



教育部高职高专规划教材

Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuān Guihuā Jiāocai

数控技术应用及机械 CAD/CAM 系列

数控机床编程及应用

于春生 韩 旻 主编



高等教育出版社

教育部高职高专规划教材

数控机床编程及应用

于春生 韩旻 主编

于春生 韩旻 邓奕 王浩 编

高等教育出版社

内容提要

本书为教育部高职高专规划教材,是根据“高职高专教育机械类专业人才培养目标及基本规格”的要求编写的。本书内容全面、系统,重点突出,力求体现先进性、实用性、易懂性。基础理论以“必需、够用”为度,应用实例紧密结合生产实际。全书包括数控机床的基本知识、编程基础、数控车床、铣床、加工中心的编程与操作、自动编程及应用,MasterCAM 及应用等内容。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机床数控技术及应用、机电一体化等专业教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程及应用/于春生 韩旻主编. —北京:高等教育出版社,2001.7 (2003 重印)

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-009962-4

I. 数… II. ①于…②韩 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(2001)第 037839 号

数控机床编程及应用

于春生 韩旻 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京机工印刷厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 15.5
字 数 370 000

版 次 2001 年 8 月第 1 版
印 次 2003 年 5 月第 3 次印刷
定 价 18.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

前 言

本书为教育部高职高专规划教材,是根据“高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格”的要求,并结合编者在数控机床方面的教学与实践经验编写的。

近年来,微电子技术的迅猛发展带动了机械加工技术的飞速发展,使数控机床的功能日趋完善,许多企业逐步用数控机床替代了普通机床。这就要求工程技术人员具有自动控制、计算机等方面的知识,要求编程人员熟悉加工工艺和加工软件等基础知识,同时也要求机械加工工人能掌握数控机床的操作并懂得一些编程知识。这种形势对高等职业教育在数控机床方面的教学也提出了新的要求,要求学生具备一定的数控机床编程及应用方面的基本知识和技能。

本书的编写指导思想是使读者通过学习了解数控机床的工作原理和编程方法,掌握数控机床的基本操作技能,并能把学到的知识应用到生产实际中去。本书共分8章,内容包括:数控机床的基本知识,数控机床编程基础,数控铣床、车床及加工中心的编程与操作,自动编程语言及应用,MasterCAM编程及应用。

本书通俗易懂,涉及面广,内容丰富,可操作性强,适合高等职业教育使用。可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控机床方面的教材和数控机床编程与操作方面的培训教材。

本书第1、2、6章由沈阳工业学院于春生老师编写,第3、4章由湖南工程学院邓奕老师编写,第5、7章由沈阳工业学院王浩老师编写,第8章由厦门鹭江大学韩旻老师编写。本书承东北大学王仁德教授审稿,他提出了不少宝贵的意见和建议,编者在此表示衷心感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2000年12月

目 录

第 1 章 数控机床的基本知识	1	5.1 加工中心简介	111
1.1 数控机床的产生与发展过程	1	5.2 加工中心编程的方法和特点	115
1.2 数控机床的构成与工作原理	2	5.3 TH6940 加工中心编程实例	122
1.3 数控机床加工过程的控制与特点	4	5.4 加工中心的操作	134
1.4 数控机床的分类	7	复习题	139
1.5 机床数控技术的发展趋势	10	第 6 章 数控电火花线切割机床编程	
复习题	11	及操作	140
第 2 章 数控机床编程基础	12	6.1 数控电火花线切割机床简介	140
2.1 数控编程的方法与内容	12	6.2 数控电火花线切割机床的编程	143
2.2 数控编程的有关标准及术语	14	6.3 数控电火花线切割机床的操作	148
2.3 数控系统的编程功能	23	复习题	155
2.4 数控编程的工艺基础	25	第 7 章 自动编程及应用	157
2.5 图形的数学处理	30	7.1 自动编程概述	157
复习题	38	7.2 APT 编程语言简介	159
第 3 章 数控铣床的编程与操作	39	7.3 FAPT 编程语言简介	169
3.1 数控铣床简介	39	复习题	181
3.2 数控铣床编程的方法和特点	40	第 8 章 图形交互自动编程系统	
3.3 数控铣床编程实例	60	MasterCAM 7.1 及其应用	183
3.4 数控铣床的加工操作	64	8.1 自动编程软件介绍	183
复习题	74	8.2 MasterCAM 系统简介	184
第 4 章 数控车床编程与操作	77	8.3 MasterCAM 的 CAD 功能	190
4.1 数控车床简介	77	8.4 MasterCAM 的 CAM 功能	196
4.2 数控车床编程的方法和特点	78	8.5 MasterCAM 的后处理	201
4.3 数控车床编程实例	91	8.6 MasterCAM 7.1 的综合应用实例	202
4.4 数控车床的加工操作	99	复习题	237
复习题	106	参考文献	240
第 5 章 加工中心编程及操作	111		

