



中等职业教育应用型特色规划教材
职业教育与成人教育推荐教材

数控编程与加工

Shu Kong Bian Cheng Yu Jia Gong

主 编 李 松 徐冰川
副主编 王 岗 宣国强 蒋 意

上海科学普及出版社

Shanghai Scientific Popularization Press

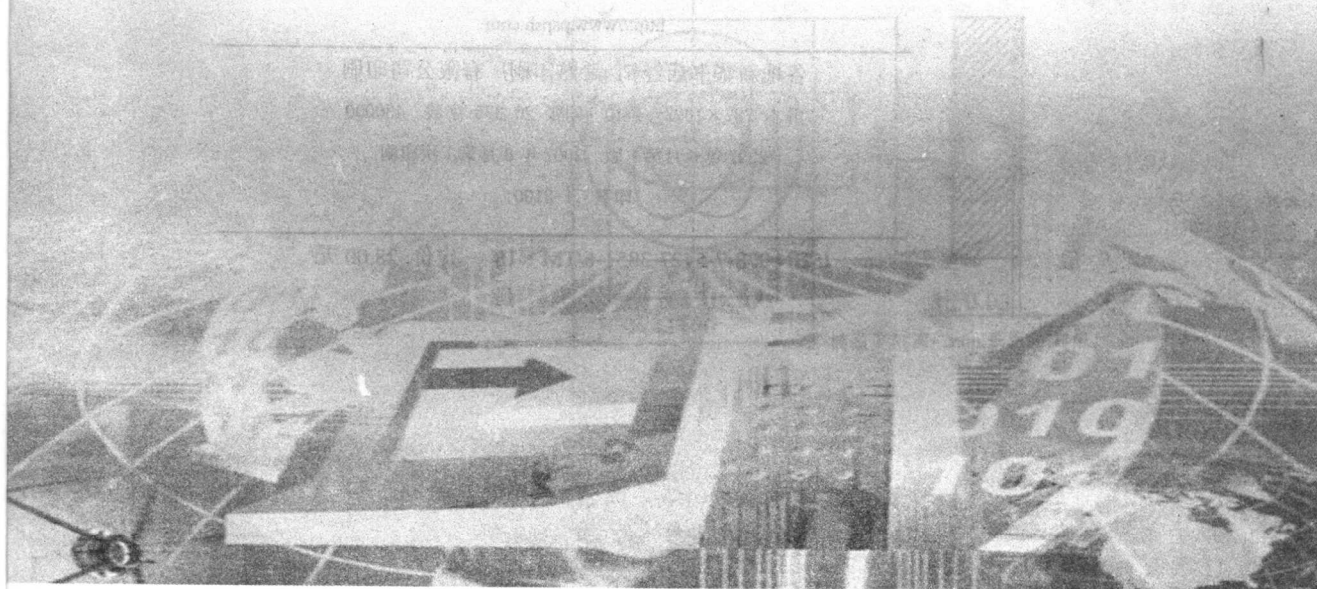


中等职业教育应用型特色规划教材
职业教育与成人教育推荐教材

数控编程与加工

主 编 李 松 徐冰川

副主编 王 岗 宣国强 蒋 意



上海科学普及出版社

Shanghai Scientific Popularization Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程与加工/李松, 徐冰川主编.—上海: 上海科学普及出版社, 2007.8

ISBN 978-7-5427-3851-6

I. 数… II. ①李…②徐… III. ①数控机床—程序设计
②数控机床—加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 134174 号

责任编辑 徐丽萍

数控编程与加工

李 松 徐冰川 主 编

王 岗 宣国强 蒋 意 副主编

上海科学普及出版社出版发行

上海中山北路 832 号 邮政编码 200070

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 常熟印刷厂有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.375 字数 430000

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印数 1-3100

ISBN 978-7-5427-3851-6/TM · 18 定价: 28.00 元

本书根据教育部颁布的中等职业学校数控专业《数控编程与加工》教学大纲和中等职业教育教学改革的要求为依据,结合作者多年从事中等职业学校数控类课程教学的实践经验,并引入项目教学法而编写的。

本教材从培养应用型人才的目标出发,按照项目教学的模式,讲述了数控机床的原理和特点、插补原理、数控加工的工艺知识、编程方法和技巧、数控机床数据传输和数控车床、铣床的操作方法等。本教材涉及到的系统有FANUC oi和SIEMENS 802D。

针对中等职业教育重在实践能力和职业技能的培养,本教材将传统讲授教学法与任务引领的项目教学法融合起来,在第一、二、七和八章采用传统讲授教学法和现场教学法相结合,第三到六章则采用任务引领的项目教学法,以充分激发学生的学习兴趣,提高教学效果,最终使学生具备本专业高素质劳动者和高级技术工人所必需的数控理论知识和技能。书中列举大量新例。有习题,便于读者练习和巩固提高。

