

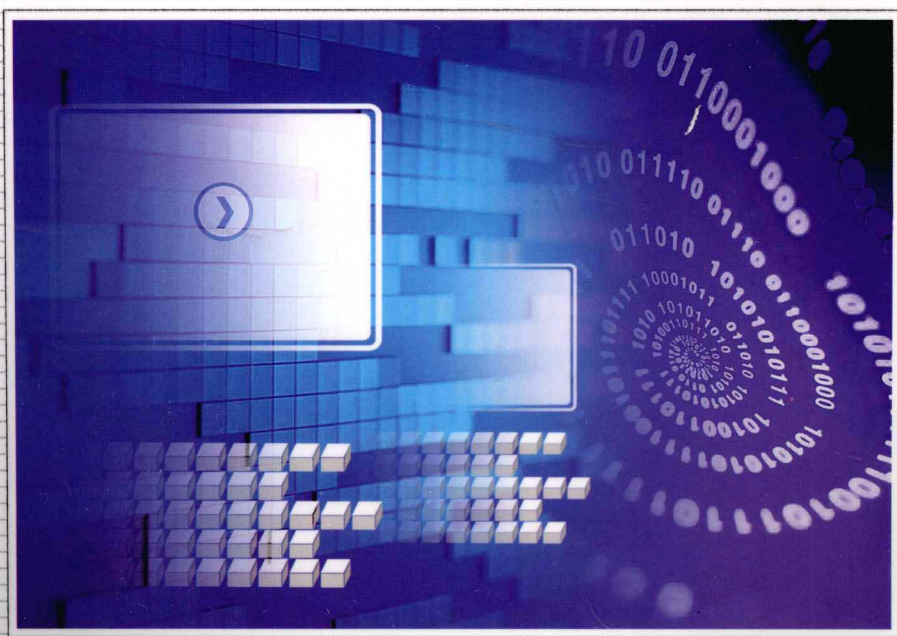


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

数控机床及应用

shukong jichuang ji yingyong

■ 主编 陈玉杰



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的知识。书中首先介绍了数控机床的基本知识;然后介绍数控机床的各个组成部分;包括计算机数控系统、数控机床的机械结构、位置检测装置和伺服系统;围绕数控机床的应用,介绍了应用数控机床进行加工所需要的技术基础知识;各类数控机床的数控编程基本知识与方法;介绍并剖析了若干个应用实例;针对数控机床应用中的常见问题;介绍了数控机床的使用与维护常识。

根据中等职业学校学生情况及国内外教材编写经验,本书删去了较深的理论推导和复杂的数学运算,突出基本概念与应用,叙述深入浅出,力求做到“通俗易懂、好教好学”的特点。因此本书既可以作为机电类专业高等职业技术教育的主干课教材,也可以作为其他相关专业的辅修课教材,同时,还可以作为数控加工编程等的应用培训教材。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及应用/陈玉杰主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2735 - 3

I. 数… II. 陈… III. 数控机床 - 专业学校 - 教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 150284 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 10.5

字 数 / 270 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 18.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把就业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的知识。书中首先介绍了数控机床的基本知识;然后介绍数控机床的各个组成部分:包括计算机数控系统、数控机床的机械结构、位置检测装置和伺服系统;围绕数控机床的应用,介绍了应用数控机床进行加工所需要的技术基础知识;各类数控机床的数控编程基本知识与方法;介绍并剖析了若干个应用实例;针对数控机床应用中的常见问题;介绍了数控机床的使用与维护常识。

根据中等职业学校学生情况及国内外教材编写经验,本书删去了较深的理论推导和复杂的数学运算,突出基本概念与应用,叙述深入浅出,力求做到“通俗易懂、好教好学”的特点。因此本书既可以作为机电类专业中等职业技术教育的主干课教材,也可以作为其他相关专业的辅修课教材,同时,还可以作为数控加工编程等的应用培训教材。