第1章

数控机床的基本知识

1.1 数控机床的产生与发展过程

数控机床(numerical control machine tool)是采用了数字控制技术(numerical control 简称 NC)的机械设备,就是通过数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制,实现要求的机械动作,自动完成加工任务。数控机床是典型的技术密集且自动化程度很高的机电一体化加工设备。

第一台数控机床是由美国 Parsons 公司与美国麻省理工学院(MIT)于 1952 年合作研制成功的,当时是为了加工直升飞机螺旋桨叶片轮廓的检查样板。此后,其他一些国家(如德国、英国、日本、前苏联等)都开展了数控机床的研制开发和生产。1959 年,美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker)首次成功开发了加工中心(machining center,简称 MC),这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工(包括钻孔、镗孔、攻丝、镗削、平面铣削、轮廓铣削等)。20 世纪 60 年代末,出现了直接数控系统 DNC(direct NC),即由一台计算机直接管理和控制一群数控机床。1967 年,英国出现了由多台数控机床连接而成的柔性加工系统,这便是最初的柔性制造系统(flexible manufacturing system,简称 FMS)。20 世纪 80 年代初,出现了以加工中心或车削中心为主体,配备工件自动装卸和监控检验装置的柔性制造单元(flexible manufacturing cell,简称 FMC)。近几年,又出现了以数控机床为基本加工单元的计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems,简称 CIMS),实现了生产决策、产品设计及制造、经营等过程的计算机集成管理和控制。

随着微电子技术、计算机技术的发展,数控系统也在不断进步。第一台数控机床的数控装置全部采用电子管元件,而后采用了晶体管元件和印刷电路板(1959 年),1965 年出现了小规模集成电路。以上三代数控系统都是专用控制计算机数控系统,称为硬件 NC 系统,只能完成固定的控制功能。1970 年采用了大规模集成电路及小型计算机取代专用控制计算机数控系统,通过编制程序并存入计算机的专用存储器中,构成“控制软件”来实现多种控制功能,显著提高了系统的功能特性和可靠性,称为第四代数控系统(computerized NC,简称 CNC),又称为“软件 NC”系统。1974 年又研制出以微处理器为核心的数控系统,这就是第五代数控系统(micro-computerized NC,简称 MNC)。

1.2 数控机床的构成与工作原理

如图 1.1 所示,数控机床主要由 CNC 数控系统和机床主体组成。此外数控机床还有许多辅助装置,如自动换刀装置(automatic tool changer,简称 ATC),自动工作台交换装置(automatic pallet changer,简称 APC),自动对刀装置,自动排屑装置及电、液、气、冷却、润滑、防护等装置。

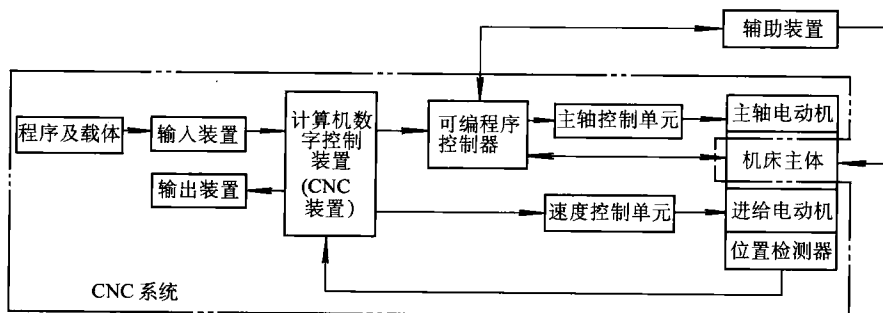


图 1.1 数控机床的组成

数控系统包括程序及载体、输入/输出装置、计算机数控装置(称为 CNC 装置)、主轴控制系统和进给控制系统等。有时将主轴控制系统和进给控制系统称为伺服驱动系统。

1.2.1 程序及载体

用数控机床加工零件时,需要根据零件图纸上的信息制定加工工艺,将全部加工过程编制成加工程序。加工程序可直接存入 CNC 的存储器,也可存储在某种信息载体上。信息载体有穿孔纸带、磁带、磁盘等,早期常用的信息载体为穿孔带,目前常用的为磁盘。

1.2.2 输入/输出装置

存储在信息载体上的加工程序(数控代码)需要通过输入装置送给 CNC 装置。目前 CNC 机床上常用的输入装置有纸带阅读机和软盘驱动器。数控程序也可通过键盘用 MDI(手动数据输入)方式输入或由编程计算机用 RS232 串行通信接口传送到数控装置。输出装置的作用是将 CNC 装置中存储的加工程序存储到信息载体(如磁盘)上。

1.2.3 计算机数控装置

CNC 装置是数控机床的核心,它是采用存储程序的专用计算机,由硬件和软件组成。硬件由各种输入输出接口电路、微处理器(CPU)、存储器等组成。软件是为了实现 CNC 系统各项控制功能而编制的专用软件,又称为系统软件。数控装置的软件系统分为管理软件和控制软件。CNC 装置的工作是在硬件的支持下执行软件的全过程,控制机床按规定的动作执行加工任务。

