

欧彦江 李虹霖 主编

# 机床数控技术

JICHUANG SHUKONG JISHU



上海科学技术出版社



# 机床数控技术

---

欧彦江 李虹霖 主编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术 / 欧彦江, 李虹霖主编. —上海: 上海科学技术出版社, 2009.6

ISBN 978-7-5323-9739-6

I. 机… II. ①欧…②李… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015359 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市文化印刷有限公司印刷

开本 787 × 1092 1/16 印张:13

字数: 286 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—4 250

ISBN 978-7-5323-9739-6/TG · 187

定价: 25.00 元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向工厂联系调换

# 内 容 提 要

本书系统地介绍了数控技术、数控机床的分类与特点、插补原理、计算机控制系统、伺服系统、数控编程基础、数控编程技术等内容,内容丰富,逻辑性强,结构严谨,体现了现代数控技术发展的成果。本书注重联系生产实际,简化基本理论的叙述,加强应用性内容的介绍,特别适合机械制造、模具制造、机械电子等专业的高职高专学生用作教材,也适合于从事现代制造技术及有关工程的技术人员参考。

# 前 言

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。它的出现及所带来的巨大效益,已引起世界各国科技界与工业界的普遍重视。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批数控应用型高级技术人才。为了适应我国高等职业技术教育的发展及数控应用型技术人才培养的需要,我们编写了本书。

本书以突出职业教育为特色,从增强实用性和加强能力与素质培养出发,根据工程实际要求,对传统课程体系和教学内容进行了重新组合调整。本书以计算机数控系统为主线,主要介绍了数字控制基本概念、计算机数控系统软硬件结构及相关功能原理、数控机床伺服系统、数控机床的基本机械结构、数控基本编程方法等内容。各章后均附有小结和思考题。

本书可作为高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM 技术应用和模具设计与制造人员的培训用书或教材;也可作为机械设计制造及自动化专业本、专科生的教材,还可供从事数控加工的工程技术人员参考。

本书第1、5章由欧彦江编写,第2章由刘明纲编写,第3章由王显涛编写,第4章由李虹霖编写。全书由欧彦江、李虹霖担任主编,并负责全书统稿。

本书的编写过程中,参阅了以往其他版本的同类教材和有关工厂及科研院所的一些教材、文献、资料,并得到了许多同行专家的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,数控技术发展迅速,所以本书难免有不足之处,真诚希望各位读者和同仁提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

## 第1章 绪论 1

- 1.1 数控机床的产生与发展 1
  - 1.1.1 数控机床的产生 1
  - 1.1.2 数字控制的相关概念 2
  - 1.1.3 数控机床的发展 2
- 1.2 数控机床的组成及工作原理 3
- 1.3 数控机床的分类 5
  - 1.3.1 按加工工艺分类 5
  - 1.3.2 按机床运动的控制轨迹分类 5
  - 1.3.3 按伺服控制的方式分类 7
  - 1.3.4 按数控系统的功能水平分类 8
- 1.4 数控机床的特点及发展趋势 8
  - 1.4.1 数控机床的特点 8
  - 1.4.2 数控技术的发展趋势 9

## 第2章 计算机数控系统 13

- 2.1 计算机数控系统的组成与工作过程 13
  - 2.1.1 计算机数控系统的组成 13
  - 2.1.2 计算机数控系统的工作过程 14
- 2.2 计算机数控系统的硬件结构 16
  - 2.2.1 单微处理器和多微处理器结构 17
  - 2.2.2 大板式结构与功能模块式结构 18
  - 2.2.3 开放式数控系统结构 19
  - 2.2.4 基于 Linux 的开放式结构数控系统 22
- 2.3 计算机数控系统的软件结构 24
  - 2.3.1 CNC 装置软硬件的界面 24
  - 2.3.2 CNC 系统控制软件的结构特点 24

2.3.3	常规 CNC 系统的软件结构	27
2.4	运动轨迹插补原理	32
2.4.1	运动轨迹插补的概念	32
2.4.2	运动轨迹插补的方法	32
2.4.3	逐点比较法	33
2.4.4	数据采集法	36

