



面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列教材

数控加工与编程

詹华西 主编
宋文学 主审

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□中国高等职业技术教育研究会推荐高职高专系列教材

高职高专系列教材

数控加工与编程

主 编 詹华西

副主编 马保振 黄堂芳

主 审 宋文学

西安电子科技大学出版社

2004



内 容 简 介

本书是根据中国高职研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。

全书共分六章。内容包括数控加工实用基础, 数控车床的操作与编程, 数控铣床的操作与编程, 加工中心的操作与编程, 数控线切割机床的操作与编程, 以及微机自动编程与应用。

本书可用作高职高专学校数控、模具、机电等专业数控加工课程的教材, 也可作为数控加工技术职业鉴定的培训教材, 同时可供一般工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工与编程 / 詹华西主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.1

(高职高专系列教材)

ISBN 7-5606-1317-9

I. 数… II. 詹… III. 数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 098798 号

责任编辑 李纪澄 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社 (西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安万花印务有限责任公司

版 次 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18

字 数 423 千字

印 数 1~4000 册

定 价 19.00 元

ISBN 7-5606-1317-9/TP · 0697

XDUP 1588001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主 任：刘跃南 （深圳职业技术学院教务长，教授）

副主任：方 新 （北京联合大学机电学院副院长，副教授）

李荣才 （西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

成 员：（按姓氏笔画排列）

刘守义 （深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

李七一 （南京工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

李望云 （武汉职业技术学院机械系主任，副教授）

宋文学 （西安航空技术高等专科学校机械系副主任，副教授）

邱士安 （成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任，副教授）

胡德淦 （郑州工业高等专科学校机械工程系副教授）

高鸿庭 （上海电机技术高等专科学校机械系副教授）

郭再泉 （无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任，副教授）

蒋敦斌 （天津职业大学机电工程系主任，教授）

董建国 （湖南工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

翟 轰 （陕西工业职业技术学院院长，教授）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书是根据中国高职研究会与西安电子科技大学出版社合作成立的“高职高专机电类专业教材编审委员会”审定的教材编写大纲组织编写的。它既可作为高职高专教材，也可作为数控加工技术职业鉴定的培训教材，同时可供一般工程技术人员参考。

本书从了解数控加工实用基础知识入手，分别就数控车床、数控铣床、加工中心和数控线切割机床等的操作与编程等具体实用性技术进行了介绍，最后还介绍了微机自动编程软件在数控加工方面的具体应用。书中所有编程实例都经作者上机调试通过。各章均附有思考与练习题，供教学参考。

参加本书编写的有：黄堂芳（第1章）、王青云（第2章）、马保振（第3章）、詹华西（第4章，第5章，第6章8、9节）、叶正环（第6章1~7节）。全书由詹华西统稿主编，马保振、黄堂芳担任副主编。

本书由宋文学主审。

限于编者的水平和经验，书中难免存在一些错误，恳请读者批评指正。

编 者
2003年8月



第 1 章 数控加工实用基础 1	第 2 章 数控车床的操作与编程 42
1.1 数控加工概述..... 1	2.1 数控车床及其组成..... 42
1.1.1 数控加工原理和特点..... 1	2.1.1 数控车床的类型及基本组成..... 42
1.1.2 数控加工常用术语..... 2	2.1.2 数控车床的传动及速度控制..... 44
1.1.3 数控加工技术的发展..... 4	2.1.3 数控车床的控制面板及其功能..... 46
1.2 数控系统控制原理..... 6	2.1.4 控制软件界面和菜单结构..... 47
1.2.1 CNC 硬件组成与控制原理..... 6	2.2 数据车床的位置调整与坐标系的设定..... 48
1.2.2 CNC 系统的软件结构..... 8	2.2.1 手动位置调整及 MDI 操作..... 48
1.2.3 插补原理..... 9	2.2.2 数控车床坐标系统的设定..... 51
1.2.4 典型数控系统..... 11	2.2.3 刀具装夹与对刀调整..... 54
1.3 数控机床及其坐标系..... 12	2.3 基本编程指令与程序调试..... 57
1.3.1 数控机床及其分类..... 12	2.3.1 程序中用到的各功能字..... 57
1.3.2 数控机床的进给伺服系统..... 14	2.3.2 车床的编程方式..... 58
1.3.3 数控机床的主轴驱动..... 15	2.3.3 基本编程指令..... 59
1.3.4 数控机床的坐标轴与运动方向..... 17	2.3.4 编程实例..... 61
1.3.5 机床原点、参考点和工件原点..... 19	2.3.5 程序输入及上机调试..... 62
1.3.6 绝对坐标编程和相对坐标编程..... 20	2.4 车削循环程序编写与调试..... 63
1.4 数控编程基础..... 21	2.4.1 简单车削循环..... 63
1.4.1 数控加工程序的格式..... 21	2.4.2 粗车复合循环程序..... 66
1.4.2 程序编制的过程及方法..... 23	2.4.3 上机编程实例..... 68
1.4.3 程序传送的载体..... 24	2.5 螺纹车削程序的编写与调试..... 69
1.5 数控加工的工艺处理..... 25	2.5.1 基本螺纹车削指令 G32..... 69
1.5.1 加工零件及加工方法的选定..... 25	2.5.2 螺纹车削的简单固定循环 G82..... 72
1.5.2 加工工序的划分..... 26	2.5.3 车螺纹复合循环 G76..... 72
1.5.3 工件的安装与夹具的选择..... 27	2.5.4 程序调试说明..... 73
1.5.4 对刀点与换刀点的确定..... 28	2.6 刀具补偿与换刀程序的处理..... 74
1.5.5 加工路线的确定..... 28	2.6.1 刀具的几何补偿和磨损补偿..... 74
1.5.6 刀具与切削用量的选择..... 32	2.6.2 刀尖半径补偿..... 75
1.6 数控加工的工艺指令和工艺文件..... 36	2.6.3 刀具参数的设置输入..... 78
1.6.1 程序中常用的工艺指令..... 36	2.6.4 换刀程序的编写与上机调试..... 79
1.6.2 数控加工的工艺文件..... 37	2.7 综合车削技术..... 81
思考与练习题..... 40	2.7.1 子程序调用..... 81