1.2.4 伺服驱动系统

伺服驱动系统是数控机床的执行机构之一,执行由 CNC 装置输出的运动指令。它的作用是

把来自 CNC 装置的指令信息转换成机床移动部件的运动。数控机床的伺服驱动系统包括进给驱动、主轴驱动及位置控制等三部分。按位置控制方法的不同,伺服驱动系统可分为开环、闭环和半闭环 3 种方式。

常用伺服驱动元件有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。步进电动机主要应用在开环控制方式。它是机械式的数模转换装置,将脉冲信号变成连续的角位移。每个指令脉冲使步进电机转过一个固定的角度,称步距角,常用步距角有 0.75° 、 0.9° 、 1.5° 等。控制输入步进电动机脉冲的频率,即可改变步进电动机的转速。直流伺服电动机与交流伺服电动机用于闭环或半闭环系统中。直流伺服电动机具有转矩大,过载能力强,调速特性好等优点。交流伺服电动机克服了直流伺服电动机一些固有的缺点(如电刷和换向器易磨损、结构复杂、制造困难、制造成本高等),其转子惯量小,动态响应好,成本低,维护简便,近年来得到重视并获得迅速发展。

1.2.5 检测装置

检测装置是采用闭环或半闭环控制系统的数控机床的重要组成部分,其作用是对数控机床的实际位移和速度进行检测,将检测结果转化为电信号反馈给数控装置或伺服控制系统,实现闭环或半闭环控制。

(1) 速度检测元件

其作用是测量执行部件的运动速度,以实现速度闭环控制。一般采用与电动机轴同轴安装的测速发电机或光电编码器。测速发电机的输出电压与电动机的转速成正比。光电脉冲编码器通过检测单位时间内光电编码器所发出的脉冲数,或检测所发脉冲的周期来完成数字化的速度检测,其测速的精度高。

(2) 位置检测元件

根据检测元件在数控机床上安装位置的不同,可分为直接测量与间接测量。位置检测对机床工作台的直线位移采用直线型检测元件,称为直接测量,这时的位置闭环称全闭环控制。如果机床工作台的位移是通过回转型检测元件测量伺服电机或滚珠丝杠的回转角间接得到的,称间接测量,这时的位置闭环称半闭环控制。

1.2.6 机床主体

数控机床的主体包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件,用于完成各种切削加工。数控机床的主体结构具有如下特点:(1)刚度、抗振性高和热变形小。机床静刚度及热学特性是影响工件加工精度的主要因素,而机床构件的静刚度和固有频率又是影响机床动刚度和抗振性的主要因素。通常采取许多措施提高数控机床的动、静刚度,并减小机床的热变形。(2)简化机械传动结构,缩短传动链。采用高性能,宽调速范围的交、直流主轴电动机和伺服电动机,从而省去许多齿轮及传动轴,提高了传动精度和可靠性。(3)采用效率高、无间隙、低摩擦的传动。数控机床要求能在高速下运行平稳、定位精度高、跟踪性好等,因此要求进给系统的机械传动装置和元件要具有灵敏性高、无间隙、摩擦阻力低、寿命高等特点。数控机床常用的传动部件有滚珠丝杠副、静压螺杆-螺母副和预加载荷双齿轮-齿条机构等。常采用的低摩擦系数导轨有聚四氟乙烯塑料滑动导轨、滚动导轨和静压导轨等。

1.2.7 辅助装置

数控机床在实现整机的全自动化控制中,为了提高生产率、加工精度等,还需要配备许多辅助装置,如液压和气动装置、自动换刀装置、自动工作台交换装置、自动对刀装置、自动排屑装置等。

(1) 自动换刀装置

带有自动换刀装置的数控机床(如加工中心),在对工件进行多工序加工中,必须要自动更换刀具,以提高机床的生产率和加工精度。自动换刀装置的类型取决于机床的形式、工艺范围及其刀具的种类和数量,其基本类型有三种。一种是回转刀架换刀,数控车床常用这一类换刀方法;另一种是多主轴转塔头换刀,常用于数控钻床、数控镗铣床等;第三种是刀库自动换刀装置,典型应用这种换刀方式的是加工中心,这类换刀装置由刀库、选刀机构、刀具的自动装卸机构及刀具交换机构(机械手)等部分组成。

(2) 自动工作台交换装置

有的加工中心带有自动工作台交换装置,使工件的装卸时间大幅度减少。常用的有回转式和往复式工作台交换装置。

(3) 自动对刀装置

对刀仪是提高数控机床开工率必不可少的辅助装置之一。把加工用的刀具预先校对好,测出刀具的有关几何尺寸和参数,使之装上机床即可使用,以节省机床的对刀时间。按检测对象的不同对刀装置可分为数控车床对刀仪和数控镗铣床、加工中心用对刀仪。