### 第3章 数控机床伺服系统

43

3.1	概述	43
3.1.1	伺服系统的基本组成	43
3.1.2	伺服系统的分类	44
3.1.3	伺服系统的发展趋势	45
3.2	位置检测装置	47
3.2.1	旋转变压器	47
3.2.2	光栅	49
3.2.3	编码器	52
3.3	步进电动机伺服系统	56
3.3.1	步进电动机的分类	56
3.3.2	步进电动机的结构及工作原理	57
3.3.3	步进电动机的通电方式以及特点	58
3.3.4	步进电动机的主要特性	59
3.3.5	步进电动机的驱动控制系统	60
3.3.6	步进电动机的开环进给系统	64
3.4	直流伺服系统	65
3.4.1	直流伺服电动机的结构与原理	65
3.4.2	大惯量直流伺服电动机	66
3.4.3	直流伺服电动机的晶闸管调速系统	67
3.4.4	晶体管脉冲调宽(PWM)调速系统	68
3.5	交流伺服电动机	69
3.5.1	异步型交流电动机	69
3.5.2	同步型交流电动机	70
3.5.3	交流伺服电动机的性能	71
3.5.4	交流调速控制	72
3.6	主轴伺服系统	74
3.6.1	主轴伺服系统的要求	74
3.6.2	典型主轴伺服系统	74
3.6.3	主轴的换档及控制	78

<b>第4章 数控加工程序编制</b>	<b>81</b>
4.1 数控加工程序编制基础	81
4.1.1 数控程序编制的概念	81
4.1.2 数控机床的坐标系	87
4.1.3 常用编程指令	91
4.1.4 程序编制中的数学处理	98
4.2 数控车床的程序编制	99
4.2.1 数控车床程序编制的基础	99
4.2.2 数控车床的基本编程方法	101
4.3 数控铣床及加工中心的程序编制	115
4.3.1 数控铣削加工工艺基础	115
4.3.2 数控铣床的工艺装备	118
4.3.3 数控铣床程序编制的基本方法	123
4.3.4 加工中心程序编制	129
<b>第5章 数控机床机械结构</b>	<b>145</b>
5.1 数控机床的结构要求	145
5.1.1 数控机床机械结构的特点	145
5.1.2 数控机床机械结构应满足的基本要求	146
5.2 数控机床的主传动系统	147
5.2.1 数控机床对主传动系统的要求	147
5.2.2 主传动系统的传动方式	148
5.2.3 主轴箱与主轴组件	151
5.2.4 主轴准停装置	159
5.2.5 主轴组件的润滑和密封	160
5.3 数控机床的进给传动机构	162
5.3.1 进给系统概述	162
5.3.2 齿轮传动副	163
5.3.3 丝杠螺母副	166
5.3.4 导轨	172
5.4 数控机床的自动换刀装置	177
5.4.1 自动换刀装置的分类	177
5.4.2 刀库	180
5.4.3 刀具的选择与识别	182
5.4.4 机械手的形式及其夹持结构	186
5.4.5 主轴刀具自动夹紧装置	188



5.5 数控机床的辅助装置	190
5.5.1 自动排屑装置	190
5.5.2 回转工作台	192

参考文献	198
------	-----

---

# 第 1 章 绪 论

## 【学习目标】

1. 了解数控机床的产生和发展情况。
2. 理解数控相关概念。
3. 了解数控机床的组成和工作原理。
4. 掌握数控机床的分类方法。
5. 理解数控机床的特点和发展趋势。

数控机床是当代最先进的制造工具之一,是推动制造技术进步的原动力。数控机床是 19 世纪后半叶发展起来的自动化制造工具,是以计算机为代表的现代技术与传统机床结合的产物,是各种现代先进制造系统(如 FMS、CIMS、RMS 等)的基础。

## 1.1 数控机床的产生与发展

### 1.1.1 数控机床的产生

制造业是生产物质财富的产业,机床是制造业的主要生产设备,制造业中的绝大多数零件都直接或间接地经过机床加工,因此机床(也称工作母机)是制造业的基础。在传统制造业中,对于大批量生产的产品,往往采用组合机床等专用机床组成的自动或半自动生产线;对于单件或小批量生产的产品,一般采用通用机床加工。随着科学技术的不断发展和社会生产力的不断提高,市场对机械产品的要求越来越高,不仅要求提高产品的质量水平,而且要求加快产品更新换代的速度,这样就导致了现代制造业中多品种、中小批量生产的比重不断增加。在这样的情况下,再采用传统的加工机床就显得不合理了,这主要体现在两个方面:应用专用机床生产线生产准备周期长、费用高、产品不易更新(有时甚至不可能实现产品更新);应用通用机床则无法大幅度地提高生产效率或精确地控制产品质量,同时通用机床也无法加工一些复杂度和精度要求很高的小批量生产的产品。相比之下,数控机床的出现恰恰满足了这些要求。