本书在编写过程中参照了大量的文献资料,在此对其作者一并表示衷心的感谢,限于编者的水平和经验,书中欠妥和错误之处在所难免,恳请读者不吝赐教。

编 者

目 录

第一章 数控机床简介.....	1
第一节 数控机床的产生与发展.....	1
第二节 数控机床的组成和工作过程.....	3
第三节 数控机床的特点和分类.....	5
第四节 数控机床的发展趋势.....	8
第二章 计算机数控系统 (CNC)	13
第一节 CNC 系统的基本概念	13
第二节 CNC 系统的硬件结构	18
第三节 CNC 装置的软件结构	23
第四节 插补原理	29
第五节 可编程控制器 (PLC) 的类型及工作原理	33
第三章 数控机床的机械结构	37
第一节 数控机床的机械结构特点	37
第二节 数控机床主传动系统	39
第三节 数控机床进给系统简介	44
第四节 自动换刀装置	53
第五节 回转工作台	62



第四章 伺服驱动系统	69
第一节 伺服系统概述	69
第二节 检测元件	74
第三节 常用伺服执行元件	77
第五章 数控机床的程序编制	84
第一节 数控编程的基本知识	84
第二节 数控机床的坐标系	91
第三节 数控机床加工工艺分析	93
第四节 程序编制中数值节点的计算	101
第五节 数控车床的程序编制	105
第六节 计算机自动编程	124
第六章 普通机床的数控化改造	127
第一节 普通机床数控化改造的方法	127
第二节 普通机床数控化改造实例	131
第三节 数显技术在机械设备改造中的应用	136
第七章 数控机床的使用与维护	142
第一节 数控机床的选择	142
第二节 数控机床的安装、调试和验收	147
第三节 数控机床的维护与保养	157

数控机床简介



本章概述

本章主要介绍了数控机床的产生与发展,接着重点讲解了数控机床的组成、工作原理、特点及分类,最后简单地介绍其未来发展趋势,难点是数控机床的工作原理。



教学目标

1. 了解数控机床的产生和发展过程。
2. 理解数控机床的工作原理,掌握数控机床的组成和特点。
3. 熟悉数控机床的分类。
4. 了解数控机床未来的发展趋势。

* * * * *

第一节

数控机床的产生与发展

一、数控机床的产生

美国麻省理工学院和帕森斯公司 20 世纪 50 年代在美空军后勤部的资助下,于 1952 年 3 月成功研制了世界上第一台有信息存储和处理功能的新型机床,即数控机床(三坐标立式数控铣床)。数控技术及数控机床的诞生,标志生产和控制领域一个崭新时代的到来。科学技术和社会生产力的迅速发展,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成为实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品质量、提高生产率、降低生产成本,还能极大地改善生产者的劳动条件。

许多企业,诸如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂,在大批大量的生产条件下,广泛采用自动机床、组合机床和以专用机床为主体的自动生产线,取得了很高的生产效率和十分显著的经济效益。但是,在机械制造工业中并不是所有的产品都具有很大的批量,单件与小批生产的工件仍占机械加工总量的 80% 左右。尤其是航空、航天、船舶、机床、重型机械、食品加工机械、包装机械和军工等产品,不仅加工批量小,而且所加工工件形状比较复杂,精度要求也很高,还需要经常改型。如果仍采用专用化程度很高的自动化机床加工这类产品的工件就显得很不合理。对于专用生产线,经常进行改装和调整,不仅会大大提高产品的成



本,甚至也不能满足加工要求。由于“刚性”的大量生产方式使产品的改型和更新变得十分困难,而人们又认识到,用户所得到的价格相对低廉的产品是以牺牲产品的某些性能为代价的。因此,为了保持企业产品的市场份额,即使是大量生产的企业也必须改变产品长期一成不变的传统做法。这样,“刚性”的自动化生产方式即使是在批量生产中也已日益显露其不适应性。