(4) 自动排屑装置

数控机床单位时间内金属的切削量大大高于普通机床,而且数控机床可以实现长时间无人自动加工,因此迅速有效地排除切屑对数控机床加工来说十分重要。根据数控机床种类、规格、加工工艺特点等不同,可设计出各种类型的排屑装置,常用的有传送带或螺旋式排屑装置。

1.3 数控机床加工过程的控制与特点

1.3.1 数控机床加工零件的控制原理

数控机床通过控制刀具相对工件的运动实现对零件的加工。数控装置按加工程序规定的运动轨迹要求,将刀具对工件的运动分割成最小的位移量,通过不断地向各坐标轴方向输出脉冲形式的指令,使刀具沿各坐标移动若干个脉冲当量,实现刀具对工件的相对运动,完成对零件的加工。如图 1.2 所示曲线 L 表示的零件,将曲线 L 分成 $\Delta L_0, \Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i$ 等微线段。设切削 ΔL_i 的时间为 Δt_i ,则当 $\Delta t_i \rightarrow 0$ 时,各微线段之和接近于曲线 L ,即:

$$\lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

实际上可把每一微线段看成刀具沿两个坐标轴运动的合成轨迹。设在 Δt_i 时间内,刀具在 x 坐标、 y 坐标方向的移动量为 $\Delta x_i, \Delta y_i$,则有

$$\Delta L_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$$

合成速度为：
$$v_i = \frac{\Delta L_i}{\Delta t_i} = \sqrt{(\Delta x_i / \Delta t_i)^2 + (\Delta y_i / \Delta t_i)^2} = \sqrt{\Delta v_{xi}^2 + \Delta v_{yi}^2}$$

当 ΔL_i 的斜率不断变化时,刀具进给速度沿 x 方向及 y 方向的分量 Δv_{xi} 和 Δv_{yi} 的比值也随之变化。只要根据 ΔL_i 斜率的变化连续自动控制 x, y 方向运动速度的比值(即数控装置向每个坐标连续发出适合这种变化的脉冲信号),就可实现对曲线 L 的数控加工。

数控装置在控制刀具沿零件轮廓加工时,需要在规定的加工轮廓起点和终点之间计算出多个中间点的坐标值,以控制机床各坐标轴的运动,这种计算中间点坐标值的过程常称为插补运算。现代数控机床常采用的插补算法有两大类:脉冲增量插补和数据采样插补。脉冲增量插补主要有两种方法,即逐点比较法和数字积分法(digital differential analyzer, 简称 DDA)。

图 1.3 是脉冲增量中逐点比较法插补的例子。逐点比较法是一种由运动偏差产生信息的插补方法,通过不断比较刀具与被加工零件轮廓之间的相对位置,决定刀具的进给。图 1.4 是采用 DDA 法插补的例子。数字积分法是一种由曲线方程产生运动信息的方法,其基本原理是通过速度分量进行数字积分来确定刀具的位移,使刀具沿稳定的轨迹移动。数据采样插补是采用时间分割法,将编程时给定的进给速度分割成插补采样周期的进给段(称作轮廓步长),然后再进行插补计算,得出各坐标轴的进给量。这种插补算法速度快,精度高,用于半闭环和闭环控制系统。

