

21世纪职业高中数控专业系列教材

数控机床 及其程序编制

SHUKONG JICHUANG JIQI CHENGXU BIANZHI

王筱薇 主编



..... 浙江大學出版社

21 世纪职业高中数控专业系列教材

数控机床及其程序编制

主 编 王筱薇

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及其程序编制 / 王筱薇主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2003. 8

(21 世纪职业高中数控专业系列教材)

ISBN 7-308-03430-5

I. 数... II. 王... III. 数控机床—程序设计—职业高中—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 071812 号

责任编辑 樊晓燕

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江上虞印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 9.25

字 数 180 千

版 印 次 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数 0001—4000

书 号 ISBN 7-308-03430-5/TG·019

定 价 15.00 元

21 世纪职业高中数控专业系列教材

编 委 会

主 任 程叔重

副主任 王筱薇 华康清 崔 陵 潘美祥

编委(以姓氏笔划为序)

王 平	安吉工业职业高中	陆志松	富阳职业高中
王筱薇	宁波职教中心学校	陆海潮	宁波北仑职业高中
方强华	温州机械职业技术学校	陆建平	临海职业技术学校
毛建军	江山职业中专	张裕良	舟山职业技术学校
占云荣	开化职教中心	郭丽萍	诸暨轻工技校
朱丽芬	余姚第三职业技术学校	徐松柏	临安昌化职业高中
华康清	永康职业技术学校	崔 陵	浙江省教育厅职成教 教研室
李云贵	台州椒江职业中专	程叔重	杭州临平职业高中
任宜峥	杭州市职教研究中心	蒋安明	萧山第四中等职业学校
房春泉	德清职业中专	傅云峰	义乌城镇职业技术学校
杨宝林	仙居职业中专	潘美祥	新昌职业技术学校
杨泰正	湖州职教教研室	戴毅群	金华第一中等职业学校
杨福新	萧山第一中等职业学校		

序

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术正在发生着深刻的变革,传统的普通加工设备已难以适应市场对产品高品质、高效率、多样化的要求,而以数控技术为核心的现代化制造技术正在逐步取代传统的机械制造技术。

据《人民日报》报道:“制造设备的大规模数控化使企业急需一大批数控编程、数控设备操作及维修人员。然而数控人才奇缺现象十分普遍,在浙江、深圳、上海、山东等沿海发达地区尤为明显。”浙江省近年来把发展先进制造业提高到发展经济的战略高度,使机械行业发生了革命性的变化。但目前浙江省职业高中使用的教材已不能适应这种变革。2002年,在浙江省职业高中机械教研大组年会上,与会的领导、专家、教师形成了共识,由省内数十所职业高中、中专、技校共同开发一套适合于中职教学的数控加工技术专业的系列教材。本套教材共四本,分别为《数控加工工艺》、《数控机床及其程序编制》、《数控加工自动编程技术》和《数控机床操作入门》,适用于作为数控加工技术专业的核心专业课程教材,也可作为机械类专业的选修课教材。

编写这套教材的宗旨是:

1. 适合职业高中学生的学习及心理特点,力求做到以人为本,尽量做到深入浅出,生动活泼,增强亲和力。
2. 适当降低理论难度,突出技术技能和实际的可操作性。
3. 尽量贴近生产实际和生活实际,提高学生的学习兴趣。
4. 适度注意了内容的延续性及综合性。
5. 希望通过这套教材的教学、实验及实训后,学生能够适应现代企业生产实际的需要,在有经验的技术工人的指导下进行实际生产操作,通过较短时间的生产实习后即能独立操作,满足企业对数控一线人才的需要。

在这套教材的编写过程中,得到了浙江省教育厅黄新茂副厅长、浙江省教育厅职成教处叶向群处长、王志泉副处长的关心,得到了浙江省教育厅职成教教研室和各有关职业高中、中专、技校领导的大力支持,在此一并表示感谢。这里要特别感谢浙江大学现代制造工程研究所傅建中博士、乔晓东硕士在学术上的支持和帮助。