1948 年美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出利用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新概念。1952 年帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,其数控系统采用脉冲乘法器原理,全部由电子管元件组成,虽然体积庞大,功能简单,但却意义重大,标志着机械制造业进入了一个新的发展阶段。1958 年我国北京机床研究所和清华大学开始研

制数控机床,1965年北京第一机床厂开始生产三坐标数控铣床。

数控机床的出现极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展。对于整个制造业来说,由于数控机床的大量使用,使得产品质量大幅度提高,新产品开发周期明显缩短。目前数控机床已经遍布军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、建筑、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有制造行业。

### 1.1.2 数字控制的相关概念

#### 1) 数字控制(numerical control,简称 NC)

近年来的各种参考书或教材中,都对数字控制的定义作出过多种描述,每种描述都试图从更合理的角度来定义数控。本书只是希望读者能够树立关于数控的正确概念,而不用纠缠于学术理论之争,所以我们使用 GB/T 8129—1997 对数控的定义:用数值数据的控制装置,在运行过程中不断地引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。

#### 2) 数控机床(NC machine tools)

数控机床是指操作命令以数值数据的形式描述,且工作过程按照规定的程序自动进行的机床。

这里的“操作命令”是指控制机床产生各种动作的命令。如“主轴以 1 000 rpm 正转”、“刀具加工圆弧”等。将这些命令数字化,并且每个命令作为一行程序,如果机床能够自动地依照这些程序来动作,那么这种机床就是数控机床。

#### 3) 数控系统(NC system)

广义上来讲,我们通常将计算机数控装置、可编程序控制器(PLC)、进给驱动及主轴驱动装置等相关设备总称为数控系统。狭义上来讲,数控系统仅指其中的计算机数控装置。

#### 4) 计算机数控系统和微处理器数控系统

计算机数控(computerized NC,简称 CNC)是用计算机控制加工功能,实现数值数据控制的系统。

微处理器数控(micro-computerized NC,简称 MNC)是指用微处理器构成计算机数控装置,进行数值数据控制的系统。

#### 5) NC 与 CNC

NC 和 CNC 都是数控行业中常用的概念,经常容易混淆。从定义本身来说,它们的含义是有很大的不同的。NC 代表旧版的、最初的数控技术,属于硬件数控;CNC 代表新版的计算机数控技术,属于软件数控。

NC 系统(与 CNC 系统相比较)使用固定的逻辑单元操作程序,这些操作程序是内置的,并且是永久嵌入控制单元内部的,这些操作程序不能由编程人员或机床操作人员更改。所有程序的修改必须脱离控制系统来完成。通常 NC 系统要求必须用穿孔纸带来输入程序。

CNC 系统主要是使用计算机来操作程序。计算机含有存储各种程序的存储寄存器,这些程序可以用来处理逻辑操作,这就意味着零件编程人员或机床操作人员可以通过控制系统自身在机床上来修改或编写程序。灵活性是 CNC 系统的最大优势。

### 1.1.3 数控机床的发展

#### 1) 数控机床的发展简史

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机,这表明人类创造了可增强和部分代替脑力劳

动的工具。它与人类在农业、工业社会中创造的那些只是增强体力劳动的工具相比,起了质的飞跃,为人类进入信息社会奠定了基础。6年后,即在1952年,计算机技术应用到了机床上,从而一种新型的用数字程序控制的机床应运而生。这种机床是一种综合运用了计算机技术、自动控制、精密测量和机械设计等新技术的机电一体化典型产品。数控机床是一种装有程序控制系统(数控系统)的自动化机床。计算机数控阶段也经历了三个时代,即1970年的第四代——小型计算机;1974年的第五代——微处理器和1990年的第六代——基于PC(国外称为PC-based)。

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。数控系统由当初的电子管式起步,经历了以下几个发展阶段:分立式晶体管式、小规模集成电路式、大规模集成电路式、超大规模集成电路、小型计算机式、微机式的数控系统。

前三代数控装置属于采用专用控制计算机的硬件数控装置,一般称为NC数控系统。到20世纪80年代,总体发展趋势是:数控装置由NC向CNC发展;广泛采用32位CPU组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统;增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。总之,数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。到1990年,全世界数控系统专业生产厂家年产数控系统约13万台(套)。

