

普通高等院校“十一五”规划教材

数控技术 及其应用

SHUKONG JISHU JIQI YINGYONG

主编 陈德道
主审 杨 晋



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

数控技术及其应用

主编 陈德道

主审 杨 晋

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了数控机床的基本原理及其应用,全书共分七章:第1章为数控机床概述,叙述了数控机床的概况,包括数控机床的产生与发展、数控机床的特点及其应用范围,以及数控机床的组成和工作原理;第2章为计算机数控系统,阐述了计算机数控系统的基本原理、硬件结构、软件结构,以及经济型数控系统的构成、基于PC的开放式数控系统等;第3章为数控机床的进给伺服系统,讨论了步进伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统、直线电动机以及伺服系统的传动部件;第4章为主轴驱动及控制,研究了数控机床主轴速度控制、主传动及主轴部件、主轴驱动装置与数控装置的信号连接、电主轴等;第5章为数控检测装置,讨论了旋转变压器、感应同步器、光栅、磁栅和光电脉冲编码器;第6章为数控机床加工程序编制,讲述了数控机床坐标系、常用编程指令、程序编制中的数学处理、数控车床编程、数控铣床编程、宏功能应用以及CAD/CAM等内容;第7章为数控机床发展趋势,概述了数控机床发展展望,以及柔性制造系统、直接数字控制和计算机集成制造系统。

本书可作为高等院校机械类专业的教材,也可作为高等职业院校、成人高校相关专业的教材,亦可作为从事机械制造的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及其应用/陈德道主编. —北京:国防工业出版社,2009.1

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06094-2

I. 数... II. 陈... III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 195692 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18½ 字数 427 千字

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

数控技术集机械制造技术、计算机技术、自动控制技术、测量技术、液压与气动技术等技术于一体,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,它的广泛应用使全球机械制造业发生了根本性的变化,已经引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。可以说数控技术的应用与创新是 21 世纪机械制造业进行技术更新与改造、向机电一体化方向发展的主要途径和重要手段,数控技术的水平及其应用状况已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志之一。

随着数控技术在我国普及和发展,迫切需要培养大量素质高、能力强的数控技术人才。为了适应数控技术和国民经济发展的需要,以及高等工科院校的教学要求,我们编写了《数控技术及其应用》一书,由国防工业出版社策划出版为“十一五”重点规划教材。在编写中,本书力求反映数控技术的基本知识、核心技术与最新技术成就,十分重视理论与实际应用的结合,取材和叙述上要求层次分明和合理。本书可作为高等院校工科机械类专业数控技术课程的教学用书,也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书共七章:第 1 章主要介绍了数控技术的相关概念,数控机床的组成、分类、特点以及发展趋势;第 2 章主要介绍了计算机数控系统的组成、特点、基本工作原理(包括译码、补偿功能、速度计算、插补、位置控制等原理)以及系统软硬件结构;第 3 章首先介绍了进给伺服系统的要求、组成及分类,然后介绍了步进伺服驱动控制、直流伺服驱动控制、交流伺服驱动控制、直线电动机的应用和典型的进给伺服系统,最后介绍了进给伺服系统的机械传动部件;第 4 章主要介绍了主轴控制系统的要求、主轴驱动的工作特性及速度控制、主轴部件及其与数控装置的连接;第 5 章主要介绍了位置检测装置的要求、分类以及典型的位置检测装置(光电脉冲编码器、光栅、磁栅、旋转变压器和感应同步器测量装置);第 6 章主要介绍了数控编程的基础知识、工艺分析与数值计算、数控铣床和车床编程,同时还简单介绍了 CAD/CAM 自动编程;第 7 章介绍了数控机床的发展趋势、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)以及直接数字控制(DNC)。

本书由兰州交通大学陈德道担任主编,参加编写工作的还有兰州交通大学张艳龙、王小荣、曹仁涛、陈智文。其中第 1 章、第 2 章和 6.1 节~6.7 节由陈德道编写,第 3 章由张艳龙编写,第 4 章由王小荣编写,第 5 章由曹仁涛编写,6.8 节和第 7 章由陈

智文编写。

本书由兰州交通大学杨晋教授担任主审,杨教授对本书进行了细致的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。本书在编写过程中参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年10月

