

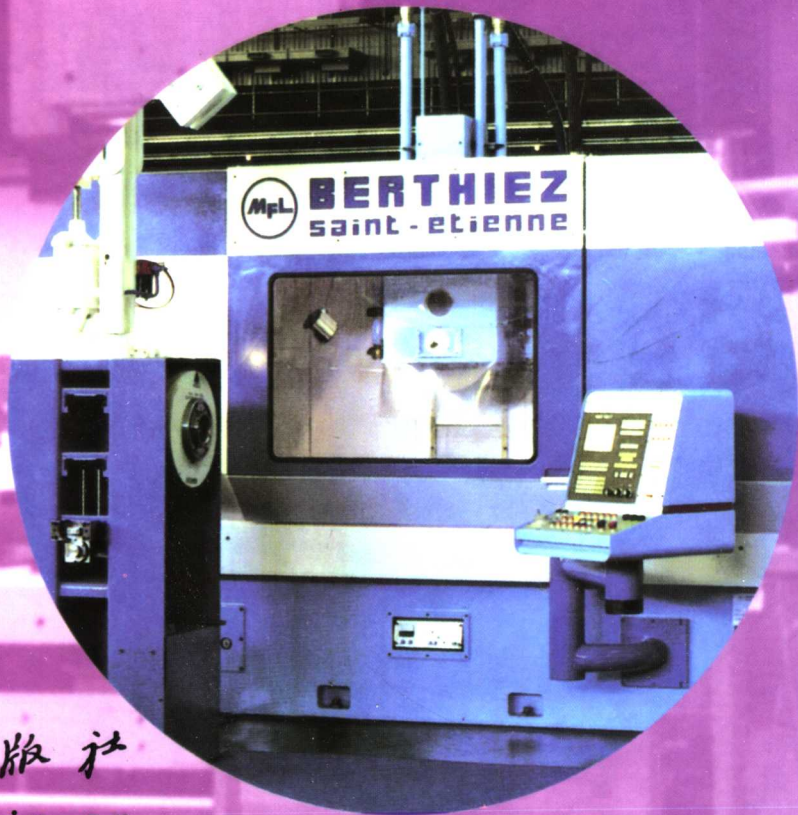
现代数控技术系列

# 现代数控编程 技术及应用 (第2版)



王爱玲 沈兴全 吴淑琴 彭彬彬 编著

主编 王爱玲 副主编 沈兴全



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

现代数控技术系列

# 现代数控编程技术及应用

(第2版)

王爱玲 沈兴全 吴淑琴 彭彬彬 编著

主 编 王爱玲

副主编 沈兴全

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书为《现代数控技术系列》丛书之一,在2002年出版的《现代数控编程技术及应用》基础上修改而成。全书共分十章,主要介绍数控编程基础、程序编制中的工艺分析处理、程序编制中的数值计算、数控车床手工编程、数控铣床的编程、加工中心的编程、其他数控机床的编程、自动编程、刀位验证与轨迹编辑、编程系统的后置处理等部分;新增内容有零件毛坯的工艺性分析、确定零件的安装方法和选择夹具、计算机辅助工艺设计、数控线切割编程及UG NX介绍等。

本书可作为数控技术应用专业、数控机床加工专业、机械制造(冷加工)专业、机电一体化专业研究生和大、中专学生教学用书,可作为数控技术人员的培训教材,也可供从事数控机床工作的科学技术人员作为参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代数控编程技术及应用/王爱玲主编. —2版.  
北京:国防工业出版社,2005.1

(现代数控技术系列)

ISBN 7-118-03716-8

I. 现... II. 王... III. 数控机床—程序设计  
IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第134380号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$  470千字

2005年1月第2版 2005年1月北京第4次印刷

印数:11001—16000册 定价:32.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《现代数控技术系列》  
编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 白恩远 杨 波

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 彪	王俊元	王爱玲	白恩远
任建平	孙爱国	吴 雁	吴淑琴
沈兴全	张吉堂	赵学良	赵建强
赵美虹	彭彬彬	蓝海根	