本书由李松、徐冰川担任主编,王岗、宣国强、蒋意担任副主编,参加编写的还有邬玉晶、黄冬英、张波、陈传厚等老师,在此一并表示感谢。

书中疏漏错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年7月

目 录

MULU

第一章 数控机床与编程概述

- 1.1 数控技术的产生与发展 /1
- 1.2 数控机床的控制原理与系统组成 /4
- 1.3 数控机床特点与分类 /6
- 1.4 数控机床坐标系 /13
- 1.5 称续结构与程序段格式 /20

第二章 数控工艺基础

- 2.1 数控加工中的数学处理 /28
- 2.2 数控加工工艺分析与设计 /36
- 2.3 数控加工工艺装备 /56
- 项目一 轴类零件数控车削工艺分析 /64
- 项目二 套类零件数控车削工艺分析 67
- 项目三 数控铣削工艺分析 /69

第三章 数控车床系统编程 (FANUC-0I 车床系统)

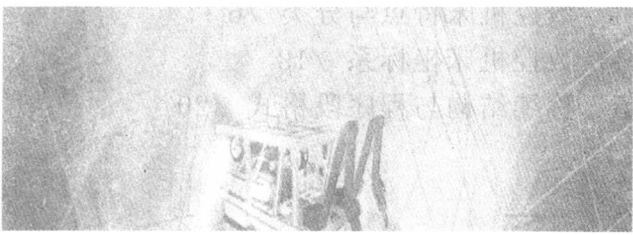
- 3.1 概述 /72
- 3.2 面板操作 /75
- 3.3 指令系统 /86
- 3.4 用户宏编程 /126
- 项目一 国际象棋零件的车削 /134
- 项目二 酒杯零件的车削 /136
- 项目三 螺纹配合零件的车削 /138

第四章 数控车床系统编程 (SIEMENS 802D 车床系统)

- 4.1 概述 /141
- 4.2 面板操作 /143
- 4.3 指令系统 /154
- 4.4 例题 /171
- 项目一 国际象棋的车削 /173
- 项目二 酒杯零件的车削 /175
- 项目三 螺纹配合零件的车削 /176



第五章 数控铣床系统的编程 (FANUC-0i-MB铣床系统)



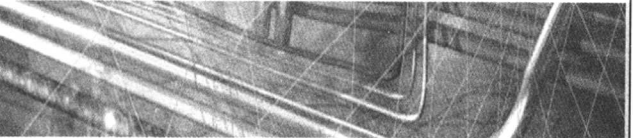
第六章 数控铣床系统的编程 (SIEMEN 802D铣床系统)



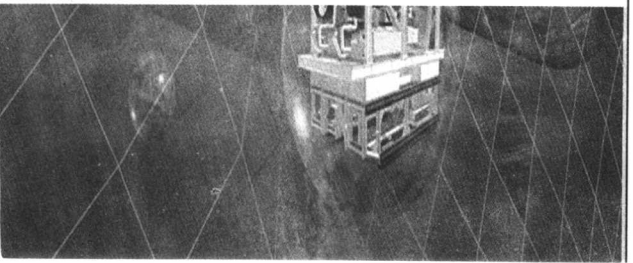
第七章 数控机床数据通信



第八章 数控机床的保养与维护



附录



- 5.1 概述 /182
- 5.2 程序与指令结构 /183
- 5.3 面板操作 /183
- 5.4 指令系统 /191
- 项目一 椭圆凸台加工 /216
- 项目二 烟灰缸零件的加工 /219
- 项目三 简单冲压模零件的加工 /221

- 6.1 面板操作 /223
- 5.2 指令系统 /235
- 项目一 椭圆凸台加工 /252
- 项目二 烟灰缸的制作 /255
- 项目三 冲压模的制作 /257

- 7.1 行通信连接 /260
- 7.2 单机通信 /264
- 7.3 多机联控方案 /275
- 项目一 用CIMCO DNC-MAX实现
机床与计算机的远程通信 /284

- 8.1 数控机床的日常维护 /285
- 8.2 数控机床常见故障的处理方法 /288

- 附一 各系统指令表 /294
- 附二 数控车工技能考试理论题 /304
- 附三 数控铣工技能考试理论题 /313
- 附四 常用零件图 /317

第一章 数控机床与编程概述

1.1 数控技术的产生与发展

1.1.1 数控与数控机床

1. 概念

数字控制(Numerical Control)技术,简称数控(NC)技术,是20世纪中期发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信息对机械设备的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

采用数控技术的控制系统称为数控系统。数控系统是能逻辑地处理输入到系统中的具有特定代码的程序,通过译码形成机床运动并加工零件的程序的控制系统。

采用通用计算机硬件结构,用控制软件来实现数控功能的数控系统,称为计算机数控(CNC)系统。

装备了数控系统的设备称为数控设备,装备了数控系统的机床,称为数控机床(Numerical Control Machine Tool)。数控机床是典型的数控设备,它的产生和发展是数控技术产生和发展的重要标志。

2. 数控机床的产生

随着科学技术的发展,对机械产品加工的精度、效率、柔性及自动化要求越来越高,产品类型由大批、大量向多品种、小批量生产转化,更新换代越来越快。传统的通用、专用机床和工艺装备已经不能很好地适应加工的要求。因此,一种通用、灵活、能够适应于产品频繁变化的数控机床应运而生。

