第二章 插补和刀补计算原理

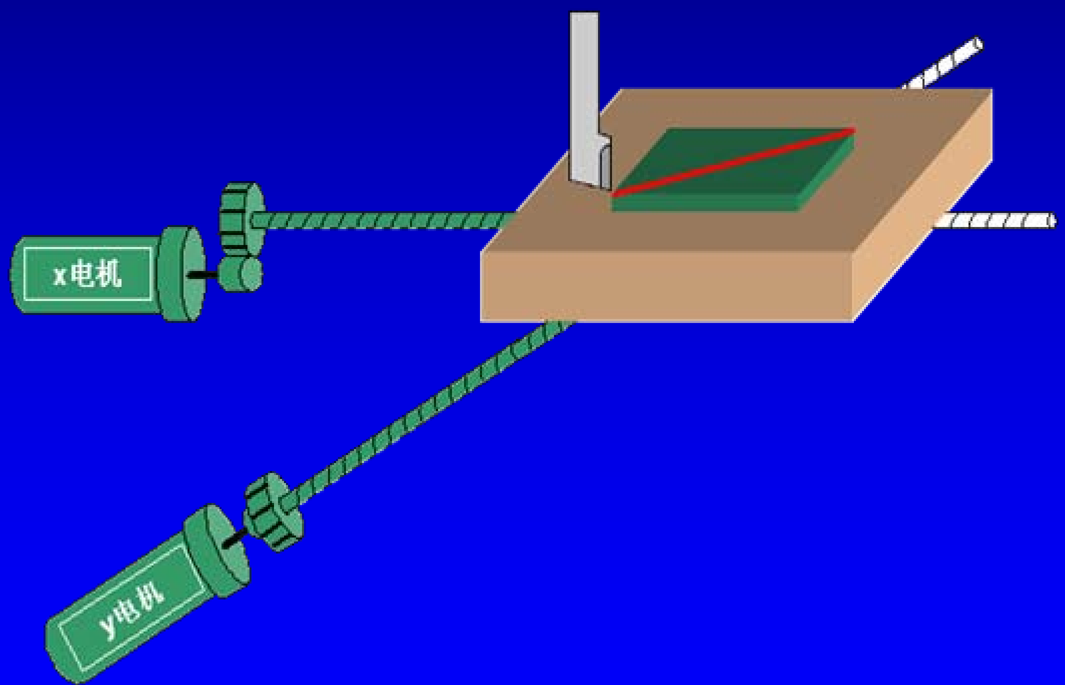
- 概述
- 逐点比较法
- 数字积分法
- 数字脉冲乘法器
- 数据采样插补法
- 其它插补方法
- 刀具半径补偿

插补技术是数控系统的核心技术

§ 2-1 概述

1. 插补的定义

加工直线的程序 **N3G01X-45000Y-75000F150**



§2-1 概述

1. 插补的定义

数据密集化的过程。数控系统根据输入的基本数据（直线起点、终点坐标，圆弧圆心、起点、终点坐标、进给速度等）运用一定的算法，自动的在有限坐标点之间形成一系列的坐标数据，从而自动的对各坐标轴进行脉冲分配，完成整个线段的轨迹分析，以满足加工精度的要求。

要求：实时性好，算法误差小、精度高、速度均匀性好

数学模型：直线、圆弧、二次曲线、螺旋线、自由曲线等

§2-1 概述

2. 分类

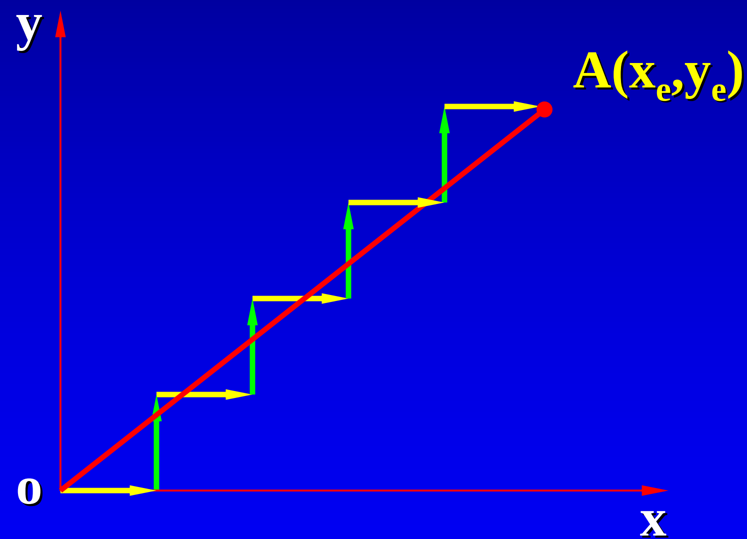
插补是数控系统必备功能，NC中由硬件完成，CNC中由软件实现，两者原理相同。

- 基准脉冲插补（脉冲增量插补）
  - 逐点比较法
  - 数字脉冲乘法器
  - 数字积分法
  - 矢量判别法
  - 比较积分法
- 数据采样插补（单位时间）

§2-2 逐点比较法

应用广泛，能实现平面直线、圆弧、二次曲线插补，精度高。

一、逐点比较法直线插补



§2-2 逐点比较法

一、逐点比较法直线插补

1. 基本原理

在刀具按要求轨迹运动加工零件轮廓的过程中，不断比较刀具与被加工零件轮廓之间的相对位置，并根据比较结果决定下一步的进给方向，使刀具向减小误差的方向进给。其算法最大偏差不会超过一个脉冲当量δ。

每进给一步需要四个节拍：

偏差判别 → 坐标进给 → 新偏差计算 → 终点比较

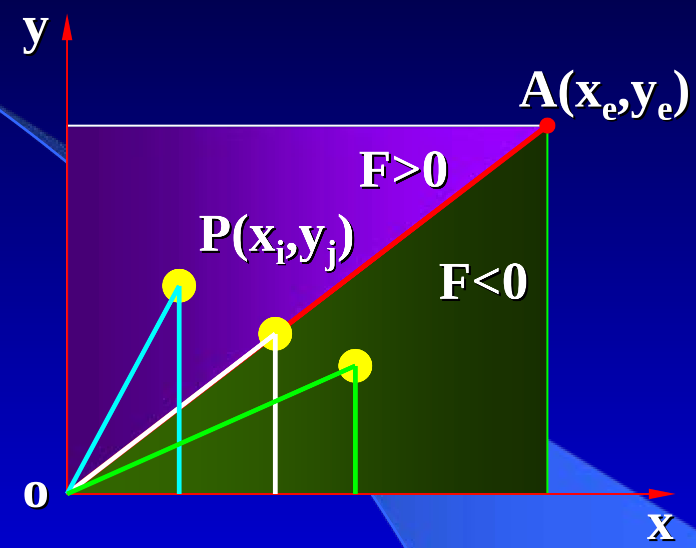
§2-2 逐点比较法

一、逐点比较法直线插补

2. 算法分析（第Ⅰ象限）

- 偏差判别

直线上	$\frac{y_j}{x_i} = \frac{y_e}{x_e}$	$x_e y_j - x_i y_e = 0$
直线上方	$\frac{y_j}{x_i} > \frac{y_e}{x_e}$	$x_e y_j - x_i y_e > 0$
直线下方	$\frac{y_j}{x_i} < \frac{y_e}{x_e}$	$x_e y_j - x_i y_e < 0$

