

# 计算机车床群控 (DNC) 系统\*

焉传功

(大连机车车辆工厂)

## 摘 要

本文介绍了用一台字长 12 位, 内存 4K 字的小型机, 直接控制四台全机能数字车床的群控 (DNC) 系统。文中论述了控制方式的选择, 指出进一步挖掘计算机控制潜力的可能性及途径, 以及如何实现群控 (DNC) 的具体措施。对零件加工程序的编制, 提出数字化简易现场编程的思想与方法, 已实际应用于生产中, 收到较好的效果。

## 一、引 言

由于电子计算机运算速度快, 具有存贮程序、数据处理, 逻辑判断和自动执行人们预先赋予它的程序的功能, 因此, 计算机已成为现代控制中重要工具。国外 70 年代以来数控技术从 NC、CNC, 发展到 DNC 系统, 并在此基础上又向 CAM 方向发展。1977 年日本已经有 300—400 个群控 (DNC) 系统在工作, 其中一些已发展成为 CAM (计算机辅助制造) 系统。

在我国, 如何更好地将计算机技术应用到机械加工方面去, 是发展自动化技术的重要课题之一。它取决于两个方面: 一是客观上的要求, 二是技术物质上的可能性。近几年来国内有许多单位从事这方面的研究工作, 出现了有用一台小型计算机控制一台机床的 CNC 系统; 用一台计算机同时控制多台机床的群控 (DNC) 系统; CAM 技术也在研究之中。本文着重论述我厂研制的用一台小型机 (字长 12 位内存 4K 字) 实现对四台全机能数控车床的群控 (DNC) 系统。

车床中心高为 250 毫米, 四台车床可各自独立的加工各种形状不同的中型另件: 轴类、盘类、圆弧、锥度、螺纹。另件程序一次存贮、无带运行、随机调用。机床的每一个进给脉冲由计算机直接发出, 经放大器驱动执行部件进行开环控制。机床设有八个刀位、十八挡车速、无级的进给速度等, 可通过程序任意选择。该系统已于 1980 年初投入了试生产, 加工出各种另件 7000 余件, 产品质量稳定, 一致性好, 生产效率提高 1—4 倍。该系统具有控制功能全面、灵活性好、编程容易、操作方便、工作稳定可靠等特点, 适应另件形状较复杂、中小批量自动化生产的要求。

