

李龙森 黄午阳 张令松 编著

电子技术应用丛书
车床的数字控制

69.1

科学出版社

电子技术应用丛书

车床的数字控制

李龙森 黄午阳 张令松 编著

01-07/11

科学出版社

1983

内 容 简 介

本书是电子技术应用丛书之二,它主要以车床的数字控制为例,系统地阐述了数控技术中的有关原理。全书共九章。第一章叙述了数控机床的一般原理;第二到第四章讨论了直线和圆弧插补、刀具半径的自动偏移计算、螺纹切削、循环切削等机能实现的原理及其程序编制;第五章分析了数控机床专用计算机的输入、运算、控制及输出逻辑部件的结构和原理;第六章介绍了光栅和感应同步器两种位置检测元件及其逻辑电路;第七章分析了步进电机的工作原理及其控制、驱动线路;第八章是一个操作实例;第九章讨论了总逻辑设计的一般方法和调试问题。

本书内容丰富,涉及面较广,线路实用,数据详细,从而对读者(特别是初学者)掌握和运用数控技术很有帮助。

本书可供机械、电气工程领域中与数字控制及程序控制有关的工人、技术人员和大专院校师生参考。

电子技术应用丛书 车 床 的 数 字 控 制

李龙森 黄午阳 张令松 编著

责任编辑 李淑兰

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

*

1983年1月第一版 开本:787×1092 1/16

1983年1月第一次印刷 印张:16 插页:1

印数:0,001—7,200 字数:365,000

统一书号:15031·462

本社书号:2918·15-8

定价:2.10元

前 言

数控机床在五十年代中期问世以后,随着电子元件的小型化、集成化,已在机械加工工业中占据了重要地位。目前正朝着计算机控制方向发展,但由于数控简易,便于对原有旧机床的改造,因此它仍是机械加工工业革新挖潜的重要手段之一。数控机床不仅仅是机械加工技术问题,而且与电子、计算机等自动化方面技术密切相关;多数从事机械加工工业的同志对有关方面的技术不熟悉或了解不多,为了革新挖潜,改造旧设备,他们又必须掌握这方面的知识。本书是作者根据多年从事这方面的工作及业余教育的体会,为这部分同志编写并作为电子技术应用丛书之二出版的。

我们从读者的实际情况出发,以 SK3-2C 数控机床数控箱为典型,通过原理分析,结合具体的机械加工过程介绍有关的电子、计算机及自动化技术。这就使读者在阅读本书时不必事先掌握很多电子技术方面的知识,通过阅读本书也能解决生产实际问题。

在编写过程中,我们得到了上海长江机械厂、重庆大学光栅组、华中工学院电机教研组、上海电气成套自动化研究所等单位的大力支持和帮助,谢伟如和李世基两同志也参加了部分章节的编写,谨此一并致谢。

由于我们水平的限制,本书难免有错误与不足之处,恳切希望读者批评、指正。

编 著 者

1981 年于上海市业余工业大学

目 录

前言

第一章 数控机床概况	1
第一节 什么叫做数字程序控制机床	1
第二节 刀尖轨迹的实现	2
一、刀尖轨迹形成的数学原理	2
二、刀尖轨迹精度的控制	2
第三节 数控机床的发展方向	4
第四节 SK3-2C 简介	4
第二章 曲线数字程序控制基础	7
第一节 直线和圆弧的插补原理	7
一、直线插补	7
二、圆弧插补	16
第二节* 刀具半径自动偏移计算	23
一、伸长和缩短	24
二、光滑轮廓线的刀具半径自动偏移计算	27
三、非光滑轮廓线的刀具半径自动偏移计算	28
四、自动偏移计算的公式	29
第三章 数控车床各种机能的实现	31
第一节 螺纹机能的实现	31
一、直螺纹切削机能	31
二、锥螺纹切削机能	33
三、英制螺纹切削机能	34
第二节 循环切削机能	35
一、矩形循环切削	36
二、直螺纹循环切削	40
三、锥度循环切削	40
四、公制锥螺纹循环切削	43
第四章 程序编制	45
第一节 ISO 代码	45
一、ISO 代码表	45
二、字符及其意义	46
第二节 程序编制	46
一、SK3-2C 程序段的一般格式	46
二、代码	47
三、程序段编制	48