## 第 2 版 序

《现代数控技术系列》自 2002 年 1 月出版发行以来,填补了国内数控技术书籍成系列的空白,为广大读者进行系统学习数控技术理论及指导实践工作提供了较好的参考工具。2 年来虽三次印刷,发行量一万一千册以上,但由于在信息化改造传统产业的大形势下,制造业的科技工作者和工程技术人员对数控加工理论、编程技术、数控机床的故障诊断等需求越来越大,而一般工科高等院校均设置了数控专业,作为系列成套的数控教材,远远满足不了各层次读者的需求。国内各大城市的大书市,只要该系列书一上架,很快就脱销。加之,数控技术的发展突飞猛进,尤其进入计算机数控(CNC)以来,从控制的功能、精度、环卫等方面,都有较大的突破。数控机床的普及越来越高,数控系统的功能越来越强,机电产品的设计、制造自动化程度越来越高,随之带来的数控产品的编程、维修与故障诊断和操作等问题也越来越突出。应广大读者的要求,我们对本《现代数控技术系列》作了再版修订。

根据读者的反应及收集到的大量的宝贵意见,我们又更新了大量的内容。对本系列书籍(教材)进行了增、删和修改,主要体现在以下几个方面:

1. 随着数控技术的飞速发展,再版系列书籍增加了大量最新内容,部分分册几乎是重新编著(如《现代数控机床实用操作技术》)。

2. 本系列书籍适合从事数控相关技术的各层次读者需求。尤其适合工科院校作为“机械设计制造及其自动化”专业“数控技术”方向本科生教材,同时作为硕士研究生做课题及博士生进行数控理论深入研究的参考资料。

3. 本系列书籍被一些高校作为硕士研究生及博士研究生入学考试指定课程的参考书。

4. 本系列书籍对于我国实现制造业信息化,面向企业从事信息化特别是从事数控技术的工程技术人员的继续工程教育无疑是最系统的技术指导资料。

王爱玲

2004 年 11 月

# 序 言

现代数控技术集机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础,它的发展和运用,开创了制造业的新时代,使世界制造业的格局发生了巨大变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化,它的关联效益和辐射能力更是难以估计;数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等,都是建立在数控技术之上。数控技术是国际商业贸易的重要构成,发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品,世界贸易额逐年增加。

因此,数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。专家们曾预言:机械制造的竞争,其实质是数控的竞争。

有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本由于数控技术高度发展使其制造业迅速崛起,美国要挽回其失去的地位,欧洲要适应市场竞争的需求,从而以数控技术为主要标志的现代制造技术成了美国、日本和欧洲等工业国家竞争的焦点之一。日本、美国、意大利、西班牙、印度等国,都采用了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。中国政府正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业的运行机制等正带来深刻的变化,对国民经济的发展起着重要的促进作用。

现代机械加工业逐步向柔性化、集成化、智能化方向发展,需要将不断飞速发展的通用计算机技术及其体系结构、现代自动控制理论及现代的电力电子技术应用于新一代数控机床并突出其“开放式”及“智能化”的特征。

我国从发展数控技术的战略高度结合国民经济发展的特点对数控技术进行创新性研究,重点开发“开放式”、“智能化”的数控车床、数控加工中心及数控电加工机床系列产品。

本系列书籍作者选准了这个题材,1995 年就在本单位机械设计制造及其自动化专业开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者所在单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自 1995 年以来,开办了 40 多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为 70 多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。

在新产品研究开发方面,作者应用现代数控技术为企业开发出复杂曲面 CAD/CAM

一体化多种产品。

本系列书籍是在作者多年从事现代数控技术方面的教学、科研、基础理论研究和工作的基础上总结深化撰写成的。本系列书籍系统地分专题详细论述了现代数控技术的有关理论,内容充实,重点突出,同时尽可能地反映数控技术领域内的新成就和新的应用经验;在注重理论系统性的同时,强调如何应用理论分析实际问题,如数控编程实例及故障诊断实例等。在编写结构上,内容深入浅出,图文并茂,条理清楚,便于学用。

