

高职高专机电及电气类“十二五”规划教材

# 机床数控技术及应用

▶ 主编 马一民 关雄飞

主审 呼刚义



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高职高专机电及电气类“十二五”规划教材

# 机床数控技术及应用

主 编 马一民 关雄飞  
副主编 王宏颖  
参 编 崔 静 孙荣创  
主 审 呼刚义

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

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技术知识,内容主要包括计算机数控系统、伺服系统及位置检测装置、数控机床机械结构、数控机床加工程序编制以及数控机床故障诊断。本书的参考学时数为50学时。

本书既可作为高职高专机电一体化、工业自动化、计算机应用、机械制造、模具设计与制造等专业学生的教材,也可作为机电工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术及应用/马一民,关雄飞主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2013.1

高职高专机电及电气类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2953-7

I. ①机… II. ①马… ②关… III. 数控机床—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 004823 号

策 划 马乐惠

责任编辑 任倍萱 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 邮 箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 15.5

字 数 362千字

印 数 1~3000册

定 价 24.00元

ISBN 978-7-5606-2953-7/TG

**XDUP 3245001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 面向 21 世纪

## 机电及电气类专业高职高专规划教材

---

### 编审专家委员会名单

主 任：李迈强

副 主 任：唐建生 李贵山

机 电 组

组 长：唐建生(兼)

成 员：(按姓氏笔画排列)

王春林 王周让 王明哲 田 坤 宋文学

陈淑惠 张 勤 肖 珑 吴振亭 李 鲤

徐创文 殷 铖 傅维亚 魏公际

电 气 组

组 长：李贵山(兼)

成 员：(按姓氏笔画排列)

马应魁 卢庆林 冉 文 申凤琴 全卫强

张同怀 李益民 李 伟 杨柳春 汪宏武

柯志敏 赵虎利 戚新波 韩全立 解建军

项目策划：马乐惠

策 划：马武装 毛红兵 马晓娟

电子教案：马武装

# 前 言

数控技术是现代制造技术的基础，它综合了计算机、自动控制、自动检测和精密机械等高科技技术，广泛应用于机械制造业。数控机床的应用使制造业发生了根本性变化，并由此带来了巨大的经济效益。数控技术的水准、拥有量和普及程度，已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

目前，数控技术已被世界各国列为优先发展的关键工业技术，成为国际间科技竞争的重点。数控技术的应用将机械制造与微电子、计算机、信息处理、现代控制理论、检测以及光电磁等多种科学技术融为一体，使传统制造业成为知识、技术密集的现代制造业，成为国民经济的基础工业。

数控技术是当今柔性自动化和智能自动化技术的基础之一，它使传统的制造工艺发生了显著的、本质的变化，由分散单一工艺走向集成和科学化的工艺。随着数控技术的不断发展和应用，工艺方法和制造系统不断更新，现已形成采用 CAD、CAM、CAPP、CAT、FMS 等一系列具有划时代意义的新技术、新工艺的制造系统。

为了适应数控技术和国民经济发展的需求，培养数控人才，我们编写了本书。本书着眼于国内外数控技术的最新成果，力求将新知识、新信息介绍给大家。书中以数控技术的基本原理和基本知识为根基，以数控机床为主线，全面系统地反映了数控技术各方面的内容。本书对数控技术的核心内容和最新技术作了较为深入、系统的介绍。本书结构严谨，内容取材新颖，注重系统性与实用性相结合。全书共 7 章，第 1 章介绍了数控机床的组成、特点、分类及其发展趋势；第 2 章介绍了数控编程基本知识、常用功能指令及编程方法、数控加工工艺设计；第 3 章主要介绍车、铣床加工工艺编程及自动编程技术和发展；第 4 章主要介绍了数控装置的软硬件结构、接口电路、插补原理及进给速度控制；第 5 章介绍数控机床对伺服系统的要求及伺服系统的分类、各种伺服电动机的结构及其调速原理、位置检测装置；第 6 章主要介绍数控机床的机械结构，对其各组成部分的结构原理进行讲述；第 7 章主要介绍数控机床的故障规律、诊断方法以及人工智能在故障诊断中的应用。

