

机 床 数 控 装 置

树 志 编 著

内 容 简 介

本书是数控机床丛书的第三分册。这一册主要的内容是,介绍点位、直线数控装置和四种插补器(数字脉冲乘法器、逐点比较法、数字积分器、矢量法)的基本原理,刀具半径补偿和自动偏移计算,进给速度的给定控制的几种方法以及数控系统的可靠性和可维修性等问题。书中还从国内外现有的数控装置出发,介绍了一些实用电路和计算方法,以供读者应用时参考。

本书主要供具有中等文化程度的,从事这方面工作的技术人员和工人阅读,也可供高等院校学生参考。

机床数控装置

树 志 编著

责任编辑 甄慧瑶 陈永锴

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年8月第一版 开本: 787×1092 1/32

1982年8月第一次印刷 印张: 11 1/4

印数: 0001—7,600 字数: 256,000

统一书号: 15031·417

本社书号: 2662·15-3

定价. 1.40 元

目 录

第一章	点位、直线数控装置	1
一	引言	1
二	坐标值的两种表示方式	2
三	两种控制方式的基本结构	3
四	绝对值方式控制系统	6
五	增量方式控制系统	11
六	刀具长度补偿	15
七	用于点位、直线控制的运算器实例	16
第二章	数控装置的输入回路	26
一	输入混合回路	27
二	纸带的输入校验	44
三	输入数据的变换	52
第三章	数字脉冲乘法器	64
一	引言	64
二	脉冲分配的基本原理	65
三	十进制数字脉冲乘法器结构	69
四	均匀器和倍乘器	72
五	进给速度控制	73
六	刀具半径补偿	75
七	脉冲加减逻辑	79
八	直线插补器的基本结构(数字脉冲乘法器)	80
第四章	逐点比较法插补原理	83
一	逐点比较法直线插补原理	84
二	逐点比较法圆弧插补原理	92
三	逐点比较法抛物线插补	98

四	不同象限轨迹的插补	103
五	补码运算时不同象限轨迹的插补	110
第五章	数字积分器原理	121
一	积分器的基本原理	121
二	直线插补的数字积分器模型	128
三	圆、抛物线插补数字积分器模型	135
四	椭圆、双曲线插补数字积分器模型	146
五	数字积分器的恒速进给控制	151
六	数字积分器的规格化处理	164
七	减小积分器插补误差的方法	176
八	实用数字积分器的基本结构和被积函数的修正	185
九	二-十进制积分运算基础和二-十进制积分器	194
第六章	矢量法插补和矢量法刀具半径补偿原理	208
一	矢量运算的数学基础	209
二	矢量法直线插补原理	212
三	矢量法圆弧插补原理	221
四	矢量法刀具半径补偿基本原理	230
五	矢量法刀具半径补偿的“尖角自动过渡”	236
六	刀具趋近工件时的起始矢量偏差纠正	241
七	矢量法刀具半径补偿在圆弧轮廓插补时的应用	248
第七章	刀具的自动偏移计算	253
一	引言	253
二	r^2 刀具偏移计算	256
三	“补偿矢量法”刀具自动偏移计算	268
第八章	进给速度的给定和控制	288
一	速度代码的给定方法	288
二	点位、直线系统的速度控制	292
三	连续控制系统的速度控制	295
四	与主轴转速同步的进给速度控制	299
五	自动升降速控制	304

第九章 数控系统的可靠性和可维修性	311
一 概述	312
二 提高可靠性的一些措施	321
三 国外提高可靠性和可维修性的工艺规范和措施	345

第一章 点位、直线数控装置

一 引 言

在《数控机床基础知识》一书中已经介绍了点位控制和直线控制的基本概念。由于两者有许多共同之处，所以我们把它放在一章里叙述。

正如我们已经知道，点位控制是根据钻床、镗床和冲床这样一类机床的加工工艺要求而设计的。这类机床控制的主要特点是保证机床各坐标轴 (X 、 Y 、 Z) 的精确定位。由于在定位过程中，刀具不作切削加工，所以对刀具运动的路径原则上没有要求。