相信这套系列书籍能够有益于我国数控技术领域人才的培养,有益于我国数控技术的发展,有益于我国立足世界数控技术之林。

程静

2001年9月13日于太原

## 再版前言

《现代数控编程技术及应用》自 2002 年出版以来,得到了许多读者的垂青,并被不少学校选作教材,这是对我们的最大鼓励,但也提出了更高的要求。

根据机械工程专业人才培养新教学大纲指出的教学内容,并结合数控技术不断发展的趋势,尤其是在与 CAM、CAD、CAPP 等相关技术紧密联系,我们对第一版部分章节均作了修改。在新版书中拓宽了程序编制中的工艺分析处理、其他数控机床加工编程、UG 软件等方面内容;精简了程序编制中的数值计算、自动编程中叙述过于冗长和理论性叙述较多的部分;删去了特殊情况下的直线轮廓图形处理方法、平面形状偏置问题的各种理论分析、参数线加工、截面线加工等章节。

《现代数控编程技术及应用》第 2 版除基本上保持第 1 版总体框架、总体结构,保持和发扬第 1 版的优点、长处外,对书中的陈旧内容和资料进行了更新,并增加了一些新知识、新技术,力求能较完整地介绍与不断进步中的各项技术相适应的数控编程技术。

修订后,本书目录及章节标题附加星号(\*)的部分,为选学内容。根据实际需要,可由学生自学,教师可不在课堂上讲授或者略去。

本书仍由中北大学王爱玲教授任主编,沈兴全同志任副主编,参加修订人员按所编写各章的顺序有:王爱玲(程序编制中的工艺分析处理),沈兴全(数控编程基础、数控车床手工编程等章),彭彬彬(数控铣床的编程、加工中心的编程),吴淑琴(自动编程、刀位验证与轨迹编辑、编程系统的后置处理),孙旭东(程序编制中的数值计算、其他数控机床的编程)。

本书在修订中,得到各高校教师的帮助,他们提出了宝贵的意见,使得修订工作在内容上有所充实和提高。

由于编者水平有限,修订时间也较为仓促,书中难免出现疏漏和错误,恳请读者给予批评指正,不胜感激。

编者

2004 年 11 月



# 目 录

第 1 章 数控编程基础	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的工作原理	1
1.1.2 数控机床的分类及特点	2
1.2 插补原理与计算机数控系统	5
1.2.1 插补原理	5
1.2.2 计算机数控系统	7
1.3 程序编制的基本概念	7
1.3.1 程序编制的内容与方法	8
1.3.2 零件加工程序的输入方式	11
1.3.3 穿孔纸带信息代码	11
1.3.4 程序结构与格式	15
1.4 数控编程几何基础	18
1.4.1 数控机床坐标系和运动方向	18
1.4.2 绝对坐标和增量(相对)坐标系	22
1.4.3 工件坐标系	22
1.4.4 数控编程的特征点	23
1.5 程序编制中的基本指令	26
1.5.1 准备功能指令——G 指令	29
1.5.2 辅助功能指令——M 指令	35
1.6 自动编程系统简介	35
第 2 章 程序编制中的工艺分析处理	38
2.1 数控加工工艺分析的特点及内容	38
2.1.1 数控加工的工艺设计特点	38
2.1.2 数控加工工艺的主要内容	38
2.2 零件的加工工艺性分析	39
2.2.1 选择并决定进行数控加工的内容	39
2.2.2 零件图样上尺寸数据的标注原则	39
2.2.3 零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点	40
2.2.4 零件毛坯的工艺性分析	41
2.3 加工方法选择及加工方案确定	42
2.3.1 机床的选用	42

