



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术专业系列

# 机床数控技术及应用

李宏胜 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机床数控技术及应用

李宏胜 主编

顾雪艳 熊光华 黄尚先 参编

高等教育出版社

## 内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据高职高专教育机械类专业人才培养目标及规格的要求编写的。本书力求取材新颖,体现机电结合与应用技术,全面介绍数控机床的有关原理和应用知识。

全书共分为8章。第1章简要介绍数控机床的特点及加工原理。第2章介绍数控编程的有关内容。第3章详细讲解了计算机数控(CNC)系统的硬、软件工作原理与应用知识。第4章介绍了各种开、闭环进给驱动装置及位置检测元件。第5章介绍数控机床的主轴驱动,并讨论主轴控制中的变速及主轴准停控制。第6章介绍数控机床的机械结构及特点。第7章讲述数控机床的选用、调试、验收、维护保养及故障诊断等知识。第8章介绍现代数控系统与机械加工自动化的发展。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机电类专业教材,也可供应用型高校和企业技术人员选用与参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术及应用 / 李宏胜主编. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-023666-8

I. 机… II. 李… III. 数控机床-高等学校-教材  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 049076 号

策划编辑 徐进 责任编辑 李京平 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉  
版式设计 范晓红 责任校对 俞声佳 责任印制 陈伟光

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
		网上订购	<a href="http://www.landrace.com">http://www.landrace.com</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		<a href="http://www.landrace.com.cn">http://www.landrace.com.cn</a>
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2008年6月第1版
印 张	21	印 次	2008年6月第1次印刷
字 数	500 000	定 价	27.60 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23666-00

# 前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据高职高专教育机电类专业人才培养目标及规格的要求编写的。

近年来,数控机床及相关技术得到了飞速发展,在柔性、精确性、可靠性、集成性和宜人性等方面功能越来越完善,已成为现代先进制造业的基础。随着各种数控机床在自动化加工领域中的广泛使用,数控机床的原理及应用知识在机电类专业的教学中越来越重要。本书根据高职高专机电类专业的教学需要编写,较全面地介绍了数控机床的工作过程、数控加工工艺与编程、数控系统原理与应用接口技术、进给伺服与主轴驱动及控制、数控机床的机械结构与部件以及数控机床的验收与维修等方面的知识。

本书力求取材新颖实用,尽可能全面地介绍现代数控技术各方面的主要内容,体现实用技术及机与电的结合,在取材和叙述上力求便于讲授和自学。本书建议学时数为60~70,并应配有相应的实验、实习设备和装置。书中带\*的章节可根据学生的具体情况选讲。本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机电类专业教材,也可供应用型的各类高校、企业工程技术人员选用和参考。

本书由南京工程学院自动化学院李宏胜教授、博士担任主编,全书由李宏胜统稿。第1章、第3章、第4章、第5章、第7章由李宏胜编写;第2章和第6章由南京工程学院顾雪艳、熊光华编写;第8章由天津中德技术培训中心黄尚先编写。本书由南京数控机床有限公司总工程师孙序泉教授级高级工程师主审,并提出了许多宝贵的修改和补充意见。中国科学院工程院院士、国家CIMS工程中心专题组吴澄教授对书中有关FMS及CIMS的内容进行了审阅,在此一并表示感谢。

