

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

数控原理与数控系统

主编 徐夏民 邵泽强

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

内 容 简 介

本书是为了适应高等职业技术教育发展的需要而编写的机电一体化、数控技术专业规划教材之一。本书主要内容包括：机床数控原理与系统的基础知识，数控系统的工作原理，数控系统的插补原理与刀具补偿原理，数控系统的硬件和软件，伺服系统的检测元件，伺服驱动系统，典型计算机数控系统简介等。本书采用国家最新标准，突出实用性和先进性。

本教材是高等职业院校机械类、机电类、数控类专业通用教材，也可作为相关技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数控原理与数控系统 / 徐夏民, 邵泽强主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2006. 8

ISBN 7 - 5640 - 0771 - 0

I . 数… II . ①徐… ②邵… III . ①数控机床②数控系统-高等学校: 技术学校-教材 IV . TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 098012 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 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 268 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 20.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书是为了适应高等职业技术教育发展的需要而编写的机电一体化、数控技术专业规划教材之一，书中借鉴了德国“双元制”职业教育相关教材的先进理念，根据教育部制定的数控技术应用专业技能型紧缺人才培养培训工程教改方案，结合作者多年的工程实践和教学经验，并针对高职机电一体化、数控技术专业教学对象的实际情况而编写，力求通俗易懂，删繁就简，注重实用性和先进性。

本书共分7章，主要介绍了机床数控原理与数控系统的基础知识，包括数控机床的工作原理、柔性制造技术、数控程序的编制基础和输入、数控系统的插补原理与刀具补偿原理、数控系统的硬件和软件、伺服系统的检测元件、数控机床的伺服驱动系统和典型数控系统等内容。

本书的主要特点有：

1. 以就业为导向，能力为本位，以“必需”、“够用”为度，删除不必要的理论推导，突出实用性。
2. 本书图文并茂，简洁明了，内容编排遵循认知规律，直观性强。
3. 本书介绍了目前应用最广泛的三种数控系统，注重先进性。
4. 每章节均有教学目标、思考与练习，突出重点内容，便于掌握和巩固。
5. 参照数控机床操作工《国家职业资格》三级（高级工）的要求，组织全书内容。

本书可作为机电一体化、数控技术等专业通用教材，也可作为职业培训教材或相关技术人员的参考书。

本书由江苏联合职业技术学院无锡机电分院徐夏民和邵泽强担任主编，参加编写的还有江苏联合职业技术学院无锡机电分院吴伟、张建平、王晓忠。全书由徐夏民统稿。

在本书编写过程中，得到了各级领导的关心和大力支持；同时在编写时参阅了国内外同

行的书籍和著述，编者在此一并致谢！

限于时间、篇幅及编者的业务水平，在内容上难免有缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

前 言

本书是根据国家教育部制定的数控技术应用专业技能型紧缺人才培养培训工程方案，借鉴德国“双元制”职业教育体系的先进理念，并针对机电一体化、数控技术专业教学，结合作者多年的工程实践和教学经验而编写的，力求通俗易懂，删繁就简，注重实用性和先进性。

本书共分7章，主要介绍了机床数控原理与数控系统的基础知识，包括数控机床的工作原理、柔性制造技术、数控程序的编制基础和输入、数控系统的插补原理与刀具补偿原理、数控系统的硬件和软件、伺服系统的检测元件、数控机床的伺服驱动系统和典型数控系统等内容。

本书的主要特点有：

1. 以就业为导向，能力为本位，以“必需”、“够用”为度，删除不必要的理论推导，突出实用性。
2. 本书图文并茂，简洁明了，内容编排遵循认知规律，直观性强。
3. 本书介绍了目前应用最广泛的三种数控系统，注重先进性。
4. 每章节均有学习目标、思考与练习，突出重点内容，便于掌握和巩固。
5. 参照数控机床操作工《国家职业资格》三级（高级工）的要求，组织全书内容。