## 二、系统的构成

如图 1 所示, 它由: 1) 小型计算机; 2) 接口电路; 3) 系统控制软件; 4) 另件程编系

\* 本文曾于 1979 年全国计算机应用技术交流会上交流过, 修改稿于 1980 年 12 月 10 日收到。

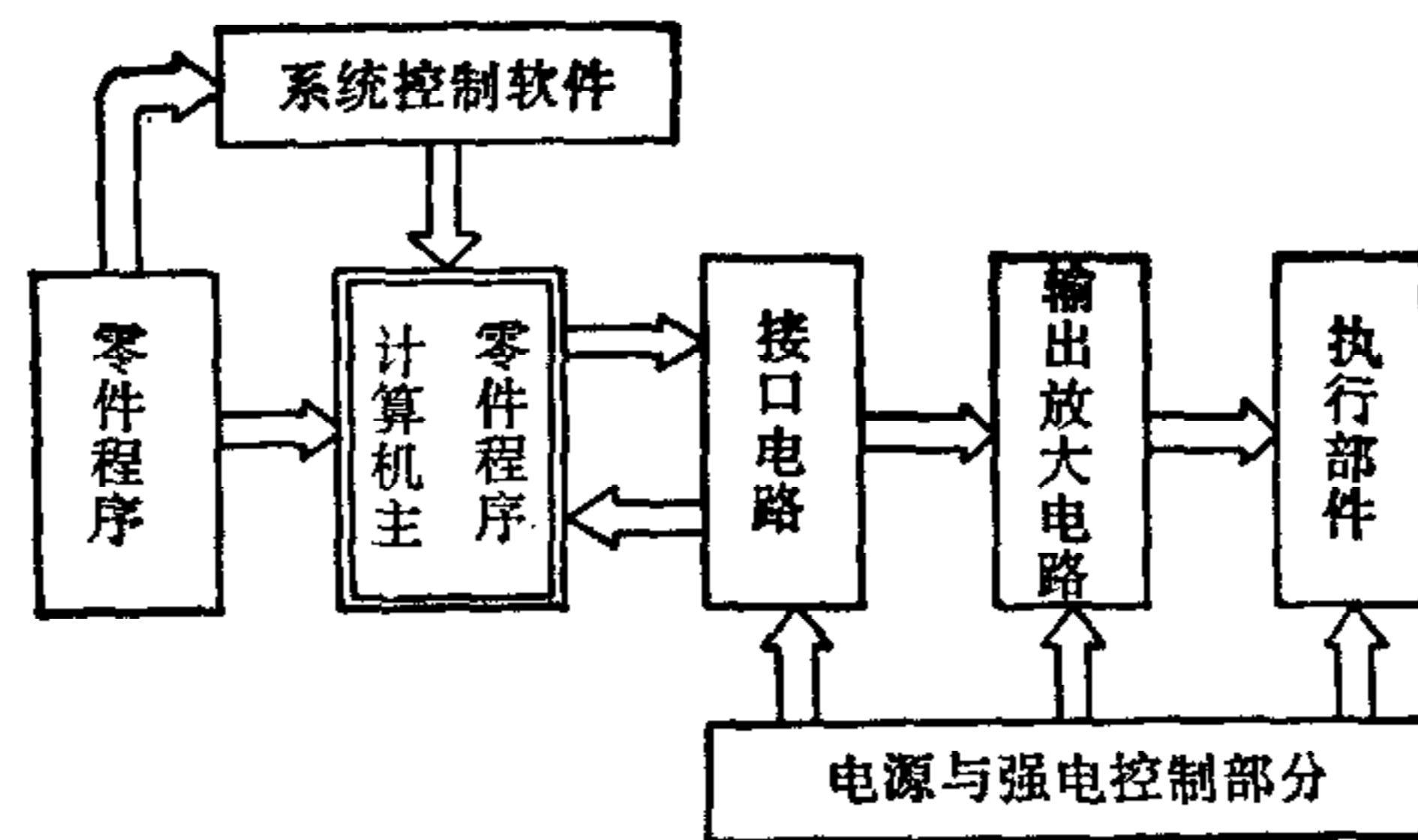


图 1 全系统构成框图

统; 5) 输出驱动放大部分; 6) 执行部件; 7) 电源及强电部分组成。

### 三、控制方式选择:

1. 在 DNC 系统中, 计算机用作实时数字控制, 控制方式主要有直接控制与间接控制之分。

1) 直接控制: 机床的每一个进给脉冲均由计算机直接发出, 有关的数据处理、插补运算, 逻辑判断等一系列工作都由计算机来完成。此种控制方式具有充分发挥计算机的功能, 尤其是软件的作用, 从而可节省大量的硬件, 控制灵活性强等优点。目前国内外的 CNC 系统多采用这种控制方式。但对群控来说, 受到计算机速度的限制, 影响控制能力。

2) 间接控制: 计算机不直接向每台机床发进给脉冲, 它只担负每个程序段的处理。同直接方式相比较对计算机的速度要求不太高, 被控制的机床数量可多些。缺点: 附加的外部硬设备要多的多, 计算机的功能没充分的发挥。权衡两种方式, 我们选择了前者。

2. 直接控制的 DNC 系统, 关键在于如何发挥计算机的控制能力。

用下式概算控制能力:

$$NF_m(M(t)) \leq 1 \text{ 秒} \quad (1)$$

式中:  $N$ ——被控制的机床台数;

$F_m$ ——机床的最高进给脉冲频率;

$M(t)$ ——计算机为一台机床发出一个控制脉冲的服务周期。

式(1)表明: 计算机必须具备在每秒钟内能为每台机床; 发出  $F_m$  个控制脉冲的能力。

由(1)式得:

$$N = \frac{1}{F_m M(t)}, \quad M(t) = \frac{1}{NF_m} \quad (1')$$

在本群控系统中:  $N = 4$ ;  $F_m = 4000 \text{ Hz}$ . 所以:

$$M(t) = \frac{250 \mu\text{s}}{4} = 62.5 \mu\text{s}$$

就是说计算机为每台机床的服务时间,不得超过  $62.5\mu\text{s}$ 。

3. 计算机通过对每台机床执行各种加工形式的不同的控制算法,得到不同的进给脉冲序列,从而实现了各种各样的加工。例如直线、圆锥、圆弧加工等等均有不同的脉冲序列。 $M_a, M_b, M_c$ , 可用下式表示:

$$M_a = \sum_{i=1}^n A_i T \wedge \frac{1}{F} \quad (2)$$

式中:  $M_a$ —— $A$  种加工形式的脉冲序列;

$A_i$ ——各种不同的控制算法,它由一系列的程序组成;

$T$ ——计算机的存取周期;

$n$ ——进给脉冲总数;

$i$ ——下标量, ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )

式中当  $n = 1$  时,可得到计算机一个服务周期内执行的控制算法关系式:

$$M(t) = \sum_{i=1}^n A_i T \quad (3)$$

4. 上面只分析了计算机为某一台机床服务的过程,对多台机床来说,通常采用中断控制方案。其结构如图 2 所示:

图中:  $Z(t)$ ——计算机一次中断请求的响应时间;