第五章 数控机床的专用计算机	55
第一节 输入部分	55
一、光电机和输入整形电路	55
二、读入脉冲 P_{SD2}	57
三、奇偶校验	57
四、起始 CR 、程序段结束 CR 及跳带 “/” 信号处理	58
五、程序检索	59
六、输入开关 T_{KS}	61
七、清 “0” 电路	62
八、数码脉冲 P_{SM} 和指令码脉冲 P_{ZM}	64
九、 N , G , M , T , S 的寄存译码	67
十、 M , S , T 显示	75
十一、显示计数器置数控制电路	75
第二节 运算器	77
一、十翻二运算	81
二、运算器的逻辑部件	82
第三节 主控制器	91
一、十翻二开关 T_{WF}	91
二、运算开关 T_{KY}	93
三、运算出错信号 Y_{CS}	93
四、时序电路及齿补电位	94
五、进给速度控制电路	97
六、加工开关 T_{KJ}	102
七、进给脉冲电路	107
八、自动循环转段控制电路	113
九、显示计数电路	114
第四节 输出部分	116
一、自动升降速电路概述	116
二、加减脉冲电路及电机转向寄存器	117
三、自动升降速电路	119
四、快慢速转换电路	121
五、数模转换电路	122
六、环形分配器	128
七、高低压驱动电路	129
八、原点控制电路及手动脉冲发生器	129
九、报警电路	132
第六章 位置检测装置	134
第一节 感应同步器	134
一、感应同步器的基本原理	134
二、10kHz 振荡器	140
三、数模转换器 (D/A)	142
四、激磁变压器	146
五、转换计数器	147

六、放大器	148
七、工作脉冲发生电路	151
八、门限和允许计数	152
九、进给脉冲电路及进给方向电路	153
十、预镇定	157
十一、符号说明	162
第二节 光栅	163
一、直线光栅测量位移的基本原理	163
二、光栅读数头	166
三、四倍频电路	167
第七章 步进电机及驱动线路	170
第一节 步进电机的基本工作原理	170
一、单段式步进电机的工作原理	170
二、多段式步进电机的工作原理	175
第二节 步进电机的性能指标	177
一、步距角	177
二、精度及运行时的误差	178
三、静特性	178
四、动特性	182
第三节 步进电机的运行方式及分配器	187
一、常用步进电机的运行方式	187
二、分配器	188
第四节 单一高压驱动线路	191
一、加速电阻 R_0	191
二、 E_g 的选择	193
三、加速电容 C_0	194
四、续流二极管 D_1 和关断时间常数 τ_g	194
五、RC 吸收回路	195
六、高反压大功率管 BG_3 的选择	197
第五节 高低压驱动线路	197
一、高低压驱动的原理	197
二、SK3-2C 步进电机的驱动线路	199
三、脉冲变压器	201
四、 BG_1 关断时 i_0 的衰减过程	205
第六节 电流反馈式高低压驱动电路	207
第七节 可控硅高低压驱动电源	210
第八节 电流反馈开关式高低压驱动线路	213
第八章 操作实例	214
第一节 工件尺寸及指令	214
第二节 输入过程	214
第三节 加工过程	217

第九章 设计和调试	222
第一节 总逻辑设计	222
一、概述	222
二、系统设计中的一些问题	223
三、逻辑设计中的一些问题	225
四、电路设计	228
第二节 调试	229
一、分板调试	229
二、总调试	230
附录一、逻辑代数	232
附录二、二进制的表示法	234
附录三、逻辑符号说明	240
附录四、SK3-2C 符号表	243

第一章 数控机床概况

在机械加工中，经常要遇到加工批量不大、改型频繁、精度要求高、形状又很复杂的一类零件。据统计，单件和中、小批量零件的加工约占机械加工总量的 80% 以上。如何解决这类产品的自动化加工呢？一般自动化机床已不适应，因为一般自动化机床，往往用凸轮或其它专门机构来控制机床加工。当零件尺寸改变时，必须重新更换凸轮或靠模，调整尺寸，然后才能加工。重新调整的工作量非常大，同时也不经济。另外，对于那些形状十分复杂的零件，通常的自动化机床也无能为力。对于这些问题，数字程序控制机床却显示出其独特的优越性。

第一节 什么叫做数字程序控制机床

数字程序控制机床，简称数控机床，是近 20 年来综合应用了计算技术、自动控制、精密测量和机床结构设计等各个技术领域里的最新技术成就而发展起来的一种既具有广泛的通用性，又具有很高自动化程度的完全新型的机床。

普通机床加工时，其动作的控制由两部分组成：一是控制机床的动作次序，二是控制机床各种运动部件的移动量。只有这样才能达到加工的工艺要求，但这些都需人的直接操作才能实现。