2.7.2 程序的单段、跳段和空运行	83	4.2.2 手动操作面板	146
2.7.3 切槽和钻孔的处理	83	4.2.3 基本操作方法	148
2.7.4 综合加工应用实例	85	4.3 加工中心的工艺准备	149
思考与练习题	90	4.3.1 加工中心的工艺特点	149
第3章 数控铣床的操作与编程	93	4.3.2 刀具及刀库数据设置	151
3.1 数控铣床及其组成	93	4.3.3 机床及工件的坐标系统	153
3.1.1 数控铣床的类型及基本组成	93	4.4 加工中心编程与上机调试	154
3.1.2 数控铣床的传动及速度控制	95	4.4.1 基本程序指令	154
3.1.3 操作面板及其基本控制功能	96	4.4.2 自动换刀程序的编写	158
3.1.4 控制软件界面与菜单结构	98	4.4.3 程序输入与上机调试	162
3.2 对刀调整及坐标系设定	99	4.5 钻、镗固定循环及程序调试	164
3.2.1 数控铣床的位置调整	99	4.5.1 钻、镗固定循环的实现	164
3.2.2 钻铣用刀具及对刀	101	4.5.2 点位加工编程实例与调试	167
3.2.3 机床坐标系统的设定	104	4.6 综合加工技术	168
3.3 基本功能指令与程序调试	107	4.6.1 用户宏指令编程	168
3.3.1 程序中用到的各功能字	107	4.6.2 加工中心的编程与调试要点	172
3.3.2 直线和圆弧插补指令	108	4.6.3 加工中心的操作要点	173
3.3.3 其他常用指令	111	4.6.4 综合加工应用实例	174
3.3.4 编程实例与上机调试	112	思考与练习题	176
3.4 刀具补偿及程序调试	118	第5章 数控线切割机床的操作与编程	179
3.4.1 刀具半径补偿	118	5.1 数控线切割机床及其组成	179
3.4.2 刀具长度补偿	121	5.1.1 数控线切割机床的加工原理	179
3.4.3 刀具数据库的设置	124	5.1.2 数控线切割机床的类型	180
3.4.4 刀补程序的编写与上机调试	124	5.1.3 数控线切割机床的走丝机构	181
3.5 综合铣削加工技术	127	5.1.4 机床操作面板及其控制功能	183
3.5.1 子程序及其调用	127	5.2 基本操作方法	186
3.5.2 缩放、镜像和旋转程序指令	128	5.2.1 工件的装夹	186
3.5.3 综合加工应用实例	131	5.2.2 电极丝的垂直度校正	188
3.5.4 加工进程控制	133	5.2.3 自动对刀操作	190
思考与练习题	134	5.3 程序编写与调试	191
第4章 加工中心的操作与编程	138	5.3.1 3B 格式程序编制	191
4.1 数控加工中心及其组成	138	5.3.2 3B 程序输入与调试	195
4.1.1 加工中心的类型及其组成	138	5.3.3 ISO 格式程序编制	197
4.1.2 加工中心的自动换刀装置	140	5.4 线切割加工工艺及应用	198
4.1.3 机床技术规格及其功能	144	5.4.1 线切割加工工艺路线	198
4.2 机床控制面板及其操作	145	5.4.2 线径补偿问题	201
4.2.1 数控操作面板	145	5.4.3 冲裁模的间隙控制	202
		5.4.4 加工过程控制	203

