数控加工自动编程语言

教材

南京航空学院、沈阳航空学院

前　　言

随着数控加工技术的发展，应用计算机辅助编制程序（又称自动编程），使编程人员从繁琐的计算工作中解脱出来，将主要精力用于研究与应用现在科学技术，以及使编程工作迅速，准确等，其意义正显得越来越迫切。

近年来，我国对数控线切割机床和数控铣床等应用计算机辅助编程已取得很大成绩。其中，我校研制了SKG数控线切割机自动编程语言系统。目前该系统在DJS—100系列小型计算机上实现对“3b”型指令数控线切割机的自动编程（以下简称“线切割编程”）。最近三、四年来，它已较为普遍地被采用。

我们在SKG自动编程系统的基础上扩展功能，目前实现对于数控铣床XK—5040（数控装置B_1 K211A）加工零件的自动编程（以下简称“铣床编程”）。为此需要增加一些语句和设计后置处理程序，“铣床编程”继承了SKG数控语言全部可用的语句。对于必须增加的语句力求书写简便，某些语句甚至采用与机床指令相同的形式。编译系统占用计算机内存约3500个单元，具有8K内存的DJS—100系列计算机即可实现“铣床编程”。

鉴于上述情况，本书第一节至第十节叙述的内容，适用于线切割编程和铣床编程。第十一节介绍实现“铣床编程”所增加的数控语言的语句。源程序纸带的制备，二者是相同的，见附录一。另外，本书还说明实现自动编程的上机操作步骤，分别见于附录二、三。

前言

第一节　基本符号与运算对象的命名

一、基本符号

本语言共用４４个基本符号．

(1)　数字１０个：

　　0、1、2、3、4、5、6、7、8、9．

(2)　字母２０个：

　　A、C、D、E、F、G、I、J、L、N、

　　O、P、Q、R、S、T、U、X、Y、Z．

(3)　定义符１４个：

定义符是一些具有确定意义的符号，包括运算符，分隔符等．它们是：

+	（加号）	.	（小数点）	−	（减号、负号）
:	（冒号）	×	（乘号）	#	（转角号）
/	（除号）	␣	（空格）	=	（赋值号）
,	（逗号）	(	（开括号）	↵	（回车号）
)	（闭括号）	.	（结束号）		

括号内的标注主要给这些符号予名称，有些定义符由于出现的地方不同的含意．它们的具体含意将在以后各节介绍．

二、运算对象的命名

运算对象包括常数，算术变量和几何元素等．它们的名字由若干个基本符号（又称字符）按一定的格式拼写而成．

１、算术变量

算术变量是给一个值起的名字．一个算术变量的值可用对该变量赋值的语句加以确定．算术变量的名字由一个字母和下标组成．下标是不大于９９９的正整数，无下标与下标为零相同（以下同）．

可用的字母为：A、D、R、I、J

R专用来表示刀具（钼丝）补偿值，不作其它变量名字用．

2、几何元素

几何元素有点、园和直线．它们的名字也是由一个字母和下标组成，如S_1，C_{23}，P_{120}等．不同几何元素名字所用的字母规定如下：

点　P，$\emptyset$（即字母"O"加"＼"，以区别于数字"O"）

园　C，T

直线　X、S、Y

3、数

数用来表示点的座标，园的半径，以及距离、角度值和齿数等．数用十进制书写．正数前不必加"十"；负数前一定要加"一"。

如将每个数N用$W\cdot 2^n$形式表示，则

$$\frac{1}{2}\cdot 2^{-64}\leq N\leq(1-2^{-\ \ 4})\cdot 2^{63}$$

小于下限的数看作"零"，大于上限的数看作无穷大（即计算机"溢出"）．

本文中用到的长度单位为毫米．角度单位为度，带分、秒的角度度要化为以度为单位的小数．

第 二 节　几 何 定 义 语 句

几何定义语句又叫限定语句，它用来描述零件的几何图形．

一、基准元素与基本定义语句

1、基准元素

为描述零件的几何图形，首先要在零件图上选定合适的点和方向建立XOY坐标系．O表示座标元点．X表示X轴．Y表示Y轴．这三者称为基准元素，凭借它们定义任何其它几何元素．