$M_1(t), M_2(t), M_3(t), M_4(t)$ , 计算机分别为四台机床的服务周期。

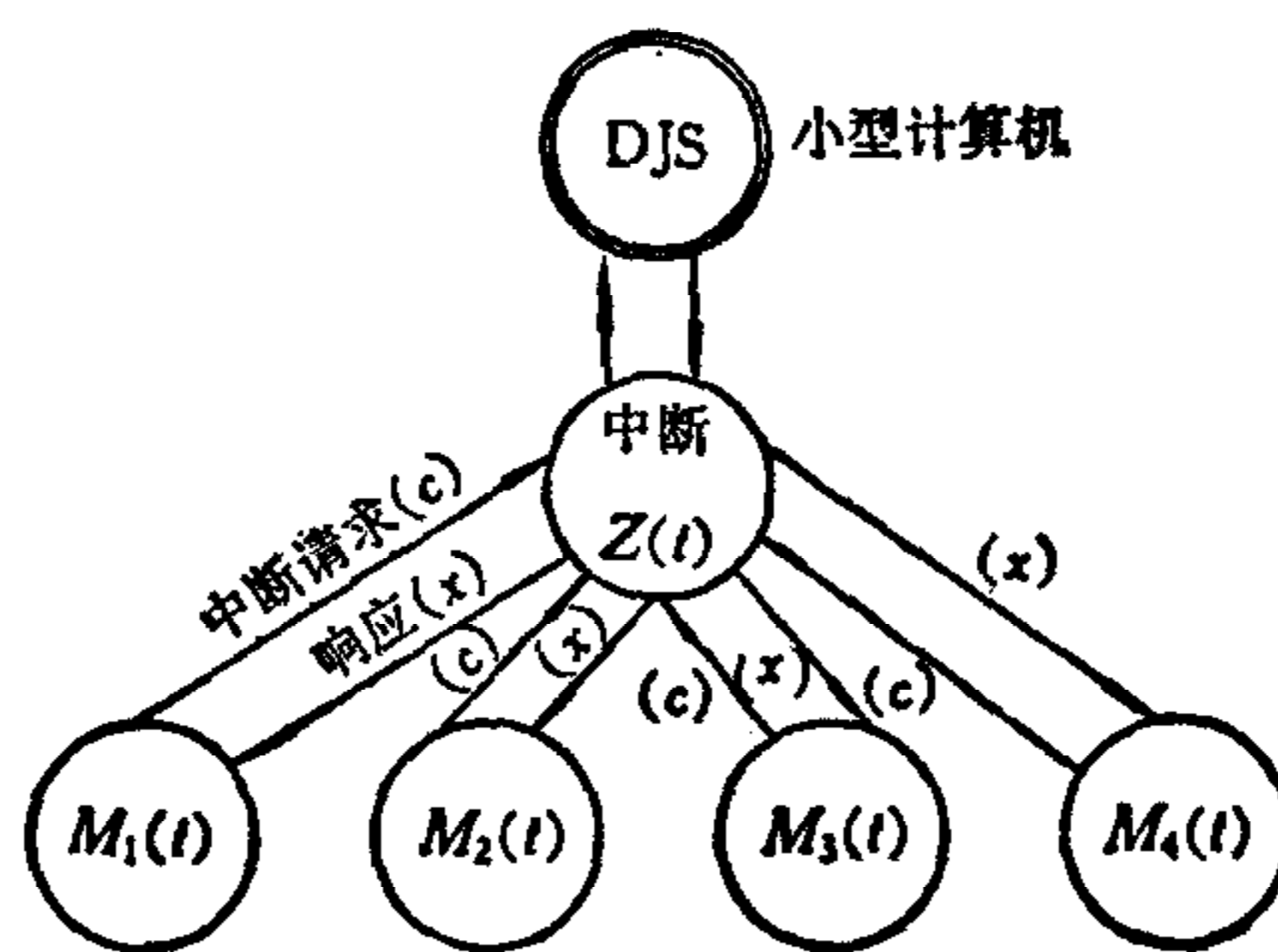


图 2 中断方式的结构图

由图 2 可知,计算机为一台机床服务一次的时间为:

$$S_i = M_i(t) + Z(t) \quad (4)$$

假设四台机床同时加工相同的零件,其描述也是相同的。即:  $M_1(t) = M_2(t) = M_3(t) = M_4(t)$

计算机为四台机床,一次群控的服务周期为:

$$T_s = 4M_i(t) + 4Z(t) \quad (5)$$

又,  $T_s$  必须满足:

$$T_s \leq \frac{1}{F_m} = 250\mu\text{s} \quad (6)$$

式(5)中:  $4Z(t)$  是四次中断请求响应时间; 是非常可观的, 每次需要  $60\mu s$ , 四次共需  $240\mu s$ . 显然,  $4M_i(t)$  不可能在余下的  $10\mu s$  内完成, 因此不能用中断系统. 而采用软件程序查询的方案, 则可节省  $240\mu s$  的中断响应时间.

其结构如图 3 所示.