直线控制是根据车床、铣床和加工中心机床进行直线切削这样的工艺要求而设计的。过去通常是用挡块和限位开关来达到使机床各轴的自动定位和直线切削，进给速度是人工调整的。现代的直线数控系统，可以很方便地实现上述控制。直线控制的特点是使刀具与工件作相对的直线运动，并可以给定或调整到所需的进给速度。它与点位控制的区别在于：前者在刀具移动时要切削，且只控制一轴运动；后者则不切削，可以两轴三轴同时运动，但是一般的说，它们之间没有严格的速度和位置间的函数关系。

由于点位、直线控制实现容易，系统简单，成本较低，较明显地提高了机床的自动化程度、效率和加工精度，因此很容易推广、使用，在数控机床中，曾占有相当大的比重。

二 坐标值的两种表示方式

按照被加工零件的图纸编制程序，作为数控机床控制指令的坐标值的表示，可以有两种方式：增量方式和绝对值方式。

1. 增量方式

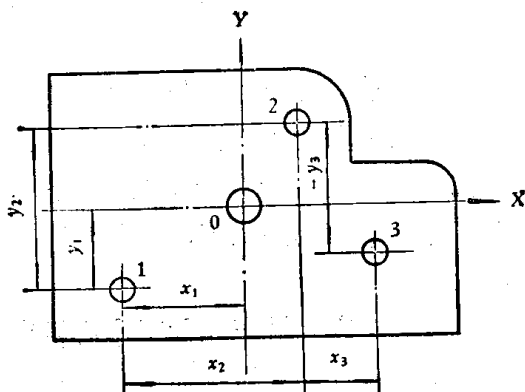


图 1-1 坐标值的增量表示

如图 1-1 所示，从原点开始按照 1，2，3 顺序进行点位控制，用这个孔位到下一个孔位的坐标增量作为指令数值，在图 1-1 上，这些增量坐标值分别是 $(-x_1, -y_1)$ 、 $(+x_2, +y_2)$ ， $(+x_3, -y_3)$ ，指令值的符号规定了工作台移动的方向。

2. 绝对值方式

如图 1-2 所示，是以原点为基准表示各孔位坐标值的。图上 1，2，3 孔位坐标值分别以 $(-x_1, -y_1)$ 、 $(+x_2, +y_2)$ 、 $(+x_3, -y_3)$ 表示，这就是绝对值方

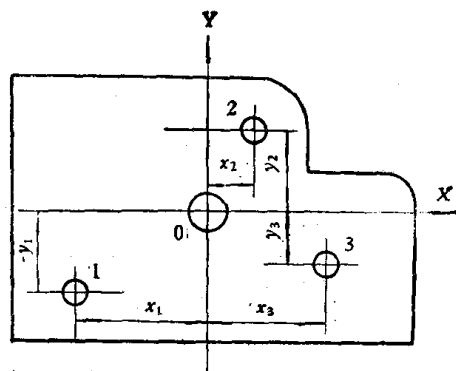


图 1-2 坐标值的绝对值表示

式。

采用绝对值方式，机床上的坐标值具有固定原点，工件装夹在工作台上所处的坐标系（程序坐标系）与机床固有的坐标系不一定是同一个，但两者有着一定的关系。

通常，增量系统用增量方式编程，绝对系统用绝对值方式编程为宜。

绝对值方式的优点是：以任何一个定位孔的坐标值 (x_i, y_i) 输入，都能进行定位。而增量方式则必须累计到 (x_{i-1}, y_{i-1}) 值时，才能对孔 (x_i, y_i) 进行定位，也就是按确定的孔位顺序进行定位。此外，绝对值方式不会产生累积误差。

三 两种控制方式的基本结构

1. 增量方式控制

最简单的增量方式控制是步进系统，如图 1-3 所示。驱动机床工作台的执行元件采用的是功率步进电机（或电液脉冲马达），它是受脉冲控制的，每给一个脉冲，马达旋转一定角度。指令数值可以通过穿孔纸带输入，也可以用拨码

