牙轨迹形态和与其余机构的配合条件来评价。组成送布机构的四个部分（分别以B、D、E和F机构来简称）均属平面机构，其传动链形式如下：



上面一条支路主要控制送布执行机构中抬牙曲柄的运动，用以控制送布牙上升、下降的时间和程度。

下面的支路由针距机构控制送布执行机构中送布曲柄的运动，以控制送布牙送布行程时间，速率和送布行程大小。

原动件是上轴。在分析过程中，设上轴，设以 $\omega = 100$ 弧度



秒(即  $n = 955$  转/分)等速旋转,其转向为顺时针方向(从图 1 中 A 向看)。以针杆处于上死点位置时作为整机统一  $0^\circ$  点,以上轴转角作为机构运动状态的统一时间基准。

其它机构的平面图形都按图 1 中的 A 向视图画出。

### 三、复矢量三角形解法

平面机构运动分析方法很多,大体上可分为两类:图解法和解析法。图解法中常用的有矢量图解法、瞬心法等。此法的优点是简单直观,没有冗长的运动关系式,易于掌握。但精度低,且在全面系统地研究机构时工作量很大。解析法则能克服上述图解法的缺点,而获得理想的精确解。解析法中早期采用的是直角坐标投影法,随着矢量数学的发展,从本世纪四十年代起,用复矢量来表述机构构件进行机构运动分析和综合的方法逐渐被采纳。由于复矢量表达式简单,求导方便,故获得了广泛的应用。

本研究报告中所应用的是复矢量三角形解法,它是由牧野洋首先于 1973 年提出的,但我们对此法作了补充,使其更加方便,简捷和易于应用,适应性更强。

为便于理解,现将复矢量三角形解法有关概念、方法及标准子程序简述如下:

#### 1. 复矢量和其导数:

平面机构中的任一构件可用矢量图形来表达,如图 2 中的  $\vec{R}$ ,  $\vec{R} = \gamma e^{i\theta}$ 。式中有两个元素:  $\gamma$  和  $\theta$ 。由于平面矢量是平面上的有向的量,因此必有两个数与它相对应,由此用复矢量  $\gamma e^{i\theta}$  来表达,使两个元融汇在一个式中显然是有利的。上式中  $\gamma$  称为

矢量  $\vec{R}$  的大小或长度， $\theta$  称为矢量  $\vec{R}$  的方向或幅角。 $\theta$  的度量值为从 X 轴（或实轴）正向逆时针方向为正值，顺时针方向为负值。 $\gamma$  的值也可为正或负，若自矢量  $\vec{R}$  起点至  $\vec{R}$  终点为沿  $\theta$  方向，则  $\gamma$  值为正，反  $\theta$  方向则为负。在本文中对  $\gamma$  和  $\theta$  取值一般不作限制，可取任意实数值，这样使程序使用更为方便。