5.5 锥度切割的编程与实现.....	205	6.6.2 曲面粗加工.....	239
5.5.1 锥度加工的实现机理.....	205	6.6.3 曲面精加工.....	241
5.5.2 锥度加工数据的设定.....	206	6.6.4 线框模型刀路.....	243
5.5.3 锥度加工的编程.....	207	6.7 后置处理.....	244
思考与练习题.....	209	6.7.1 模拟加工.....	244
第6章 微机自动编程与应用.....	211	6.7.2 刀具路径的编辑.....	244
6.1 自动编程概述.....	211	6.7.3 工件材质设定.....	246
6.1.1 自动编程原理及类型.....	211	6.7.4 后置处理.....	247
6.1.2 Master CAM 软件系统概述.....	212	6.7.5 数据传送与 DNC 加工.....	253
6.2 零件基本几何图形的绘制.....	215	6.8 车削自动编程系统简介.....	254
6.2.1 基本线圆定义.....	215	6.8.1 车削零件图形的生成.....	254
6.2.2 图形修整与变换.....	219	6.8.2 车削刀路的定义.....	255
6.3 空间立体图形的绘制.....	222	6.8.3 车削程序的生成.....	259
6.3.1 构图平面与工作深度.....	222	6.9 线切割自动编程系统简介.....	259
6.3.2 3D 线架结构和曲面模型.....	223	6.9.1 Master CAM 的 WEDM 模块.....	259
6.4 CAM 基础.....	227	6.9.2 CAXA 的线切割编程.....	262
6.4.1 刀具平面、构图平面及其设定.....	227	思考与练习题.....	264
6.4.2 刀具原点、机械原点和备刀点.....	228	附录.....	268
6.4.3 共同的刀具参数设置.....	228	附录 A 职业技术资格考核.....	268
6.5 2D 刀路定义.....	231	附录 B 数控车削控制软件菜单一览表.....	271
6.5.1 外形铣削.....	231	附录 C 数控铣削控制软件菜单一览表.....	272
6.5.2 挖槽加工.....	233	附录 D TSG 工具系统.....	273
6.5.3 钻孔加工.....	235	附录 E Master CAM 软件菜单一览表.....	274
6.5.4 刻字加工.....	235	附录 F Master CAM 图标菜单.....	275
6.5.5 铣平面.....	235	附录 G CAXA 线切割菜单一览表.....	276
6.5.6 2D 加工实例.....	236	参考文献.....	277
6.6 3D 曲面加工刀路.....	237		
6.6.1 基本概念.....	237		

MISSY/5

第1章 数控加工实用基础

1.1 数控加工概述

1.1.1 数控加工原理和特点

1. 数控加工原理

当我们使用机床加工零件时，通常都需要对机床的各种动作进行控制，一是控制动作的先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时，这种开车、停车、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由人工直接控制的。采用自动机床和仿形机床加工时，上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式来控制的，它们虽能加工比较复杂的零件，且有一定的灵活性和通用性，但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，而且工序准备时间也很长。

采用数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件来。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，输入给机床，即可由数控装置代替人的大脑和双手的大部分功能，控制加工的全过程，制造出任意复杂的零件。数控加工的原理如图 1-1 所示。

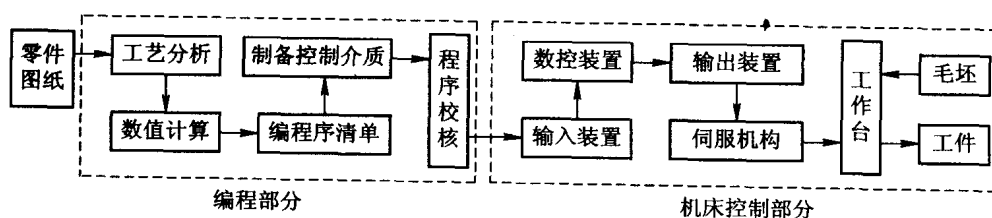


图 1-1 数控加工原理框图

从图 1-1 可以看出，数控加工过程总体上可分为数控程序编制和机床加工控制两大部分。

数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速，能自动控制进给速度、方向和加工路线，进行加工，能选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹，能完成加工中所需要的各种辅助动作。

2. 数控加工的特点

总的来说, 数控加工有如下特点:

