

教育部规划教材

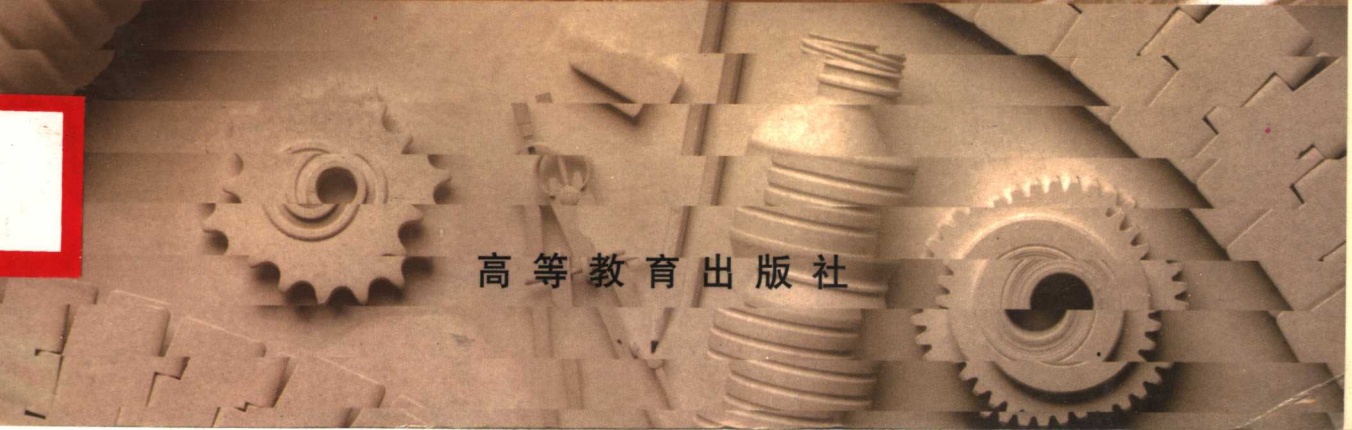
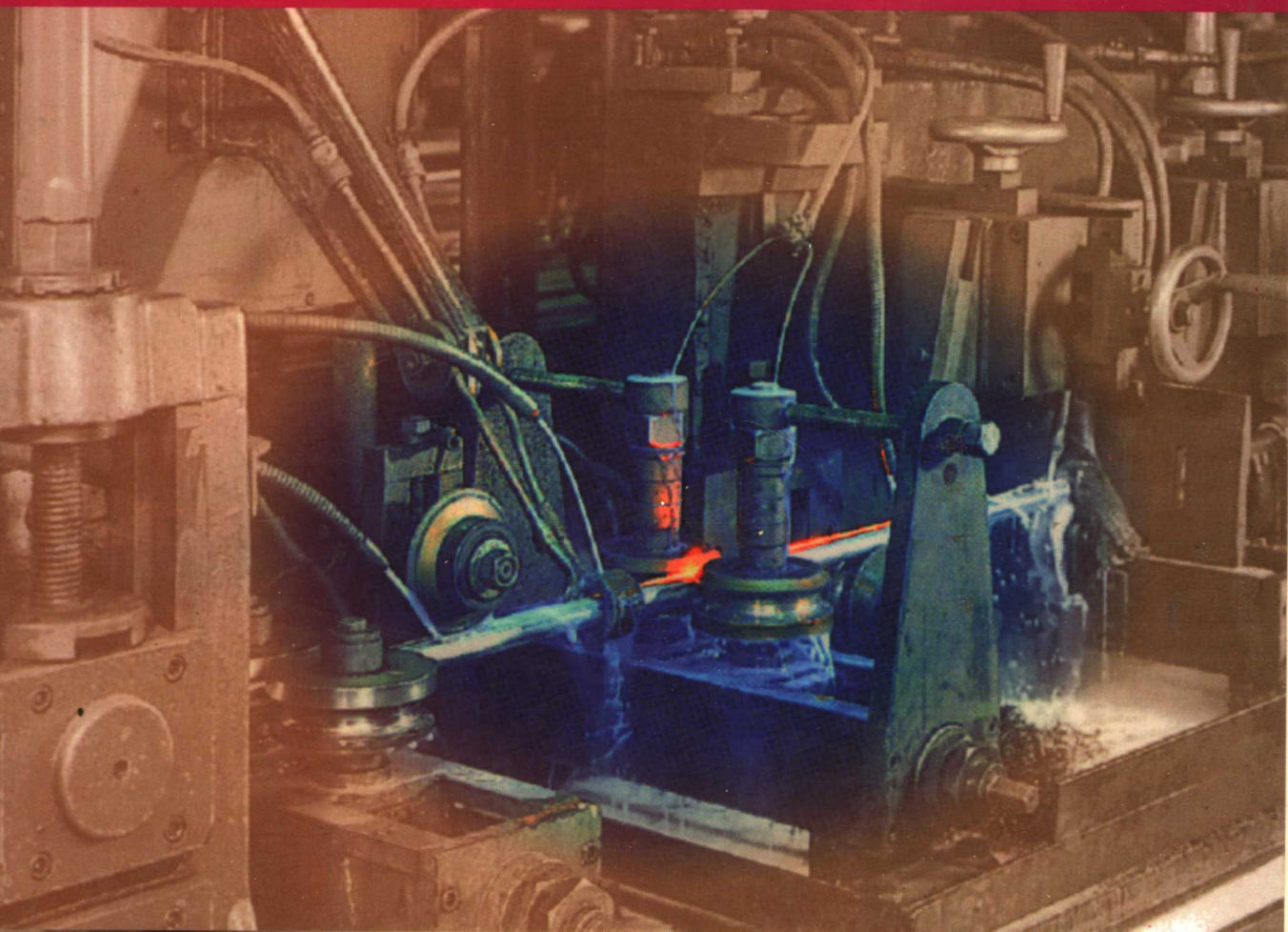
中等职业学校机械专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