1948年,美国帕森斯(PARSONS)公司在研制加工直升机叶片轮廓用检查样板的机床时,首先提出了数控机床的设想,后来得到美国空军的支持,并与美国麻省理工学院(MIT)合作,于1952年研制出第一台三坐标轴数控铣床。1954年底,美国本迪克斯公司在此基础上生产出了第一台工业用的数控机床,第一代数控系统就此诞生。

随着晶体管的问世,电子计算机开始应用晶体管元件和印刷电路板,从而使数控系统进入了第二代。1959年,美国克耐。杜列克公司(K&T公司)研制成功带有自动换刀装置的加工中心(MC)。加工中心的出现,把数控机床的应用推上了一个新的层次,为以后各类加

工中心的发展奠定了基础。

20世纪60年代,出现了集成电路,数控系统进入了第三代。在该阶段,点位控制数控机床得到了大发展。据资料统计,到1966年,实际使用的6000台数控机床中,85%是点位控制数控机床。

20世纪60年代末,出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称DNC,又称群控系统)。随着计算机技术的发展,小型计算机逐渐应用于数控机床中,由此组成的数控系统称为计算机数控(CNC)系统,数控机床系统进入了第四代。

1974年微处理器开始用于数控系统,美国、日本、德国等发达国家推出了以微处理器为核心的微型机数控系统(MNC,统称为CNC),这是第五代数控系统。自此,开始了数控机床大发展的时代。

经过几年的发展,数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高,自20世纪70年代末到80年代,数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从20世纪90年代开始,PC机的发展日新月异,基于个人计算机(PC)平台的数控系统(称为PC数控系统)应运而生,数控系统的发展进入了第六代。目前市场上流行的和企业中普遍使用的仍然是第五代数控系统,其典型代表是日本的FANUC-O系列和德国的SINUMERIK810系列数控系统。

3. 我国数控机床发展史

我国于1958年开始研制数控机床,一些高等院校、科研单位、企业从采用电子管着手,到20世纪60年代研究出部分样机,在推广使用数控机床方面取得了一定的成绩。

20世纪60年代中期诞生了第一台带直线圆弧插补的晶体管数控系统,并逐步进入实用阶段,它们以单片机作为控制核心,多以数码管作为显示器,用步进电动机作为执行元件。

到20世纪70年代末共生产了4108台数控机床,其中大部分是数控线切割机床,这是由于数控系统的稳定性、可靠性在这一时期尚未被很好地解决,而数控线切割机床由于结构简单,得到了较快的发展。

到20世纪80年代,通过引进日本、德国等先进的数控技术,我国自行开发了立式、卧式加工中心、数控车床、数控铣床等多种数控机床。它们具有完备的手动操作面板和友好的人机界面,可以配直流或交流伺服驱动,实现半闭环或闭环的控制,能对2~4轴进行联动控制,具有刀库管理功能和丰富的逻辑控制功能。同时还在立式、卧式加工中心基础上,配置10个工件位置的自动交换工作台,组成柔性制造单元,并相应地建造了规模较大的柔性制造系统(FMS)。80年代末期,我国还在一定范围内探索实施计算机集成制造系统(CIMS),且取得了一些经验和教益。

到20世纪90年代,我国生产的数控机床已达300余种,一些较高档次的五轴联动数控系统也已开发出来。如航天I型、华中I型、华中-2000型等高性能数控系统,实现了高速、高精度和高效经济的加工效果,能完成高复杂度的五坐标曲面实时插补控制,可加工出较复杂的整体叶轮及复杂刀具。特别应当指出的是:如今基于PC机的开放体系的计算机数控装置也开始装备到机床上,从此以后,我国的数控技术将向高档数控机床发展。

目前,我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心机床。与发达国家相比,我们虽然还有差距,但这种差距正在缩小。



1.1.2 数控机床的发展方向

现代数控机床是机电一体化的典型产品,是新一代制造系统,是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的技术基础。现代数控机床的发展趋势是高速化和高精度化、复合化和柔性化、多功能化、智能化、通信化和网络化、小型化和一体化。主要发展方向是研制开发软、硬件都具有开放式结构的智能化全功能通用数控装置。如德国西门子推出的 SINUMERIK 840D 系统、美国 CINCINNATI 的 A2100 系统以及日本 FANUC 的 180/210 系统都是以 32 位微处理器为核心的 CNC 系统,是实现上述目标的产品。

1. 数控系统的发展

(1) 高速化和高精度化

要实现数控设备高速化,采用 32 位以及 64 位微处理器是提高 CNC 速度的有效手段,主频达到几百、上千赫兹,甚至更高。20 世纪 90 年代出现的精简指令集芯片的数控系统(如 FANUC-16 等),可进一步提高微处理器的运算速度。在数控设备高速化中,提高主轴转速占有重要地位。主轴高速化的手段是采用内装式主轴电机。目前高速主轴单元转速已达到 8 000~12 000r/min,最高的可达 100 000r/min 以上。