## 2) 我国数控机床发展概况

我国于1958年研制第一台数控机床,发展过程大致可分为三大阶段。1958~1979年为第一阶段,1979~1989年为第二阶段,从1989年至今为第三阶段。第一阶段由于我国基础理论研究滞后,相关工业基础薄弱,特别是电子技术落后,数控系统没有突破,虽然我国起步不晚,但发展不快,20世纪60~70年代,由于文革等因素,我国与发达国家差距开始拉大。20世纪70年代国家组织数控机床攻关,取得一定成效,相继推出一些数控机床品种,但从整体来看,我国数控机床产业尚处于起步阶段。第二阶段从日、德、美、西先后引进数控系统技术,从日、美、德、意、英、法、瑞、匈、奥、韩等国及台湾地区引进数控机床先进技术和合作、合资生产,解决了可靠性、稳定性问题,数控机床开始正式生产和使用,并逐步向前发展。第三阶段国家从科技攻关和技术改造两方面对数控机床产业进行了重点扶持,并加快了国产数控系统的开发。普及型数控系统开发成功,为数控机床商品化和规模化生产奠定了基础。一些数控机床主机厂组建床身、箱体、主轴、轴套等成组单元,厂内组织专业化生产,生产水平进一步提高。CAD/CAPP/CAM开始应用,开发能力、工艺水平和产品质量进一步提高,奠定了产业化基础。数控机床进入了快速发展期。

## 1.2 数控机床的组成及工作原理

数控机床一般由数控系统、伺服系统(包含伺服电动机和检测反馈装置)、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成,如图1-1所示。

### 1) 控制介质

控制介质又称信息载体,是联系人 与数控机床之间的中间媒介物质,反映了数控加工中的全部信息。数控机床的加工程序可以存储在控制介质上。常用的控制介质有穿孔纸带、

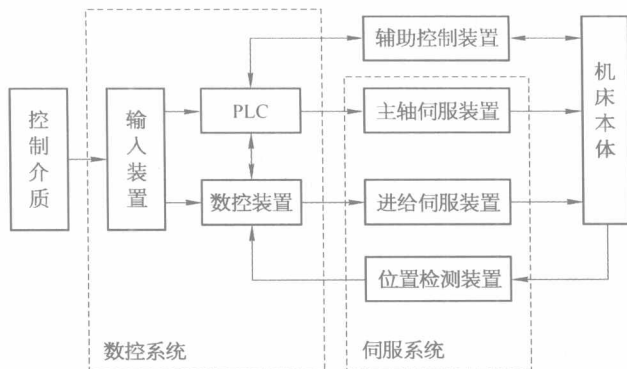


图 1-1 数控机床基本结构

磁带和磁盘等。

#### 2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。

#### 3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,其作用是:从内部存储器中取出或接受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,运算处理后,输出几种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

#### 4) 伺服单元和驱动装置

伺服单元是 CNC 和机床本体的联系环节,它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。根据接收指令的不同,伺服单元有脉冲式和模拟式之分,而模拟式伺服单元按电源种类又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。伺服单元还包括位置检测装置。位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移检测出来,经反馈系统反馈到机床的数控系统中。

驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,最后加工出图纸所要求的零件。和伺服单元相对应,驱动装置有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

伺服单元和驱动装置可合称为伺服驱动系统,它是机床工作的动力装置。CNC 装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施,所以,伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说,数控机床功能的强弱主要取决于 CNC 装置,而数控机床性能的好坏主要取决于伺服驱动系统。

#### 5) 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过翻译、逻辑判别和运算,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启停,工件和机床部件的松开和夹紧,分度工作台的转位分度等开关辅助动作。当今数控机床已广泛采用可编程控制器(PLC)作为辅助控制装置。

## 6) 机床本体

数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床相似,但数控机床在整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。归纳起来主要有以下几个方面:

(1) 采用高性能主轴及主传动部件。

(2) 进给传动采用高效传动件。一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

(3) 具有完善的刀具自动交换和管理系统。

(4) 机床本身具有很高的动、静刚度。

(5) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等因素,一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭。

## 1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构,按下面四种原则进行分类。

### 1.3.1 按加工工艺分类

#### 1) 金属切削类

指采用车、铣、撞、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置就成为数控加工中心,如镗铣加工中心、车削中心、钻削中心等。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。