数控机床的产生极其有效地解决了这一系列问题,使多品种、小批量的自动化生产成为可能,为精度高、形状复杂的工件及单件、小批量加工提供了自动化加工手段。

数字控制机床(Numerically Controlled MachineTool),简称数控机床,指的是用数字化信息实现控制的机床,或指装备了数控系统的机床。数控机床将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、工件松夹、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等)和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示,通过控制介质(如穿孔纸带或磁盘等)将数字信息送入数控装置,数控装置对输入的信息进行处理与运算,发出各种控制信号,控制机床的伺服系统或其他驱动元件,使机床自动加工出所需要的工件。

二、数控机床的发展

第一台数控机床的出现引起了世界各国的关注,它的出现不仅解决了复杂曲线与型面的加工问题,而且指出了今后机床自动化的方向,因此世界各国纷纷投入数控机床及其相关技术的研究。经过半个世纪的研究发展,到现在数控机床已是集现代机械制造技术、计算机技术、通信技术、控制技术、液压气动技术及光电技术为一体的,具有高精度、高效率、高自动化和高柔性等特点的机械自动化设备。其品种不仅覆盖了全部传统的切削加工机床,而且推广到了锻压机床、电加工机床、焊接机、测量机等各个方面,在各个加工行业中得到了广泛的应用。

数控机床相关技术的发展如下:

1. 数控系统

(1) 数控(NC)阶段

- 第一代数控系统:1952年~1959年,采用电子管、继电器元件;
- 第二代数控系统:1959年开始,采用晶体管元件;
- 第三代数控系统:1965年开始,采用集成电路。

(2) 计算机数控(CNC)阶段

- 第四代数控系统:1970年开始,采用大规模集成电路及小型计算机;
- 第五代数控系统:1974年开始,采用微型计算机;
- 第六代数控系统:1990年开始,基于PC机。

随着数控系统的发展,其功能不断增多,柔性不断增强,性能价格比不断提高,与此同时,伺服系统和检测元件的性能不断改善,其控制精度也不断提高。

近10年来,由于国外很多知名公司的潜心研究和大力开发,各种不同层次的数控系统快速产生并迅速发展,数控系统正在发生着日新月异的变化。

2. 伺服驱动系统

伺服驱动系统的性能直接影响数控机床的精度和进给速度,是数控机床的一个很重要的环节。伺服驱动系统的发展经历了电-液-电三个阶段。

第一阶段采用普通直流电动机作为执行元件，利用电轴的办法进行控制。由于普通直流电动机的低速性能差，灵敏度低，这种伺服驱动系统很快就被淘汰了。

第二阶段以液动机代替直流电动机作为执行元件。这在第一台数控机床出现后，就已经开始研制，但直到 20 世纪 60 年代初才全面取代了直流电动机。日本使用的是电液脉冲电动机，西欧、美国则多采用电液伺服阀加上液动机。采用液压驱动后，控制性能有了很大提高，但寿命短、成本高、功率消耗大是其致命的缺点。

到 20 世纪 60 年代末期，伺服驱动系统迎来了发展的第三阶段。成功研制了由伺服单元、直流进给伺服电动机和反馈元件组成的进给伺服系统。因其性能完全能满足数控机床的要求、寿命长、可靠性好，伺服驱动系统很快就取代了液压伺服系统。

近年来又出现了数字化交流伺服电动机，其性能和可靠性又优于直流伺服电动机。

3. 主轴伺服驱动

最早的数控机床的主轴是不受控制的，随着数控机床的发展，要求对主轴进行控制。例如加工中心的出现，就要求控制主轴的启动、停止、正反转和主轴的转速；为了加工螺纹，就要求主轴的回转与 X 轴联动。因此出现了直流主轴伺服电动机。近年来又被交流主轴伺服电动机所取代。随着对主轴转速要求的不断提高，出现了电动机内装式主轴，即用主轴作为电动机轴，电动机的转子安装在主轴上，定子安装在套筒内，这样就不需要齿轮传动，转速可达每分钟几万到十几万转。

以上所述为数控机床主要组成部分的发展概况。其他相关技术，例如程序载体和输入装置、自动监控技术也得到很大的发展，机床本身的结构设计及其新零配件的使用等也在不断地发展。