工件加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前新型数控机床具有很高的分辨率,达到 $0.1\mu\text{m}$,有的甚至达到 $0.01\mu\text{m}$ 和 $0.001\mu\text{m}$ 。为进一步提高精度,除了保证数控机床制造的几何精度和良好的结构等特性外,可通过减少数控系统的控制误差和采取一定的补偿技术来实现。

(2) 复合化和柔性化

复合化包括工序复合化和功能复合化。工件在一台设备上一次装夹后,通过自动换刀等各种措施,来完成多种工序和表面的加工。在一台数控设备上能完成多工序切削加工(如车、铣、镗、钻、铰、攻螺纹等)的加工中心,可以替代多机床和多装夹的加工,既能提高每台机床的加工能力,减少半成品库存,又能提高加工精度,打破了传统的工序界限。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,不但拥有更高的加工精度,而且可以提高工作效率,节约占地面积和投资。

柔性是指数控机床适应加工对象的变化能力,柔性的发展包括单元柔性和系统柔性。单元柔性主要通过增加刀库和自动换刀机械手,采用多主轴和交换工作台等方式实现。系统柔性指配以工业机器人和自动运输小车等组成柔性制造单元(FMC)或柔性制造系统(FMS)。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,通过重组和编辑,视需要系统可大可小;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。

(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 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;有的甚至可以实现无人值守运行。

随着 CPU 的运算速度和位数的不断提高、多 CPU 的出现以及各类功能模块的不断完善,CNC 系统的控制功能已变得非常丰富,具备如多轴联动的控制轴功能、加工过程中的准备功能、插补功能、进给功能、刀具功能、主轴功能、图显功能、辅助功能、补偿功能、固定



循环功能、通信功能及人机对话编程功能等各项功能。

(4) 智能化

为适应制造业生产高度柔性化、自动化的需要,随着模糊数学、神经网络、数据库、知识库、决策形成系统、专家系统、现代控制理论与应用等技术的发展,数控设备的智能化程度得到不断的提高。数控机床的智能化主要体现在如下几个方面:应用自适应控制技术;引入专家系统指导加工;采用故障自诊断功能和智能化交流伺服驱动装置。

(5) 通信化和网络化

CNC 系统通常具有 RS-232 接口,有的还备有 DNC 接口,设有缓冲寄存器,可用数控格式输入,也可以用二进制格式输入进行高速传输。有的 CNC 系统可与 MAP(制造自动化协议)相连,接入工厂的通信网络,适应柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的要求。

实现多种通信协议,既满足单机需要,又能满足 FMS、CIMS 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) 小型化和一体化

机电一体化技术的发展对数控装置提出了小型化的要求,以便将机、电装置揉合为一体。目前许多 CNC 装置采用最新的大规模集成电路(LSI),新型 TFT 彩色液晶薄型显示器和表面安装技术,实现三维立体装配,消除了整个控制逻辑机架。机械结构小型化以缩小体积,同时伺服系统和机床主体进行很好的机电匹配,提高数控机床的动态特性。

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、加工一体化;加工、实时检测与修正一体化;机床主体设计与数控系统设计一体化。

1.2 数控机床的控制原理与系统组成

1.2.1 数控系统与控制原理

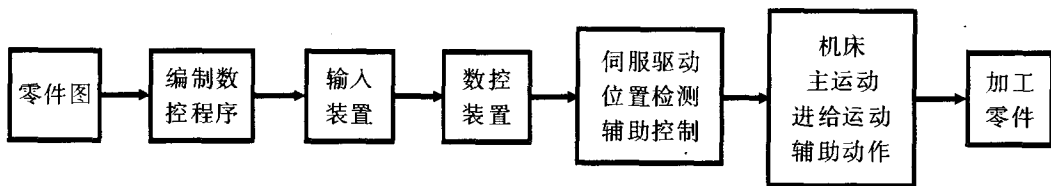


图 1-1 数控机床的工作原理图

机床的数字控制是由数控系统来完成的。数控系统包括数控装置、伺服系统、检测反馈装置和可编程序控制器等。

数控机床的工作原理如图 1-1 所示,在数控机床上加工零件时,要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数,将所用刀具、刀具运动轨迹与速度、主轴转速与旋转方向、冷却等辅助操作以及相互间的先后顺序,以规定的数控代码形式编制成程序,然后通过手动数据输入(MDI)方式或与计算机通信等方式将数控加工



程序送到数控系统,在数控系统控制软件的支持下,数控装置再对程序进行翻译、运算后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,驱动机床各运动部件及辅助装置进行有序的动作与操作,实现刀具与工件的相对运动,最后加工出合格的零件。