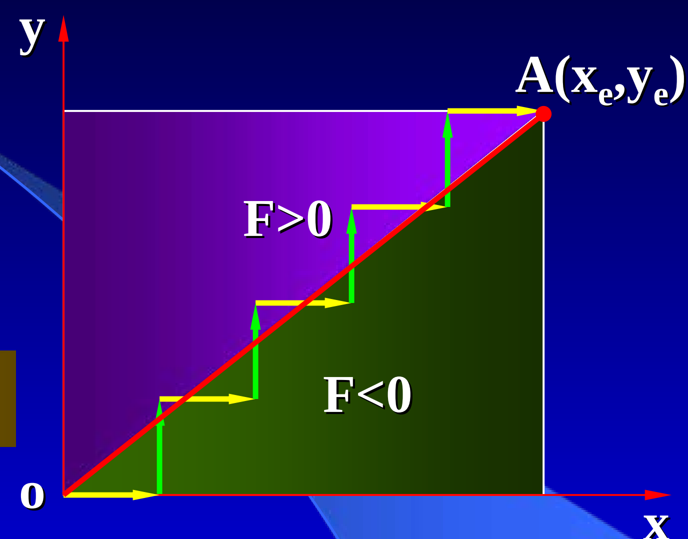


偏差判别函数 $F_{ij} = x_e y_j - x_i y_e \begin{cases} = 0 \text{点在直线上} \\ > 0 \text{点在直线上方} \\ < 0 \text{点在直线下方} \end{cases}$

§2-2 逐点比较法

一、逐点比较法直线插补

2. 算法分析（第 I 象限）



- 坐标进给

直线上	$F_{ij}=0$	+△x或+△y方向
直线上方	$F_{ij}>0$	+△x方向
直线下方	$F_{ij}<0$	+△y方向

- 新偏差计算

+△x进给： $F_{i+1,j}=x_e y_j-(x_i+1)y_e=x_e y_j-x_i y_e-y_e=F_{i,j}-y_e$

+△y进给： $F_{i,j+1}=x_e(y_j+1)-x_i y_e=x_e y_j-x_i y_e+x_e=F_{i,j}+x_e$

§2-2 逐点比较法

一、逐点比较法直线插补

2. 算法分析（第Ⅰ象限）

- 终点比较

  用X_e+Y_e作为计数器，每走一步对计数器进行减1计算，直到计数器为零为止。

- 总结 $F_{ij} = x_e y_j - x_i y_e$

第一拍 判别	第二拍 进给	第三拍 运算	第四拍 比较
$F_{ij} \geq 0$	$+\Delta x$	$F_{i+1,j} = F_{i,j} - y_e$	$E_{i+j} = E_{终} - 1$
$F_{ij} < 0$	$+\Delta y$	$F_{i,j+1} = F_{i,j} + x_e$	

§2-2 逐点比较法

一、逐点比较法直线插补

$$F_{ij} = x_e y_j - x_i y_e$$

3. 运算举例（第 I 象限）

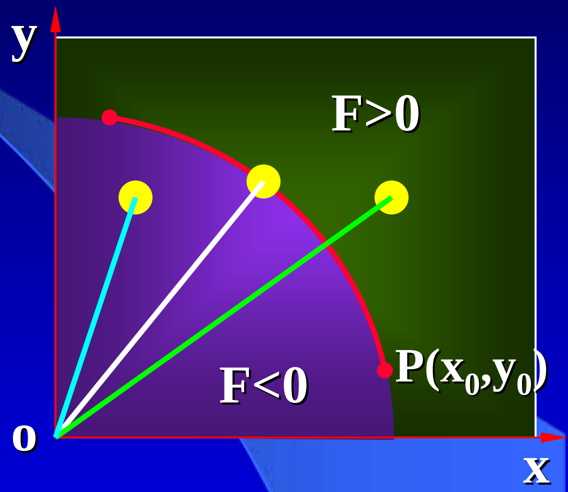
- 加工直线OA，终点坐标x_e=5，y_e=3，$E_8=x_e+y_e$=8，F_{00}=0

序号	第一拍：判别	第二拍：进给	第三拍：运算	第四拍：比较
1	$F_{00} = 0$	$+\Delta x$	$F_{10} = F_{00} - y_e = 0-3=-3$	$E_7 = E_8 - 1$
2	$F_{10}(=-3)<0$	$+\Delta y$	$F_{11} = F_{10} + x_e = -3+5=2$	$E_6 = E_7 - 1$
3	$F_{11}(=2)>0$	$+\Delta x$	$F_{21} = F_{11} - y_e\, 2-3=-1$	$E_5 = E_6 - 1$
4	$F_{21}(=-1)<0$	$+\Delta y$	$F_{22} = F_{21} + x_e\, -1+5=4$	$E_4 = E_5 - 1$
5	$F_{22}(4)>0$	$+\Delta x$	$F_{32} = F_{22} - y_e = 4-3=1$	$E_3 = E_4 - 1$
6	$F_{32}(=1)>0$	$+\Delta x$	$F_{42} = F_{32} - y_e = 1-3=-2$	$E_2 = E_3 - 1$
7	$F_{42}(=-2)<0$	$+\Delta y$	$F_{43} = F_{42} + x_e = -2+5=3$	$E_1 = E_2 - 1$
8	$F_{43}(=3)>0$	$+\Delta x$	$F_{53} = F_{43} - y_e\, 3-3=0$	$E_0 = E_1 - 1$

§2-2 逐点比较法

二、逐点比较法圆弧插补（第Ⅰ象限逆圆弧）

- 偏差判别



圆弧上	$x_i^2+y_j^2=x_0^2+y_0^2$ ⇨	$(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)=0$
圆弧外	$x_i^2+y_j^2>x_0^2+y_0^2$ ⇨	$(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)>0$
圆弧内	$x_i^2+y_j^2<x_0^2+y_0^2$ ⇨	$(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)<0$

