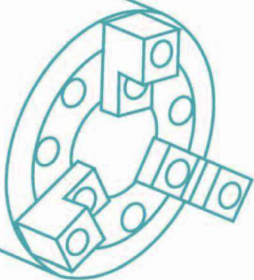




高职高专“十三五”规划教材



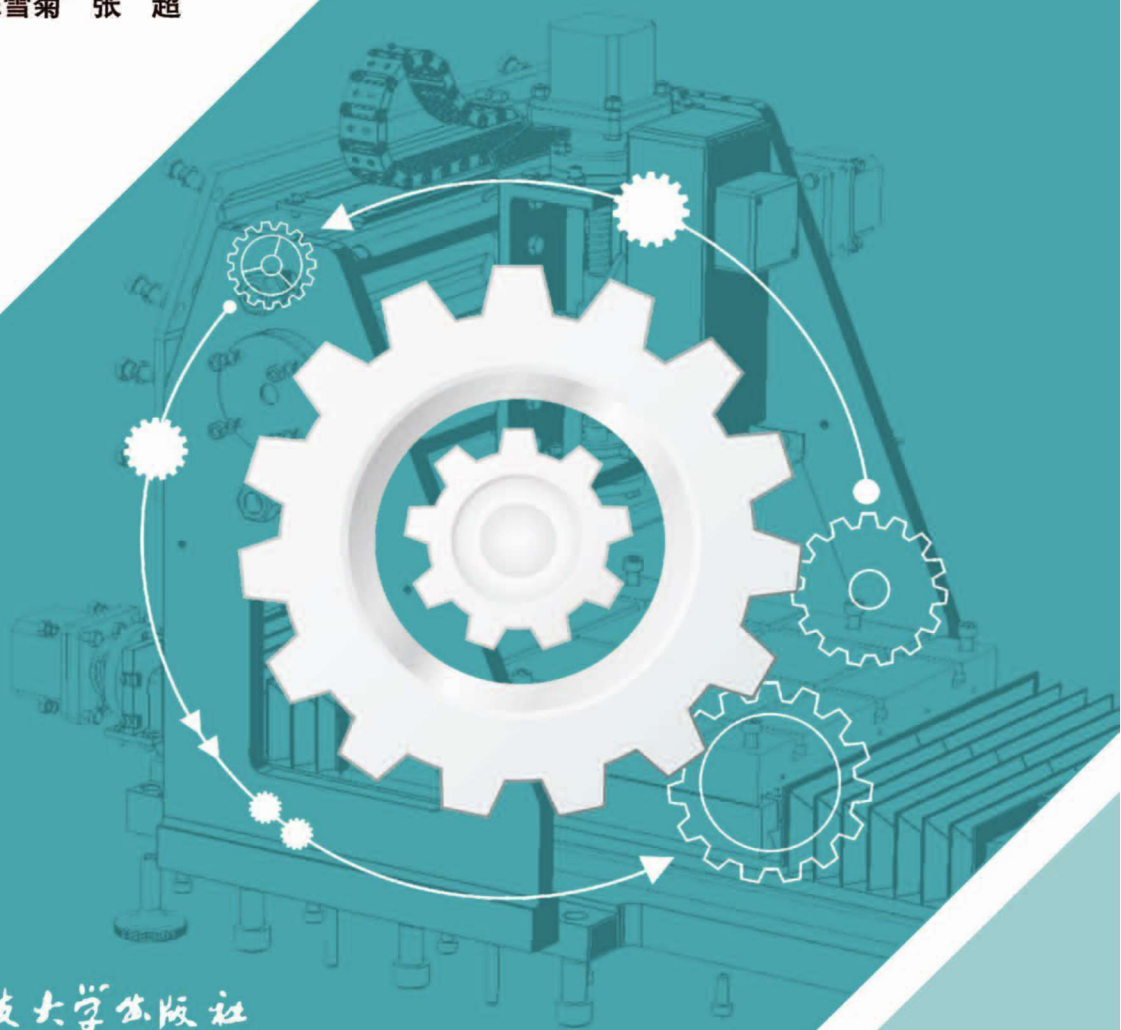
数控机床 及应用技术

SHUKONG JICHUANG

JI YINGYONG JISHU

主 审/陈 俊

主 编/陈雪菊 张 超



电子科技大学出版社



高职高专“十三五”规划教材

数控机床 及应用技术

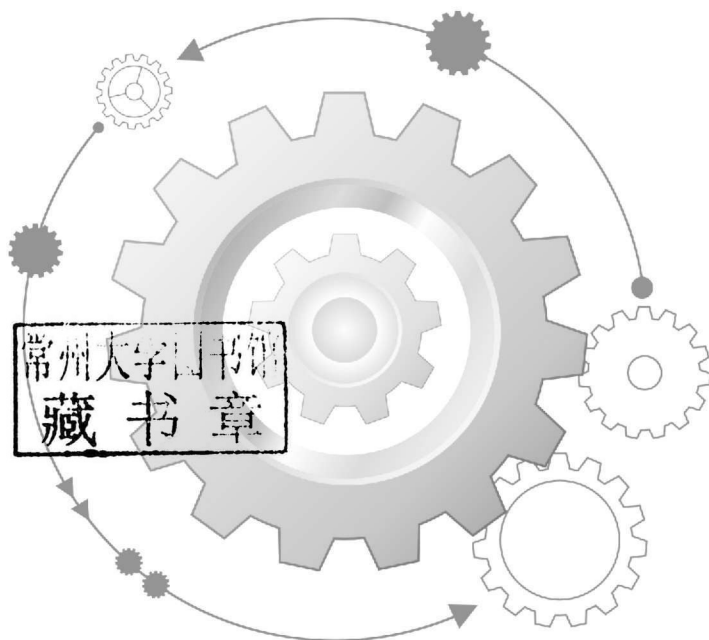
SHUKONG JICHUANG

JI YINGYONG JISHU

主 审 / 陈 俊

主 编 / 陈雪菊 张 超

副主编 / 陈志新



常州大学图书馆
藏书章



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及应用技术 / 陈雪菊, 张超主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2016. 9
ISBN 978-7-5647-3837-2

I. ①数… II. ①陈… ②张… III. ①数控机床
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 199305 号

数控机床及应用技术

主 编 陈雪菊 张 超

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)
策划编辑: 郭蜀燕 杨仪玮
责任编辑: 刘 愚 李 倩
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司
成品尺寸: 185mm × 260mm 印张 18 字数 427 千字
版 次: 2016 年 9 月第 1 版
印 次: 2016 年 9 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-3837-2
定 价: 38.50 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: (028) 83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前言

Preface