数控机床的控制系统，既能控制机床的动作次序，又能控制机床运动部件的移动量。其工作过程如图 1-1-1 所示。

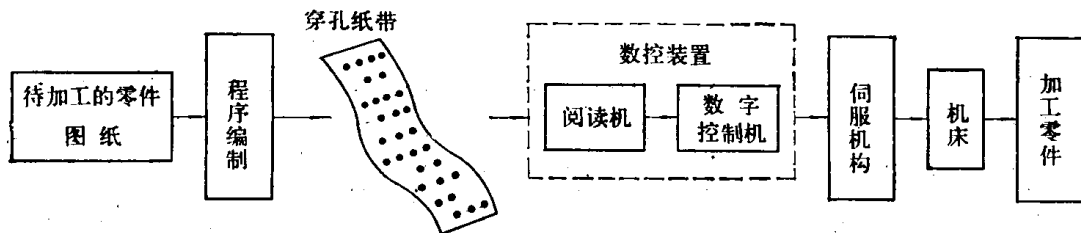


图 1-1-1

由图可知，数控机床一般由穿孔纸带、数控装置、伺服机构、机床等几部分组成。

穿孔纸带用来记录控制指令，它是根据待加工零件的图纸尺寸、动作次序以及各种辅助机能（如主轴转速、进给速度、换刀、冷却液的开或关等）编好程序，用穿孔机打出来的。穿孔带被放到相当于人眼的阅读机（如光电阅读机）中，阅读机就把纸带上所寄存的信息变成电信号送到数字控制机或专用计算机中去。

数字控制机是数控机床的运算和控制部分。它接受由穿孔带输入的数据和指令，然后进行数字运算和逻辑运算，并将运算的结果，以有规律的电脉冲形式送到伺服机构中去，驱动机床作相应的运动。所以数字控制机相当于人的大脑，是机床工作的指挥中心。

伺服机构是数控机床加工时的执行部件，相当于人的手脚。从数字控制机中送出来的

电信号,经过它的转换和功率放大,并通过机床的进给传动系统(如减速箱和滚珠丝杠等),控制机床工作台和刀具对工件按一定的速度作相对运动,从而加工出所需要的零件。常用的伺服元件有步进电机、电液脉冲马达、直流电机等。

改变数控机床的穿孔纸带就能加工出各种不同的零件,因而数控机床具有通用性强、效率高以及劳动强度低等各种优点。

第二节 刀尖轨迹的实现

车床加工的零件外形不外乎由直线或曲线绕车床主轴旋转而成。数控车床要加工出这些轮廓线,主要由它的数字控制机来实现。

一、刀尖轨迹形成的数学原理

数控车床能切削出合乎要求的外形是基于它的插补原理*。所谓插补,是指在保证精度要求下,用一些有规则的曲线(如直线、圆弧、抛物线或其他函数曲线)近似代替图纸上待加工零件的轮廓线,如图 1-2-1 所示。图中用直线段 $\overline{AB}$, $\overline{BC}$, $\overline{CD}$, $\overline{DE}$ 来逼近曲线 $ABCDE$ 。因此数控车床要有具备插补能力的插补器,显然它应具有数值运算和逻辑运算的能力。插补器根据阅读机得到的纸带上的指令与数字,一边进行运算,一边进行判别(判别刀尖偏离实际轨迹的距离),并将结果输送到伺服机构,控制刀具的运动方向和速度,从而加工出零件所需的形状。

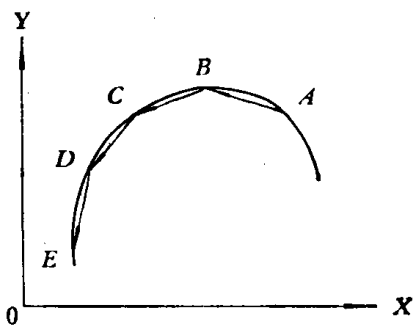


图 1-2-1

插补器按照插补运算方式可以分为逐点比较法、数字乘法器、(又称脉冲分频器,常用来控制切削直线)、数字积分器(即 DDA)。目前插补曲线时,用逐点比较法居多。对于一台数控车床来说,它可以内部带有插补器,这就是内插补控制系统;也可以本身不带有插补器,而靠数控车床外的插补器来控制车床,这就是外插补控制系统。内插补控制系统便于零件的更换和程序的修改,灵活性较大,但成本较高。外插补系统一般是借助于计算中心的通用数字计算机进行插补运算,所以设备简单,造价低廉,但对零件的更换和程序的修改,完全要依靠计算中心,灵活性差。

二、刀尖轨迹精度的控制

数控车床加工出来的零件的精度与进给脉冲当量有关。所谓进给脉冲是指数字控制机发给步进电机,并使它转过一定角度的脉冲。而进给脉冲当量是指一个进给脉冲使车床工作台移动的距离。常用的脉冲当量,横向是 0.005mm/脉冲,纵向是 0.01mm/脉冲。