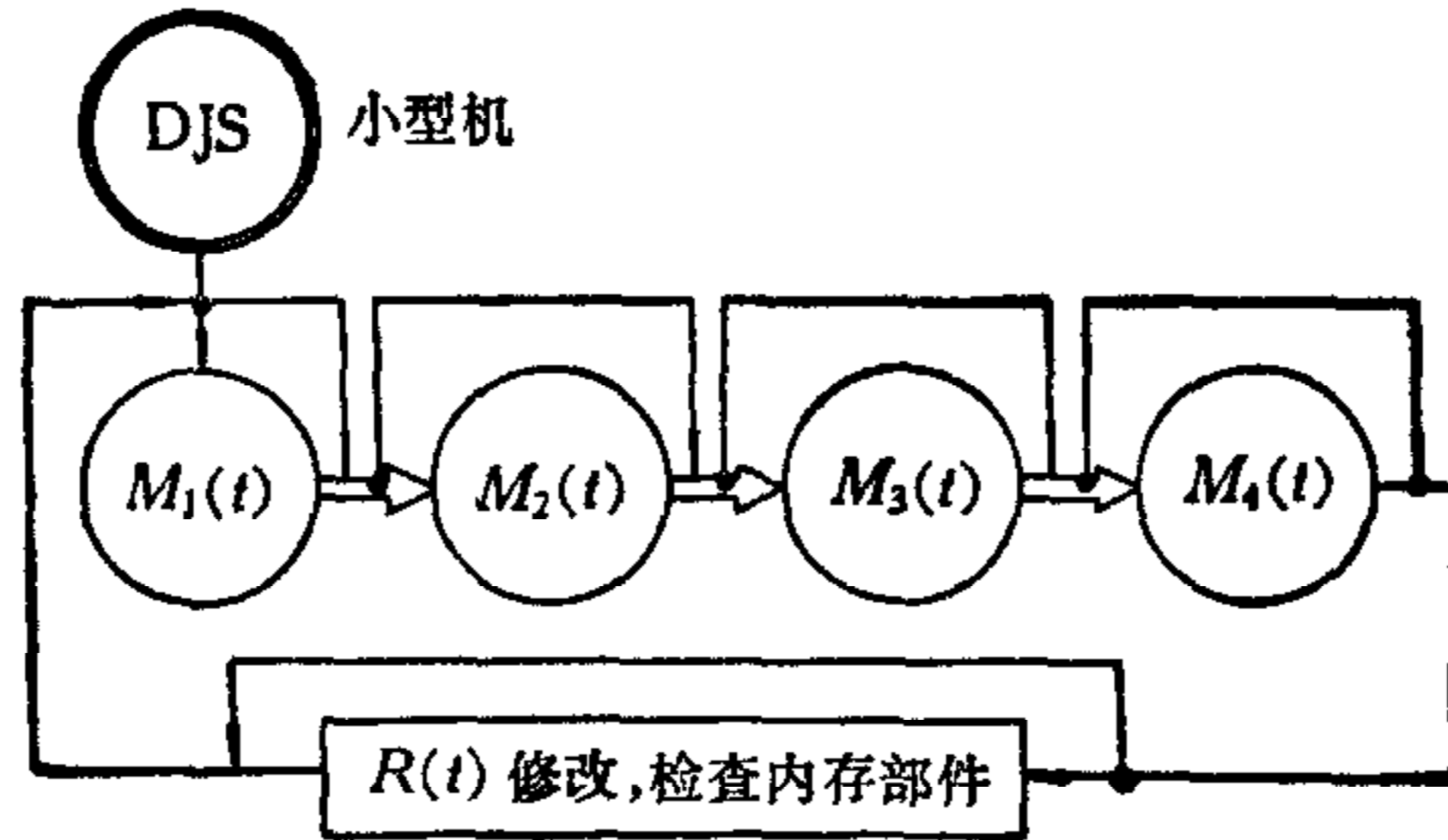


图 3 软件排队程序控制框图

采用上述方案, 计算机的一次群控服务周期为:

$$T_s = 4M_i(t) + R(t)$$

$R(t)$ : 为计算机修改与检查内存的程序执行时间.

令:  $R(t) = M_i(t)$

$$T_s = 5M_i(t) = 250\mu s$$

故:  $M_i(t) = 50\mu s$

作为本系统软、硬件的设计依据.  $M_i(t)$  必须小于等于  $50\mu s$ .

### 四、建立控制算法

为了使车床的各种加工过程在计算机控制下自动进行, 需要建立控制算法, 它包括数学表达式, 控制规律、以及控制应用软件.

根据车床加工件的类型, 归纳为四种控制算法. 下面将分别叙述.

#### 1. 机床坐标设定

车床沿横向运动为  $x$  轴, 纵向运动为  $z$  轴, 采用绝对值坐标. 接近工件的横向运动为正  $x$ , 离开工件为负  $x$ . 纵向运动凡接近卡盘为正  $z$ , 离开卡盘为负  $z$ , 如图 4 所示.

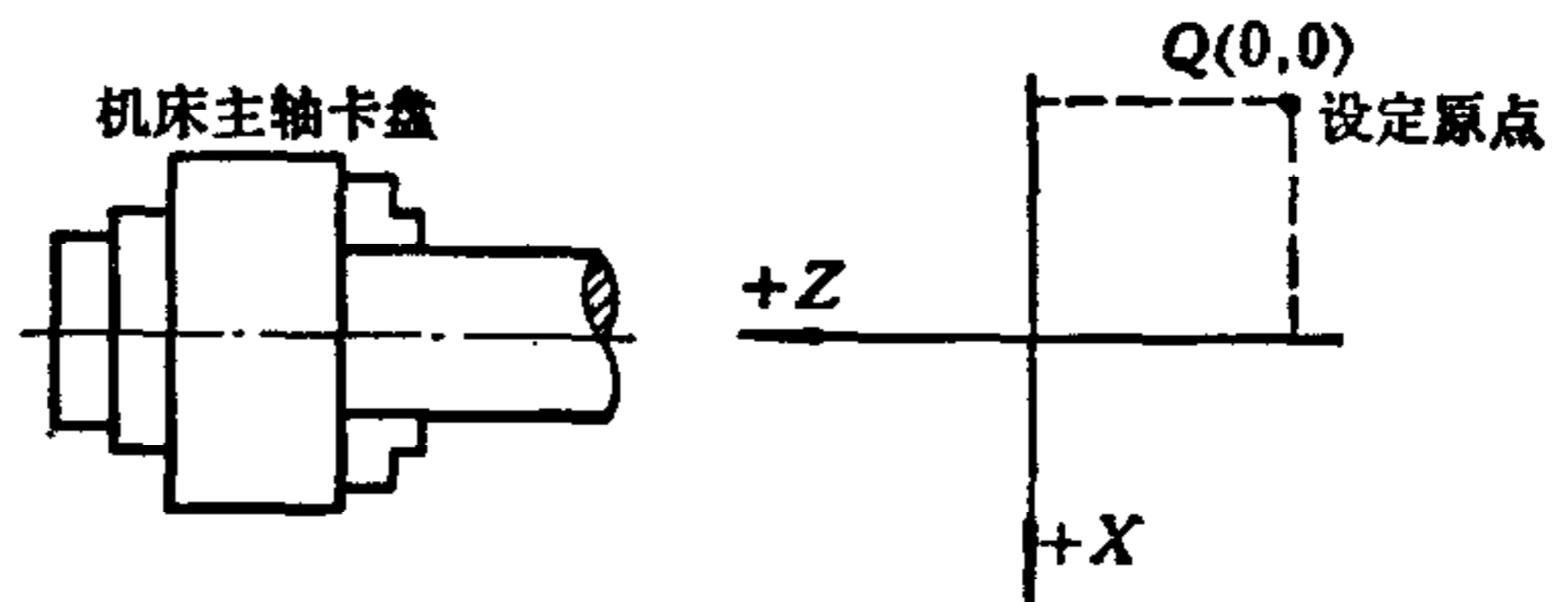


图 4 机床坐标设定图

#### 2. 各种类型的控制算法:

1) 直线加工: 机床单个坐标轴作一定数值脉冲当量的进给运动. ( $x$  轴的脉冲当量为  $0.005$  毫米,  $z$  轴为  $0.01$  毫米).