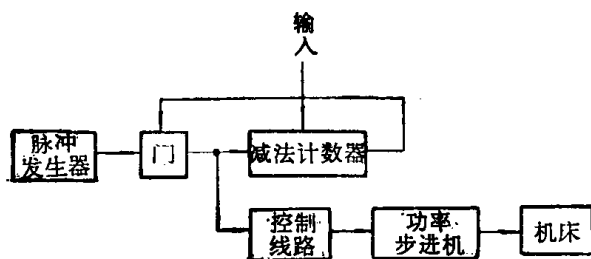


图 1-3 步进系统

开关手动输入，在把这些数据输入到减法计数器（预置）后，打开脉冲门，脉冲发生器发出的脉冲一方面去计数器，作减一运算，一方面去控制步进电机旋转，驱动机床工作台移动。当计数器中的数被减到 0 时，自动关闭门电路，表示位置已到，停止机床工作台移动。改变脉冲发生器的频率，便可以改变机床进给速度。

图 1-4 所示的是一个带位置检测的增量控制系统。检测元件可以是光电盘，光栅，感应同步器等旋转式的或直线

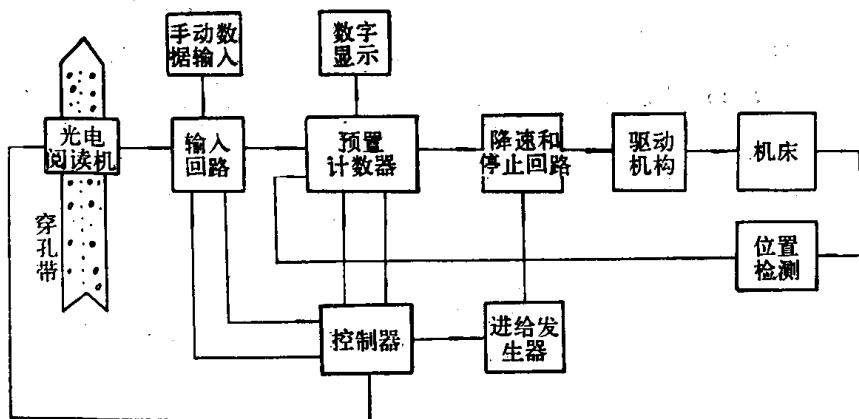


图 1-4 带位置检测的增量控制系统

式的位置测量元件。和上述的系统一样，预置计数器首先要预置坐标指令，使计数器作减一运算的脉冲是检测元件产生

的，它代表了机床工作台的实际位置，比开环系统（如图1—3）精度高，因为它可以补偿一部分传动链的机械误差。这种系统的定位精度主要取决于测量元件所能达到的精度。驱动环节可以是步进电机，也可以是数字伺服系统控制的直流伺服电机。

2. 绝对值方式控制

这种控制系统通常与采用的测量元件的形式有关。为了与增量方式作比较，这里画出了三种不同测量元件产生的信号，如图1—5所示。④是光电盘、光栅或感应同步器、磁

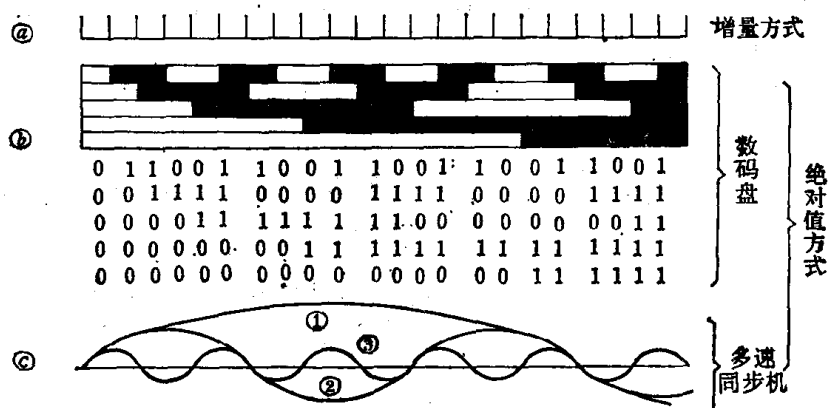


图1—5 两种方式测量的要点

尺等测量元件产生的脉冲列。测量就是对一个个脉冲的计数，可见，增量方式就是数数，不数是不知道的。④是 δ 循环码数码盘及由它产生的二进制码，若以(00000)为机床原点，其余的各个数码均反映了工作台距原点的绝对坐标。⑤是三种不同速度的同步器产生的输出波形，它们类似于时钟的时针、分针和秒针那种关系。