本书由武警工程大学马一民、西安理工大学高等技术学院关雄飞担任主编，河南工业职业技术学院王宏颖任副主编，呼刚义担任主审。武警工程大学马一民编写了本书的第 1 章和第 4 章；西安理工大学高等技术学院关雄飞编写了第 3 章；河南工业职业技术学院王宏颖编写了第 2 章和第 5 章；陕西工业职业技术学院崔静、孙荣创编写了第 6 章和第 7 章；全书由马一民统稿。

限于编者的水平，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 12 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 机床数控技术的基本概念 .....	1
1.2 数控机床的组成与工作原理 .....	2
1.2.1 数控机床的组成 .....	2
1.2.2 数控机床的工作原理 .....	4
1.2.3 数控机床加工的特点及应用范围 .....	5
1.3 数控机床的分类 .....	7
1.4 数控机床的发展趋势 .....	10
1.5 制造自动化技术的发展概况 .....	13
1.5.1 概述 .....	13
1.5.2 CAD/CAPP/CAM 集成 .....	13
1.5.3 计算机集成制造系统 .....	17
1.5.4 柔性制造系统 .....	19
1.5.5 智能制造技术和智能制造系统 .....	20
思考与练习题 .....	21
<b>第 2 章 数控机床编程基础</b> .....	22
2.1 数控编程的基本概念 .....	22
2.1.1 编程过程与方法 .....	22
2.1.2 坐标系的概念 .....	27
2.1.3 程序结构 .....	30
2.2 常用功能指令及编程方法 .....	32
2.2.1 准备功能 G 指令代码 .....	32
2.2.2 辅助功能 M 指令代码 .....	34
2.2.3 其他功能 F、S、T 指令代码 .....	36
2.2.4 常用准备功能指令的编程方法 .....	36
2.3 数控加工工艺设计 .....	41
2.3.1 工艺分析与设计 .....	41
2.3.2 工艺文件的编制 .....	47
2.4 数控编程中的数值计算 .....	50
2.4.1 基点的坐标计算 .....	50

2.4.2 节点的坐标计算 .....	51
思考与练习题 .....	52
<b>第3章 数控加工工艺与编程 .....</b>	<b>53</b>
3.1 数控车床加工工艺编程 .....	53
3.1.1 加工编程准备 .....	53
3.1.2 基本功能指令 .....	57
3.1.3 循环功能指令 .....	66
3.2 数控铣床及加工中心工艺编程 .....	76
3.2.1 加工编程准备 .....	77
3.2.2 常用功能指令 .....	78
3.2.3 坐标变换功能指令 .....	90
3.2.4 平面轮廓加工应用实例 .....	97
3.2.5 孔加工固定循环指令 .....	105
3.3 数控自动编程技术简介 .....	111
3.3.1 数控自动编程技术概述 .....	111
3.3.2 CAD/CAM 技术的发展趋势 .....	116
思考与练习题 .....	118
<b>第4章 计算机数控系统 .....</b>	<b>122</b>
4.1 CNC系统的概述 .....	122
4.1.1 CNC系统的组成及其工作原理 .....	122
4.1.2 CNC系统的特点 .....	124
4.1.3 CNC系统可实现的功能 .....	124
4.2 CNC系统的硬件功能 .....	126
4.2.1 CNC系统单微处理器结构 .....	126
4.2.2 多微处理器结构 .....	130
4.2.3 开放式CNC系统 .....	135
4.3 CNC系统的软件结构 .....	137
4.3.1 CNC系统软件概述 .....	137
4.3.2 CNC系统软件的结构特点 .....	137
4.3.3 CNC系统软件的结构模式 .....	140
4.4 数控系统的插补原理 .....	144
4.4.1 概述 .....	144
4.4.2 基准脉冲插补 .....	145
4.4.3 数据采样插补 .....	154
4.4.4 数控装置的进给速度控制 .....	161
思考与练习题 .....	163