本书可作为机电一体化、数控技术等专业通用教材，也可作为职业培训教材或相关技术人员参考书。

本书由徐夏民和邵泽强担任主编，参加编写的还有吴伟、张建平、王晓忠。全书由徐夏民统稿。

在本书编写过程中，得到了各级领导的关心和大力支持；同时在编写时参阅了国内外同行的书籍和著述，编者在此一并致谢！

限于时间、篇幅及编者的业务水平，在内容上难免有缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 数控系统的基本概念	(1)
1.2 数控机床的组成与工作原理	(2)
1.3 数控机床的特点	(6)
1.4 数控机床的分类	(9)
1.5 数控系统的发展趋势	(13)
1.6 柔性制造技术	(15)
第 2 章 数控加工程序的编制基础及输入	(22)
2.1 数控加工程序的编制基础	(22)
2.2 数控系统的操作面板	(32)
2.3 数控加工程序的输入	(39)
第 3 章 数控系统的插补原理与刀具补偿原理	(44)
3.1 概述	(44)
3.2 逐点比较插补法	(46)
3.3 数字积分插补法	(59)
3.4 数字增量插补法	(66)
3.5 刀具补偿原理	(70)
3.6 进给速度和加减控制	(75)
第 4 章 数控系统的硬件和软件	(84)
4.1 概述	(84)
4.2 数控系统的硬件结构	(89)
4.3 数控系统的 I/O 接口	(94)
4.4 数控系统的通信	(98)

4.5	数控系统的软件结构	(106)
4.6	数控机床用可编程序控制器	(112)
第 5 章	伺服系统的检测元件	(125)
5.1	概述	(125)
5.2	旋转变压器	(128)
5.3	感应同步器	(132)
5.4	光栅	(138)
5.5	磁栅	(142)
5.6	编码器	(147)
第 6 章	数控机床的伺服驱动系统	(152)
6.1	概述	(152)
6.2	步进电机及其驱动控制系统	(154)
6.3	直流伺服电机及其速度控制系统	(164)
6.4	交流伺服电机及其速度控制系统	(170)
6.5	位置控制	(176)
第 7 章	典型数控系统简介	(184)
7.1	华中数控系统	(184)
7.2	SIEMENS 数控系统	(190)
7.3	FANUC 数控系统	(203)
参考文献	(207)

第 1 章

概 述

1.1 数控系统的基本概念

■ 教学目标

- 掌握数控技术和数控系统的概念
- 了解数控机床的发展史

1. 数控系统的概念

数字控制 (Numerical Control) 技术, 简称为数控 (NC) 技术, 是一种自动控制技术, 它用数字指令来控制机床的运动。

采用数控技术的自动控制系统称为数控系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。随着生产的发展, 数控技术已不仅用于金属切削机床, 同时还用于其他的机械设备, 如三坐标测量机、工业机器人、激光切割机、数控雕刻机、电火花切割机等机器上。

数控技术在硬件和软件方面, 发展速度都很快。目前, 市场上已见不到普通的数控 (NC) 机床, 取而代之的是计算机数控机床。计算机数控 (Computer Numerical Control, 简称为 CNC) 系统是采用存储程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能的数控系统。目前所说的数控, 一般是指计算机数控 (CNC)。

2. 数控机床的发展简史

20 世纪 40 年代, 飞机和导弹制造业发展迅速, 原来的加工设备已无法承担加工航空工业需要的高精度的复杂型面零件。数控技术是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。1948 年, 美国 PARSONS 公司在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时, 首先提出了数控机床的设想, 在麻省理工学院 (MIT) 伺服机构研究所的协助下, 于 1952 年成功研制了世界上第一台三坐标数控铣床样机。后又经过三年时间的改进和自动程序编制的研究, 数控机床进入了实用阶段。市场上出现的商品化数控机床, 在复杂曲面的加工中发挥了重要的作用。1958 年, 美国 KEANEY & TRECKER 公司在世界上首先研制成功了带有自动换刀装

