

高职高专机电类规划教材

模具数控加工及编程

唐健 编



机械工业出版社
China Machine Press

高职高专机电类规划教材

模具数控加工及编程

唐 健 编
龚汉生 审



机械工业出版社

该书全面系统地介绍了数控机床的工作原理、数控编程方法及应用等。主要内容包括计算机数控系统 (CNC) 原理、现代数控技术的新发展及性能介绍; 数控车床、数控铣床、加工中心、数控线切割机床的数控编程方法、实例及数控机床的操作系统; 自动编程的原理及数控语言 APT 的编程和实例。

该书是高等职业技术学院模具设计与制造专业教材, 也可作为数控技术应用、机电技术应用、机械制造以及与之相近专业的教材, 还可供从事机械加工、数控技术应用、数控编程及加工工艺等方面工作的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控加工及编程/唐健编. —北京: 机械工业出版社, 2001. 6
高职高专机电类规划教材
ISBN 7-111-08540-X

I. 模… II. 唐… III. ①模具-数控机床-加工-高等学校: 技术学校-教材②模具-加工-程序设计-高等学校: 技术学校-教材
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 26663 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 杨 燕 王霄飞 版式设计: 张世琴 责任校对: 肖新民
封面设计: 姚 毅 责任印制: 郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·15.5 印张·373 千字
0 001—4 000 册
定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

近年来,随着微电子、计算机、自动化元件、检测等技术的迅速发展,现代数控系统已普遍采用微处理器及大规模或超大规模集成电路,硬件式数控系统的控制功能已由一系列控制程序所取代,进入了计算机数控(CNC)的新阶段。数控机床的功能日趋完善,性能指标更加优越、先进。许多企业都逐步在生产中应用了数控加工技术。为了适应人们对数控加工新技术知识的迫切需要,作者在总结近年工作实践的基础上编著了此书。

编著此书的指导思想是满足数控加工新技术的教学要求,使读者不仅对数控机床的工作原理和数控编程的方法有比较全面深入的了解,而且能掌握数控机床的使用,并进行开发实践,从而解决实际生产中的应用问题。因此在内容安排上首先较全面地讲述了数控机床的基本原理和程序编制的基本知识,为读者掌握数控加工技术奠定较好的基础;在此基础上,对常用的数控车床、数控铣床、加工中心、线切割机床等典型机床的程序编制和操作方法作了深入细致的讲述。

该书具有实用性和系统性较强的特点。学生在学习本课程前,应具备金属切削机床、切削加工工艺、微机原理及应用等课程的知识。

全书由重庆工业职业技术学院唐健编,重庆大学龚汉生教授主审。重庆市工业学校蒋维同、重庆市机械职工大学敖朝华等同志也对本书提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 数控加工概述	1
第一节 数控机床的基本概念	1
第二节 数控机床的分类	3
第三节 插补原理及 CNC 系统原理	7
第四节 数控加工的发展	10
第二章 程序设计的基本知识	12
第一节 数控技术中的常用术语	12
第二节 编制程序时的工艺指令	24
第三节 编制程序时的工艺处理	28
第四节 现代数控机床的性能	30
第三章 数控车床的编程	36
第一节 数控车床概述	36
第二节 数控车床编程基础	37
第三节 基本编程方法	42
第四节 数控车床编程要点及举例	68
第五节 数控车床操作面板简介	74
第四章 数控铣床的编程	77
第一节 数控铣床概述	77
第二节 数控铣床编程基础	78
第三节 基本编程方法	82
第四节 数控铣床编程要点及举例	102
第五节 数控铣床操作	106
第五章 加工中心的编程	114
第一节 加工中心	114
第二节 加工中心编程基础	117
第三节 基本编程方法	119
第四节 加工中心编程要点及举例	126
第五节 数控机床操作要点	131
第六章 数控线切割机床的编程	134
第一节 数控线切割机床	134
第二节 数控线切割机床编程方法	137
第三节 线切割编程要点及举例	141
第四节 数控线切割机床的操作	143

第七章 自动编程.....	149
第一节 自动编程概述.....	149
第二节 APT 语言的基本要素	154
第三节 几何定义语句.....	160
第四节 刀具运动语句.....	185
第五节 后置处理语句及其它语句.....	196
第六节 APT 语言功能语句介绍	199
第七节 编制零件源程序的方法及步骤.....	206
第八节 零件源程序实例.....	209
第八章 微机 CAM 系统简介	221
第一节 CAM 系统概述	221
第二节 EZ-MILL 使用简介	222
各章练习与思考题.....	223
参考文献.....	239

第一章 数控加工概述

第一节 数控机床的基本概念

一、数字控制的概念

数字控制简称数控或 NC (Numerical Control), 是指用输入数控装置的数字信息来控制机械执行预定的动作。其数字信息包括字母、数字和符号。计算机数控简称 CNC (Computer Numerical Control), 是采用具有存储程序的计算机, 按照存储在计算机内读写存储器中的控制程序去执行数控装置的一部分或全部数控功能, 在计算机外的唯一装置是接口。目前应用较普遍的是由 8 位和 16 位微处理器构成的微机 CNC 系统, 即 MNC (Microcomputer Numerical Control) 系统。