<b>第 5 章 数控机床的伺服系统</b> .....	164
5.1 伺服系统概述 .....	164
5.1.1 伺服系统的组成 .....	164
5.1.2 对伺服系统的基本要求 .....	166
5.1.3 伺服系统的分类 .....	167
5.2 伺服驱动电动机 .....	170
5.2.1 步进电动机 .....	170
5.2.2 直流伺服电动机 .....	175
5.2.3 交流伺服电动机 .....	178
5.2.4 直线电动机 .....	180
5.3 位置检测装置 .....	182
5.3.1 位置检测装置简介 .....	182
5.3.2 光栅位置检测装置 .....	184
5.3.3 脉冲编码器 .....	188
5.3.4 旋转变压器 .....	192
5.3.5 感应同步器 .....	195
5.3.6 测速发电机 .....	202
思考与练习题 .....	204
<b>第 6 章 数控机床的机械结构</b> .....	205
6.1 概述 .....	205
6.2 数控机床的主轴部件 .....	206
6.2.1 数控机床的主传动系统 .....	206
6.2.2 主轴部件 .....	208
6.3 数控机床的进给传动系统 .....	210
6.3.1 数控机床对进给传动系统的要求 .....	210
6.3.2 导轨 .....	210
6.3.3 传动齿轮间隙消除机构 .....	213
6.3.4 滚珠丝杠螺母副 .....	215
6.4 数控机床的自动换刀装置 .....	216
6.4.1 自动换刀装置的形式 .....	217
6.4.2 刀库 .....	220
6.5 数控机床的回转工作台 .....	222
6.5.1 分度工作台 .....	222
6.5.2 数控回转工作台 .....	224
思考与练习题 .....	225



<b>第7章 数控机床的故障诊断</b> .....	226
7.1 概述 .....	226
7.1.1 数控机床的故障诊断 .....	226
7.1.2 数控机床的故障规律 .....	226
7.2 数控机床的故障诊断方法 .....	228
7.3 人工智能在故障诊断中的应用 .....	232
7.3.1 专家系统的一般概念 .....	232
7.3.2 数控机床故障诊断的专家系统 .....	233
7.3.3 人工神经网络在故障诊断中的应用 .....	234
思考与练习题 .....	237
<b>参考文献</b> .....	238

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 机床数控技术的基本概念

数字控制(Numerical Control, NC)技术,简称数控技术,是使用数字化信息按给定的工作程序、运动轨迹和速度,对控制对象进行控制的一种技术。数字控制系统中的控制信息是数字量,它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量。这些量的大小不仅可以测量,而且可经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号表示。

采用了数控技术的设备称为数控设备,其操作命令用数字或数字代码的形式来描述,工作过程按指令程序自动进行。数控机床是一种典型的数控设备,它是装备了数控系统的金属切削机床。

数控技术综合运用了微电子、计算机、自动控制、精密测量、机械设计与制造等技术的最新成果。它具有动作顺序的程序自动控制,位移和相对位置坐标的自动控制,速度、转速及各种辅助功能的自动控制等功能。

数控技术具有以下特点:

(1) 生产效率高。运用数控设备对零件进行加工,可使工序安排相对集中,而且所用辅助装置(如工夹具等)也比较简单,这样既减少了生产准备时间,又大大缩短了产品的生产周期。并且减少了加工过程中的测量检验时间,有效地提高了生产效率。

(2) 加工精度高。由于采用了数字控制方式,同时在电子元器件、机械结构上采用了很多提高精度的措施,因此使数控设备能达到较高的加工精度(一般在 0.01 mm~0.005 mm 之间)。另外,由于数控设备是自动完成整个加工过程的,因此消除了各种人为因素的影响,提高了产品加工质量的稳定性。