2.3.2	加工方法的选择	42
2.3.3	加工方案设计的原则	43
2.4	工艺路线设计	43
2.4.1	工序的划分	43
2.4.2	工步的划分	45
2.4.3	顺序的安排	45
2.4.4	数控加工工序与普通加工工序的衔接	45
2.5	加工路线的确定	45
2.5.1	点位控制机床加工路线	46
2.5.2	孔系加工的路线	46
2.5.3	车螺纹的加工路线	47
2.5.4	铣削平面的加工路线	47
2.5.5	铣削曲面的加工路线	48
2.6	确定零件的安装方法和选择夹具	51
2.7	刀具选择	52
2.8	切削用量的确定	52
2.9	在线测量	53
2.10	数控加工工艺文件	53
2.10.1	工序卡	54
2.10.2	数控加工刀具明细表	54
2.10.3	机床调整单	55
2.10.4	数控加工程序单	55
2.11	计算机辅助工艺设计	56
<b>第3章</b>	<b>程序编制中的数值计算</b>	<b>61</b>
3.1	数值计算的内容	61
3.1.1	基点与节点的计算	61
3.1.2	刀位点轨迹的计算	62
3.1.3	辅助计算	62
3.2	直线圆弧系统零件轮廓的基点计算	63
3.2.1	联立方程组法求解基点坐标	63
3.2.2	三角函数法求解基点坐标	64
3.3	直线圆弧系统刀位点轨迹计算	67
3.3.1	刀位点的选择及对刀	67
3.3.2	刀具中心编程的数值计算	67
3.3.3	尖角过渡的数值计算	68
3.3.4	刀具轨迹设计中的几个优化问题	70
3.4	一般非圆曲线节点坐标计算	72
3.4.1	概述	72
3.4.2	用直线段逼近非圆曲线	72

3.4.3	用圆弧段逼近非圆曲线时的计算方法	77
3.4.4	双圆弧法求节点坐标	80
3.4.5	NURBS 曲线插补技术	83
3.5	数控加工中的常用数学模式*	85
3.5.1	圆弧样条	85
3.5.2	三次参数样条	92
3.5.3	Bezier 曲线	95
3.5.4	抛物线拟合	104
3.5.5	双三次参数曲面(孔斯曲面)	105
3.5.6	Bezier 曲面	107
3.5.7	B 样条曲面	108
3.5.8	单线性曲面(直纹面)	108
3.6	列表曲线的节点坐标计算*	109
3.6.1	列表曲线	109
3.6.2	插值	110
3.6.3	拟合	116
3.6.4	光顺	116
3.7	刀位点轨迹的处理与计算*	120
3.7.1	曲面的数学处理	120
3.7.2	多坐标点位加工刀具轨迹设计	125
3.7.3	三坐标球刀多面体曲面加工	126
3.7.4	曲面交线的加工	127
3.7.5	曲面间过渡区域的加工	129
3.7.6	叶轮通道加工	131
3.7.7	多坐标加工刀位计算	134
<b>第 4 章</b>	<b>数控车床手工编程</b>	<b>138</b>
4.1	数控车床编程基础	138
4.1.1	数控车床的分类与特点	138
4.1.2	数控车床的编程特点	139
4.1.3	数控系统的功能	140
4.1.4	数控车床刀具补偿	142
4.1.5	数控车床不具备刀具半径补偿功能时的刀具补偿计算	144
4.1.6	数控车床坐标系	146
4.2	数控车床常用指令及编程方法	149
4.2.1	数控车床的常用指令	149
4.2.2	数控车床基本编程方法	149
4.3	数控车床典型零件编程举例	171
4.3.1	轴类零件加工编程	171
4.3.2	盘类零件加工编程	173