数控机床即用数字信息进行控制的机床。它是用输入专用或通用计算机中的数字信息来控制机床的运动, 自动将零件加工出来。

数控机床加工零件的过程如图 1-1 所示。

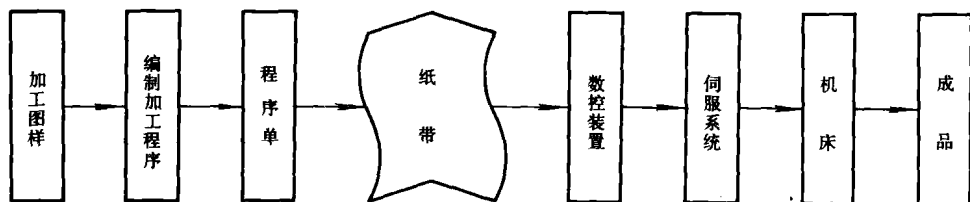


图 1-1 数控加工过程

- 1) 根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据。
- 2) 用规定的代码和程序格式编写零件加工程序单, 或应用 APT (Automatically Programmed Tool) 自动编程系统进行零件加工程序设计。
- 3) 根据程序单上的代码, 用纸带穿孔机或 APT 系统制作记载加工信息的穿孔纸带, 通过光电阅读机将穿孔纸带上记载的加工信息 (即代码) 输入数控装置; 或用 MDI (手动数据输入) 方式, 在操作面板的键盘上, 直接将加工程序输入数控装置; 或采用微机存贮加工程序, 通过串行接口 RS-232 将加工程序传送给数控装置或计算机直接数控 DNC (Direct Numerical Control) 通信接口, 可以边传送边加工。
- 4) 数控装置在事先存入的控制程序支持下, 将代码进行处理和计算后, 向机床的伺服系统发出相应的脉冲信号, 通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动, 以进行零件的加工。

二、数控机床的组成

数控机床主要由程序输入设备、数控装置、伺服系统和机床本体等四部分组成, 如图 1-2 所示。

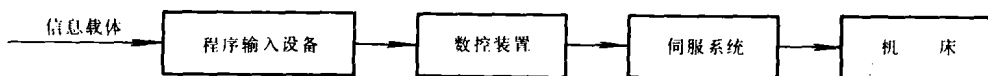


图 1-2 数控机床的组成

1. 程序输入设备

信息载体上记载的加工信息（如零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等）要经程序输入设备输送给数控装置。常用的程序输入设备有光电阅读机、磁盘驱动器和磁带机等。

对于用微机控制的数控机床，也可用操作面板上的键盘直接输入加工程序。

信息载体又称控制介质，它是指操作者与数控机床发生联系的中间媒介物。它用于记载零件加工过程中所需要的各种加工信息，以控制机床的运动，实现零件的加工。常用的信息载体有穿孔纸带、磁盘和磁带等。

2. 数控装置

数控装置一般是指控制机床运动的微型计算机，它是数控机床的“大脑”。其功能是接受由输入设备输入的加工信息，经处理与计算，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动。

数控装置一般有专用数控装置和通用数控装置两种类型。

(1) 专用数控装置 专用数控装置简称 NC 数控装置，它是指根据零件加工功能的要求，采用专用硬接线逻辑电路的方法构成的控制装置。要想增加或更改某种功能，就必须改变控制装置内部的逻辑电路。因此这种数控系统灵活性差，使用很不方便，现已逐渐被淘汰。

(2) 通用数控装置 通用数控装置简称 CNC 数控装置，它是由一台小型或微型计算机作为控制硬件，再配以适当的接口电路构成的数控装置。将预先设计调试好的控制软件存入计算机内，以实现数控机床的控制逻辑和各种控制功能，只要改变控制软件就可改变控制功能。因此这种数控装置的灵活性和通用性很强，现代数控系统大都采用这种通用数控装置。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分，它是由速度控制装置、位置控制装置、驱动伺服电动机和相应的机械传动装置组成。其功能是接受数控装置输出的指令脉冲信号，使机床上的移动部件作相应的移动，并对定位的精度和速度加以控制。每一个指令脉冲信号使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量，常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲等。因此，伺服系统的精度、快速性及动态响应是影响加工精度、表面质量和生产率的主要因素之一。

目前在数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有功率步进电动机，直流伺服电动机和交流伺服电动机，后两种都带有感应同步器、光电编码器等位置测量元件。所以，伺服机构的性能决定了数控机床的精度和快速性。

4. 机床本体

数控机床加工时，零件的粗、精加工通常是在机床上一次安装，自动完成整个加工过程，进给量的变换是靠伺服电动机本身变速来实现的。因此数控机床的机床本体要具有刚性好、热变形小、精度高和机械传动系统比较简单等特点。

三、数控机床的加工特点

1. 加工精度高、加工质量稳定

数控机床的机械传动系统和结构都有较高的精度、刚度和热稳定性；数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响，零件加工的精度和质量由机床保证，完全消除了操作者的人为误差。所以数控机床的加工精度高，加工误差一般能控制在 0.005~0.01mm 之内，而且同一批零件加工尺寸的一致性，加工质量稳定。