(3) 柔性和通用性增强。数控设备特别适用于单件、小批量、轮廓复杂多样的零件的加工。若被加工产品发生了变化,只需改变相应的控制程序即可实现加工。另外,随着数控软件的不断升级,硬件电路的模块化,接口电路的标准化,使得数控技术可以极大地满足不同层次用户的需求。

(4) 可靠性高。对于数控系统,用软件替代一定的硬件后,可使系统中所需元件数量减少,硬件故障率大大降低。同时,较先进的数控系统自身具备故障诊断程序,将设备修复时间降低到了最低限度。

## 1.2 数控机床的组成与工作原理

### 1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置和机床(或称裸机)等五部分组成,如图 1-1 所示。

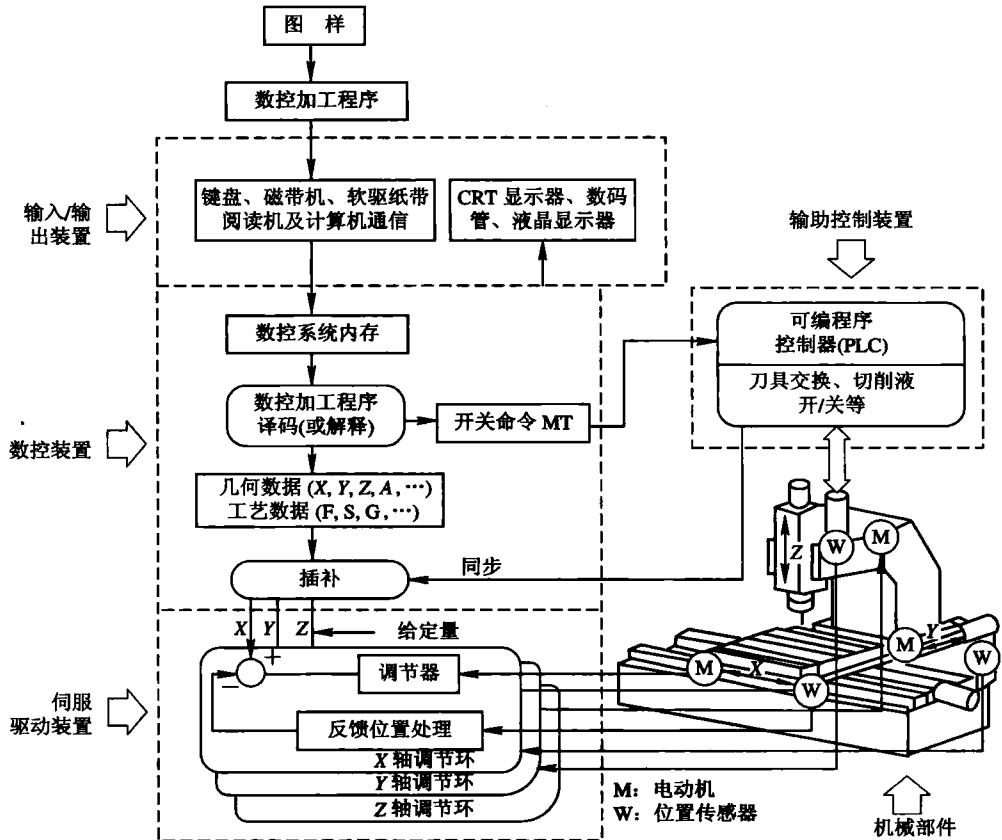


图 1-1 数控机床的组成

使用数控机床进行自动加工,应针对加工的零件编制加工程序,并将其输入到数控装置中。数控装置则以零件的加工程序为工作指令,控制机床主运动的启动、变速和停止,控制机床进给运动的方向、移动距离和速度,控制机床的辅助装置(如换刀装置、工件夹紧和松开装置以及冷却润滑装置等)的动作,从而使刀具和工件以及其他辅助装置严格地按数控加工程序所规定的顺序、路径和参数进行工作,以加工出形状、尺寸和精度均符合要求的零件。