置的加工中心。

由于微电子和计算机技术的不断发展，数控系统也随着不断更新，发展异常迅速，几乎五年左右时间就更新换代一次。从第一台数控机床诞生起，数控系统已经历了几代变化。

第一代数控：1952—1959年采用电子管构成的专用数控（NC）系统。

第二代数控：从1959年开始采用晶体管电路的NC系统。

第三代数控：从1965年开始采用小、中规模集成电路的NC系统。

第四代数控：从1970年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统（CNC）。

第五代数控：从1974年开始采用微型电子计算机数控系统（Microcomputer Numerical Control，简称为MNC）。

由于数控机床的优越性，在国际竞争日益剧烈、产品品种变化频繁的形势下，各国都致力于开发各种数控机床，机床的数控化率不断提高。

我国从1958年开始研制数控机床，到20世纪60年代末和70年代初，简易的数控线切割机床已在生产中广泛使用。20世纪80年代初，我国引进了德国、日本和美国等发达国家先进的数控技术，开始批量生产数控系统，使我国的数控机床在质量和性能上都有了很大的提高。我国开发并生产了数控车床、数控铣床、数控磨床和加工中心等40多种新品种。从20世纪90年代起，一些较高档次的五轴联动数控机床也已开发出来，并向高档数控机床发展。

思考与练习

1. 什么是数控技术？什么是计算机数控系统？什么是数控机床？
2. 世界上第一台数控铣床是哪一年研制成功的？第一台加工中心是哪一年研制成功的？
3. NC与CNC有什么区别？

1.2 数控机床的组成与工作原理

■ 教学目标

- 熟悉数控机床的组成部分
- 了解数控机床的工作原理
- 了解数控系统的组成部分

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由信息载体、数控系统和机床本体组成。而数控系统由输入/输出装置、

计算机数控装置、可编程序控制器和伺服驱动装置四部分组成，有些数控系统还配有位置检测装置，其结构框图如图 1-1 所示。

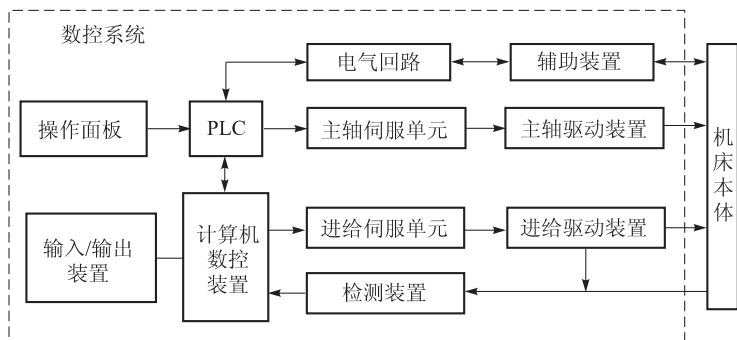


图 1-1 数控系统的组成

1. 信息载体

信息载体又称控制介质，用于记载各种加工信息，如刀具和零件的相对运动数据、工艺参数（进给速度、主轴转速等）和辅助运动形式等，以控制机床的运动，实现零件的加工。编程工作可由人工进行，也可由计算机自动编程软件完成。常用的信息载体有穿孔纸带、磁带、磁盘等，并通过相应的输入装置将加工信息输入到数控系统中，或采用系统操作面板上的键盘将加工程序直接输入。最早使用的信息载体是穿孔纸带，目前我国统一使用国际上通用的 ISO 代码。

2. 数控系统

这是数控机床的核心，它的功能是接受输入装置输入的加工信息，完成数控计算、逻辑判断、输入/输出控制等功能。计算机数控系统一般由输入/输出装置、计算机数控装置、可编程序控制器、伺服驱动装置和位置检测装置等组成。

（1）输入/输出装置

数控机床在进行加工前，必须接受由操作人员输入的零件加工程序，然后才能根据输入的加工程序进行加工控制，从而加工出所需的零件。在加工过程中，操作人员要向机床数控装置输入操作命令，数控装置要为操作人员显示必要的信息，如坐标值、报警信号等。此外，输入的程序并非全部正确，有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员信息交流的过程，要进行信息交流，数控系统中必须具备必要的交互设备，即输入/输出装置。

数控系统操作面板和显示器是数控系统不可缺少的人机交互设备，操作人员可通过数控系统操作面板和显示器输入程序、编辑修改程序和发送操作命令。数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息，根据系统所处的状态和操作命令的不同，显示的信息可以是正在编

辑的程序，或是机床的加工信息。较简单的显示器只有若干个数码管，显示的信息也有限；较高级的系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示的信息较丰富。低档的显示器只能显示字符，中、高档的显示系统能显示图形。

数控加工程序编制好后，一般存放于便于输入到数控装置的一种介质上。传统的方式是将编制好的程序记录在穿孔纸带或磁带上，然后由纸带阅读机或磁带机输入数控系统，因此纸带阅读机和磁带机是数控机床的典型输入设备。