2. 加工生产效率高

数控机床结构刚性好、功率大、能自动进行切削加工，所以能选择较大的、合理的切削用量，并自动连续完成整个切削加工过程，能大大缩短机动时间。在数控机床上加工零件，只需使用通用夹具，又可免去划线等工作，所以能大大缩短加工准备时间。又因数控机床定位精度高，可省去加工过程中对零件的中间检测，减少了停机检测时间，所以数控机床的生产效率高。

3. 减轻劳动强度，改善劳动条件

数控机床的加工，除了装卸零件，操作键盘、观察机床运行外，其它的机床动作都是按加工程序要求自动连续地进行切削加工，操作者不需进行繁重的重复手工操作。所以能减轻工人劳动强度，改善劳动条件。

4. 对零件加工的适应性强、灵活性好

因数控机床能实现几个坐标联动，加工程序可按对加工零件的要求而变换，所以它的适应性和灵活性很强，可以加工普通机床无法加工的形状复杂的零件。

5. 有利于生产管理

数控机床加工，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化刀、夹、量具和半成品的管理工作。加工程序是用数字信息的标准代码输入，有利于与计算机联接，构成由计算机来控制和管理的生产系统。

第二节 数控机床的分类

目前数控机床的品种数量很多，功能各异，通常可按下列三种方法进行分类。

一、按加工路线分类

1. 点位控制系统

点位控制系统又称点到点控制系统，它是指刀具从某一位置向另一目标点位置移动，不管其移动轨迹如何而最终能准确到达目标点位置的控制方式。点位控制的数控机床在刀具的移动过程中，并不进行加工，而是作快速空行程的定位运动。图 1-3 为点位控制系统加工示意图。

属于点位控制的数控机床有数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

2. 直线控制系统

直线控制系统是指控制刀具或机床工作台以适当速度，沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向进行直线加工的控制系统。但该系统不能沿任意斜率的直线进行直线加工。图 1-4 为直线控制系统加工示意图。

直线控制系统一般具有主轴转速控制、进给速度控制和沿平行于坐标轴方向直线循环加工的功

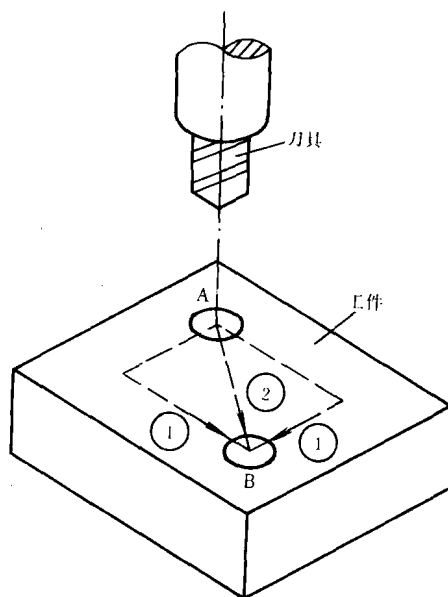


图 1-3 点位控制系统加工

- ①—沿直角坐标轴方向分两步到达目标点
- ②—沿直角坐标的斜线方向直接到达目标点

能。一般的简易数控系统均属于直线控制系统。

将点位控制和直线控制结合起来的控制系统称为点位直线控制系统，该系统同时具有点位控制和直线控制的功能。此外，有些系统还具有刀具选择、刀具长度和刀具半径补偿功能。采用点位直线控制系统的数控机床有数控镗铣床，数控加工中心等。

3. 连续控制系统

连续控制系统又称轮廓控制系统，该系统能对刀具相对于零件的运动轨迹进行连续控制，以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线或其它函数关系的曲线。这种系统一般都是两坐标或两坐标以上的多坐标联动控制系统，其功能齐全，可加工任意形状的曲线或型腔。图 1-5 为连续控制系统加工示意图。

采用连续控制系统的数控机床有数控铣床、功能完善的数控车床、数控凸轮磨床和数控线切割机床等。

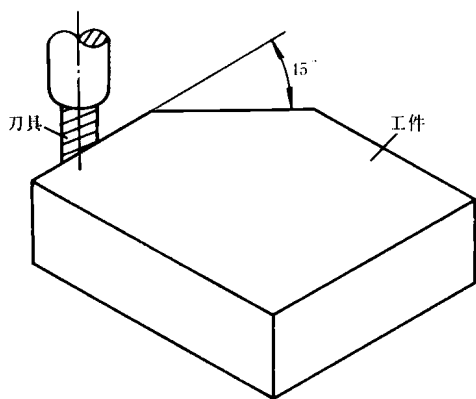


图 1-4 直线控制系统加工

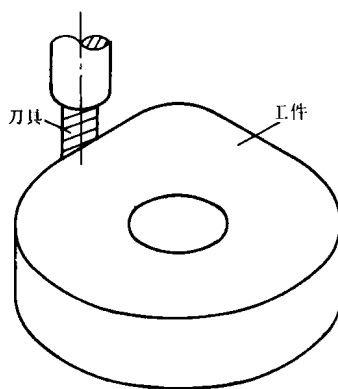


图 1-5 连续控制系统加工

二、按伺服系统的类型分类

1. 开环伺服系统

图 1-6 为采用步进电动机驱动的开环伺服系统原理图。它一般是由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、齿轮箱和丝杠螺母传动副等组成。每当数控装置发出一个指令脉冲信号，就使步进电动机的转子旋转一个固定角度，该角称为步距角，而机床工作台将移动一定的距离，即脉冲当量。