(1) 自动化程度高, 具有很高的生产效率。除手工装夹毛坯外, 其余全部加工过程都可由数控机床自动完成。若配合自动装卸手段, 则是无人控制工厂的基本组成环节。数控加工减轻了操作者的劳动强度, 改善了劳动条件; 省去了划线、多次装夹定位、检测等工序及其辅助操作, 有效地提高了生产效率。

(2) 对加工对象的适应性强。改变加工对象时, 除了更换刀具和解决毛坯装夹方式外, 只需重新编程即可, 不需要作其他任何复杂的调整, 从而缩短了生产准备周期。

(3) 加工精度高, 质量稳定。加工尺寸精度在 $0.005 \sim 0.01$ mm 之间, 不受零件复杂程度的影响。由于大部分操作都由机器自动完成, 因而消除了人为误差, 提高了批量零件尺寸的一致性, 同时精密控制的机床上还采用了位置检测装置, 更加提高了数控加工的精度。

(4) 易于建立与计算机间的通信联络, 容易实现群控。由于机床采用数字信息控制, 易于与计算机辅助设计系统连接, 形成 CAD/CAM 一体化系统, 并且可以建立各机床间的联系, 容易实现群控。

1.1.2 数控加工常用术语

1. 坐标联动加工

数控机床加工时的横向、纵向等进给量都是以坐标数据来进行控制的。像数控车床、数控线切割机床等是属于两坐标控制的, 数控铣床则是三坐标控制的(如图 1-2 所示), 还有四坐标轴、五坐标轴甚至更多的坐标轴控制的加工中心等。坐标联动加工是指数控机床的几个坐标轴能够同时进行移动, 从而获得平面直线、平面圆弧、空间直线和空间螺旋线等复杂加工轨迹的能力(如图 1-3 所示)。当然也有一些早期的数控机床尽管具有三个坐标轴, 但能够同时进行联动控制的可能只是其中两个坐标轴, 那就属于两坐标联动的三坐标机床。像这类机床就不能获得空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹。要想加工复杂的曲面, 只能采用在某平面内进行联动控制, 第三轴作单独周期性进给的“两维半”加工方式。

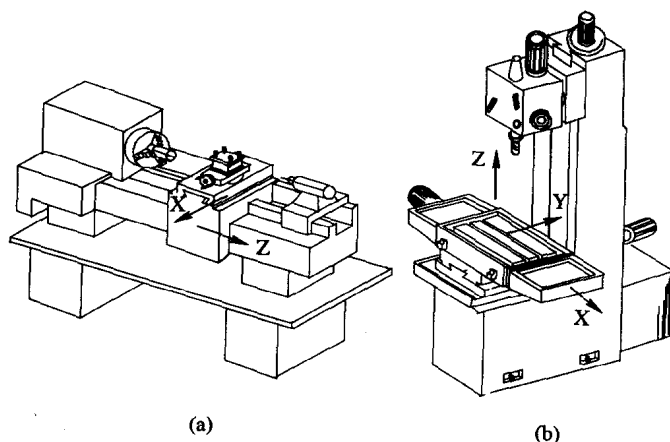


图 1-2 数控机床的控制坐标数

(a) 两坐标数控车床; (b) 三坐标数控铣床

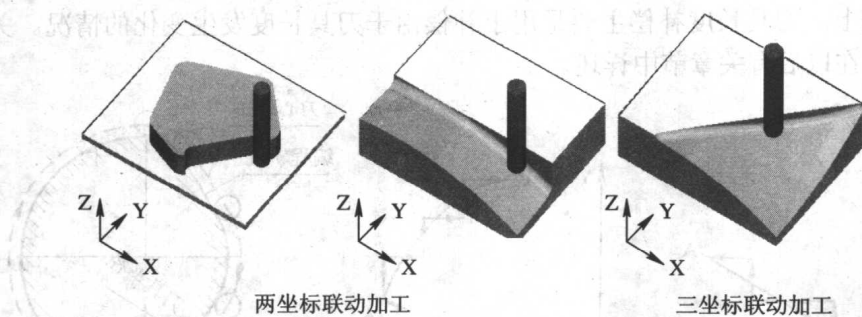


图 1-3 坐标联动加工

2. 脉冲当量、进给速度与速度修调

数控机床各轴采用步进电机、伺服电机或直线电机驱动,是用数字脉冲信号进行控制的。每发送一个脉冲,电机就转过一个特定的角度,通过传动系统或直接带动丝杠,从而驱动与螺母副连结的工作台移动一个微小的距离。单位脉冲作用下工作台移动的距离就称之为脉冲当量。手动操作时数控坐标轴的移动通常是采用按键触发或采用手摇脉冲发生器(手轮方式)产生脉冲的,采用倍频技术可以使触发一次的移动量分别为 0.001 mm、0.01 mm、0.1 mm、1 mm 等多种控制方式,相当于触发一次分别产生 1、10、100、1000 个脉冲。