我们希望在教材出版和使用 2~3 年后,能吸收更新的理论、方法及成果,对教材进行修订再版,衷心希望各位同仁提出宝贵意见。

《21 世纪职业高中数控专业系列教材》

编委会

2003 年 8 月

前 言

《数控机床及其程序编制》是 21 世纪职业高中数控专业系列教材之一,可供职业高中、中专、技校学生使用,也可用于培训。

“数控机床及其程序编制”课程是一门综合了机床、计算机、数控技术及手工编程等专业技术知识的综合性课程,是职业高中数控专业学生的核心专业课。

本教材以为生产企业培养高素质劳动者和中初级专门人才为目标,对数控知识体系进行了整体优化,选取了最基本的概念、原理和编程实例,语言通俗易懂,生动活泼,理论够用,注重实践,以增强学生的学习兴趣,增强了实用性。

本书主要内容有:数控机床概述;数控机床机械结构;计算机数控系统;数控机床编程基础;数控镗铣加工及手工编程;数控车削加工及手工编程。

参加本书编写的有:杭州市临平职业高级中学冯国民,宁波市北仑职业高级中学俞洪海,仙居县职业中等专业学校应国忠,浙江金鹰技工学校许金伟。

浙江大学现代制造工程研究所傅建忠博士、乔晓东硕士为本书的编写提供了大量的学术上的支持和帮助,在此致以衷心的感谢。

本教材的教学时数建议为 70~80 学时,各章的学时分配如下(仅供参考):

序 号	内 容	课时	学时分配	
			理论	实训
第一章	数控机床概述	6	4	2
第二章	数控机床机械结构	14	10	4
第三章	计算机数控系统	10	8	2
第四章	数控机床编程基础	12	8	4
第五章	数控镗铣加工及手工编程	20	12	8
第六章	数控车削加工及手工编程	18	10	8

编 者

2003 年 8 月

目 录

第一章 数控机床概述.....	(1)
第一节 数控机床的基本概念.....	(3)
第二节 数控机床的基本类型.....	(8)
第三节 数控机床的发展趋势.....	(11)
本章复习提纲.....	(13)
复习题.....	(14)
第二章 数控机床机械结构.....	(15)
第一节 数控机床机械结构的主要特点与基本要求.....	(17)
第二节 数控机床主传动系统.....	(18)
第三节 数控机床进给系统.....	(24)
第四节 回转工作台.....	(33)
第五节 自动换刀装置.....	(36)
第六节 其他功能元件.....	(42)
本章复习提纲.....	(44)
复习题.....	(44)
第三章 计算机数控系统.....	(47)
第一节 概 述.....	(49)
第二节 CNC 的体系结构	(52)
本章复习提纲.....	(68)
复习题.....	(68)
第四章 数控机床编程基础.....	(69)
第一节 数控加工编程概述.....	(71)
第二节 数控编程的工艺原理.....	(74)

第三节 常用数控编程指令及其格式·····	(82)
本章复习提纲·····	(90)
复习题·····	(90)
第五章 数控镗铣加工及手工编程·····	(91)
第一节 数控镗铣加工中的基本工艺问题·····	(93)
第二节 常用编程指令的应用·····	(95)
第三节 简单二维轮廓零件的数控加工编程举例·····	(101)
第四节 子程序的应用及其手工编程举例·····	(103)
本章复习提纲·····	(105)
复习题·····	(106)
第六章 数控车削加工及手工编程·····	(107)
第一节 数控车削加工中的基本工艺问题·····	(109)
第二节 常用编程指令的应用·····	(114)
第三节 几种常见的数控车削加工·····	(119)
本章复习提纲·····	(134)
复习题·····	(134)

第一章

数控机床概述

引言

你既然选择了数控专业,想必对“数控”两字已有一定的知晓,但数控机床是怎么产生的?NC 是什么含义?数控机床结构如何?基本工作原理怎样?它具有哪些不同的类型?有何功能和特点?等等,或许你并不完全理解,而作为一名数控技术方面的专业技术人员,这些你都必须掌握。不要紧,通过对本章的学习,你会轻而易举地认识并理解,不信试试看。