从原理图上可知，工作台位移量与进给指令脉冲的数量成正比，即数控装置发出的指令脉冲频率越高，则工作台的位移速度越快。这种只含有信号放大和变换，不带有位移检测反馈的伺服系统称为开环伺服系统或简称开环系统。

开环伺服系统因既没有工作台位移检测装置，又没有位置反馈和校正控制系统，所以工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、齿轮箱中齿轮副和丝杠螺母副的精度与传动间隙等，由此可见这种系统很难保证较高的位置控制精度。同时由于受步进电动机性能的影响，其速度也受到一定的限制。但这种系统的结构简单、调试方便、工作可靠、稳定性好、价格低廉，因此被广泛用于精度要求不太高的经济型数控机床上。

2. 闭环伺服系统

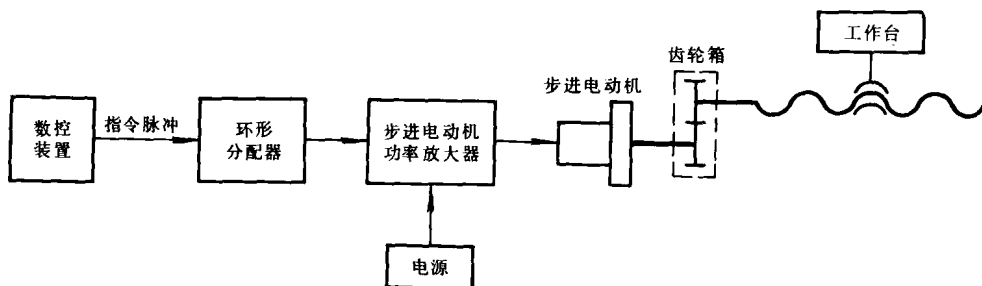


图 1-6 开环伺服系统

图 1-7 为采用宽调速直流电动机驱动的闭环伺服系统原理图。它主要是由比较环节（位置比较和放大元件、速度比较和放大元件）、驱动元件、机械传动装置和测量装置等组成。其中驱动元件可采用宽调速直流电动机或宽调速交流电动机，测量元件可采用感应同步器或光栅等直线测量元件。

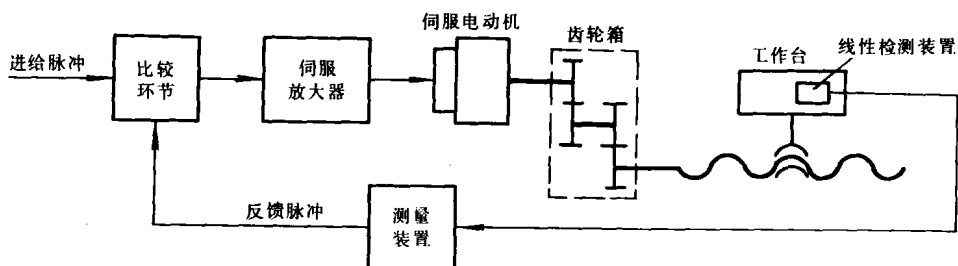


图 1-7 闭环伺服系统

闭环伺服系统的工作原理是当数控装置发出位移指令脉冲，经电动机和机械传动装置使机床工作台移动时，安装在工作台上的位置检测器把机械位移变成电学量，反馈到输入端与输入信号相比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动。如果输入信号不断地产生，则工作台就不断地跟随输入信号运动。只有在差值为零时，工作台才静止，即工作台的实际位移量与指令位移量相等时，电动机停止转动，工作台停止移动。由于闭环伺服系统有位置反馈系统，可以补偿机械传动装置中的各种误差、间隙和干扰的影响，因而可以达到很高的定位精度，同时还能达到较高的速度。因此，在数控机床上得到广泛应用，特别是在精度要求高的大型和精密机床上应用十分广泛。

从理论上讲，闭环伺服系统的精度主要取决于测量元件的精度和数/模转换器的精度。但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度及摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响，给调试工作造成很大困难。若各种参数匹配不当，将会引起系统振荡，造成系统不稳定，影响定位精度，因此闭环伺服系统要比开环伺服系统的安装调试更加困难复杂，价格较贵，维护费用也较高。

3. 半闭环伺服系统

若在闭环伺服系统中，用安装在进给丝杠轴端或电动机轴端的角位移测量元件（如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等）来代替安装在机床工作台上的直线测量元件，用测量丝杠或电动机轴旋转角位移来代替测量工作台直线位移的伺服系统称为半闭环伺服系统，如图 1-8 所示。因这种系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中，不能补偿该部分装置的传动误差，所以半闭环伺服系统的加工精度低于闭环伺服系统的加工精度。但半闭环伺服系统将惯性大的工作台安排在闭环之外，使这种系统调试较容易，稳定性也较好。