1.2.2 数控机床的组成

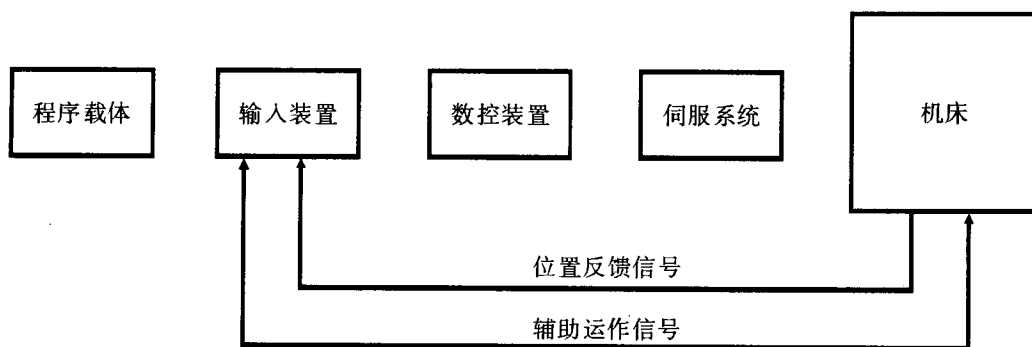


图 1-2 数控机床的组成

如图 1-2 所示,数控机床一般由程序载体、输入输出装置、数控装置(CNC 装置)、伺服系统、检测反馈装置和机床本体组成。

1. 程序载体

程序载体也称为控制介质。数控机床是按零件加工程序运行的,零件加工程序中包含了加工零件所需的全部操作信息、刀具相对工件的相对运动路径信息和工艺信息等,信息是以代码的形式按规定的格式存储在一定的载体上。常用的信息载体有穿孔纸带、录音磁带、软硬磁盘等。通过数控机床的输入装置,可将信息载体上的程序信息输入到数控系统。

2. 输入输出装置

输入输出装置是用户与 CNC 系统的接口。存储在信息载体上的加工程序(数控代码)需通过输入装置送给 CNC 装置。

数控机床的典型输入设备有光电阅读机、磁带机、软盘驱动器及键盘(MDI 方式)等。早期的程序输入方式为穿孔纸带、磁带等。目前较多采用的是磁盘、手摇脉冲发生器及通信接口等方式。手摇脉冲发生器输入通常在调整机床和对刀时使用。通过数控装置的通信接口,数控程序可由上位机输入。在生产现场,特别是对一些简单的零件程序,也可采用按键、配合显示器(CRT)的手动数据输入(MDI)方式。现代数控系统一般还可以采用网络通信方式将数控加工程序传送到数控系统中。

输出装置包括打印机、存储器和显示器等。

3. 数控装置及辅助控制装置

数控装置是数控机床的控制核心,主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。数控装置的主要功能是由输入装置将程序中的加工信息传递给数控系统,经过逻辑电路或系统软件进行译码、运算和逻辑处理后,通过输出部分发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。由于数控机床的 CNC 系统完全由软件处理数字信息,因而具有真正的柔性化,可处理逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能得以大大提高。

辅助控制装置是连接数控装置和机床机械、液压部件的控制系统,一般采用可编程序控制器(PLC)进行控制。辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换以及对其他辅助装置的指令信息,经过必要的编译、逻辑判断和运算,经功率放大后直接驱动相应的部件以完成指令规定的动作。此外,行程开关和监控检测等状态信号也要经过辅助控制装置送给数控装置进行处理。

4. 伺服系统及位置检测装置

伺服系统是驱动机床执行机构运动的驱动部件,包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机等执行装置。伺服系统的主要功能是能快速响应数控装置发出的指令,驱动机床各坐标轴运动,同时能提供足够的功率和扭矩。伺服系统由驱动装置和执行元件组成,实际应用中执行元件有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机;伺服驱动电动机随控制系统的不同而不同,开环伺服系统常用步进电机;闭环(半闭环)伺服系统常用脉宽调速直流电机和交流伺服电机,目前较普及的是采用交流伺服电机。伺服系统的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、零件表面质量和生产率的重要因素之一。

在半闭环和闭环伺服驱动系统中,还有位置检测装置。位置检测装置由测量部件和相应的测量电路组成,用于检测伺服电动机的转角位移和数控机床执行机构(工作台)的直线位移,并发送反馈信号与指令信号进行比较,根据比较的结果由 CNC 装置发出指令,纠正所产生的偏差。测量反馈系统可分为半闭环和闭环两种,在半闭环系统中位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,是加工运动的实际机械部件。主要包括:主运动部件(如主轴部件、变速箱等)、进给运动部件(如工作台、刀架、拖板等)、支承部件(如床身、立柱等)以及冷却、润滑、排屑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心数控机床,还有存放刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)、自动工作台交换装置(APC)和自动托盘交换装置等部件。数控机床的主运动和进给运动都由单独的伺服电机驱动,因此,它的传动链短,结构比较简单。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工要求,机床的机械机构应具有较高的动态特性、动态刚度、耐磨性以及抗热变形的性能。

1.3 数控机床特点与分类

1.3.1 数控机床的特点

数控机床加工与普通机床加工从宏观上看并没有本质的区别,但数控机床本身具有高精度、高速度、复合化、柔性化、多功能化、智能化等一系列特征,因此必然在加工使用中表现出一些新的特点。与普通机床加工相比较,数控机床加工的特点可大致归结为如下几点:

1. 数控机床加工的优点

(1) 加工精度高

数控机床具有较高的加工精度,一般在 $0.005\sim 0.100\text{ mm}$ 之间。因为数控机床按照预定的加工程序进行自动加工,加工过程中不需要人工干预,消除了操作者人为的操作失误,加