本书是“机电类应用型人才培养规划系列教材”之一,主要面向职业院校机电类各专业学生,也适用于部分应用型本科院校相关专业学生。系列教材以工学结合、一体化思想为开发理念,充分体现“以就业为导向、以能力为本位、以学生为中心”的发展趋势,更具实用性和前瞻性,与就业市场结合得更加紧密,更能提高学生的学习能力、实践能力和创新能力。我们的宗旨是开发适合高职高专人才培养要求的专业教材,编者根据社会市场需求,同时结合自身多年的教学经验以及工厂一线数控加工经验,借鉴机电类课程改革中的先进理念,编写了本书。

本书内容详尽、由浅入深,着重培养学生的实践能力。本书始终以学生为中心,以他们的认知能力为出发点,培养学生理解掌握数控机床加工工艺、实际应用数控机床编程的能力。针对目前高职院校学生的实际情况,在保证学生掌握必要基础知识的前提下,增加知识的实际应用内容以提高学生的实际动手能力。本书主要介绍了数控机床基础知识,数控编程的基础知识,数控车床、数控铣床和加工中心的加工工艺,数控线切割机床编程,数控机床的仿真加工及实例应用,以及数控机床的使用和维修,配备了大量的例题和练习题,便于读者自学和独立操作。

本书由武进开放大学陈雪菊、卡尔迈耶中国有限公司张超主编,昆明欧迈科技有限公司陈志新担任副主编,昆明冶金高等专科学校陈俊副教授担任本书主审。具体编写分工如下:陈雪菊编写单元二~单元五,张超编写单元六、单元七,陈志新编写单元一、单元八。全书由陈雪菊负责统稿和定稿。

本书编写过程中,张超工程师提供了大量宝贵的意见和建议,陈俊副教授提出了许多的修改意见,在此深表感谢。同时,本书的编写也参阅了以往同类教材和有关工厂、科研院所的一些内部教材、资料,在此也一并表示衷心感谢。

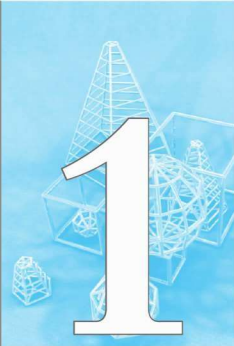
由于编者水平有限,本书难免有不足之处,希望广大读者给予批评和指正。

编 者

CONTENTS 目录

单元一 数控机床基础知识	1
任务 1.1 数控机床的概述	1
任务 1.2 数控机床的组成和工作原理	4
任务 1.3 数控机床的分类	7
任务 1.4 数控机床加工的特点和应用范围	11
习题一	12
单元二 数控编程的基础知识	13
任务 2.1 数控编程概述	13
任务 2.2 数控机床的坐标系统	18
任务 2.3 常用数控指令代码	22
习题二	28
单元三 数控车床加工工艺与编程	29
任务 3.1 数控车床的加工特点	29
任务 3.2 数控车削加工工艺	32
任务 3.3 数控车床的坐标系统与编程特点	47
任务 3.4 数控车床的编程指令及用法	49
任务 3.5 数控车床编程实例	71
习题三	73
单元四 数控铣床的加工工艺与编程	75
任务 4.1 数控铣床加工概述	75
任务 4.2 数控铣削加工工艺	78
任务 4.3 数控铣床编程概述	102
任务 4.4 数控铣床的 G 代码简单应用	106
任务 4.5 数控铣床平面轮廓零件的铣削加工	112