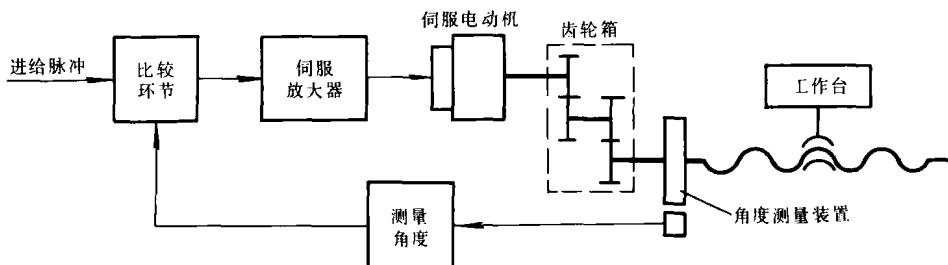


图 1-8 半闭环伺服系统

另外，角位移测量元件比直线位移的测量元件简单，价格也较低。如选用传动精度较高的滚珠丝杠和精密消除齿轮副，再配备存储有螺距误差补偿和反向间隙补偿功能的数控装置，那么半闭环伺服系统仍能达到较高的加工精度，这在生产中应用得相当普遍。

三、按控制坐标数分类

数控机床的移动部件较多，现多按直角坐标系对机床移动部件的运动进行分类和数字控制。数控机床的坐标数目或轴数是指数控装置控制的机床移动部件的联动坐标数目。

1. 两坐标数控机床

两坐标数控机床是指同时控制两个坐标联动的数控机床。例如数控车床中的数控装置可同时控制 X 和 Z 方向的运动，实现两坐标联动，可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。数控铣床本身虽有 X、Y、Z 三个方向的运动，但数控装置只能同时控制两个坐标，实现两坐标联动，但在加工中能够实现坐标平面的变换，可用于加工图 1-9 所示形状的零件沟槽。

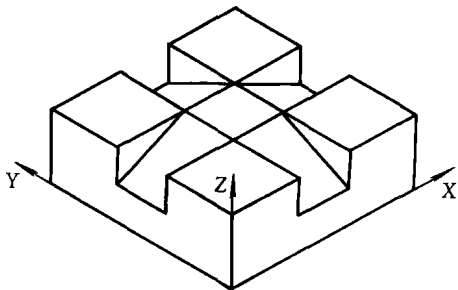


图 1-9 变换加工坐标平面的两坐标联动零件沟槽加工

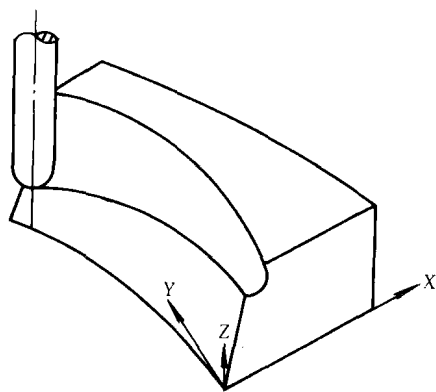


图 1-10 三坐标数控铣床曲面加工

2. 三坐标数控机床

三坐标数控机床是指能同时控制三个坐标,实现三坐标联动的数控机床。如数控铣床能实现三坐标联动,则称为三坐标数控铣床,可用于加工图 1-10 所示的曲面零件。

3. 两个半坐标数控机床

这种数控机床本身有三个坐标,能作三个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标,而第三个坐标仅能作等距的周期移动。例如用两个半坐标数控机床加工图 1-11 所示的空间曲面形状的零件时,在 ZX 坐标平面内控制 X、Z 两坐标联动,加工竖截面内的轮廓表面,控制 Y 坐标作等距周期移动,即能将零件空间曲面加工出来。

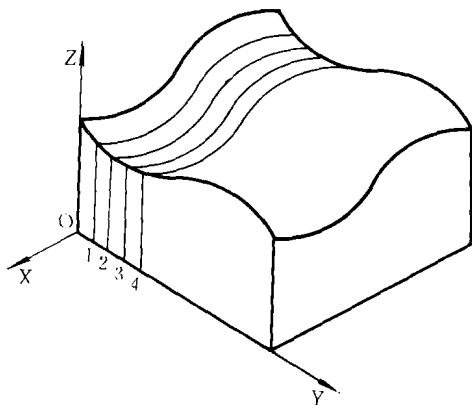


图 1-11 两个半坐标数控机床加工空间曲面

4. 多坐标数控机床

四坐标以上的数控机床称为多坐标数控机床。多坐标数控机床结构复杂、机床精度高、加工程序设计复杂,主要用于加工形状复杂的零件。

第三节 插补原理及 CNC 系统原理

一、插补原理

机床数控系统轮廓控制的主要问题就是怎样控制刀具或工件的运动轨迹。无论是硬件 NC 系统,还是 CNC 系统或 MNC 系统,都必须有完成插补功能的部分,只是采取的方式不同。在 CNC 系统或 MNC 系统中,以软件完成插补或软、硬件结合实现插补,而在 NC 系统中有一个专门完成脉冲分配计算(即插补计算)的运算装置(称为插补器)。无论是软件数控还是硬件数控,其插补运算原理基本相同,其作用都是根据给定的信息进行数字计算,在计算过程中不断向各坐标发出相互协调的进给脉冲,使被控机械部件按指定的路线移动。