第 2 节 数控机床的组成和工作过程

一、数控机床的组成

数控机床一般由输入、输出装置、数控装置、可编程控制器、伺服系统、检测反馈装置和机床主机等组成，如图 1-1 所示。

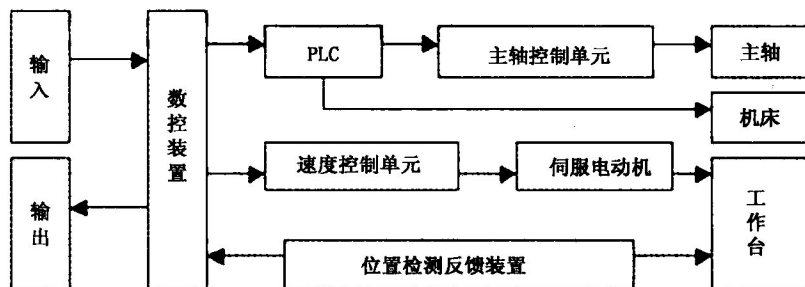


图 1-1 数控机床组成

1. 输入输出装置

输入装置可将不同加工信息传递于计算机。在数控机床产生的初期，输入装置为穿孔纸



带，现已趋于淘汰；目前，使用键盘、磁盘等，大大方便了信息输入工作。

输出指输出内部工作参数（含机床正常、理想工作状态下的原始参数，故障诊断参数等），一般在机床刚工作状态需输出这些参数做记录保存，待工作一段时间后，再将输出与原始资料作比较、对照，可帮助判断机床工作是否维持正常。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心与主导，完成所有加工数据的处理、计算工作，最终实现数控机床各功能的指挥工作。它包含微计算机的电路，各种接口电路、CRT 显示器等硬件及相应的软件。

3. 可编程控制器

即 PLC，它对主轴单元实现控制，将程序中的转速指令进行处理而控制主轴转速；管理刀库，进行自动刀具交换、选刀方式、刀具累计使用次数、刀具剩余寿命及刀具刃磨次数等管理；控制主轴正反转和停止、准停、切削液开关、卡盘夹紧松开、机械手取送刀等动作；还对机床外部开关（行程开关、压力开关、温控开关等）进行控制；对输出信号（刀库、机械手、回转工作台等）进行控制。