任务 4.6 数控铣床固定循环指令应用	118
任务 4.7 典型零件数控铣床的工艺与编程	127
习题四	131
单元五 数控加工中心的工艺与编程	134
任务 5.1 加工中心的特点与分类	134
任务 5.2 数控加工中心加工工艺	140
任务 5.3 加工中心的程序编制	152
任务 5.4 加工中心程序设计典型实例	165
习题五	176
单元六 特种加工机床的工艺与编程	178
任务 6.1 特种加工概述	178
任务 6.2 数控电火花线切割加工原理与特点	183
任务 6.3 数控电火花线切割工艺参数	186
任务 6.4 数控电火花线切割工艺	189
任务 6.5 数控电火花线切割编程方法	204
习题六	219
单元七 数控机床的仿真加工及应用实例	221
任务 7.1 数控车床的仿真加工及应用实例	221
任务 7.2 数控铣床的仿真加工及应用实例	235
任务 7.3 FANUC 数控系统加工中心仿真加工及应用实例	245
习题七	263
单元八 数控机床的使用与维护	266
任务 8.1 数控机床的选用	266
任务 8.2 数控机床的基本操作规程	272
任务 8.3 数控机床的维护与保养	275
习题八	280
参考资料	281



数控机床基础知识

随着微电子计算机技术的飞速发展，数控系统的性能日益完善，数控技术的应用领域也在快速地扩大，数控加工技术在我国已经进入了普及阶段。作为数控加工设备的数控机床在数量上遍及制造业的绝大多数企业，在品种上除了通用数控机床外，还有成型类数控机床、快速成型类机床以及数控特种加工类机床等。

本单元主要介绍数控机床的基本概念、数控机床的组成和工作原理、数控机床的分类、数控机床加工的特点和应用范围。通过对本单元的学习，读者能对数控机床的基本概貌有一定的认识，为后续学习打下基础。



任务 1.1 数控机床的概述

1.1.1 数控机床的基本概念

数控机床是数字控制机床（Numerical Control Machine）的简称，亦称 NC 机床，即通过数字化信号对机床运动及加工过程进行控制，实现要求的机械动作，自动完成加工任务的机床。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。是为了满足单件、小批、多品种自动化生产的需要而研制的一种灵活、通用的能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床，具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定、生产效率高、降低加工成本、改善工人劳动条件等优点。它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等多方面的技术成果。

计算机数字控制（Computer Numerically Controlled Machine Tool）与 NC 系统的主要区别是该系统采用微处理器 CPU 作为数控装置的核心。CPU 的出现，使数控系统的软件功能大幅度提高。

1.1.2 数控技术的现状和发展趋势

1. 数控技术的发展历程

自 1952 年美国研制出世界上第一台数控升降台铣床，在世界上开创了数控机床发展的先河起，德国、日本和苏联等国紧随其后，于 1956 年分别研制出本国第一台数控机床。1958 年清华大学和北京第一机床厂联合研制出了我国第一台数控铣床。20 世纪 50 年代末期，美国的数控机床已进入了商品化生产。

20 世纪 60 年代，日本、德国和英国等国的数控机床也进入了商品化生产。但是，由于 60 年代前期数控系统还处于电子管、晶体管时代，系统设备庞大复杂，成本高且可靠

性低，所以，数控机床发展速度相对缓慢，只有美国的生产批量较大。到 20 世纪 60 年代末期，美国年产数控机床达到 2900 多台，占去了当时世界总产量的一半。这个时期的数控机床主要以点位控制为主。据 1966 年的统计资料记载，当时全世界实际使用的 6000 台数控机床中，有 85% 是点位控制的数控钻床。日本在 1964 年以前生产的数控机床，其中有 90% 是数控钻床。

20 世纪 70 年代初期，出现了大规模集成电路和小型计算机，特别是到了 20 世纪 70 年代中期，世界上第一台微处理器研制成功，实现了控制系统体积小、运算速度快、可靠性能高和价格低廉的目标，由此给数控机床的发展注入了新的活力。许多制造厂家投入大量的技术人员，对提高数控机床的主机结构特性、减少热变形及完善配套件质量等关键技术进行研究和改进，使数控机床总体性能和质量有了很大提高。这一时期数控机床发展得较快，全世界数控机床的产量从 1970 年的 6700 台发展到 1980 年的 49000 台，平均年增长率为 22%。日本、德国、苏联和美国等国的平均年增长率分别达到 29.6%、20%、18.2% 和 18.1%。