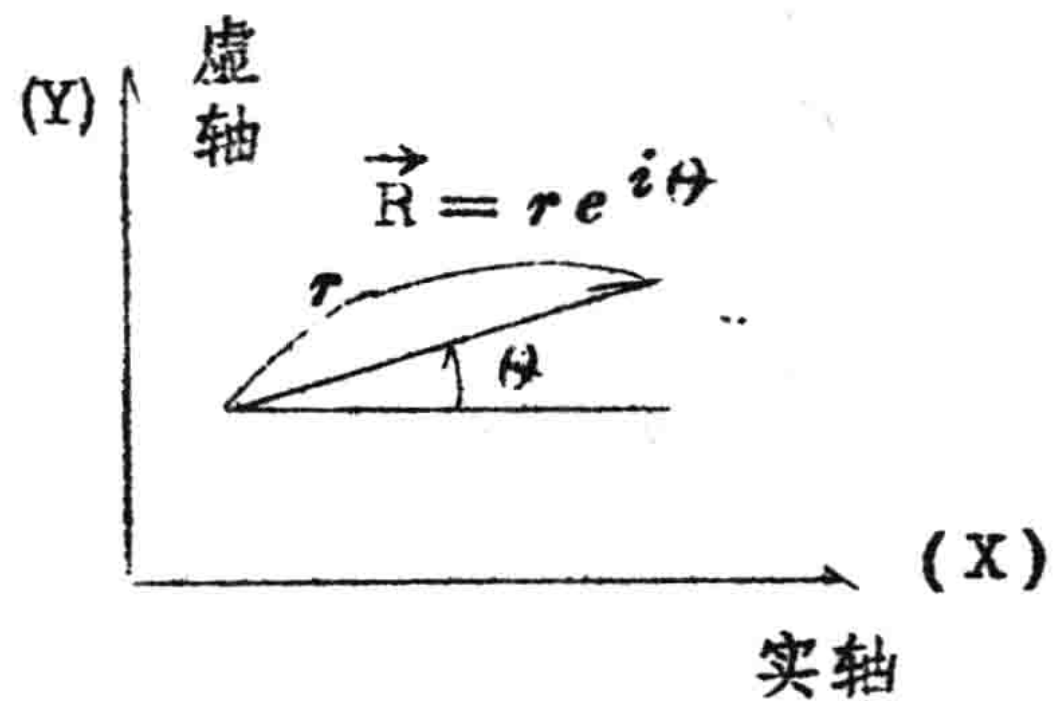


图 2

常用的复矢量运算式有如下几个：

$$(1) \quad \gamma e^{i\theta} = \gamma e^{i(\theta \pm 2k\pi)} \quad (k \text{ 为正整数})$$

$$(2) \quad \gamma e^{i\theta} \cdot e^{i\phi} = \gamma e^{i(\theta + \phi)}$$

$$(3) \quad \gamma e^{i\theta} \cdot i = \gamma e^{i(\theta + \pi/2)}$$

$$(4) \quad \gamma e^{i\theta} \cdot i^2 = \gamma e^{i\theta} = \gamma e^{i(\theta \pm \pi)}$$

由式(1)可见同一矢量可有多种表达式，它们是完全等价的。通常为方便和与有关运算取值对应起见，主值范围定为  $(-\pi, \pi]$  即  $-180^\circ < \theta \leq 180^\circ$ 。

(2)、(3)和(4)所列各式，分别表示矢量  $\vec{R}$  逆时针方向旋转了一个  $\phi$  角或  $\pi/2$ 、 $\pi$  后的矢量（见图3）。其中(4)式还告诉我们一个在  $\theta$  方向上具有  $\gamma$  长的矢量与一个在  $\theta \pm \pi$  方向上具有  $-\gamma$  长的矢量是等价的，即  $\gamma e^{i\theta} = -\gamma e^{i(\theta \pm \pi)}$ 。（见图4）