4. 检测反馈装置

由检测元件和相应的电路组成，主要是检测速度和位移，并将信息反馈于数控装置，实现闭环控制以保证数控机床加工精度。

5. 机床主机

数控机床的主体，包括床身、主轴、进给传动机构等机械部件。

二、数控机床的工作过程

数控机床的工作大致有如下几个过程，见图 1-2。

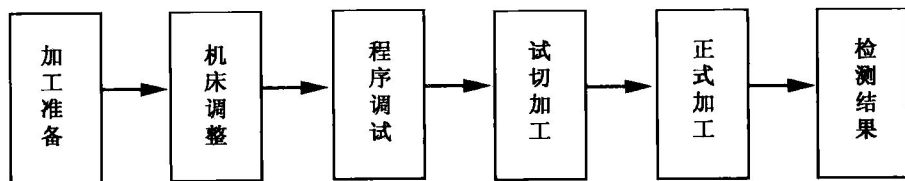


图 1-2 数控机床工作过程

数控加工的准备过程较复杂，内容多，包括对零件的结构认识、工艺分析、工艺方案的制订、加工程序编制、选用工装、辅具及其使用方法等。

机床的调整主要包括刀具命名、调入刀库、工件安装、对刀、测量刀位、机床各部位状态等多项工作内容。

程序调试主要是对程序本身的逻辑问题及其设计合理性进行检查和调整。

试切加工则是对零件加工设计方案进行动态下的考查，而整个过程均需在前一步实现后的结果评价后再作后一步工作。

试切成功后方可对零件进行正式加工，并对加工后的零件进行结果检测。

前三步工作均为待机时间，为提高工作效率，希望待机时间越短越好，就越有利于机床合理使用。该项指标直接影响对机床利用率的评价（即机床实动率）。

第二节 数控机床的特点和分类

一、数控机床的特点

1. 生产效率高

数控机床的主轴转速、进给速度和快速定位速度高,合理地选择高的切削参数,可以充分发挥刀具的性能,减少切削时间。同时,可以自动完成一些辅助动作,精度高且稳定,不需要在加工过程中进行中间测量,连续完成整个加工过程,减少辅助动作时间和停机时间。因此,数控机床的生产效率高。

2. 适应性强,可以完成不同工件的自动加工

适应性即所谓的柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只得重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新的零件的加工,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的,这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。

3. 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高,但在单件、小批量生产的情况下,使用数控机床加工可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积和建厂投资。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

4. 有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

5. 加工精度高,尺寸一致性好

数控机床具有很高的刚度和热稳定性,其本身精度比较高(一般数控机床的定位精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$,重复定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$),还可以利用软件进行精度校正和补偿。同时,在加工过程中工人不参与操作,工件的加工精度全部由数控机床保证,消除了操作者的人为误差。因此,不但加工精度高,而且尺寸一致性好,加工质量稳定。

6. 减轻劳动强度、改善劳动条件

数控机床是自动进行加工的,工件的加工过程不需要人的干预,工人只需要进行装夹工件、启动机床等操作,加工结束自动停车。这样就改善了劳动条件,从而也大大减轻了工人的劳动强度。

二、数控机床的分类

数控机床有许多分类方法,但通常按以下最基本的三个方面进行分类:



1. 按控制运动轨迹分类

(1) 直线控制数控机床 直线控制数控机床的特点是机床的运动部件不仅能实现一个坐标位置到另一坐标位置的精确移动和定位, 而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线的进给运动。用于数控镗床可以在一次安装中对棱柱形工件的平面与台阶进行加工, 然后进行点位控制的钻孔、镗孔加工, 有效提高了加工精度和生产率。直线控制还可以用于加工阶梯轴或盘类工件的数控车床。图 1-3 所示是直线控制加工示意图。

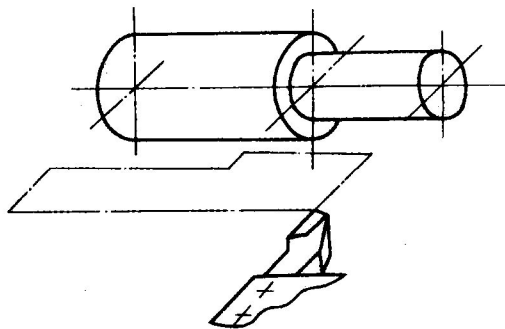


图 1-3 直线控制加工示意图

(2) 点位控制数控机床 点位控制数控机床的特点是机床的运动部件只能够实现从一个位置到另一个位置的精确运动, 在运动和定位过程中不进行任何加工工序。数控系统只需要控制行程起点和终点的坐标值, 而不控制运动部件的运动轨迹。多用于数控钻床、数控镗床、数控电焊机等。图 1-4 所示为点位控制加工示意图。

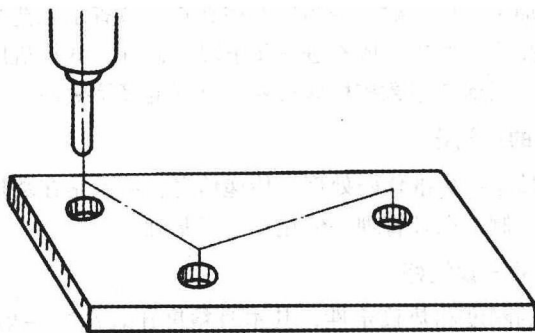


图 1-4 点位控制加工示意图

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制 (又称连续控制) 数控机床的特点是机床的运动部件能够实现两个或两个以上的坐标轴同时进行联动控制。它不仅要控制机床运动部件的起点与终点坐标位置, 而且要控制整个加工过程每一点的速度和位移量, 即要控制运动轨迹, 用于加工平面内的直线、曲线表面或空间曲面。轮廓控制多用于数控铣床、数控车床、数控磨床和各类数控切割机床, 取代了所有类型的仿形加工机床, 提高了加工精度和生产