20 世纪 80 年代以后，数控机床的发展进入了成熟期和普及期。数控系统的微处理器由 16 位向 32 位机过渡，运算速度加快，功能不断完善，可靠性进一步提高。同时监控、检测和换刀等配套技术及外围设备得到广泛应用，促使数控机床得到全面发展。不仅效率、精度和柔性有进一步的提高，而且门类扩展齐全，品种规格形成系列化。除发展较早的数控铣床、数控钻床、数控车床和加工中心外，起步较晚的数控磨床、数控齿轮加工机床、数控电加工机床、数控锻压机床和数控重型机床等领域也得到了较快的发展。这一时期，柔性制造系统（FMS）也进入了实用化阶段，在 FMS 诞生 8 年之后，出现了柔性制造单元（FMC），由于它更适宜市场的需求，很快就超过了 FMS 的发展速度。进入 20 世纪 90 年代，世界范围内以发展数控单机为基础，并加快了向 FMC，FMS 及 CIMS（计算机集成制造系统）全面发展的步伐。归纳起来，数控技术的发展大致经历了以下四个阶段，如表 1-1 所示。

表 1-1 数控技术发展的四个阶段

阶段	研究开发	推广应用	系统化	高性能集成化
年代	1952—1969	1970—1985	1982	1990
典型应用	数控车床、铣床、钻铣床	加工中心、电加工、锻压	柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）	计算机集成制造系统（CIMS）、无人化工厂
工艺方法	简单工艺	多种工艺方法	完整的加工过程	复合设计加工
数控功能	NC 控制、3 轴以下	CNC 控制、刀具自动交换、五轴联动较好的人机界面	多台车床和辅助设备协同；多坐标控制，高精度、高速度，友好的人机界面	多过程、多任务调度、模板化和复合化
驱动特点	步进、液压电机	直流伺服电机	交流伺服电机	数字智能化、直线驱动

2. 我国数控技术的发展及现状

我国数控技术起步于 1958 年,近 50 年的发展历程大致可分为以下三个阶段。

第一阶段是从 1958—1979 年,即封闭式发展阶段。在此阶段,由于国外的技术封锁和我国基础条件的限制,数控技术的发展较为缓慢。

第二阶段是在国家的“六五”“七五”期间以及“八五”的前期,即引进技术,消化吸收,初步建立起国产化体系阶段。在此阶段,由于改革开放和国家的重视,以及研究开发环境和国际环境的改善,我国数控技术在研究、开发和产品的国产化方面都取得了长足的进步。

第三阶段是在国家“八五”的后期和“九五”期间,即实施产业化的研究,进入市场竞争阶段。在此阶段,我国国产数控装备的产业化取得了实质性进步。在“九五”末期,国产数控机床的国内市场占有率达 50%,配国产数控系统(普及型)也达到了 10%。目前我国一部分普及型数控机床的生产已经形成一定规模,产品技术性能指标较为成熟,价格合理,在国际市场上具有一定的竞争力。我国数控机床行业所掌握的五轴联动数控技术较成熟,并已有成熟产品走向市场。同时,我国也已进入世界高速数控机床生产国和高精度精密数控机床生产国的行列。

我国现有数控机床生产厂家 100 多家,生产数控产品几千种以上。产品主要分为经济型、普及型和高档型三种类型。在 CIMT 2003 上,中国内地共展出机床 700 多台,在 600 多台金属切削机床和近 100 台金属成形机床展品中,数控机床分别占 75% 和 54%。这既体现了中国机床市场的需求趋势,也反映了中国在数控机床产业化方面取得了突破性进展。

虽然我国在数控产品的研究开发生产各方面有了较大的进步,但目前我国占据市场的产品主要集中在经济型产品上,而在中档、高档产品上市场比例仍然很小,与国外一些先进产品相比,在可靠性、稳定性、速度和精度等方面均存在较大差距。与发达国家相比,我国数控机床行业在信息化技术应用上仍然存在很多不足。其主要表现在以下三个方面。

第一方面是信息化技术基础薄弱,对国外技术依存度高。我国数控机床行业总体的技术开发能力和技术基础薄弱,信息化技术应用程度不高。行业现有的信息化技术来源主要依靠引进国外技术,对国外技术的依存度较高,对引进技术的消化仍停留在掌握已有技术和提高国产化率上,没有上升到形成产品自主开发能力和技术创新能力的高度。具有高精、高速、高效、复合功能、多轴联动等特点的高性能数控机床基本上还依赖进口。

第二方面是产品成熟度较低,可靠性不高。国外数控系统平均无故障时间在 10 000 h 以上,国内自主开发的数控系统仅(3000 ~ 5000) h;整机平均无故障工作时间国外达 800 h 以上,国内最好只 300 h。

第三方面是创新能力低,市场竞争力不强。我国生产数控机床的企业虽达百余家,但大多数未能形成规模生产,信息化技术利用不足,创新能力低,制造成本高,产品市场竞争能力不强。

3. 数控技术的发展趋势

(1) 数控系统结构类型

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,到现在已走过了 50 多年的历程。近 10 年来,随着计算机技术的飞速发展,各种不同层次的开放式数控系统应运而生,发展很快。目前正朝着标准化开放体系结构的方向前进。就结构形式而言,当今世界上的数控系统大致可分为以下四种类型:①传统数控系统;②“PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统;③“NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统;④SOFR 型开放式数控系统。