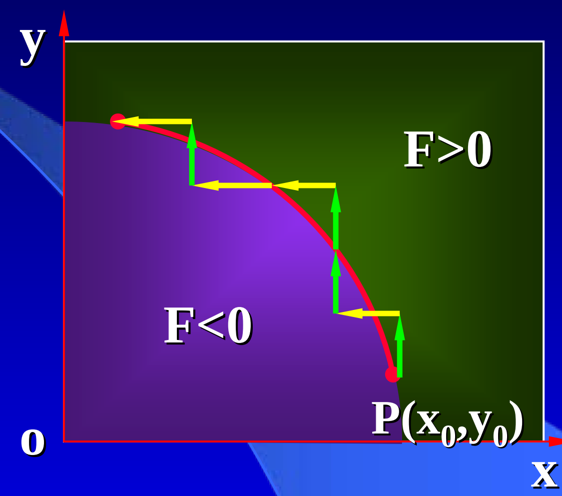
偏差判别函数 $F_{ij}=(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)\begin{cases}=0 & \text{点在圆弧上}\\>0 & \text{点在圆弧外}\\<0 & \text{点在圆弧内}\end{cases}$

§2-2 逐点比较法

二、逐点比较法圆弧插补（第 I 象限逆圆弧）

- 坐标进给

圆弧上	$F_{ij}=0$	$-\triangle$ x或$+\triangle$ y方向
圆弧外	$F_{ij}>0$	$-\triangle$ x方向
圆弧内	$F_{ij}<0$	$+\triangle$ y方向



- 新偏差计算

$$F_{i+1,j}=(x_i-1)^2-x_0^2+y_j^2-y_0^2=F_{ij}-2x_i+1$$

$$x_{i+1}=x_i-1 \qquad y_j=y_j$$

$$F_{i,j+1}=x_i^2-x_0^2+(y_j+1)^2-y_0^2=F_{ij}+2y_j+1$$

$$y_{j+1}=y_j+1 \qquad x_i=x_i$$

§2-2 逐点比较法

二、逐点比较法圆弧插补（第 I 象限逆圆弧）

- 终点比较

用$(X_0-X_e)+(Y_e-Y_0)$作为计数器，每走一步对计数器进行减1计算，直到计数器为零为止。

- 总结 $F_{ij}=(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)$

第一拍 判别	第二拍 进给	第三拍 运算	第四拍 比较
$F_{ij}\geq 0$	$-\Delta x$	$F_{i+1,j}=F_{i,j}-2x_i+1$ $x_{i+1}=x_i-1$　$y_j=y_j$	$E_{i+j}=E_{终}-1$
$F_{ij}<0$	$+\Delta y$	$F_{i,j+1}=F_{i,j}+2y_j+1$ $x_i=x_i$　$y_{j+1}=y_j+1$	

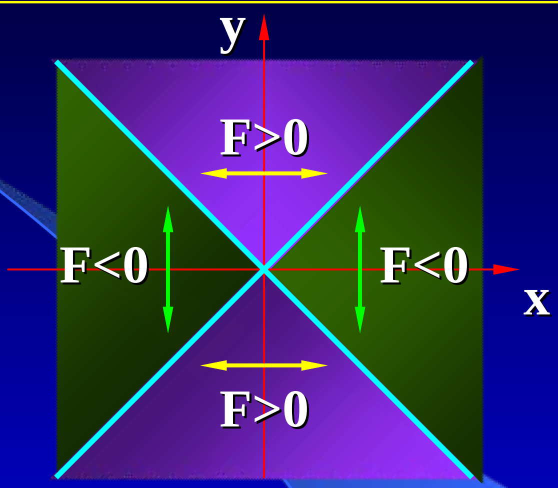
§2-2 逐点比较法

- 逐点比较法总结
- 判别：判别刀具当前位置相对于给定轮廓的偏差状况。
- 进给：根据判断结果，控制相应坐标轴的进给方向。
- 运算：按偏差计算公式重新计算新位置的偏差值。
- 比较：若已经插补到终点，结束插补计算，否则重复上述过程。（方框图和流程图见P28）

类型	坐标进给	偏差计算公式
Ⅰ直线	$F_{ij} \geq 0 \quad +\Delta x$ $F_{ij} < 0 \quad +\Delta y$	$F_{i+1,j} = F_{i,j} - y_e$ $F_{i,j+1} = F_{i,j} + x_e$
Ⅰ逆圆弧	$F_{ij} \geq 0 \quad -\Delta x$ $F_{ij} < 0 \quad +\Delta y$	$F_{i+1,j} = F_{i,j} - 2x_i + 1$ $F_{i,j+1} = F_{i,j} + 2y_j + 1$

§2-2 逐点比较法

三、坐标变换和终点判别问题



1. 象限与坐标变换

- 直线

利用第 I 象线公式，终点坐标以绝对值带入直接计算

$$F_{ij} = x_e y_j - x_i y_e \begin{cases} \geq 0 \text{向} x/-x \text{方向进给} \\ < 0 \text{向} y/-y \text{方向进给} \end{cases}$$

$$F_{i+1,j} = F_{i,j} - y_e$$
$$F_{i,j+1} = F_{i,j} + x_e$$

- 圆弧

对于不同象线的顺时针圆弧、逆时针圆弧，插补进给方向和偏差计算公式不同

§2-2 逐点比较法

- 圆弧：偏差计算公式中的坐标以绝对值带入

$$F_{ij}=(x_i^2-x_0^2)+(y_j^2-y_0^2)$$

线型	$F_{ij}\geqslant 0$	$F_{ij}<0$	偏差计算公式
SR_1	$-\triangle y$	$+\triangle x$	$F_{ij}\geq 0$ 时：$F_{i,j+1}=F_{i,j}-2y_j+1$
SR_3	$+\triangle y$	$-\triangle x$	$x_{i+1}=x_i \quad y_{j+1}=y_j-1$
NR_2	$-\triangle y$	$-\triangle x$	$F_{ij}<0$ 时：$F_{i+1,j}=F_{i,j}+2x_i+1$
NR_4	$+\triangle y$	$+\triangle x$	$x_{i+1}=x_i+1 \quad y_j=y_j$
SR_2	$+\triangle x$	$+\triangle y$	$F_{ij}\geq 0$ 时：$F_{i+1,j}=F_{i,j}-2x_i+1$
SR_4	$-\triangle x$	$-\triangle y$	$x_{i+1}=x_i-1 \quad y_j=y_j$
NR_1	$-\triangle x$	$+\triangle y$	$F_{ij}<0$ 时：$F_{i,j+1}=F_{i,j}+2y_j+1$
NR_3	$+\triangle x$	$-\triangle y$	$x_i=x_i \quad y_{j+1}=y_j+1$

