

普通高等院校“十一五”规划教材

先进制造技术 基础实习

XIANJIN ZHIZAO JISHU JICHU SHIXI

主编 王景贵



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

先进制造技术基础实习

主编 王景贵
参编 王宁强 王春松 史炯煜 达式旻
李明 尚宇 施胜林 赵雁
侯春霞 袁玉兰 葛安 谢丽华
鞠晨鸣

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书对数控技术和数控机床的基本概念、数控原理、数控机床组成、特种加工等方面进行了全面论述。全书共7章,包括数控机床概述、数控车床、数控铣床、加工中心、车削中心、CAD/CAM自动编程、特种加工。其中数控车床、数控铣床的编程和操作是基于目前应用最为广泛的FANUC系统,对车削中心、加工中心、CAD/CAM自动编程仅作出简要介绍。特种加工技术则着重系统论述了电火花线切割加工技术,对超声波加工、激光加工、电解加工等只作了原理性介绍。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类先进制造技术实践教学的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、中等职业技术学校的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术基础实习/王景贵主编. —北京:国防工业出版社,2008.8

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-05806-2

I. 先... II. 王... III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第088397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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 320 千字

2008年8月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价25.00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

前 言

随着科学技术的不断进步,特别是计算机技术、微电子技术、自动控制技术以及机械制造技术等的不断融合,现代制造业发生了巨大的变化。先进制造技术是制造业的核心,是直接创造社会财富的主要手段,普及数控技术是当今制造业的发展方向。

作为为国家经济建设培养高级专业技术人才的高校,近年来国内工科院校普遍都开设了先进制造技术实践课或实习课,在时间安排上大多是10天左右。在这样短的时间内深入系统地学习掌握数控知识是不现实的,而要选择一本适合的教材同样也很困难。目前,市场上有关数控方面的书籍大多过于专业,不能满足初学者的要求,尚未有适合用于数控技术普及性的教材,鉴于此,我们编写了这本教材,希望能提供一本使初学者在短时间内对数控技术有较为系统的了解并具有一定实践操作技能的教材。书中既有数控技术的基础理论,又含有数控车床、数控铣床、电火花线切割机床等机床的操作、加工工艺分析、加工程序编制、机床操作等实践方面的技能。

本书在编写上力求浅显易懂,理论和实践相结合,注重动手能力的培养,非常适合初学者在短时间内掌握数控加工技能,是一本普及数控加工技术的实用教材。

本书由王景贵主编。具体编写分工如下:第1章由王景贵编写;第2章第1节~第8节由侯春霞编写;第9节~第10节由王宁强、葛安、史炯煜编写;第3章第1节~第3节由王景贵编写;第4节~第6节由李明、达式旻、施胜林编写;第4章由王春松、鞠晨鸣编写;第5章由王宁强、葛安、赵雁编写;第6章由王春松编写;第7章由谢丽华、袁玉兰、尚宇编写。安全操作规程由李明编写。本书部分插图由赵雁绘制。该书在编写过程中参考了数控技术方面的诸多论著,本书编者对参考文献中的各位作者深表谢意。同时本书的编写也得到了南京理工大学工程训练中心领导的关心和大力支持与帮助,在此也表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,书中错误在所难免,恳请读者给予批评指正。

编者

2008年5月

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控技术与数控机床的基本概念	1
1.1.1 数字控制	1
1.1.2 数控机床	1
1.1.3 机床数字控制原理	2
1.1.4 轨迹控制基本原理(插补)	2
1.1.5 数控机床技术的发展历程、现状与趋势	3
1.2 数控机床的组成	4
1.2.1 输入/输出装置	4
1.2.2 控制介质	4
1.2.3 数控装置	5
1.2.4 伺服系统	6
1.2.5 可编程控制器	7
1.2.6 机械结构和部件	8
1.3 数控机床的分类	9
1.3.1 按工艺用途分类	9
1.3.2 按功能水平分类	9
1.3.3 按轨迹控制分类	9
1.3.4 按检测反馈分类	10
1.4 数控机床的特点	11
1.4.1 加工精度高	11
1.4.2 加工效率高	11
1.4.3 一致性较好	11
1.4.4 劳动强度低	11
1.4.5 适应性强	12
第 2 章 数控车床	13
2.1 数控车削加工工艺	13
2.1.1 数控车削加工的主要对象	13
2.1.2 数控车削加工工艺的制定	14
2.2 编程基础	22
2.2.1 数控程序的编制方法	22
2.2.2 坐标系	24
2.2.3 绝对坐标与增量坐标	25