#### 1. 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置、刀具与零

件相对运动的尺寸参数、零件加工的工艺路线、切割加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。在得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后，用由文字、数字和符号组成的标准数控代码按规定的方法和格式，编制零件加工的数控程序。编制程序的工作可由人工进行。对于形状复杂的零件，则要在专用的编程机或通用计算机上使用 CAD/CAM 软件进行自动编程。

## 2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码传递并存入数控系统内。编好的数控程序可通过纸带阅读机、磁带机等输入装置存储到载体上。随着 CAD/CAM、CIMS 技术的发展，采用串行通信方式传输程序已越来越普遍。

为了便于加工程序的编辑修改、模拟显示，数控系统通过显示器为操作人员提供了必要的信息界面。较简单的显示器只有若干个数码管，只能显示字符；较高级的系统一般配有 CRT 显示器或液晶显示器，可以显示图形。

## 3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中读取或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令来控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

在数控装置的各项控制功能中，至关重要的是刀具相对于工件的运动轨迹的控制。零件的轮廓图形通常是由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成的，刀具在加工过程中必须按零件的形状和尺寸要求进行运动，即按图形轨迹移动。为此，数控系统要进行轨迹插补运算，也就是在线段的起点和终点坐标之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应的坐标输出脉冲信号，控制沿各坐标轴进给运动的执行元件的进给速度、进给方向和进给位移量等。

## 4. 伺服驱动装置

伺服驱动装置通过接收数控装置发出的速度和位置信息，来控制伺服电机的运动速度和方向。它一般由驱动电路和伺服电动机组成，并与机床上的进给传动链组成数控机床的进给系统。每个坐标轴方向都配有一套伺服驱动装置。根据是否配有位置检测及反馈装置，有开环、半闭环和闭环伺服驱动系统。

## 5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置，可通过可编程控制器(PLC)对机床辅助功能 M、主轴速度功能 S 和换刀功能 T 等实现逻辑控制。

## 6. 位置检测装置

位置检测装置与伺服驱动装置配套组成半闭环或闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量机床执行部件的实际位移，将检测结果反馈到数控装置并与指令位移进行比较，根据差值发出进给脉冲信号控制执行部件继续运动，直至差值为零，以便提高系统的精度。

## 7. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件，如机床工作台、滑板及其

传动部件和床身、立柱及支撑部件。此外，还有转位、夹紧、润滑、冷却、排屑等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手或机器人等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、摩擦、抗震性等方面要求更高，而且传动和变速系统要便于实现自动化。

### 1.2.2 数控机床的工作原理

使用数控机床时，首先要将被加工零件图纸的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序；然后将加工程序输入到数控装置，按照程序的要求，经过数控系统信息处理、分配，使各坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成零件的加工。

在钻削、镗削或螺纹等加工(常称为点位控制)过程中，在一定的时间内，使刀具中心从  $P$  点移动到  $Q$  点(见图 1-2(a))，即刀具在  $X$ 、 $Y$  轴移动以最小单位计算的程序给定的距离，它们的合成量为  $P$  点和  $Q$  点间的距离。但是，对刀具轨迹并没有严格的限制，可先使刀具在  $X$  轴上由  $P$  点移动到  $R$  点，然后再沿  $Y$  轴从  $R$  点移动到  $Q$  点；也可以使两个坐标以相同的速度，让刀具移到  $K$  点，再沿  $X$  轴移动到  $Q$  点。这样的点位控制，只要求严格控制点到点之间的距离，而对所走的路径和速度无严格要求。这种运动控制是比较容易实现的，一般用于只需点位控制的简易数控机床。

