



世纪中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 数控机床及应用

主编 王高武



北京邮电大学出版社

中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 数控机床及应用

主 编 王高武

北京邮电大学出版社  
· 北 京 ·

---

**图书在版编目(CIP)数据**

数控机床及应用/王高武主编. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1319-1

I. 数... II. 王... 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(2006)第 082652 号

---

**书 名** 数控机床及应用

**主 编** 王高武

**责任编辑** 周 堃 聂立芳

**出版发行** 北京邮电大学出版社

**社 址** 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876

**经 销** 各地新华书店

**印 刷** 北京市彩虹印刷有限责任公司

**开 本** 787 mm × 960 mm 1/16

**印 张** 13.25

**字 数** 271 千字

**版 次** 2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

**书 号** ISBN 7-5635-1319-1/TP · 251

**定 价** 16.50 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系

E-mail: publish@bupt.edu.cn

电话: (010)82551166 (010)62283578

Http://www.buptpress.com

**版权所有**

**侵权必究**

# 出版说明

本书是根据教育部颁布的中等职业学校机械制造与控制专业主干课程“数控机床及应用”教学基本要求编写的中等职业教育教材。

随着科学技术与经济的发展,数控机床的应用日益普及,数控加工岗位也急需大量既懂数控机床工作原理、又熟悉数控机床编程及实际操作的专门化人才。针对中职教育的培养目标,本着讲究“有用、实用、够用”的原则,努力做到“通俗易懂、简单实用”。本书以数控机床为对象,阐述数控机床的计算机控制基本原理、结构及数控机床加工程序的编制,使学生具备必需的数控机床及应用的基本知识和基本技能。可以使学生理解数控机床的基本工作原理和组成,了解数控机床的主要机械结构和电气部件的工作特性,掌握常用数控编程指令;并且可以使学生掌握从对工件的工艺分析、工序的划分、机床和刀具的选用、加工用量的选择到加工程序的编制、加工程序的调试及加工参数的设置的基本原则等全部知识。同时配合实验及实训环节使学生掌握常用机床的实际操作技能。

本书共 80 学时,建议学时分配如下:

| 序号 | 内 容           | 课时 | 学时分配 |       |
|----|---------------|----|------|-------|
|    |               |    | 讲授   | 实验与实训 |
| 1  | 数控机床概述        | 4  | 4    |       |
| 2  | 计算机数控(CNC)系统  | 10 | 10   |       |
| 3  | 插补原理与计算       | 8  | 8    |       |
| 4  | 数控加工工艺分析及编程基础 | 14 | 12   | 2     |
| 5  | 数控车床编程        | 10 | 4    | 6     |
| 6  | 数控铣床编程        | 12 | 6    | 6     |
| 7  | 数控机床的机械结构     | 6  | 6    |       |
| 8  | 伺服驱动系统及位置检测装置 | 8  | 8    |       |
|    | 机动            | 8  | 8    |       |
|    | 合计            | 80 | 66   | 14    |