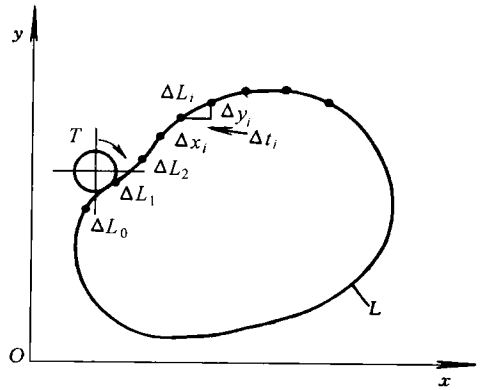


图 1.2 数控加工控制原理

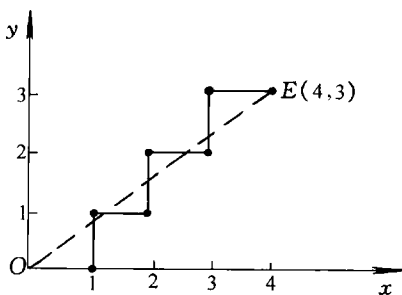


图 1.3 逐点比较法直线插补

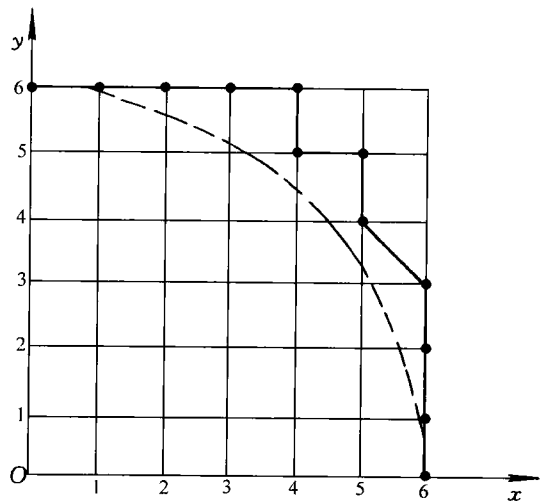


图 1.4 数字积分法圆弧插补

1.3.2 数控加工过程中的控制信息流程

数控加工是通过 CNC 装置根据零件的加工程序控制数控机床自动完成的。进行零件加工

时,先将编写好的零件程序输入到 CNC 装置,然后根据输入的程序段插补出理想的轨迹,控制执行部件,加工出需要的零件。每一个加工程序段的处理都经过输入、译码、刀具补偿、进给速度处理、插补、位置控制等信息转换过程。图 1.5 是直线加工信息转换流程图,框中的变量表示每次进行信息转换后的结果。通过译码将零件程序的数控代码翻译成数控系统能识别的代码,再通过刀补程序计算出直线轨迹的终点坐标,然后根据编程值计算出采样周期的直线段步长和各坐标轴的进给步长,再插补计算出采样周期内直线段步长在各坐标轴上的分量,将插补计算出的理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值控制电动机。

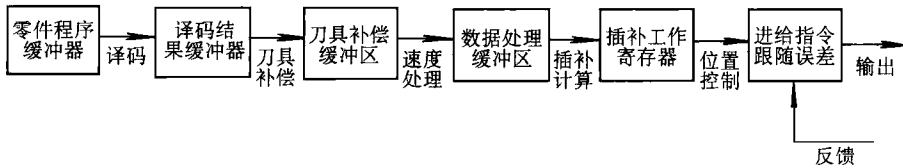


图 1.5 直线加工信息转换流程图

1.3.3 数控机床加工的功能特点

数控机床加工与普通机床加工相比较有以下一些特点：

(1) 可方便加工复杂型面的零件

数控机床的数控系统可实现多坐标联动控制,能加工普通机床很难加工或无法加工的复杂曲线、曲面。图 1.6 为 3 坐标联动加工, x 、 y 、 z 轴可同时插补联动(这里的“轴”是指机床具有的运动坐标数,“联动”是指控制系统可以同时控制运动的坐标数)。图 1.7 为 2 坐标联动 3 坐标控制的加工方法(又称 $2\frac{1}{2}$ 坐标加工),在 yz 平面内 2 轴联动, x 向作周期进给。图 1.8 是 4 坐标联动的加工方法,为保证刀具与工件型面在全长始终贴合,除 3 个直角坐标运动外,刀具还应绕 O 做摆动。

(2) 加工工序相对集中

数控机床可在一次装夹中加工出许多表面,节省了生产准备时间,提高了生产效率,而且所加工零件的形状及尺寸的一致性,质量高。

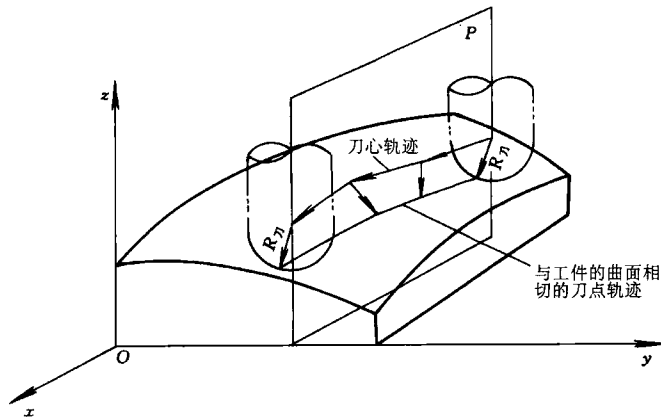


图 1.6 3 坐标联动加工

(3) 可实现高柔性生产

数控机床加工是由指令信息控制的,加工对象改变时,只要重新编制程序,产生新的指令信息,便可对其进行加工。这给新产品的研制开发,产品的改进、改型提供了捷径,同时也适合多品种、小批量零件的加工,利于企业进行激烈的市场竞争。