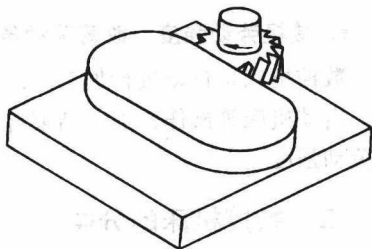


图 1-5 轮廓控制加工示意图

率,并极大地缩短了生产准备时间。图 1-5 所示是轮廓控制加工示意图。

2. 按控制方式分类

(1) 开环控制数控机床 开环控制系统的特点是系统只按照数控装置的指令脉冲进行工作,而对执行的结果,即移动部件的实际位移不进行检测和反馈。

图 1-6 所示是典型的开环控制系统原理图。步进电动机作为驱动元件,数控装置发出指令脉冲,通过环形分配器和功率放大器驱动步进电动机。每一个指令脉冲使步进电动机转一个角度,此角度叫做步进电动机的步距角。齿轮箱、滚珠丝杠传动使工作台产生一定位移,步进电动机转一个步距角使工作台产生的位移量,即是数控装置发出一个指令脉冲而使移动部件产生的相应位移量,通常称为脉冲当量。因此,工作台的位移量与数控装置发出的指令脉冲成正比,移动的速度与脉冲的频率成正比。改变指令脉冲的数目和频率,即可控制工作台的位移量和速度。这种系统结构简单、调试方便、价格低廉、易于维修,但机床的位置精度完全取决于步进电动机的步距角精度和机械部分的传动精度,所以很难得到较高的位置精度。目前,开环控制系统多用于经济型数控机床上。

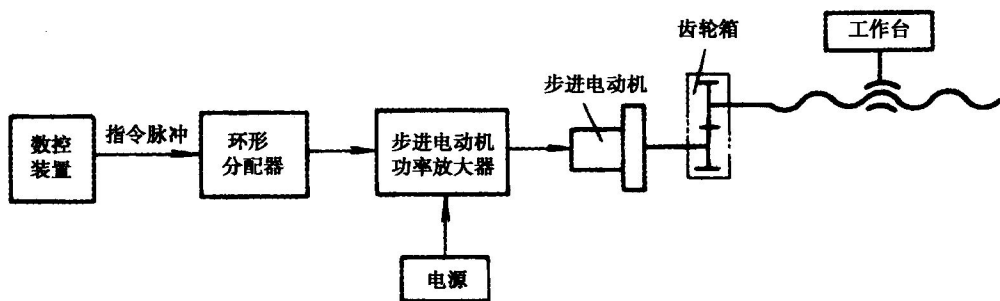


图 1-6 开环控制系统原理图

(2) 闭环控制数控机床 闭环控制系统是在机床最终的运动部件的相应位置安装直线位置检测装置,当数控装置发出位移指令脉冲,经过伺服电动机、机械传动装置驱动运动部件移动时,直线位置检测装置将检测所得位移量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,使运动部件严格按实际需要的位移量运动。图 1-7 所示为闭环控制系统原理图。

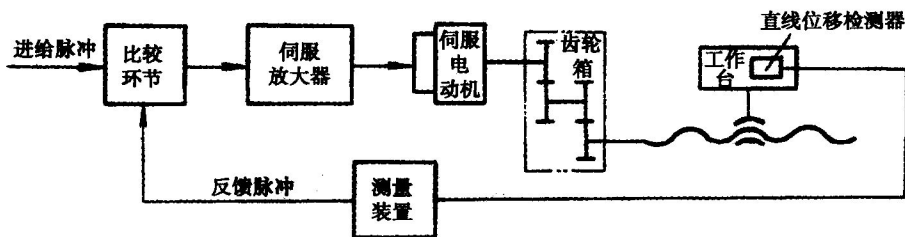
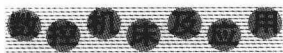