本书由江苏省泗阳职业高级中学、泗阳县职业教育中心的王高武编写。在编写过程中得到了学校的大力支持,编者在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中谬误欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>第一章 数控机床概述 .....</b>        | <b>1</b>  |
| 第一节 数控机床的产生和发展过程 .....         | 1         |
| 第二节 数控机床的组成、工作原理和特点 .....      | 4         |
| 第三节 数控机床的分类 .....              | 8         |
| 第四节 数控机床的发展趋势 .....            | 11        |
| 习题与思考题 .....                   | 13        |
| <b>第二章 计算机数控(CNC)系统 .....</b>  | <b>14</b> |
| 第一节 CNC 系统概述 .....             | 14        |
| 第二节 CNC 系统的硬件结构 .....          | 17        |
| 第三节 可编程控制器(PLC)的类型及工作原理 .....  | 20        |
| 习题与思考题 .....                   | 23        |
| <b>第三章 插补原理与计算 .....</b>       | <b>24</b> |
| 第一节 插补的基本知识 .....              | 24        |
| 第二节 逐点比较插补法 .....              | 25        |
| 第三节 数字积分插补法 .....              | 34        |
| 第四节 数字增量插补法 .....              | 37        |
| 习题与思考题 .....                   | 39        |
| <b>第四章 数控加工工艺分析及编程基础 .....</b> | <b>40</b> |
| 第一节 数控机床坐标系 .....              | 40        |
| 第二节 零件装夹方法及对刀点、换刀点的确定 .....    | 43        |
| 第三节 工序的划分及走刀路线的确定 .....        | 45        |
| 第四节 刀具和切削用量的选择 .....           | 50        |
| 第五节 常用编程指令的应用及手工编程 .....       | 55        |
| 第六节 数控加工编程的数值计算 .....          | 68        |
| 第七节 自动编程简介 .....               | 73        |
| 第八节 工艺文件的编制方法 .....            | 76        |
| 习题与思考题 .....                   | 80        |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>第五章 数控车床编程 .....</b>        | <b>81</b>  |
| 第一节 数控车床编程的特点和基础 .....         | 81         |
| 第二节 数控车床编程方法 .....             | 86         |
| 习题与思考题 .....                   | 122        |
| <b>第六章 数控铣床编程 .....</b>        | <b>124</b> |
| 第一节 数控铣床编程的特点和基础 .....         | 124        |
| 第二节 基本编程功能指令 .....             | 126        |
| 第三节 基本编程方法 .....               | 128        |
| 第四节 数控铣床的基本操作 .....            | 150        |
| 习题与思考题 .....                   | 153        |
| <b>第七章 数控机床的机械结构 .....</b>     | <b>155</b> |
| 第一节 数控机床的结构特点 .....            | 155        |
| 第二节 数控机床主传动系统 .....            | 156        |
| 第三节 数控机床进给系统 .....             | 162        |
| 第四节 自动换刀装置及回转工作台 .....         | 171        |
| 习题与思考题 .....                   | 177        |
| <b>第八章 伺服驱动系统及位置检测装置 .....</b> | <b>178</b> |
| 第一节 伺服系统的组成及工作原理 .....         | 178        |
| 第二节 步进电动机及其伺服系统 .....          | 180        |
| 第三节 直流电动机及其伺服系统 .....          | 188        |
| 第四节 交流电动机及其伺服系统 .....          | 192        |
| 第五节 位置检测装置 .....               | 194        |
| 习题与思考题 .....                   | 203        |

## 第一章 数控机床概述

### 第一节 数控机床的产生和发展过程

#### 一、数控机床的产生

随着科学技术和社会生产力的发展,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。

20 世纪 50 年代初,美国麻省理工学院和帕森斯公司在美空军后勤部的资助下,于 1952 年 3 月研制成功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。

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,单件与小批量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就显得很不合理。专用生产线要经常进行改装和调整,不仅会大大提高产品的成本,甚至不能满足加工要求。由于大量“刚性”的生产方式使产品的改型和更新变得十分困难,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日益显现出其不适应性。

为了解决上述这些问题,一种新型的数字程序控制机床(数控机床)应运而生,使多品位、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。数控技术以及计算机数控系统的正确应用,给机械加工提高了更大的方便。

数字控制(Numerical Control)技术,简称数控(NC)技术,是指用数字指令来控制机器的动作。采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用通用计算机硬件结构,用控制软件来实现控制功能的数控系统,称为计算机数控(CNC)系统。装备了数控系统的机床,称为数控机床。

数控机床的工作过程是对加工工件的几何信息和工艺信息进行数字化处理,即将所有

的操作步骤(如机床的启动或停止、主轴的变速、工件的夹紧和松开、刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移,以及进给速度等用数字化的代码表示。在加工前由编程人员按规定的代码将工件的图样编制成程序,然后通过程序载体(穿孔纸带、磁存储器和半导体存储器等)或手工输入(MDI)方式将数字信息送入数控系统的计算机中进行寄存、运算和处理,最后通过驱动电路由伺服装置控制机床实现自动加工。数控机床的最大特点是当改变加工工件时,只需要向数控系统输入新的加工程序,而不需要对机床进行人工调整或直接参与操作,就可以自动完成整个加工过程。

### 二、数控机床的发展过程

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。经过半个多世纪的研究发展,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。