2.2.4	直径编程和半径编程	26
2.2.5	程序的构成	27
2.2.6	编程指令概述	28
2.3	FANUC 0i-TC 基本编程指令	31
2.3.1	快速定位指令 G00	31
2.3.2	直线插补指令 G01	32
2.3.3	圆弧插补指令 G02、G03	32
2.4	FANUC 0i-TC 固定循环指令	33
2.4.1	内/外圆柱面固定循环指令 G90	33
2.4.2	内/外锥面固定循环指令 G90	34
2.4.3	带锥面阶梯轴的数控加工实例	35
2.5	螺纹的数控车削	37
2.5.1	车削螺纹的基本工艺知识	37
2.5.2	FANUC 0i-TC 车削螺纹的编程指令	40
2.6	FANUC 0i-TC 复合循环指令	46
2.6.1	单调轮廓粗车复合循环指令 G71	46
2.6.2	仿形循环指令 G73	47
2.6.3	精车循环指令 G70	47
2.6.4	G71、G70 综合应用实例	48
2.6.5	G73、G70 综合应用实例	49
2.6.6	径向切槽循环指令 G75	51
2.7	子程序在数控车削中的应用	51
2.7.1	子程序的编程方法	52
2.7.2	子程序的编程实例	53
2.8	数控车床的刀具补偿和对刀方法	54
2.8.1	刀具形状补偿和磨损补偿	54
2.8.2	刀尖半径补偿	57
2.9	综合编程实例	59
2.9.1	轴套类零件数控车削加工工艺及加工步骤	59
2.9.2	轴类零件数控车削加工工艺及加工步骤	64
2.9.3	配合件数控车削加工工艺及加工步骤	72
2.10	TK40A 数控车床操作说明	82
2.10.1	上电和关机	82
2.10.2	回零	84
2.10.3	MDI 键盘	84
2.10.4	操作面板	85
2.10.5	程序输入	87
2.10.6	程序的模拟运行	88
2.10.7	刀具偏置补偿输入	88
2.10.8	程序的执行	89

第3章 数控铣床	90
3.1 数控铣床加工工艺	90
3.1.1 明确加工内容	90
3.1.2 编制加工工序原则	91
3.1.3 选择加工刀具	91
3.1.4 确定走刀路线	91
3.1.5 确定切削用量	91
3.1.6 零件的定位和装夹	92
3.1.7 选择合理的刀具起点(对刀)	92
3.2 数控铣床编程概述	93
3.2.1 数控铣床编程概念	93
3.2.2 数控铣床编程原则	93
3.2.3 数控铣床编程种类	93
3.2.4 功能字和程序段格式	94
3.2.5 数控机床坐标系和运动方向	95
3.2.6 机床坐标系和参考点	96
3.2.7 工件坐标系	96
3.2.8 编程坐标系和对刀点	97
3.2.9 工件坐标系的建立	97
3.3 FANUC 0i-MC 系统的编程	98
3.3.1 准备功能(G 功能)	99
3.3.2 补偿功能	100
3.3.3 辅助功能	103
3.3.4 程序部分的构成	104
3.3.5 子程序	105
3.3.6 编程实例	106
3.4 简化编程	109
3.4.1 固定循环	109
3.4.2 任意角度倒角/圆弧拐角	118
3.4.3 坐标系旋转(G68、G69)	119
3.4.4 比例缩放(G50、G51)	120
3.4.5 镜像加工	122
3.4.6 坐标系旋转功能与其它功能的关系	123
3.5 零件加工程序的评价和优化	123
3.5.1 零件加工程序的评价	123
3.5.2 零件加工程序的优化	124
3.6 数控铣床操作	125
3.6.1 FANUC 系统 MDI 面板介绍	125
3.6.2 南通机床 VM600 面板介绍	129
3.6.3 南通机床(VM600)机床操作	130