限于编者的水平和学识,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年12月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1	2.3.1 数控铣床及加工中心的编程基础 .....	44
1.1 数控机床的基本组成与工作原理 .....	1	2.3.2 加工工艺与刀具选择 .....	45
1.1.1 数控机床的产生 .....	1	2.3.3 对刀与刀具补偿功能 .....	49
1.1.2 机床计算机数控的概念 .....	1	2.3.4 基本加工编程指令 .....	54
1.1.3 数控机床的基本结构及工作原理 .....	2	2.3.5 固定循环加工功能 .....	58
1.2 数控机床的分类 .....	5	2.3.6 数控铣床及加工中心的加工编程实例 .....	63
1.2.1 按加工工艺分类 .....	5	2.4 用户宏程序的加工编程 .....	66
1.2.2 按控制运动方式分类 .....	5	2.4.1 用户宏程序的概念 .....	66
1.2.3 按驱动装置的特点分类 .....	7	2.4.2 用户宏程序的编程基础 .....	67
1.3 数控机床的特点及应用范围 .....	9	2.4.3 用户宏程序的功能 .....	70
1.3.1 数控机床的加工特点 .....	9	2.4.4 加工编程应用实例 .....	73
1.3.2 数控机床的使用特点与应用范围 .....	10	复习题 .....	76
复习题 .....	11	第 3 章 数控装置的原理与应用 .....	78
第 2 章 数控加工工艺与编程 .....	12	3.1 CNC 系统的概念与组成 .....	78
2.1 数控加工编程基础 .....	12	3.1.1 CNC 系统的基本概念 .....	78
2.1.1 数控机床的坐标轴和运动方向 .....	12	3.1.2 CNC 系统的基本硬件结构 .....	78
2.1.2 程序代码与程序段格式 .....	14	3.2 CNC 系统控制软件 .....	85
2.2 数控车床的加工编程 .....	19	3.2.1 CNC 系统控制软件的功能 .....	85
2.2.1 数控车床的编程基础 .....	19	3.2.2 CNC 系统控制软件的结构与特点 .....	89
2.2.2 加工工艺与刀具选择 .....	20	3.3 运动轨迹的插补原理 .....	94
2.2.3 对刀与刀具补偿功能 .....	23	3.3.1 运动轨迹插补的概念 .....	94
2.2.4 基本加工编程指令 .....	26	3.3.2 运动轨迹插补的方法 .....	96
2.2.5 固定循环加工功能 .....	29	3.3.3 逐点比较法 .....	97
2.2.6 螺纹加工功能 .....	36	3.3.4 DDA 法——数字积分法 .....	110
2.2.7 数控车床的加工编程实例 .....	42	3.3.5 数据采样法 .....	123
2.3 数控铣床及加工中心的加工编程 .....	44	3.4 刀具补偿原理 .....	130
		3.4.1 数控铣床与加工中心的刀具长度与半径补偿 .....	130
		3.4.2 数控车床的刀具长度与半径	

补偿 .....	136	驱动 .....	197
3.5 进给运动的误差补偿 .....	138	4.4.3 交流伺服驱动的应用 .....	200
3.5.1 进给运动误差的来源 .....	138	4.4.4 交流伺服驱动的选用及与传动	
3.5.2 螺距误差补偿 .....	138	机构的配合 .....	203
3.5.3 反向间隙误差补偿 .....	140	4.5 进给运动闭环位置控制 .....	207
3.5.4 其他误差的补偿 .....	140	4.5.1 闭环位置控制的概念 .....	207
3.6 开关量控制(辅助功能)的		4.5.2 闭环位置控制的实现 .....	208
实现与 PLC .....	141	*4.5.3 位置控制回路的数学模型 .....	208
3.6.1 固定逻辑开关量控制 .....	141	*4.5.4 插补运动控制的轮廓误差 .....	210
3.6.2 数控系统 PLC 的开关量控制 .....	141	4.6 进给传动机构对位置控制	
3.6.3 辅助功能 M、S、T 的实现 .....	145	特性的影响 .....	214
3.7 数控系统的接口电路 .....	148	4.6.1 对机械传动机构的基本要求 .....	214
3.7.1 开关量输入输出接口 .....	149	*4.6.2 传动刚度与阻尼对位置控制特	
3.7.2 进给运动控制接口 .....	151	性的影响 .....	214
3.7.3 主轴模拟量控制接口 .....	153	*4.6.3 传动间隙与惯量对位置控制特	
3.7.4 主轴编码器与手摇脉冲发生器		性的影响 .....	216
接口 .....	153	复习题 .....	217
3.8 常用数控系统的功能介绍 .....	155	<b>第 5 章 主轴驱动与控制</b> .....	219
3.8.1 数控加工控制功能 .....	155	5.1 概述 .....	219
3.8.2 基本操作功能 .....	159	5.2 主轴驱动的工作原理 .....	219
复习题 .....	160	5.2.1 主轴驱动装置的特点 .....	219
<b>第 4 章 进给驱动与控制</b> .....	161	5.2.2 交流主轴电动机 .....	220
4.1 进给驱动的概念与分类 .....	161	5.2.3 交流主轴驱动装置 .....	221
4.2 步进驱动及开环进给运动		5.2.4 交流主轴驱动工作特性曲线 .....	222
控制 .....	163	5.3 主轴调速及控制 .....	223
4.2.1 步进电机的工作原理与特点 .....	163	5.3.1 主轴无级调速控制与实现 .....	224
4.2.2 一般步进电机驱动器 .....	166	5.3.2 主轴分段无级调速控制与	
4.2.3 三相细分步进电机驱动器 .....	169	实现 .....	224
4.2.4 环分原理与升降速控制 .....	171	5.3.3 自动变挡的实现 .....	226
4.2.5 步进驱动主要特性及与传动		5.4 主轴准停控制 .....	227
机构的配合 .....	174	5.4.1 概述 .....	227
4.3 常用的检测元件 .....	178	5.4.2 机械准停控制 .....	228
4.3.1 位置检测元件的分类及要求 .....	178	5.4.3 电气准停控制 .....	228
4.3.2 光电编码器 .....	178	复习题 .....	231
4.3.3 光栅尺 .....	182	<b>第 6 章 数控机床的机械结构与</b>	
4.3.4 直线感应同步器 .....	186	<b>特点</b> .....	232
4.3.5 电感式与磁性接近开关 .....	189	6.1 数控机床的结构要求 .....	232
4.4 直流、交流伺服驱动与应用 .....	190	6.1.1 数控机床机械结构的主要	
4.4.1 永磁直流伺服电机与驱动 .....	190	组成 .....	232
4.4.2 永磁同步交流伺服电机与		6.1.2 数控机床机械结构的特点和	