第一节 数控机床的基本概念

一、数控机床的产生

数控机床简称 NC 机床,英文名称为 Numerical Control Machine Tools,它将加工过程所需的各种操作和步骤以及刀具与工件间的相对位移量都用数字化代码来表示,通过控制介质将数字信息送入计算机,由计算机对输入的信息进行处理与运算,然后发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具外,只需更换一条新的程序,不需要对机床作任何调整。

1952 年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作研制成功了世界上第一台数控机床(三坐标数控铣床),那时采用的是由电子管元件(而不是今天的半导体元件及大规模集成电路)构成的专用计算机,以及用电子电路联接成的逻辑运算与控制部件。1955 年,该类机床进入了实用化阶段。我国从 1958 年开始研制数控机床。到 20 世纪 80 年代初,开始引进国外的数控装置和伺服系统为国产主机配套,这使得我国数控机床在品种、数量和质量方面得到迅速发展。典型的国产产品有航天工型、华中工型、华中-2000 型等国产高性能数控系统。与发达国家相比,我们还有差距,但这种差距正在缩小。

二、数控机床的构成及基本工作原理

数控机床加工工件的过程如图 1-1 所示。

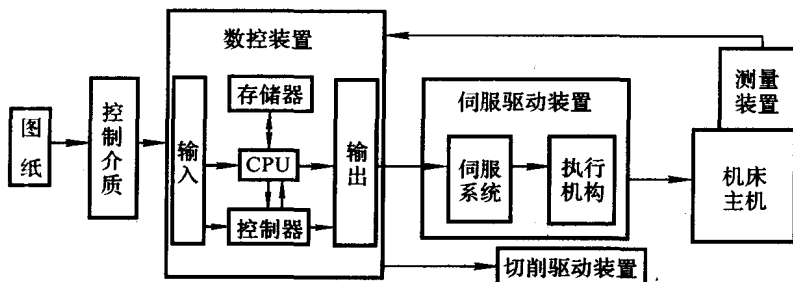


图 1-1 数控机床工作过程框图

在数控机床上加工工件时,首先要根据零件图纸制订出加工方案,然后把图纸上的要求变成数控装置能够接受的信息代码,将其按一定的格式编写成程序并且记录在控

制介质上,这就是程序编制的过程。

用键盘或连接上级计算机直接将指令或设定参数输入数控装置,数控装置对信息代码进行译码、寄存,经处理和运算,把结果以数字信号的形式分配给机床各坐标的伺服机构。

由数控装置发出的脉冲信号,通过伺服机构(如步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机),经传动装置(如滚珠丝杠螺母副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合图纸要求的零件。

由上述数控机床的工作过程可知,数控机床主要由数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置构成(见图 1-1)。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

1. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。

现代数控装置均采用 CNC 形式,英文名称为 Computer Numerical Control,意思是计算机数字控制。这种 CNC 装置一般使用多个微处理器(早期的 CNC 装置大多采用单微处理器),以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(英文名称为 Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件,从而加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入装置、运算控制器、输出装置三个基本部分构成,即 CNC 系统的输入—决策—输出三个方面。所有的这些工作都通过计算机的系统软件进行合理的组织,使整个系统协调地进行工作。

(1) 输入装置

将数控指令输入给数控装置通常采用以下几种方式:

1) 纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序,直接控制机床运动,也可以将纸带内容读入存储器,用存储器中储存的零件程序控制机床运动。此方式目前很少使用。

2) 手动输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令。

3) DNC(直接数控)输入方式。把零件程序保存在上级计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自上级计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2) 控制器与运算器

控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器与输出装置,来实现对机床的各种操作(如工作台沿某一坐标轴运动、主轴变速或冷却液的开关等)以及控制整机的工作循环(控制运算器的运算、控制输出信号等)。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断地向输出装置送出运算结果,使伺服系统执行所要求的运动。因此,运算器是按照控制器的指令信号,对输入装置的输入数据进行运算,并按控制器的控制信号向输出装置发出进给脉冲。而控制器则是按信息代码去控制运算器、输入装置、输出装置,使机床按规定要求进行工作。