直线加工以下式表示:

$$A = n_x - i \quad (7)$$

式中:  $n_x$  或  $n_z$ ——单坐标进给位移脉冲当量数;

$i$ ——计算机发出的每一个进给脉冲, ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )

当  $n - i = 0$  时, 本段加工结束.

其脉冲序列有:

$$M_a = \sum_{i=1}^n [n_x - i] T \wedge \frac{1}{F} \quad (8)$$

式(8)中:  $F$  为机床选择的进给工作频率, 为 0—4 KC, 计算机在执行  $(n_x - i)$  之后发出一个进给脉冲与选定的工作进给周期之间逻辑与, 就得到需要的脉冲序列.

2) 锥度加工: 此时两个坐标同时运动, 进行直线插补加工. 如图 5 所示:

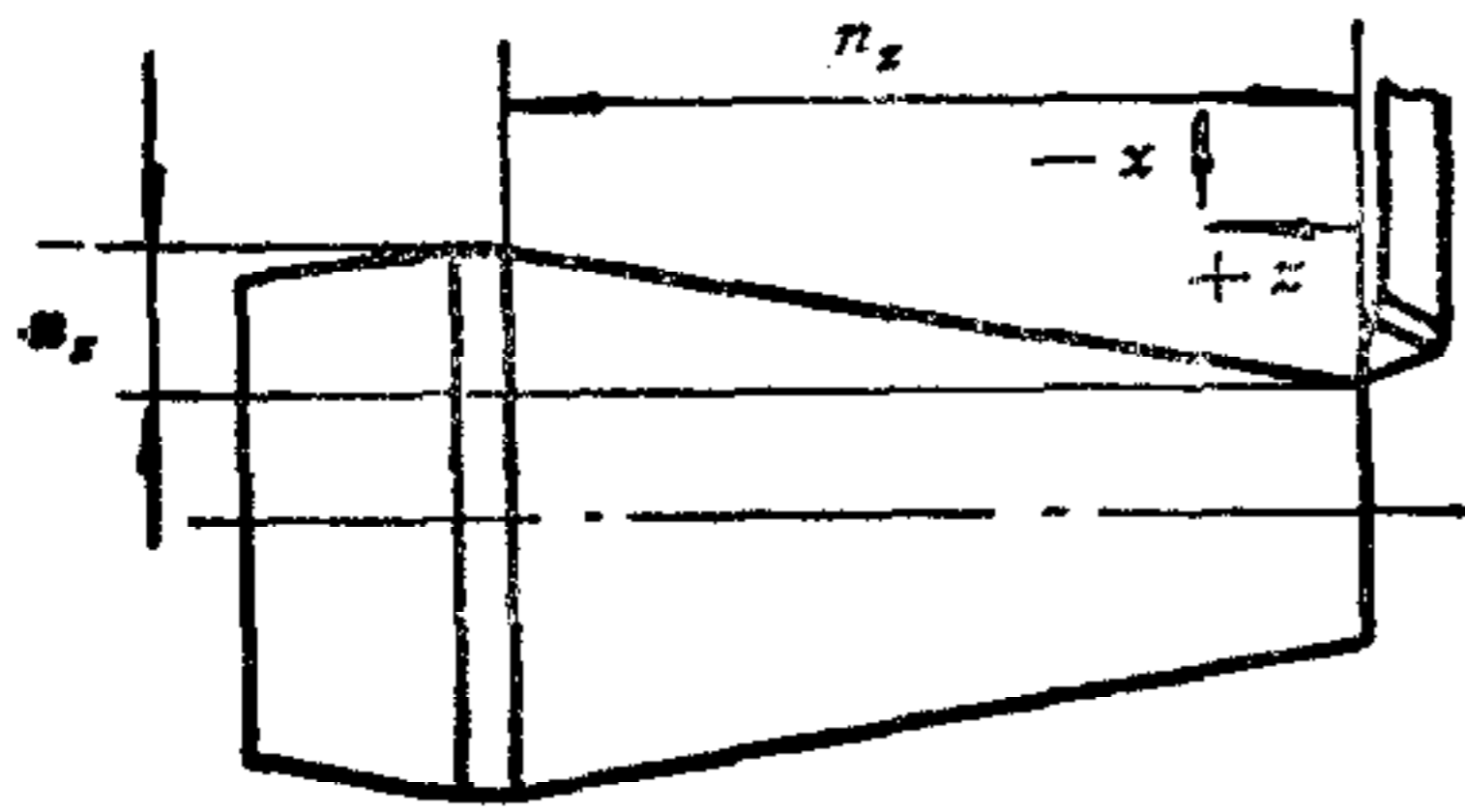


图 5 直线插补加工

首先定义: 在直线插补加工中, 脉冲当量数值大的轴为主运动, 小的为副运动. 主运动和副运动的脉冲序列有以下关系:

$$\alpha n_{\text{主}} = n_{\text{副}}$$

$\alpha$ : 称为直线插补小数.

主运动作为一般的直线运动, 再加上一个

副运动的跟踪值, 就是直线插补的运动轨迹.

可用下式表示:

$$B = [n_{\text{主}} - i] + \alpha i \quad (9)$$

于是脉冲序列为:

$$M_b = \sum_{i=1}^n [(n_{\text{主}} - i) + \alpha i] T \wedge \frac{1}{F} \quad (10)$$

当  $(n_{\text{主}} - i) = 0$  时, 本段加工结束.

$\alpha i$ ——插补小数的每一次累加和.

凡是对整数有进位, 就是跟踪一个副运动的进给脉冲.