要求 .....	232
6.2 数控机床的主传动及主轴	
部件 .....	233
6.2.1 数控机床主传动系统的要求 .....	233
6.2.2 主轴的传动方式 .....	234
6.2.3 主轴组件 .....	237
6.2.4 主轴的进给功能和主轴准停	
功能 .....	242
6.2.5 主轴组件的润滑、密封与动	
平衡 .....	244
6.3 数控机床的进给传动机构 .....	247
6.3.1 进给系统概述 .....	247
6.3.2 传动齿轮的消隙 .....	248
6.3.3 联轴器 .....	251
6.3.4 丝杠螺母副 .....	252
6.3.5 导轨 .....	258
6.3.6 工作台 .....	264
6.4 自动换刀装置 .....	266
6.4.1 自动换刀装置的分类 .....	266
6.4.2 刀库 .....	268
6.4.3 机械手 .....	276
6.4.4 加工中心主轴上刀具的夹紧	
机构 .....	278
6.5 其他辅助装置 .....	282
6.5.1 数控机床的液压和气动系统 .....	282
6.5.2 排屑装置 .....	283
6.6 数控机床实例 .....	285
6.6.1 数控车床 .....	285
6.6.2 加工中心 .....	286
6.6.3 数控磨床 .....	287
6.6.4 数控齿轮加工机床 .....	288
6.6.5 数控电加工机床 .....	288
复习题 .....	290

第7章 数控机床的选用、验收与	
维修 .....	292
7.1 数控机床的选用 .....	292
7.1.1 数控机床选用的原则 .....	292
7.1.2 数控机床选用的基本要点 .....	293
7.2 数控机床的调试和验收 .....	294
7.2.1 数控机床的安装调试 .....	294
7.2.2 数控机床的验收 .....	296
7.3 数控机床的维护 .....	301
7.3.1 预防性维护 .....	301
7.3.2 设备的日常维护 .....	302
7.4 数控系统的可靠性和故障	
诊断简介 .....	304
7.4.1 数控系统可靠性的基本概念 .....	304
7.4.2 故障诊断简介 .....	305
复习题 .....	306
第8章 数控技术的发展与机械加工	
自动化 .....	308
8.1 数控技术的发展 .....	308
8.1.1 概述 .....	308
8.1.2 几种主要 CNC 系统介绍 .....	308
8.1.3 数控机床的发展 .....	316
8.2 机械加工自动化 .....	318
8.2.1 机械加工发展的新趋势 .....	318
8.2.2 柔性制造系统(FMS) .....	319
8.2.3 计算机集成制造系统(CIMS)	
.....	321
复习题 .....	325
参考文献 .....	326

# 第 1 章 绪论

## 1.1 数控机床的基本组成与工作原理

### 1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术的不断发展,机械产品日趋精密、复杂,改型也日益频繁,对机床的性能、精度、自动化程度等提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的重要技术措施之一,不仅能够提高产品质量和生产率,降低生产成本,还能改善工人的劳动条件。为此,许多企业采用自动机床、组合机床和专用机床组成自动或半自动生产线。但是,采用这种自动、高效的设备,需要很大的初期投资以及较长的生产准备周期,只有在大批量的生产条件(如汽车、拖拉机、家用电器等工业主要零件的生产)下,才会有显著的经济效益。