§2-2 逐点比较法

三、坐标变换和终点判别问题

2. 终点判别问题

- 设置一个终点减法计数器
- 设置两个终点减法计数器
- 设置两个坐标中进给量大的为终点计数器

§2-2 逐点比较法

四、逐点比较法的合成进给速度

X坐标进给速度：$v_x = 60\delta f_x$ 空间直线：$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

逐点比较法合成进给速度：

$$f_g = f_x + f_y \qquad v_x = 60\delta f_x \qquad v_y = 60\delta f_y$$

脉冲源频率fg，
进给x就是进给y

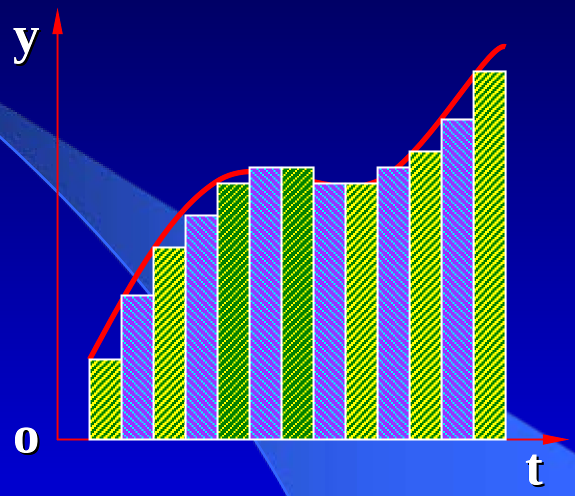
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 60\delta\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

$$v_{\max} = v_g = 60\delta f_g$$

$$\frac{v}{v_{max}} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{f_g} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{x + y} \qquad k_v = \frac{v_{max}}{v_{min}} = 1.414$$

§2-3 数字积分法

DDA法特点：脉冲分配均匀，易于实现多坐标直线插补联动或平面上各种曲线。



一、DDA的基本原理

$$F=\sum_{i=0}^{n-1}\Delta F_i=\sum_{i=0}^{n-1}y_i\Delta t\xrightarrow{\Delta t=1}\sum_{i=0}^{n-1}y_i$$

二、DDA直线插补

利用了 $x=\sum_{i=0}^{n-1}\Delta x$　$y=\sum_{i=0}^{n-1}\Delta y$

要走出直线，关键是x、y要按照一定的规律变化。

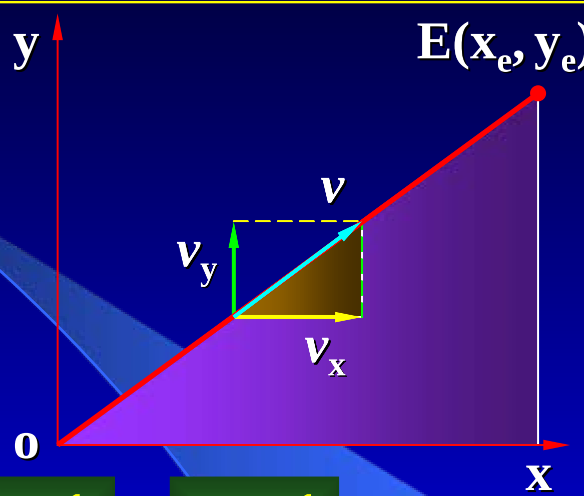
§2-3 数字积分法

二、DDA直线插补

$$\frac{v_x}{x_e} = \frac{v_y}{y_e} = \frac{v}{L} = k$$

$$\Delta x = v_x \Delta t = k x_e \Delta t$$

$$\Delta y = v_y \Delta t = k y_e \Delta t$$



$$x = \sum_{i=1}^{m} \Delta x = \sum_{i=1}^{m} k x_e \Delta t = mkx_e = x_e$$

$$y = \sum_{i=1}^{m} \Delta y = \sum_{i=1}^{m} k y_e \Delta t = mky_e = y_e$$

$mk=1$ $\quad k = \frac{1}{m}$ $\quad m = \frac{1}{k}$

取决于硬件或软件变量类型

关键是如何选择m、k

$\Delta x = kx_e < 1$ $\quad k < 1/x_e$ $\quad x_e = 2^n - 1$ $\quad k = \frac{1}{2^n} < \frac{1}{2^n - 1}$

累加次数 $m = 1/k = 2^n$

n一定时，m为定值，无论线段多长，都需经过m次累加才能到达终点X_e、Y_e

§2-3 数字积分法

二、DDA直线插补

在NC插补时，需要设置两个被积函数寄存器kx_e、ky_e，再设置两个累加器对kx_e、ky_e进行累加，累加器的溢出作为此方向的进给，余数仍存在累加器中。考虑到kx_e、ky_e与x_e、y_e在计算机中存储时只是小数点不同，构造以下积分器