进给速度是指单位时间内坐标轴移动的距离,也即是切削加工时刀具相对于工件的移动速度。如某步进电机驱动的数控轴,其脉冲当量为 0.002 mm,若数控装置在 0.5 分钟内发送出 20 000 个进给指令脉冲,那么其进给速度应为: $20\,000 \times 0.002 / 0.5 = 80 \text{ mm/min}$ 。加工时的进给速度由程序代码中的 F 指令控制,但实际进给速度还是可以根据需要作适当调整的,这就是进给速度修调。修调是按倍率来进行计算的,如程序中指令为 F80,修调倍率调在 80%挡上,则实际进给速度为 $80 \times 80\% = 64 \text{ mm/min}$ 。同样地,有些数控机床的主轴转速也可以根据需要进行调整,那就是主轴转速修调。

3. 插补与刀补

数控加工直线或圆弧轨迹时,程序中只提供线段的两端点坐标等基本数据,为了控制刀具相对于工件走在这些轨迹上,就必须在组成轨迹的直线段或曲线段的起点和终点之间,按一定的算法进行数据点的密化工作,以填补确定一些中间点,如图 1-4(a)、(b)所示,各轴就以趋近这些点为目标实施配合移动,这就称之为插补。这种计算插补点的运算称为插补运算。早期 NC 硬线数控机床的数控装置中是采用专门的逻辑电路器件进行插补运算的,称之为插补器。在现代 CNC 软线数控机床的数控装置中,则是通过软件来实现插补运算的。现代数控机床大多都具有直线插补和平面圆弧插补的功能,有的机床还具有一些非圆曲线的插补功能。插补加工原理见本章 1.2 节。

刀补是指数控加工中的刀具半径补偿和刀具长度补偿功能。具有刀具半径补偿功能的机床数控装置,能使刀具中心自动地相对于零件实际轮廓向外或向内偏离一个指定的刀具半径值,并使刀具中心在这偏离后的补偿轨迹上运动,刀具刀口正好切出所需的轮廓形状,如图 1-4(c)所示。编程时直接按照零件图纸的实际轮廓大小编写,再添加上刀补指令代码,然后在机床刀具补偿寄存器对应的地址中输入刀具半径值即可。加工时由数控机床的数控装置临时从刀补地址寄存器中提出刀具半径值,再进行刀补运算,然后控制刀具中心走在

补偿后的轨迹上。刀具长度补偿主要是用于补偿由于刀具长度发生变化的情况。关于刀具补偿的用法将在以后有关章节中详述。

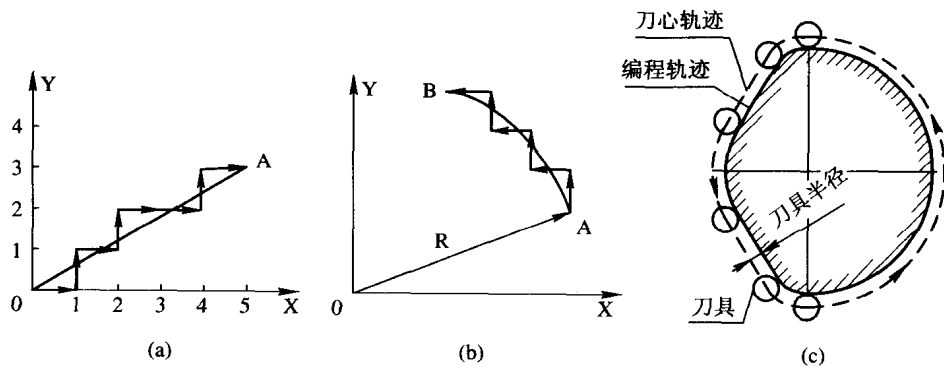


图 1-4 插补和刀补

(a) 直线插补; (b) 圆弧插补; (c) 刀具半径补偿

1.1.3 数控加工技术的发展

1. 数控加工技术的发展历程

1949 年美国 Parson 公司与麻省理工学院开始合作, 历时三年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机, 取名 “Numerical Control”。

1953 年麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓、指定切削路线, 即可生成 NC 程序的自动编程语言。

1959 年美国 Keaney&Trecker 公司开发成功了带刀库, 能自动进行刀具交换, 一次装夹中即能进行铣、钻、镗、攻丝等多种加工功能的数控机床, 这就是数控机床的新种类——加工中心。

1968 年英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车和自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统, 这就是柔性制造系统 FMS。