* 有些数控机床,如钻床、冲床、镗床等,是不需插补的,因为这些机床只要控制刀具行程终点的坐标值,以保证点与点之间的准确定位,而不管它们所走过的轨迹如何。

除此之外，精度还与传动系统的控制类型有很大关系，一般传动系统有开环控制系统，闭环控制系统，以及介于两者之间的半闭环控制系统。

所谓开环控制系统，是指数字控制机发出进给脉冲给传动系统后，车床工作台是否移动和移动多少距离，没有信号再反馈到数字控制机中来，其工作过程如图 1-2-2 所示。当

数字控制机每发出一个进给脉冲给步进电机，电机就转过一个固定的角度，经过液压马达的功率放大，使滚珠丝杠带动工作台移动一个脉

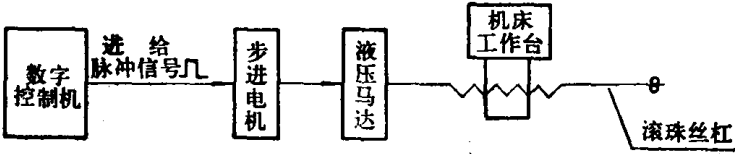


图 1-2-2

冲当量的距离。改变电机的转动方向，就能改变工作台的移动方向。很明显，进给脉冲的频率和数量决定了工作台移动的速度和位移量。在开环系统中，加工的精度主要取决于步进电机、液压马达和滚珠丝杠。为了提高开环系统的精度，需改进电机和液压马达的频率特性，并采用高精度的滚珠丝杠。有时还需要采取螺距误差补偿和齿隙补偿以减小传动误差。

如果数字控制机不仅根据穿孔纸带的指令要求发出指令使工作台移动，而且通过测量装置检测出工作台位置的实时值，并将实际值与指令值进行比较，用比较后的差值进行控制，直到差值小于允许值为止，这种控制系统称为闭环控制系统。它的精度高，其工作过程示于图 1-2-3。

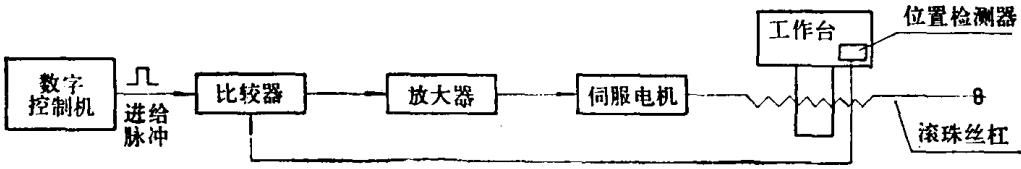


图 1-2-3

这里位置检测器可以是电磁式的旋转变压器，感应同步器或磁尺等，也可以是光学式的光栅或光电编码盘等。

半闭环控制系统也是用“差值”进行控制的。这种控制系统的检测装置是对齿轮或丝杠旋转的角度进行测量，不是直接检测工作台（或刀具）和零件的相对位置，所以称为半闭环控制系统，图 1-2-4 是它的工作过程示意图。

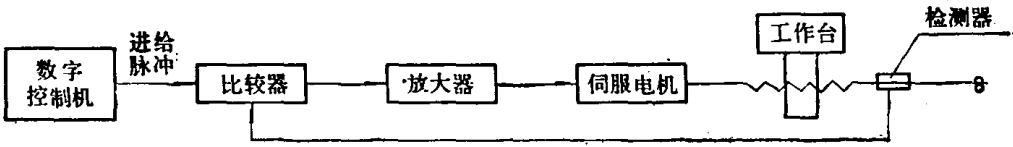


图 1-2-4

综上所述，根据零件精度应选取不同传动系统的数控车床。闭环和半闭环系统精度较高，但结构复杂，调试，维修较困难。开环系统比较简单，维修方便，但精度不高。

第三节 数控机床的发展方向

目前数控机床正在以下几个方面得到发展:

(1) 使数控机床标准化、系列化, 以进一步提高数控装置的可靠性, 降低生产成本。

(2) 发展简易数控装置: 由于数控机床的价格很高, 使用、维护需要较高技术, 所以开始主要在高、精、尖的领域中应用。现在随着大规模集成电路技术的发展, “简易”数字控制装置愈来愈显示出其生命力。简易数控装置虽然机能较少, 但是一般由于其使用简单、维修方便, 价格低廉, 在普通零件的中、大批量加工中也有可能采用。所以在技术革新和技术改造中简易数控机床是有广阔的前途的。

(3) 自适应控制数控机床: 它能在加工过程中, 随切削加工的参数(如切削力, 刀具磨损等)的变动、自动地调整进给量、切削量等, 使机床和刀具都在较佳状态下工作, 工作效率大大提高, 并能保证零件得到更好的精度和光洁度。

(4) 分配式控制(DNC): 它是用一台计算机直接控制多台数控机床, 或控制零件的整个生产过程。

(5) 自动程序编制: 为了减轻人工编程序的劳动强度, 提高程序编制的效率与减少错误, 出现了用电子计算机自动编制程序。我们只要将零件的尺寸和加工的次序, 用程序语言写出程序单打成穿孔带送到计算机中去进行计算, 计算机便能自动地打出数控机床加工所需要的穿孔带。自动程序编制使程序编制的效率大大提高。