3) 圆弧加工: 车床的两个坐标协调运动的结果, 刀具尖部轨迹是一个圆弧. 如图 6 所示:

圆弧加工时,  $x$ 、 $z$  轴的脉冲当量均为 0.01 毫米.

已设定  $P$  点在圆周上,  $P(x_0, z_0)$ .

$$\text{有: } x_0^2 + z_0^2 = r^2 \quad (11)$$

设两个轴分别作一个当量运动后(同原点比较)所造成的相对偏差值为  $f$ .

当  $x$  轴进给一个脉冲后  $P$  点在圆外:

$$f_x = 2x_0 + 1 \quad f > 0$$

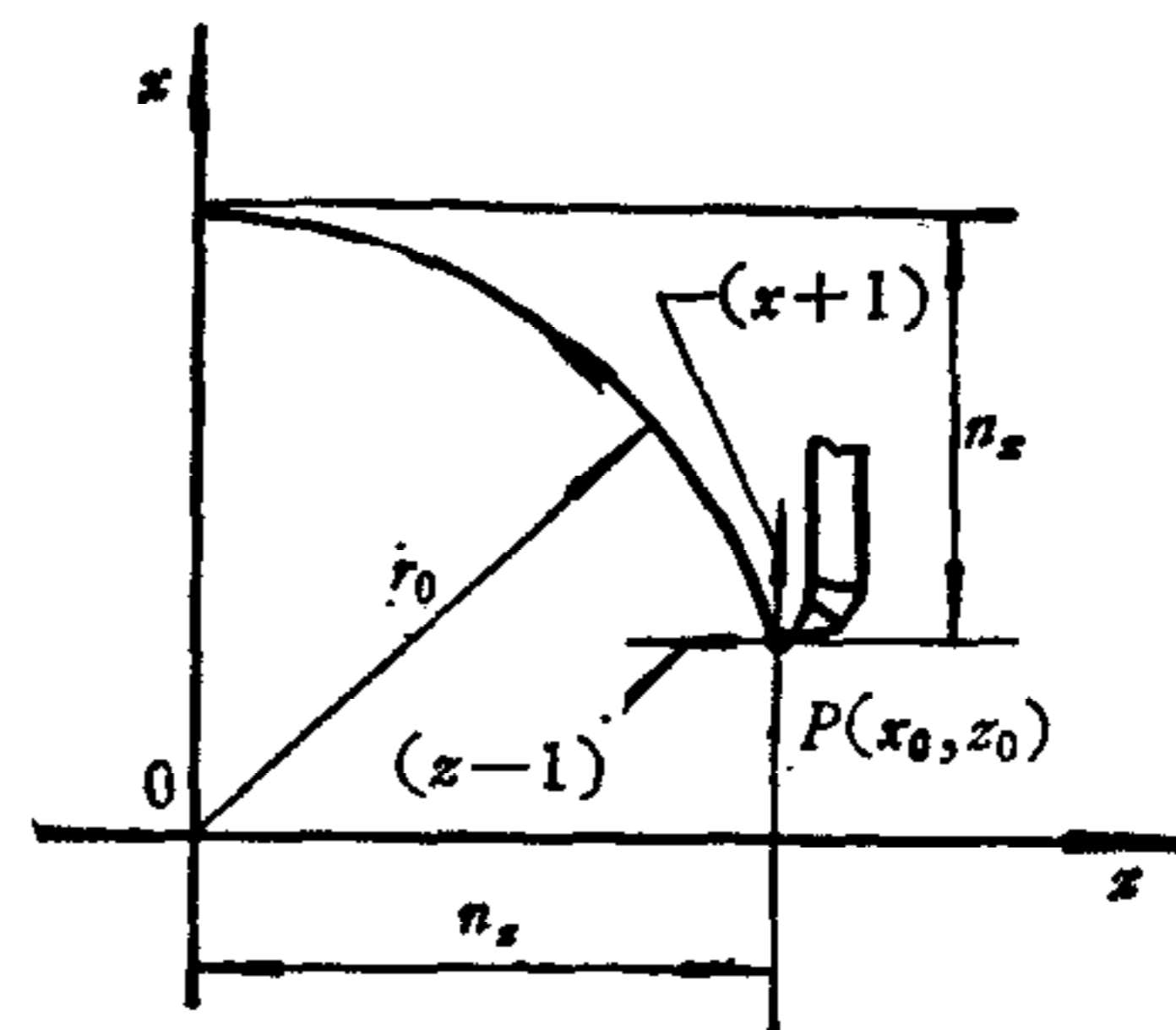


图 6 圆弧加工图

当  $z$  轴进给一个脉冲后  $P$  点在圆内:

$$f_z = -2z_0 + 1 \quad f < 0$$

因此得出: 偏差值  $f \geq 0$  时, 向圆内走一步后得到修正的新偏差值应为:

$$f' = f - 2x(z) + 1 \tag{12}$$

如果修正后的新偏差值  $f' < 0$ , 就应向圆外走一步, 再次修正又得到新的偏差值  $f''$ :

$$f'' = f' + 2x(z) + 1 \tag{13}$$

如此判别下去,  $f \geq 0$  时用式 (12),  $f < 0$  时用式 (13). 应该指出:  $P$  点的初始坐标值  $x_0, z_0$ , 随  $P$  点移动不断改变, 上式中  $x, z$  均为新的坐标值. 即:

$$x = [x_0 \pm i], \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1)$$

$$z = [z_0 \pm j], \quad (j = 0, 1, 2, 3, \dots, m - 1)$$

脉冲序列为:

$$M_{cx} = \sum_{i=0}^{n-1} [f \pm 2(x \pm i) + 1] T \wedge \frac{1}{F} \tag{14}$$

$$M_{cz} = \sum_{j=0}^{m-1} [f \pm 2(z \pm j) + 1] T \wedge \frac{1}{F} \tag{15}$$