1974 年微处理器开始用于机床的数控系统中, 从此 CNC(计算机数控系统)软线数控技术随着计算机技术的发展得以快速发展。

1976 年美国 Lockheed 公司开始使用图像编程。利用 CAD(计算机辅助设计)绘出加工零件的模型, 在显示器上“指点”被加工的部位, 输入所需的工艺参数, 即可由计算机自动计算刀具路径, 模拟加工状态, 获得 NC 程序。

DNC(直接数控)技术始于 20 世纪 60 年代末期。它是使用一台通用计算机, 直接控制和管理一群数控机床及数控加工中心, 进行多品种、多工序的自动加工。DNC 群控技术是 FMS 柔性制造技术的基础, 现代数控机床上的 DNC 接口就是机床数控装置与通用计算机之间进行数据传送及通讯控制用的, 也是数控机床之间实现通讯用的接口。随着 DNC 数控技术的发展, 数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。

20 世纪 90 年代, 出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS。其中, 数控是其基本控制单元。

20 世纪 90 年代, 基于 PC-NC 的智能数控系统开始得到发展, 它打破了原数控厂家各

自为政的封闭式专用系统结构模式, 提供开放式基础, 使升级换代变得非常容易。充分利用现有 PC 机的软硬件资源, 使远程控制、远程检测诊断能够得以实现。

我国虽然早在 1958 年就开始研制数控机床, 但由于历史原因, 一直没有取得实质性成果。20 世纪 70 年代初期, 曾掀起研制数控机床的热潮, 但当时是采用分立元件, 性能不稳定, 可靠性差。1980 年北京机床研究所引进日本 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 经济型数控和 BS04 全功能数控系统, 航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间国家又组织近百个单位进行以发展自主知识产权为目标的“数控技术攻关”, 从而为数控技术产业化建立了基础。20 世纪 90 年代末, 华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统, 达到了国际先进水平, 加大了我国数控机床在国际上的竞争力度。

据 1997 年不完全统计, 全国共拥有数控机床 12 万台。目前, 我国数控机床生产企业有 100 多家, 年产量增加到 1 万多台, 品种满足率达 80%, 并在有些企业实施了 FMS 和 CIMS 工程, 数控机床及其加工技术进入了实用阶段。

2. 数控加工技术的发展方向

现代数控加工正在向高速化、高精度化、高柔性化、高一体化、网络化和智能化等方向发展。

1) 高速切削

受高生产率的驱使, 高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一。高速切削可通过高速运算技术、快速插补运算技术、超高速通信技术和高速主轴等技术来实现。

高主轴转速可减少切削力, 减小切削深度, 有利于克服机床振动, 传入零件中的热量大大减低, 排屑加快, 热变形减小, 加工精度和表面质量得到显著改善。因此, 经高速加工的工件一般不需要精加工。

2) 高精度控制

高精度化一直是数控机床技术发展追求的目标。它包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度控制两方面。

提高机床的加工精度, 一般是通过减少数控系统误差, 提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性, 采用补偿技术和辅助措施来达到的。目前精整加工精度已提高到 $0.1\ \mu\text{m}$, 并进入了亚微米级, 不久超精度加工将进入纳米时代。(加工精度达 $0.01\ \mu\text{m}$)

3) 高柔性化

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。目前, 在进一步提高单机柔性自动化加工的同时, 正努力向单元柔性和系统柔性化发展。

数控系统在 21 世纪将具有最大限度的柔性, 能实现多种用途。具体是指具有开放性体系结构, 通过重构和编辑, 视需要系统的组成可大可小; 功能可专用也可通用, 功能价格比可调; 可以集成用户的技术经验, 形成专家系统。

4) 高一体化

CNC 系统与加工过程作为一个整体, 实现机电光声综合控制, 测量造型、加工一体化, 加工、实时检测与修正一体化, 机床主机设计与数控系统设计一体化。

5) 网络化

实现多种通讯协议,既满足单机需要,又能满足 FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)对基层设备的要求。配置网络接口,通过 Internet 可实现远程监视和控制加工,进行远程检测和诊断,使维修变得简单。建立分布式网络化制造系统,可便于形成“全球制造”。

6) 智能化

21 世纪的 CNC 系统将是一个高度智能化的系统。具体是指系统应在局部或全部实现加工过程的自适应、自诊断和自调整;多媒体人机接口使用户操作简单,智能编程使编程更加直观,可使用自然语言编程;加工数据的自生成及智能数据库;智能监控;采用专家系统以降低对操作者的要求等。

1.2 数控系统控制原理

1.2.1 CNC 硬件组成与控制原理

CNC 即计算机数控系统(Computerized Numerical Control)的缩写,它是在硬线数控(NC)系统的基础上发展起来的,由一台计算机完成早期 NC 机床数控装置的所有功能,并用存储器实现了零件加工程序的存储。