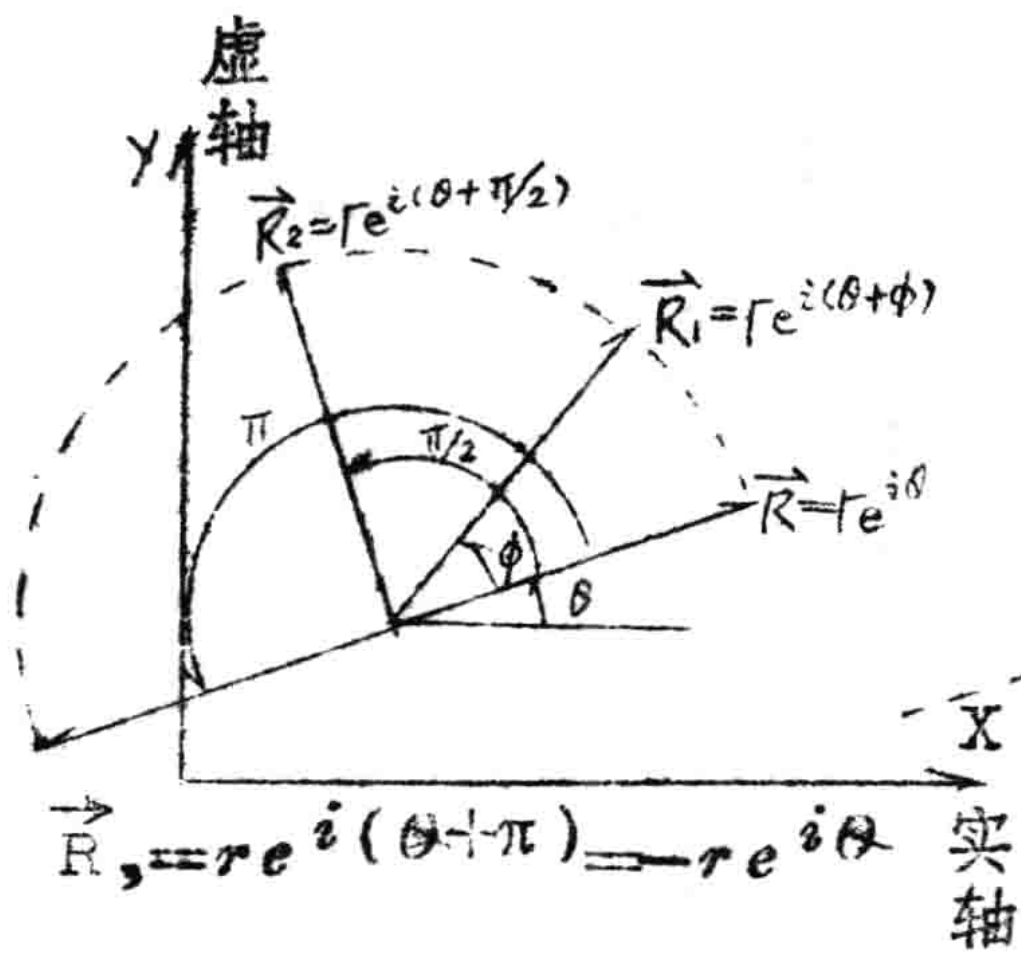


图 3

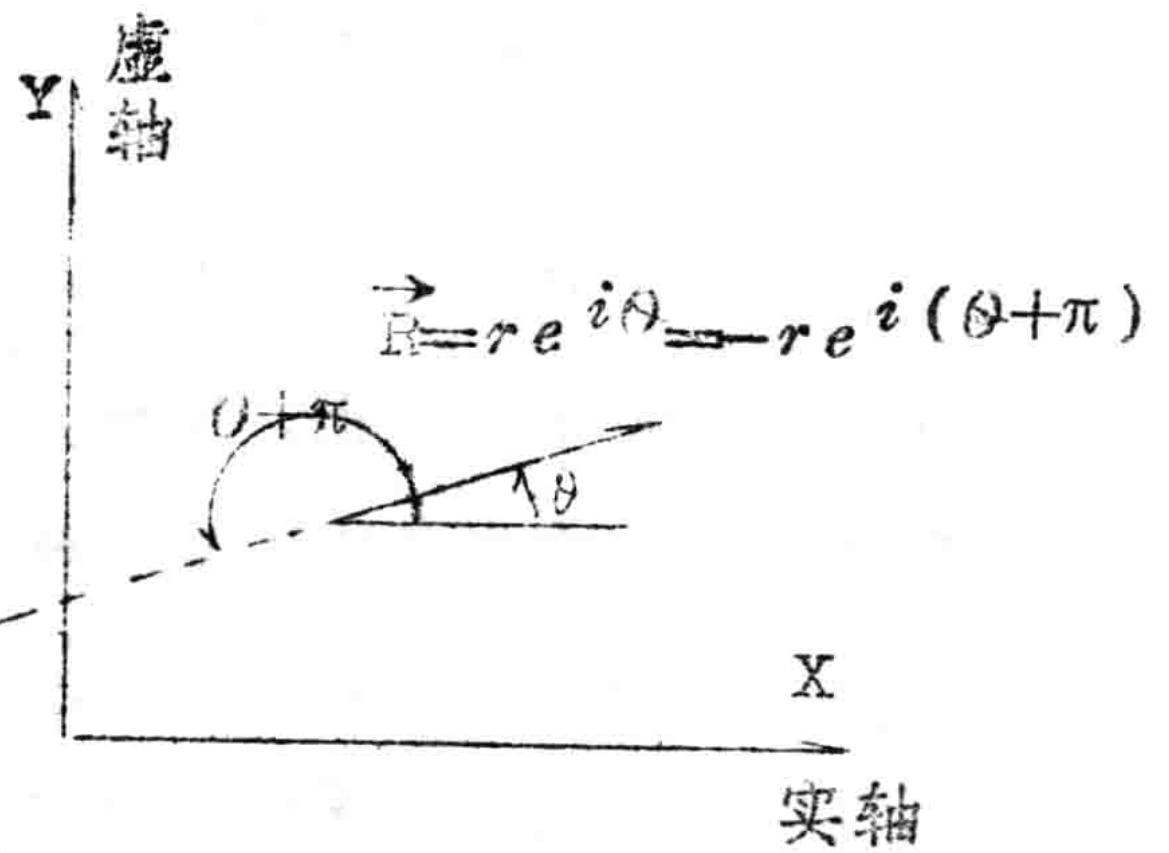


图 4

复矢量表达的是矢量终点位置相对于该矢量起点的位置关系，因此复矢量的导数表达的是该矢量的终点相对于起点（矢量）的相对速度和相对加速度。

复矢量的一阶、二阶导数如下：

$$\vec{R} = r e^{i\theta}$$

则 
$$\dot{\vec{R}} = \dot{r} e^{i\theta} + r \dot{\theta} e^{i(\theta+\pi/2)}$$

$$\ddot{\vec{R}} = \ddot{r} e^{i\theta} + r \ddot{\theta} e^{i(\theta+\pi/2)} + r \dot{\theta}^2 e^{i(\theta+\pi)} + 2\dot{r} \dot{\theta} e^{i(\theta+\pi/2)}$$