图 1-7 闭环控制系统原理图

闭环控制系统的特点是加工精度高、移动速度快。但是机械传动装置的刚度、摩擦阻尼特性、反向间隙等非线性因素,对系统的稳定性有很大影响,造成闭环控制系统安装调试比较复杂。且直线位移检测装置造价较高,因此闭环控制系统多用于高精度数控机床和大型数控机床。



(3) 半闭环控制数控机床 半闭环控制系统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出运动部件的位移(或角位移),并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。由于半闭环控制的运动部件的机械传动链不包括在闭环之内,机械传动链的误差无法得到校正或消除。惯性较大的机床运动部件不包括在闭环之内,控制系统的调试十分方便,并具有良好的系统稳定性。同时,由于目前广泛采用的滚珠丝杠螺母机构具有良好的精度和精度保持性,且采取了可靠的消除反向运动间隙的结构,因此,在一般情况下,半闭环控制正成为首选的控制方式并被广泛采用。图 1-8 所示为半闭环控制系统原理图。

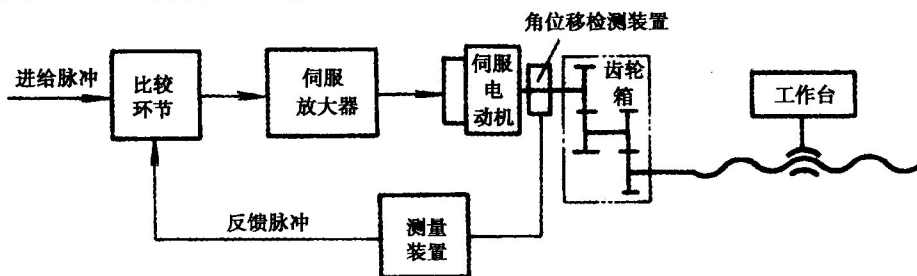


图 1-8 半闭环控制系统原理图

3. 按工艺用途分类

(1) 一般数控机床 它和普通机床的分类方法相似,可分为数控车床、数控钻床、数控铣床、数控镗床、数控磨床和数控齿轮加工机床等。它们和普通机床的工艺用途相似,但生产率和自动化程度比普通机床高,都适合加工单件、小批量、多品种和复杂形状的工件。

(2) 数控加工中心 这类数控机床是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置,构成一种带自动换刀装置的数控机床。在一次装夹后,可以对工件的大部分表面进行加工,而且具有两种以上的切削功能。例如以钻削为主兼顾铣、镗的数控机床,称为钻削中心;以车削为主兼顾铣、钻的数控机床,称为车削中心;集铣、钻、镗所有功能于一体的数控机床,称为加工中心。

此外,数控机床也可根据其功能水平、联动轴数、数控装置的构成进行分类。如按功能水平分为高档型数控机床、普及型数控机床、经济型数控机床;按联动轴数分为三轴两联动、三轴联动、四轴四联动、五轴五联动机床等;按数控装置的构成方式分为硬件数控机床和软件数控机床。

第四节 数控机床的发展趋势

一、数控机床的发展趋势

为了满足市场和科学技术发展的需要,为了达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求,数控未来仍然继续向开放式、基于 PC 的第六代方式、高速化和高精度化、智能化等方向发展。

1. 开放式

为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求,最重要的发展趋势是体系结构的开放性,设计生产开放式的数控系统,例如美国、欧共体及日本发展开放式数控的计划等。

2. 基于 PC 的第六代方式

基于 PC 所具有的开放性、低成本、软硬件资源丰富等特点,更多的数控系统生产厂家会走上这条道路。至少采用 PC 机作为它的前端机来处理人机界面、编程、联网通信等问题,由原有的系统承担数控的任务。PC 机所具有的友好的人机界面,将普及到所有的数控系统。远程通信,远程诊断和维修将更加普遍。