O、X、Y三元素已在编译系统中专门定义，不要再给予限定，也不能再作其它元素的名字用．

2、基本定义语句

基本定义语句或叫直接定义语句，是指直接给几何元素赋值的语句．

⑴点的基本定义语句　P_i —（D_j、D_K）↵

式中：D_j、D_K——代表二个具体数，也可以是已定义过的数的名字．它们分别表示点P_i的X、Y座标值．

i、j、K——表示下标、（下同）．

回车号↵——表示一个语句结束．（下同）．

例：P_4 —（6、5）↵　（图1）

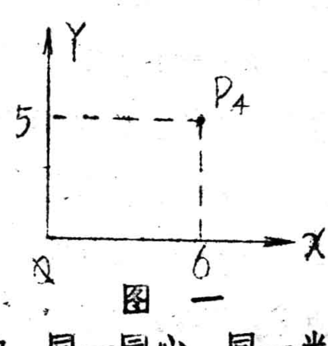


图 一

⑵园的基本定义语句

C_i — P_j：R_K↵

上式表示C_i是以点P_j为园心、R_K为半径的园．

本语言规定被定义的园都是有走向的．同一园心、同一半径值的园可以有顺时针、逆时针两种走向，我们用半径的符号来区别它们．根据数学和运动学的惯例规定：

逆园为正；　顺园为负

如图2，逆园C_1定义为：

$C_1 — O_1$ ： 5↴

顺园C_2定义为：

$C_2 — O_2$ ： −6↴

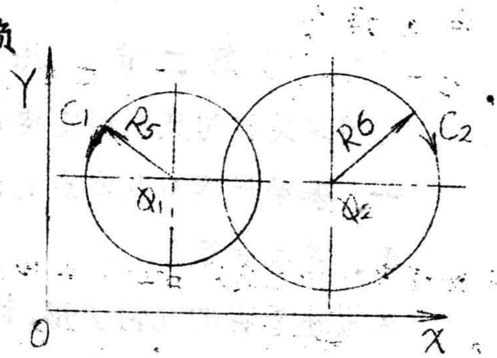


图 二

(3)直线的基本定义语句

在编译系统中，直线以其法线式方程　$\alpha X+\beta Y=\gamma$ 的三个系数α、β、γ表示。同样，对直线都规定走向，以其走向转—90°作为法向（见图3）。由此，作为直线的特例，X轴、Y轴的三个系数各为：（0、−1、0）、（1、0、0）。

本语言除了对X轴、Y轴（以及座标原点O）由编译系统给予直接定义外，对其它直线不再规定直接定义语句。任何直线都由X轴或Y轴平移一定的距离、旋转某一角度，或其它方法间接地加以限定。