(2) 目前国外数控系统技术发展的总体趋势

进入 21 世纪,人类社会将逐步进入知识经济时代,知识将成为科技和生产发展的资本与动力,而机床工业,作为机器制造业、工业以至整个国民经济发展的装备部门,其战略地位、受重视程度也将更加鲜明突出。目前国外数控系统技术发展的总体趋势为:

- ①新一代数控系统向 PC 化和开放式体系结构方向发展;
- ②驱动装置向交流、数字化方向发展;
- ③增强通信功能,向网络化发展;
- ④数控系统在控制性能上向智能化发展。

4. 智能化、开放性、网络化、信息化将成为未来数控系统和数控机床发展的主要趋势

- ①向高速、高效、高精度、高可靠性方向发展;
- ②向模块化、智能化、柔性化、网络化和集成化方向发展;
- ③向 PC-based 化和开放性方向发展;
- ④出现新一代数控加工工艺与装备,机械加工向虚拟制造的方向发展;
- ⑤信息技术(IT)与机床的结合,机电一体化先进机床将得到发展;
- ⑥纳米技术将形成新发展潮流,并将有新的突破;
- ⑦节能环保机床将加速发展,占领广大市场。



任务 1.2 数控机床的组成和工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由程序载体、人机交互装置、数控装置、伺服系统、辅助控制装置、反馈系统及机床本体等部分组成,如图 1-1 所示。

1. 程序载体

在数控机床上加工零件,首先要对零件图样上的几何形状、尺寸和技术条件进行工艺分析,并在此基础上确定加工顺序和走刀路线,确定主运动和进给运动的工艺参数,确定加工过程中的各种辅助操作,之后用标准格式和代码编制出零件的加工程序。要对数控机床进行控制,就必须把加工程序、各种参数和数据等相关信息通过输入设备送到数控装置。这就需要在人机之间建立某种联系,这种联系的中间介质就是控制介质,也称为程序

载体，如穿孔纸带、磁盘、键盘（MDI）、手摇脉冲发生器等。

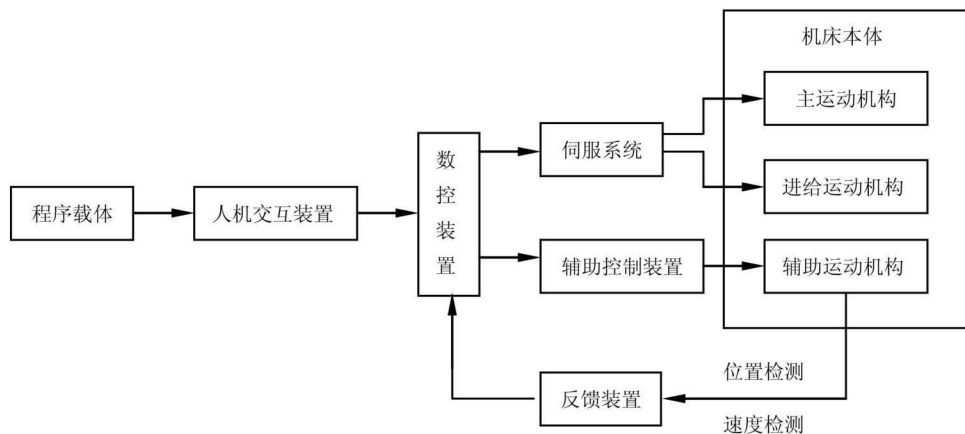


图 1-1 数控机床的组成框图

目前常用的方法是用手动数据输入（MDI）方式将加工程序输入到数控装置中，也可以将加工程序存储在程序载体上。

2. 人机交互装置

数控机床的操作人员通过人机交互装置对数控系统进行操作和控制。人机交互装置的作用是：将程序载体上的数控代码信息转换成电脉冲信号传送到数控装置的内存存储器；对输入的加工程序进行编辑和调试；显示数控机床运行状态；显示机床参数及坐标轴位置等。键盘和显示器是数控系统不可缺少的人机交互装置，现代数控机床，可以利用机床上的显示器及键盘以手动方式输入加工程序，也可以通过计算机用通信方式将自动编程产生的加工程序传送到数控装置。

根据程序载体的不同方式，人机交互装置还可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。

3. 数控装置

数控装置是一种专用计算机，是数控机床最重要的组成部分，一般由中央处理器（CPU）、存储器、总线和输入输出接口等组成。数控装置的作用是将人机交互装置输入的信息，通过内部的逻辑电路或系统的控制软件进行译码、存储、运算和处理，将加工程序转换成控制机床运动的信号和指令，以控制机床的各部件完成加工程序中规定的动作。数控装置是整个数控机床数控系统的核心，决定了机床数控系统功能的强弱。

4. 伺服驱动及检测装置

伺服系统是由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成的数控机床执行机构，其作用是把来自数控装置的位置信息转变为各坐标轴方向的进给运动和定位运动。检测装置随时检测伺服电动机或工作台的实际运动情况，进行严格的速度和位置反馈控制。伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键部分，其控制精度和相应动态特性，对机床的工作性能、加工精度和加工效率有直接的影响。

5. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,包括机床的主运动部件、执行部件和底座、立柱、刀架、工作台等基础部件。数控机床是一种高精度、高生产率和高自动化的加工机床,与普通机床相比,应具有较高的精度和刚度,更好的抗振性和精度保持性,进给传动部件之间的间隙要小。所以其设计要求比通用机床更严格,加工制造要求更高。

1.2.2 数控机床的工作原理

在普通机床上加工零件时,操作者是按照工艺设计人员事先制订好的工艺规程进行加工的。工艺规程中规定了零件加工的工艺路线、工序的内容、刀具的选择、切削用量等内容。实际操作时,机床的起动和停止、主轴转速的改变、进给速度和进给方向的变化等,都是由操作者手工操纵的。由于操作者的操作水平不同等因素的影响,零件加工质量的稳定性很难保证。

在数控机床上加工零件则与在普通机床上的方式不同,它是按照事先编好的程序自动地进行加工。编程人员把加工过程中的所有动作和信息(如主轴的转速、进给速度和方向、各坐标轴的运动坐标等),按照一定的顺序和格式编写在程序中,操作者无法临时改变加工过程。因此,编写数控加工程序比制订普通机床的加工工艺规程复杂和细致得多。同时,由于数控机床是按编制好的程序自动加工的,不受操作者操作水平的影响,所以能够保证零件稳定的质量和很高的加工精度。数控机床的工作原理如图1-2所示。

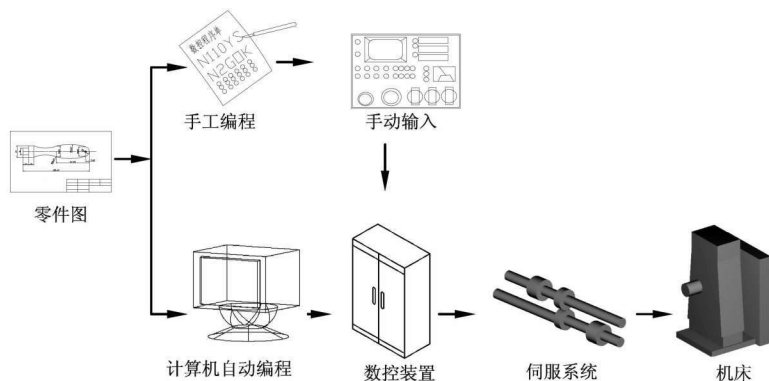


图 1-2 数控机床工作过程

1. 编制加工程序

根据被加工零件的图样进行工艺方案设计,用手工编程或自动编程方法,将加工零件所需的机床各种动作及工艺参数等编写成数控系统能够识别的信息代码,即加工程序。

2. 加工程序的输入

可以通过手动输入方式、光电读带机输入、驱动器输入或用计算机和数控机床的接口直接进行通信等方法,将所编写的零件加工程序输入数控装置。

3. 数控装置对加工程序进行译码和运算处理

进入数控装置的信息代码经一系列的处理和运算变成脉冲信号,有的脉冲信号送到机

床的伺服系统,经传动机构驱动机床相关部件,完成对零件的切削加工;有的脉冲信号送到可编程序控制器中,按顺序控制机床的其他辅助部件,完成零件的夹紧、松开,切削液的开闭及刀具的自动更换等动作。

4. 加工过程的在线检测

机床在执行加工程序的过程中,数控系统需要随时检测机床的坐标轴位置、限位开关的状态等,并与程序的要求相比较,以决定下一步动作,直到加工出合格的零件。



任务 1.3 数控机床的分类

数控机床是在通用机床的基础之上发展起来的,它和通用机床的工艺用途相似,但数控机床能以更快的速度加工精度更高、形状更复杂的零件。所以,数控机床最基本的分类方法是按照工艺用途来分,当然也可以按控制运动的轨迹或按伺服驱动系统的控制方式对数控机床进行分类。

1.3.1 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

普通数控机床:数控钻床、数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。尽管这些机床在加工工艺方面存在着很大差异,具体的控制方式也各不相同,但它们都适用于单件、小批量和多品种的零件加工,具有很好的加工尺寸的一致性、很高的生产率和自动化程度。

数控加工中心:这类数控机床是在普通数控机床的基础上加装刀库和自动换刀装置,它的出现突破了一台机床只能进行一种工艺加工的传统模式。它是以工件为中心,能实现工件在一次装夹后自动地完成多种工序的加工。常见的有以加工箱体类为主的镗铣类加工中心和几乎能够完成各种同转体类零件所有工序加工的车削中心。

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床是指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,包括数控组合冲床、数控压力机、数控弯管机、数控板料折弯机等。

3. 特种加工类数控机床

特种加工类数控机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控焊接机床、数控火焰切割机床、数控等离子切割机床、数控高压水切割机床等。

4. 其他类型数控机床

在非加工设备中也大量采用数控技术,如数控测量机、自动绘图机、装配机、工业机器人等。

近年来一些复合加工的数控机床也开始出现,其基本特点是集中多工序、多刀刃、复合工艺加工在一台设备中完成。

1.3.2 按控制运动的轨迹分类

1. 点位控制

点位控制数控机床是只控制刀具相对于工件定位点的位置精度，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，如图 1-3（a）所示。在保证生产效率与定位精度的情况下，机床工作台（或刀架）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。典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控点焊机等。