图 1-5 是小型计算机 CNC 系统构成。数控系统的核心是计算机数字控制装置,即 CNC 装置。它由硬件(数控系统本体器件)和软件(系统控制程序如编译、中断、诊断、管理、刀补和插补等)组成。系统中的一种功能,可用硬件电路实现,也可用软件实现。新一代的 CNC 系统,大都采用软件来实现数控系统的绝大部分功能。要增加或更新系统功能时,则只需要更换控制软件即可,因此,CNC 系统较之 NC 系统具有更好的通用性和灵活性。

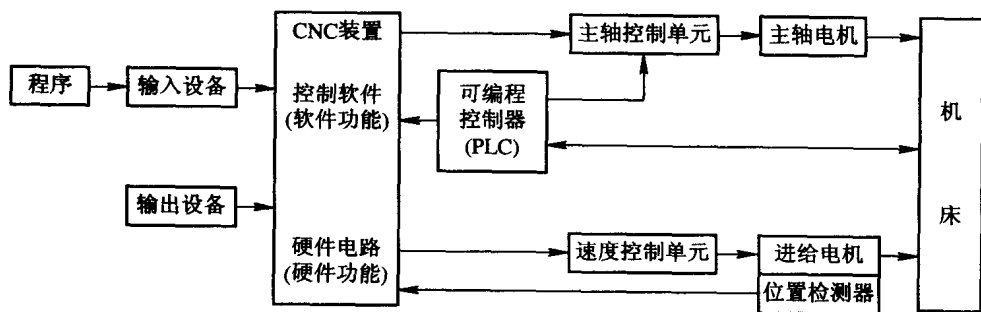


图 1-5 CNC 系统构成

图 1-6 是典型的微处理器数控系统框图。其各组成部分功用如下所述:

(1) 微处理器 CPU 及其总线。它是 CNC 装置的核心,由运算器及控制器两大部分组成。运算器负责数据运算;而控制器则是将存储器中的程序指令进行译码并向 CNC 装置的各部分发出执行操作的控制信号,且根据所接收的反馈信息决定下一步的命令操作。总线则是由物理导线构成的,分成数据线、地址线和控制线等三组。

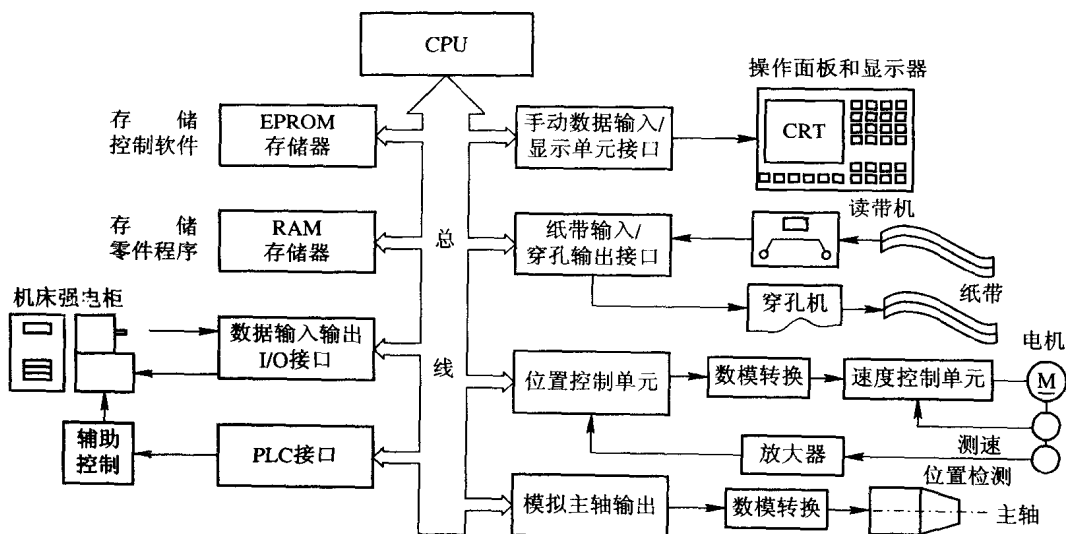


图 1-6 微处理器数控系统框图

(2) 存储器。它用以存放 CNC 装置的数据、参数和程序。它包括存放系统控制软件的只读存储器 EPROM 和存放中间运算结果的随机读写存储器 RAM 和存放零件加工程序信息的磁泡存储器或带后备电池的 CMOS RAM。

(3) MDI/CRT 接口。MDI 即手动数据输入单元，CRT 为显示器。由数控操作面板上的键盘输入、修改数控程序和设定加工数据，同时通过 CRT 显示出来。CRT 常用于显示字符或图形信息。