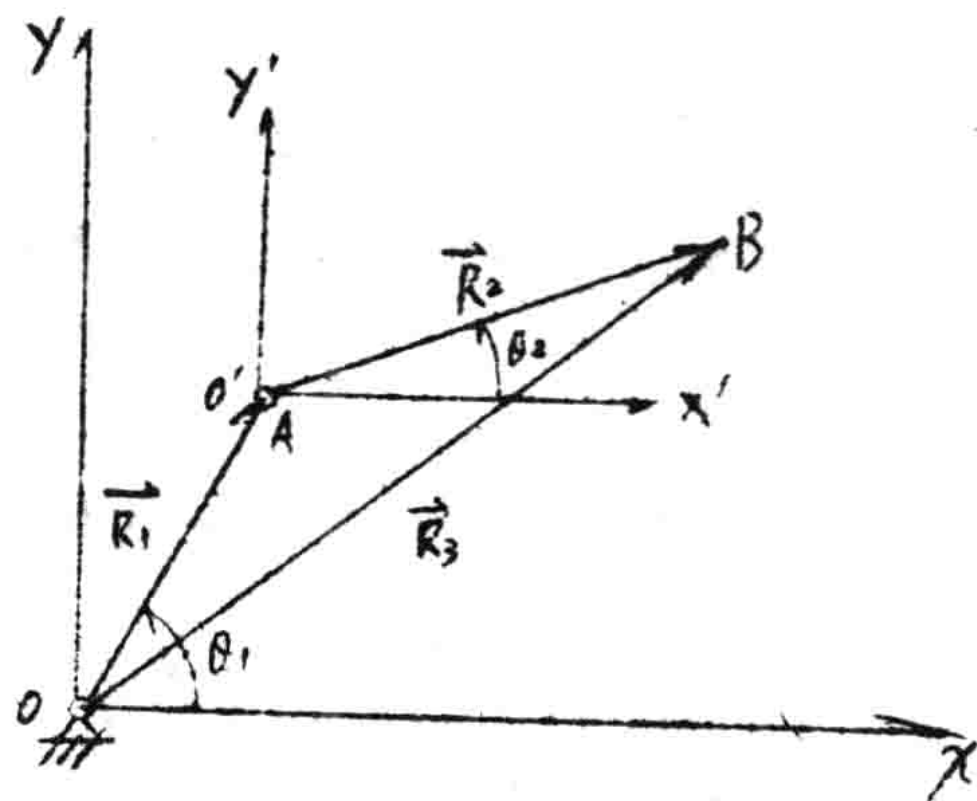
复矢量的导数仍是一个复矢量。上式中  $\vec{R}$  为位置矢量， $\dot{\vec{R}}$  和  $\ddot{\vec{R}}$  分别为  $\vec{R}$  终点相对于起点的速度和加速度矢量。其中  $r e^{i\theta}$  矢量为径向速度，方向为  $\theta$ ； $r \dot{\theta} e^{i(\theta+\pi/2)}$  矢量为切向速度，方

向为  $\theta + \frac{\pi}{2}$ ，大小为  $r\dot{\theta}$ 。而  $\ddot{r}e^{i\theta}$ 、 $r\ddot{\theta}e^{i(\theta + \frac{\pi}{2})}$ 、

$r\theta^2 e^{i(\theta + \pi)}$  和  $2\dot{r}\dot{\theta}e^{i(\theta + \frac{\pi}{2})}$  分别为径向加速度矢量、切向加速度矢量，法向加速度矢量和哥氏加速度矢量，它们的方向分别是  $\theta$ 、 $\theta + \pi/2$ 、 $\theta + \pi$  和  $\theta + \pi/2$ 。显见上述各项与矢量图解法中所作速度多边形和加速度多边形中有关线段是相对应的。在具体运动分析中，视  $\vec{R}$  的性质往往分别有若干项为零矢量，故可删去而简化上述各式。

需要特别指出的是在平面机构位移分析中，各位置矢量  $\vec{R}$  的幅角  $\theta$  都用同一固定坐标系中的数值来表示，因而此时上述公式中的各构件角速度、角加速度  $\dot{\theta}$  和  $\ddot{\theta}$  即为绝对角速度和绝对角加速度。

在图 5 中， $\vec{R}_1$  矢量的始点  $O$  为定点，所以  $\vec{R}_1$  在  $XOY$  坐标系中描述了  $A$  点的位置。 $\vec{R}_2$  在坐标系  $X'O'Y'$  中描述了  $B$  点相对于  $A$  点的位置，而  $B$  点在  $XOY$  坐标系中的位置需用  $\vec{R}_3$  来表述。 $\vec{R}_1$  和  $\vec{R}_2$  的方向或幅角均是指与  $X$  轴的夹角，即动坐标  $X'O'Y'$  与定坐标系  $XOY$  是相对平动，所以  $\vec{R}_3$  描述  $B$  点相