第 4 章 加工中心	131
4.1 加工中心的类型	131
4.2 加工中心的结构特点及工艺特点	132
4.2.1 自动换刀装置	132
4.2.2 加工中心刀库形式	133
4.2.3 自动对刀装置	134
4.2.4 加工中心的工艺特点	134
4.3 高速加工简介	135
第 5 章 车削加工中心	136
5.1 复合加工技术概述	136
5.2 车削加工中心	137
5.2.1 车削中心的结构特点及加工特点	137
5.2.2 车削加工中心的常见类型	139
5.3 FANUC 系统 CH7520C 车削中心的操作	139
5.3.1 CH7520C 车削中心机床简介	139
5.3.2 操作面板介绍及基本操作	140
5.3.3 常用操作步骤	143
5.3.4 快速对刀仪及其使用	144
5.4 编程实例	145
第 6 章 CAD/CAM 自动编程	148
6.1 图形交互式自动编程的特点	148
6.2 图形交互式自动编程的基本步骤	149
6.3 常用 CAD/CAM 软件	150
6.3.1 MasterCAM 简介	150
6.3.2 Pro/E 软件简介	151
6.3.3 UG 简介	154
第 7 章 特种加工	157
7.1 特种加工概述	157
7.1.1 特种加工	157
7.1.2 特种加工的主要特点	157
7.1.3 特种加工的分类和主要适用范围	158
7.1.4 特种加工技术的应用和发展	158
7.2 电火花成型加工	159
7.2.1 概述	159
7.2.2 电火花加工的基本原理	160
7.2.3 电火花加工的特点	161
7.2.4 电火花加工的适用范围	161
7.2.5 电火花加工的分类和使用范围	162
7.2.6 电火花成型加工设备	163
7.2.7 电火花成型加工的主要工艺指标及影响因素	165

7.2.8	数控电火花成型加工的工艺过程	167
7.3	电火花线切割加工	167
7.3.1	电火花线切割的基本原理	168
7.3.2	电火花线切割的特点	168
7.3.3	电火花线切割机床的基本结构	168
7.3.4	电火花线切割加工的主要工艺指标及影响因素	169
7.3.5	电火花线切割加工的基本编程方法	170
7.3.6	CAXA 线切割 XP 自动编程软件的应用	176
7.3.7	电火花线切割 DK7725e—BKDC 机床控制操作	185
7.3.8	WAP-2000 线切割编程系统自动编程软件的应用	187
7.3.9	电火花线切割加工工艺与加工技巧	195
7.4	超声波加工	200
7.4.1	超声波加工的基本原理	200
7.4.2	超声波的特性	202
7.4.3	超声波加工的特点	202
7.4.4	超声波加工的主要工艺指标及影响因素	202
7.4.5	超声波加工的应用	203
7.5	激光加工	205
7.5.1	概述	205
7.5.2	激光加工原理	205
7.5.3	激光的特性	206
7.5.4	激光加工的特点	207
7.5.5	激光加工的应用	207
7.6	电解加工	209
7.6.1	概述	209
7.6.2	电解加工的原理	210
7.6.3	电解加工设备的组成部分	211
7.6.4	电解加工的特点	212
7.6.5	电解加工的主要工艺指标及影响因素	212
7.6.6	电解加工的应用	213
附录 安全操作规程		215
参考文献		216

第 1 章 数控机床概述

本章学习要求

- (1) 了解数控技术与数控基本概念和机床数字控制原理及轨迹控制基本原理。
 - (2) 了解数控机床技术的发展历程、现状与趋势。
 - (3) 了解数控机床的组成和各部分的作用以及数控机床的分类。
 - (4) 了解数控机床的特点。
-

随着经济发展的不断深入，社会对机械产品的要求越来越高。零件的形状变得更为复杂，精度要求也更高，同时要求产品制造成本低、生产效率高并且还要能够方便地实现频繁的改型，这些要求单纯地依靠普通机床无法满足现代生产的需要。为了有效地解决以上问题，必须采用功能更强的机床。科技的不断进步为新型机床的产生提供了技术保障，以数字控制技术为基础，结合了计算机技术、微电子技术、自动控制技术、通信技术、自动检测技术以及机械制造技术等多方面的研究成果的数控机床应运而生。第一台数控机床 1952 年由麻省理工学院成功研制，它是一台数控铣床，能够实现三轴联动。最初数控技术用于机械加工的理念是在 20 世纪 40 年代初提出的，帕尔森公司在制造飞机框架和直升机叶片轮廓样件时使用了该技术对加工路径进行了数据处理。如今，数控机床的广泛应用改变了传统的生产方式和生产格局，已成为现代制造企业生存和发展的必然。

1.1 数控技术与数控机床的基本概念

1.1.1 数字控制

数字控制(Numerical Control)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种技术方法。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术，是现代工业化生产中一门发展十分迅速的高新技术。

数控技术包括数控系统、数控机床及外围技术，其组成如图 1-1 所示。

1.1.2 数控机床

数控机床是采用了数控技术的机床，也可说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟对数控机床的定义是：一种装备了程序控制系统的机床。该系统能逻辑地处理具有使用号码或其它符号编码指令规定的程序。