在机械制造工业中,单件、小批量生产的零件约占机械加工总量的 70% ~ 80%。科学技术的进步和机械产品市场竞争的日趋激烈,致使机械产品不断改型、更新换代,批量相对减少,质量要求越来越高。采用专用的自动机床加工这类零件就显得很不合理,而且调整或改装专用的“刚性”自动生产线投资大、周期长,有时从技术上甚至是不可能实现的。采用各类仿型机床,虽然可以部分地解决小批量复杂零件的加工,但在更换零件时需制造靠模和调整机床,生产准备周期长,而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适于产品频繁变化的“柔性”自动化机床。随着计算机科学技术的发展,1952年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作,研制成功了世界上第一台以数字计算机为基础的数字控制(numerical control,简称 NC)3坐标直线插补铣床,从而使机械制造业进入了一个新阶段。

### 1.1.2 机床计算机数控的概念

#### 1. 计算机数控的概念

##### (1) 数字控制(数控)的概念

GB 8129—1997 中对 NC 的定义为: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)



若机床的操作命令以数值数据的形式描述,工作过程按照规定的程序自动地进行,则这种机床称为数控机床。

### (3) 数控系统

在数控机床行业中,数控系统是指计算机数字控制装置、可编程序控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称。有时则仅指其中的计算机数字控制装置。为区别起见有时将其中的计算机数字控制装置称为数控装置。

## 2. 计算机数控的发展

从第一台数控机床问世至今的 50 多年中,随着微电子技术的不断发展,数控装置也在不断地更新换代,先后经历了电子管(1952 年)、晶体管(1959 年)、小规模集成电路(1965 年)、大规模集成电路及小型计算机(1970 年)和微处理机或微型计算机(1974 年)等 5 代数控系统。

前三代数控装置属于采用专用控制计算机的硬接线(硬件)数控装置,一般称为 NC 装置。20 世纪 70 年代初,随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,出现了采用小型计算机代替专用硬件控制计算机的第四代数控系统。这种数控系统不仅在经济上更为合算,而且许多功能可用编制的专用程序实现,并可将专用程序存储在小型计算机的存储器中,构成控制软件。这种数控系统称为计算机数控(computerized numerical control,即 CNC)系统。自 1974 年开始,以微处理机为核心的数控(microcomputerized numerical control,即 MNC)装置得到迅速发展。CNC 和 MNC 称为软接线(软件)数控系统。由于 NC 硬件系统早已被淘汰,而目前软件数控系统均采用 MNC,因此,许多书中将现代数控系统通称为 CNC。

我国从 1958 年开始研制数控机床,20 世纪 60 年代中期进入实用阶段。自 20 世纪 80 年代开始,引进日本、美国、德国等国外著名数控系统和伺服系统制造商的技术,使我国数控系统在性能、可靠性等方面得到了迅速发展。经过“七五”、“八五”及“九五”科技攻关,我国已掌握了现代数控技术的核心内容。目前我国已有数控系统(含主轴与进给驱动单元)生产企业五十多家,数控机床生产企业数百家。

### 1.1.3 数控机床的基本结构及工作原理

数控机床加工零件的工作过程(图 1.1.1)通过以下几个步骤实现:

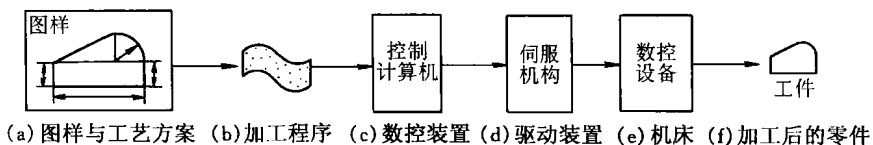


图 1.1.1 数控机床加工零件的工作过程

- 1) 根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和格式编写程序。
- 2) 所编程序指令输入机床数控装置中。
- 3) 数控装置对程序(代码)进行翻译、运算之后,向机床各个坐标的伺服驱动机构和辅助控制装置发出信号,驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作。
- 4) 在机床上加工出合格的零件。