图

对于A点速度中的 $\dot{\theta}_2$ ，即为绝对角速度。 $\vec{R}_A$ 描述的是A点的绝对速度。B点的绝对速度为 $\vec{R}_B$ ，( $\vec{R}_B = \vec{R}_A + \vec{R}_{BA}$ )。至于加速度问题也有类似的关系。由此可见，在平面机构分析中，用复矢量描述构件位置时，由于矢量的方向角取用同一基准，所以式中所得 $\dot{\theta}$ 和 $\ddot{\theta}$ 均为相对于此基准的角速度和角加速度。 $\theta$ 以逆时针方向为正， $\dot{\theta}$ 和 $\ddot{\theta}$ 亦以逆时针方向为正。

## 2. 复矢量三角形解法：

由矢量法可知，一个平面机构的运动简图可用矢量封闭图形来代表，据此可列出矢量环路方程式。对此方程式求解未知元素即可解得机构的各未知位移值，而速度、加速度各量可由此方程式对时间求导所得的速度关系式和加速度关系式中解得。通常对于多构件和复杂的机构，环路方程式冗长，求解过程繁杂，容易出错，且机构种类甚多，不同型式的机构，环路方程式型式不同，求解过程的数学演绎方法亦就不一样，因此难以简化这些过程。

复矢量三角形解法主要用于解决复矢量环路方程式的求解问题，使其解法标准化，以减少数学演绎过程，使程序简明易用。复矢量三角形的解法是将矢量环路方程式按已知条件分为若干个矢量三角形，通过矢量三角形逐一求解未知量，从而来解此矢量环路方程式。由于矢量三角形的形式是有限的（下面将详述），因此可将矢量三角形的各类解法建成标准解题程序来解决环路方程式的求解问题。

下面试举一例来加以说明：图6所示为一个两自由度的五杆机构。已知各构件长度 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $r_5$ ，主动杆件的位置 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ，角速度 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ ，角加速度 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0$ 试求构件3、4的运动参数。