现以图1—6来说明绝对值方式控制的最基本原理。

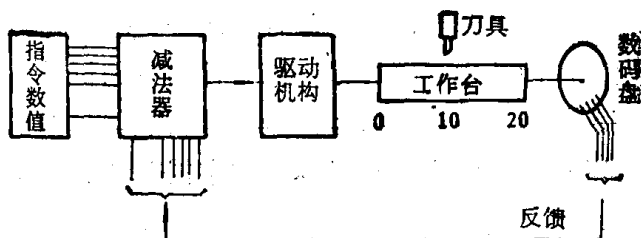


图 1-6 最基本的绝对值系统

测量元件采用的是图1-5中⑥所示的数码盘，要使工作台在0—19这20个地方进行定位，指令数值是5位二进制循环码，原点设在工作台的左端，数码盘的读数为(00000)。假定输入的指令值是10(01111)，按一下起初按钮，驱动机构就转动丝杠，移动工作台到数码盘测量读数为(01111)时停止。

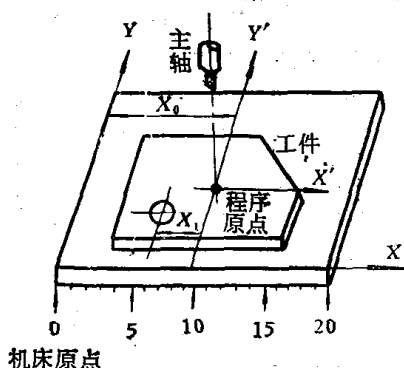


图 1-7 绝对坐标的变换

若工件装夹在工作台上（图1-7），使构成工件基准的原点对准主轴正下方，1号孔位在工件坐标系上的坐标值是 $x_1 = -4$ ，而该坐标系的原点（即程序设定的原点）与机床坐标系固定原点之间的距离是 $x_0 = 10$ （数码盘读数为01111）。纸带上读出1号孔的指令值是 x_1 ，那么该孔距机床原点的数值是 $x_0 + x_1 = 10 - 4 = +6$ 。当运算器经过上述加法运算之后，数控装置控制机床移动，直至数码盘读数为6(00101)为止。

四 绝对值方式控制系统

图 1-8 给出的是用多速分解器（旋转变压器）构成的

绝对值方式控制系统。通过数字-模拟变换器把输入数据转换成相应的模拟电压,加到粗、中、精三个分解器的定子线圈上,它的转子线圈产生的误差电压,只有转到某一个角度上才等于零。电子开关的作用,是根据误差电压的大小切换粗、中、精转子误差电压,这就是先使粗分解器的误差电压

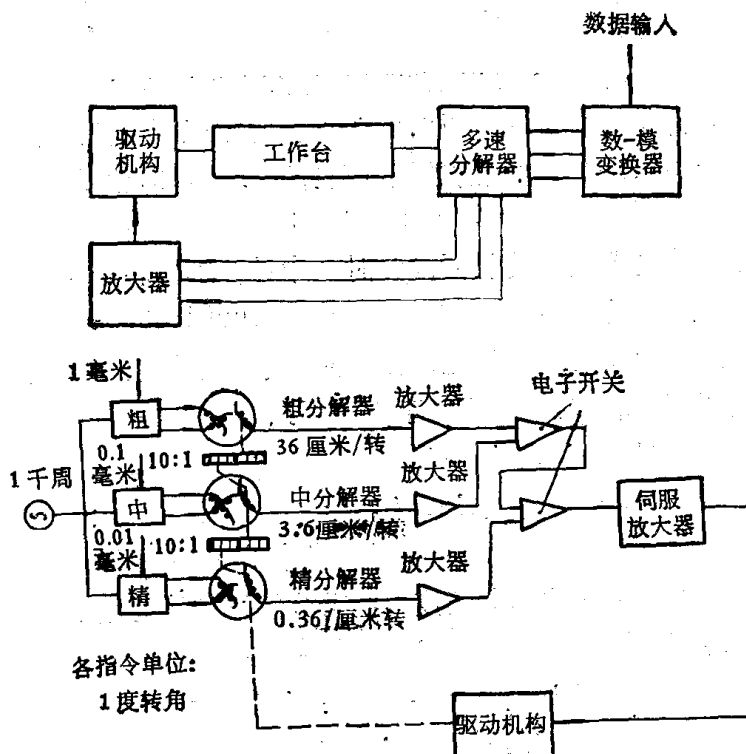


图 1-8 多速分解器方式的控制原理

接到伺服放大器,构成闭合回路,当误差减小到一定值时,把中分解器转子误差电压接至伺服放大器,最后把精分解器的转子误差电压接至伺服放大器,构成闭合回路,直至完全消除误差,达到预期定位点为止。

