

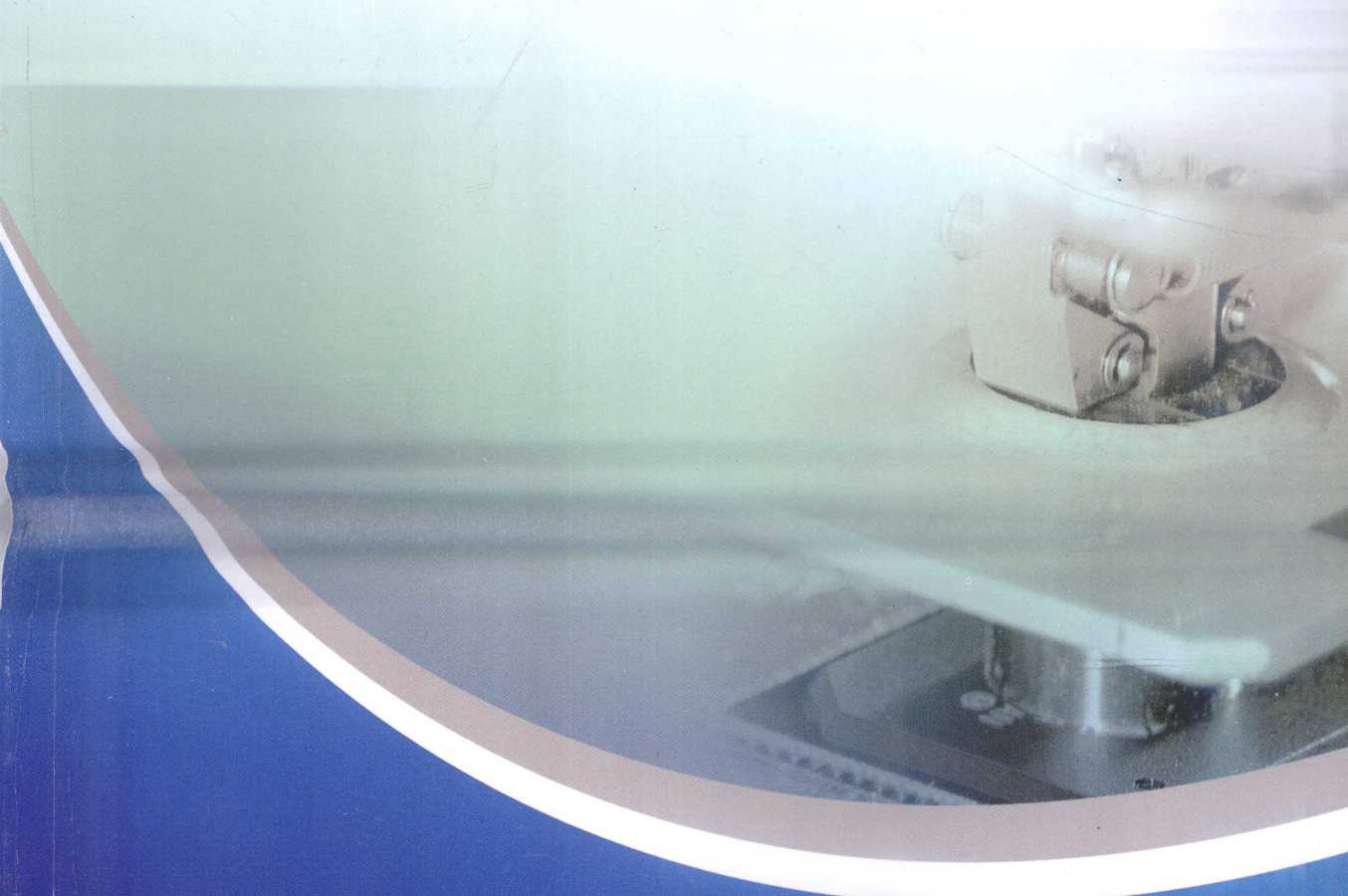


高职高专“十一五”规划教材
机械电子类系列

数控机床加工工艺

SHUKONG JICHUANG JIAGONG GONGYI

主编 ◆ 李华志



哈尔滨工程大学出版社

高职高专“十一五”规划教材

——机械电子类系列

数控机床加工工艺

主 编 李华志

编 委 李华志 宋 鸣 倪亚辉

黄晓燕 陈 春 蒋立刚

谢 建 张成祥

主 审 刘 平

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

该教材以数控加工工艺为主线,在传统机械制造工艺知识的基础上,把数控加工工艺与数控设备结合起来,从实用的数控加工技术出发,精选了大量的数控加工实例,并针对实例制订详细的数控加工工艺方案。第1章主要介绍了数控加工的基本概念、组成与分类;第2章介绍了金属切削的基本概念、刀具、切削过程的基本规律、切削用量与切削液的选择、材料的切削加工性能;第3章介绍了工件的装夹方法与定位原理、定位方式和定位元件、定位误差、工件的夹紧、数控机床夹具;第4章介绍了数控加工工艺基础的基本概念、机械加工工艺规程设计、加工余量的确定、机械加工精度和表面质量、工序尺寸及其偏差的确定;第5章介绍了数控加工工艺分析、工艺路线的设计及加工工序设计;第6章介绍了数控车床、数控车削加工工艺、数控车削加工工艺的制定、典型零件的数控车削加工工艺分析;第7章介绍了数控铣床、数控铣削加工工艺分析、典型数控铣削加工零件的工艺分析;第8章介绍了加工中心、加工中心的主要加工对象、加工中心加工工艺的制订、典型零件的加工中心加工工艺分析;第9章介绍了数控电脉冲加工工艺、数控磨削加工工艺、数控冲压加工工艺。

该书紧跟高职高专教材的发展步伐,强调学生实践能力、创造能力的培养,非常适合高职高专院校机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和 CAD/CAM 专业教材,也适合相关专业的爱好者自学。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床加工工艺 / 李华志主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2010.4

ISBN 978 - 7 - 81133 - 723 - 5

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 062309 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 四川墨池印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17
字 数 435 千字
版 次 2010 年 5 月第 1 版
印 次 2010 年 5 月第 1 次印刷
定 价 32.50 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

近年来,随着我国制造业的快速发展,制造技术的迅速进步,对制造操作者提出了新的要求,新兴的制造业需要既有一定技术知识素质又能熟练操作的高素质劳动者。为使职业教育满足这种变化和要求,教材建设成为改革职业教育的重要和先导性的内容。