3. 高速化、高效化

机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。20 世纪 90 年代以来,随着超高速切削机制、超硬耐磨、长寿命刀具材料和磨料磨具,大功率高速电主轴、高加/减速度直线电机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域关键技术的解决,欧、美、日各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速 15 000 ~ 100 000r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度 60 ~ 120m/min,切削进给速度高达 60m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。

根据高效率、大批量生产需求和电子驱动技术的飞速发展,高速直线电机的推广应用,开发出一批高速、高效的高速响应的数控机床以满足汽车、农机等行业的需求。还由于新产品更新换代周期加快,模具、航空、军事等工业的加工零件不但复杂而且品种增多。

4. 高精密化

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高普通机电产品的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量,从而提高装配效率的需要。从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级($<10\text{nm}$),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工(三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出了新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。为了满足用户的需要,近 10 多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm 3 \sim 5\mu\text{m}$,提高到 $\pm 1 \sim 1.5\mu\text{m}$ 。

5. 高可靠性

数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,因为是商品,受性能价格比的约束。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16h 内连续正常工作,无故障率大于 99% 的话,则数控机床的平均无故障



运行时间 MTBF 就必须大于 3 000h。MTBF 大于 3 000h, 对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了, 我们只对一台数控机床而言, 如主机与数控系统的失效率之比为 10:1 的话 (数控的可靠比主机高一个数量级)。此时数控系统的 MTBF 就要大于 33 333.3h, 而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万 h。

6. 智能化

随着人工智能在计算机领域的不断渗透和发展, 数控系统的智能化程度将不断提高, 智能化的内容包括在数控系统中的各个方面。

- 应用自适应控制技术 数控系统能检测过程中一些重要信息, 并自动调整系统的有关参数, 达到改进系统运行状态的目的。

- 引入专家系统指导加工 将熟练工人和专家的经验, 加工的一般规律和特殊规律存入系统中, 以工艺参数数据库为支撑, 建立具有人工智能的专家系统。

- 引入故障诊断专家系统

- 智能化数字伺服驱动装置 可以通过自动识别负载, 而自动调整参数, 使驱动系统获得最佳的运行。

综上所述, 由于数控机床不断采纳科学技术发展中的各种新技术, 使得其功能日趋完善, 数控技术在机械加工中的地位也显得越来越重要, 数控机床的广泛应用是现代制造业发展的必然趋势。

二、自动化生产系统的发展趋势

随着单机自动化程度的不断提高, 出现了由多台数控机床组成的自动化程度更高的生产系统。

1. 自动化工厂 (FA)

所谓自动化工厂, 实际上是制造车间的自动化。它由一台通用计算机控制车间内的几条柔性制造系统 (FMS), 自动加工各种工件, 车间内只有几个工人负责工件的装卸。

2. 计算机直接数字控制系统 (DNC)

计算机直接数字控制系统就是用一台通用计算机直接控制多台数控机床进行多品种、多工序的自动加工。这种方式解决了 CNC 系统存储量小的问题, 同时也使从计算机辅助设计、计算机辅助工艺编制、自动程序编制到数控机床的信息的直接传递成为可能, 减少了生产准备时间。

3. 计算机集成制造系统 (CIMS)

计算机集成制造系统是指用最新的计算机技术, 控制从订货、设计、工艺、制造到销售的全过程, 以实现信息系统一体化的高效率的柔性集成制造系统。利用计算机集成制造系统可以把企业内部的生产活动有机地联系在一起, 最终实现企业内部的综合自动化。

4. 柔性制造系统 (FMS)

柔性制造系统是由加工设备、物流系统和信息流系统三部分组成的高度自动化和高度柔性化的制造系统, 它可以实现几种、几十种甚至上百种工件的自动混流加工。

加工设备是柔性制造系统的主体, 由相同的或不相同的若干台数控机床和一些辅助设备 (如清洗机、测量机等) 组成。