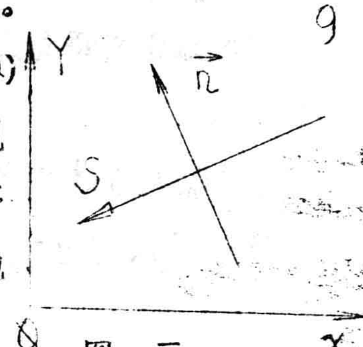


图 三

下面介绍几何元素的间接定义语句

二、点的定义

(1)　$P_i — P_j$↴

定义点P_i的X、Y座标值等同于已知点P_j的X、Y座标值。

例：$P_5 — P_1$↴

(2)　$P_i — -P_j$↴

定义点P_i的X、Y座标值与已知点P_j的X、Y座标值数值相同，符号相反。

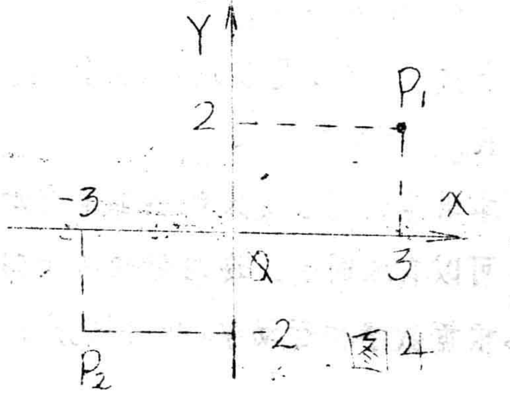


图4

例： $P_2 = -P_1$ ↵ （图4）

(3) $P_i = R_j \# A$ ↵

用极坐标定义P_i，R_j为矢径，A为极角。

经计算机内部处理

$P_i = (R_j \cdot cosA, R_j \cdot sinA)$

矢径R_j可以"十、一"，见图5。

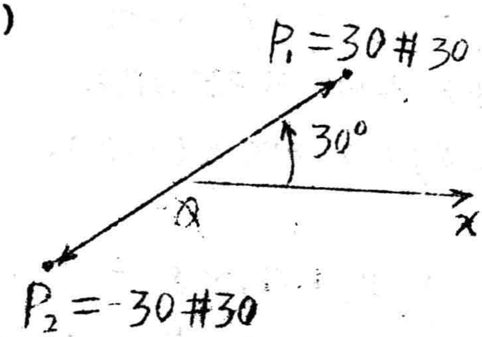


图 五

(4) $P_i = P_j \# A$ ↵

定义P_i为已知点P_j绕原点O转A角后得到的点（图6）。

转角A有正、负：逆时针方向为正；顺时针方向为负。

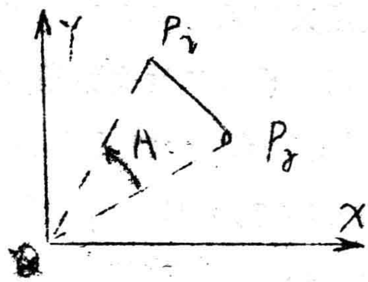


图 六

如果上述转心并非原点，而是任意点P_K，则记为：

$P_i = P_j \# A, P_K$ ↵

定义P_i为已知点P_j绕P_K转A角后得到的点（图7）。

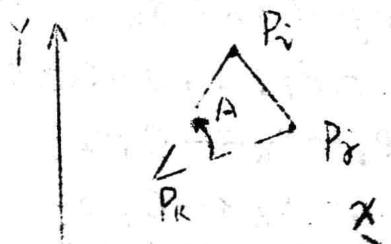


图 七

(5) $P_i = P_j / S_K$ ↵

定义P_i是已知点P_j对于已知知直线S_K的对称点（图8）。

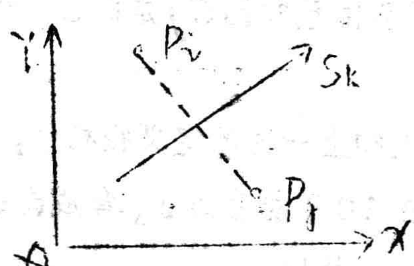


图 八

(6)　P_i — $S_j * S_K$ ↵

定义P_i是两根不平行的已知直线S_j和S_K的交点（图9）。

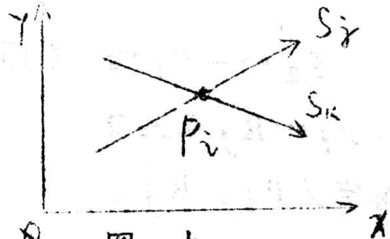


图　九

(7)　P_i — $C_j * S_K$ ↵

见图10，园C_j与直线S_K相交于P_i、P_j两点。在一般数控语言中用修饰词A、B、L、R（或$X_{大}$、$X_{小}$、$Y_{大}$、$Y_{小}$等）帮助确定欲定义的点。本语言不用修饰词；采用在已知的后元素前是否加负号“—”来区别，上式即表示：P_i为由园C_j走向直线S_K的左拐点（没有负号）。