第四节 SK3-2C 简介

本书以上海长江机械厂生产的 SK3-2C 数控箱作为一个具体例子, 叙述车床数字控制的原理, 数控车床数控箱(即专用计算机)的结构和设备。SK3-2C 机是一台机能比较全面的数控箱, 能进行:

- (1) 直线(斜线)和圆弧的连续切削。
- (2) 螺纹切削(公制、英制螺纹, 及锥螺纹)。
- (3) 循环切削(内外圆、锥度、直螺纹、锥螺纹自动循环切削)。
- (4) 刀具长度补偿。
- (5) 齿隙补偿。
- (6) 主轴自动变速。
- (7) 程序检索。
- (8) 手动进给。
- (9) 刀具手动自动回原点。
- (10) 各种故障自动报警。

SK3-2C 采用 ISO 代码, 用光电输入。此外, 它还具有其他一些辅助机能。

该机主要性能指标如下:

- (1) 脉冲当量: 横向(X轴)刀架移动量 $\Delta X = 0.005\text{mm/脉冲}$, 纵向(Z轴)刀架

移动量 $\Delta Z = 0.01\text{mm/脉冲}$ 。

(2) 加工工件的最大尺寸：配合上海江宁机床厂的CK 6140 数控车床时，对于四方刀架加工零件的最大直径为 200mm，最大长度为 999.99mm。对于用六角刀架加工零件（盘类零件）的最大直径为 400mm。