#### 2) 金属成型类(板材加工类)

指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床,常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

#### 3) 特种加工类

主要有数控电火花线切割机、数控电火花成型机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

### 1.3.2 按机床运动的控制轨迹分类

#### 1) 点位控制的数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工,各坐标轴之间的运动是不相关的,可以是几个坐标同时向目标点运动,也可以是各坐标依次运动。为了实现既快又精确的定位,两点间位移的移动一般采取先快速移动,然后慢慢趋近定位点,以保证定位精度。具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等,图1-2为点位控制数控钻床加工示意图。

#### 2) 点位直线控制数控机床

直线控制数控机床也称为平行控制数控机床,其特点是除了控制点与点之间的准确定位外,还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹),但其运动路线只是与机床坐标轴平行的直线,或两轴同时移动时构成的斜线。在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进

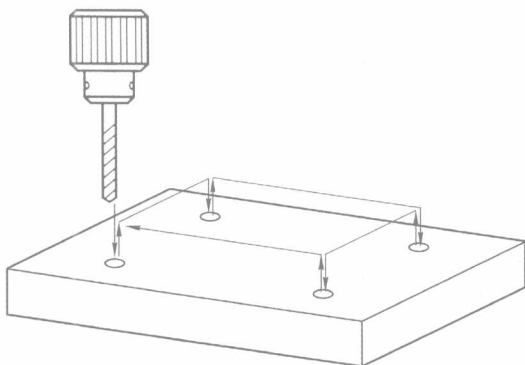


图 1-2 点位控制数控钻床加工示意图

行切削,一般只能加工矩形、台阶形零件。

有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。图 1-3 为点位直线控制数控铣床加工示意图。

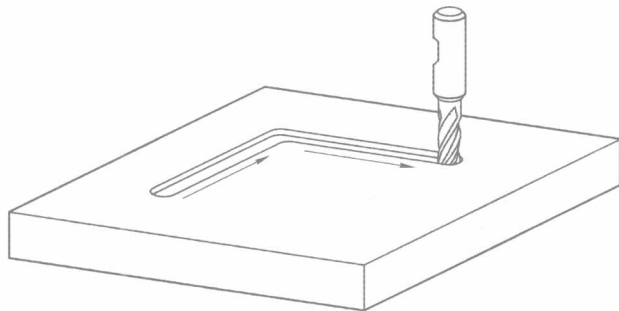


图 1-3 点位直线控制数控铣床加工示意图

### 3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床,其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求,必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来,从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合,在运动过程中刀具对工件表面进行连续切削,可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工。图 1-4 为二坐标轮廓控制数控铣床加工示意图。

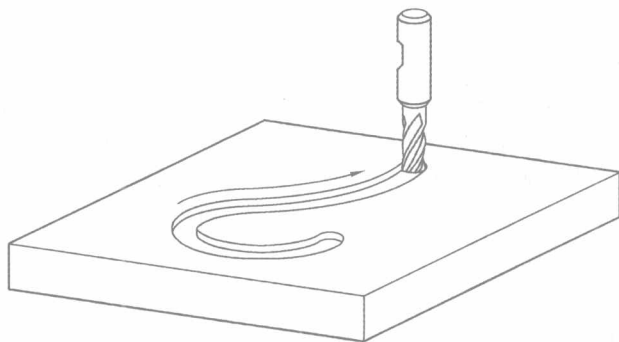


图 1-4 二坐标轮廓控制数控铣床加工示意图

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制数控系统。

### 1.3.3 按伺服控制的方式分类

#### 1) 开环控制数控机床

这类机床的特点是其控制系统不带位置检测反馈装置,一般它的驱动电动机为步进电机,其控制系统的框图如图1-5所示。这种控制方式的最大特点是控制方便、结构简单、价格便宜。数控系统发出的指令信号流是单向的,所以不存在控制系统的稳定性问题,但由于机械传动的误差不经过反馈校正,步进电机的失步、步距角误差齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件精度,故开环系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床。在我国,一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。