机床数控技术应用

全国中等职业学校机械专业教材编写组 编

王志平 主编



高等教育出版社

教育部规划教材

中等职业学校机械专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

机床数控技术应用

全国中等职业学校机械专业教材编写组 编

王志平 主编

高等教育出版社

(京)112号

内 容 简 介

本书是教育部职业技术教育司组织编写的全国中等职业学校机械类专业教材,是教育部规划教材。

本书全面系统地介绍了数控机床使用中所必须具备的机械、电子和计算机方面的知识。全书共12章,包括概述、数控编程基础与工艺分析、数控编程的数值计算、数控车床编程、数控铣床编程、计算机数控装置、插补原理与计算、位置传感器、数控机床的机械结构、电气驱动元件、数控机床伺服系统、加工中心简介。每章的后面都附有思考题。

本书参照劳动部颁发的中级技术工人等级标准及职业技能鉴定规范,结合中等专业学校、中等职业学校特点编写,可以作为中等专业学校、中等职业学校机械类专业、机电一体化专业教材,也可作为机械行业的技术人员、岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术应用/王志平主编. —北京:高等教育出版社, 1998. 7

ISBN 7-04-006561-4

I. 机… II. 王… III. 数控机床-数字控制-技术 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09552 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 64014048 电话: 64054588

新华书店总店北京发行所发行

北京印刷二厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 430 000

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 0 001—10 121

定价 20.40 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

前 言

本书是根据江苏省教育委员会 1997 年制定的普通中专和职业学校机电一体化专业教学计划及机床数控技术应用课程教学大纲编写的,同时并入中等职业学校机械类专业教育部规划教材。

本书对数控机床的各组成部分(机械结构、计算机数控装置、电气驱动元件、伺服系统、位置检测元件)及插补原理、典型机床的数控编程等内容作了详细的阐述,最后还简单介绍了加工中心及其编程。使学生通过学习后,能对数控机床有一个完整和系统的认识。每章内容都力争做到叙述清楚、简明扼要、图文并茂,书中的编程实例大多在有关的数控机床上进行过调试。在每章的后面都列有思考题,以帮助学生巩固所学的知识。

本书共 120 课时,建议课时分配如下:

序号	内 容	课 时	课时分配	
			讲 课	实 验
1	概述	4	4	
2	数控编程基础和工艺分析	12	12	
3	数控编程的数值计算	4	4	
4	数控车床编程	14	8	6
5	数控铣床编程	12	6	6
6	计算机数控装置	8	8	
7	插补原理与计算	14	12	2
8	数控机床的机械结构	12	12	
9	位置传感器	10	8	2
10	电气驱动元件	10	8	2
11	数控机床伺服系统	10	10	
12	加工中心简介	6	6	
	机动	4	4	
	合计	120	102	18

本书由常州轻工业学校王志平主编,参加编写的有常州轻工业学校王志平(第一、六、十、十一、十二章)、常州市刘国钧职业教育中心王国民(第二、三、四、五章)、常州轻工业学校吴明友(第七、八、九章)。本书由无锡机械制造学校顾京高级讲师主审。中德无锡职业技术学校葛金印老师参加了制定本书编写大纲及审稿工作,参加审稿的还有南京机电学校周同玉、常州市刘国钧职业教育中心王猛、苏州市机械学校钱东东等老师。常州机床总厂为本书提供了许多资料,在此表示感谢。

由于编者水平有限,加上编写较为匆忙,谬误欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1997 年 12 月

目 录

第一章 概述	1	思考题	119
第一节 数控机床及其特点	1	第七章 插补原理与计算	120
第二节 数控机床的组成和分类	3	第一节 插补的基本知识	120
第三节 数控技术的发展	6	第二节 逐点比较法	121
思考题	9	第三节 数字积分插补法	134
第二章 数控编程基础和工艺分析	10	第四节 数字增量插补法	142
第一节 概述	10	思考题	147
第二节 数控机床的坐标系	16	第八章 数控机床的机械结构	148
第三节 常用编程指令	19	第一节 数控机床机械结构的特点	148
第四节 手工编程	26	第二节 数控机床的主传动系统	149
第五节 自动编程简介	31	第三节 数控机床的进给传动系统	156
第六节 零件装夹方法及对刀点的确定	33	第四节 自动换刀装置	183
第七节 工序划分与确定走刀路线	35	思考题	194
第八节 选择刀具和切削用量	38	第九章 位置传感器	196
第九节 工艺文件编制	43	第一节 概述	196
思考题	47	第二节 光栅传感器	198
第三章 数控编程的数值计算	49	第三节 脉冲发生器	205
第一节 基点坐标计算	49	第四节 感应同步器	208
第二节 节点坐标计算	50	第五节 其他位置传感器	212
第三节 刀具中心轨迹坐标计算	56	思考题	219
思考题	60	第十章 电气驱动元件	220
第四章 数控车床编程	61	第一节 步进电动机	220
第一节 数控车床简介	61	第二节 直流伺服电动机	228
第二节 数控车床编程的特点与基础	65	第三节 交流伺服电动机	233
第三节 数控车床编程的过程	74	第四节 直流主轴电动机	235
思考题	79	第五节 交流主轴电动机	236
第五章 数控铣床编程	81	思考题	237
第一节 数控铣床简介	81	第十一章 数控机床伺服系统	238
第二节 数控铣床编程基础及特点	82	第一节 伺服系统的组成和要求	238
第三节 数控铣床编程实例	91	第二节 脉冲比较伺服系统	240
思考题	96	第三节 相位比较伺服系统	241
第六章 计算机数控装置	97	第四节 幅值比较伺服系统	246
第一节 计算机数控系统的组成	97	第五节 进给伺服系统特性对加工精度的影响	251
第二节 计算机数控装置中计算机的组成	100	思考题	252
第三节 计算机数控装置的控制软件	117	第十二章 加工中心简介	254

第一节	加工中心的功能和基本结构	254
第二节	加工中心编程基础	259
第三节	加工中心编程实例	261

思考题	269
参考文献	270

第一章 概 述

第一节 数控机床及其特点

一、数控机床

数字控制 (Numerical Control) 技术, 简称为数控 (NC) 技术, 是指用数字指令来控制机器的动作。采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用存贮程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能的数控系统, 称为计算机数控 (CNC) 系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。数控技术是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。1948 年, 美国 PARSONS 公司在研制加工直升飞机叶片轮廓用检查样板的机床时, 首先提出了数控机床的设想, 在麻省理工学院的协助下, 于 1952 年试制成功了世界上第一台数控机床样机。后又经过三年时间的改进和自动程序编制的研究, 数控机床进入了实用阶段, 市场上出现了商品化数控机床。1958 年, 美国 KEANEY & TRECKER 公司在世界上首先研制成功了带有自动换刀装置的加工中心。