(3) 螺纹螺距：0.01~20.47mm。

(4) 快速进给：8000 脉冲/秒。

(5) 切削进给：0.01~20.47mm/转。

(6) 刀具选择：最多六把刀，刀具（刀柄）长度补偿最多六组，每组的X轴最大补偿量为 49.995mm，Z轴最大补偿量为 99.99mm。

(7) 主轴自动调速：共分 18 级。

SK3-2C 机的数控箱面板及机床操作面板图见图 1-4-1 和图 1-4-2

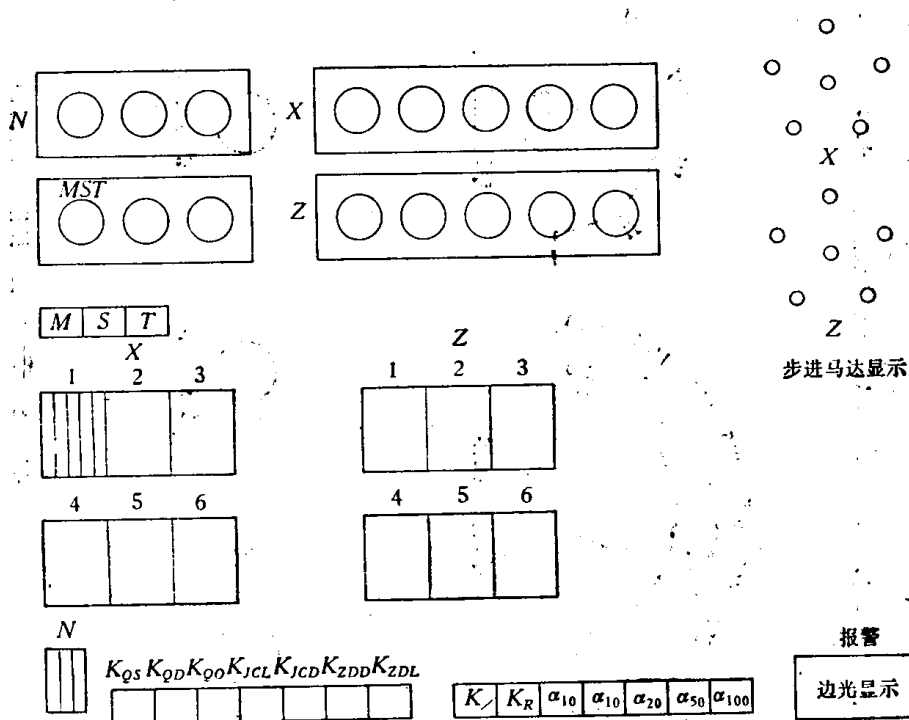


图1-4-1 SK3-2C数控箱面板布置图

该机基本上分为输入部分、运算器、主控制器和输出部分四大部分。

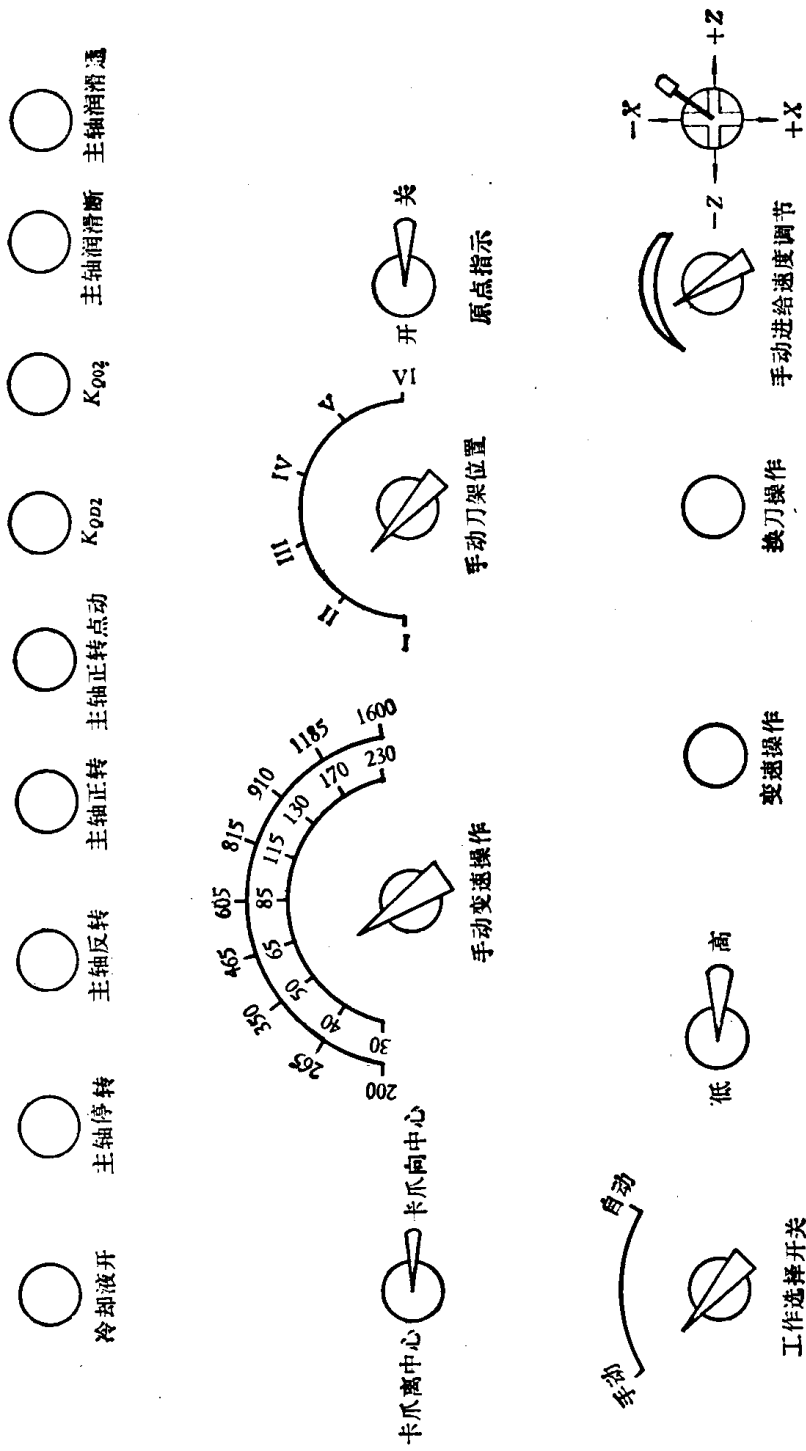


图 1-4-2 SK3-2C 机床操作面板布置图

第二章 曲线数字程序控制基础

插补原理是曲线数字控制的基础。本章将介绍几种插补方法。

第一节 直线和圆弧的插补原理

为了使车床刀具的刀尖沿着规定的直线（斜线）和圆弧的轨迹自动进给，数控专用计算机必须进行插补运算。插补方式很多，SK3-2C采用逐点比较法。

一、直线插补

1. 数学依据

图 2-1-1 表示了第 I 象限中的一根直线 OA ， A 点的坐标 (a, b) 。设在平面上有任一点 $H(x, z)$ ，如果 H 点在直线 OA 上，则

$$\frac{x}{a} = \frac{z}{b}, \text{ 即 } bx - az = 0.$$

取偏差函数为

$$H(x, z) = bx - az,$$

如果 H 点在 $\angle ZO A$ 内，则

$$H(x, z) = bx - az < 0;$$

如果 H 点在 $\angle XO A$ 内，则

$$H(x, z) = bx - az > 0.$$

所以

$$H(x, z) = bx - az \begin{cases} > 0, & H \text{ 点在 } \angle XO A \text{ 内,} \\ = 0, & H \text{ 点在 } OA \text{ 直线上,} \\ < 0, & H \text{ 点在 } \angle ZO A \text{ 内.} \end{cases} \quad (2-1-1)$$