(3) 输出装置

输出装置与伺服机构相联。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲,并把它送到各坐标的伺服控制系统,经过功率放大,驱动伺服系统,从而控制机床按规定要求运动。

2. 伺服驱动装置

伺服驱动装置是数控装置与机床的联接环节,是数控机床执行机构的驱动部件。伺服驱动装置的作用是把来自数控装置发出的脉冲信号,经功率放大、整形处理后,转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。

伺服驱动装置包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电机、进给伺服电机组成。步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机是常用的伺服元件。执行机构由相应的驱动装置来驱动。

由数控装置发出的指令信号分别通过主轴驱动单元和进给驱动单元对数控机床的主轴系统中主轴的旋转运动与进给系统中坐标轴的进给运动进行控制。

由于伺服装置是数控机床的最后环节,伺服驱动装置的性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标。因此,对数控机床的伺服驱动装置,要求具有良好的快速反应性能,准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号,并能忠实地执行来自数控装置的指令,提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

3. 机床主机

机床主机是数控机床的主体。包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是数控机床自动地完成各种切削加工的机械部分。

数控机床主机的主要结构特点如下:

(1) 采用具有高刚度、高抗振性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗振性,使机床主机能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施,可减少热变形对机床主机的影响。

(2) 采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置(特别是现代数控机床),使数控机床的传动链缩短,可简化机床机械传动系统的结构。

(3)采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和传动元件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等传动元件。

4. 数控机床的辅助装置

辅助装置作为数控机床的配套部件,是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置。常用的辅助装置包括气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护、照明装置等。

气动和液压装置是应用气动、液压系统,使机床完成自动换刀所需的动作,实现运动部件的制动和滑移齿轮的变速移动,完成工作台的自动夹紧和松开,工件、刀具定位表面的自动吹屑等辅助功能。

排屑装置的作用是将切屑从加工区域排出。迅速有效地排除切屑是保证数控机床高效率地自动进行切削加工的必要措施。

回转工作台和数控分度头能按照数控装置发出的指令信号做连续的回转进给运动或回转分度运动,是加工中心、数控铣床中常用的辅助装置。

三、数控机床的适用范围

现代大工业生产中已广泛采用刚性自动化装置,如汽车工业中大量采用的组合机床自动线。这类专用化的自动机床、自动生产线及自动车间等所谓“刚性制造系统”适用于大批量零件的生产,其生产效率高,经济效益好。但是,这种刚性制造系统很难改变已定的加工对象,适应产品变化的范围小。

数控机床是一种可编程的通用加工设备,但是因设备投资费用较高,还不能用数控机床完全替代其他类型的设备,因此,数控机床的选用有其一定的适用范围。数控机床最适宜加工结构比较复杂、精度要求高的零件,以及产品更新频繁、生产周期要求短的多品种小批量零件的生产。

图 1-2 粗略地表示了数控机床的适用范围。从图 1-2 (a)可看出,通用机床多适用于零件结构不太复杂、生产批量较小的场合;专用机床适用于生产批量很大的零件;数控机床对于形状复杂的零件尽管批量小也同样适用。随着数控机床的普及,数控机床的适用范围也愈来愈广,对一些形状不太复杂而重复工作量很大的零件,如印制电路板的钻孔加工等,由于数控机床生产率高,也已大量使用。因而,数控机床的适用范围已扩展到图 1-2(a)中阴影所示的范围。

图 1-2(b)表示当采用通用机床、专用机床及数控机床加工时,零件生产批量与零件总加工费用之间的关系。据有关资料统计,当生产批量在 100 件以下时,用数控机床加工具具有一定复杂程度的零件,加工费用最低,能获得较高的经济效益。

由此可见,数控机床最适宜加工以下类型的零件:

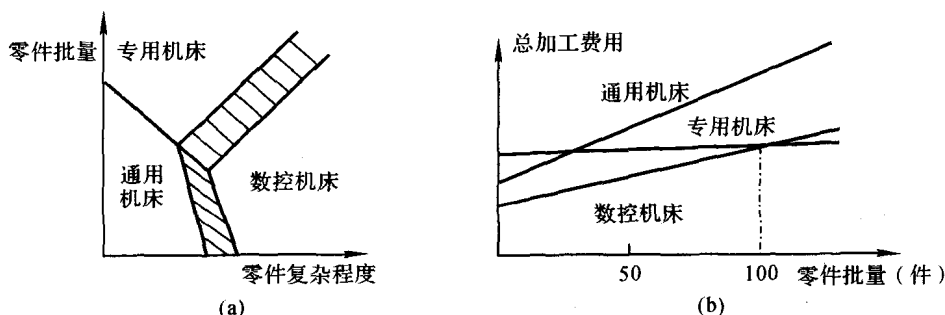


图 1-2 数控机床的适用范围

- (1) 生产批量小的零件(100 件以下);
- (2) 需要进行多次改型设计的零件;
- (3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件,如箱体类,曲线、曲面类零件;
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件;
- (5) 价值昂贵的零件,这种零件虽然生产量不大,但是如果加工中因出现差错而报废,将产生巨大的经济损失。

四、数控机床的特点

数控机床能较好地解决复杂、精密、小批多变的零件加工问题,是一种灵活、高效的自动化机床。它与其他通用机床和专用机床相比,具有以下主要特点。

(1) 提高加工零件的精度,稳定产品的质量。数控机床的加工精度一般在 $0.005 \sim 0.100\text{mm}$ 之间,加工精度不受零件复杂程度的影响,同时用数控机床加工的零件精度不受操作者技术水平的影响,使同一批零件加工的一致性较好,产品质量稳定。

(2) 能完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件加工。例如,采用二轴联动或二轴以上联动的数控机床,可加工母线为曲线的旋转体曲面零件、凸轮零件和各种复杂空间曲面类零件。

(3) 生产率高。与普通机床相比,采用数控机床可提高生产率 $3 \sim 5$ 倍,尤其对某些复杂零件的加工,如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心,可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工,生产率可提高十几倍甚至几十倍。

(4) 对产品改型设计的适应性强。当被加工零件改型设计后,在数控机床上只需要重新编写和手动输入新零件的加工程序,就能实现对改型设计后零件的加工。因此,数控机床可以很快地从加工一种零件转换为加工另一种改型设计后的零件,这就为单件、小批量新试制产品的加工,为产品结构的频繁更新提供了极大的方便。

(5) 有利于管理的现代化。用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并

有效地简化检验和工夹具、半成品的管理工作,有利于生产管理的现代化。

(6)有利于制造技术向综合自动化方向发展。数控机床是机械加工自动化的基本设备,是新一代生产技术柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的基本工作单元。以数控机床为基础建立起来的FMC, FMS, CIMS等综合自动化系统使机械制造的集成化、智能化和自动化得以实现。这是由于数控机床控制系统采用数字信息与标准化代码输入并具有通信接口,容易实现数控机床之间的数据通信,最适宜计算机之间的连接,组成工业控制网络,实现自动化生产过程的计算、管理和控制。

(7)减轻工人劳动强度、改善劳动条件。

第二节 数控机床的基本类型

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

一、按运动轨迹分类

1. 点位控制系统

这类控制系统的特点是只控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一位置(点),不控制点与点之间的运动轨迹,在移动过程中刀具不进行切削。为了既提高生产效率又保证定位精度,机床工作台(或由刀架)移动时采用机床设定的最高进给速度快速移动,在接近终点前进行分级或连续降速,达到低速趋近定位点,减少因运动部件惯性引起的定位误差。点位控制系统常用于数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机及数控测量机等,如图1-3(a)所示。

2. 点位直线控制系统

这类控制系统的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外,还要求机床移动部件由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线,并能控制位移的速度,这是因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工。直线控制系统的刀具切削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动,或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工。采用这类控制系统的机床有数控车床、数控镗铣床、加工中心机床等,如图1-3(b)所示。为了刀具磨损后在调整重磨后的刀具或更换刀具时能比较方便地得到合格的零件,这类机床的数控系统常具有刀具半径补偿功能、刀具长度补偿功能和主轴转速控制功能等。