$$\sum x_e + x_e \rightarrow \sum x_e \xrightarrow{\text{溢出}} \Delta x$$

省略了k

$$\sum y_e + y_e \rightarrow \sum y_e \xrightarrow{\text{溢出}} \Delta y$$

经过m次计算，x、y方向累加器溢出的脉冲数为x_e、y_e，如用溢出脉冲来控制机床进给，可走出所需要的直线

P_{34}运算框图和流程图

§2-3 数字积分法

二、DDA直线插补

举例：用10 进制插补直线，终点坐标为（8，6）

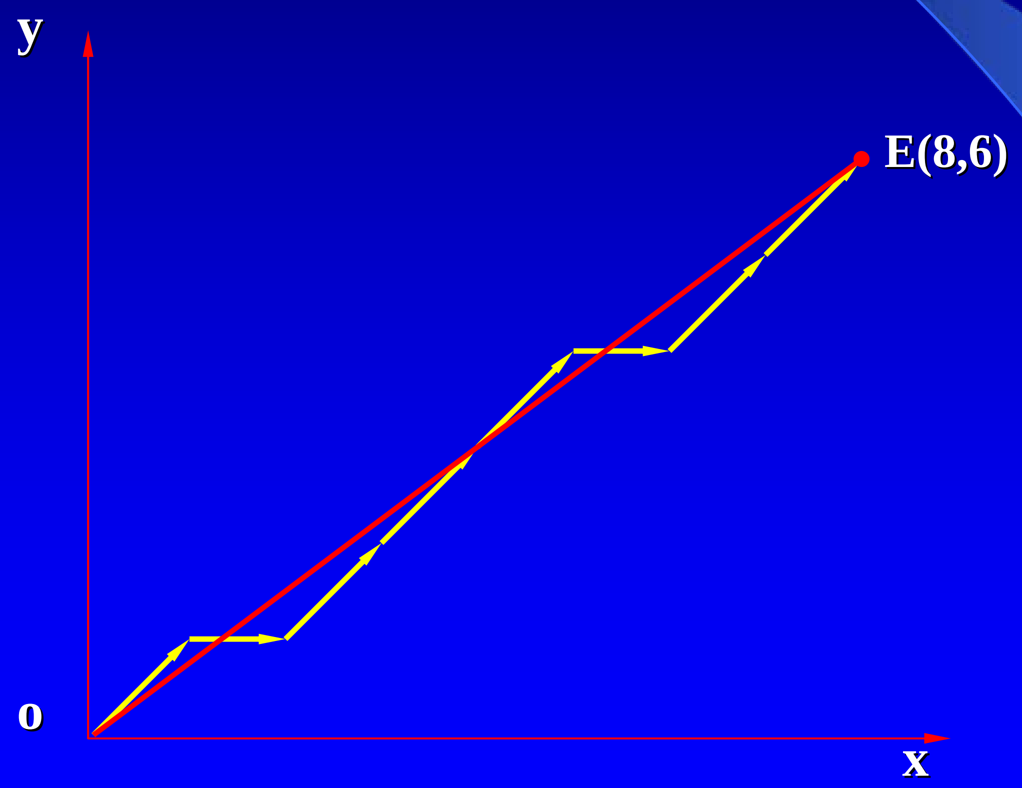
m=10，n=1，k=0.1

x方向积分	x方向溢出	y方向积分	Y方向溢出	累加次数
8	0	6	0	1
6	1	2	1	2
4	1	8	0	3
2	1	4	1	4
0	1	0	1	5
8	0	6	0	6
6	1	2	1	7
4	1	8	0	8
2	1	4	1	9
0	1	0	1	10

二、DDA直线插补

举例：用10 进制插补直线，终点坐标为（8，6）

m=10， n=1， k=0.1

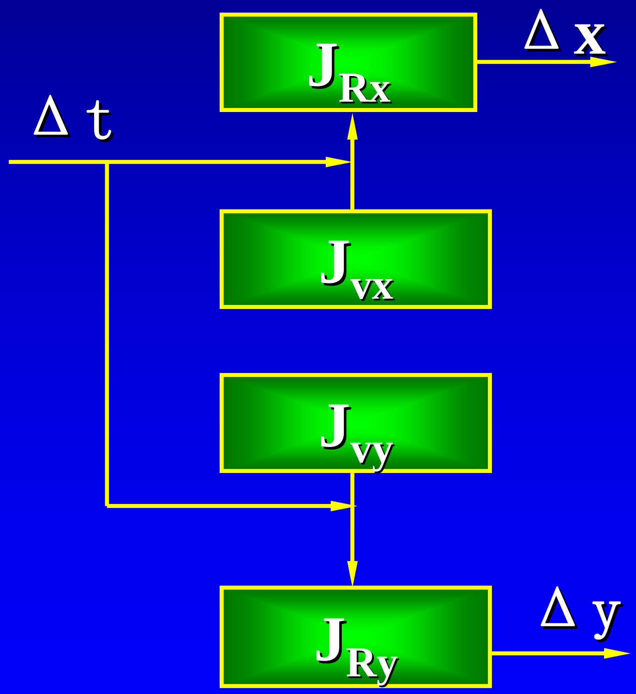


§2-3 数字积分法

二、DDA直线插补

P_{34}运算框图和流程图

P_{35}DDA直线插补举例



§2-3 数字积分法

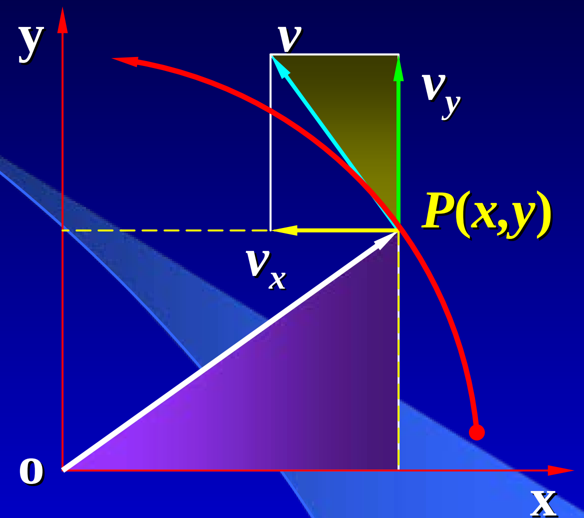
三、DDA圆弧插补

- 插补过程（NR_1）

$$\frac{v}{R}=\frac{v_x}{y}=\frac{v_y}{x}=k$$

$$\Delta x = v_x \Delta t = ky\,\Delta t$$

$$\Delta y = v_y \Delta t = kx\,\Delta t$$



仿照直线插补方案构造积分器，省略k

与直线插补有两个本质区别

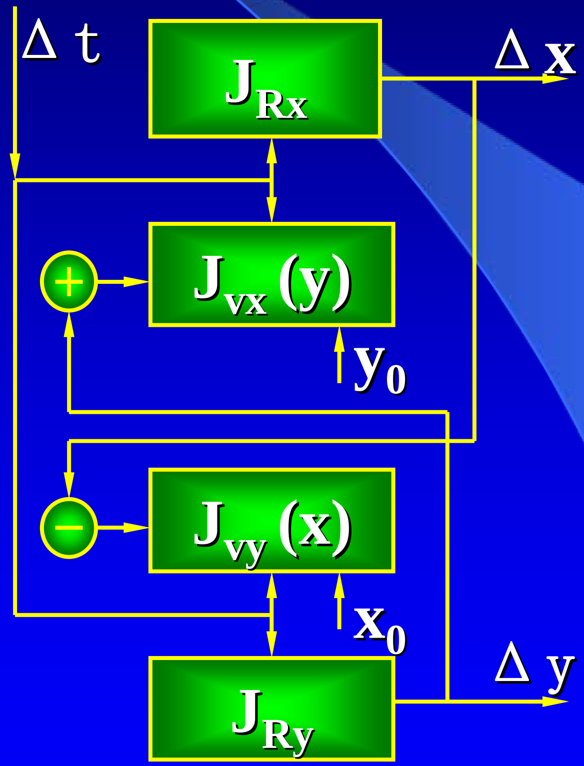
J_{vx}与J_{vy}直线对应关系不同且寄存的是动点坐标

§2-3 数字积分法

三、DDA圆弧插补

- 插补过程（NR_1）

P_{37}DDA圆弧插补举例



§2-3 数字积分法

三、DDA圆弧插补

- 不同象限及顺时针圆弧

  插补过程和积分器构造基本与NR_1相同，不同之处：

  - 控制Δx、Δy的进给方向不同。
  - 被积函数寄存器J_{vx}、J_{vy}的内容是加1、减1视坐标x、y的变化而定。

	SR_1	SR_2	SR_3	SR_4	NR_1	NR_2	NR_3	NR_4
J_{vx} (y)	⊖	⊕	⊖	⊕	⊕	⊖	⊕	⊖
J_{vy} (x)	⊕	⊖	⊕	⊖	⊖	⊕	⊖	⊕
Δx	+	+	-	-	-	-	+	+
Δy	-	+	+	-	+	-	-	+