(4) 输入装置(纸带读入和穿孔输出接口)。光电阅读机可将由其他纸带凿孔机所制作的纸带上的程序信息读入到 CNC 装置中，可直接用于控制加工或将程序转存到存储器中。有的机床还备有穿孔输出的纸带凿孔机，可将本机上编好的程序制成纸带，用于其他数控系统中。纸带输入/输出曾经是数控机床和其他计算机控制系统交换信息的主要媒介。也有的机床采用磁带机或磁盘驱动器等媒介，较之纸带输入/输出更方便。

(5) 数据输入/输出(I/O)接口。它是 CNC 装置和机床驱动部件之间来往传递信息的接口，主要用于接收机械操作面板上的各种开关、按钮以及机床上各行程限位开关等信号；或将 CNC 装置发出的控制信号送到强电柜，以及将各工作状态指示灯信号送到操作面板等。

(6) 位置控制及主轴控制。它将插补运算后的坐标位置与位置检测器测得的实际位置值进行比较、放大后得到速度控制指令，去控制速度控制单元，驱动进给电机，修正进给误差，保证精度，主要在闭环或半闭环数控机床上使用。

(7) 可编程控制器(PLC)接口。它用来代替传统机床强电部分的继电器控制，利用逻辑运算实现各种开关量的控制。

上述(1)、(2)、(3)、(4)几部分和 PC 电脑的功用一样，所以现代 PC-NC 数控系统是直接用通用 PC 机来取代这几个组成部分的。

当操作者按下机床操作面板上的“循环启动”按钮后，就向 CNC 装置发出中断请求。一旦 CNC 装置所处状态符合启动条件，则 CNC 装置就响应中断，控制程序转入相应的控制机床运动的中断服务程序。进行插补运算，逐段计算出各轴的进给速度、插补轨迹等，

并将结果输出到进给伺服控制接口及其他输出接口,控制工作台(或刀具)的位移或其他辅助动作。这样机床就自动地按照零件加工程序的要求进行切削运动。

1.2.2 CNC 系统的软件结构

CNC 系统软件是为实现 CNC 系统各项功能所编制的专用软件,也叫控制软件,存放在计算机 EPROM 中。各种 CNC 系统的功能设置和控制方案各不相同,它们的系统软件在结构和规模上差别很大,但是一般都包括输入数据处理程序、插补运算程序、速度控制程序、管理程序和诊断程序。

1. 输入数据处理程序

它接收输入的零件加工程序,将标准代码表示的加工指令和数据进行译码、数据处理,并按规定的格式存放。有的系统还要进行补偿计算,或为插补运算和速度控制等进行预计算。

(1) 输入程序。它主要有两个任务,一个任务是从光电阅读机或键盘输入零件加工程序,并将其存放在零件程序存储器中;另一任务是从零件程序存储器中把零件程序逐段往外调出,送入缓冲区,以便译码时使用。

(2) 译码程序。在输入的零件加工程序中含有零件的轮廓信息、加工速度和其他辅助功能信息。在计算机作插补运算与控制操作前,这些信息必须翻译成计算机内部能识别的语言,译码程序就承担着此项任务。

(3) 数据处理程序。它一般包括刀具半径补偿计算、速度计算和辅助功能的处理等。刀具半径补偿计算是把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工数据段以什么样的速度运动。此外,诸如换刀、主轴启停和切削液开停等辅助功能也在此程序中处理。

2. 插补计算程序

CNC 系统根据零件加工程序中提供的数据,如线段轨迹的种类、起点和终点坐标等进行运算。根据运算结果,分别向各坐标轴发出进给脉冲。进给脉冲通过伺服系统驱动工作台或刀具作相应的运动,完成程序规定的加工任务。

CNC 系统的工作方式是一边进行插补运算,一边进行加工,是一种典型的实时控制方式,所以插补运算的快慢直接影响机床的进给速度,因此要尽可能地缩短运算时间,这是插补运算程序的关键。

3. 速度控制程序

速度控制程序根据给定的速度值控制插补运算的频率,以保证预定的进给速度。在速度变化较大时,需要进行自动加减速控制,以避免因速度突变而造成驱动系统失步。

4. 管理程序

管理程序负责对数据输入、数据处理和插补运算等为加工过程服务的各种程序进行调度管理。管理程序还要对由面板命令、时钟信号和故障信号等引起的中断进行处理。有的管理程序可以使多道程序并行工作,如在插补运算与速度控制的空闲时间进行数据输入处理,即调用各种功能子程序,完成下一数据段的读入、译码和数据处理工作,并且保证在