我国于 1958 年开始研制数控机床, 到 60 年代末和 70 年代初, 简易的数控线切割机床已在生产中广泛使用。80 年代初, 我国引进了国外先进的数控技术, 使我国的数控机床在质量和性能上都有了很大的提高。从 90 年代起, 我国已向高档数控机床方向发展。

数控技术虽然不是附属于数控机床, 但它是随着数控机床而发展起来的, 因此, 数控技术一般是指机床数控技术。机床数控技术由机床、数控系统和外围技术三部分组成, 如图 1-1 所示。

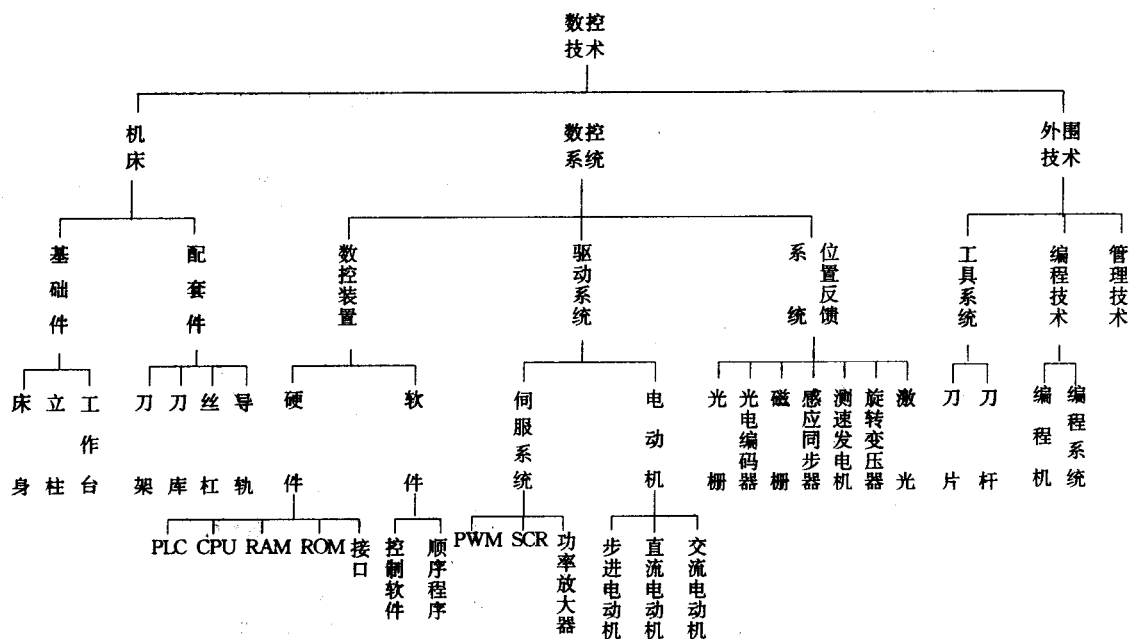


图 1-1 机床数控技术的组成

二、数控机床的特点

1. 数控机床的优点

采用数控技术的金属切削机床具有许多优点：

(1) 对加工对象改型的适应性强。为单件、小批量零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

(2) 加工精度高。数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差，同一批加工零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

(3) 加工生产率高。数控机床通常不需要专用的工夹具，因而可省去工夹具的设计和制造时间，与普通机床相比，生产率可提高 2~3 倍。

(4) 减轻了操作工人的劳动强度。操作者不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度大大减轻。

(5) 能加工复杂型面。数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。

(6) 有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件，能精确地估算零件的加工工时，有助于精确编制生产进度表，有利于生产管理的现代化。