数控机床各组成部分的基本关系如图 1.1.2 所示,各控制环节的基本关系如图 1.1.3 所示,下面对其各组成部分加以介绍。

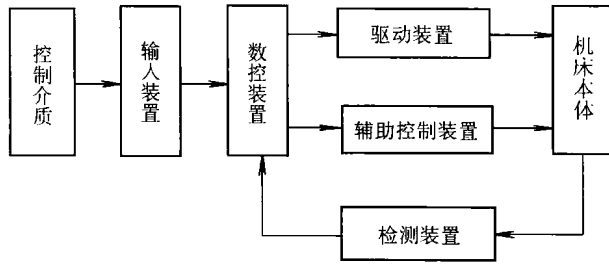


图 1.1.2 数控机床各部分的基本关系

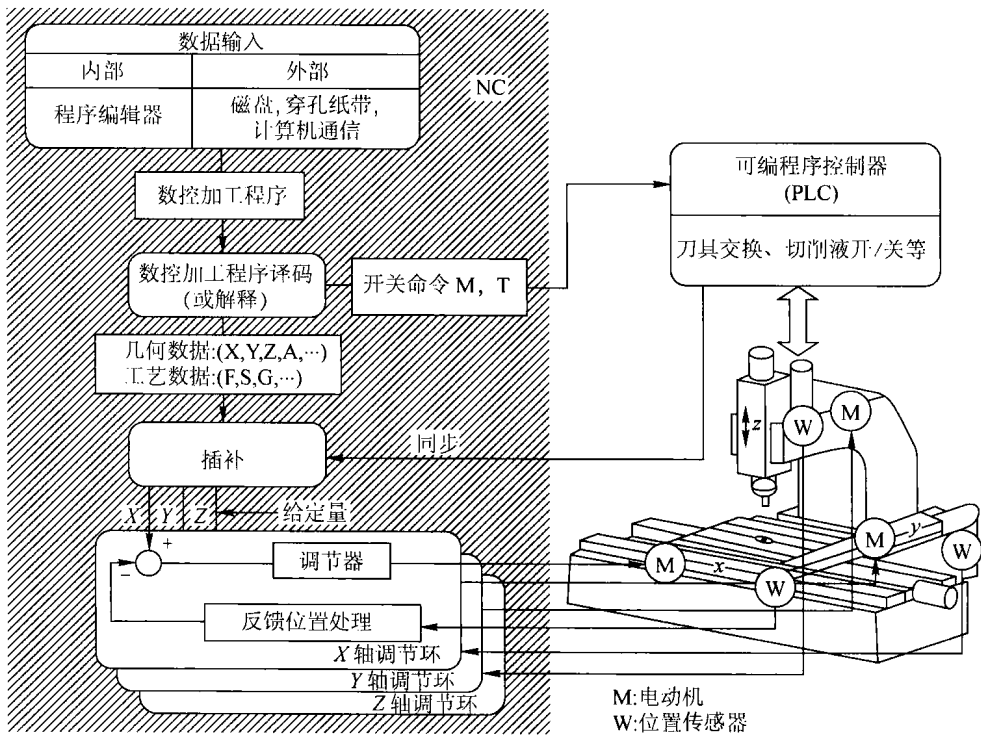


图 1.1.3 各控制环节的基本关系

### 1. 控制介质

数控机床工作时,不像传统的机床那样由工人去操作机床,而是通过编制加工程序对数控机床进行控制。加工程序上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息等。加工程序可存储在控制介质(也称信息载体)上,常用的控制介质有穿孔带、磁带和磁盘等。信息是以代码的形式按规定的格式存储的。代码分别表示十进制的数字、字母或符号。目前国际上通常使用 EIA(electronic industries association)代码和 ISO(international organization for standardization)代码。我国规定以 ISO 代码作为标准代码。

数控机床加工程序的编制简称数控编程。数控编程就是根据被加工零件图样要求的形状、尺寸、精度、材料及其他技术要求等,确定零件加工的工艺过程、工艺参数(包括加工顺

序、切削用量和位移数据等),然后根据编程手册规定的代码和程序格式编写零件加工程序单。对于较简单的零件,通常采用手工编程;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进行自动编程(APT)或CAD/CAM设计。

## 2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控加工程序也可通过键盘,用手工方式直接输入数控系统。数控加工程序还可通过编程计算机用RS232C或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工,另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从存储器中逐段调出进行加工。