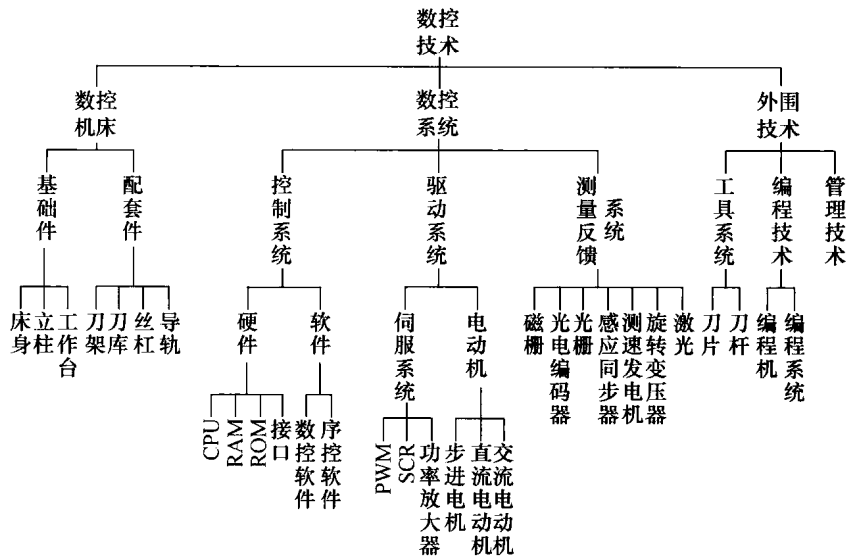


图 1-1 数控技术的组成

数控系统是一种控制系统，它自动读入载体上事先给定的数字量，并将其译码，在进行必要的信息处理和运算后，控制机床动作并加工零件。

1.1.3 机床数字控制原理

金属切削机床加工零件的过程，是操作者根据工程图样(图纸)的要求，不断改变刀具与工件之间相对运动的参数，使刀具对工件进行切削加工，最终获得符合要求的零件的过程。

数控机床的工作过程如图 1-2 所示。

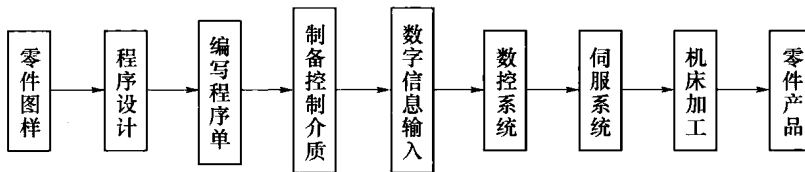


图 1-2 数控机床的工作过程

1.1.4 轨迹控制基本原理(插补)

数字控制的核心任务是如何控制刀具相对工件的运动轨迹。由数控系统计算出理想轨迹的过程称为插补过程。插补是指根据加工轨迹的类型、起点和终点、走刀方向，由数控系统确定若干中间点的过程。数控系统每完成一次插补，输出一个中间点坐标值，伺服执行机构根据此坐标值控制各坐标轴协调运动，最终走出理想轨迹。在 CNC 系统中，插补过程一般采用软件来完成，目前采用的软件插补方法有逐点比较法、数字积分法等。

如果要求刀具中心沿二维轮廓曲线(虚线)进行铣削加工，如图 1-3 所示。首先根据轮廓函数 $Y=f(X)$ 以一定的方法得到 A、B、C、D 等已知点，然后用直线、圆弧、二次曲线、

高次函数来拟合加工轮廓。不妨将曲线变成 L_1 、 L_2 、 $L_3 \cdots L_i$ 等直线段之和，当逼近误差 δ 足够小时，这些折线段之和就接近了曲线。因此关键是如何得到直线 L_i ，此时要用到轨迹控制原理。