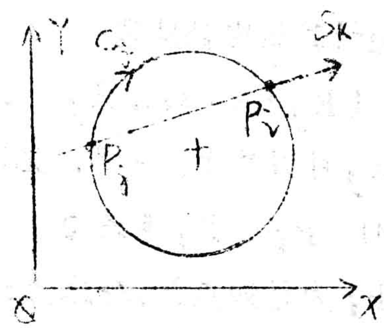


图　十

如果定义的点为由园C_j走向直线S_K的右拐点，如图10中的P_j点，则记为：

P_j — $C_j * -S_K$ ↵

同理，点P_i、P_j也可以用如下语句定义：

P_i — $S_K * -C_j$ ↵

P_j — $S_K * -C_j$ ↵

此时，P_i为由S_K走向C_j的右拐点；P_j为由S_K走向C_j的左拐点。

(8)　P_i — $C_j * C_K$ ↵（图11）

定义P_i为由已知园C_j走向C_K的左拐点。

这里和上一种的定义很相似，可以看作图10中把直线S_K弯成园C_K后的情况。按照：

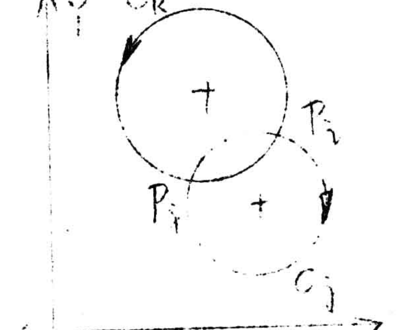


图　十一

左拐点取正 （不写“＋”号）

右拐点取负

的规则，点 P_i、P_j 除上式表示外，还可以用如下语句定义：

$P_i - C_K \times - C_j$ ↲

$P_j - C_j \times - C_K$ ↲

$P_j - C_K \times C_j$ ↲

(9) $P_i - P_j \# S_K$ ↲（图12）

定义点 P_i 为由已知点 P_j 向已知直线 S_K 所作的垂足。

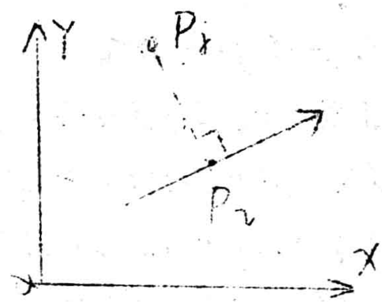


图 十二

三、园的定义

(1) $C_i - P_j / P_K$ ↲（图13）

定义 C_i 为以已知点 P_j 为园心、过另一已知点 P_K 的逆园。

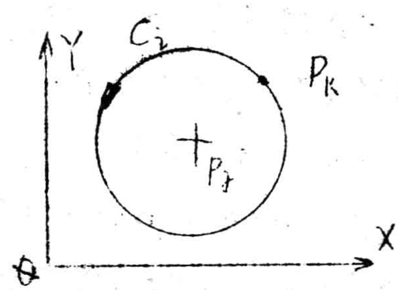


图 十三

(2) $C_i - C_j$ ↲

定义园 C_i 等同于已知园 C_j，即园心、半径及其走向都是相同的。

(3) $C_i - - C_j$ ↲

定义 C_i 为已知园 C_j 反向后所得的园。如果已知园 C_j 的走向是顺时针的，即半径为负，那么 C_i 的走向就是逆时针的，半径为正，而其园心和半径的绝对值是一样的。