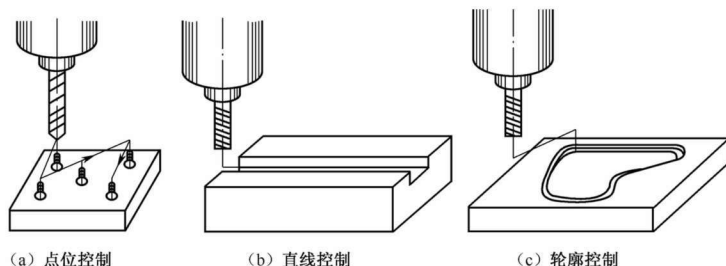


图 1-3 控制运动方式

2. 直线控制

直线控制也称平行控制，是除了控制起点与终点之间的准确位置外，还要求刀具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。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、数控铣床等。如图 1-4 所示为直线控制应用于加工阶梯轴的数控车床。

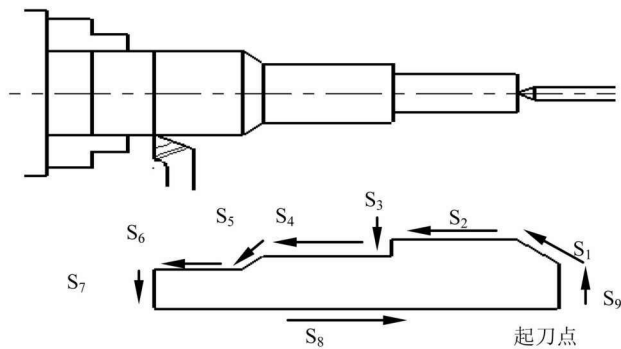


图 1-4 直线控制数控车床加工

3. 轮廓控制

轮廓控制又称连续控制。它的特点是能够对两个或两个以上的坐标方向同时进行连续控制，并能对位移速度进行严格的、不间断的控制。这类数控机床需要控制刀尖整个运动轨迹，使它严格地按加工表面的轮廓形状连续地运动，并在移动时进行切削加工，可以加

工任意斜率的直线、圆弧和其他函数关系曲线。采用这类控制系统的机床有数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心及数控绘图机等。

这类数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上的联动功能,不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能,而且还具有机床轴向运动误差补偿,丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能。

近年来,随着计算机技术的发展,软件功能不断完善,可以通过计算机插补软件实现多坐标联动的轮廓控制。如图1-5所示是轮廓控制数控机床加工示意图。

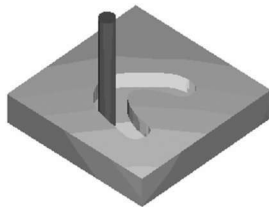


图 1-5 轮廓控制

1.3.3 按控制方式分类

1. 开环控制

开环控制是指不带位置反馈装置的控制方式。由功率步进电动机为驱动器件的运动系统是典型的开环控制。数控装置根据所要求的运动速度和位移量,向环形分配器和功率放大器输出一定频率和数量的脉冲,不断改变步进电动机各相绕组的供电状态,使相应坐标轴的步进电动机转过相应的角位移,再经过机械传动链,实现运动部件的直线移动或转动。运动部件的速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。如图1-6所示是开环控制系统的示意图。

开环控制系统的特点是系统简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前在国内用于经济型数控机床,以及对旧机床的改造。

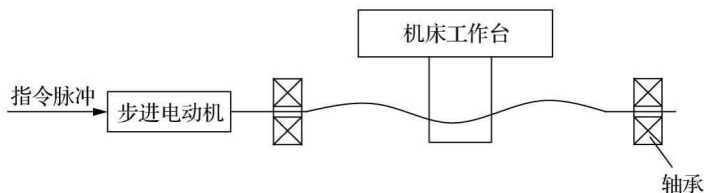


图 1-6 开环控制系统

2. 闭环控制

闭环控制是在机床最终的运动部件的相应位置直接安装直线或回转式检测装置,将直接测量到的位移或角位移反馈到数控装置的比较器中与输入指令位移量进行比较,用差值控制运动部件,使运动部件严格按实际需要的位移量运动。闭环控制的主要优点是将机械传动链的全部环节都包括在闭环之内,因而从理论上说,闭环控制的运动精度主要取决于检测装置的精度,而与机械传动链的误差无关。很明显其控制精度很高,这就为高精度数控机床提供了技术保障。但闭环控制除了价格昂贵之外,对机床结构及传动链仍然提出了严格的要求,传动链的刚度、间隙,导轨的低速运动特性,以及机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试的困难,甚至使伺服系统产生振荡,降低了稳定性。如图1-7所示是闭环控制系统示意图。