为适应当前我国高职高专教育的发展要求,配合高职高专院校的教学和教材改革,我们组织专家、示范高职院校的骨干教师及相关行业的工程师,共同策划编写了一套符合当前职业教育精神的高质量实用型教材。

该系列教材充分体现了高职高专教材的特点,力求以培养职业能力为本,以培养学生的实践能力和知识运用能力为核心,对基础理论和知识强调“够用和实用”,同时注意吸取其他教材的优点,总结各学校教学经验,并且注意适当融入学科的新进展、新成果。

数控加工是机械制造中的先进加工技术,是一种高效率、高精度与高柔性的自动化加工方法。它的广泛应用使普通机械被数控机械所代替,使全球制造业发生了根本变化。当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,因此数控加工和数控设备的应用也呈现突飞猛进之势,这就需要培养大量数控专业技术人才,特别是数控技术复合性人才。为了适应数控人才培养的需要,编写了此教材。

本系列教材主要针对机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和CAD/CAM专业,涵盖了全部的专业基础课和大部分专业课。第一批共20本将于2010年春出版。

本书是其中的一本《数控机床加工工艺》。

该教材以数控加工工艺为主线,在传统机械制造工艺知识的基础上,把数控加工工艺与数控设备结合起来,从实用的数控加工技术出发,精选了大量的数控加工实例,并针对实例制订详细的数控加工工艺方案。第1章主要介绍了数控加工的基本概念、组成与分类;第2章介绍了金属切削的基本概念、刀具、切削过程的基本规律、切削用量与切削液的选择、材料的切削加工性能;第3章介绍了工件的装夹方法与定位原理、定位方式和定位元件、定位误差、工件的夹紧、数控机床夹具;第4章介绍了数控加工工艺基础的基本概念、机械加工工艺规程设计、加工余量的确定、机械加工精度和表面质量、工序尺寸及其偏差的确定;第

5 章介绍了数控加工工艺分析、工艺路线的设计及加工工序设计;第 6 章介绍了数控车床、数控车削加工工艺、数控车削加工工艺的制订、典型零件的数控车削加工工艺分析;第 7 章介绍了数控铣床、数控铣削加工工艺分析、典型数控铣削加工零件的工艺分析;第 8 章介绍了加工中心、加工中心的主要加工对象、加工中心加工工艺的制订、典型零件的加工中心加工工艺分析;第 9 章介绍了数控电脉冲加工工艺、数控磨削加工工艺、数控冲压加工工艺。

本书由成都电子机械高等专科学校李华志教授任主编,由《数控机床加工工艺》教材编写组的教师协助编写。全书共 9 章,由李华志负责统稿和定稿。由成都电子机械高等专科学校国家实训基地刘平高级工程师主审。

在本书的编写过程中,我们参考了所有能找到的文献和资料,包括互联网上的一些信息,在此一并表示感谢!由于时间仓促,加上作者水平有限,书中错误在所难免,希望广大师生在使用过程中提出宝贵意见,请将您的建议或意见发送至 196308071ql@163.com 与我们联系。并恳请全国各地的高职高专院校教师积极加入该系列规划教材的策划和编写队伍中来,以便我们在今后的工作中不断改进和完善,使这套教材成为高职高专院校的精品教材。我们网站 <http://www.dztf.com> 将尽可能提供免费的电子教案等教学资料下载。