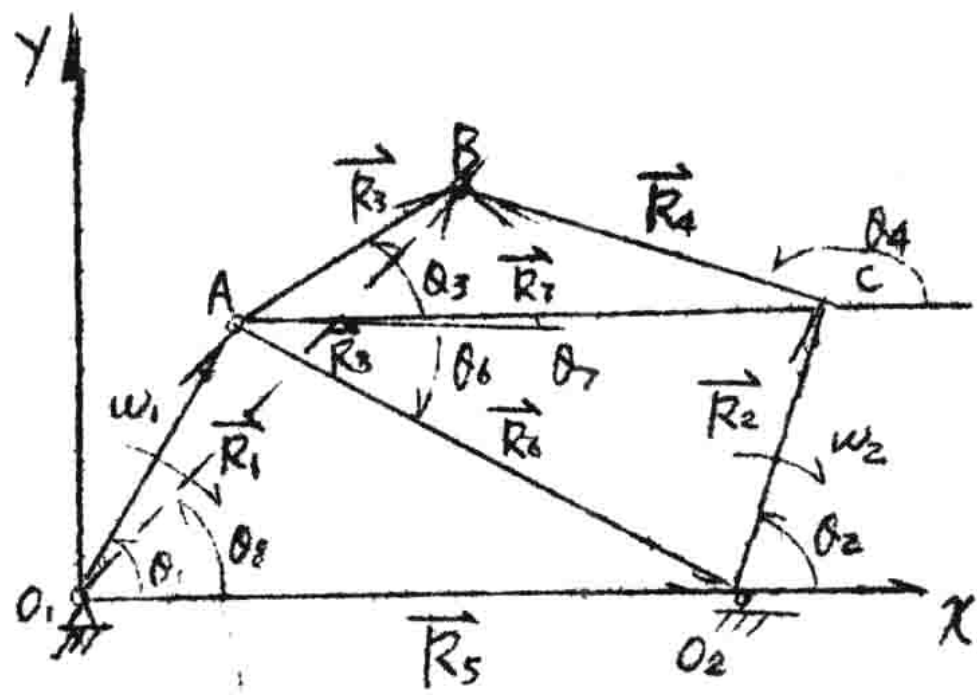


图 6

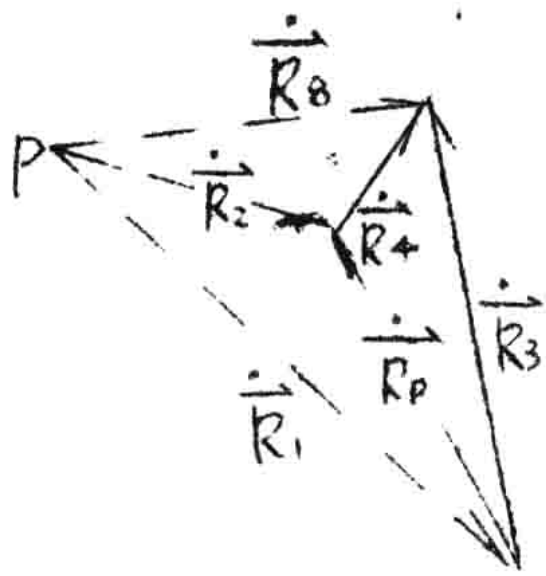


图 7

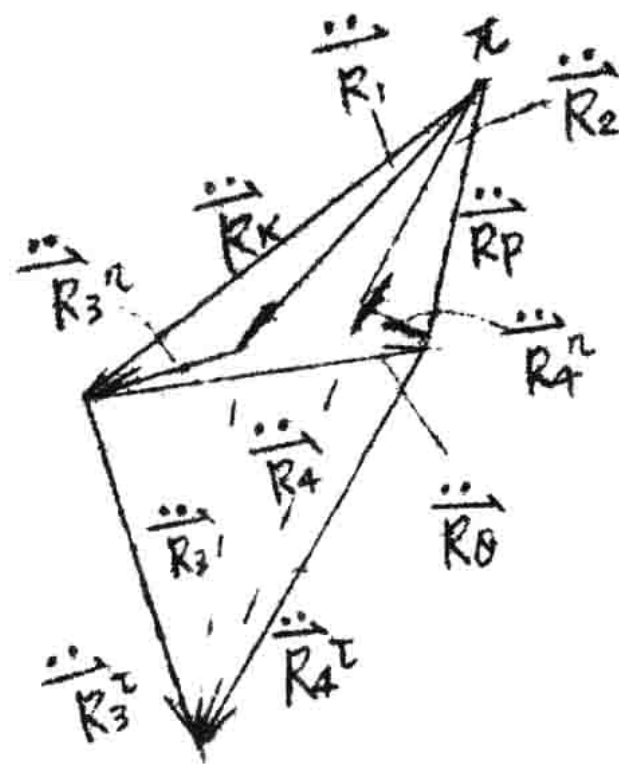


图 8

(1) 位移解：

由机构简图可得图 6 所示矢量五边形（其中矢量方向可任设）根据已知条件可将此矢量五边形分割为三个矢量三角形  $O_1AO_2$ 、 $ACO_2$  和  $ABC$ 。由此得三个矢量三角形的方程。为：

$$\vec{R}_6 = \vec{R}_7 - \vec{R}_1 \quad \text{即} \quad r_6 e^{i\theta_6} = r_7 e^{i\theta_7} - r_1 e^{i\theta_1} \quad (1)$$

$$\vec{R}_7 = \vec{R}_6 + \vec{R}_2 \quad \text{即} \quad r_7 e^{i\theta_7} = r_6 e^{i\theta_6} + r_2 e^{i\theta_2} \quad (2)$$

$$\vec{R}_3 = \vec{R}_2 + \vec{R}_4 \quad \text{即 } r_3 e^{i\theta_3} = r_2 e^{i\theta_2} + r_4 e^{i\theta_4} \quad (3)$$

顺次求解方程式(1)、(2)、(3), 即可解出构件3、4 (即  $\vec{R}_3$  和  $\vec{R}_4$ ) 的位移情况 (即  $\theta_3$ 、 $\theta_4$ )。

上述三个方程都是复数方程, 每一个复数方程包含两个实数方程, 即在实轴方向和虚轴方向上的两个实数方程。根据欧拉公式  $r e^{i\theta} = r \cos \theta + i r \sin \theta$  我们可将形似  $\vec{R}_a + \vec{R}_b = \vec{R}_c$  的矢量三角形方程分解为如下两个方程:

$$\begin{aligned} \therefore r_a \cos \theta_a + i r_a \sin \theta_a + i r_b \cos \theta_b + i r_b \sin \theta_b \\ = r_c \cos \theta_c + i r_c \sin \theta_c \end{aligned}$$

$$\therefore \begin{cases} r_c \cos \theta_c = r_a \cos \theta_a + r_b \cos \theta_b \\ r_c \sin \theta_c = r_a \sin \theta_a + r_b \sin \theta_b \end{cases}$$