在数控系统中常用的插补方法有逐点比较法、数字积分法、时间分割法等,下面只介绍逐点比较法。

1. 逐点比较法的插补过程

逐点比较法的插补原理可概括为“逐点比较,步步逼近”八个字。如图 1-12 所示,若以坐标原点为始点,加工直线 OA,则需沿 X 方向走 4 步,沿 Y 方向走 5 步,最后到终点。逐点比较法的插补过程分四个节拍,见图 1-13。

(1) 偏差判别 根据偏差值判断刀具当前位置与理想线段的相对位置,以确定下一步走向。

(2) 坐标进给 根据判别结果,使刀具向 X 或 Y 方向移动一步。

(3) 偏差计算 当刀具移到新位置时,计算与理想线段间的偏差,以确定下一步走向。

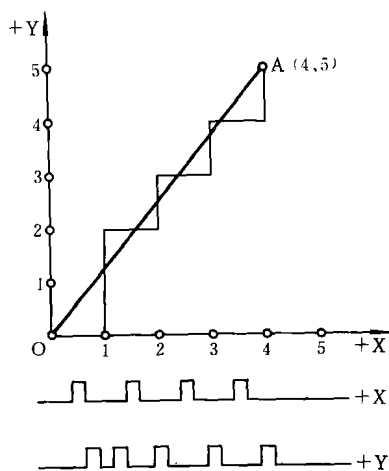


图 1-12 直线插补的脉冲分配

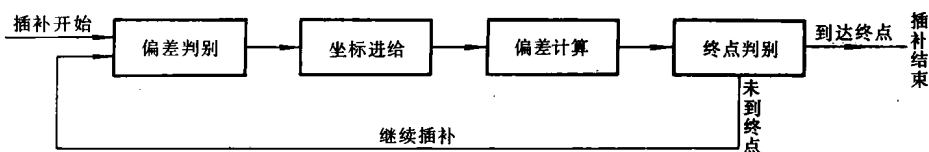


图 1-13 逐点比较法的插补过程

(4) 终点判断 判断刀具是否到达终点，未到终点，继续插补，若已到终点，则插补结束。

2. 逐点比较法直线插补

偏差计算是逐点比较法的关键。下面以第一象限直线为例说明直线插补过程。

如图 1-14 所示，设直线 OA 的始点为坐标原点，终点为 $A(x_e, y_e)$ ，当前加工点为 $P(x_i, y_i)$ ，若 P 点在直线 OA 上或其上方，则下式成立

$$\frac{y_i}{x_i} \geq \frac{y_e}{x_e}$$

即

$$x_e y_i - x_i y_e \geq 0$$

若 P 点在直线 OA 的下方，则下式成立

$$\frac{y_i}{x_i} < \frac{y_e}{x_e}$$

即

$$x_e y_i - x_i y_e < 0$$

取判别式 F 函数为

$$F = x_e y_i - x_i y_e$$

由 F 的值（称为偏差）就可以判别出 P 点与直线 OA 的相对位置。即

当 $F \geq 0$ 时，P 点正好在直线上或其上方；

当 $F < 0$ 时，P 点在直线的下方。

由图 1-14 可知，当 P 点在直线上或其上方 ($F \geq 0$) 时，应向 +X 方向发一个脉冲，使刀具向 +X 方向前进一步，以逼近直线 OA；当 P 点在直线下方 ($F < 0$) 时，应向 +Y 方向发一个脉冲，使刀具向 +Y 方向前进一步，逼近直线 OA。这样从坐标原点开始，走一步，算一算，偏差判别 F，逐点逼近直线 OA，步步前进。当两个方向所走的步数和终点 A 的坐标值相等时，发出终点到达信号，停止插补。

3. 逐点比较法圆弧插补

加工圆弧，可把当前加工点到圆心的距离与被加工圆弧的半径相比较来反映加工偏差。下面以第一象限逆时针圆弧为例说明圆弧插补过程。

如图 1-15 所示，设逆时针圆弧 $\widehat{AB}$ 以坐标原点为圆心，半径为 R，始点为 A (x_s, y_s) ，终点为 B (x_e, y_e) ，当前加工点为 P (x_i, y_i) 。若 P 点在圆弧 $\widehat{AB}$ 上或其外侧，则下式成立

$$x_i^2 + y_i^2 \geq R^2$$

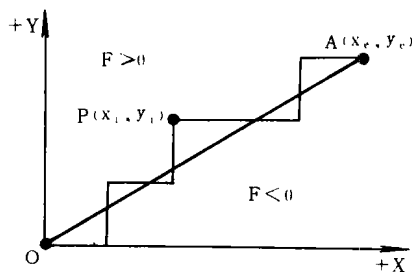


图 1-14 直线插补过程

即

$$x_i^2 + y_i^2 - R^2 \geq 0$$

取偏差判别式 F 函数为

$$F = x_i^2 + y_i^2 - R^2$$

利用偏差判别式, 就可获得图 1-15 所示的近似圆弧。

当 P 点在圆弧上或圆弧外侧 ($F \geq 0$) 时, 应向 $-X$ 方向发一个脉冲, 使刀具向圆弧内进给一步, 当 P 点在圆弧内侧 ($F < 0$) 时, 应向 $+Y$ 方向发一个脉冲, 使刀具向圆外进给一步。这样每走一步就进行一次计算和判断, 直至终点为止。