工精度不受零件复杂程度的影响,而且数控机床的机械传动系统和机构都具有较高的精度、刚度和热稳定性,所以零件加工的一致性较好。另外,加工精度还可以利用软件来进行校正补偿,因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度及重复精度。这是用一般普通机床加工零件所无法保证和达到的。

(2) 生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间和辅助时间两部分,数控机床可以有效地减少这两部分时间,从而提高加工效率。

数控机床的主轴转速与进给量范围较普通机床要大得多,并具有恒线速度等功能,因而每道工序、工步、走刀都能采用最有利的切削用量,充分发挥工艺系统的潜能。数控机床具有良好的结构刚性和较大的功率,允许进行大用量的强力切削,从而有效地节省机动时间。

数控机床定位精度高,停机检测次数少,对工夹具的要求降低,免去了划线工作,加工准备时间短;在加工过程中,具有较高的重复精度,节省了对零件的检验时间;在零件改型时,只需稍微调整程序即可。这些都提高了生产效率(一般可提高约3~5倍)。如果使用能自动换刀的数控加工中心机床,配置数控转台或分度转台,可通过一次装夹,完成多道工序的连续加工,减少了工序间工件的运输时间,减少了工件装夹次数,生产效率可提高5~10倍,对某些复杂的零件,其生产率可提高十几倍甚至几十倍。

(3) 柔性好

所谓的柔性即适应性,是指数控机床随生产对象的变化而变化的适应能力。数控机床可以适应不同品种、规格和尺寸以及不同批量的工件加工。加工对象改变时,只需要重新编制后输入新程序就能实现对新零件的加工。它不同于传统的机床,不需要制造、更换工夹具和模具,更不需要重新调整机床。这就为复杂结构的单件或小批零件的生产及新产品的试制提供了极大的便利。此外,数控机床通常还能完成一些普通机床难以加工或根本无法加工的精密、复杂零件。

(4) 劳动强度低

数控机床的加工,操作者除了装卸零件、操作键盘、观察机床运行外,不需要进行繁重的重复性手工操作,其余的全部加工过程都是由数控机床自动完成的,直至零件加工完毕,这样不仅提高了生产的自动化程度,还简化了工人的操作难度,改善了劳动条件,使劳动强度大大降低。数控机床一般都具有较好的安全防护以及自动排屑、自动冷却、自动润滑等装置,操作者的劳动条件也得到了相应的改善。

(5) 能加工复杂型面

数控机床具有多轴联动功能,能加工普通机床难以加工或无法加工的复杂曲线、曲面,特别是对于形状复杂的多维曲面零件(如叶轮),加工非常方便。因此数控机床在宇航、造船、模具等行业中得到了广泛的应用。

(6) 有利于生产管理的现代化

数控机床加工能精确地估算零件的加工工时,并有效简化检验工作,减轻工夹具、半成品的管理工作,有助于精确编制生产进度表,有利于管理水平的提高。另外数控机床具有通信接口,可连接计算机,也可以连接到局域网上,可实现远程故障诊断及维修,因此可实现生产过程的计算机管理和控制。数控机床是计算机辅助制造(CAM)的初级阶段,也是CAM发展的基础,可向更高级的制造系统发展。



2. 数控机床加工的不足之处

- (1) 数控机床价格较贵, 加工成本高, 加大了起始阶段的投资。
- (2) 对工艺和编程要求较高, 加工中难以调整, 对操作人员的技术水平要求较高。
- (3) 技术复杂, 增加了电子设备的维护, 对设备使用、维护人员的技术水平要求较高。
- (4) 就目前而言, 对占机械加工总量 20%~30% 的大批大量生产, 数控机床无论是在投资还是加工效率方面均逊色于各类组合专用机床及其自动生产线。

3. 数控机床与普通机床的区别

数控机床与普通机床相比较, 除了以上提及的加工特点之外, 两者在对操作者的要求、加工精度、加工工艺等方面的区别, 如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床与普通机床的比较

数控机床	普通机床
操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能	要求操作者有长期的实践经验
加工精度高、质量稳定, 较少依赖操作者的技能水平	高质量、高精度的加工要求操作者具有较高的技能水平
编制程序花费的时间较多	适合加工形状简单、单一工序的产品
加工零件复杂程度高, 适合多工序加工	加工过程要求具有直觉和技巧
易于加工工艺标准化和刀具管理规范化	操作者以自己的方式完成加工, 加工方式多样, 很难实现标准化
适于长时间无人操作和加工自动化	加工的准备环节是必不可少的, 例如多余材料的预去除及夹具的制作等
适于计算机辅助生产控制	很难提高加工的专门技术, 不利于知识系统化和普及
生产率高	生产率低, 质量不稳定

1.3.2 数控机床的分类

数控机床的品种和规格繁多, 分类方法不一。数控机床可以根据不同的方法进行分类, 常用的分类方法有按数控机床加工原理分类、按数控机床运动轨迹分类、按进给伺服系统控制方式分类和按功能水平分类。