随着计算机技术的发展，一些计算机中的通用技术也融入数控系统，如磁盘也作为存储零件信息的介质引入数控系统。与纸带相比，磁盘存储密度大，存取速度快，存取方便，所以应用越来越广泛。

数控机床程序输入的方法除上述的面板、磁盘、磁带和穿孔纸带外，还可以用标准的 RS-232 串行接口通信的方式输入。高级的数控系统还包含一套自动编程机或者 CAD/CAM 系统，由这些设备实现编制程序、输入程序、输入数据以及显示、存储和打印等功能。随着 CAD、CAM、CIMS 技术的发展，机床数控系统和计算机的通信显得越来越重要。

（2）计算机数控装置

计算机数控装置是数控系统的核心。它的主要功能是将输入装置传送的数控加工程序，经数控系统软件进行译码、插补运算和速度预处理，输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统，进而控制机床动作。

（3）可编程控制器

在数控系统中除了进行轮廓轨迹控制和点位控制外，还应控制一些开关量，如主轴的启动与停止、冷却液的开与关、刀具的更换、工作台的夹紧与松开等，主要由可编程控制器来完成。

（4）伺服驱动装置

伺服驱动装置又称伺服系统，它是 CNC 装置和机床本体的联系环节。它把来自 CNC 装置的微弱指令信号调解、转换、放大后驱动伺服电机，通过执行部件驱动机床运动，使工作台精确定位或使刀具与工件按规定的轨迹作相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。数控机床的伺服驱动装置包括主轴驱动单元（主要是转速控制）、进给驱动单元（包括位移和速度控制）、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

（5）位置检测装置

位置检测装置主要用于闭环和半闭环系统。检测装置检测出实际的位移量，反馈给 CNC 装置中的比较器，与 CNC 装置发出的指令信号比较，如果有差值，就发出运动控制信号，控制数控机床移动部件向消除该差值的方向移动。检测装置不断比较指令信号与反馈信号，然后进行控制，直到差值为零，运动停止。

常用检测装置有旋转变压器、编码器、感应同步器、光栅、磁栅、霍尔检测元件等。

3. 机床本体

用于完成各种切削加工的机械部分。根据不同的零件加工要求,有车床、铣床、镗床、重型机床、电加工机床、绘图机、测量机等。与普通机床不同的是,数控机床的主体结构具有如下特点:

① 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,因此,数控机床的机械传动结构得到了简化,传动链较短。

② 为了适应数控机床连续地自动化加工,数控机床机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小。

③ 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

1.2.2 数控机床的工作原理

首先,根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具位移数据,再按编程手册的有关规定编写零件加工程序。其次,把零件加工程序输入到数控系统。数控装置的系统程序将对加工程序进行译码与运算,发出相应的命令,通过伺服系统驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

系统程序存于计算机内存中。所有的数控功能基本上都依靠该程序完成,例如输入、译码、数据处理、插补、伺服控制等。下面简单介绍计算机数控系统的工作过程。

1. 输入

以前,零件加工程序通常由光电阅读机读入数控装置。读入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工,阅读机是间歇式工作;另一种是一次将零件加工程序读入计算机内部的存储器,加工时再从存储器中一段一段地调出。

现代数控装置都使用标准串行通信接口与微型计算机相连接,实现零件加工程序和参数的传送。

零件加工程序较短时,也可直接用系统操作面板键盘将程序输入到数控装置。

零件加工程序较长时,目前大都通过系统自备的RS-232通信接口与微型计算机相连接,利用通信软件传输零件加工程序。传输方式有两种:一种是数控装置内存许可时,将零件加工程序直接传输到系统内部存储器;另一种是加工程序太大,数控装置内存不足,只能边传输边加工。

2. 译码

输入的程序段含有零件的轮廓信息(起点、终点、直线还是圆弧等)、要求的加工速度以及其他的辅助信息(换刀、换挡、冷却液等),计算机依靠译码程序来识别这些数据符号,译码程序将零件加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

3. 数据处理

数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具半径补偿是

把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。这是因为轮廓轨迹的实现是靠刀具的运动来实现。速度计算是解决该加工数据段以什么样的速度运动的问题。加工速度的确定是一个工艺问题。CNC 系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外，辅助功能如换刀、换挡等亦在这个程序中处理。