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 计算机数控	2
1.1.3 数控机床和数控系统的发展	3
1.2 数控机床的特点及应用范围	4
1.2.1 数控机床的特点	4
1.2.2 数控机床的应用范围	6
1.3 数控机床的组成和工作原理	6
1.3.1 数控机床的组成	6
1.3.2 数控机床的工作原理	7
1.3.3 数控系统的主要工作过程	9
1.4 数控机床的分类	10
1.4.1 按控制系统的特点分类	10
1.4.2 按执行机构的伺服系统类型分类	12
1.4.3 按加工方式分类	13
1.4.4 按照功能水平分类	13
第 2 章 计算机数控系统	14
2.1 概述	14
2.1.1 CNC 系统的组成	14
2.1.2 CNC 装置的结构	14
2.1.3 CNC 装置的工作过程	14
2.1.4 CNC 系统的特点	16
2.2 计算机数控系统的基本原理	17
2.2.1 数控加工程序的译码	17
2.2.2 刀具半径补偿	17
2.2.3 速度计算	21
2.2.4 位置控制原理	24
2.2.5 误差补偿原理	24
2.2.6 插补原理	26
2.2.7 加减速控制	40

2.3 计算机数控系统的硬件结构	47
2.3.1 概述	47
2.3.2 微机基本系统	50
2.3.3 接口	51
2.4 计算机数控系统的软件结构	52
2.4.1 CNC 数控软件的特点	52
2.4.2 多任务性与并行处理技术	52
2.4.3 实时性和优先抢占调度机制	55
2.4.4 典型的 CNC 软件结构模式	56
2.5 经济型数控系统的构成	58
2.5.1 经济型数控系统概述	58
2.5.2 数控系统的硬件组成	59
2.5.3 数控系统的软件组成	61
2.5.4 经济型数控机床影响定位精度的因素和提高定位精度的措施	67
2.6 基于 PC 的开放式数控系统	68
2.6.1 开放式数控系统概述	68
2.6.2 基于 PC 的开放式数控系统体系结构	71
第 3 章 数控机床的进给伺服系统	87
3.1 概述	87
3.1.1 对进给伺服系统的基本要求	87
3.1.2 进给伺服系统的基本组成	88
3.1.3 进给伺服系统的分类	89
3.2 步进伺服驱动控制	93
3.2.1 步进电动机的分类、结构及特点	93
3.2.2 步进电动机的工作原理、主要参数及特性	94
3.2.3 步进电动机的驱动与控制	97
3.3 直流伺服驱动控制	101
3.3.1 直流伺服电动机的工作原理及类型	101
3.3.2 常用直流伺服电动机的特点	102
3.3.3 直流伺服电动机的速度控制	103
3.4 交流伺服驱动控制	109
3.4.1 交流伺服电动机的分类	110
3.4.2 永磁交流同步伺服电动机	110
3.4.3 交流伺服电动机的变频调速	112
3.4.4 永磁交流同步伺服电动机的发展	113
3.5 直线电动机在机床进给伺服系统中的应用	113
3.5.1 直线电动机概述	113
3.5.2 直线电动机的分类	114
3.5.3 直线电动机在数控机床上应用	117

3.6 典型的进给伺服系统	118
3.6.1 步进伺服系统	118
3.6.2 鉴相式伺服系统	120
3.6.3 鉴幅式伺服系统	122
3.6.4 数字脉冲比较式伺服系统	125
3.6.5 CNC 数字伺服系统	126
3.7 进给伺服系统的机械传动部件	127
3.7.1 数控机床对进给伺服系统机械传动部件的要求	128
3.7.2 数控机床的进给机械传动原理	129
3.7.3 数控机床的进给机械传动部件	129
3.7.4 直线电动机直接驱动系统	143
第 4 章 主轴驱动及控制	145
4.1 概述	145
4.1.1 对主轴驱动的要求	145
4.1.2 主轴驱动装置及其工作特性	149
4.2 主轴驱动的速度控制	150
4.2.1 直流主轴速度控制	150
4.2.2 交流主轴速度控制	153
4.3 数控机床的主传动及主轴部件	158
4.3.1 数控机床主传动系统的要求	158
4.3.2 主轴分段无级变速及控制	159
4.3.3 主轴部件	164
4.4 主轴驱动装置与数控装置的信号连接	173
4.4.1 主轴转速指定信号及连接	173
4.4.2 其它开关量控制信号及连接	173
4.5 电主轴	176
第 5 章 数控检测装置	178
5.1 概述	178
5.1.1 对位置检测装置的要求	178
5.1.2 检测装置的分类	178
5.2 旋转变压器	179
5.2.1 旋转变压器的结构和工作原理	179
5.2.2 旋转变压器的应用	180
5.3 感应同步器	181
5.3.1 感应同步器的结构和工作原理	181
5.3.2 感应同步器的应用	182
5.4 光栅	183
5.4.1 光栅的结构和工作原理	183