§2-3 数字积分法

三、DDA圆弧插补

- 终点判别

需要设置 $|x_e - x_0|$ 和 $|y_e - y_0|$ 两个减法计数器，当x或y积分器每输出一个脉冲，相应的减法计数器减1，当某一坐标计数器为0时，该坐标停止迭代；当两个计数器都为0时迭代结束。

§2-3 数字积分法

三、DDA圆弧插补

- 圆弧DDA插补与直线DDA比较
  - 坐标累加溢出作为y进给，y坐标累加溢出作为x进给。
  - 被积函数寄存器（ J_{vx}、J_{vy} ）中x和y坐标的初始值为圆弧的起点，在插补过程中，随加工点位置不同，需要由进给脉冲进行修正。
  - 终点判别需要用两个计数器，当其中一个为0时，此方向停止迭代；而直线DDA插补时m是固定值。

§2-3 数字积分法

四、改进DDA插补质量的措施

$$v = 60\delta\sqrt{f_x^2 + f_y^2} \qquad f_x = \frac{x}{N} f_g \qquad f_y = \frac{y}{N} f_g$$

$$= 60\delta \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{N} f_g$$

$$= 60\delta \frac{L}{N} f_g$$

存在问题：

进给速度不均匀：行程长，走刀快；行程短，走刀慢；影响表面加工质量，行程短时生产率低

误差偏大、精度低

§2-3 数字积分法

四、改进DDA插补质量的措施

- 进给速度均匀化的措施——左移规格化

  规格化数：寄存器中的数其最高位为1时称为规格化数。

  左移规格化处理：将被积函数寄存器中的数规格化

  - 直线

    将被积函数寄存器J_{vx}和J_{vy}中的x_e和y_e同时左移，当其中任一坐标的被积函数寄存器变为规格化数（最高位为1）时，左移规格化结束，左移次数记为Q ；

    累计次数调整为：$$m=\frac{1}{k}=\frac{1}{\frac{1}{2^{n-Q}}}=2^{n-Q}$$

§2-3 数字积分法

四、改进DDA插补质量的措施

- 进给速度均匀化的措施——左移规格化
  - 圆弧

将被积函数寄存器J_{vx}和J_{vy}中的x和y同时左移，当其中任一坐标的被积函数寄存器中的数其次高位为1时，规格化结束，左移次数记为Q；

进给时J_{vx}和J_{vy}中数值的修正：

$$2^Q y \longrightarrow 2^Q(y+1) = 2^Q y + 2^Q$$

$$2^Q x \longrightarrow 2^Q(x+1) = 2^Q x + 2^Q$$

§2-3 数字积分法

四、改进DDA插补质量的措施

- 提高插补精度的措施——余数寄存器预置数
  - 半加载

    在DDA迭代前，余数寄存器J_{Rx}和J_{Ry}的初值不是0，而是将其置为 1000...000（0.5）

  - 全加载

    在DDA迭代前，余数寄存器J_{Rx}和J_{Ry}的初值不是0，而是将其置为 111...111

§2-5 数据采样插补法

数据采样插补：将加工直线或圆弧的总时间划分为许多相等的Δt（时间分割），计算出步长（Δx，Δy），边计算边加工，直至加工终点；直线插补无误差。

对于FANUC 7M系统，Δt=8ms，步长为：

$$f=\frac{v\times1000\times8}{60\times1000}=\frac{2}{15}v$$

一、7M系统中采用的时间分割法（Δt=8ms）

- 直线插补
- 圆弧插补

§ 2-5 数据采样插补法

一、 7M系统中采用的时间分割法（ Δt =8ms）

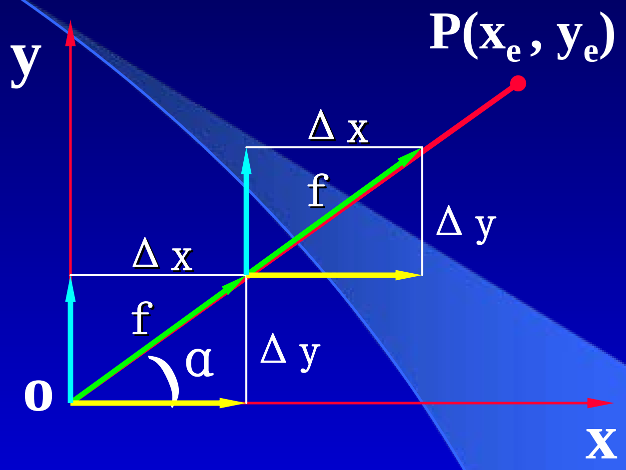
- 直线插补

$$tg\alpha = \frac{y_e}{x_e}$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\alpha}}$$

$$\Delta x = f\cos\alpha$$

$$\Delta y = \frac{y_e}{x_e}\Delta x$$



§ 2-5 数据采样插补法

一、 7M系统中采用的时间分割法（Δt=8ms）

- 圆弧插补（以弦长代替圆弧）

$$\alpha = \phi_i + \frac{\delta}{2}$$

$$tg\alpha = \frac{x_i + \frac{1}{2}\Delta x}{y_i - \frac{1}{2}\Delta y} = \frac{x_i + \frac{1}{2} f\cos\alpha}{y_i - \frac{1}{2} f\sin\alpha} \approx \frac{x_i + \frac{1}{2} f\cos 45^\circ}{y_i - \frac{1}{2} f\sin 45^\circ}$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\alpha}}$$

$$\Delta x = f\cos\alpha$$

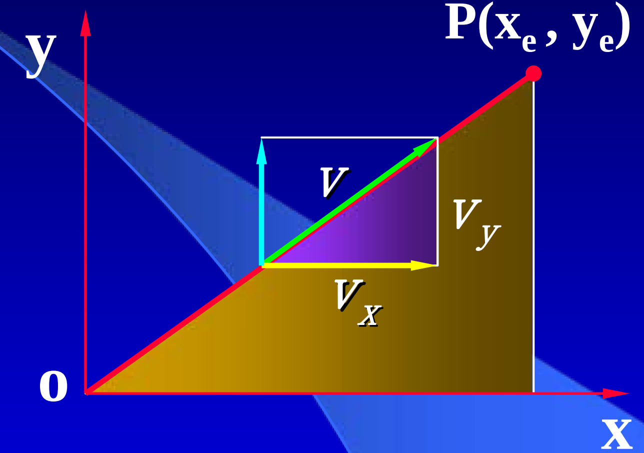
$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = tg\alpha = \frac{x_i + \frac{1}{2}\Delta x}{y_i - \frac{1}{2}\Delta y}$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x$$
$$y_{i+1} = y_i - \Delta y$$