为了使精计分解器能辨别千分之一的角度增量,必须输入三位数的十进制数字;第一位数代表以 36° 为增量的数值

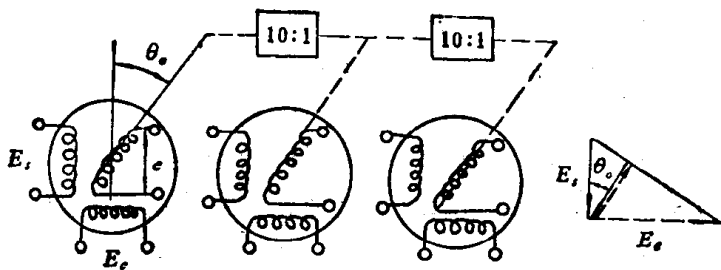


图 1-9 三速分解器及定、转子电势的向量关系

(粗计), 第二位数代表以 3.6° 为增量的数值 (中计), 第三位数代表以 0.36° 为增量的数值 (精计)。例如, 若输入的数值为 111 时, 就相当于 $36.00^\circ + 3.60^\circ + 0.36^\circ = 39.96^\circ$ 。因此, 当粗计分解器转子旋转 39.96° 时, 中计分解器转子将旋转 10 圈又 39.6° , 而精计分解器转子则旋转 100 圈又 36° 。

从分解器的原理知道, 在它的两个定子绕组上分别施加的电压 E_{xs} 和 E_c , 应满足下面关系:

$$E_s = \sin \theta_i \sin \omega t,$$

$$E_c = -\cos \theta_i \sin \omega t,$$

它们的向量关系如图 1-9 所示。式中 θ_i 是定子激磁电压的幅值按正余弦变化的电角度。假若分解器转子绕组的位置是处在 θ_0 (机械角度), 则其感应电势应为:

$$\begin{aligned} e &= (\sin \theta_i \cos \theta_0 - \cos \theta_i \sin \theta_0) \sin \omega t \\ &= \sin (\theta_i - \theta_0) \sin \omega t. \end{aligned}$$

当 $\theta_i = \theta_0$ 时, $e = 0$ 。

在上面列举的例子中, 需要给粗计分解器的定子绕组加 $\sin(39.96^\circ) \sin \omega t$ 和 $\cos(39.96^\circ) \sin \omega t$ 的交流电压, 给中计分解器加 $\sin(39.6^\circ) \sin \omega t$ 和 $\cos(39.6^\circ) \sin \omega t$ 的电压, 给精计分解器加 $\sin(36^\circ) \sin \omega t$ 和 $\cos(36^\circ) \sin \omega t$ 的电压。

现在的问题是如何产生这些电压, 这就是数字-模拟变

换器要解决的问题。

首先来看下面的三角变换，当 θ_i 取三位数时，设 $\theta_i = a + b + c$ ， a, b, c 可取 0—9 十个数字中的任一个。

$$\begin{aligned} V_s &= \sin(a + b + c) \\ &= \sin c (\cos a \cos b - \sin a \sin b) \\ &\quad + \cos c (\sin a \cos b + \cos a \sin b), \\ V_c &= \cos(a + b + c) \\ &= \cos c (\cos a \cos b - \sin a \sin b) \\ &\quad - \sin c (\sin a \cos b + \cos a \sin b)。 \end{aligned}$$

产生上述函数关系的电路，是一组多抽头的变压器，如图 1-10 所示。数字 a, b, c 分别控制每一级变压器的抽头切换开关。显然，这是一个复杂的电路。经过一定变换可以得到简化。因为加于分解器定子绕组的电压，只要要求保证正