二、CNC 系统原理

在 20 世纪 70 年代, 随着大规模集成电路的出现, 小型计算机与微型计算机相继问世, 由于其优良的性能、低廉的价格, 因此自然而然地取代了硬件数控系统, 形成了新一代的数控系统。

1. CNC 系统基本工作原理

早期的 CNC 系统及现代的 MNC 系统都是采用通用计算机元件与结构及相应的控制软件来取代硬件数控系统专用电子线路, 并配备适当的输入/输出部件构成的。在必要的硬件电路基础上, 用控制软件程序来实现加工程序存储、译码、插补运算、辅助动作逻辑连锁以及其它各种复杂功能, 故可统称为 CNC 系统。

图 1-16 为 CNC 系统构成简图。完整的 CNC 系统分为 NC 部分与 PC 部分, NC 部分主要控制机床的运动, PC 部分称为可编程控制器, 它的主要工作是从操作面板接收操作指令、控制信号状态显示及各种辅助动作连锁等。

NC 部分称为数控部分, 是 CNC 系统的核心。NC 部分又可划分为计算机部分、位置控制

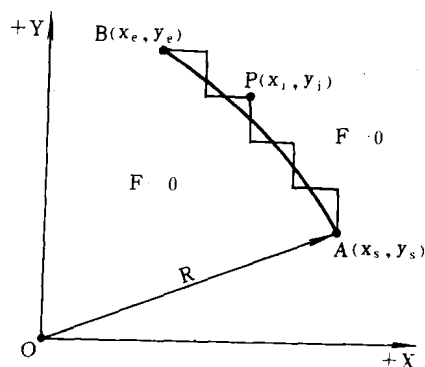


图 1-15 圆弧插补过程

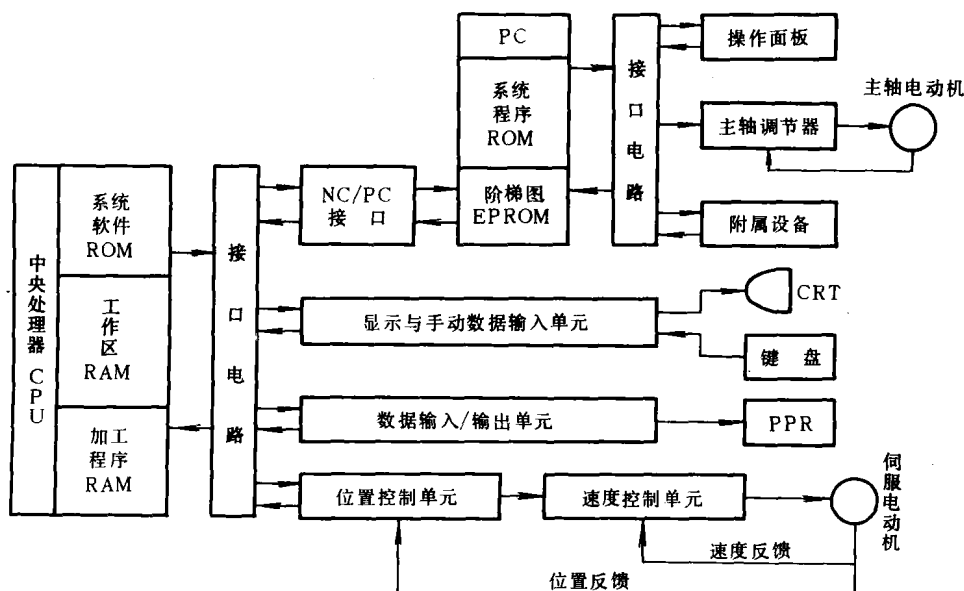


图 1-16 CNC 系统的构成

部分、数据输入/输出接口及外部设备。

与通用计算机一样,NC 系统计算机部分由中央处理器(CPU)及存储数据与程序的存储器等组成。存储器分为系统控制软件程序存储器(ROM)、加工程序存储器及工作区存储器(RAM)。ROM 中的系统控制软件程序是由数控系统生产厂家写入的,用来完成 CNC 系统的各项功能。数控机床操作者将各自的加工程序存贮在 RAM 中,供数控系统用来控制机床加工零件。工作区存储器是系统程序执行过程中的活动场所,用于堆栈、参数保存、中间运算结果保存等。

CPU 执行系统程序,读取加工程序,经过加工程序段译码,预处理计算,然后根据加工程序段指令,进行实时插补与机床位置伺服控制,同时将辅助动作指令通过可编程序控制器 PC 送往机床,并接受通过可编程序控制器返回的机床各部分信息,以确定下一步操作。