(4) $C_i - C_j : D_K$ ↲（图14）

定义 C_i 是已知园 C_j 的同心园，D_K 是两园之间的半径差。

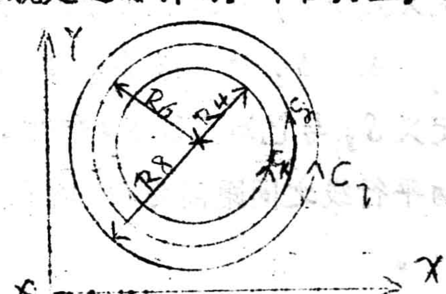


图 十四

$D_K>0$表示C_i在C_j的右侧；$D_K<0$表示C_i在C_j的左侧。

如图１４，设园C_i、C_j、C_K的半径分别为８、６、４、则定义为：

$C_i - C_j$：２↴

$C_K - C_j$：－２↴

以上指C_i、C_K分别与C_j同向的情况。如果为不同向，可先将C_j反向，再按如上规则定义。

(5) $C_i - C_j / S_K$↴（图15）

定义C_i是已知园C_j对于已知直线S_K的对称园。为了照顾以后描述切削路线时大多数情况的方便，C_i的方向规定如图１５所示，即园C_i与C_j走向相同。

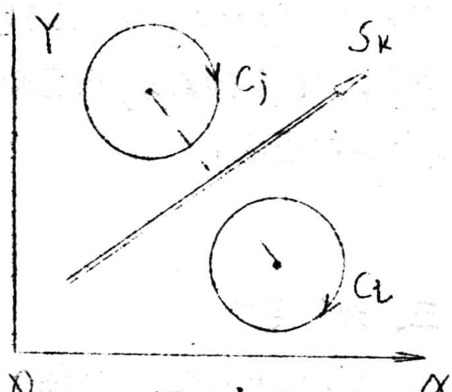


图　十五

四、直线的定义

(1)　$S_i - P_j$：P_K↴（图16）

定义S_i是由已知P_j到另一已知点P_K的直线。

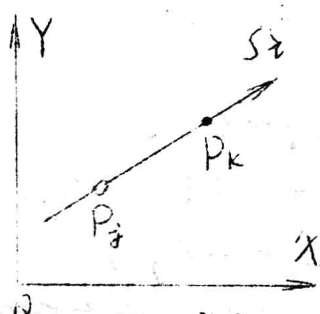


图　十六

(2)　$S_i - S_j$↴

定义直线S_i等同于已知直线S_j。

(3)　$S_i - -S_j$↴

定义直线S_i与已知直线S_j重合，但方向相反。

(4)　$S_i - S_j$：D_K↴

定义S_i与已知直线S_j平行。两平行线之间距离为D_K的直线。

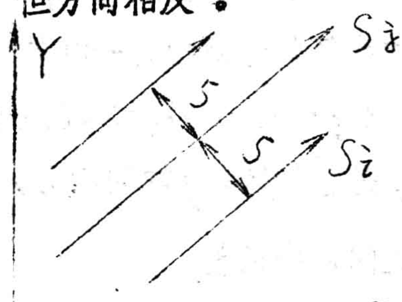


图　十七

$D_K > 0$　表示S_i在沿S_j方向的右侧；

$D_K < 0$　表示S_i在沿S_j方向的左侧。

设两平行线间的距离为5，见图17，可定义为：

$S_i - S_j: 5 ⊃$

$S_K - S_j: -5 ⊃$

注意：S_i方向应保持与S_j方向一致。

(5)　$S_i - S_j \# A ⊃$（图18）

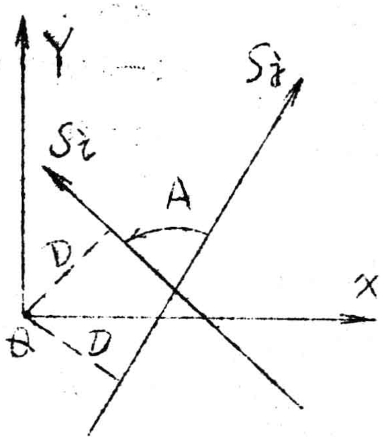


图　十八

定义S_i为已知直线S_j绕原点O旋转A角后所得到的直线。

注意：　$A > 0$时，逆时针方向旋转；

$A < 0$时，顺时针方向旋转。

图中D为转心（O）到直线的垂直距离。

如果上述转心并非原点，而是任意点P_K，见图19，为表示出转心，在上述一般式后加写"$:P_K$"，即：

$S_i - S_j \# A: P_K ⊃$

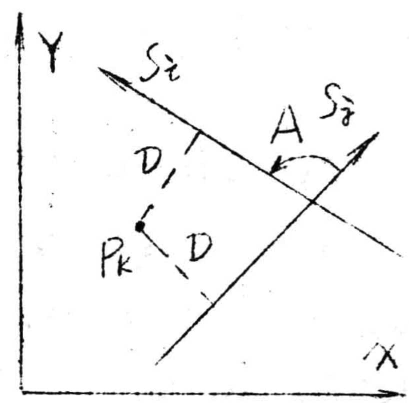


图　十九

定义S_i为已知直线S_j绕已知点P_K旋转A角后所得到的直线。

(6)　$S_i - S_j: C_K ⊃$（图20）

定义S_i为平行于已知直线S_j，而且切于已知园C_K的直线。

直线S_i是顺着C_K走向甩出的；如果被定义的直线是逆C_K走