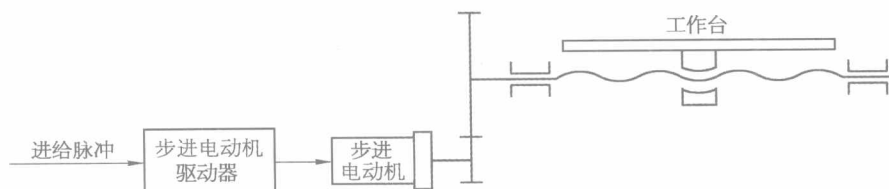


图 1-5 开环控制系统框图

#### 2) 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是采用直接安装在伺服电动机轴上或丝杠端部的转角检测元件(如编码器等)进行位置反馈,机床通过检测元件检测丝杠的转角,间接地检测移动部件的实际位移,然后反馈到数控装置中去,并对误差进行修正。目前,通常将角位移测量元件和伺服电动机设计成一个部件,使用起来十分方便。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可以获得较稳定的控制特性,而且调试也比较方便。虽然丝杠等机械传动误差不能通过反馈来随时校正,但是可采用软件定值补偿方法来适当提高其精度。目前,采用半闭环控制方式的数控机床应用十分广泛,其控制系统的框图如图1-6所示。

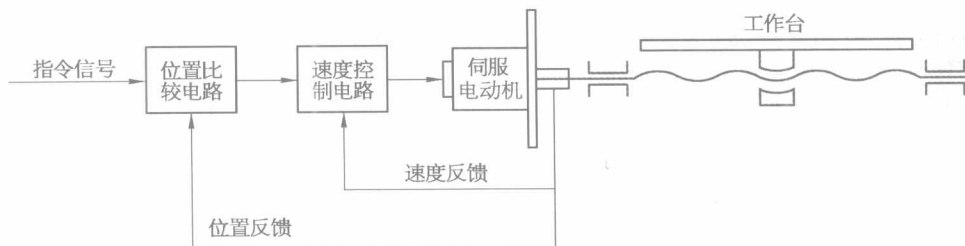


图 1-6 半闭环控制系统框图

#### 3) 闭环控制数控机床

这类数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的,其驱动电动机可采用直流或交流两种伺服电动机,位置反馈装置采用直线位移检测元件(如光栅尺等),安装在机床的移动部件上,直接检测机床移动部件的直线位移量,通过反馈可以消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,从而得到很高的机床静态定位精度。但是,由于在



整个控制环内,许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性,并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大,这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难,系统的设计和调整也都相当复杂。因此,这种闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控超精车床、数控精密磨床等。其控制系统的框图如图 1-7 所示。

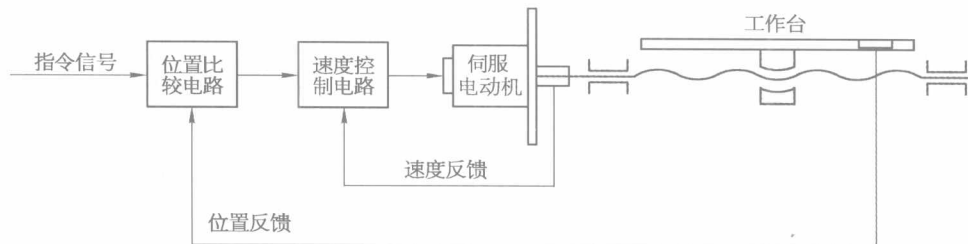


图 1-7 闭环控制系统框图

#### 4) 混合控制数控机床

将上述三类控制方式的特点结合起来,就可以组成混合控制数控机床的方案。如前所述,由于开环控制方式稳定性好、成本低、精度差,全闭环精度高、稳定性差,而半闭环介于两者之间,所以采用混合控制方式,可以较好地将其特点结合起来,以满足一些大型或重型机床的要求。混合控制方式中采用较多的有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

### 1.3.4 按数控系统的功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平通常可以分为低、中、高三档,其中低档数控机床又称为经济型数控机床,中档数控机床也称为普及型数控机床。这种分类方式在我国用得较多。低、中、高三档的界限是相对的,不同时期划分标准也会不同。就目前的发展水平看,可以根据表 1-1 的一些功能及指标作为划分依据。

表 1-1 不同档次数控机床的性能及指标

项 目	低 档	中 档	高 档
分辨率( $\mu\text{m}$ )	10	1	0.1
进给速度( $\text{m}/\text{min}$ )	8~15	15~24	15~100
伺服进给类型	开环、步进电动机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速,C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口,联网功能
显示功能	数码管显示,CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示,图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8 bit	16 或 32 bit	64 bit

## 1.4 数控机床的特点及发展趋势

### 1.4.1 数控机床的特点

#### 1) 加工精度高,加工稳定可靠

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,不需人工干预,这就消除了操作者人为