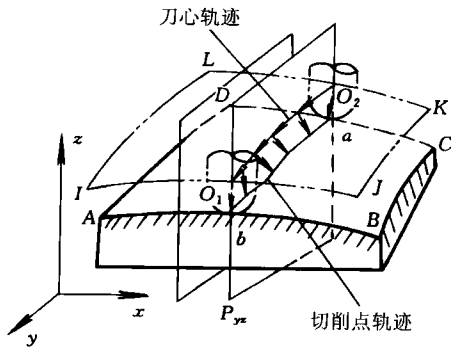


图 1.7 2 $\frac{1}{2}$ 坐标加工

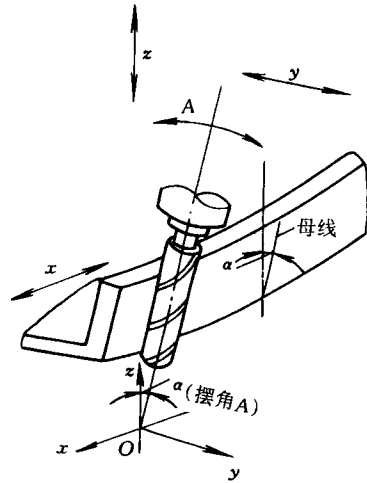


图 1.8 4 坐标加工

1.4 数控机床的分类

数控机床的品种较为齐全,规格较多,其分类方法尚无统一规定,可从多个角度对其进行分类。下面介绍几种常用的分类方法。

1.4.1 按加工功能分类

(1) 金属切削类数控机床

这类数控机床有数控车床、铣床、镗床、磨床、刨床、加工中心、齿轮加工机床等,与传统的通用机床种类基本相同。

(2) 金属成型类数控机床

包括数控折弯机、弯管机、板材成形加工机床等。

(3) 特种加工机床

数控特种加工机床包括数控线切割机床、电火花加工机床及激光切割机床等。

(4) 其他数控机床

如数控火焰切割机床、数控缠绕机、3 坐标测量机等。

1.4.2 按控制刀具与工件相对运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床

这类机床要求控制刀具(或工作台)从一点移到另一点的准确位置,在移动过程中不作切削

加工,因此不控制运动轨迹,各坐标轴可以同时移动,也可以依次运动,如数控钻床、镗床和数控冲床等。图 1.9 为数控钻床的刀具运动。

(2) 点位直线控制数控机床

这类机床除了要求控制点与点之间的准确位置外,还需保证刀具的移动轨迹是一条直线,且要进行移动速度控制。一般是沿与坐标轴平行的方向作切削运动,或沿与坐标轴成 45°的斜线运动,可用于某些简单的数控车床、镗铣床、加工中心等。图 1.10 为点位直线控制加工路线图。

(3) 连续控制数控机床

这类机床的数控系统也称为轮廓控制系统,能同时对 2 个或 2 个以上坐标轴运动的瞬间位置和速度进行连续控制,即控制刀具运动的轨迹,使其加工出任意的曲线、曲面轮廓。数控车床、铣床、线切割机床、加工中心等都属此类机床。图 1.11 所示为 2 坐标连续控制加工。

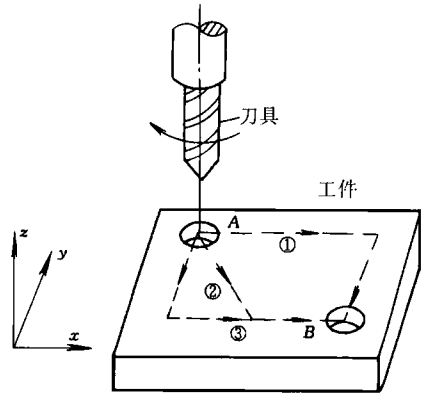
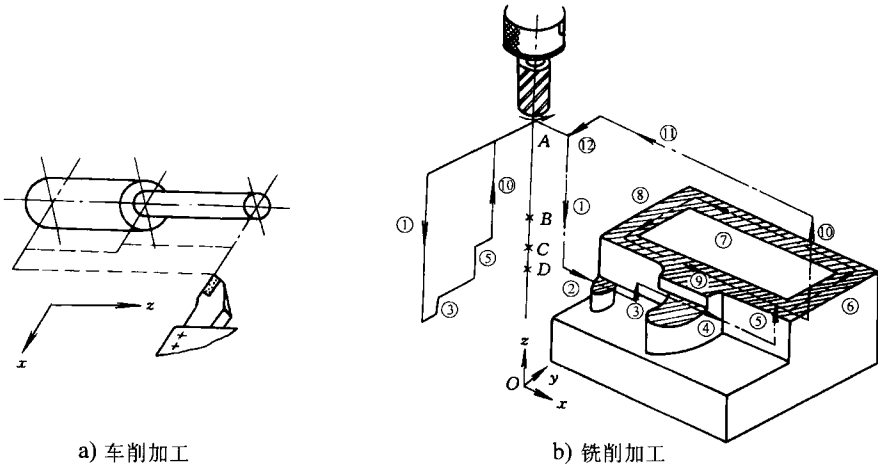


图 1.9 数控钻床的刀具运动



a) 车削加工

b) 铣削加工

②④⑦⑨—运动与 X 轴平行; ⑥⑧—运动与 Y 轴平行
①③⑤⑪—运动与 Z 轴平行

图 1.10 点位直线控制加工路线图

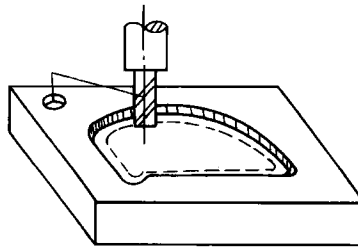


图 1.11 2 坐标连续控制加工

1.4.3 按进给伺服系统的类型分类

(1) 开环控制系统

这类数控机床的伺服系统不带位置检测元件,伺服驱动元件一般为步进电动机。数控装置每发出一个进给脉冲后,脉冲便经过放大,并驱动步进电动机转一个固定的角度,再通过机械传动驱动工作台运动。这种系统没有被控对象的反馈值,系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度,其线路简单,调整方便,精度低,一般用于小型或经济型数控机床(图 1.12a)。