$f \geq 0$  时应该向圆内进给,  $f < 0$  时应该向圆外, 坐标选择视圆弧的加工方向和所处的象限而定. 具体规定如图 7 所示:

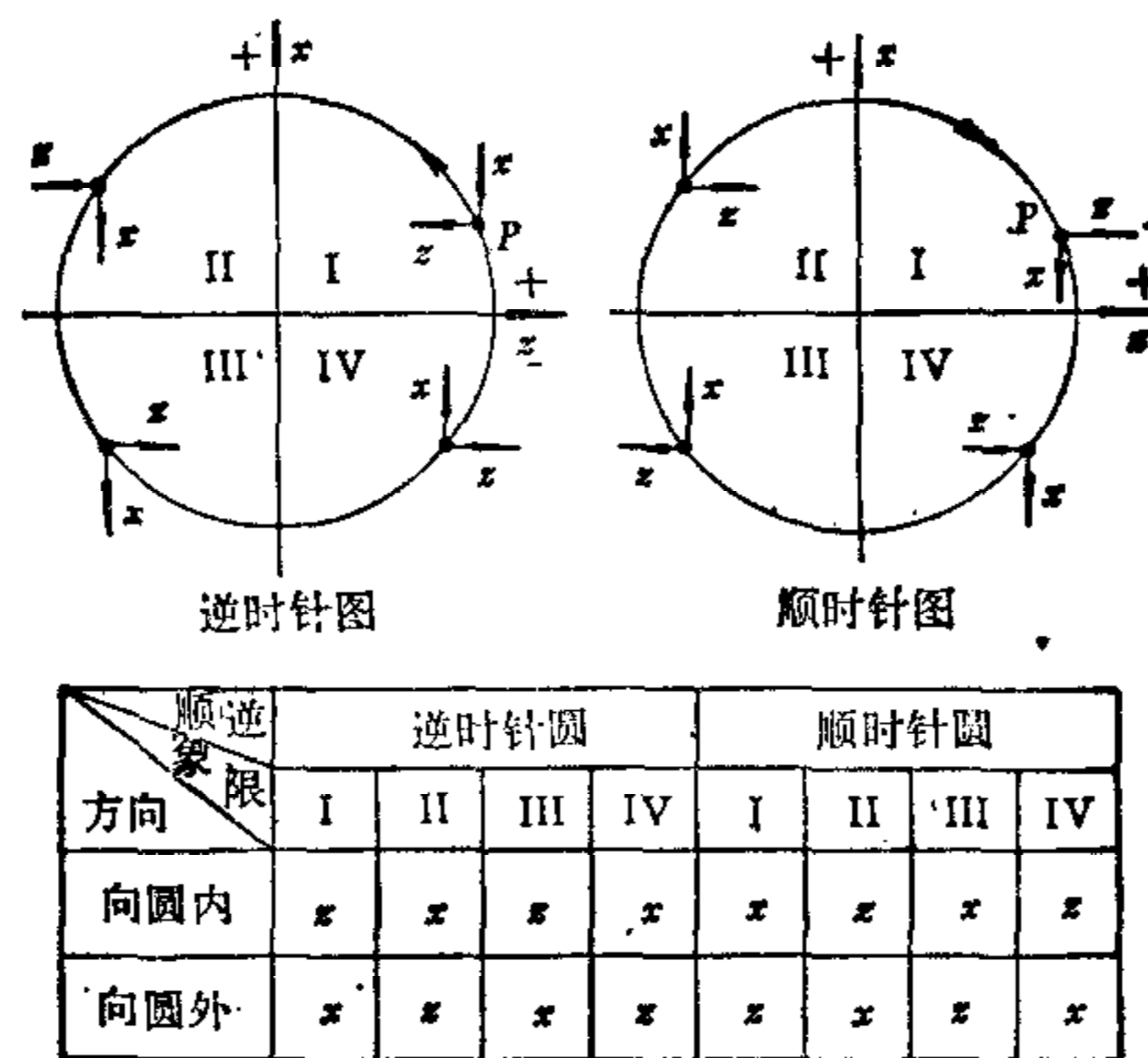


图 7 圆弧加工方向及象限

归纳起来:

(1) 逆圆 I, III; 顺圆 II, IV 象限相同:

当  $f \geq 0$  时, 应用关系式:

$$M_{cz} = \sum_{j=1}^{m-1} [f - 2(z - j) + 1] T \wedge \frac{1}{F} \tag{16}$$

$z - j = 0$  为过象限标志

当  $f < 0$  时, 应用关系式:

$$M_{cx} = \sum_{i=1}^{n-1} [f + 2(x + i) + 1]T \wedge \frac{1}{F} \quad (17)$$

(2) 逆圆 II、IV; 顺圆 I, III 象限相同:

当  $f \geq 0$  时, 应用关系式:

$$M_{cx} = \sum_{i=1}^{n-1} [f - 2(x - i) + 1]T \wedge \frac{1}{F} \quad (18)$$

当  $x - i = 0$  为过象限标志

当  $f < 0$  时, 应用关系式:

$$M_{cx} = \sum_{j=1}^{m-1} [f + 2(z + j) + 1]T \wedge \frac{1}{F} \quad (19)$$

4) 车削螺纹加工:  $z$  轴按规定的螺距, 均匀的跟踪机床主轴迴转角度, 其表达式:

$$\frac{2\pi}{p} = \omega$$

$p$ ——规定的螺距数值;