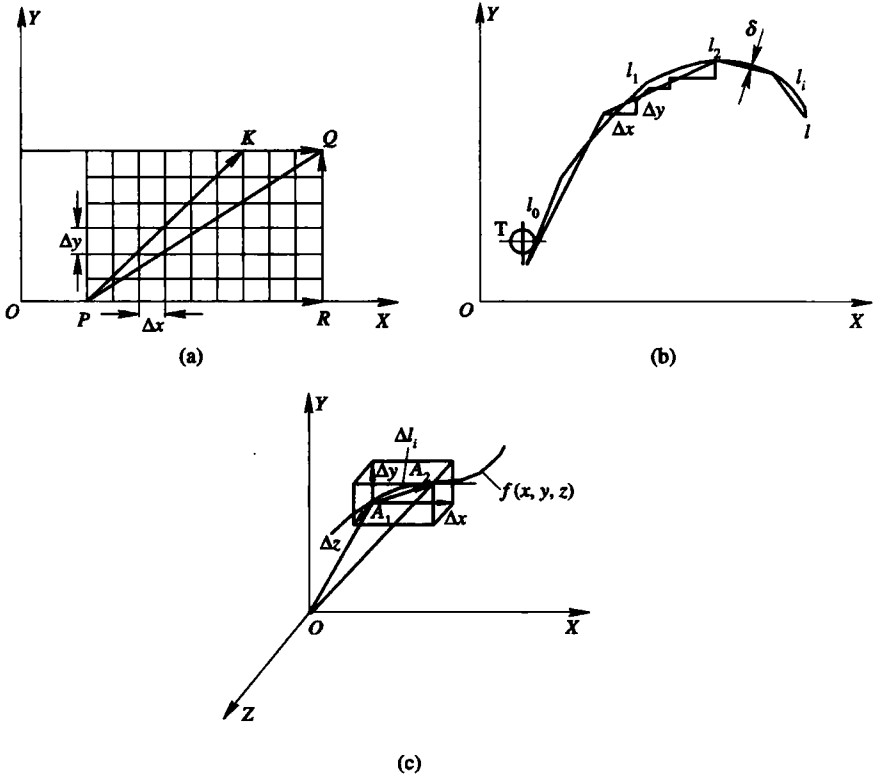


图 1-2 数控机床加工直线、曲线原理  
(a) 直线；(b) 平面曲线；(c) 空间曲线

轮廓加工控制包括加工平面曲线和空间曲线两种情况。对于二维平面的任意曲线  $l$ ，要求刀具 T 沿曲线轨迹运动，进行切削加工，如图 1-2(b) 所示。将曲线  $l$  分割成  $l_0$ 、 $l_1$ 、 $l_2$ 、 $\dots$ 、 $l_i$  等线段。用直线(或圆弧)代替(逼近)这些线段，当逼近误差相当小时，这些折线段之和就接近了曲线。由数控机床的数控装置进行计算、分配，再通过两个坐标轴最小单位量的单位运动( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )的合成，不断连续地控制刀具运动，向着目标点不断地逼近直线(或圆弧)，从而加工出工件轮廓曲线。对于空间三维曲线(见图 1-2(c))中的  $f(x, y, z)$ ，同样可用一段一段的折线( $\Delta l_i$ )去逼近它，只不过这时  $\Delta l_i$  的单位运动分量不仅是  $\Delta x$  和  $\Delta y$ ，还有一个  $\Delta z$ 。

这种在允许的误差范围内，用沿曲线(精确地说是沿逼近线)的最小单位位移量合成的分段运动代替任意曲线运动，以得出所需要的轨迹运动，是数字控制的基本构思之一。轮廓控制也称连续轨迹控制，它的特点是不仅对坐标的移动量进行控制，而且对各坐标的速度及它们之间的比率都要进行严格控制，以便加工出工件的轮廓曲线。