5.4.2 光栅位移—数字变换电路	185
5.5 磁栅	186
5.5.1 磁栅的结构和工作原理	186
5.5.2 磁栅的应用	188
5.6 光电脉冲编码器	188
5.6.1 光电脉冲编码器的结构和工作原理	188
5.6.2 光电脉冲编码器的应用	189
第 6 章 数控机床加工程序编制基础	191
6.1 数控程序编制的概念	191
6.1.1 数控程序编制的定义	191
6.1.2 字与字的功能	193
6.1.3 程序格式	195
6.2 数控机床的坐标系	196
6.2.1 机床坐标系	197
6.2.2 编程坐标系	200
6.2.3 加工坐标系	200
6.2.4 机床加工坐标系设定的实例	202
6.3 常用编程指令	204
6.4 程序编制中的数学处理	210
6.5 数控车床加工程序编制	212
6.5.1 辅助功能 M 代码	213
6.5.2 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	215
6.5.3 准备功能 G 代码	216
6.6 数控铣床程序编制	240
6.6.1 数控铣床程序编制的基本方法	240
6.6.2 FANUC 系统孔加工固定循环	248
6.7 宏功能应用	255
6.8 CAD/CAM 简介	264
6.8.1 CAM 软件发展过程	264
6.8.2 CAD/CAM 集成数控编程系统简介	264
第 7 章 数控机床发展趋势	270
7.1 数控机床发展展望	270
7.2 柔性制造系统(FMS)简介	272
7.3 直接数字控制(DNC)简介	275
7.4 计算机集成制造系统(CIMS)简介	280
参考文献	287

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量和生产效率,降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动强度。

许多生产企业已经采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线。采用这种高度自动化和高效率的设备,尽管需要很大的初始投资以及较长的生产准备时间,但在大批量的生产条件下,由于分摊在每一个工件上的费用很少,其经济效益仍然是非常显著的。但是,在机械制造业中,并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件与小批生产的零件(批量在 10 件~100 件)约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件的形状复杂而且精度要求高,采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件显得很不合适,因为在生产过程中需要经常改装与调整设备,对于专用生产线来说,这种改装与调整甚至是不可能实现的。近年来,由于市场竞争日趋激烈,为在竞争中求得生存与发展,就必须频繁地改型,并缩短生产周期,以满足市场上不断变化的需要。因此,即使是大批量生产,也改变了产品长期一成不变的做法。频繁地开发新产品,使“刚性”的自动化设备即使在大批生产中也会日益暴露其缺点。已经使用的各类仿形加工机床部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换要加工的零件时,必须制造靠模和调整机床,这不但要耗费大量的手工劳动,延长生产准备周期,而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。为了解决上述这些问题,满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

数字控制(Numerical Control, NC, 简称数控)机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批生产精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床的工作原理就是将加工过程所需的刀具与工件之间的相对位移量以及各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等)都用数字化的信息代码来表示,并将数字信息送入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其它执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其它自动机床的一个根本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之外,只需要更换加工程序,不需要对机床做任何调整。

1952 年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作研制出世界上第一台

三坐标数控铣床,用于加工直升机叶片轮廓检查用样板。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床,专用计算机采用电子管元件,逻辑运算与控制采用硬件连接的电路。1955年后该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

我国从1958年开始研制数控机床,在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。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。我国经济型数控机床的研究、生产和推广工作也取得了较大的进展,它必将对我国各行业的技术改造起到积极的推动作用。目前,在数控技术领域中,我国和先进的工业国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在缩小。随着工厂、企业技术改造的深入开展,各行各业对数控机床的需求量将会有大幅度的增长,这将有力地促进数控机床的发展。