(7) 可向更高级的制造系统发展。数控机床是计算机辅助制造 (CAM) 的初级阶段，也是 CAM 发展的基础。

2. 数控机床的不足之处

数控机床存在的不足之处是：

(1) 提高了起始阶段的投资。

(2) 增加了电子设备的维护。

(3) 对操作人员的技术水平要求较高。

3. 适合数控机床加工的零件

数控机床最适合加工以下零件：

(1) 多品种小批量零件。图 1-2 表示了通用机床、专用机床和数控机床加工批量与成本的关系。从图中可以看出零件加工批量增大对于选用数控机床是不利的。

(2) 几何形状复杂的零件。从图 1-3 中可以看出，数控机床非常适合加工形状复杂的零件。

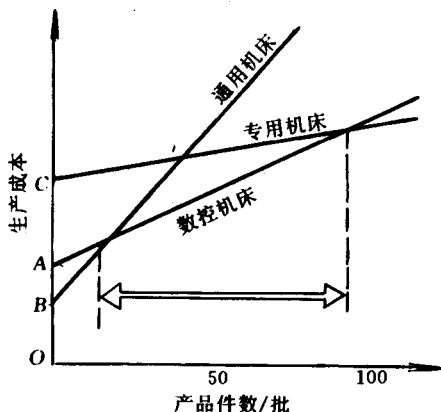


图 1-2 各种机床的加工批量与成本的关系

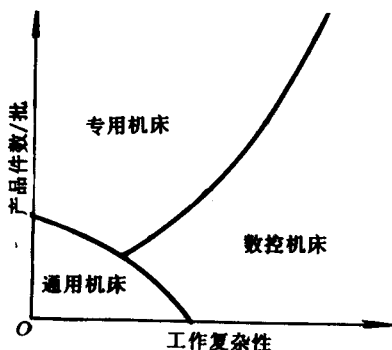


图 1-3 各种机床的使用范围

- (3) 需要频繁改型的零件。
- (4) 贵重的、不允许报废的关键零件。
- (5) 必须严格控制公差的零件。

第二节 数控机床的组成和分类

一、数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术,按照事先编制好的程序实现动作的机床,它由程序载体、输入装置、数控装置、伺服系统、位置反馈系统和机床机械部件组成,如图 1-4 所示。

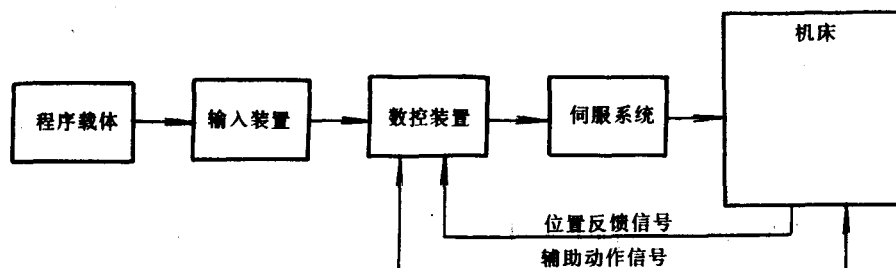


图 1-4 数控机床的组成

1. 程序载体

数控机床是按照输入的零件加工程序运行的。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(走刀量、主轴转数等)和辅助运动等。将零件加工程序以一定的格式和代码,存储在一种载体上,如穿孔纸带、录音磁带或软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到数控装置内。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入数控装置。根据程序载体的不同,输入装置可以是光电阅读机、录音机或软盘驱动器。

现代数控机床,还可以不用任何程序载体,将零件加工程序通过数控装置上的键盘,用手工方式(MDI方式)输入;或者将加工程序由编程计算机用通讯方式传送到数控装置。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。它根据输入的程序和数据,完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等功能。数控装置一般由专用(或通用)计算机、输入输出接口板及机床控制器(可编程序控制器)等部分组成。机床控制器主要用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和换刀功能的控制。

4. 伺服系统

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机等执行装置,它接收数控装置发来的各种动作命令,驱动数控机床进给机构的运动。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

5. 位置反馈系统

位置反馈系统的作用是通过传感器将伺服电动机的角位移和数控机床执行机构的直线位移转换成电信号,输送给数控装置,与指令位置进行比较,并由数控装置发出指令,纠正所产生的误差。