#### 1. 数控系统

数控系统的发展直接影响到数控机床的应用和发展。数控系统的发展经历了五次更新换代。

第一代数控系统:从1952年到1958年,采用电子管元件,体积大、可靠性低、价格高,因此主要用于军工生产,没有得到推广。

第二代数控系统:从1959年开始,采用晶体管元件,可靠性有所提高,体积大为缩小,但可靠性还是很低,得不到广大用户的认可。

第三代数控系统:从1965年开始,采用集成电路,它不仅大大缩小了数控系统的体积,可靠性也得到了实质性的提高,成为一般用户能够接受的数控系统。

第四代数控系统:从1970年开始,采用大规模集成电路及小型通用计算机,其性能大大提高,且价格有大幅度下降。

第五代数控系统:从1975年开始,采用微处理器或微型计算机,其可靠性和自动化程度有了大幅度的提高。

#### 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。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。研制成功了由伺服单元、直流进给伺服电动机和反馈元件的进给伺服系统。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驱动电动机,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,就要求主轴的起动、停止、正反转和主轴的变速;为了加工螺纹,就要求主轴的回转与Z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主轴,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、自动控制技术也得到了很大的发展,机床本身的机构设计及其新零配件的使用等也在不断地发展。

## 三、我国数控机床的发展简介

我国数控机床开发起步并不晚,大约与日本、德国、前苏联同步。1958年,北京第一机床厂与清华大学合作试制成功我国第一台数控铣床。但是由于相关工业基础差,尤其是数控系统的支撑工业——电子工业薄弱,导致其发展速度缓慢。直到1970年,北京第一机床厂的XK5040型数控升降台铣床才作为商品小批量生产并推向市场。1975年沈阳第一机床厂的CSK6163型数控车床面世,使数控机床真正实现商品化。1974~1976年间,虽然开发了加工中心、数控镗床、数控磨床和数控钻床,但是由于系统不过关,多数机床没有在生产中发挥作用。

20世纪80年代初,由于引进了国外先进的数控技术,我国的数控机床在质量和性能上都有了很大的提高,不但具有完备的手动操作面板和友好的人机界面,而且可以配直流或交流伺服驱动,实现半闭环或闭环的控制,能对2~4轴进行联动控制,具有刀库管理功能和丰富的逻辑控制功能。20世纪90年代起,我国开始向高档数控机床方向发展,一些高档数控攻关项目通过了国家鉴定并陆续在工程上得到应用。航天I型、华中I型、华中—2000型等高性能数控系统,实现了高速、高精度和高效经济的加工效果,能完成高复杂的五坐标曲面实时插补控制,可加工出复杂的整体叶轮及复杂刀具。

从数控机床的整体来看,无论是可靠性、精度、生产效率和自动化程度,我国与世界工业

化国家相比还存在不小的差距,但这种差距正在缩小。随着我国国民经济的发展、企业设备的改造和技术更新的深入开展,各行业对数控机床的需求将大幅度增加,这将有力促进数控机床的发展。

## 第二节 数控机床的组成、工作原理和特点

### 一、数控机床的组成及工作原理

数控机床的原理框图如图 1-1 所示。

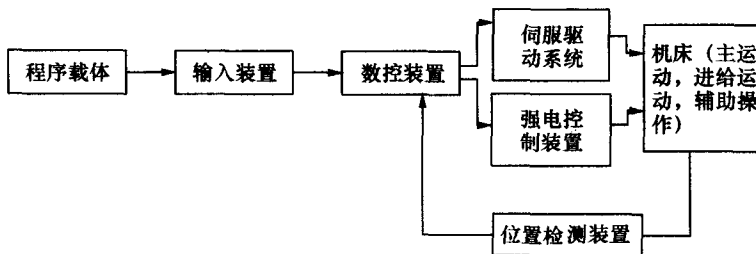


图 1-1 数控机床的原理框图

#### 1. 程序载体

数控机床是按照程序载体上的零件加工程序运行的。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对轨迹、工艺参数(走刀量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上,如穿孔纸带、录音磁带、软磁盘或硬盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到数控装置内。