两个方程联立求解, 可解得两个未知量。因此若方程式

$r_a e^{i\theta_a} + r_b e^{i\theta_b} = r_c e^{i\theta_c}$  中只有两个未知量, 则可由上述方程组求解得到。

从上述原理出发, 在式(1)中,  $r_1$ 、 $\theta_1$ 、 $r_2$  均已知, 因而可求得  $r_3$  和  $\theta_3$  两个未知量。再解(2)式, 此时式中未知量仅仅是  $r_4$  和  $\theta_4$ , 因此可解出。最后解(3)式, 此时(3)式中  $r_2$ 、 $\theta_2$ 、 $r_3$  和  $r_4$  是已知量,  $\theta_3$  和  $\theta_4$  是未知量, 所以用上原理可解得  $\theta_3$  和  $\theta_4$ 。至此机构各构件位移解基本解得, 它们分别以矢量  $\vec{R}$  的  $r$  和  $\theta$  表示。对于B点的轨迹, 因为它是相对于定坐标系

X O Y 而言的，因此需用  $\vec{R}_3$  来描述 ( $\vec{R}_3 = \vec{R}_1 + \vec{R}_2$ )。显见  $r_3$  和  $\theta_3$  求解情况与(1)式或(2)式是相同的。

(2) 速度解：

将位移矢量多边形方程  $\vec{R}_3 = \vec{R}_1 + \vec{R}_2 - \vec{R}_1$  对时间求导，得速度矢量多边形方程  $\dot{\vec{R}}_3 = \dot{\vec{R}}_1 + \dot{\vec{R}}_2 - \dot{\vec{R}}_1$ 。其中因  $\vec{R}_1$  为固定矢量  $\dot{r}_1 = 0$ ， $\dot{\theta}_1 = 0$ ，所以  $\dot{\vec{R}}_1 = 0$ ，至于其余各  $\dot{\vec{R}}$ ，因  $\dot{r}$  均为零 ( $r$  为定值)，所以也均只有一项。用复数表示为

$$r_3 \dot{\theta}_3 e^{i(\theta_3 + \pi/2)} = r_2 \dot{\theta}_2 e^{i(\theta_2 + \pi/2)} - r_1 \dot{\theta}_1 e^{i(\theta_1 + \pi/2)}$$

其图形如图7所示，由于上式中  $\dot{\vec{R}}_1$  和  $\dot{\vec{R}}_2$  二项各参量均已知，故可以合并用一个  $\dot{\vec{R}}_p$  矢量来表示，如图7所示，这样，可将速度矢量多边形划分为两个矢量三角形，它们分别用下述两个方程表示：

$$\dot{\vec{R}}_p = \dot{\vec{R}}_2 - \dot{\vec{R}}_1$$

$$\text{即 } r_p e^{i\theta_p} = r_2 \dot{\theta}_2 e^{i(\theta_2 + \pi/2)} + (-r_1 \dot{\theta}_1) e^{i(\theta_1 + \pi/2)} \quad (4)$$

$$\dot{\vec{R}}_3 = \dot{\vec{R}}_1 + \dot{\vec{R}}_p$$

$$\text{即 } r_3 \dot{\theta}_3 e^{i(\theta_3 + \pi/2)} = r_1 \dot{\theta}_1 e^{i(\theta_1 + \pi/2)} + r_p e^{i\theta_p} \quad (5)$$

依次求解方程式(4)和(5)可得  $\dot{\theta}_3$  和  $\dot{\theta}_1$ 。由于  $O_1$ 、 $O_2$  为铰链点，所以A点和C点的速度即是  $\dot{\vec{R}}_1$  和  $\dot{\vec{R}}_2$ ，而B点速度值为  $\dot{\vec{R}}_3$ 。因为  $\vec{R}_3 = \vec{R}_1 + \vec{R}_2$ ，所以  $\dot{\vec{R}}_3 = \dot{\vec{R}}_1 + \dot{\vec{R}}_2$ 。在  $\dot{\theta}_3$



和  $\dot{\theta}_1$  解得后,  $\vec{R}_0$  即可根据此式解得。

(3) 加速度解:

将速度矢量多边形方程  $\vec{R}_3 = \vec{R}_4 + \vec{R}_2 - \vec{R}_1$  对时间求导, 得加速度矢量多边形方程  $\ddot{\vec{R}}_3 = \ddot{\vec{R}}_4 + \ddot{\vec{R}}_2 - \ddot{\vec{R}}_1$ 。其相应图形见图 8。用复数表出为

$$r_3 \ddot{\theta}_3 e^{i(\theta_3 + \frac{\pi}{2})} + r_3 \dot{\theta}_3^2 e^{i(\theta_3 + \pi)} = r_4 \ddot{\theta}_4 e^{i(\theta_4 + \frac{\pi}{2})} + r_4 \dot{\theta}_4^2 e^{i(\theta_4 + \pi)} + r_2 \dot{\theta}_2^2 e^{i(\theta_2 + \pi)} - r_1 \dot{\theta}_1^2 e^{i(\theta_1 + \pi)}$$