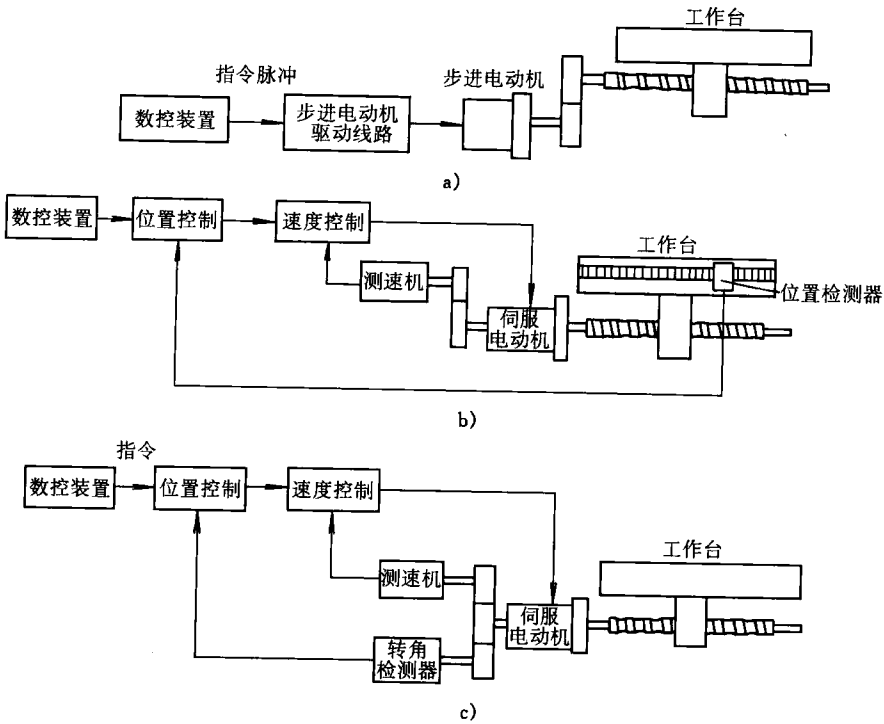


图 1.12 三种伺服驱动系统

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统带有位置检测元件,随时可检测出机床工作台的实际位移,并反馈给数控装置,并与设定的指令值进行比较,利用其差值控制伺服电动机,直至差值为零时停止。这类机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件常有直线光栅、磁栅、同步感应器等。闭环控制的数控机床加工精度高、速度快,但现场调试、维护困难,成本高,系统稳定性控制也比较困难(图 1.12b)。

(3) 半闭环控制系统

半闭环控制系统是将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部,不直接反馈机床的位移量,而是检测伺服机构的转角,将此信号反馈给数控装置进行指令值比较,用差值控制伺服电动机。其控制精度较闭环控制系统低。但半闭环伺服系统结构简单,造价较低,不受机械传动装置的影响,容易获得稳定的控制特性,且调试方便,广泛应用于各类中等精度以上连

续控制的数控机床中(图 1.12c)。

1.5 机床数控技术的发展趋势

1.5.1 数控机床的发展趋势

随着计算机、微电子、信息、自动控制、精密检测及机械制造技术的高速发展,机床数控技术也得到了长足进步。近几年一些相关技术的发展,如刀具及新材料的发展,主轴伺服和进给伺服、超高速切削等技术的发展,以及对机械产品质量的要求愈来愈高等,加速了数控机床的发展。目前数控机床正朝着高工序集中度、高精度、高复合化和高可靠性的方向发展。

(1) 高速化 由于数控装置及伺服系统功能的改进,其主轴转速和进给速度大大提高,减少了切削时间和非切削时间。加工中心的主轴转速现已达到 8 000 ~ 12 000 r/min,最高的可达 100 000 r/min 以上,磨床的砂轮线速度提高到 100 ~ 200 m/s。正在开发的采用 64 位 CPU 的新型数控系统(目前数控系统多采用 32 位以上的高速微处理器),可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能,控制轴数最多可达到 24 个,同时联动轴数可达 3 ~ 6 轴,进给速度为 20 ~ 24 m/min,最快可达 60 m/min。自动换刀和自动交换工作台时间也大大缩短,现在数控车床刀架的转位时间可达 0.4 ~ 0.6 s,加工中心自动交换刀具时间可达 3 s,最快能达到 1 s 以内,自动交换工作台时间也可达到 6 ~ 10 s,个别可达到 2.5 s。