6. 机床机械部件

数控机床的机械部件包括主运动系统、进给系统及辅助装置。对于加工中心类数控机床,还有存放刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)和自动托盘交换装置等部件。与传统的机床相比,数控机床的结构强度、刚度和抗振性,传动系统与刀具系统的部件结构,操作机构等方面都已发生了很大的变化,其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效能。

二、数控机床的分类

数控机床的种类很多,常见的分类有以下四种:

1. 按工艺用途分类

(1) 普通数控机床。这类数控机床和传统的通用机床一样,有车、铣、钻、镗、磨床等,而且每一类里又有很多品种。这类机床的工艺性能和通用机床相似,所不同的是它能自动加具有复杂形状的零件。

(2) 加工中心机床。这是一种在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置而构成的数控机床。它和普通数控机床的区别是:工件经一次装夹后,数控装置就能控制机床自动地更换刀具,连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。

(3) 多坐标数控机床。有些复杂形状的零件,用三坐标的数控机床还是无法加工,如螺旋桨、飞机机翼曲面及其他复杂零件的加工等,都需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状。于是出现了多坐标数控机床。多坐标数控机床的特点是数控装置控制的轴数较多,机床结构也比较复杂,坐标轴数的多少通常取决于加工零件的复杂程度和工艺要求。现在常用的有四个、五个、六个坐标的数控机床。

(4) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

2. 按运动方式分类

(1) 点位控制数控机床。数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确定位;在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格的要求。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床等。

(2) 直线控制数控机床。数控系统除了控制点与点之间的准确位置以外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也要进行控制,以便适应随工艺因素变化的不同需要。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床。数控系统能对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足加工的要求。由于需要精确地同时控制两个或更多的坐标运动,数据处理的速度比点位控制可能高出1 000倍,所以,机床的计算机一般要求具有较高速度的数学运算和信息处理能力。这类数控机床主要有数控铣床、数控车床等。

随着计算机数控装置的发展,如增加轮廓控制功能,只需增加插补运算软件即可,几乎不带来成本的提高。因此,除少数专用的数控机床(如数控钻床、冲床等)以外,现代的数控机床都具有轮廓控制功能。

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环控制系统的数控机床。开环控制系统的数控机床不带位置检测元件，通常使用功率步进电动机作为执行元件。数控装置每发出一个指令脉冲，经驱动电路功率放大后，就驱动步进电动机旋转一个角度，再由传动机构带动工作台移动。图 1-5 是一个典型的开环控制系统。

开环控制系统的数控机床受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度影响，难以实现高精度加工。但由于系统结构简单、成本较低、技术容易掌握，所以使用仍较为广泛。普通机床的数控化改造大多采用开环控制系统。

(2) 闭环控制系统的数控机床。闭环控制系统的数控机床是按闭环原理工作的。图 1-6 为一典型的闭环控制系统。数控装置对位移指令与位置检测元件测得的实际位置反馈信号随时进行比较，根据其差值及指令进给速度的要求，按一定的规律进行转换后，得到进给伺服系统的速度指令。此外还利用与伺服驱动电动机同轴刚性连接的测速元器件，随时实测驱动电动机的转速，得到速度反馈信号，将它与速度指令信号相比较，得到速度误差信号，对驱动电动机的转速随时进行校正。利用上述的位置控制和速度控制的两个回路，可以获得比开环控制系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的特性指标。从图 1-6 中可以看到，闭环控制系统的位置检测元件安装在执行元件上，用以实测执行元件的位置或位移量。