#### 2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内有关加工程序读入数控装置。根据程序载体的不同,输入装置可以是光电阅读机、录音机或软盘驱动器。

现代数控机床还可以不用任何程序载体,将零件加工程序通过数控装置上的键盘,用手工方式(MDI 方式)输入;或者将存储在编程计算机硬盘上的加工程序用通信的方式传送到数控装置。

#### 3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它根据输入的程序和数据,完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等功能。初期的数控(NC)装置是由各种记忆元件、逻辑元件等组成的分立元件逻辑电路,采用固定接线的硬件结构,系统由硬件来接收、处理信息。随着科学技术的发展,数控装置开始采用微处理器和小型计算机,并由软件来实现部分或全部的数控功能,因而称其为计算机数控装置

(CNC)。CNC 装置不仅柔性增强,更为灵活与经济,而且提高了工作的可靠性。

#### 4. 伺服系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分,它是数控装置和受控设备的联系环节。数控装置发出的控制信息经伺服系统中的控制电路、功率放大电路和伺服电动机驱动受控设备工作,并可对其位置、速度等进行控制。其结构框图如图 1-2 所示。伺服系统一般可根据有无检测反馈环节,分为开环系统、闭环系统和半闭环系统。

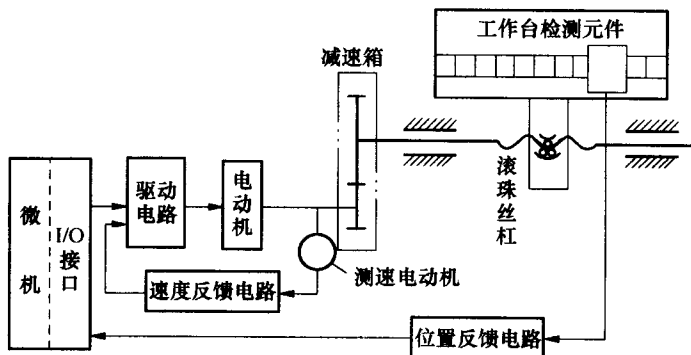


图 1-2 伺服系统结构框图

##### (1) 开环控制系统

开环控制系统中没有位置、速度等检测装置,如图 1-3 所示,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,数控装置每发出一个进给指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动执行件移动。这类系统信息是单向的,即进给脉冲发出后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制。

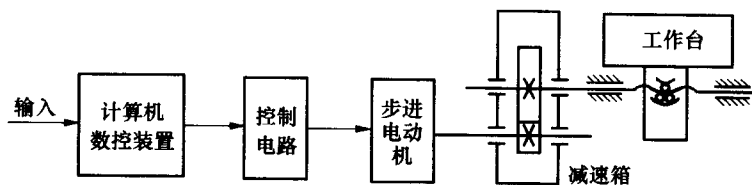


图 1-3 开环控制系统框图

##### (2) 闭环控制系统

闭环控制系统中带有位置、速度等检测装置,直接对执行件的实际位移量进行检测,如图 1-4 所示。伺服驱动部件通常采用直流或交流伺服电动机。这种控制系统可将执行件的位移量反馈至比较电路,并与指令值进行比较。当检测值与指令值存在差值时,经控制电

路可控制伺服驱动电动机作补偿旋转,直至差值消除为止。这种控制系统因其可将最终执行部件的位置进行反馈、比较、补偿,因而称为闭环控制。

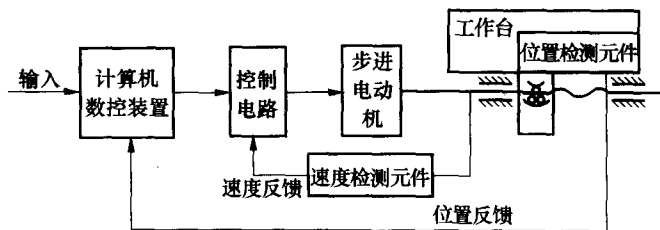


图 1-4 闭环控制系统框图

### (3) 半闭环控制系统

半闭环控制系统如图 1-5 所示,其位移检测装置不直接测量执行件的位移,而是检测与伺服驱动电动机联系的传动元件(如电动机轴或滚珠丝杠)的角位移。从而计算出执行件的位移量,再将该值与指令值进行比较,若存在误差值,则控制伺服驱动电动机朝消除该误差值的方向转动,直至误差值消除为止。这种控制系统因其在检测位置之后的传动件及执行件不在反馈环路之内,故称为半闭环控制。