向甩出，则 C_K 前应加写“一”号。

即： $S_K - S_j: -C_K$ ↲

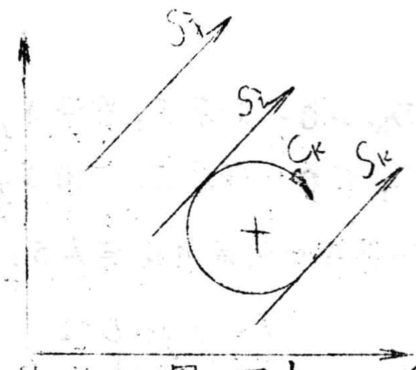


图 二十

(7) $S_i - S_j: P_K$ ↲（图21）

定义 S_i 为平行于已知直线 S_j，而且经过已知点 P_K 的直线。

这里可以看作是上一种定义的特例。当园 C_K 的半径为零时，C_K 就转化为 P_K。

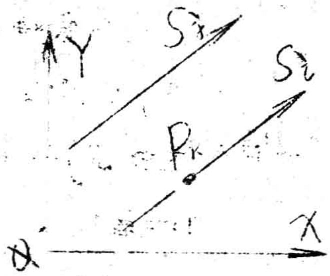


图 二十一

(8) $S_i - C_j: C_K$ ↲

上式定义两园的么切线。若园和直线的方向都按图22所示，则四条么切线可以写为：

$S_1 - C_j: C_K$ ↲

$S_2 - -C_j: -C_K$ ↲

$S_3 - C_j: -C_K$ ↲

$S_4 - -C_j: C_K$ ↲

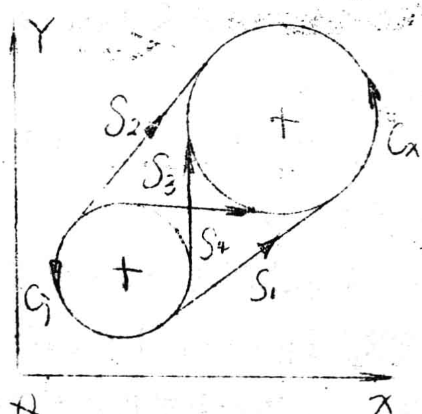


图 二十二

这里表示 S_1 是沿 C_j 走向甩到 C_K，继续沿 C_K 进行的切线。将园反向后，S_2、S_3、S_4 可同样按这样理解。

(9) $S_i - C_j: P_K$ ↲（图23）

定义 S_i 是沿着已知园 C_j 的走向甩到已知点 P_K 所得到的 C_j 的切线。

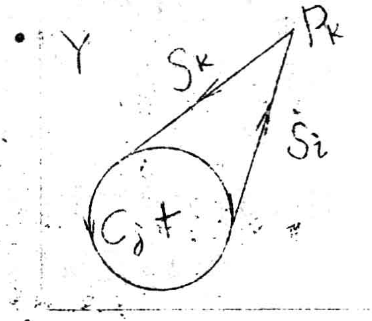


图 二十三

(10) $S_K—P_K: C_j$ ↵（图23）

定义S_K是从已知点P_K顺着已知园C_j的走向所作的C_j的切线。

上述两种定义可以看作是第(8)种定义中，当园的半径为零时的特例。

(11) $S_i—P_j \# P_K$ ↵

定义S_i为已知点P_j与已知点P_K之间的等距线，其方向为直线P_jP_K逆时针方向转90，见图24

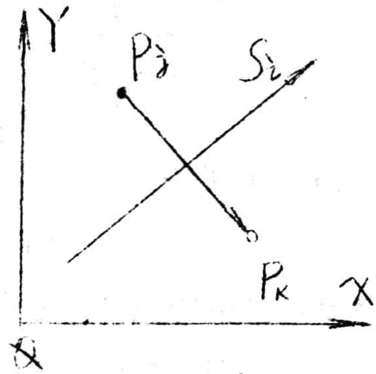


图 二十四

(12) $S_i—S_j/S_K$ ↵（图25）

定义S_i是已知直线S_j对于另一已知直线S_K的对称线，

为了照顾以后描述切削路线时大多数情况的方便，S_i的方向定如如图25所示，即与一般意义的对称规则方向相反。

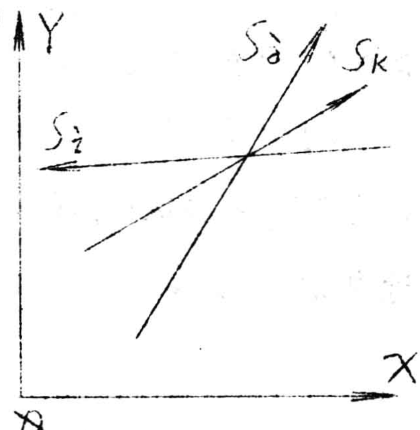


图 二十五

五、算术变量赋值语句

(1) $D_i—(P_j、P_K)$ ↵（图26）

定义D_i是已知两点P_j、P_K之间的距离。

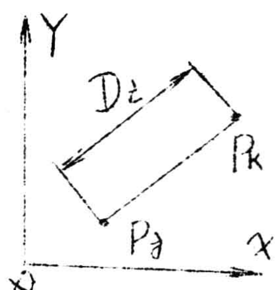
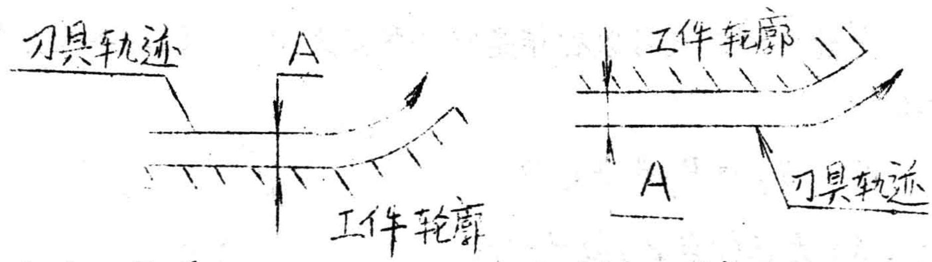


图 二十六

(2) $R = \pm A$ ↲

定义补偿半径R的数值为A



（a） $R<0$　　（b） $R>0$

图　二十七