上式就是逐点比较法中直线插补的数学依据。

2. 逐点比较法的基本思想

用逐点比较法进行直线插补计算时，取直线起点作为坐标原点 $(0, 0)$ ，并认为直线终点坐标 (a, b) 是已知的。此外，约定 X 轴及 Z 轴上的长度以丝（即 0.01mm ）作为计算单位。当向 X 轴（或 Z 轴）方向发一进给脉冲时，车刀就沿 X 轴（或 Z 轴）方向进给 $1 \text{ 丝} = 0.01\text{mm}$ 。

判别加工点 (x, z) （即刀尖所在点的坐标）是否偏离了被加工的直线，且判明刀尖是在直线上方偏离直线，还是在下方偏离直线，从而据此决定下次车刀的进给方向。这

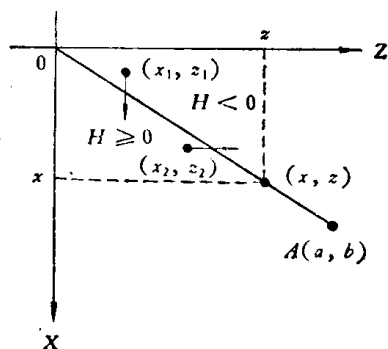


图 2-1-1

就是逐点比较法的基本思想。抓住了这一主要问题，其他问题也就迎刃而解。

公式 (2-1-1) 提供了进行这种判断的数学依据。见图 2-1-1, 当 $H(x_1, z_1) < 0$ 时 [式中 (x_1, z_1) 是车刀刀尖的坐标], 表明刀尖在直线上方, 这时令车刀平行于 X 轴正向进给, 以逼近直线; 当 $H(x_2, z_2) > 0$ 时, 表明刀尖在直线下方, 令车刀平行于 z 轴正向进给, 以逼近直线。上述过程也称之为插补过程。

每进给一次, 专用计算机就自动运算一次, 计算出车刀在新位置时的偏差值 H' , 并根据新偏差 H' 的正或负, 决定车刀的下次进给方向。对于 $H = 0$ 的情形 [即刀尖坐标 (x, z) 正好在直线上], 规定作为 $H > 0$ 的情况来处理。

3. 判别运算的实现——直线时的插补递推公式

按式 (2-1-1) 计算直线插补时的偏差值, 由于需要进行乘法运算, 因而使得专用计算机将变得较复杂。为此, 设法推导一个不用乘法的较简单的插补运算公式。下面我们先来讨论第 I 象限里的插补过程。

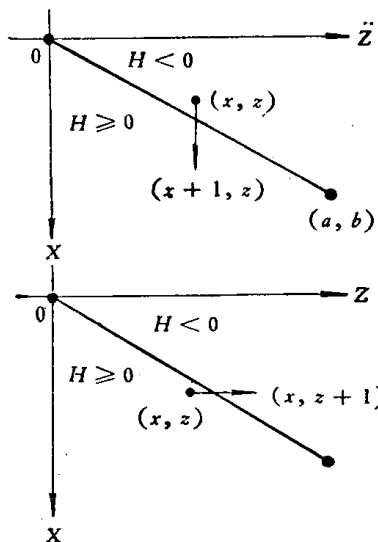


图 2-1-2

设某一时刻车刀刀尖的坐标为 (x, z) , 且设 $H(x, z) < 0$, 则车刀应平行于 X 轴正向进给一步, 到达点 $(x+1, z)$, 见图 2-1-2 (1)。现在, 计算点 $(x+1, z)$ 的偏差函数值

$$\begin{aligned} H(x+1, z) &= b(x+1) - az \\ &= (bx - az) + b \\ &= H(x, z) + b, \end{aligned}$$

(2) 上式表明后一次的偏差值可由“前一次的偏差值加常数 b ”而得到。其次, 设在点 (x, z) 时, $H(x, z) \geq 0$, 见图 2-1-2 (2), 则车刀应平行 Z 轴正向进给一步, 到达点 $(x, z+1)$ 。同理, 可得

$$H(x, z+1) = H(x, z) - a.$$

从上面讨论可知, 为了能够实现直线插补运算, 专用计算机应有五条寄存器。SK3-2C 的五条寄存器是:

(1) J_{sx} : X 向显示计数器。是一条 5 位的二-十进制可逆计数器。在直线插补时存放 X 方向的加工长度 a 。

(2) J_{sz} : Z 向显示计数器。也是一条 5 位的二-十进制可逆计数器。直线插补时存放 Z 方向的加工长度 b 。

(3) T_{cx} : X 方向的移位寄存器。长 18 位, 直线插补时存放 X 方向的终点坐标 a 。

(4) T_{cz} : Z 方向的移位寄存器。长 18 位, 直线插补时存放 Z 方向的终点坐标 b 。

(5) T_{ch} : 偏差寄存器。也是长 18 位的移位寄存器, 直线插补时存放偏差 H 。

除了上面五条寄存器外, 为了进行直线插补, 计算机还需要一个全加器 Σ 进行

$$\begin{aligned} H(x+1, z) &= H(x, z) + b, \\ H(x, z+1) &= H(x, z) - a \end{aligned}$$