4. 插补

插补，即知道了一个曲线的种类、起点、终点以及速度后，在起点和终点之间进行数据点的密化。计算机数控系统中有一个采样周期，在每个采样周期形成一个微小的数据段。若干次采样周期后完成一个数据段的加工，即从数据段的起点走到终点。计算机数控系统是一边插补，一边加工的。本次采样周期内插补程序的作用是计算下一个采样周期的位置增量。一个数据段正式插补加工前，必须先完成诸如换刀、换挡等功能，即只有辅助功能完成后才能进行插补。

5. 伺服控制

伺服控制的功能是根据不同的控制方式（如开环、闭环），把来自数控系统插补输出的脉冲信号经过功率放大，通过驱动元件和机械传动机构，使机床的执行机构按规定的轨迹和速度加工。

6. 管理程序

当一个数据段开始插补时，管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理，即由它调用各个功能子程序，且保证一个数据段加工过程中同时做下一个程序段准备工作。一旦本数据段加工完毕，即开始下一个数据段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成。

思考与练习

1. 数控机床由哪几部分组成？
2. 数控系统由哪几部分组成？各部分的基本功能是什么？
3. 试述数控机床的工作原理。

1.3 数控机床的特点

■ 教学目标

- 了解数控机床的特点
- 了解数控机床的适用范围

1. 数控机床的优点

数控机床是一种高效能的自动加工机床，是一种典型的机电一体化产品。采用数控技术的金属切削机床与普通机床相比具有以下一些优点。

(1) 高柔性

用数控机床加工形状复杂的零件或新产品时，不必像普通机床那样需要很多装夹工具，而只需要少量工夹具和重新编制加工程序，这为单件、小批量零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

(2) 高精度

目前数控机床的脉冲当量普遍达到了 0.001 mm，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，数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床，定位精度可达 0.025 mm，重复定位精度可达 0.01 mm。此外，数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差，同一批加工零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

(3) 高效率

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给速度的变化范围比普通机床大，因此，数控机床每一道工序都可选用最有利切削用量。由于数控机床的结构刚性好，因此允许进行大切削用量的强力切削，提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快，工件装夹时间短，辅助时间比普通机床少。数控机床通常不需要专用的工夹具，因而可省去工夹具的设计和制造时间。在加工中心上加工零件时，可实现多道工序的连续加工，生产效率的提高更为明显。

(4) 自动化程度高

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成，操作者除了操作键盘、装卸工件、关键工序尺寸中间检测以及观察机床运行之外，操作者不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度大大减轻。

(5) 能加工复杂型面

数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

(6) 便于现代化管理

用数控机床加工零件，能精确地估算零件的加工工时，有助于精确编制生产进度表，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输入，最适宜于数字计算机联网，便于实现计算机辅助制造（CAM）和发展柔性生产。

2. 数控机床的不足之处

数控机床存在的不足之处是：

① 数控机床的价格较贵。

- ② 调试和维修比较复杂，需要专门的技术人员。
- ③ 对编程人员和操作人员的技术水平要求较高。

3. 数控机床的适用范围

数控机床具有普通机床所不具备的许多优点，数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替普通机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。