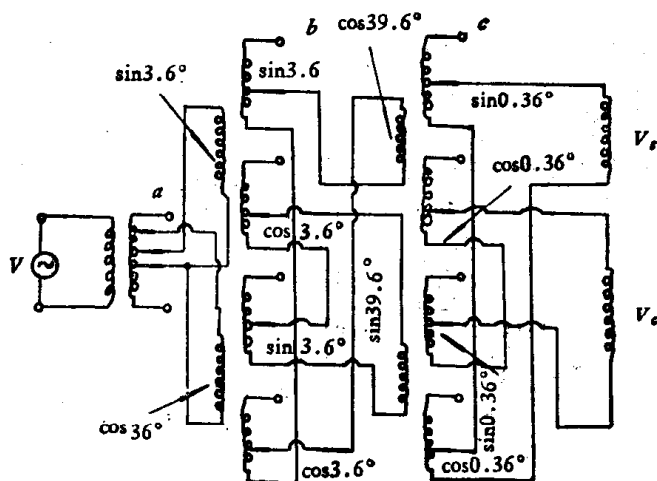


图 1-10 DA 变换器（正、余弦函数发生器）

弦、余弦关系与其绝对值的大小无关，故将上式两边用同一个因子除，比值不变。现以 $\cos b \cos c$ 去除得：

$$V'_s = \operatorname{tg} c (\cos a - \sin a \operatorname{tg} b) + \sin a + \cos a \operatorname{tg} b,$$

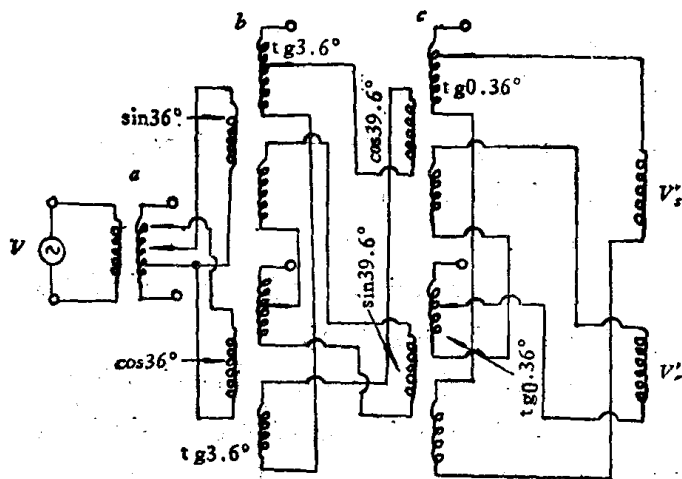


图 1-11 DA变换器 (正、余弦函数发生器)

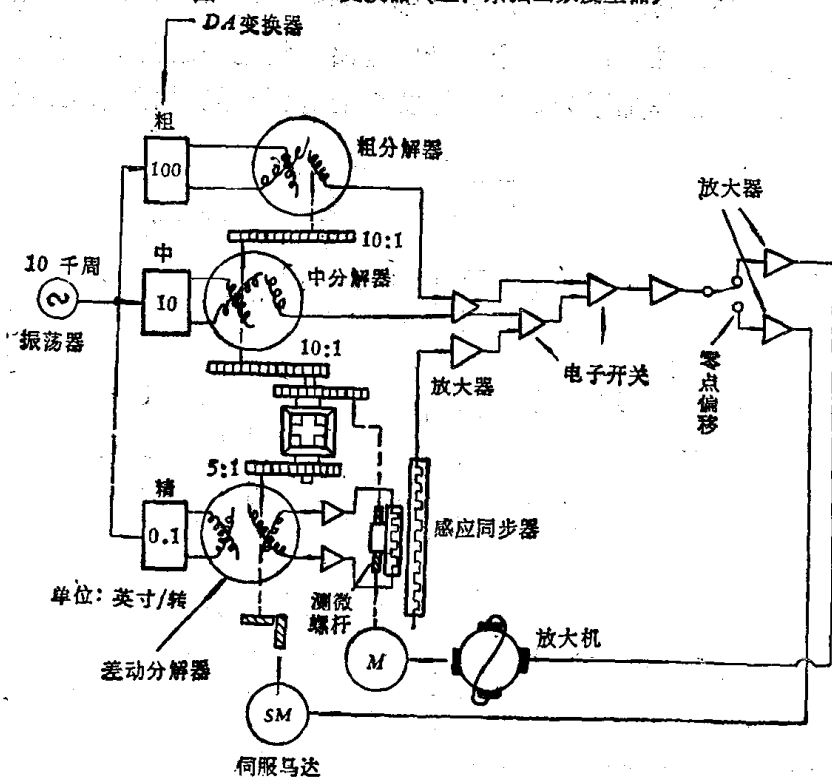


图 1-12 Farrand多速定位控制伺服机构

$$V' = \cos a \cdot \sin a \operatorname{tg} b - \operatorname{tg} c (\sin a + \cos a \operatorname{tg} b)。$$