(2) 高精度化 用户对产品精度要求的日益提高,促使数控机床的精度不断提高。数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度。数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达到 0.1 μm ,有的可达到 0.01 μm ,实现了高精度加工。伺服系统采用前馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等,保证了数控机床的高加工精度。目前数控机床的定位精度可达 $\pm 0.005 \sim \pm 0.001 \text{ mm}$,重复定位精度可达 0.000 5 mm。

(3) 多功能化 CNC 装置功能的不断扩大,促进了数控机床的高度自动化及多功能化。数控机床的数控系统大多采用 CRT(cathode ray tube)显示,可实现二维图形的轨迹显示,有的还可以实现三维彩色动态图形显示;有的数控系统装有小型数据库,可以自动选择最佳刀具和切削用量;有的数控系统具有各种监控、检测等功能,如刀具寿命管理、刀具尺寸自动测量和补偿、工件尺寸自动测量及补偿、切削参数自动调整、刀具磨损或破损检测等功能,有的甚至可以实现无人化运行。

(4) 加工功能复合化 在一台机床上实现多工序、多方法加工是数控机床发展的又一趋势。已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床,可完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺丝等工序的数控加工中心,以及车削加工中心,钻削、磨削加工中心,电火花加工中心等。近年来又出现了高复合化数控机床,如增加了车削和磨削功能的镗铣类加工中心等,不但有更高的加工精度,而且可以提高工作效率,节约占地面积和投资。

(5) 结构新型化 一种完全不同于原来数控机床结构的新型数控机床,近年被开发成功。这种被称为“6 条腿的加工中心”或虚轴机床(有的称并联机床)的数控机床,没有任何导轨和滑台,采用能够伸缩的“6 条腿”(伺服轴)支撑并联,并与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可实现多坐标联动加工,其控制系统结构复杂,加工精度、加工效率较普通加工中心高

2~10倍。这种数控机床的出现将给数控机床技术带来重大变革和创新。

(6) 编程技术自动化 随着数控加工技术的迅速发展,设备类型的增多,零件品种的增加以及形状的日益复杂,迫切需要速度快、精度高的编程,以便于直观检查。为弥补手工编程和 NC 语言编程的不足,近年来开发出多种自动编程系统,如图形交互式编程系统、数字化自动编程系统、会话型自动编程系统、语音数控编程系统等,其中图形交互式编程系统的应用越来越广泛。图形交互式编程系统是以计算机辅助设计(CAD)软件为基础,首先形成零件的图形文件,然后再调用数控编程模块,自动编制加工程序,同时可动态显示刀具的加工轨迹。其特点是速度快、精度高、直观性好、使用简便,已成为国内外先进的 CAD/CAM(CAM 为 computer aided manufacturing 的缩写)软件所采用的数控编程方法。目前常用的图形交互式软件有 Master CAM, NC3APS M, HZAPT II, MAPT 等。

1.5.2 以数控机床为基础的自动化生产系统的发展

随着数控机床自动化程度的不断提高,物料传输装卸自动化和计算机控制等技术的空前发展,出现了由多台数控机床组成的高柔性、高自动化的生产系统。

(1) 柔性制造系统(FMS)

柔性制造系统是由两台以上的数控机床或加工中心、其他加工设备和一套能自动装卸物料的系统等组成,在计算机的控制下进行制造的自动化生产系统。它能根据制造系统任务或生产环境的变化迅速进行调整,适用于多品种、中小批量生产。其特点是高效率、高柔性及高自动化等。

(2) 计算机集成制造系统(CIMS)

计算机集成制造系统是一个集产品设计、制造、经营、管理为一体,以柔性技术、计算机技术、信息技术、自动化技术、现代管理科学为基础的多层次、多结构的复杂系统。它由 4 个功能分系统和 2 个支撑分系统构成,即由管理信息系统、产品设计与工艺设计的工程设计自动化系统、制造自动化系统(柔性制造)、质量保证系统等功能分系统,计算机网络系统及数据库系统等支撑分系统组成。在 CIMS 系统中,综合应用了 CAD、CAPP(computer aided process planning)、CAM、NC 机床、加工中心、物料传输以及计算机信息管理自动化等技术,可把整个工厂的生产活动有机地联系在一起,实现全厂性综合自动化。

复 习 题

- 1-1 数控机床的组成与工作原理如何?
- 1-2 何谓硬件数控(NC)? 何谓软件数控(CNC)?
- 1-3 什么是点位控制、点位直线控制、轮廓控制机床? 各有何特点?
- 1-4 何谓开环、闭环和半闭环控制数控机床? 各有何特点?
- 1-5 MNC, FMC, FMS, DNC, CIMS 含义如何?
- 1-6 常用信息载体有哪些?
- 1-7 常用伺服驱动元件有哪些? 各用于哪种场合?
- 1-8 ATC, APC 含义如何?
- 1-9 数控装置常采用的插补方法有哪两大类? 其特点如何?
- 1-10 机床数控技术的发展趋势如何?