编 者

2010 年 5 月

目 录

第 1 章 数控加工概述	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 数控与数控机床	1
1.1.2 数控加工的特点	1
1.1.3 数控加工的适用范围及内容	2
1.2 数控机床的组成与分类	2
1.2.1 数控机床的组成	2
1.2.2 数控机床的分类	4
1.3 数控机床和数控系统的发展趋势	7
习 题 1	8
第 2 章 数控加工的切削基础	9
2.1 金属切削的基本概念	9
2.1.1 工件表面的成形原理	9
2.1.2 切削运动和工件加工表面	11
2.1.3 切削要素	11
2.2 金属切削刀具	14
2.2.1 刀具结构	14
2.2.2 刀具磨损与耐用度	19
2.2.3 刀具材料	22
2.2.4 刀具几何参数的合理选择	25
2.2.5 数控刀具的主要种类	31
2.3 金属切削过程的基本规律	32
2.3.1 金属切削过程中的变形	32
2.3.2 切屑的控制	34
2.3.3 切削力	37
2.3.4 切削热与切削温度	39
2.4 切削用量与切削液的选择	40
2.4.1 合理选择切削用量	40
2.4.2 切削液的选择	45

2.5 改善材料的切削加工性能.....	47
2.5.1 材料切削加工性的概念与评价标准.....	47
2.5.2 影响工件材料切削加工性的因素.....	48
2.5.3 改善材料切削加工性的措施.....	49
习题 2.....	49
第 3 章 工件在数控机床上的定位与装夹.....	50
3.1 工件的装夹方法与定位原理.....	50
3.1.1 基准及其分类.....	50
3.1.2 工件的装夹方法.....	51
3.1.3 工件定位的基本原理.....	52
3.2 定位方式和定位元件.....	56
3.2.1 常见定位方式.....	56
3.2.2 常见定位方案.....	58
3.3 定位误差.....	65
3.3.1 定位误差的产生.....	65
3.3.2 定位误差的分析与计算.....	66
3.4 工件的夹紧.....	68
3.4.1 夹紧装置的组成及基本要求.....	68
3.4.2 夹紧力的确定.....	69
3.5 数控机床夹具.....	71
3.5.1 数控机床夹具的类型和特点.....	71
3.5.2 机床夹具的组成和作用.....	72
3.5.3 典型夹紧机构.....	74
3.5.4 数控加工夹具简介.....	77
3.5.5 组合夹具简介.....	79
习题 3.....	81
第 4 章 数控加工工艺基础.....	86
4.1 基本概念.....	86
4.1.1 生产过程与工艺过程.....	86
4.1.2 生产纲领和生产类型.....	88
4.2 机械加工工艺规程设计.....	90
4.2.1 机械加工工艺规程.....	90
4.2.2 零件的工艺分析.....	97
4.2.3 零件毛坯的种类和选择.....	101

4.2.4	定位基准的选择.....	103
4.2.5	加工工艺路线的拟定.....	106
4.2.6	设备及工艺装备的选择.....	112
4.3	加工余量的确定.....	113
4.3.1	加工余量的概念.....	113
4.3.2	影响加工余量的因素.....	114
4.3.3	确定加工余量的方法.....	115
4.4	工序尺寸及其偏差的确定.....	115
4.4.1	基准重合时工序尺寸及其公差计算.....	115
4.4.2	基准不重合时工序尺寸及其公差计算.....	116
4.5	机械加工精度和表面质量.....	123
4.5.1	机械加工精度.....	123
4.5.2	机械加工表面质量.....	129
	习 题 4.....	131
第 5 章	数控加工工艺设计.....	134
5.1	数控加工工艺概述.....	134
5.1.1	数控加工工艺的基本特点.....	134
5.1.2	数控加工工艺的主要内容.....	135
5.2	数控加工工艺分析.....	135
5.2.1	数控加工内容的选择.....	135
5.2.2	数控加工零件的工艺性分析.....	136
5.3	数控机床加工工艺路线的设计.....	137
5.4	数控加工工序设计.....	138
5.4.1	机床的选择.....	138
5.4.2	工件的定位与夹紧方案的确定.....	139
5.4.3	夹具的选择.....	139
5.4.4	刀具的选择.....	140
5.4.5	确定走刀路线和工步顺序.....	142
5.4.6	切削用量的确定.....	144
	习 题 5.....	144
第 6 章	数控车床及车削加工工艺.....	145
6.1	数控车床简介.....	145
6.1.1	数控车床的类型.....	145
6.1.2	数控车床的组成.....	147