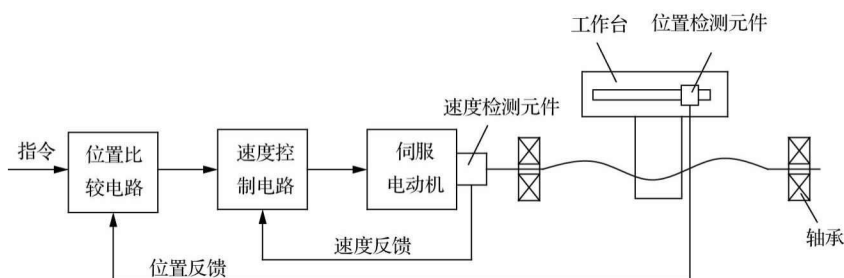


图 1-7 闭环控制系统

3. 半闭环控制

半闭环控制是在开环控制伺服电动机轴上装有角位移检测装置，通过检测伺服电动机的转角间接地检测运动部件的位移（或角位移）反馈给数控装置的比较器，与输入指令进行比较，用差值控制运动部件。随着脉冲编码器的迅速发展和性能的不断完善，作为角位移检测装置可以方便地直接与交流伺服电动机同轴安装，特别是高分辨率的脉冲编码器的诞生，为半闭环控制提供了一种高性能价格比的配置方案。由于惯性较大的机床运动部件不包括在该闭环之内，控制系统的调试十分方便，并具有良好的系统稳定性。甚至可以把脉冲编码器与伺服电动机设计为一个整体，使系统变得更加紧凑，使用起来更为方便。半闭环伺服系统的加工精度显然没有闭环系统高，但是由于采用了高分辨率的测量元件，这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。半闭环控制系统调试比闭环系统方便，稳定性好，成本也比闭环系统低，是一般数控机床常用的伺服控制系统。如图 1-8 所示是半闭环控制系统示意图。

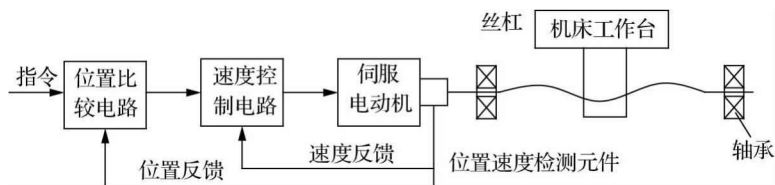


图 1-8 半闭环控制系统

1.3.4 按功能水平分类

1. 经济型数控机床

经济型数控机床的控制系统比较简单，通常采用以步进电动机为伺服驱动元件的开环控制系统，最多能控制 3 个轴，可实现 3 轴三联动以下的控制，一般只有简单的 CTR 字符显示或简单数码显示。程序编制方便，操作人员通过控制台上的键盘手动输入指令与数据，或直接进行操作。经济型数控机床通常采用单板机或单片机数控系统，功能较简单，价格低廉，主要用于车床、线切割机床及旧机床的改造。

2. 普及型数控机床

普及型数控机床采用全功能数控系统，控制功能比较齐全，属于中档数控系统。通常采用半闭环的直流伺服系统或交流伺服系统，也采用闭环伺服系统。

普及型数控机床采用 16 位或 32 位微处理机的数控系统, 机床进给系统中采用半闭环的交流伺服或直流伺服驱动, 能实现 4 轴四联动以下的控制, 分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$, 进给速度为 $(15\sim 20)\text{ m/min}$, 有齐全的 CTR 显示, 能显示字符、图形和具有人机对话功能, 具有 DNC (Direct Numerical Control) 直接数字控制通信接口。

3. 高级型数控机床

高级型数控机床在数控系统中采用 32 位或 16 位微处理机, 进给系统中采用高响应特性的伺服驱动, 可控制 5 个轴, 能实现 5 轴五联动以上控制, 分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$, 进给速度为 $(15\sim 100)\text{ m/min}$, 能显示三维图形, 具有 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 制造自动化通信接口, 具有联网功能。



任务 1.4 数控机床加工的特点和应用范围

1.4.1 数控机床加工的特点

数控机床与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

数控机床是按照预定程序自动加工的, 工作过程一般不需要人工干预, 这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造设备时, 通常采取了许多措施, 使数控机床达到较高的精度。

2. 可实现高柔性生产, 适应性强

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。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。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或曲面。

3. 加工工序相对集中, 生产率高

由于数控机床可采用较大的切削用量, 有效地减少了加工中的切削工时; 数控机床还具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能, 并且无须工序间的检测与测量, 使时间大为缩短; 对于多功能的加工中心, 可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工, 这样不仅可减少装夹误差, 还可减少半成品的周转时间。因此与普通机床相比, 生产效率可提高十几倍甚至几十倍。

4. 减轻工人劳动强度、改善劳动条件

利用数控机床进行加工, 只要按图纸要求编制零件的加工程序单, 然后输入并调试程序, 安装坯件进行加工, 监督加工过程并装卸零件。这就大大减轻了操作者的劳动强度和紧张程度, 减少了对熟练技术工人的需求, 劳动条件也得到了相应改善。