目前，一般的数控机床都具有直线插补和圆弧插补功能。插补是指在被加工轨迹的起点和终点之间插进许多中间点，进行数据点的密化工作，然后用已知线型(如直线、圆弧等)逼近。随着科学技术的迅速发展，许多生产数控系统的厂家，逐渐推出了具有抛物线插补、螺旋线插补、极坐标插补、样条曲线插补、曲面直接插补等丰富功能的数控系统，以满足用户的不同需求。

机床的数字控制是由数控系统完成的。数控装置能接受零件图纸加工要求的信息，进行插补运算，实时地向各坐标轴发出速度控制指令。伺服驱动装置能快速响应数控装置发出的指令，驱动机床各坐标轴运动，同时也能提供足够的功率和扭矩。检测装置将坐标位移的实际值检测出来，反馈给数控装置的调节电路中的比较器，有差值就发出运动控制信号；然后不断地比较指令值与反馈的实际值，不断地发出信号，直到差值为零，运动结束。这种方式适用于连续轨迹控制。

在数控机床上除了上述轨迹控制和点位控制外，还有许多动作，如主轴的启停、刀具的更换、冷却液的开关、电磁铁的吸合、电磁阀的启闭、离合器的开合、各种运动的互锁和连锁；运动行程的限位、急停、报警、进给保持、循环启动、程序停止、复位等等。这些都属于开关量控制，一般由可编程控制器(Programmable Controller, PC)，也称为可编程逻辑控制器(PLC)或可编程机床控制器(PMC)来完成，开关量仅有“0”和“1”两种状态，显然，它们可以很方便地融入机床控制系统中，实现对机床各种运动的数字控制。

### 1.2.3 数控机床加工的特点及应用范围

#### 1. 数控机床加工的特点

(1) 数控机床在适应不同零件的自动加工方面胜于自动化专用机床。数控机床是按照不同的零件编制不同的加工程序进行自动加工的，因而产品改型和创新时只需变换加工程序，而不必像自动化专用机床那样，在产品变更时需花费很长的生产准备周期去变更生产设备。

(2) 数控机床在生产效率、加工精度和加工质量稳定性方面胜于通用机床。由于数控机床机构简单、刚性好，故可采用较大的切削用量，以减少机加工的工时；还由于数控机

床具有自动换刀等辅助操作功能，因此大大减少了辅助加工时间，从而提高了生产效率。此外，数控机床本身的精度较高，还可以运用软件进行传动部件的误差补偿和回程侧隙补偿，因而加工精度较高。数控机床采用自动化加工，避免了人为操作失误，因而加工质量稳定性高于通用机床。

(3) 在数控机床上能完成复杂型面的加工。图 1-3 所示的手柄柄部旋转曲面的加工即可以在数控车床上实现。数控机床运用插补计算可以确定各进给运动轴相应的方向和步长，从而与主轴一起产生正确的成型运动，加工出复杂型面的零件。若在通用机床上加工，则很难加工出表面光滑，且尺寸、形状满足要求的手柄。

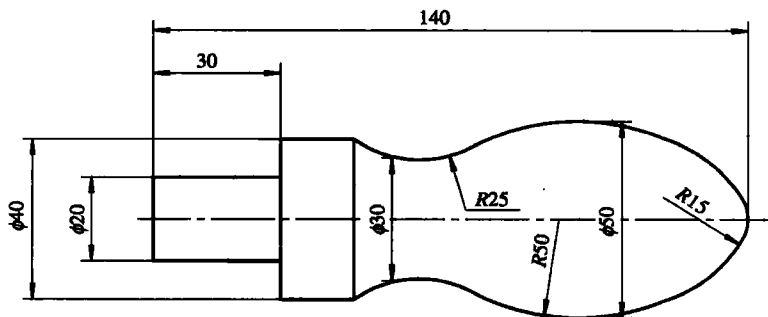


图 1-3 手柄简图

(4) 一次装夹可以完成多道工序。数控机床，特别是具有刀库的加工中心，因为具有自动换刀功能，所以使得工件在一次装夹中可以完成多道工序，以减少装夹误差，减少辅助时间，减少工序间的运输。另外，一台数控机床可代替多台普通机床，因而能带来较高的经济效益。