6.1.3	数控车床的结构.....	147
6.1.4	数控车床的传动与主要机械结构.....	151
6.2	数控车削加工工艺概述.....	158
6.2.1	数控车床的主要加工对象.....	158
6.2.2	数控车削加工内容.....	159
6.3	数控车削加工工艺的制定.....	161
6.3.1	零件图工艺分析.....	161
6.3.2	工序和装夹方法的确定.....	162
6.3.3	加工顺序和进给路线的确定.....	163
6.3.4	数控车削刀具.....	167
6.3.5	切削用量的选择.....	174
6.2.6	数控车削加工中的对刀.....	175
6.4	典型零件的数控车削加工工艺.....	177
6.4.1	轴类零件数控车削工艺分析.....	177
6.4.2	套类零件数控车削工艺分析.....	179
6.4.3	盘类零件数控车削工艺分析.....	182
	习 题 6.....	183
第 7 章	数控铣床与铣削加工工艺.....	186
7.1	数控铣床简介.....	186
7.1.1	概述.....	186
7.1.2	数控铣床的分类.....	186
7.1.3	数控铣床的组成.....	187
7.1.4	数控铣床的传动系统与主轴部件.....	188
7.2	数控铣削加工工艺分析.....	190
7.2.1	数控铣削的主要加工对象.....	190
7.2.2	零件图工艺分析.....	192
7.2.3	工序和装夹方法的确定.....	193
7.2.4	加工顺序和进给路线的确定.....	194
7.2.5	数控铣削刀具.....	199
7.2.6	切削用量的选择.....	206
7.2.7	数控铣削加工中的对刀.....	207
7.3	典型零件的工艺分析.....	209
7.3.1	平面凸轮的数控铣削工艺分析.....	209
7.3.2	盒型模具的数控铣削工艺分析.....	211
	习 题 7.....	212

第 8 章 加工中心及其加工工艺.....	214
8.1 加工中心简介.....	214
8.1.1 加工中心的主要特点.....	214
8.1.2 加工中心的分类.....	215
8.1.3 加工中心的组成与布局.....	218
8.1.4 加工中心的传动系统与结构.....	219
8.2 加工中心的主要加工对象.....	222
8.3 加工中心加工工艺的制订.....	223
8.3.1 零件图工艺分析.....	223
8.3.2 加工中心的选用.....	224
8.3.3 装夹方法的确定.....	225
8.3.4 加工中心加工工艺路线的拟订.....	226
8.3.5 刀具的选择.....	228
8.3.6 切削用量的选择.....	233
8.4 典型零件的加工中心加工工艺分析.....	233
8.4.1 加工中心加工箱体类零件的加工工艺.....	233
8.4.2 加工中心加工支承套零件的加工工艺.....	237
习 题 8.....	239
第 9 章 其他数控加工方法加工工艺简介.....	241
9.1 数控电脉冲加工工艺.....	241
9.1.1 数控电火花成形加工工艺过程.....	241
9.1.2 数控电火花线切割加工工艺.....	244
9.2 数控磨削加工工艺.....	251
9.2.1 数控外圆磨床的特点.....	251
9.2.2 数控外圆磨削方式.....	252
9.2.3 典型零件的加工实例.....	254
9.3 数控冲压加工工艺.....	255
9.3.1 数控冲模回转头式压力机冲压工艺.....	255
9.3.2 数控直角剪板工艺.....	257
9.3.3 数控板料折弯工艺.....	257
习 题 9.....	261
参考文献.....	262

第1章 数控加工概述

1.1 基本概念

1.1.1 数控与数控机床

数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的一种自动化加工技术，它综合了计算机、自动控制、电工电子和机械制造等学科的内容，目前在机械制造业中已得到了广泛应用。

数字控制（Numerical Control）是指用数字化信号对控制对象（如机床的运动及其加工过程）进行自动控制的技术，简称数控（NC）。

数控机床是指装有控制系统的机床。该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。上述的控制系统就是数控系统。具体说，凡是使用数字化的程序代码将零件加工过程中所需的各种操作步骤、刀具与工件之间的相对位移等信息记录在控制介质上，然后将其送入计算机或数控系统，经过译码、运算和处理，控制机床刀具与工件的相对运动，从而加工出所需要的零件的这类机床叫做数控机床。

1.1.2 数控加工的特点

所谓数控加工就是用数控机床加工零件的方法。

数控加工是伴随数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术，它是人们长期从事数控加工实践的经验总结。

数控加工与普通机床加工相比具有以下特点：

（1）加工的零件精度高 数控机床在整体设计中考虑了整机刚度和零件的制造精度，又采用高精度的滚珠丝杠传动副，机床的定位精度和重复定位精度都很高。特别是有的数控机床具有加工过程自动监测和误差补偿等功能，因而能可靠地保证加工精度和尺寸的稳定性。

（2）生产效率高 数控机床在加工中零件的装夹次数少，一次装夹可加工出很多表面，省去了划线找正和检测等许多中间环节。据统计，普通机床的净切削时间一般占总切削时间的 15%~20%，而数控机床可达 65%~70%，可实现自动换刀的带刀库数控机床甚至可达 75%~80%。加工复杂工件时，效率可提高 5~10 倍。

（3）特别适合加工复杂的轮廓表面 如复杂的回转表面和空间曲面。

（4）有利于实现计算机辅助制造 目前在机械制造业中，CAD / CAM 已经被广泛应用，数控机床及其加工技术正是计算机辅助制造系统的基础。

（5）初始投资大，加工成本高 数控机床的价格一般是普通机床的若干倍，机床备件的价格也高；另外，加工首件需要进行编程、调试程序和试加工，时间较长，因此使零件的加工成本高于普通机床。