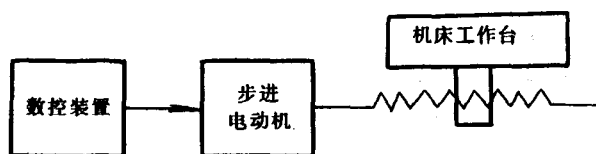


图 1-5 开环控制系统

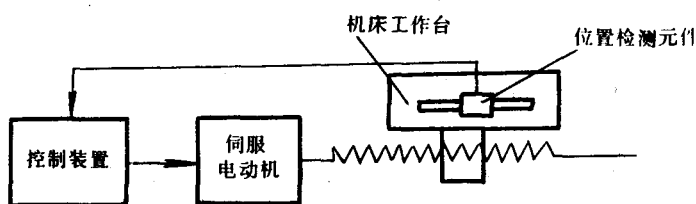


图 1-6 闭环控制系统

(3) 半闭环控制系统的数控机床。如果将位置检测元件安装在驱动电机的端部，或安装在传动丝杠端部，间接测量执行部件的实际位置或位移，就是半闭环控制系统。图 1-7 为一半闭环控制系统。它可以获得比开环控制系统更高的精度，但它的位移精度比闭环控制系统要低。现在大多数数控机床都采用半闭环控制系统。

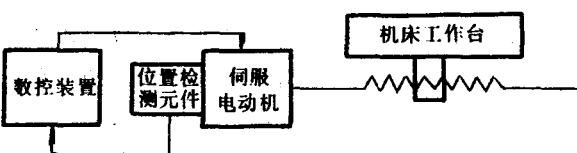


图 1-7 半闭环控制系统

4. 按功能水平分类

(1) 经济型数控机床。经济型数控机床大多指采用开环控制系统的数控机床，其功能简单，价格便宜，适用于自动化程度要求不高的场合。

(2) 标准型数控机床。这类数控机床的功能较全，价格适中，应用较广。标准型数控机床

亦可称为全功能数控机床。

(3) 多功能型数控机床。这类数控机床的功能齐全, 价格较贵。加工复杂零件的大中型机床及柔性制造系统、计算机集成制造系统中使用的数控机床一般为多功能型。

第三节 数控技术的发展

一、数控系统的发展

数控系统由输入装置、数控装置和伺服系统组成, 较高级的机床控制系统还包括位置反馈系统和适应控制系统。目前, 现代数控系统正向以下几个方向发展:

1. 高速化和高精度化

要提高机械加工的生产率, 其中最主要的方法是提高速度, 但是这样做会降低加工精度。现代数控机床在提高加工速度的同时, 也在提高加工精度。目前最小设定单位为 $0.1\mu\text{m}$ 的数控机床, 进给速度可达 24m/min 。这就对数控系统提出了更高的要求。

现代数控系统已普遍采用 32 位微处理器 (CPU), 其总线频率已达 40MHz , 并有向 64 位微处理器发展的趋势。有的系统还制造了插补器的专用芯片, 以提高插补速度, 有的采用多微处理器系统, 进一步提高了控制速度。

为实现高速化和高精度化, 今后数控技术的发展如下:

(1) 使伺服电动机的位置环、速度环的控制实现数字化, 以达到对电动机的高速、高精度控制。

(2) 采用现代控制理论, 减少滞后量, 提高跟随精度。

(3) 采用高分辨率的位置编码器。现代高分辨率位置编码器绝对位置的测量可达 163 840 脉冲/转。

(4) 实现多种补偿功能, 提高数控机床的加工精度和动态特性。

2. 提高系统的可靠性

现代数控机床已大量使用高集成度和高质量的硬件, 大大降低了数控机床的故障率。

此外, 现代数控系统还具有人工智能功能的故障诊断系统, 能对潜在的和发生的故障发出警报, 提示解决方法。

3. 编程自动化

编程自动化就是利用计算机完成数控机床程序编制工作。按输入方式的不同, 自动编程系统分为语言输入方式和图形输入方式。图形输入方式用图形输入设备及图形菜单将零件图形信息直接输入计算机并在屏幕上显示出来, 再做进一步处理, 最终得到加工程序。由于图形输入方式操作简单、直观, 因此, 该方式的自动编程是数控编程的发展方向。现代数控系统一般是多微处理器的, 这样, 在加工上一种零件的同时, 可平行地编制下一种零件的程序。

4. 具有更高的通讯功能

许多工厂希望将多台数控机床组成直接数控 (DNC) 系统, 即用一台通用计算机直接控制和管理一群数控机床进行零件加工或装配, 这就要求数控系统必须提高连网能力。一般数控系统都具有 RS232 和 RS422 远距离串行接口, 并采用光缆通讯, 与同一级计算机进行多种数据交换, 以提高数据传送速度和可靠性。