如图 1-4 所示，以逐点比较法为例，第一象限的直线 OE 起点为原点 O ，终点为 $E(X_e, Y_e)$ 的插补过程如下。

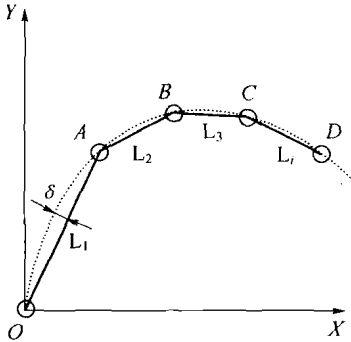


图 1-3 插补原理

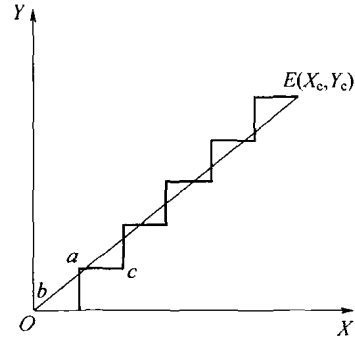


图 1-4 逐点比较法

(1) 偏差判别：判别当前插补点偏离实际直线的位置。直线方程为 $Y \cdot X_e - X \cdot Y_e = 0$ ，以函数 $F_i = Y_i \cdot X_e - X_i \cdot Y_e$ 作为插补点判别函数，插补器在插补软件的控制下根据输入脉冲频率逐点计算，出现三种可能：插补点在实际直线上方， $F = Y_a \cdot X_e - X_a \cdot Y_e > 0$ ；插补点刚好在实际直线上， $F = Y_b \cdot X_e - X_b \cdot Y_e = 0$ ；插补点在实际直线下方， $F = Y_c \cdot X_e - X_c \cdot Y_e < 0$ 。

(2) 进给控制：确定刀具进给坐标和进给方向。我们采用四方向逐点比较法，当 $F \geq 0$ 时向 $+X$ 方向走一步这样逼近实际直线， $X_{i+1} = X_i + 1$ ；当 $F < 0$ 时向 $+Y$ 方向走一步逼近实际直线， $Y_{i+1} = Y_i + 1$ 。

(3) 偏差计算：刀具到达新插补点后，计算出新偏差值作为下一步判别依据。向 $+X$ 方向走一步， $F_{i+1} = Y_i \cdot X_e - (X_i + 1) \cdot Y_e = F_i - Y_e$ ；向 $+Y$ 方向走一步， $F_{i+1} = (Y_i + 1) \cdot X_e - X_i \cdot Y_e = F_i + X_e$ 。

(4) 终点判别：插补结束的标志有两个，一个是当点 (X_i, Y_i) 累计坐标与终点坐标之差为零则插补结束，二是求出总步数 $N(N = X_e + Y_e)$ ，每走一步 $(N - 1)$ ，直到 $N = 0$ 插补结束。

上面所述的一步也就是一个脉冲当量。脉冲当量是指系统发出一个脉冲刀具相对工件移动的基本长度单位，插补的精度与数控系统的脉冲当量有关。采用单微处理器的数控系统脉冲当量为 $0.01\text{mm/P} \sim 0.005\text{mm/P}$ ，采用多微处理器的数控系统脉冲当量为 $0.01\text{mm/P} \sim 0.001\text{mm/P}$ ，精密数控机床其脉冲当量一般小于 0.001mm/P 。采用四方向逐点比较法，误差小于或等于一个脉冲当量；如果采用八方向逐点比较法误差小于半个脉冲当量，加工出来的工件质量要比四方向逐点比较法高。直线和圆弧作为构成轮廓曲线最基本的几何元素，一般 CNC 系统都具有直线和圆弧这两种最基本的插补功能。

1.1.5 数控机床技术的发展历程、现状与趋势

1. 发展历程

第一台数控机床 1952 年研制成功，数控系统采用的主要元器件为电子管。1959 年，数控系统采用了晶体管，进入第二代。此间“加工中心”出现。

1965年，数控系统发展到第三代，采用了集成电路。以上均为硬件逻辑控制系统，装载以上三代数控系统的机床称为普通数控机床。

1970年，第四代数控系统采用了大规模集成电路或小型计算机。

1974年开始，第五代数控系统采用了微处理器或专用计算机。这类系统在近30年来得到广泛应用和飞速发展。目前采用多个微处理器(32位、64位CPU)的这类系统已成为主流，运算速度不断提高，功能越来越强大而系统稳定可靠。

为了适应现代化生产的需要，数控系统正朝着功能更加强大的第六代发展。这类数控机床采用的数控系统以个人计算机(PC)为核心，不仅存储容量大、运算速度快、通信传输方便，而且使CAD/CAM的运用更为便捷以及便于实现网络化生产管理。

第四代~第六代数控机床称为计算机数控机床。

2. 技术现状与发展趋势

近年来，微电子技术和计算机技术日益成熟，它的成果正在不断地应用到机械制造的各个领域，先后出现了计算机直接数控系统(Direct Numerical Control, DNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)和现代集成制造系统(Contemporary-Integrated Manufacturing System, CIMS)。所有这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础，代表着数控机床今后的发展趋势。