1.1.3 数控加工的适用范围及内容

数控机床是一种可编程的通用加工设备，但因其设备费用高，故数控机床有一定的适用范围。一般来说，数控机床特别适用于加工零件形状比较复杂、精度要求高、产品更新频繁、生产周期要求短的场合。

根据应用实践，最适宜采用数控加工的零件有以下几类：

- (1) 用通用机床加工时，要求设计制造复杂的专用夹具或需要长时间调整的零件；
- (2) 小批量生产（100 件以下）的零件；
- (3) 轮廓形状复杂、加工精度要求高或必须用数字方法确定的复杂曲线、曲面零件；
- (4) 要求精密复杂的零件；
- (5) 预备多次改型设计的零件；
- (6) 钻、镗、铰、攻螺纹及铣削加工联合进行的零件，如箱体零件、壳体零件等；
- (7) 成本高的零件，如飞机大梁等零件，此类零件虽不多，但如果因为加工中出现差错而造成的零件报废，将造成巨大的经济损失。

在数控机床加工前，先要考虑操作内容和动作，如工步的划分和顺序、走刀路线和切削参数等，按规定的代码形式编制程序，再将程序输入到数控机床的数控系统中，使数控机床按所编程序运动，从而自动加工出所要求的零件轮廓。一般来说，数控加工主要包括以下几方面内容：

- (1) 确定零件上需要数控加工的表面；
- (2) 对零件图纸进行数控加工的工艺分析；
- (3) 数控加工的工艺设计；
- (4) 编制加工程序；
- (5) 输入加工程序；
- (6) 对加工程序进行校验和修改；
- (7) 运行加工程序对零件进行加工。

1.2 数控机床的组成与分类

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入输出装置、计算机数控装置、伺服单元和驱动装置、机床电气控制、测量装置和机床本体（组成机床本体的各机械部件）等组成。如图 1-1 所示数控机床组成。

1. 输入输出装置

(1) 操作面板

操作面板是操作人员与数控装置进行信息交流的工具组成：按钮站/状态灯/按键阵列/显示器。

(2) 控制介质

人与数控机床之间建立某种联系的中间媒介物就是控制介质，又称为信息载体。常用的控制介质有 U 盘、磁盘和磁带等。

(3) 人机交互设备

数控机床在加工运行时，通常都需要操作人员对数控系统进行状态干预，对输入的加工程序进行编辑、修改和调试，对数控机床运行状态进行显示等，也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机联系功能的设备统称人机交互设备。常用的人机交互设备有键盘、显示器、光电阅读机等。

(4) 通信

现代的数控系统除采用输入输出设备进行信息交换外，一般都具有用通信方式进行信息交换的能力。它们是实现 CAD/CAM 的集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。

2. 计算机数控 (CNC) 装置

数控装置是数控机床的中枢。CNC 装置 (CNC 单元) 组成为计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、特殊功能模块以及相应的控制软件。

计算机数控 (CNC) 装置的作用是根据输入的零件加工程序进行相应的处理 (如运动轨迹处理、机床输入输出处理等)，然后输出控制命令到相应的执行部件 (伺服单元、驱动装置和 PLC 等)，所有这些工作是由 CNC 装置内硬件和软件协调配合，合理组织，使整个系统有条不紊地进行工作的，CNC 装置是 CNC 系统的核心。

3. 伺服单元和驱动装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动单元、进给伺服驱动单元。主轴伺服驱动单元主要作用是实现零件加工的切削运动，其控制量为速度。进给伺服驱动单元的主要作用是实现零件加工的成形运动，其控制量为速度和位置，特点是能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

4. 机床电气控制

机床电气控制包括两个方面，PLC (可编程控制器) 用于完成与逻辑运算有关顺序动作的 I/O 控制，而机床 I/O 电路和装置则是用来实现 I/O 控制的执行部件，由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。

5. 测量装置

测量装置是显示了数控机床中的反馈系统的工作，反馈系统的作用是通过测量装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到 CNC 装置中，使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出相应指令，纠正所产生的误差。

测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，按有无检测装置，CNC 系统可分为开环和闭环系统，而按测量装置安装的位置不同又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统无测量装置，其控制精度取决于步进电机和丝杠的精度，闭环数控系统的精度取决于测量装置的精度。因此，检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