1. 按工艺用途分类

(1) 普通数控机床

如数控车、铣、钻、镗、磨床等, 而且每一类里又有很多不同型号的品种, 其加工原理是用切削刀具对零件进行切削加工。这类数控机床所能加工的零件工艺性与普通非数控机床相似, 所不同的是它能自动加工具有复杂形状的零件。

(2) 加工中心

这是一种在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置而构成的数控机床 (在实际生产中一般指具有铣功能的数控铣加工中心)。它与普通数控机床的区别是: 工件经一次装夹后, 控制系统就能控制机床自动地更换刀具, 连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。

(3) 多坐标数控机床

有些形状复杂的零件,(如螺旋桨、飞机机翼曲面以及其他复杂零件的加工等)用三坐标的数控机床还是无法加工,需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状。于是出现了多坐标的数控机床,其特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,坐标轴数的多少通常取决于加工零件的复杂程度和工艺要求。现在常用的有4个、5个、6个坐标的数控机床。

(4) 数控特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

2. 按数控机床运动轨迹分类

数控机床运动轨迹主要有3种形式:点位控制运动、直线控制运动和连续控制运动。

(1) 点位控制数控机床

点位控制是指刀具从某一位置移到下一个位置的过程中,不考虑其运动轨迹,只要求刀具能最终准确到达目标位置,刀具在移动和定位过程中并不进行任何加工,而是进行快速空行程定位运动。为了提高生产效率和保证定位精度,机床设定快速进给,临近终点时自动降速,从而减少运动部件因惯性而引起的定位误差。一些孔加工数控机床,如数控钻床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量机等都属于点位控制机床。其主要性能指标是保证终点位置精度,并要求快速定位,以便减少空行程时间。图1-3所示为点位控制数控钻床的加工示意图。

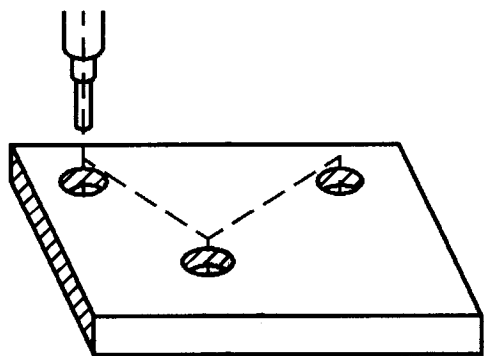


图 1-3 点位控制数控钻床加工示意图

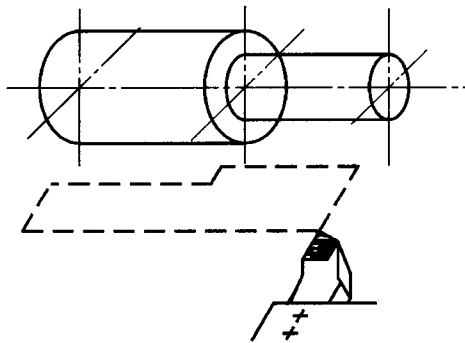


图 1-4 车削直线控制切削加工示意图

(2) 直线控制数控机床

直线控制是指刀具或工作台以给定的速度按直线运动。这类机床不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位,而且要控制以一定的速度沿坐标轴平行方向进行直线切削加工(有些机床还可进行45°斜线加工),通常还具有刀具的半径补偿和长度补偿功能。典型的机床有简易数控车床和简易数控铣床等,它们一般具有两到三个可控制轴,但同时可控制轴数只有一个。图1-4所示为车削直线控制切削加工示意图。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制是指刀具或工作台按工件的轮廓轨迹运动,运动轨迹为任意方向的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这类机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续的相关控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能够满足零件轮廓的要求,因而具有各种轮廓切削加工功能。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制

整个加工轮廓每一点的速度与位移。图 1-5 所示为轮廓控制数控铣床的加工示意图。这类数控机床主要有数控铣床、数控车床等。

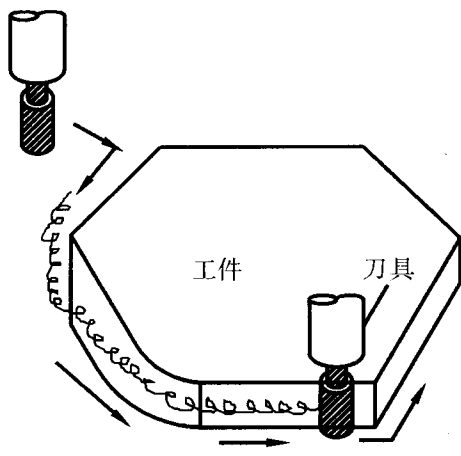


图 1-5 轮廓控制数控铣床加工示意图

随着计算机数控系统的发展,要增加轮廓控制功能只需增加插补运算软件即可,几乎不会带来成本的提高。因此,除少数专用的数控机床(如数控钻床、冲床等)以外,现代的数控机床都具有轮廓控制功能。

3. 按进给伺服系统控制方式分类

数控机床由数控装置发出脉冲或电压信号,通过伺服系统控制机床各运动部件运动。按进给伺服系统控制方式分类,有三种形式:开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