(5) 数控机床的其他特点。数控机床价格高，且对操作、维修人员的技术水平有较高的要求。

综上所述，使用数控机床可以高效、高质量地制造出新的产品，以满足社会不断变化的需求，使制造业得到较高的经济效益。尽管数控机床价格高，但可降低制造成本，提高经济效益。

## 2. 应用范围

近年来，在汽车及轻工业消费品等大批量生产方面，采用了大量的组合机床自动线、流水线；在标准件等大量生产中，采用了凸轮控制的专用机床和自动机床。这些适合于大批量生产的生产线，其制造和调试都很困难，过程很长。一旦需要更换产品，整个工艺过程全部发生变化。原有设备要抛弃，需另外购置新的设备，重新安装和调试生产线，资金和时间的投入将会很大。人们把这种生产模式称为刚性自动化。

由于产品多样化和产品更新加快的要求，解决单件、小批量生产自动化的问题便迫在眉睫。在航空、航天、造船、电子、军工、模具等领域对形状复杂零件的高精度加工要求越来越高。刚性自动化很难满足这些领域的要求，而以数控机床为基础的柔性加工和柔性自动化便应运而生。数控机床是一种新型的自动化机床，它具有广泛的通用性和很高的自动化程度。数控机床是实现柔性自动化的关键设备，是柔性自动化生产线的基本单元。

## 1.3 数控机床的分类

数控机床的品种很多,根据其加工、控制原理、功能和组成,可以从以下几个角度进行分类。

### 1. 按加工工艺方法分类

(1) 普通数控机床。与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大的差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有较高的生产效率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和换刀装置即成为了数控加工中心机床。加工中心机床提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对箱体零件的四面甚至是五面大部分进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量。

(2) 特种加工类数控机床。除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量应用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

(3) 板材加工类数控机床。常用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控弯折机等。

近年来,其他机械设备中也大量采用了数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

### 2. 按控制运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工,机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹。

这种数控系统一般用于数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

(2) 点位/直线控制数控机床。这种控制的数控机床除了能够控制由一个位置到另一个位置的精确定位外,还可控制刀具或工作台以指定的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。比如,直线控制的简易数控车床,可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工,它也可算是一个直线控制数控机床。

这种数控系统一般可用于数控车床、数控镗铣床、加工中心等机床。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度



进行连续相关的控制，使之合成平面曲线或空间曲线的运动轨迹以满足零件轮廓的加工要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点的位置精度，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断地进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

现代计算机数控装置的控制功能均由软件来实现。因此，目前的计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

### 3. 按驱动装置的特点分类

(1) 开环控制数控机床。图 1-4 所示为开环控制数控机床的系统框图。这类数控机床的控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。

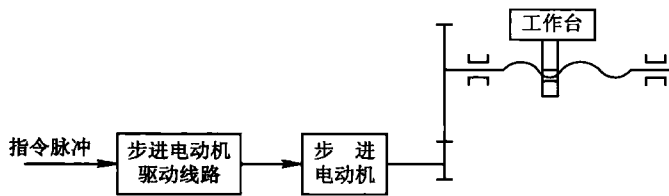


图 1-4 开环控制数控机床的系统框图

开环控制系统的数控机床结构简单，成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行检测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中、小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

(2) 闭环控制数控机床。闭环数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，与传动链的误差无关，因此其控制精度较高。图 1-5 所示为闭环控制数控机床的系统框图。图中，A 为速度传感器，C 为直线位移传感器。当位移指令值发送到位置比较电路时，若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使得伺服电机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回来，在位移比较电路中与位移指令值相比较，用比较后得到的差值进行位置控制，直至差值为零为止。这类控制的数控机床因把机床工作台纳入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。

闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂成本高。