6. 机床本体

数控机床的机械部件包括：主运动部件，进给运动执行部件，如工作台、拖板及其传动

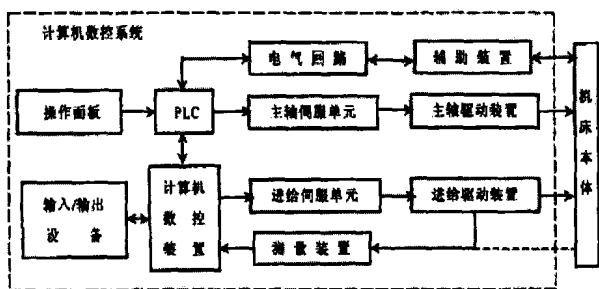


图 1-1 数控机床组成框意图

部件, 床身、立柱等支承部件; 此外, 还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床, 还有存放刀具的刀库, 交换刀具的机械手等部件。数控机床是高精度和高生产率的自动化加工机床, 与普通机床相比, 应具有更好的抗振性和刚度, 要求相对运动面的摩擦因数要小, 进给传动部分之间的间隙要小, 所以其设计要求比通用机床更严格, 加工制造要求精密, 并采用加强刚性、减小热变形、提高精度的设计措施。辅助控制装置包括刀库的转位换刀、液压泵、冷却泵等控制接口电路。

1.2.2 数控机床的分类

1. 按工艺方式分类

(1) 金属切削类数控机床

这类数控机床如数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控钻床、数控齿轮加工机床、加工中心等。

(2) 金属成型类数控机床

这类数控机床如数控折弯机、数控弯管机、数控冲床等。

(3) 数控特种加工及其他类型机床

这类数控机床如数控线切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机、数控电火花加工机床等。

2. 按控制系统运动方式分类

(1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统, 其数控装置发出的指令信号是单向的, 没有检测反馈装置对运动部件的实际位移量进行检测, 不能进行运动误差的校正, 因此步进电机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。如图 1-2 开环控制的系统框图和图 1-3 所示的开环伺服系统。

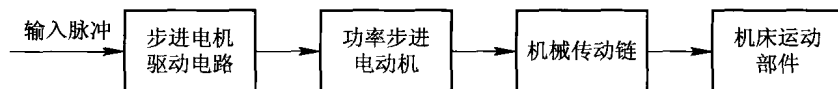


图 1-2 开环控制的系统框图

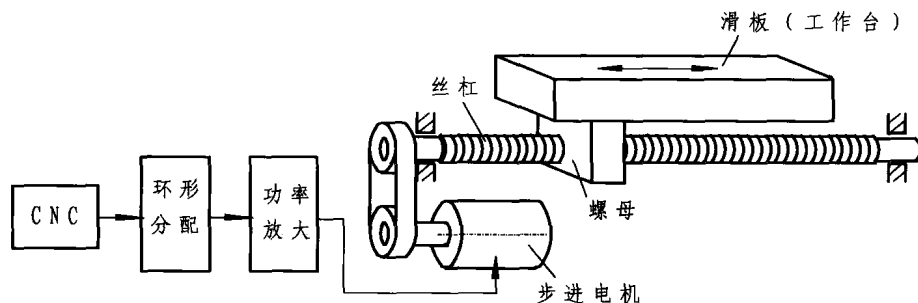


图 1-3 开环伺服系统

开环数控机床通常为经济型、中小型机床, 具有结构简单、价格低廉、调试方便等优点, 但通常输出的扭矩值大小受到限制, 而且当输入的频率较高时, 容易产生失步, 难以实现运动部件的控制, 因此已不能充分满足数控机床日益提高功率、运动速度和加工精度的控制要求。

(2) 闭环数控机床

闭环数控机床的位置检测装置安装在进给系统末端端的执行部件上, 该位置检测装置可

实测进给系统的位移量或位置。数控装置将位移指令与工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较, 根据其差值不断控制运动, 使运动部件严格按照实际需要的位移量运动; 还可利用测速元器件随时测得驱动电机的转速, 将速度反馈信号与速度指令信号相比较, 对驱动电机的转速随时进行修正。这类机床的运动精度主要取决于检测装置的精度, 与机械传动链的误差无关, 因此可以消除由于传动部件制造过程中存在的精度误差给工件加工带来的影响。如图 1-4 闭环控制的系统框图和图 1-5 所示的闭环伺服系统。