$\omega$ ——角度的脉冲当量, 同进给脉冲当量  $i$  可等效交换。

故 
$$M_D = \sum_{\omega=1}^n (n - \omega)T \wedge \frac{1}{F_p} \quad (20)$$

实现上述的控制规律。有相应的应用软件, 在此不再说明。

## 五、软件设置

对于一个小型机群控系统, 如何有效的利用内存单元, 力求节约内存十分重要。尽量使内存容量小, 这样既经济又可以使整个系统的可靠性得到提高。本系统的 4K 内存, 需要装入四台机床的主控程序; 随机修改和检查内存单元的程序; 执行各种类型加工、数据处理、任意循环等服务程序; 引导程序等, 尚须留有足够的单元用来存放另件的加工程序。

### 1. 主控程序

用一系列的询问链构成了主控程序的主干, 往返对四台机床及修改检查内存部件进行控制, 并可根据需要, 随即转入任何一个分支, 去执行相应的服务程序。共有十个分支: 1) 送地址分支, 2) 送程序分支, 3) 循环处理分支, 4) 回零分支, 5) 送圆弧加工程序分支, 6) 送其余机能分支, 7) 取刀补值分支, 8) 执行加工分支, 9) 圆弧加工分支, 10) 修改、检查内存单元分支。这些分支, 每台机床每次只选择其中一个执行, 平均的执行时间小于  $50\mu s$ , 达到了该系统的设计要求。

### 2. 零件加工程序

国内外的许多单位和厂家, 在 CNC 系统中, 仍然采用以往的数控机床 NC 系统的另件编程方式, 须设置一套汇编或解释程序, 要占用许多内存单元, 同时编程又感到不便。我们本着零件编程要容易、使用方便, 又可节省内存和机器时间的原则, 设计了一套用机器接口指令码和数值, 直接编零件程序的方法。经两年实际采用效果较好, 操作者在现场

可直接编程使用。目前国外也发展了许多现场全数字化的编程系统, 1979年4月美国机床协会代表团, 在北京介绍了赫科 (Hurco) 公司最新研制的 CNC 全数字化现场编程系统, 克服了以往编程缺欠。

本系统的零件编程方法: 用定义符规定了五种零件程序格式:

- 1) 单坐标运动程序: G, G<sub>N</sub>, N, STM, F.
- 2) 两坐标直线插补: G, G<sub>N</sub>, N<sub>±</sub>, α, STM, F.
- 3) 圆弧插补加工: G, G<sub>N</sub>, N<sub>Z</sub>, N<sub>X</sub>, J, STM, F.
- 4) 循环加工: G, E, D. (循环G码为 0000)
- 5) 自动回原点: G.

编写零件程序时, 按照格式规定的定义符次序, 写出对应的指令码或数值即可。为了进一步节约内存, 如果本程序段的 STM; F 与上段相同时, 只要在 G 码中加入 0010, 本段就可省略 STM; F。如: 6010; 4000; 5200; 0000; 是 z 轴作正运动的程序。其 S、T、M; F 与上段相同。

定义符合意如下:

G——运动方式指令码; 见表 1-1, 1-2; G<sub>N</sub>——功能指令码; 见表 2

表 1-1 各轴单动的 G 码

方 向	z 轴	x 轴	车 螺 纹	自 动 回 原 点	
正 向	6000	1000	6100	z	0004
负 向	4000	0001	4100	x	0002

表 1-2 圆弧与直线插补的 G 码

象 限 \ 类 型	顺 时 针 圆	逆 时 针 圆	z 为 主 运 动	x 为 主 运 动
I	2040	5040	7200	3200
II	3040	4040	5200	1200
III	1040	6040	4200	0200
IV	0040	7040	6200	2200

表 2 G<sub>N</sub> 码

刀 补 \ 延 时	终 点 停 留 延 时	不 须 停 留 延 时
取 刀 补	5000	4000
不 取 刀 补	1000	0000

S、T、M——主轴转速、刀位选择、辅助功能选择码, 4 位数中 S 占两位, T、M 各占一位。如 1122 表示主轴为 11 挡转速, 2 号刀位、第 2 种辅助机能。

F——进给速度选择; 0000—7777 任选。

N——进给的脉冲当量数; (双字长数)。



$\alpha$ ——插补小数;(单字长数).

$N_{\pm}$ ——主运动进给脉冲当量数;(双字长数).

$N_z$ —— $z$ 轴起点对圆心的坐标值;(双字长数).

$N_x$ —— $x$ 轴起点对圆心的坐标值;(双字长数).

$J$ ——两坐标进给脉冲当量之和;(双字长数).

$E$ ——循环次数;(单字长数).

$D$ ——循环程序入口地址.

由于定义符少,代码简单、容易记忆,操作人员很快就可掌握,并设有任意循环的编程格式,使另件程序大为简化和缩短.

经采取以上措施,4K内存共32个页面,各种装入程序占用10个页面,尚有22个页面,2816个单元供放零件程序使用,可存放十多种零件的加工程序,已满足了需要.

关于接口硬件这里就不再说明.

### 参 考 文 献

[1] 电子与自动化,上海科学技术出版社(1980).

[2] 电子技术词典,国防出版社.

## A GROUP CONTROL SYSTEM (DNC) OF TURNING MACHINES WITH COMPUTER

YAN CHUANGONG

(Dalian Locomotive and Rolling Stock Works)

### Abstract

A DNC system operates a group of four all-purposed turning machines, with a minicomputer of 12-bit word length and 4K words storage. This paper discusses how to choose an ideal process control, points out the possibility and means to develop the latent ability of the computer and shows the practical arrangement of the group control performance. As to machine works, this paper also reveals the concept and means in simplified digital programming on the spot, which were already put into actual practice with good results.