## 3. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢。数控装置从内部存储器中取出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,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓通常由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据,不能满足要求。因此要进行轨迹插补,也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,控制各坐标轴(即进给运动各执行部件)的进给速度、进给方向和进给位移量等。

## 4. 驱动装置和检测装置

驱动装置接收来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电机作为执行机构。

检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按指令设定值运动。

## 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,经过编译、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、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

由于可编程序控制器(PLC)具有响应快,性能可靠,易于使用、编程和修改程序并可直接驱动机床电器等特点,现已广泛用做数控机床的辅助控制装置。

## 6. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观

造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。

## 1.2 数控机床的分类

### 1.2.1 按加工工艺分类

#### 1. 金属切削类数控机床

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、铣床、钻床、磨床、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差异,具体的控制方式也各不相同,但它们都具有很好的精度一致性、较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为数控加工中心机床。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。例如铣、镗、钻加工中心,它是在数控铣床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,可以对其大部分加工面进行铣、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,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床、数控激光加工及水切割机床等。

#### 3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。近年来,非加工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。

### 1.2.2 按控制运动方式分类

#### 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,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各坐标依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、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。图 1.2.1 所示为点位控制数控钻床的加工示意图。

#### 2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床的特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位,而且要控制工作台以一定的速度沿平行坐标轴方向进行直线切削加工(有些机床还可进行斜率为 $45^\circ$ 的直线加工)。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗铣床等。图 1.2.2 所示为点位直线控制数控镗铣床的加工示意图。

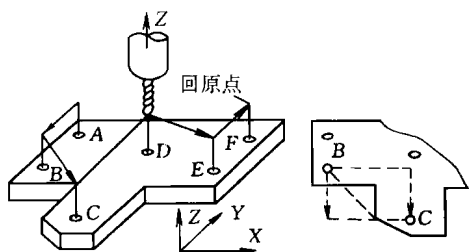


图 1.2.1 点位控制数控钻床加工示意图

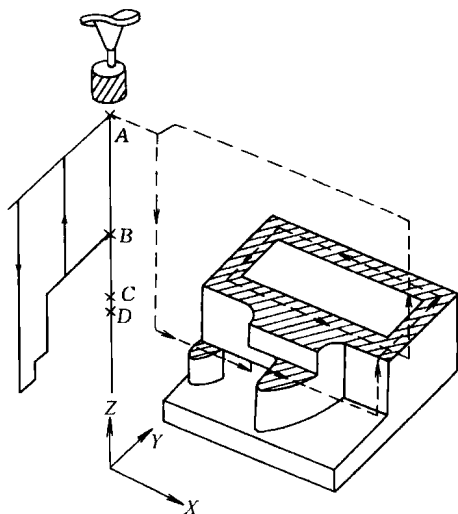


图 1.2.2 点位直线控制数控镗铣床加工示意图

### 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床不仅可完成点位及点位直线控制数控机床的加工功能,而且能够对两个或两个以上坐标轴进行插补,因而具有各种轮廓切削加工功能。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成一定的轮廓形状。图 1.2.3 所示为 2 坐标轮廓控制数控铣床的工作原理图。

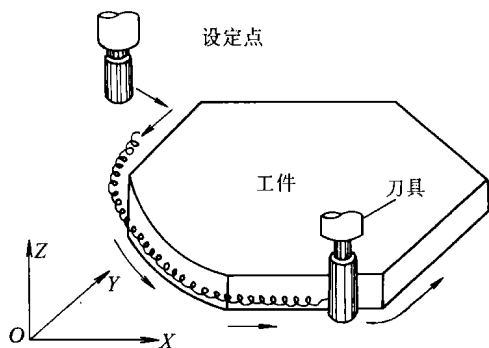


图 1.2.3 2 坐标轮廓控制数控铣床工作原理图

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也都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实现,增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此,除少数专用控制系统外,现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能,故实际上已很少有上述的点位直线控制数控机床。近年来,两轴或多轴严格同步或严格按一定比例运动的应用愈来愈多,因此,也有人提出同步控制应作为一种控制类型。

### 1.2.3 按驱动装置的特点分类

#### 1. 开环控制数控机床

图 1.2.4 所示为开环控制数控机床的工作原理图。开环控制数控机床的特点是其控制系统不带反馈装置,通常使用功率步进电机为伺服执行机构。数控装置输出的控制脉冲通过步进驱动电路,不断改变步进电机的供电状态,使步进电机转过相应的步距角,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和脉冲数所决定的。