数控机床最适合加工以下零件：

① 多品种小批量零件。如图 1-2 所示，表示了通用机床、专用机床和数控机床加工批量与成本的关系。从图中可以看出零件加工批量增大对于选用数控机床是不利的。

② 形状结构比较复杂的零件。从图 1-3 中可以看出，数控机床非常适合加工形状复杂的零件。

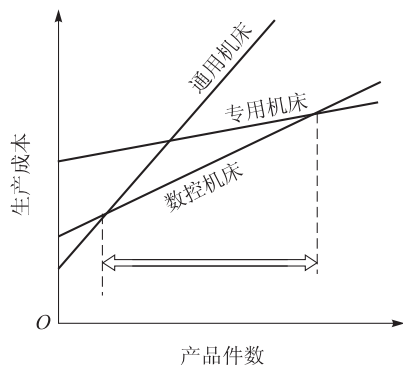


图 1-2 各种机床的加工批量与成本的关系

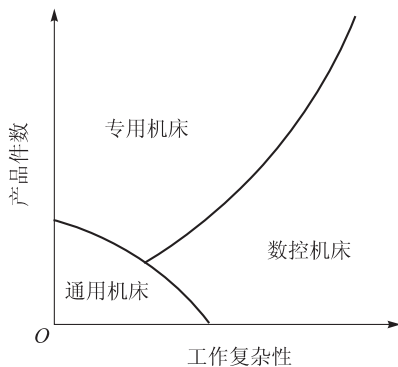


图 1-3 各种机床的使用范围

- ③ 需要频繁改型设计的零件。
- ④ 价格昂贵、不允许报废的关键零件，如飞机大梁零件。此类零件加工数量虽不多，但若加工中出现差错而报废，将造成巨大的经济损失。
- ⑤ 必须严格控制位置要求的零件。如箱体类零件、航空附件壳体等。

思考与练习

1. 数控机床有哪些优点？有哪些不足之处？
2. 数控机床适合加工哪些零件？
3. 大批量生产时选用数控机床加工合适吗？

1.4 数控机床的分类

■ 教学目标

- 掌握数控机床的分类方法
- 了解数控机床的种类
- 熟悉开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统的特点

数控机床的品种规格繁多，分类方法不一。根据数控机床的功能和结构，一般可以按下面四种原则进行分类。

1.4.1 按工艺用途分类

1. 普通数控机床

这类数控机床和传统的通用机床一样，有数控车、铣、钻、镗、磨床等，而且每一类里又有很多品种，例如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等，这类机床的工艺性能和通用机床相似，所不同的是它能自动加工形状复杂的零件。

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。它和普通数控机床的区别是：工件经一次装夹后，数控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，这就大大减少了机床台数。由于减少了多次安装造成的定位误差，从而提高了各加工面间的位置精度。因此，近年来加工中心得以迅速发展。

3. 金属成形类数控机床

有数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等。

4. 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机机翼曲面及其他复杂零件的加工等，都需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状，于是出现了多坐标数控机床。多坐标数控机床的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。现在常用的有四个、五个、六个坐标联动的数控机床。

5. 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

1.4.2 按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制数控机床

数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确定位，在移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格的要求。如图 1-4 所示为点位控制数控机床的刀具轨迹。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床等。

2. 直线控制数控机床

数控系统除了控制点与点之间的准确位置以外，还要保证两点之间移动的轨迹是一条平行于坐标轴的直线，而且对移动速度也要进行控制，以便适应随工艺因素变化的不同要求。如图 1-5 所示为直线控制数控机床的刀具轨迹。有些数控机床有 45°斜线切削功能，但不能以任意斜率进行直线切削。这类数控机床主要有简易数控车床、数控磨床等。

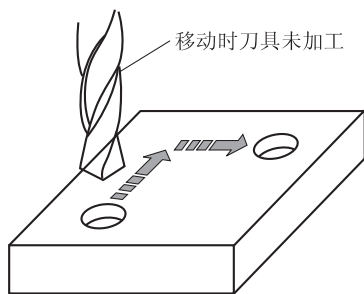


图 1-4 点位控制数控机床的刀具轨迹

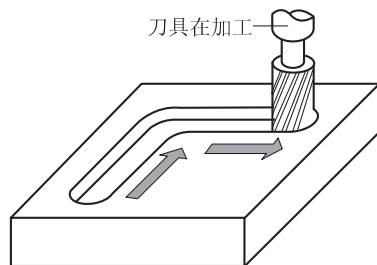


图 1-5 直线控制数控机床的刀具轨迹

3. 轮廓控制数控机床

数控系统能同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续相关的控制，不仅能控制轮廓的起点和终点，而且还要控制轨迹上每一点的速度和位移。轮廓控制要比点位控制更为复杂，需要在加工过程中不断进行多坐标轴之间的插补运算，实现相应的速度和位移控制。很显然，轮廓控制包含了点位控制和直线控制。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床和加工中心等。如图 1-6 所示为轮廓控制数控机床的刀具轨迹。



图 1-6 轮廓控制数控机床的刀具轨迹

随着计算机数控装置的发展，如增加轮廓控制功能，只需增加插补运算软件即可，几乎不带来成本的提高。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。

对于轮廓控制的数控机床，根据同时控制坐标轴的数目还可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、