以数字化为特征，数控机床是柔性化制造系统和敏捷化制造系统的基础装备。数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展也起着越来越重要的作用，因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。数控技术正朝着高速、高精密化、高可靠性、数控机床设计CAD化、智能化、网络化、柔性化、集成化、开放性、复合化的方向发展。

1.2 数控机床的组成

数控机床由输入/输出装置、控制介质、数控装置、伺服系统、可编程控制器(PLC)、机械部件等部分组成。

1.2.1 输入/输出装置

输入装置可将不同加工信息传递给计算机。在数控机床产生的初期，输入装置为穿孔纸带，现已趋于淘汰；目前使用键盘、磁盘等装入装置，大大方便了信息输入工作。

输出指输出内部工作参数(含机床正常、理想工作状态下的原始参数，故障诊断参数等)，一般要在机床刚进入工作状态时输出这些参数并作为原始资料进行保存，待工作一段时间后，再将输出参数与原始资料进行比较、对照，可帮助判断机床工作是否维持正常。

1.2.2 控制介质

控制介质是人与机床之间联系的媒介物，又称信息载体。它记录了加工过程中刀具和工件的相对几何关系、工艺参数、辅助过程按规定格式和代码转换后的数字信息。最初的数控机床采用穿孔纸带、磁带作为控制介质，随着科学技术的不断发展，逐渐采用

软盘、光盘、硬盘等现代存储元件来存储加工信息。除了上面所说的外部存储器之外，也可采用内部存储器作为控制介质，数控系统计算机中有用于存储系统软件的内存、用于存储工作参数的内存和用于存储加工程序的内存。存储加工程序的内存中的各种信息可以随机读出、写入和修改，并可断电保护。

调用控制介质中的数控程序的方式有两种。常用的工作方式为一性地将整个零件加工程序输入内存，加工时再把程序段一个一个从内存中调出进行处理；另一种工作方式是一边从外设存储器读入程序一边进行加工，即前一个程序段正在加工时，输入后一个程序段的信息。

1.2.3 数控装置

数控装置主要由计算机部分、位置控制部分以及各种接口等组成，在系统软件的控制下完成输入信息的数据处理、插补运算、位置控制三个基本过程。

1. 数控装置的组成和工作原理

1) 数控装置的组成

数控装置与普通计算机一样具有 CPU、存储器、总线、外设等。它的外设中最主要的功能是输出伺服运动指令，推动数控机床各坐标轴运动。硬件结构中，CPU 实施对整个系统的运算、控制和管理。存储器用于存储系统软件和零件加工程序以及运算的中间结果等。输入/输出接口用来交换数控装置和外部的信息。MDI/CRT 接口完成手动数据输入和将信息显示在 CRT 上。位置控制部分是数控装置的一个重要组成部分，它包括对主轴驱动的控制，以完成速度控制，通过伺服系统提供功率、扭矩的输出，还包括对进给坐标的控制，以便完成位置控制，通过伺服系统提供恒扭矩。

数控装置除硬件外还有软件，软件包括控制软件和管理软件两大类。管理软件由零件程序的输入/输出程序、显示程序和诊断程序等组成。控制软件由译码程序、刀具补偿计算程序、速度控制程序、插补运算程序和位置控制程序等组成，如图 1-5 所示。

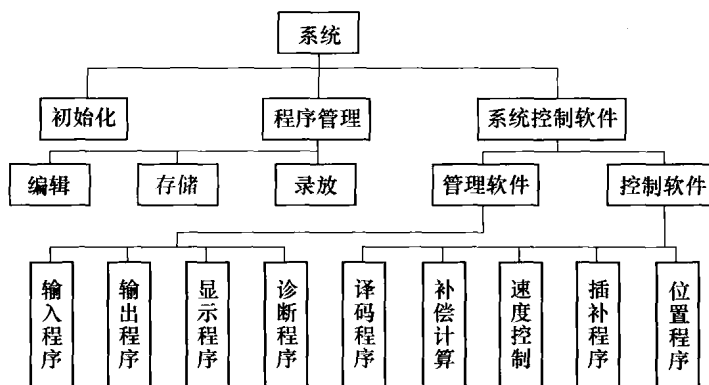


图 1-5 数控装置组成

2) 数控装置的工作原理

数控装置通过各种输入方式接收机床加工零件的各种数据信息，经过数控装置译码，再进行计算机的处理、运算，然后将各个坐标轴的分量送到控制轴的驱动电路，经过转

换、放大去驱动伺服电机，带动各轴运动，并进行实时位置反馈控制，使各个坐标轴精确地走到所要求的位置。

2. 数据处理

数据处理主要包括译码、刀具补偿、进给速度处理。

(1) 零件的加工信息数控系统不能直接应用，必须按一定的语法规则将加工信息翻译成计算机能识别的二进制数据形式并存放于内存专用区域，这一过程称为译码。在进行译码的过程中还对程序段进行语法检查，发现错误立即报警。