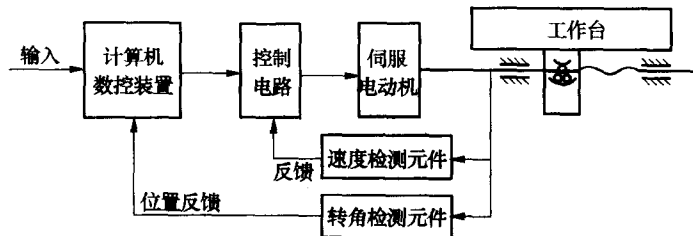


图 1-5 半闭环控制系统框图

### 5. 强电控制装置

强电控制装置的主要功能是接受数控装置控制的内置式可编程控制器(PLC)输出的主轴变速、换向、起动或停止,刀具的选择和更换,分度工作台的转位和锁紧,工件夹紧和松开,切削液的开或关等辅助操作的信号,经功率放大直接驱动相应的执行元件,如接触器、电磁阀等,从而实现数控机床在加工中的全部自动操作。

### 6. 位置检测装置

位置检测装置是闭环和半闭环控制系统中重要环节,它可将检测元件所测得的位移值进行模拟转换,然后作为反馈信号输入比较电路,经与指令值相比较后控制伺服驱动系统正确运转。因此检测元件的性能对伺服系统有很大的影响。常用的位移检测元件有脉冲编码

器、旋转变压器、感应同步器、光栅传感器及磁栅等。

### 7. 机床

数控机床是高精度、高生产率的自动化加工机床。与传统的普通机床相比,数控机床在整体布局、外形、主传动系统、进给传动系统、刀具系统、支承系统和排屑系统等方面有很大的差异。这些差异能更好地满足数控机床的要求,并充分适应数控加工的特点。通常对机床的精度、静刚度、动刚度和热刚度等提出了更高的要求,而传动链则要求尽可能的简单。

## 二、数控机床的特点

### 1. 数控机床的优点

采用数控技术的金属切削机床具有下列优点:

#### (1) 适应性强,可完成不同工件的自动加工

数控机床是按照被加工工件的加工程序来进行自动加工的,当加工工件改变时,只需要改变加工程序就可以完成工件的加工。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

#### (2) 加工精度高,质量稳定

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,数控机床可以获得比设备自身精度还高的加工精度。

#### (3) 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,减少了辅助动作时间和停机时间,从而明显地提高了生产效率。

#### (4) 减轻了操作工人的劳动强度,改善了劳动条件

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,还可在环境恶劣的条件下进行工作,从而降低了人的劳动强度,并极大地改善了劳动条件。