§2-5 数据采样插补法

二、 7360系统中采用的时间分割法（λ_t=10.24ms）

- 扩展DDA直线插补



$$\Delta x = v_x \lambda_t = \frac{v}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}} x_e \lambda_t = FRN \lambda_t x_e$$

$$\Delta y = v_y \lambda_t = \frac{v}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}} y_e \lambda_t = FRN \lambda_t y_e$$

$$FRN = \frac{v}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}}$$

计算公式与数字积分DDA法相似

§ 2-5 数据采样插补法

- 扩展DDA圆弧插补（弦线逼近法）

$$\sin\alpha = \frac{x_i}{R} \qquad \cos\alpha = \frac{y_i}{R}$$

设 $\lambda_d = \frac{v}{R}\lambda_t = FRN\,\lambda_t$

$$\frac{\Delta x_{i+1}}{f} = \frac{OS}{OB} = \frac{y_i - \frac{1}{2} f\sin\alpha}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{2}f)^2}} \approx \frac{1}{R}(y_i - \frac{1}{2} f \frac{x_i}{R})$$

$$\frac{\Delta y_{i+1}}{f} = \frac{SB}{OB} = \frac{x_i + \frac{1}{2} f\cos\alpha}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{2}f)^2}} \approx \frac{1}{R}(x_i + \frac{1}{2} f \frac{y_i}{R})$$

$$\Delta x_{i+1} = \frac{f}{R}(y_i - \frac{1}{2} f \frac{x_i}{R}) = \frac{v}{R}\lambda_t(y_i - \frac{1}{2}\frac{v}{R}\lambda_t x_i)$$

$$\Delta y_{i+1} = \frac{f}{R}(x_i + \frac{1}{2} f \frac{y_i}{R}) = \frac{v}{R}\lambda_t(x_i + \frac{1}{2}\frac{y_i}{R}\lambda_t y_i)$$

$$\Delta x_{i+1} = \lambda_d(y_i - \frac{1}{2}\lambda_d x_i)$$

$$\Delta y_{i+1} = \lambda_d(x_i + \frac{1}{2}\lambda_d y_i)$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_{i+1}$$

$$y_{i+1} = y_i - \Delta y_{i+1}$$

§2-7 刀具半径补偿

一、刀具半径补偿的概念

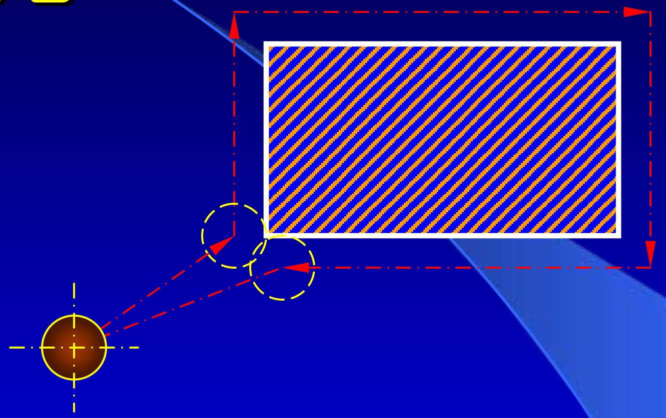
- 半径补偿的作用
  - 更换刀具方便
  - 粗、精加工共用程序代码
  - 模具加工
- 实现方式

  要求数控系统根据工件轮廓程序和刀具中心偏移量，自动计算出刀具中心的运动轨迹。
- 分类
  - 左刀补
  - 右刀补

§2-7 刀具半径补偿

一、刀具半径补偿的概念

- 执行过程
  - 刀补建立
  - 刀补进行
  - 刀补撤消



刀具半径补偿只能在二维平面（G17、G18、G19）进行，刀具半径值通过刀具号来指定

§2-7 刀具半径补偿

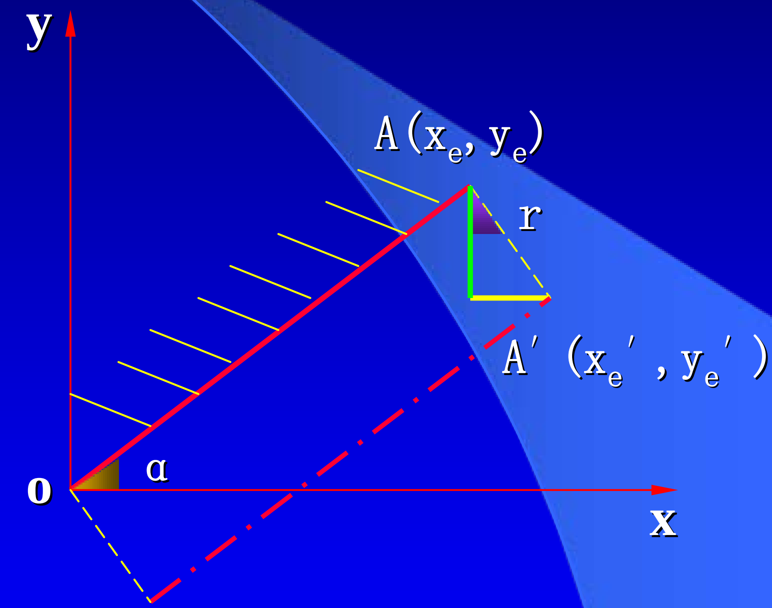
二、刀具半径补偿的计算

根据零件尺寸和刀具半径计算出刀具中心的运动轨迹

- 直线

$$x_e' = x_e + r\sin\alpha = x_e + \frac{ry_e}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}}$$

$$y_e' = y_e - r\cos\alpha = y_e - \frac{rx_e}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}}$$