位置控制部分又分为位置控制单元和速度控制单元。将经插补运算得到的每个坐标轴在单位时间间隔内的位移量送往位置控制单元,由它生成伺服电动机速度指令送往速度控制单元。速度控制单元接受速度反馈信号,来控制伺服电动机以恒定速度运转,同时位置控制单元接收实际位置反馈,并修正速度指令,实现机床运动的准确控制。

数据输入/输出接口与外部设备用来实现数控系统与操作者之间的信息交换。操作者通过磁盘驱动器、磁带机、光电阅读机或手动数据输入装置(键盘),将加工程序等输入数控系统,并通过显示器 CRT 显示已输入的加工程序以及其它信息,或用磁盘、磁带、穿孔纸带复制加工程序。

2. CNC 系统的特点

随着计算机技术的飞速发展,许多高新技术全面应用于计算机数控系统中,使 CNC 系统具备了对用户来说颇具吸引力的特点。

(1) 硬件结构的标准化、通用化 由于采用了通用计算机芯片、结构及外部设备,促进了 CNC 系统硬件的标准化与通用化。如国外一些专业生产厂为自己的 CNC 系统配备标准的总线结构,各功能部件采用模块化结构,并形成系列化,不同机床的数控系统采用相同的硬件结构。又如国内广泛使用的简易数控机床的数控系统,甚至是直接把标准单板计算机用于数控系统,因此只需要变换软件就可以用于车床、铣床或其它机床。

由于硬件结构的标准化和通用化,所以大大增强了数控系统的灵活性,并为数控系统的改型、功能扩展提供了极其便利的条件。

(2) 软件系统多功能化 CNC 系统的功能是靠系统软件实现的,扩充软件就可以扩展 CNC 系统的功能。因此通过编制软件可以为 CNC 系统扩充许多硬件数控系统不可能实现的功能,如在线自动编程,加工过程的图形模拟、故障诊断、机器人控制及数控机床并入计算机网络,以实现计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。

此外由于采用大容量存储器存贮加工程序,不需光电阅读机直接参与加工,所以大大减少了故障率,提高了系统的性能和可靠性。

第四节 数控加工的发展

一、数控机床的发展

自 1952 年美国麻省理工学院研制成功第一台数控铣床以来,随着电子技术、计算机技术、

自动控制和精密测量技术的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代。

数控机床以微电子技术发展为推动力,先后经历了第一代电子管 NC、第二代晶体管 NC、第三代小规模集成电路 NC、第四代小型计算机 CNC 和第五代微型机 MNC 数控系统等五个发展阶段。前三代系统是 20 世纪 70 年代以前的早期数控系统,它们都是采用专用电子电路实现的硬接线数控系统,因此称之为硬件式数控系统,也称为普通数控系统或 NC 数控系统。第四代和第五代系统是 20 世纪 70 年代中期开始发展起来的软件式数控系统,称之为现代数控系统,也称为计算机数控或 CNC 系统。软件式数控是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的数控系统,它具有很强的程序存贮能力和控制功能,这些控制功能是由一系列控制程序(驻留系统内)来实现的。软件或数控系统通用性很强,几乎只需要改变软件,就可以适应不同类型机床的控制要求,具有很大的柔性。目前微型机数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

我国早在 1958 年就开始研制数控机床,但没有取得实质性的成果。20 世纪 70 年代初期,我国曾掀起研制数控机床的热潮,但当时的控制系统主要是采用分立电子元器件,性能不稳定,可靠性差,不能在生产中稳定可靠地使用。1980 年开始,北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC5、7、3、6 数控系统,上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统,辽宁精密仪器厂引进美国 Bendix 公司的 Dynaph LTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所又开发出 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统,航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。目前我国已能批量生产和供应各类数控系统,并掌握了 3~5 轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术,基本上能满足全国各机床厂的生产需要,已使我国数控机床生产达到了 20 世纪 80 年代中期的国际先进水平。

二、自动编程系统的发展

自动编程系统发展也非常迅速。在 20 世纪 50 年代后期,美国首先研制成功了 APT (Automatically Programmed Tools) 系统。由于它具有语言直观易懂,制带快捷、加工精度高等优点,很快就发展成为美国功能最全、使用最广的自动编程系统。到 20 世纪 60 年代发展成 APT II, 20 世纪 70 年代发展成 APT IV。现在它已成为世界上广泛采用的 NC 机床标准。除美国外,西欧和日本在 20 世纪 60 年代也相继研制出了各种 APT 的变型。如英国的 NELAPT、德国的 EXAPT、法国的 IFAPT、日本和德国联合研制的 MINAPT 等。

我国的自动编程系统发展较晚,但进步很快,目前主要有用于航空零件加工的 SKC 系统以及 ZCK、ZBC 和用于线切割加工的 SKG 等系统。

三、自动化生产系统的发展

近年来,随着微电子和计算机技术的飞速发展及数控机床的广泛应用,使加工技术跨入一个新的里程,并建立起一种全新的生产模式,在日、美、德、意等国出现了以数控机床为基础的自动化生产系统。如计算机直接数控系统 DNC (Direct Numerical Control)、柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System) 和计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。我国已开始在这方面进行了初步的探索,并取得了可喜的成果。