对应图中矢量标志为

$$\ddot{\vec{R}}_3 \quad \ddot{\vec{R}}_4 \quad \ddot{\vec{R}}_2 \quad \ddot{\vec{R}}_1$$

上式中  $\ddot{\vec{R}}_2$ 、 $\ddot{\vec{R}}_1$ 、 $\ddot{\vec{R}}_3$  和  $\ddot{\vec{R}}_4$  四项为已知项, 可同速度解法一样合并得  $\ddot{\vec{R}}_0$ 。于是可得下述矢量三角形方程 (各式中未知量均仅两个)。

$$\ddot{\vec{R}}_p = \ddot{\vec{R}}_2 + \ddot{\vec{R}}_4$$

$$\text{即 } r_p e^{i\theta_p} = r_2 \dot{\theta}_2^2 e^{i(\theta_2 + \pi)} + r_4 \dot{\theta}_4^2 e^{i(\theta_4 + \pi)} \quad (6)$$

$$\ddot{\vec{R}}_k = \ddot{\vec{R}}_1 + \ddot{\vec{R}}_3$$

$$\text{即 } r_k e^{i\theta_k} = r_1 \dot{\theta}_1^2 e^{i(\theta_1 + \pi)} + r_3 \dot{\theta}_3^2 e^{i(\theta_3 + \pi)} \quad (7)$$

$$\ddot{\vec{R}}_0 = \ddot{\vec{R}}_p - \ddot{\vec{R}}_k$$

$$\text{即 } r_0 e^{i\theta_0} = r_p e^{i\theta_p} - r_k e^{i\theta_k} \quad (8)$$

$$\vec{R}_3 = \vec{R}_4 + \vec{R}_\theta$$

$$\text{即 } r_3 \dot{\theta}_3 e^{i(\theta_3 + \pi/2)} = r_4 \dot{\theta}_4 e^{i(\theta_4 + \pi/2)} + r_\theta \dot{\theta}_\theta e^{i\theta_\theta} \quad (9)$$

依次求解式(6)~(9)即可最终解得 $\dot{\theta}_4$ 和 $\dot{\theta}_\theta$ 。至于各构件上特定点的加速度值的求解问题，原理上同速度解的情况一样。

由本例可见，复矢量三角形解法是一种矢量图形的三角形化数值解法，用一系列三角形的依次解来解决环路方程式的求解问题。在实际分析过程中往往只需直接从环路方程式中分析已知和未知量而得求解用的一系列矢量三角形方程。如前所述，复矢量三角形方程型式有限，故上述求解过程可用标准程序内调用来进行。

### 3. 标准矢量三角形方程解程序

根据复矢量三角形具有确定大小、形状和方位的有解条件，可归纳推得如表(1)所述六种类型，分别用代号 BV1、BV2、BV3、BV4、BV5 和 BV6 来表示。

现设复矢量标准三角形方程为： $\vec{R}_a + \vec{R}_b = \vec{R}_c$ ，以复数形式表示为：

$$r_a e^{i\theta_a} + r_b e^{i\theta_b} = r_c e^{i\theta_c} \quad (1)$$

矢量 类型	$\vec{R}_a$		$\vec{R}_b$		$\vec{R}_c$		备注
	$r_a$	$\theta_a$	$r_b$	$\theta_b$	$r_c$	$\theta_c$	
BV1	✓	✓	✓	✓	?	?	
BV2	✓	✓	?	✓	?	✓	
BV3	✓	✓	✓	?	?	✓	
BV4	✓	✓	✓	?	✓	?	
BV5	✓	?	?	?	✓	✓	附加条件： $\theta = \theta_a - \theta_b$ 已知
BV6	✓	?	✓	?	?	✓	附加条件： $\theta = \theta_a - \theta_b$ 已知

表(1)标准矢量三角形方程类型表(表中“✓”为已知，“?”为待求)

在讨论和求解上表所列六类方程之前，先建立若干有关程序，以满足机构运动分析过程中某些特定要求。

#### (1) ART 过程：

由于复矢量三角形方程中的各个角度均是全平面内之角，其主值范围在  $(-\pi, +\pi]$  之间，而反三角函数，如反正弦、反余弦