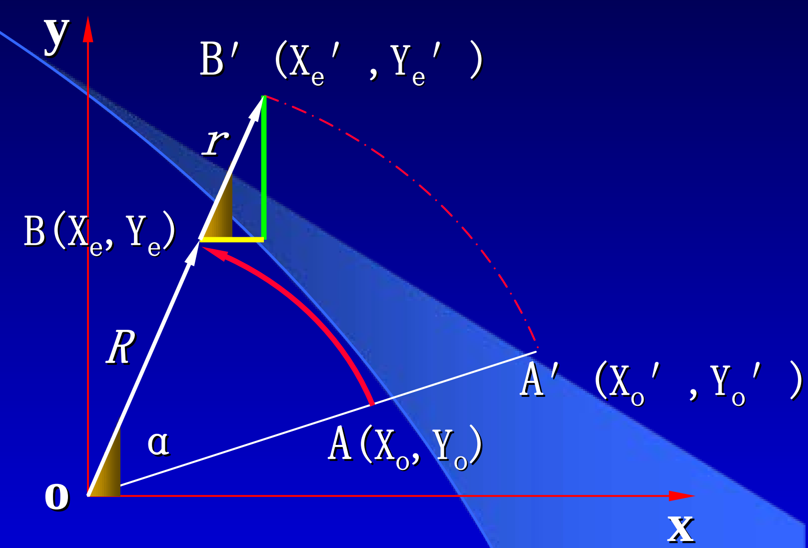
§2-7 刀具半径补偿

二、刀具半径补偿的计算

- 圆弧（NR_1）

$$x_e' = x_e + r\cos\alpha = x_e + \frac{rx_e}{R}$$

$$y_e' = y_e + r\sin\alpha = y_e + \frac{ry_e}{R}$$



- 刀偏计算方法

与数控系统的插补方法有关：逐点比较法、DDA法、极坐标法等

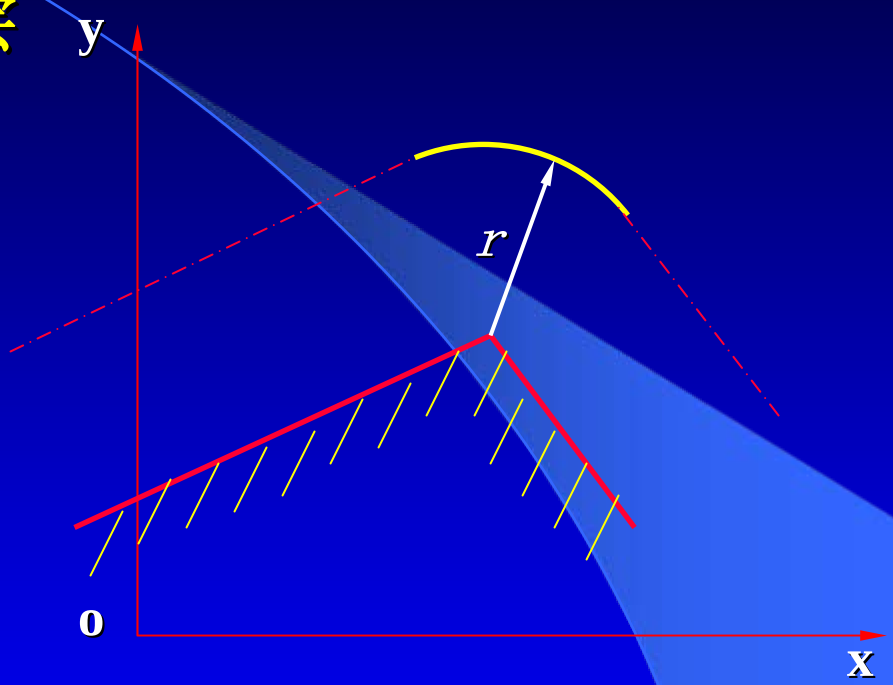
§ 2-7 刀具半径补偿

三、C功能刀具半径补偿

- B刀补

  程序的运行是读一段，走一段，不知下一段对本段的影响需要编程人员分析过渡情况，

  编程处理过渡情况。

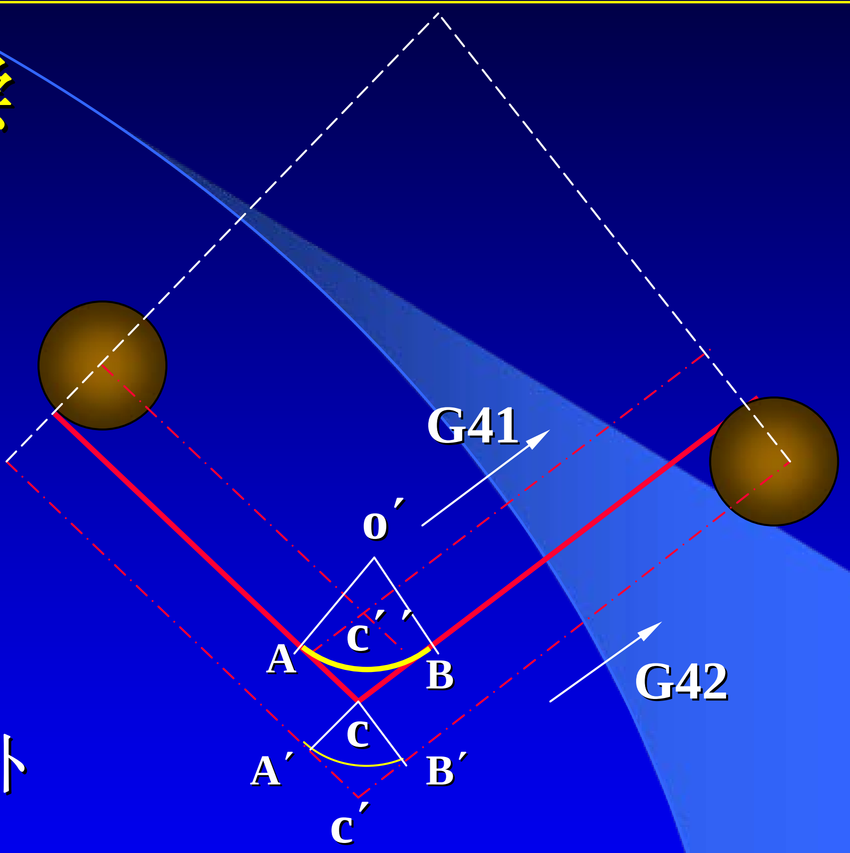


§2-7 刀具半径补偿

三、C功能刀具半径补偿

- C刀补

相对于NC系统，CNC的软件、硬件速度及功能有了很大提高，能增加直线和圆弧过渡，直接求出刀具中心轨迹交点——C刀补



§2-7 刀具半径补偿

三、C功能刀具半径补偿

- C刀补的基本设计思想

§2-7 刀具半径补偿

三、C功能刀具半径补偿

- 程序段间转接情况分析

　　根据两段程序轨迹的矢量夹角和刀具半径补偿方向的不同，可分为：

　　伸长型

　　缩短型

　　插入型（插入直线，插入圆弧）

- 直线与直线转接
- 圆弧与圆弧转接
- 直线与圆弧转接

§2-7 刀具半径补偿

三、C功能刀具半径补偿

- 转换矢量与转换交点的计算
- 刀补实例