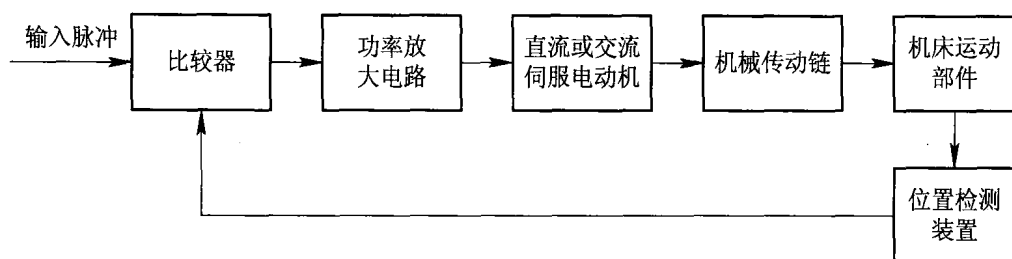


图 1-4 闭环控制的系统框图

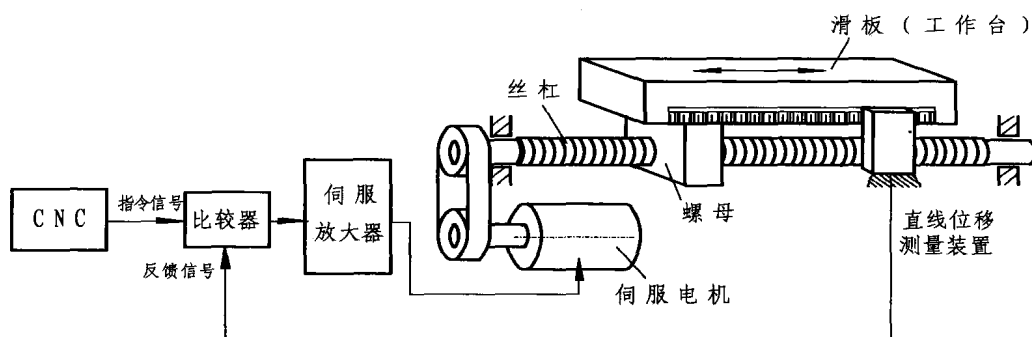


图 1-5 闭环伺服系统

相比于开环数控机床, 闭环数控机床精度更高, 速度更快, 驱动功率更大, 但是, 这类机床价格昂贵, 对机床结构及传动链依然提出了严格的要求。传动链的刚度、间隙, 导轨的低速运动特性, 机床结构的抗振性等因素都会增加系统调试困难。闭环系统设计和调整得不好, 很容易造成系统的不稳定。所以, 闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床等。

(3) 半闭环数控机床

这类机床的检测元件装在驱动电机或传动丝杠的端部, 可间接测量执行部件的实际位置或位移。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节, 控制系统的调试十分方便, 因此可以获得稳定的控制特性。由于采用高分辨率的测量元件, 如脉冲编码器, 因此可以获得比较满意的精度与速度。半闭环数控机床可以获得比开环系统更高的精度, 但由于机械传动链的误差无法得到消除或校正, 因此它的位移精度比闭环系统的要低。大多数数控机床采用半闭环控制系统。如图 1-6 半闭环控制的系统框图和图 1-7 半闭环伺服系统所示。

3. 按控制系统功能水平分类

按控制系统的功能水平, 可以把数控机床分为经济型、普及型、高级型三类, 主要由技术参数、功能指标、关键部件的功能水平来决定。这些指标具体包括 CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、联动轴数等。

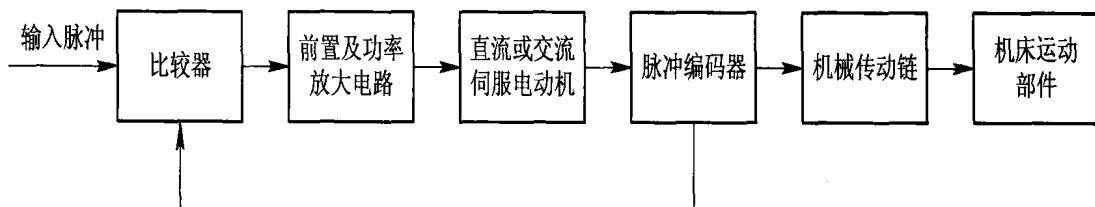


图 1-6 半闭环控制的系统框图

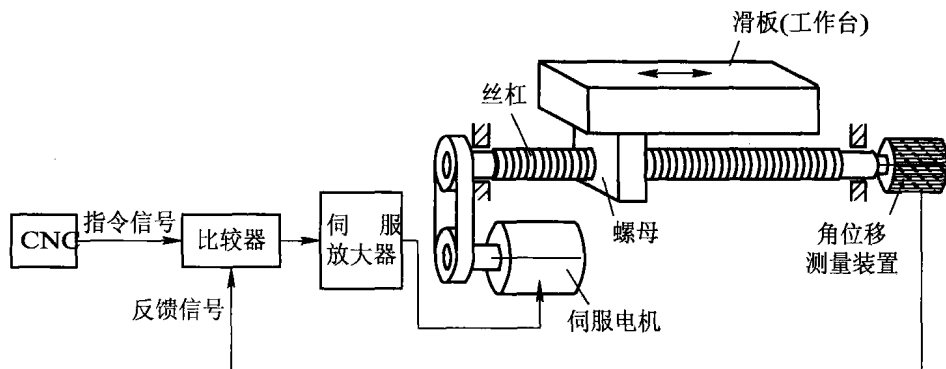


图 1-7 半闭环伺服系统

(1) 经济型数控机床

这类数控机床通常为低档数控机床，一般采用 8 位 CPU 或单片机控制，分辨率为 $10\ \mu\text{m}$ ，进给速度为 $6\sim 8\ \text{m/min}$ ，采用步进电机驱动，具有简单的 RS232 通信接口。低档数控机床最多联动轴数为三轴，具有简单 CRT 字符显示或数码管显示功能。