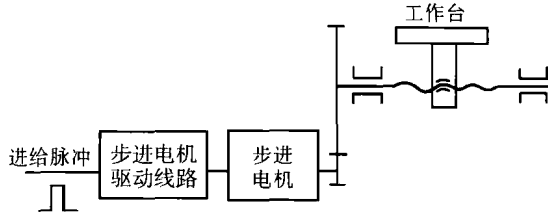


图 1.2.4 开环控制数控机床的工作原理图

开环控制系统结构简单,成本较低。但开环控制系统对移动部件的实际位移量并不能进行检测,也不能进行误差校正。因此,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的精度。因此,开环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. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是在伺服电机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置(如光电编码器等),通过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。半闭环数控系统的调试比较方便,并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电机设计成一体,使结构更加紧凑。图 1.2.5 所示为半闭环控制数控机床的工作原理图。通过速度传感器 A 和角度传感器 B 进行测量,将其与指令值相比较,构成速度与位置环控制。

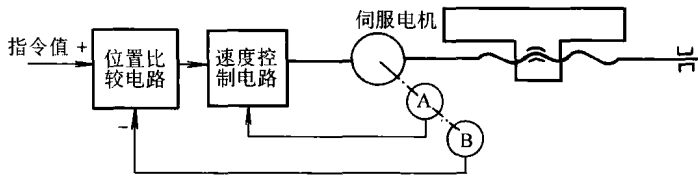


图 1.2.5 半闭环控制数控机床的工作原理图

#### 3. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,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,而与传动链的误差无关,因此其控制精度超过半闭环系统。图 1.2.6 所示为闭环控制数控机床的工作原理图。通过速度传感器 A 和直线位移传感器 C 进行测量,将其与指令值相比较,构成速度与位置环控制。但实际

上闭环控制系统的工作特点对机床的结构以及传动链仍提出了比较严格的要求,传动系统的刚性不足及间隙的存在、导轨摩擦引起的爬行等因素增加了调试的困难,甚至使数控机床的伺服系统在工作时产生振荡。

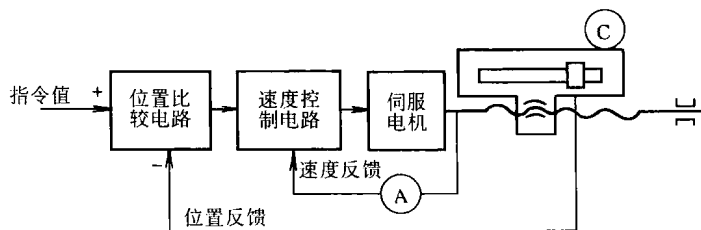


图 1.2.6 闭环控制数控机床的工作原理图

#### 4. 混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来,就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床,因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度,其传动链惯量与力矩大,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于控制闭环中,闭环调试比较复杂。混合控制系统又分为两种形式:

##### (1) 开环补偿型

图 1.2.7 所示为开环补偿型控制方式。其特点是基本控制选用步进电机的开环伺服机构,另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

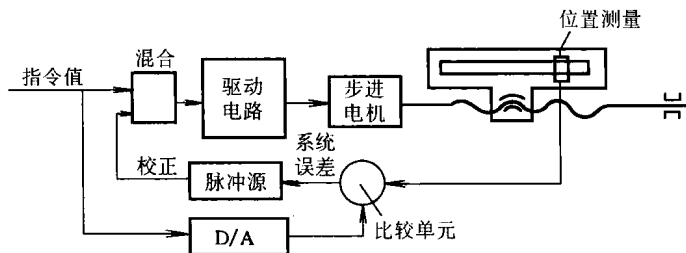


图 1.2.7 开环补偿型控制方式

##### (2) 半闭环补偿型

图 1.2.8 为半闭环补偿型控制方式。其特点是用半闭环控制方式取得高速度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,以获得高速度与高精度的统一。