1.1.2 计算机数控

随着电子技术和计算机技术的不断发展,数控系统经历了逻辑数字控制阶段(NC阶段)和计算机数字控制阶段(CNC阶段)。NC阶段数控系统发展经历了电子管时代、晶体管时代、小规模集成电路时代。自1970年小型计算机用于数控系统,数控系统发展进入CNC阶段,这是第四代数控系统。从1974年微处理器用于数控系统,数控系统发展到第五代,经过几年的发展,数控系统从性能到可靠性均得到很大的提高。自20世纪70年代到80年代,数控系统在全世界得到了大规模的发展和应用。从90年代开始,PC的发展日新月异,基于PC平台的数控系统应用而生,数控系统发展进入第六代。目前市场上流行的和企业普遍使用的仍然是第五代数控系统。

数控系统中引入了微型计算机(简称微机),使它的各种性能完成了一次质的飞跃。计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)系统有以下优点。

1. 柔性好

硬件数控系统的许多功能是靠硬件电路来实现的。若想改变系统的功能,必须重新布线,但计算机数控系统可以利用控制软件灵活地增加或改变数控系统的功能,更能适应生产发展的需要。

2. 功能强

计算机数控系统可利用计算机技术及其外围设备,增强数控系统及数控机床的功能。例如,利用计算机图形显示功能,可检查编程的刀具轨迹,纠正编程错误,还可检查刀具与机床、夹具碰撞的可能性等;利用计算机网络通信的功能,便于数控机床组成生产线等。

3. 可靠性高

计算机数控系统可使用磁带、软盘和网络等许多输入装置,避免了以往数控机床由于频繁地开启光电阅读机而造成的信息出错的缺点。与硬件数控相比,计算机数控系统尽量减少硬件电路,显著地减少了焊点、接插件和外部连线,提高了可靠性。此外,计算机数控系统一般都具备自诊断功能,可及时指出故障原因,便于维修或预防操作失误,减少停机时间。这一切使得现代数控系统的无故障运行时间大为提高。

4. 易于实现机电一体化

由于计算机电路板上采用大规模集成电路和先进的印制电路板技术,只要采用数块印制电路板即可构成整个控制系统,而将数控装置连同操作面板装入一个不大的数控箱内,可与机床结合在一起,减少占地面积,有利于实现机电一体化。

5. 经济性好

采用微机数控系统后,系统的性能价格比大为提高。现在不但大型企业,就是中小型企业也逐渐采用计算机数控机床了。

1.1.3 数控机床和数控系统的发展

现代数控机床及其数控系统,目前主要向高速、高精度化方面发展。

要提高机械加工的生产率,其中最主要的方法是提高速度,但是这样做会降低加工精度。现代数控机床在提高加工速度的同时,也在向高精度化方向发展。目前已可在 $0.1\mu\text{m}$ 的最小设定单位时,进给速度达 $24\text{m}/\text{min}$ 。要做到这一点,就对机械和数控系统提出了更高的要求。

1. 机械方面

例如机床主轴要高速化,就要提高主轴和机床机械结构的动、静态刚度;采用能承受高速运动的机械零件,如采用陶瓷滚珠轴承等。

2. 数控系统方面

主要是提高计算机的运算速度。现代数控系统已从 16 位的 CPU 发展到普遍采用 32 位的 CPU,并向 64 位的 CPU 发展;主机频率由 5MHz 提高到 $20\text{MHz}\sim 33\text{MHz}$ 。有的系统还制造了插补器的专用芯片,以提高插补速度;有的采用多 CPU 系统,减轻主 CPU 负担,进一步提高控制速度。

3. 伺服系统方面

1) 采用数字伺服系统

使伺服电动机的位置环、速度环的控制都实现数字化。FANUC15 系列开发出专用的数字信号处理器,位置指令输入后,它与从脉冲编码器检测来的位置信息,以及从电动机测速装置检测来的速度信息一起,在专用的微处理器芯片内,进行位置控制、速度控制等运算,最后向功率放大器发出指令,以达到对电动机的高速、高精度控制。

2) 采用现代控制理论提高跟随精度

当数控系统发出位置指令后,由于机械部分不能很快响应而会产生滞后现象,影响了加工精度。现代控制理论中有各种算法能够实现高速和高精度的伺服控制,但是,由于它们的计算方法太复杂,以往的计算机运算速度不够,很难实现。现在计算机的运算速度和存储容量都加大很多,有时还可采用专用芯片的办法,使复杂的计算能够在线实现,使得滞后量减少很多,从而提高了跟随精度。

3) 采用高分辨率的位置编码器

一般交流伺服电动机轴上装有回转编码器(脉冲发生器),用来检测电动机的角位移。显然,编码器的分辨率越高,则电动机转动角位移就越精确。现代高分辨率位置编码器绝对位置的测量可达 163840 脉冲/转。