(2) 普及型数控机床

这类数控机床通常为中档数控机床，一般采用 16 位或更高性能的 CPU，分辨率在 $1\ \mu\text{m}$ 以内，进给速度为 $15\sim 24\ \text{m/min}$ ，采用交流或直流伺服电机驱动；联动轴数为 $3\sim 5$ 轴；有较齐全的 CRT 显示及很好的人机界面，大量采用菜单操作，不仅有字符，还有平面线性图形显示功能、人机对话、自诊断等功能；具有 RS232 或 DNC 接口，通过 DNC 接口，可以实现几台数控机床之间的数据通信，也可以直接对几台数控机床进行控制。

(3) 高级型数控机床

这类数控机床通常为高档数控机床，一般采用 32 位或 64 位 CPU，联动轴数为 5 轴以上，分辨率 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 100\ \text{m/min}$ ，采用数字化交流伺服电机驱动，有三维动态图形显示功能。高档数控机床具有高性能通信接口，具备联网功能，通过采用 MAP（制造自动化协议）等高级工业控制网络或 Ethernet（以太网），可实现远程故障诊断和维修，为解决不同类型不同厂家生产的数控机床的联网和数控机床进入 FMS（柔性制造系统）和 CIMS（计算机集成制造系统）等制造系统创造了条件。

上述这种分类方式没有严格的界限，经济型数控是相对于标准数控而言的，在不同时期、不同国家的含义是不一样的。区别于经济型数控，把功能比较齐全的数控系统称为全功能数控，也称为标准型数控。

4. 按加工控制路线分类

(1) 点位控制机床

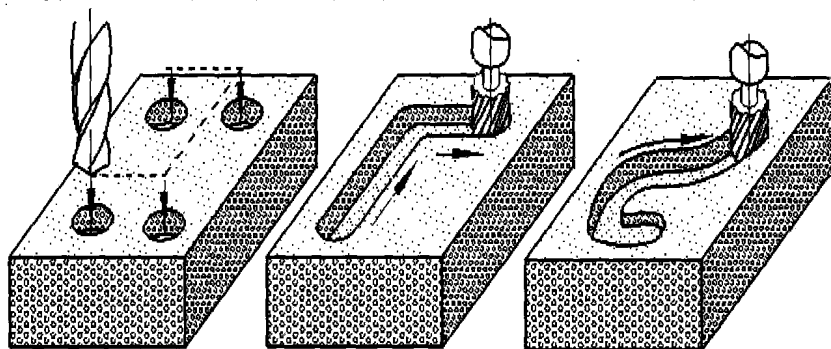
只控制刀具从一点向另一点移动,而不管其中间行走轨迹的控制方式。在从点到点的移动过程中,只作快速空程的定位运动,因此不能用于加工过程的控制。如图1-8(a)所示。

(2) 直线控制机床

可控制刀具相对于工作台以适当的进给速度,沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向作直线轨迹的加工。这种方式是一次同时只有某一轴在运动,或让两轴以相同的速度同时运动以形成 45° 的斜线,所以其控制难度不大,系统结构比较简单。如图1-8(b)所示。

(3) 轮廓控制机床(又称连续控制机床)

可控制刀具相对于工件作连续轨迹的运动,能加工任意斜率的直线,任意大小的圆弧,配以自动编程计算,可加工任意形状的曲线和曲面。如图1-8(c)所示。



(a) 点位控制

(b) 直线控制

(c) 轮廓控制

图1-8 数控机床分类

5. 按可联动的坐标轴分类

数控机床的联动数是指机床数控装置的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有二轴联动(数控车床、数控线切割机床);三轴联动(数控铣床);四轴联动;五轴联动(加工中心)。

1.3 数控机床和数控系统的发展趋势

1. 高速化

速度和精度是数控机床的两个重要指标,它直接关系到加工效率和产品质量。高速切削可以减小切削深度,有利于克服机床振动、降低传入零件的热量及减小热变形,从而提高加工精度,改善加工表面质量。新一代高速数控机床的车削和铣削的切削速度已达到 $5\,000\sim 8\,000\text{ m/min}$ 以上,主轴转速在 $30\,000\text{ r/min}$ 以上(有的高达 $100\,000\text{ r/min}$),数控机床能在极短时间内实现升速和降速,以保持很高的定位精度;自动换刀时间在 1 s 以内,工作台交换时间在 2.5 s 以内,并且高速化的趋势有增无减。

目前,数控系统采用更高位数、频率的处理器,以提高系统的运算速度;采用超大规模的集成电路和多微处理器机构,以提高系统的数据处理能力;采用直线电机直接驱动工作台的直线伺服进给方式,使其高速度和动态响应特性相当优越;为适应超高速加工的要求,数控机床采用主轴电机与机床主轴合二为一的结构形式,实现了变频电动机与机床主轴的一体化;主轴电机的轴承采用磁浮轴承、液体动静压轴承或陶瓷滚动轴承等形式;目前陶瓷刀具和金刚石涂层刀具已开始得到应用。