补偿半径A值的正负符号取决于刀具（钼丝）轨迹与工件轮廓的相对位置。如图27所示，按刀具前进方向判断，切割路线在工件轮廓的左侧时，$R<0$（图（a））；切割路线在工件轮廓的右侧时$R>0$（图（b））。

(3) $D_i = D_j$ ↲

定义数值D_i与数值D_j等同。D_j代表一个具体数，也可以是已定义过的数的名字。

第 三 节　　表 达 式

上一节介绍了点、园、直线等几何元素的定义语句。它们都是描述几何元素的一些规则。在这些语句中，"="号的右边可看作是一个几何表达式，它由一些几何元素和数通过"＊"、"／"、"："、"#"等运算符号连接起来，有时要用括号适当地括起来而组成，表示几何运算关系。

在本语言中，还可以作算术运算、简单矢量运算和求标准函数。这些算术表达式和几何表达式组成全部可允许的运算关系。

现将全部可允许的运算关系列于表1。

运 算 关 系 表　　　　表1

运算关系	含　　义	结果
(D_j, D_K)	横座标为 D_j、纵座标为 D_K 的	点
$P_j: R_K$	园心为 P_j、半径为 R_K（>0逆时向，<0顺时向）的	园
$C_j: D_K$	与 C_j 半径相差为 D_K 的同心	园
$S_j: D_K$	与 S_j 相距为 D_K 的	线
$C_j: C_K$	从 C_j 到 C_K 的公切	线
$C_j: P_K$	从 C_j 到 P_K 的切	线
$P_j: C_K$	从 P_j 到 C_K 的切	线
$P_j: P_K$	从 P_j 到 P_K 的连	线

（续表1）

运算关系	含　　　义	结果
$S_j : C_K$	切于C_K且平行于S_j的	线
$S_j : P_K$	经过P_K且平行于S_j的	线
$C_j \ast C_K$	从C_j到C_K的左拐	点
$C_j \ast S_K$	从C_j到S_K的左拐	点
$S_j \ast C_K$	从S_j到C_K的左拐	点
$S_j \ast S_K$	从S_j到S_K的交	点
$R_j \# A_K$	横坐标为$R_j cos A_K$、纵坐标为$R_j sin A_K$的	点
$P_j \# A_K$	P_j绕转心转A_K角后所得的	点
$S_j \# A_K$	S_j绕转心转A_K角后所得的	线
$P_j \# S_K$	P_j对S_K的垂足	点
$A_K : P_L$	以P_L为转心转过A角（只用于	
	$P_j \# A_K : P_L$、$S_j \# A_K : P_L$中）	
C_j / S_K	C_j对S_K反映后所得的	园
P_j / S_K	P_j对S_K反映后所得的	点
S_j / S_K	S_j对S_K反映后所得的	线
P_j / P_K	以P_j为园心、经过P_K的	逆园
$P_j \# P_K$	P_j和P_K的（走向为$P_j P_K$转$90°$）等距	线
$A_j + A_K$	A_j、A_K之	和
$A_j - A_K$	A_j、A_K之	差
$A_j \ast A_K$	A_j、A_K之	[illegible]