4) 实现多种补偿功能

数控系统能实现多种补偿功能,提高数控机床的加工精度和动态特性。数控系统的补偿功能主要用来补偿机械系统带来的误差。例如:

(1) 直线度的补偿。随着某一轴的运动,对另一轴加以补偿,提高工作台运动的直线度。

(2) 采用新的丝杠导程误差补偿方法。用几条近似线表示导程误差,仅对其中几个点进行补偿。此法可减少补偿数据的设定点数,使补偿方法大为简化。

(3) 丝杠、齿轮间隙补偿。

(4) 热变形误差补偿,用来补偿由于机床热变形而产生机床几何位置变化引起的加工误差。

(5) 刀具长度、半径等补偿。

(6) 存储型补偿。这种补偿方法,可根据机床使用时的实际情况(如机床零件的磨损情况等)适时地修订补偿值。

提高数控系统的可靠性,可大大降低数控机床的故障率。新型数控系统大量使用大规模和超大规模集成电路,还采用专用芯片提高集成度以及使用表面封装技术等方法,减少了元器件数量和它们之间的连线和焊点数目,从而大幅度降低了系统的故障率。

此外,现代数控系统还具有人工智能(AI)故障诊断系统,可用它来诊断数控系统及机床的故障,把专家们所掌握的对于各种故障原因及其处置方法作为知识库储存到计算机的存储器中,以知识库为依据来开发软件,分析查找故障原因。只要通过回答显示器提出的简单问题,就能和专家一样诊断出机床的故障原因以及提出排除故障的方法。

由于 CNC 系统使用的计算机容量越来越大,运算速度越来越快,使得 CNC 系统不仅能完成机床的数字控制功能,而且还可以充分利用软件技术,使系统智能化,给使用者以更大的帮助。例如,将迄今为止必须由程序员决定的零件的加工部位、加工工序、加工顺序等也可由 CNC 系统自动地决定。操作者只要将加工形状和必要的毛坯形状输进 CNC 系统,就能自动生成加工程序。这样数控加工的编程时间将大为缩短,即使经验不足的操作者也能进行操作。CNC 系统如何与人工智能技术相结合,尚待研究开发。除了上述在故障诊断和编程方面的应用外,还有更大的领域留待我们去探索。

越来越多的工厂希望将多台数控机床组成各种类型的生产线或者直接数字控制(Direct Numerical Control,DNC)系统。这就要求 CNC 系统提高联网能力。一般 CNC 系统都具有 RS232 远距离串行接口,可以按照用户的格式要求,与同一级计算机进行多种数据交换。为了满足不同厂家、不同类型数控机床联网功能要求,现代数控系统大都具有 MAP(制造自动化协议)接口,现在已实现了 MAP3.0 版本,并采用光缆通信,以提高数据传送速度和可靠性。

1.2 数控机床的特点及应用范围

1.2.1 数控机床的特点

1. 对加工对象改型的适应性强

由于在数控机床上改变加工零件时,只需要重新编制零件加工程序就能实现对零件

的加工,它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和检具,更不需要重新调整机床。因此,数控机床可以快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利。它不仅缩短了生产准备周期,而且节省了大量制作工艺装备的费用。

2. 加工精度高

数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量)一般达到了 0.001mm ,而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。因为数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,而且提高了它的制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,因此,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

在采用点位控制系统的钻孔加工中,由于不需要使用钻模板与钻套,钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中切屑排除的条件得以改善,可以进行有效地冷却,因而被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,在编制程序时已考虑到对进给速度的控制,可以做到在曲率变化时,刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变,被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分的时间,因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最有利的切削用量,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而选用了很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床的少得多。数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中,可以节省用于停机进行零件安装调试的时间。数控机床的加工精度比较稳定,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,因而可以减少停机检验的时间。因此,数控机床的利用系数比一般机床的高得多。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心时,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高就更为明显。

4. 减轻操作者的劳动强度

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也能得到相应的改善。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批量生产情况下,可以节省工艺装备费用、辅助生产工时、生产管理费用及降低废品率等,因此能够获得良好的经济效益。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹

具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

7. 数控机床在应用中不利的一面

数控机床在应用中也有不利的一面,如提高了起始阶段的投资、对设备维护的要求较高、对操作人员的技术水平要求较高等。

1.2.2 数控机床的应用范围

数控机床确实存在一般机床所不具备的许多优点,但是这些优点都是以一定条件为前提的。数控机床的应用范围正在不断扩大,但它并不能完全代替其它类型的机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床通常最适合加工具有以下特点的零件。

(1) 多品种小批量生产的零件 图 1-1 表示了三类机床的零件加工批量数与综合费用的关系。从图中可看出,零件加工批量的增大对于选用数控机床是不利的。原因在于数控机床设备费用高昂,与大批量生产采用的专用机床相比,其效率还不够高。通常,采用数控机床加工的合理生产批量在 10 件~200 件之间。目前有向中批量发展的趋势。

(2) 结构比较复杂的零件 图 1-2 表示了三类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适宜于加工结构比较复杂。在非数控机床上加工时需要昂贵的工艺装备的零件。

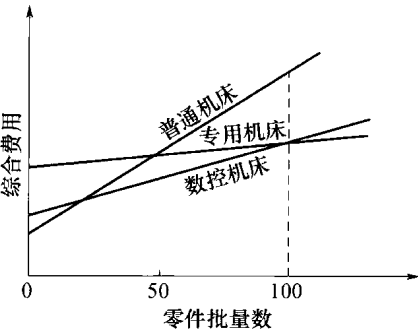


图 1-1 零件加工批量与综合费用的关系

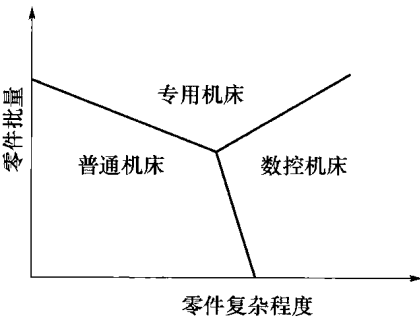


图 1-2 数控机床适用范围示意图

(3) 需要频繁改型的零件 它节省了大量的工艺装备费用,使综合费用下降。

(4) 价格昂贵、不允许报废的关键零件。

(5) 需要最短生产周期的急需零件。

广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初期投资大,由于系统本身的复杂性,又增加了维修费用。如果缺少完善的售后服务,往往不能及时排除设备故障,从而将会在一定程度上影响机床的利用率,这些因素都会增加综合生产费用。

考虑到以上所述的种种原因,在决定选用数控机床加工时,需要进行反复对比和仔细的经济分析,使数控机床发挥它的最好经济效益。

1.3 数控机床的组成和工作原理

1.3.1 数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术,按照事先编好的程序实现动作的机床。它由程序载