<b>第5章 数控铣床的编程</b> .....	179
5.1 数控铣床概述 .....	179
5.1.1 数控铣床的用途与组成 .....	179
5.1.2 机床的传动系统 .....	179
5.2 数控铣床编程基础 .....	179
5.2.1 数控系统的功能 .....	179
5.2.2 坐标系 .....	183
5.3 基本编程方法 .....	184
5.4 数控铣床编程要点及举例 .....	210
<b>第6章 加工中心的编程</b> .....	215
6.1 加工中心 .....	215
6.1.1 概述 .....	215
6.1.2 自动换刀装置 .....	215
6.2 加工中心编程基础 .....	218
6.2.1 数控系统的功能 .....	218
6.2.2 工作坐标系和参考点 .....	219
6.3 基本编程方法 .....	219
6.4 加工中心编程要点及举例 .....	228
6.4.1 编程要点 .....	228
6.4.2 编程举例 .....	229
<b>第7章 其它数控机床的编程</b> .....	233
7.1 数控电火花成形加工技术 .....	233
7.1.1 电火花成形加工原理与特点 .....	233
7.1.2 电火花成形加工的应用 .....	235
7.1.3 数控电火花成形加工工艺过程 .....	236
7.2 数控线切割编程 .....	238
7.3 数控外圆磨削技术 .....	244
7.3.1 数控外圆磨削的特点 .....	244
7.3.2 数控外圆磨削方式 .....	245
7.3.3 变量在程序中的应用 .....	247
7.3.4 典型零件的加工实例 .....	248
7.3.5 应用中要注意的问题 .....	256
7.4 数控激光加工技术* .....	257
7.4.1 激光产生的原理及特点 .....	257
7.4.2 激光加工工艺及特点 .....	259
7.4.3 对图形的数学处理 .....	260
7.4.4 程序的编制 .....	263
7.4.5 用户宏程序在激光加工中的应用 .....	266
<b>第8章 自动编程</b> .....	268

8.1	自动编程概述 .....	268
8.1.1	自动编程的基本原理 .....	268
8.1.2	自动编程系统的基本类型与特点 .....	269
8.1.3	APT 语言简介 .....	271
8.1.4	国外主要的 CAM 软件介绍 .....	273
8.2	Master CAM 简介 .....	277
8.2.1	Master CAM 软件系统简介 .....	277
8.2.2	Master CAM 系统的 CAD 功能 .....	278
8.2.3	Master CAM 系统的 CAM 功能 .....	281
<b>第 9 章</b>	<b>刀位验证与轨迹编辑</b> .....	<b>292</b>
9.1	刀位数据验证 .....	292
9.2	程序文件检查 .....	292
9.3	显示验证 .....	293
9.3.1	刀位轨迹显示验证 .....	293
9.3.2	加工表面与刀位轨迹的组合显示验证 .....	294
9.3.3	组合模拟显示验证 .....	296
9.4	截面验证法 .....	297
9.4.1	横截面验证 .....	297
9.4.2	纵截面验证 .....	297
9.4.3	曲截面验证 .....	298
9.5	距离验证 .....	299
9.6	加工过程动态仿真验证* .....	299
9.7	刀具轨迹编辑功能 .....	300
<b>第 10 章</b>	<b>编程系统的后置处理</b> .....	<b>302</b>
10.1	后置处理过程及特点 .....	302
10.1.1	刀具路径文件格式的多样性 .....	303
10.1.2	NC 程序格式的多样性 .....	303
10.1.3	技术需要的多样性 .....	304
10.2	后置处理算法 .....	305
10.2.1	带回转工作台的 4 坐标数控机床后置处理算法 .....	305
10.2.2	5 坐标数控机床后置处理算法 .....	308
10.2.3	5 坐标数控机床进给速度的计算 .....	314
10.3	通用后置处理系统原理及实现途径 .....	316
10.3.1	通用后置处理系统原理 .....	316
10.3.2	通用后置处理系统的实现途径 .....	316
<b>参考文献</b>	.....	<b>318</b>

# 第 1 章 数控编程基础

## 1.1 数控机床概述

数控机床是数字控制机床(Numerically Controlled Machine Tool)的简称,亦称 NC 机床,是为了满足单件、小批、多品种自动化生产的需要而研制的一种灵活的、通用的能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床,具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高的优点。它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等多方面的技术成果。随着机床数控技术的迅速发展,数控机床在机械制造业中的地位越来越重要。