(2) 刀具补偿的作用是利用工件轮廓编程并自动转化成刀具中心的轨迹，以保证机床加工出所要求的工件轮廓。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿等。

(3) 进给速度处理的任务是保证实现程序中指定的进给速度，程序中指定的进给速度是沿运动轨迹方向的速度，它是各坐标轴运动速度的合成。进给速度处理就是根据合成速度计算出各个坐标方向上的分速度，某些辅助功能也在这里处理。

3. 位置控制

位置控制由位置控制单元和伺服驱动单元完成。如图 1-6 所示，位置控制单元接收插补器产生的指令位置信号，同时接收反馈的实际位置信号，两部分信号进行比较转换后产生差值控制信号并输入伺服驱动单元，经伺服驱动单元放大、提供足够的功率和扭矩之后驱动进给伺服电机并带动机床移动部件运动，直到差值为零，电机停转，从而实现加工位置的准确控制。

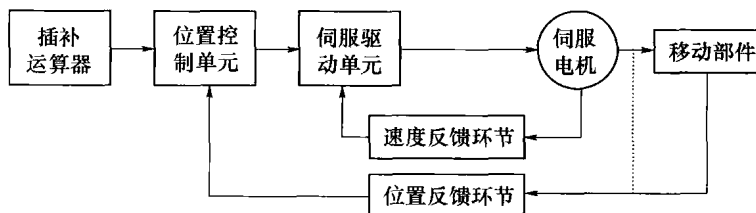


图 1-6 位置控制

1.2.4 伺服系统

1. 伺服系统概述

伺服系统由伺服驱动单元、进给伺服电机以及检测反馈环节等组成。伺服系统是一种能接收数控装置发出的指令信号来控制伺服电机驱动机床各运动部件，从而准确控制机床的位置和速度的自动控制系统。伺服系统的作用可以归纳为：放大控制信号和根据数控系统发出的控制信号对机床移动部件的位置和速度进行控制。

伺服系统的一般结构如图 1-7 所示。

2. 伺服电机

数控机床对进给伺服电机提出了很高的要求，要求进给伺服电机精度高、响应快、调速范围宽、输出功率大等。常用的进给伺服电机有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机等。步进电机是将电脉冲信号转换成机械角位移的电机，步进电机容易制造，由它所组成的进给装置也比较简单且容易调试，因此这种电机在六七十年代曾经风行一时，

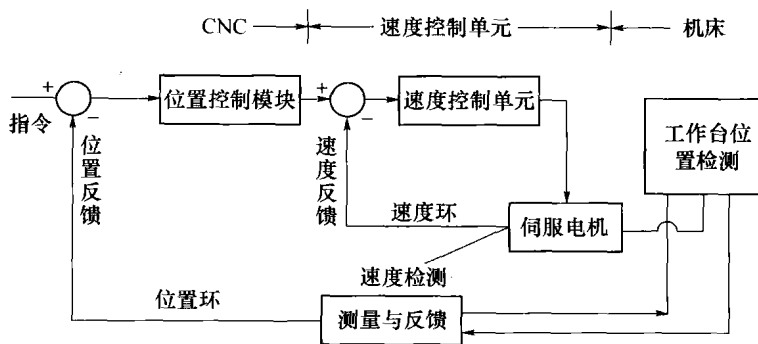


图 1-7 伺服系统的一般结构

但由于精度差等方面的影响，目前该电机只用于经济型数控机床。相对于步进电机，采用交直流伺服电机已成为现代数控行业的主流。直流伺服电机虽然较交流伺服电机具有良好的调速性能，但是直流伺服电机结构复杂、制造成本大，而且电刷和换向器容易磨损，需要经常维护，因此交流伺服电机逐渐取代了直流伺服电机。

交流伺服电机没有上述缺点，而且动态响应好，输出功率大，价格低廉。数控机床进给机构多采用永磁式交流同步电动机，该电机结构简单、运行可靠、效率较高，转速与电源频率之间存在严格的关系，若采用变频电源给电机供电时，可获得与频率成正比的可变速度。变频调速可以通过变频器调速和 SPWM(脉宽调制)调速等方法实现。目前，很多交流伺服电机本身已装载增量式光电编码器，用于调整速度和位置反馈。