#### (5) 能实现复杂的运动

数控机床几乎可实现任意轨迹的运动和任何形状的空间曲线的加工,如用普通机床难以加工的螺旋桨、汽轮机叶片等空间曲面,采用数控机床则能完成这些曲面的加工。

#### (6) 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,有利于与计算机连接,构成由计算

机控制、管理的生产系统,为产品的设计、制造及管理的一体化奠定了基础。

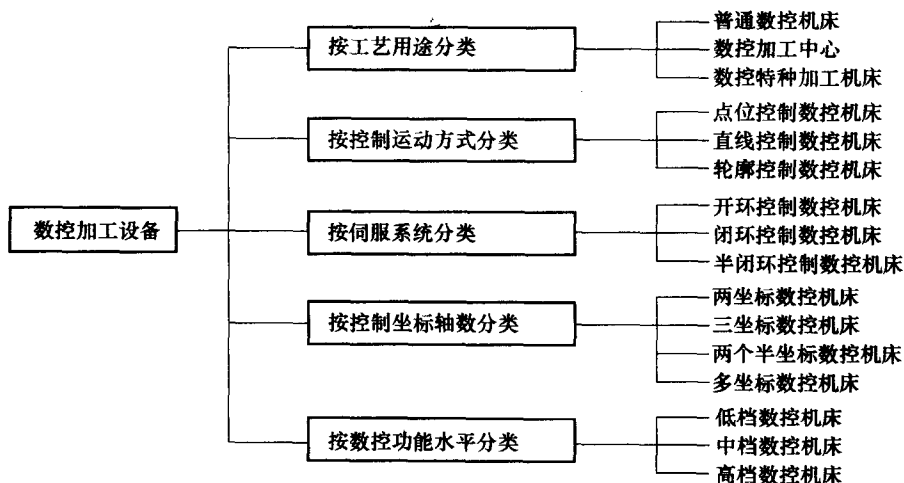
## 2. 数控机床的不足之处

数控机床存在的不足之处有:

- (1)提高了起始阶段的投资;
- (2)增加了电子设备的维护;
- (3)对操作人员的技术水平要求较高。

## 第三节 数控机床的分类

数控机床五花八门,品种繁多,各行各业都有自己的分类方法,通常从以下不同角度进行分类:



### 一、按工艺用途分类

#### 1. 普通数控机床

普通数控机床根据不同的工艺需要,与普通机床一样,可分为数控车、铣、镗、磨、钻床等。这类机床的工艺性能与普通机床相似,所不同的是它能按数控指令自动进行加工。

#### 2. 数控加工中心

数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。在加工中心上,零件一次装夹后可进行多种工艺、多道工序的集中加工,减少了零件装卸次数、更换刀具等辅助时间,机床的生产效率较高。

### 3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床主要指非切削加工的数控机床,如数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切削机床等。

## 二、按控制运动的方式分类

### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是只控制运动部件从一点移动到另一点时的准确定位,如图 1-6 所示。这类机床在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度、轨迹没有严格要求。多用于数控钻床、数控镗床、数控电焊机等。

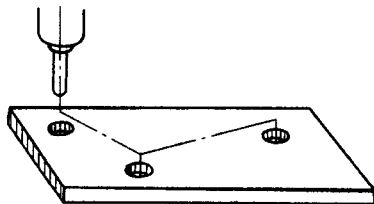


图 1-6 点位控制加工示意图

### 2. 直线控制机床

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个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,如图 1-7 所示。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床等。

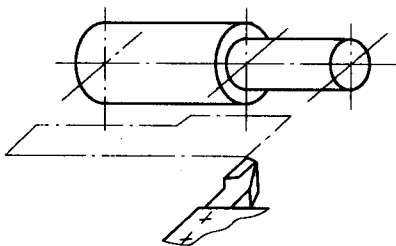


图 1-7 直线控制加工示意图

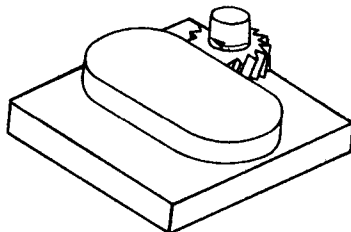


图 1-8 轮廓控制加工示意图

### 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。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率,并极大地缩短了生产准备时间。图 1-8 所示是轮廓控制加工示意图。

### 三、按伺服系统类型分类

#### 1. 开环控制数控机床

开环控制系统中没有检测装置,指令信号单方向传递,不反馈回来。开环控制的特点是结构简单、调试方便,容易维修、成本较低,但控制精度不高,常用于经济型数控机床。

#### 2. 闭环控制数控机床

闭环控制系统中具有检测装置,可将执行件的位移值反馈,并与指令值比较,用比较差值进行控制,直至差值消除为止。闭环控制数控机床具有加工精度高、定位准确、移动速度快等优点,但其控制电路较复杂、检测元件价格高、调试维修复杂,常用于对加工精度要求较高的精密数控机床。

#### 3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统不直接检测执行件的位移量,而是检测与伺服驱动电动机相联系的传动件的角位移作为反馈值,检测元件之后的传动件不在反馈环路之内,因此传动系统的传动误差仍会影响机床的加工精度。但该系统调整方便、稳定性好、性能界于开环与闭环之间,因而在数控机床上广泛应用。