第一台数控机床是适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。这是一台直线插补三坐标立式铣床,其数控系统全部采用电子管,也称第一代数控系统。经过三年的改进和自动程序编制的研究,于 1955 年进入实用阶段,一直到 20 世纪 50 年代末,由于晶体管的应用,数控系统提高了可靠性且价格开始下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多数是钻床、冲床等点位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且逐步推广到焊接机、火焰切割机等,使数控技术不断地扩展应用范围。

我国的数控机床是从 1958 年开始研制的,经历了 40 多年的发展历程,目前数控技术已在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心与相继研制成功。

### 1.1.1 数控机床的工作原理

数控机床主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成,其组成框图如图 1-1 所示。

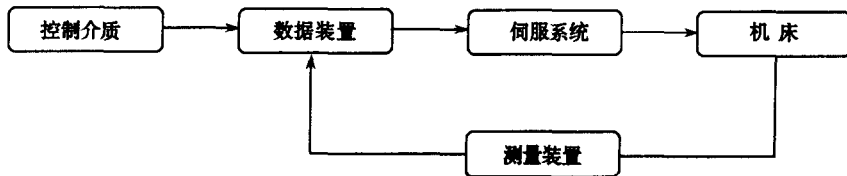


图 1-1 数控机床的组成

#### 1. 控制介质

它是用于记载各种加工信息(如零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等),以控制机床的运动,实现零件的机械加工。常用的控制介质有标准的纸带、磁带和磁盘等。

控制介质上记载的加工信息要经输入装置输送给数控装置。常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。对于用微机控制的数控机床,也可用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接用键盘输入,并在 CRT 显示器上显示。

## 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它的功能是接受输入装置输入的加工信息,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,发出相应的脉冲送给伺服系统,通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。

## 3. 伺服系统及位置检测装置

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。由机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统,它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移量。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服系统。伺服系统有开环、闭环和半闭环之分,在闭环和半闭环伺服系统中,还需配有位置测量装置,直接或间接测量执行部件的实际位移量。

## 4. 机床本体及机械部件

数控机床的本体及机械部件包括:主运动部件,进给运动执行部件如工作台、刀架及其传动部件和床身立柱等支承部件,此外还有冷却、润滑、转位和夹紧装置。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库,更换刀具的机械手等部件。数控机床的本体和机械部件的结构,其设计方法基本同普通机床类似,只是在精度、刚度、抗振性等方面要求更高,尤其是要求相对运动表面的摩擦系数要小,传动部件之间的间隙要小,而且传动和变速系统要便于实现自动化控制。

数控机床加工零件时,首先应编制零件的加工程序,这是数控机床的工作指令。将加工程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、起停、进给的方向、速度和位移量,以及其它如刀具选择更换、工件的夹紧松开、冷却润滑的开关等动作,使刀具与工件及其它辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合要求的零件。数控机床加工工件的过程见图 1-2。

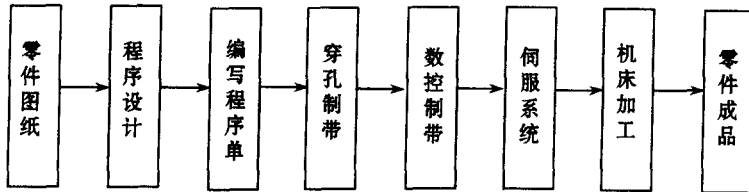


图 1-2 数控机床加工工件过程

### 1. 1. 2 数控机床的分类及特点

数控机床的种类很多,可按不同的方法进行分类:

按工艺用途可分为:数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、数控齿轮加工机床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控冲床、数控剪床、数控液压机等各种工艺用途的数控机床。在数控镗铣床的基础上发展起来的加工中心,带有刀库和自动换刀装置。工件一次装卡后,可以完成铣、镗、钻、扩、铰、攻丝和铣螺纹等多种加工工序。在数控车床的基础上增加了刀库、自动换刀装置、分度装置、铣削动力头和机械手等机械结构而形成车削加工中心,可在一次装卡中完成回转零件的几乎所有加工工序,如车、铣、钻等。