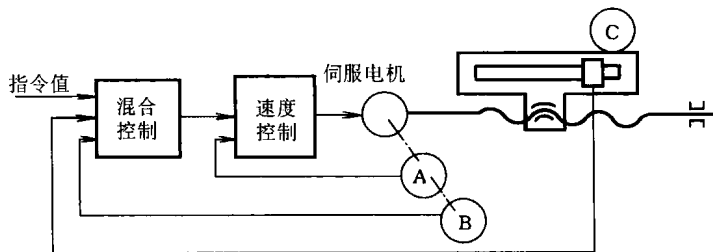


图 1.2.8 半闭环补偿型控制方式

A—速度测量元件(如测速发电机); B—角度测量元件; C—直线位移测量元件

## 1.3 数控机床的特点及应用范围

### 1.3.1 数控机床的加工特点

#### 1. 加工精度高

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,目前数控机床的脉冲当量普遍达到了 $0.001\text{ mm}$ ,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。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{ mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{ mm}$ 。定位精度在20世纪90年代初中期就已达到 $\pm 0.002\sim\pm 0.005\text{ mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,制造精度高。数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素,同一批零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

#### 2. 对加工对象的适应性强

在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制(更换)程序,输入新的程序后就能实现对新零件的加工。这就为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。对普通手工操作的机床很难加工或根本无法加工的精密复杂零件,数控机床也能实现精密自动加工。

#### 3. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了通过计算机或机床面板输入程序、装卸工件、进行关键工序的中间检测以及观察机床运行之外,不需要进行繁杂的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均大为降低。另外数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑等装置,操作者的劳动条件也大为改善。

#### 4. 生产效率高

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。数控机床的切削速度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佳的切削用量。由于数控机床的结构刚性好,因此允许进行大切用量的强力切削,这就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,刀具可自动更换,辅助时间比一般机床大为减少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定,一般只做首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。在加工中心上加工工件时,一台机床可实现多道工序的连续加工,生产效率的提高更为明显。

#### 5. 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画线工时,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工夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,降低了废品率,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。



## 6. 有利于现代化管理

采用数控机床加工,能准确地计算零件加工工时和费用,有效地简化检验工夹具、半成品的管理工作,这些都有利于使生产管理现代化。

数控机床使用数字信息与标准代码输入,适于数字计算机联网,成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

### 1.3.2 数控机床的使用特点与应用范围

#### 1. 数控机床对操作、维修人员的要求

数控机床采用计算机控制,驱动装置的技术复杂,机床的精度要求很高。因此,数控机床的使用不是简单的设备使用问题,而是一项技术应用工程,这就要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

数控机床的加工根据程序进行,在零件形状不甚复杂的情况下,可由操作人员手工或者利用计算机编制程序。程序编制要求既有一定的技术理论又有一定的技巧,而程序的设计直接影响数控机床的加工精度。因此,数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应对数控机床的结构、性能、原理非常了解,且须在程序编制方面进行专门的培训,经考核合格才能上机操作。事实上,数控机床使用过程中的许多问题都是由于编程错误和操作使用不当引起的。

当零件的形状比较复杂时,手工编程就很困难,而且往往容易出错。因此必须采用计算机自动编程,一般需配备专门的程序设计人员。

正确的维护和有效的修理也是使用数控机床中的一个重要问题。数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术,不但要了解数控机床的机械结构,懂得数控机床的电气原理,还应有比较宽的机、电、气、液专业知识,这样才能综合分析,判断故障根源,正确维修,从而尽可能地缩短停机时间。因此,数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门的培训。

#### 2. 数控机床对夹具和刀具的要求

单件生产时一般采用通用夹具。当批量生产时,为了节省加工工时,应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠,可自动夹紧或松开工件。夹具还应具有良好的排屑、冷却功能。

数控机床的刀具应该具有以下特点:① 具有较高的精度、耐用度,几何尺寸稳定、变化小;② 能实现机外预调和快速换刀,加工高精度孔时要经试切确定其尺寸;③ 应具有柄部标准系列;④ 能很好地控制切屑的折断、卷曲和排出;⑤ 具有良好的可冷却性能。

#### 3. 数控机床的应用范围

数控机床具有一般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、组合机床和专用机床,而且不是任何情况下都能以最经济的方式解决机械加工中的问题。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件:① 多品种小批量生产的零件;② 形状结构比较复杂的零件;③ 精度要求高的零件;④ 需要频繁改型的零件;⑤ 价格昂贵,不允许报废的关键零件;⑥ 需要生产周期短的急需零件;⑦ 批量较大,精度要求高的零件。

但在使用数控机床时,如下问题也需考虑:① 数控机床初始投资费用大;② 对操作、维