运算。 $H(x, z)$ 来自 T_{CH} ； a, b 分别来自 T_{CX} 和 T_{CZ} 。计算结果 $H(x+1, z)$ 或 $H(x, z+1)$ 又逐位送回 T_{CH} 。为了简便起见，以后我们就把上面两个直线插补公式写成

$$\begin{aligned} H+Z &\rightarrow H, \\ H-X &\rightarrow H. \end{aligned} \quad (2-1-2)$$

为了判别偏差 H 是 ≥ 0 ，还是 < 0 ，还必须设置一个偏差符号寄存器 T_{HF} 。在每一次插补运算开始时就将偏差寄存器最高位（第 18 位）——符号位——的状态送入 T_{HF} ：

$$\begin{aligned} \bar{T}_{HF} &= 1, & H &\geq 0; \\ T_{HF} &= 1, & H &< 0. \end{aligned}$$

表 2-1-1 给出了第 I 象限直线插补、进给的条件和运算公式。

表 2-1-1 第 I 象限直线插补进给条件和运算公式

条 件		$T_{HF} = 1 (H < 0)$	$\bar{T}_{HF} = 1 (H > 0)$
结 论	进 给 方 向	X 轴 正 向	Z 轴 正 向
	运 算 公 式	$H+Z \rightarrow H$	$H-X \rightarrow H$

4. 流程图设计和节拍控制

通过前面的叙述可知，在实现直线插补进给时，我们根据原始数据和目前的偏差符号，决定进给方向和偏差计算公式，然后根据计算结果，求出新的偏差符号，为下次进给和计算作好准备。以上全过程可用一种流程图来说明。流程图既可描述各个量之间的关系，也描述了计算机应完成的各种操作和运算的先后顺序，它在逻辑线路的设计中极为重要。

(1) 流程图设计

所谓流程图，是指用腰圆形框、矩形框、菱形框、指向线和文字说明描述计算和进给过程的图式。图 2-1-3 所示的直线插补运算和进给控制流程图即是一个例子。

在这个流程图中，各个框左上角的数字是该框的编号。我们用腰圆形框表示启动和停止；矩形框表示算术运算，相应的算术运算式填于框内；菱形框表示逻辑判别，判别框下的“+”号表示判别条件成立，“-”号表示判别条件不成立，

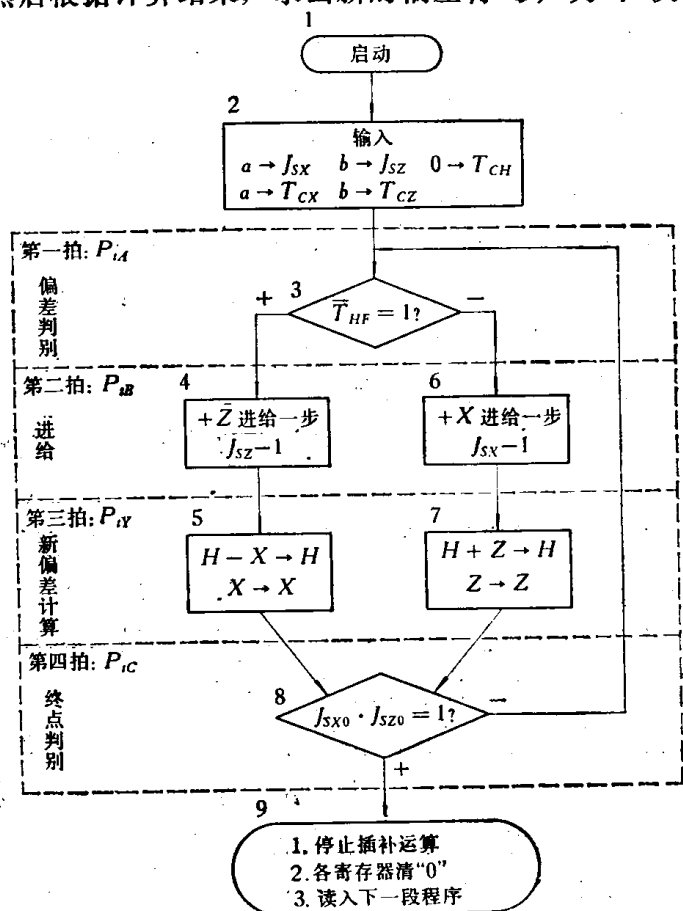


图 2-1-3 第 I 象限直线插补运算进给流程图