按运动方式即刀具与工件相对运动方式,数控机床可分为点位控制、直线控制和轮廓控制三种。如图 1-3 所示。

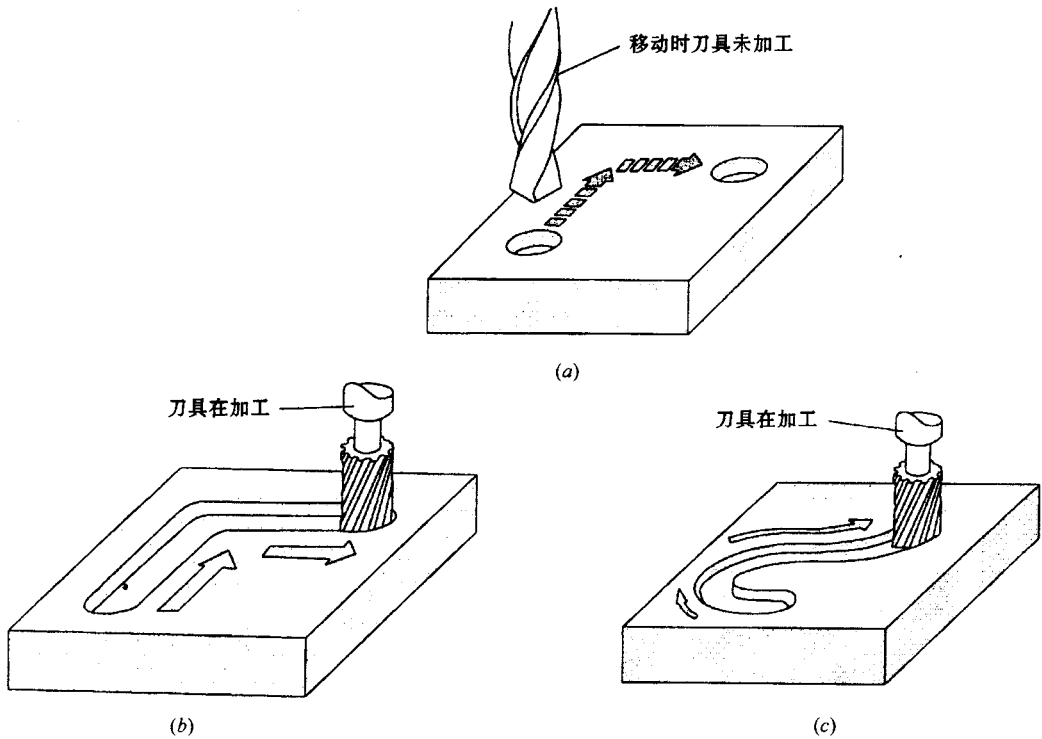


图 1-3 数控机床分类  
(a) 点位控制; (b) 直线控制; (c) 轮廓控制。

按有无位置检测和反馈装置可分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统三种,如图 1-4 所示。

按数控装置的构成方式,数控机床可分为硬线数控系统和软线数控系统两种。硬线数控系统使用硬线数控装置,它的输入处理、插补运算和控制功能,都由专用的固定组合逻辑电路来实现,不同功能的机床,其组合逻辑电路也不同。改变或增减控制、运算功能时,需要改变数控装置的硬件电路。因此它的通用性和灵活性差,制造周期长,成本高,20 世纪 70 年代以前的数控机床基本上属于这种类型。软线数控系统也称计算机数控系统,使用软线数控装置。这种数控装置的硬件电路是由小型或微型计算机加上通用或专用的大规模集成电路制成的,数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现,所以不同功能的数控机床其系统软件也不同,而修改或增减系统功能时,也不需要变动硬件电路,只需要改变系统软件。因此,它具有较高的灵活性,同时由于硬件电路基本上是通用的,这就有利于大量生产,提高质量和可靠性,缩短制造周期和成本。从 70 年代中期以后,随着微电子技术和微型计算机的出现,以及集成电路的集成度不断提高,计算机数控系统才得到不断的发展和提高,目前几乎所有的数控机床都采用了软线数控系统。