3. 检测元件

检测元件是数控机床的重要组成元件，它的作用是检测位移和速度。位移检测系统能够测量的最小位移量称为分辨率，检测系统的精度很大程度上决定了数控机床的加工精度。

在不同的数控机床和机床不同的部位采用不同的检测元件。例如用光栅、磁尺、感应同步器直接测量机床进给系统的直线位移，用码盘和旋转变压器间接测量进给系统的直线位移，用编码器测主轴转速，用测速发电机测伺服电动机的转速。

4. 速度控制

电动机的转速的大小由速度指令控制，并且由与伺服电机同步旋转的测速发电机和速度反馈电路组成的速度检测反馈环节保持速度值恒定。例如，外部负载增大而使电动机的转速下降，则测速发电机的转速也下降，经速度反馈电路把转速信号转换成电信号送入伺服驱动单元，与输入的控制信号进行比较获得差值信号，经放大后，提高电机驱动电压，使电机提高转速直到恒转速运转。差值为零则表示输入电机的电压恒定。

1.2.5 可编程控制器

可编程控制器(PLC)对主轴单元实现控制，将程序中的转速指令进行处理而控制主轴转速；管理刀库，进行自动刀具交换、选刀方式、刀具累计使用次数、刀具剩余寿命及刀具刃磨次数等管理；控制主轴正反转和停止、准停、切削液开关、卡盘夹紧松开、机械手取送刀等动作；对机床外部开关(行程开关、压力开关、温控开关等)进行控制；对输

出信号(刀库、机械手、回转工作台等)进行控制。

1.2.6 机械结构和部件

数控机床的机械结构已经从初期的对普通机床局部结构的改进逐步发展为数控机床独特的机械结构。数控机床的机械结构除床身、底座、立柱、横梁、工作台等基础件外,还包括主传动系统、进给传动系统、回转定位装置、液压、气动、润滑、冷却、排屑和防护等装置以及各种监控装置,加工中心还应有自动换刀装置(ATC)。

1. 机械结构要求

1) 高刚度和高抗振性

机床刚度反映了机床结构抵抗变形的能力。机床床身、导轨、工作台、刀架、主轴箱等部件的几何精度取决于机床的静刚度。同时,切削过程中的振动将影响工件的加工精度和表面质量,还会降低刀具寿命,因此还对机床的动态特性提出了更高的要求,要求机床有好的动刚度。

2) 热变形要小

在切削过程中产生的多于普通机床的切削热、摩擦热等各种热源将使机床各部件产生不同程度的热变形,使工件和刀具的相对位置关系遭到破坏,从而影响工件的加工精度。热变形对加工精度的影响往往难以修正,因此要采取措施尽量减少热变形产生的影响。

3) 摩擦要小

机床导轨的质量很大程度上决定了机床的加工精度和使用寿命。机床导轨摩擦因数要低,这就有效地避免了低速爬行现象,从而提高了机床运动的稳定性、灵敏度和定位精度。目前,数控机床普遍采用滚动导轨、静压导轨和塑料导轨。

2. 主传动系统

主传动系统是指将主轴电机的原动力通过传动机构变成可供切削加工用的切削力矩和切削速度的系统。为了使主轴要能承受重切削并能在较大转速范围内实现无级变速,通常采用输出功率大、过载能力强、运行稳定的主轴电机。一般来说,交流主轴电机是专门设计的。为增加输出功率、缩小电机体积,电机定子没有机壳,并在铁心上加工有轴向孔以利于在空气中直接冷却。普通交流感应电动机也可以用做主轴电机。

为了适应不同的加工要求,目前主传动系统大致可分为以下三类。

1) 二级以上变速系统

这类系统多采用齿轮变速结构。因为数控机床使用可调无级变速的交直流电动机,经变速箱变速后可实现分段的无级变速,不仅增加了调速范围,而且能满足各种切削运动的转矩输出。但该系统结构复杂,制造和维修也比较困难。

2) 一级变速系统

这类传动系统多采用带传动(同步齿形带),在一定条件下能够满足转速和转矩的输出要求,且结构简单、安装调试方便,并可以避免齿轮传动引起的振动和噪音,但是该系统与电动机一样,受到电动机调速范围的约束。

3) 主轴电动机直接驱动

这类传动系统结构紧凑,转换效率高。主轴转速、转矩的输出和电动机的输出特性