(1) 开环控制系统

如图 1-6 所示,开环控制系统不带位置检测反馈装置,通常用功率步进电机或电液伺服电机作为执行机构,输入的数据经过数控系统的运算,发出指令脉冲,通过环型分配器和驱动电路功率放大后,驱动步进电机或电液伺服电机转过一个角度,这个固定的角度称为步距角,再经过减速齿轮带动丝杠旋转,使工作台相应地得到一个位移量,这个位移量称为一个脉冲当量,或称为一个最小设定单元。移动部件的移动速度与位移量由输入脉冲的频率和脉冲数量所决定,指令信号单方向传送,并且指令发出后,不再反馈,故称开环控制。

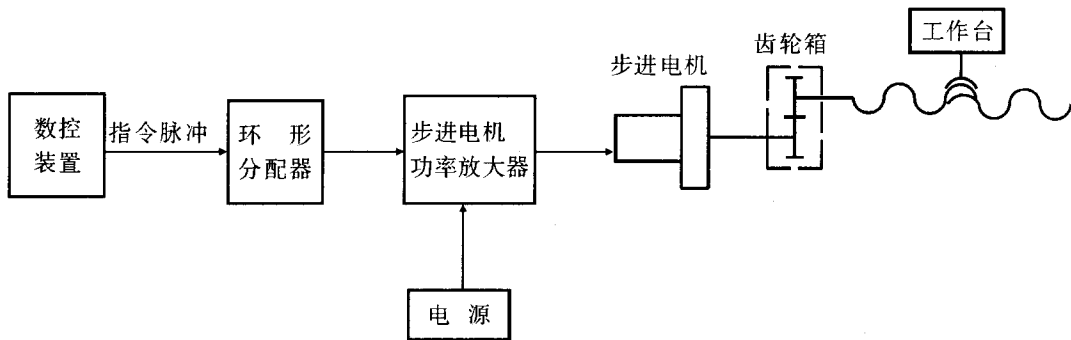


图 1-6 开环控制的数控机床系统框图



开环控制系统的数控机床受步进电机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度加工。但是这类系统结构简单、设备成本低、工作可靠、调试、维修方便、操作简单。因此,开环控制系统多用于加工精度要求不高的经济型数控机床或普通机床的数控化改造中。

(2) 闭环控制数控机床

如图 1-7 所示,闭环控制系统是将位置检测装置直接安装在机床末端的运动部件上,当数控装置发出位移指令脉冲,经电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就把测量的实际位置值变成电压量,反馈到输入端与输出端信号进行比较,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,最终实现运动部件的精确运动和定位。此外还利用与伺服电动机同轴刚性连接的测速元器件,随时实测驱动电动机的转速,得到速度反馈信号,将它与速度指令信号进行比较,得到速度误差信号,对驱动电动机的转速随时进行校正。这种具有反馈控制的系统,在电气上称为闭环控制系统。

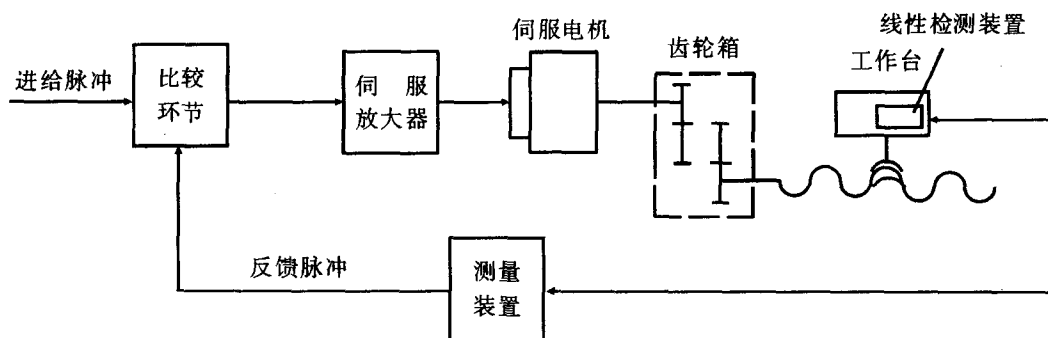


图 1-7 闭环控制的数控机床系统框图

闭环控制系统的控制精度高,速度快,但要求机床的刚性好,对机床的加工、装配要求高,调试及维护比较复杂,而且设备的成本高。闭环控制系统的电动机绝大多数采用交流或直流伺服电动机。闭环控制数控机床,主要是一些对加工精度要求很高的镗铣床、超精磨床、大型数控机床等。

(3) 半闭环控制系统

如图 1-8 所示,半闭环控制系统是将角位移测量装置(如感应同步器、光电编码器等)装在电动机轴或丝杠轴的端部,通过检测电动机轴或丝杠转角推算移动部件的位移,反馈至位置比较电路,与指令中的位移值进行比较,用比较所得的误差值控制伺服电机工作。这种系统用推算方法间接测量工作台位移,不能补偿数控机床传动链零件的误差,因此被称之为半闭环控制系统,如图 1-8 所示。