按功能水平可以把数控机床分为高、中、低三类。这种分类没有明确的定义和确切的界限,但可以给人们一个清晰的水平概念。数控机床水平的高低由主要技术参数、功能指



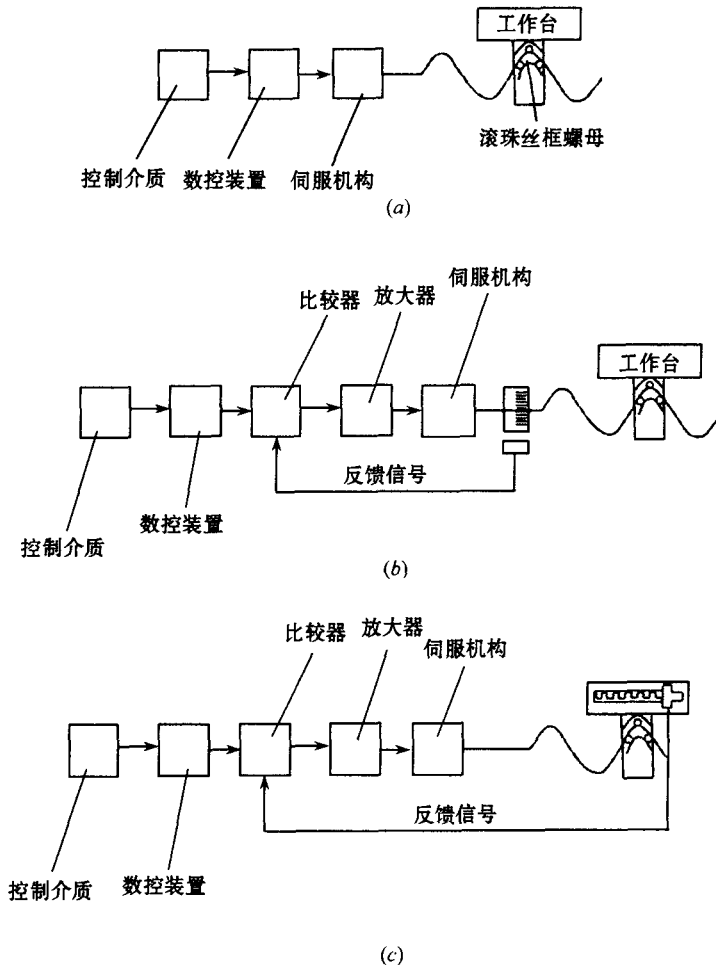


图 1-4 控制系统分类

(a) 开环控制系统方框图；(b) 半闭环控制系统方框图；(c) 闭环控制系统方框图。

标和关键部件的功能水平来决定。通常可用下述指标作为评价数控机床档次的参考条件。

(1) 分辨力和进给速度 分辨力为  $10\mu\text{m}$ ，进给速度为  $8 \sim 15\text{m}/\text{min}$  为低档；分辨力为  $1\mu\text{m}$ ，进给速度为  $15 \sim 24\text{m}/\text{min}$  为中档；分辨力为  $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度为  $15 \sim 100\text{m}/\text{min}$  为高档。

(2) 多坐标联动功能 低档数控机床最多联动轴数为  $2 \sim 3$  轴，中、高档为  $3 \sim 5$  轴以上。

(3) 显示功能 低档数控一般只有简单的数码显示或简单的 CRT 字符显示 (Cathode Ray Tube, 阴极射线管)。中档有较齐全的 CRT 显示, 不仅有字符, 而且还有图形, 人机对话、自诊断等功能。高档数控还有三维动态图形显示。

(4) 通信功能 低档数控无通信功能。中档数控有 RS-32 或 DNC 接口。高档数控有 MAP (制造自动化协议) 等高性能通信接口, 具有联网功能。

(5) 主 CPU 低档数控一般采用 8 位 CPU, 中、高档数控已经由 16 位 CPU 发展到 32 位、64 位 CPU, 并用具有精简指令集的 RISC 中央处理单元。