### 四、按控制坐标轴数分类

数控机床的移动部件较多,现多按直角坐标系对机床移动部件的运动进行分类和数字控制。数控机床的坐标数目或轴数是指数控装置控制机床移动部件的联动坐标数目。

#### 1. 两坐标数控机床

两坐标数控机床是指同时控制两个坐标联动的数控机床。如数控车床中的数控装置可同时控制车床切深方向的 $X$ 和主轴回转中心线 $Z$ 方向的运动,实现两坐标联动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。数控铣床本身虽有 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三个方向的运动,但数控装置如果同时只控制两个坐标,实现两坐标联动,则可在加工中用 $X$ 、 $Y$ 、 $X$ 、 $Z$ ,或 $Y$ 、 $Z$ 实现坐标平面转换,用于加工如图1-9所示形状零件的顶面和沟槽。

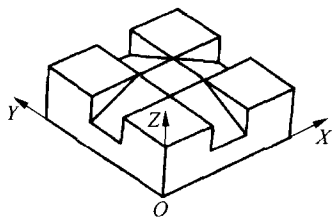


图1-9 两坐标联动加工沟槽图

#### 2. 三坐标数控机床

三坐标数控机床的数控装置可同时控制三个坐标,实现三坐标联动。如三坐标数控铣床可加工图1-10所示的曲面零件。

#### 3. 两个半坐标数控机床

这种数控机床本身有三个坐标,能做三个方向的运动,但其数控装置只能同时控制两个坐标,第三个坐标仅能做等距离的周期移动。如用两个半坐标数控机床加工如图1-11所示的空间曲面形状的零件时,在 $ZOX$ 坐标平面内控制 $X$ 、 $Z$ 两坐标联动,以加工竖截面内的

轮廓表面,而控制  $Y$  坐标做等距离周期移动,即能将零件的空间曲面加工出来。

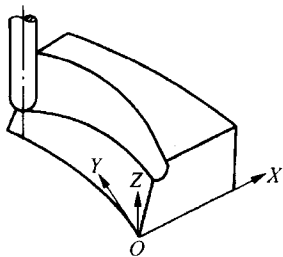


图 1-10 三坐标联动加工曲面图

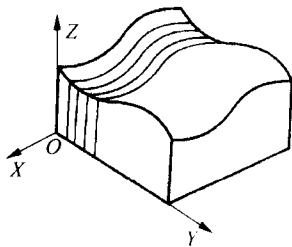


图 1-11 两个半坐标联动加工曲面

#### 4. 多坐标数控机床

四轴以上的数控机床称为多坐标数控机床。多坐标数控机床结构复杂,机床精度高,加工程序设计复杂,主要用于加工形状复杂的零件。

### 五、按数控装置功能水平分类

按数控装置功能水平通常把数控机床分为低、中、高三档。其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控,而把低档的称为经济型数控。经济型数控是指由单板机、单片机和步进电机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的数控系统,主要用于车床、线切割机床以及其他普通机床的数控改造。

## 第四节 数控机床的发展趋势

数控机床是综合应用现代最新科技成果发展起来的新型机械加工设备。半个多世纪以来,数控机床在品种、数量、加工范围与加工精度等方面有了很大的发展,大规模集成电路和微型计算机的发展和完善,使数控系统的价格逐年下降,而精度和可靠性却大大提高。

近年来,随着电子技术、计算机技术、信息技术以及激光技术的发展并应用于数控机床领域,数控机床的发展进入了一个崭新的时代。数控机床正朝着高精度、高速度、高自动化、高复合化、计算机直接数字控制及柔性制造方向发展。

### 一、数控机床的发展

目前,数控机床的品种、规格很多,几乎所有的机床均有数控化的品种,其精度、生产效率和自动化程度均已发展到相当高的水平。随着一些相关技术的发展,例如刀具新材料和超高速切削理论的出现、主轴伺服和进给伺服技术的发展以及用户对生产效率和精度要求的日益提高,数控机床的发展就更加迅速了。

#### 1. 高精度化

数控机床的精度包括机床的几何精度和加工精度,而高的几何精度是提高加工精度的