图 1-11 是实现上述函数关系的发生器，它比图 1-10 是简化了。

图 1-12 是美国法兰德控制 (Farrand controls) 公司的绝对定位系统，它用分解器和直线感应同步器构成的。

五 增量方式控制系统

这里介绍一个用于高精度坐标镗床上的点位控制 FANUC-132 系统。该系统采取了粗、精定位方式，粗定位的检测是用滚珠丝杠带动圆光栅发反馈脉冲，圆光栅 2500 条线/圈，采用电气四倍频细分线路，使丝杠每转一圈发 10000 个脉冲，丝杠螺距 10 毫米，脉冲当量 1 微米。精定位采用金属刻线尺作为长度基准。金属刻线尺每毫米一条线纹，精度为 1 微米/米，由光学读数，经光学转换后每 1 毫米刻线发一个标尺脉冲。为了消除丝杠引起的累积误差，利用距离定位点前的最后一根刻线的标尺脉冲来修正圆光栅发出的反馈脉冲的大数，即毫米数。修正后离定位点的距离已在 1 毫米左右，在这样短的距离内丝杠的精度是很高的。此时再用圆光栅发反馈脉冲，检测剩下的位移小数部分，这样处理，定位精度是很高的。

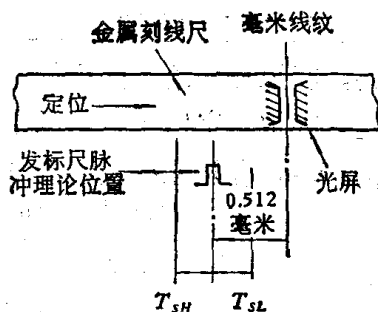


图 1-13 发标尺信号位置

考虑到走大数可能有误差，机床出厂之前调整好在线纹 0.512 毫米位置，提前发标尺信号脉冲，当定位走到 T_{SH} 位置时 (图 1-13)，打开标尺信号门，而在 T_{SL} 位置时关门，

保证总能找到最后一根刻线。

为了保证定位精度，FANUC—132系统还采取了三级降速和单向定位的控制方式，其速度图如图1-14所示。

该系统运算是采用纯二进制串行运算方式。为了提高

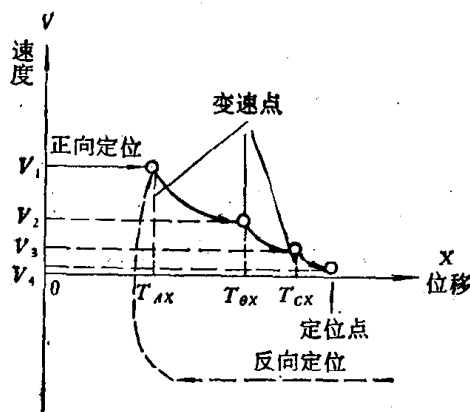


图1-14 定位速度-位移曲线

效率，X、Y、Z三个坐标可以同时定位。每个坐标定位时，相当于有三个寄存器参加运算，其中一个是指定值寄存器 R_1 ，存放程序给定的坐标值 x_{Ns} ；第二个是大数值寄存器 R_2 ，存放给定值中毫米以上的大数 x_{N1} 。第三个是实际值寄存器 R_3 ，存放光栅发出的脉冲，即机床的实际位置 x 。运算器每接收到一个光栅脉冲，都要进行二次运算，一次是把实际值寄存器 R_3 中的存数取出来与刚来的光栅脉冲相加，再送到 R_3 中，得到新的位置实际值，即：

$$R_3(x_i) + 1 \rightarrow R_3(x_{i+1})$$

其次，把给定值寄存器 $R_1(x_{Ns})$ 中的给定值和实际值寄存器中的 x_i 相减，即：

$$R_1(x_{Ns}) - R_3(x_i) = ?$$

由判断回路判断其差值大小，也就是把运算的结果与定数进