体、输入装置、CNC 单元、伺服系统、位置反馈系统和机床机械部件构成(见图 1-3 和图 1-4)。

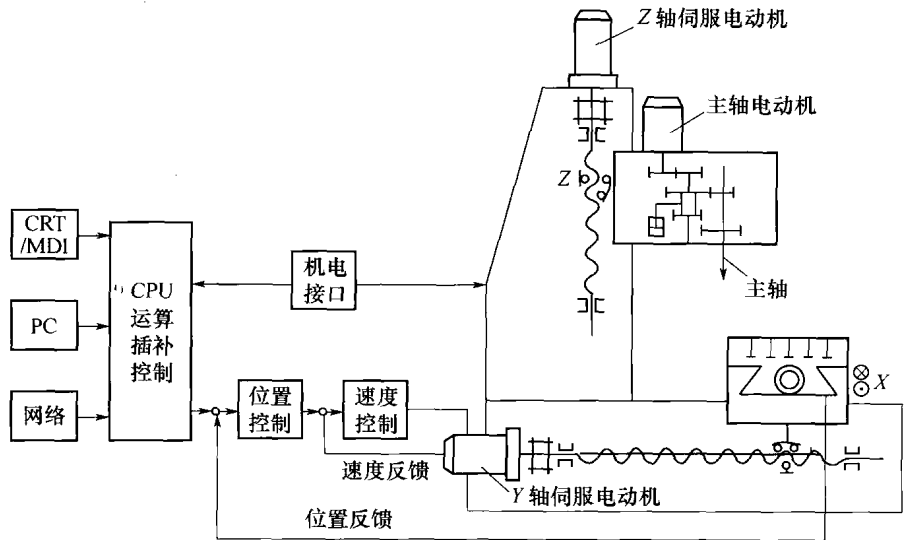


图 1-3 数控机床的组成

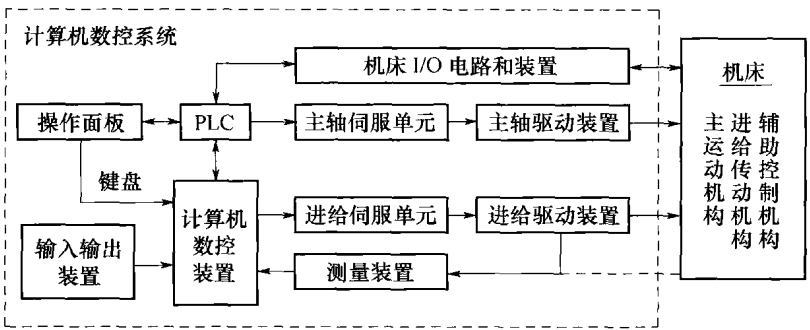


图 1-4 数控机床原理图

1.3.2 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件通常经过以下几个步骤(见图 1-3 和图 1-4)：

- (1) 根据加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写程序单,并把它记录在载体上。
- (2) 把程序载体上的程序通过输入装置输入到 CNC 单元中去。
- (3) CNC 单元将输入的程序经过处理之后,向机床各个坐标的伺服系统发出信号。
- (4) 伺服系统根据 CNC 单元发出的信号,驱动机床的运动部件,并控制必要的辅助操作。
- (5) 通过机床机械部件带动刀具与工件的相对运动,加工出要求的工件。
- (6) 检测机床的运动,并通过反馈装置反馈给 CNC 单元,以减小加工误差。当然,对于开环数控机床来说是没有检测、反馈系统的。

1. 程序载体

数控机床是按照输入的零件加工程序运行的。零件加工程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码存储在一种载体上,如早期用穿孔纸带、盒式磁带,现在用软磁盘、U 盘上一级 PC、网络等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC 单元内。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入 CNC 单元。根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。例如早期数控机床上,对于穿孔纸带,配用光电阅读机;对于盒式磁带,配用录放机;对于软磁盘,配用软盘驱动器和驱动卡。有时为了用户方便,数控机床可以同时具备两种输入装置。

现代数控机床,通过手动方式(MDI 方式)将零件加工程序用数控系统的操作面板上的按键直接键入 CNC 单元,或者采用与上级机通信方式直接将加工程序输入 CNC 单元。

3. CNC 单元

CNC 单元由信息的输入、处理和输出三个部分组成。程序载体通过输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并进行处理后,通过输出单元发出位置和速度控制指令给伺服系统和主运动控制部分。数控机床的辅助动作,如刀具的选择与更换、切削液的启停等,能够用可编程控制器(PLC)进行控制。现代数控系统中,一般备有 PLC 附加电路板,这种结构形式可省去 CNC 与 PLC 之间的连线,结构紧凑,可靠性好,操作方便,从技术和经济上考虑都是有利的。

4. 伺服系统

伺服系统是数控机床的一个重要组成部分。它和一般机床进给系统的根本区别是:一般进给系统只能稳定地传递所需的力和速度,但不能接收随机的输入信息,不能控制执行部件的位移和轨迹;而伺服系统则不然,它能将数控装置送来的指令信息加以放大,经功率放大后,通过机床进给传动元件(如滚珠丝杠螺母副等),去驱动机床移动部件(工作台或刀架),以便精确定位或按照规定的轨迹和速度运动,使机床加工出符合图样要求的零件。伺服系统直接影响数控机床加工的速度、位置、精度、表面粗糙度等,它是数控机床的关键部件。

伺服系统中常用的驱动装置随控制系统的不同而不同。开环伺服系统常用步进电动机,闭环伺服系统常用脉宽调速直流电动机和交流伺服电动机等。

5. 位置反馈系统

位置反馈分为伺服电动机的转角位移反馈和数控机床执行机构(工作台)的位移反馈两种,运动部分通过传感器将上述角位移或直线位移转换成电信号,输送给 CNC 单元,与指令位置信号进行比较,并由 CNC 单元发出指令,经伺服系统放大,驱动数控机床机械部分运动。

6. 机床的机械部件

数控机床的机械结构,除了主运动系统、进给系统以及辅助部分如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外,尚有些特殊部件,如储备刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)、自动托盘交换装置等。与普通机床相比,数控机床的传动系统更为简单,但机床的静态和动态