二、柔性制造技术

1. 柔性制造单元

柔性制造单元 (FMC) 由加工中心和自动交换工件装置所组成, 同时数控系统还增加了自动检测与工况自动监控等功能。这里的柔性是指能够容易地适应多品种、小批量的生产功能。图 1-8 是一 FMC 的示意图。FMC 的生产过程是: 运输小车从装卸站将装有毛坯的托盘送至托盘库工位或直接送至机床上, 接着毛坯就一个接着一个自动地进入加工。加工过程由控制系统进行控制。在加工的同时, 工人可以在装卸站装卸零件, 这样各种零件可以不间断地进行加工。由于它的投资较柔性制造系统 (FMS) 少得多, 技术上又容易实现, 因而深受用户的欢迎。

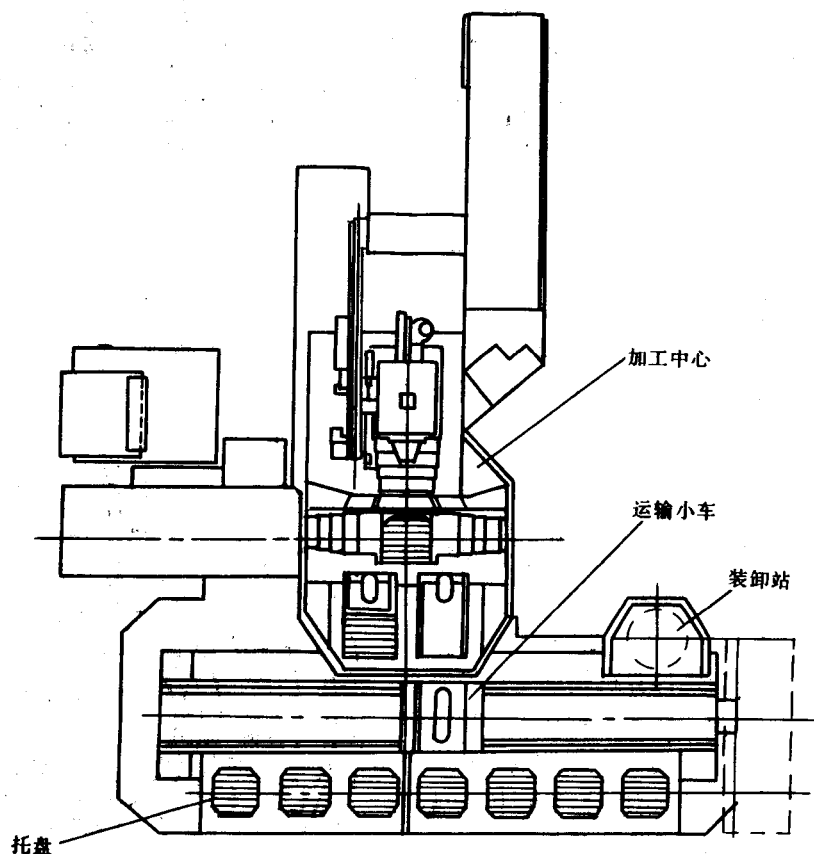


图 1-8 模块化线性托盘库型的 FMC

2. 柔性制造系统

柔性制造系统 (FMS) 是解决多品种、中小批量生产中效率低、周期长、成本高、质量差等问题而出现的高技术制造系统。它主要包括若干台数控机床, 用一套自动物料搬运系统连接起来, 由分布式计算机系统进行综合治理与控制, 协调机床加工系统和物料搬运系统的功能, 以适应柔性的高效率零件加工。这里的柔性是指通过编程或稍加调整就可以同时加工几种不同的零件。FMS 由于解决了零部件的存放、运输及等待时间等问题, 所以可以提高生产率 50% 以上, 并使生产周期缩短 50% 以上。此外由于装夹、测量、工况监视、质量控制等功能的采用, 可使

机床的利用率由 50% 提高到 70%~90%。图 1-9 是一 FMS 示意图,其加工中心是可互换的同种机床,工艺上只限于某一类加工,布局一般采用直线式,多使用有轨自动运输小车。

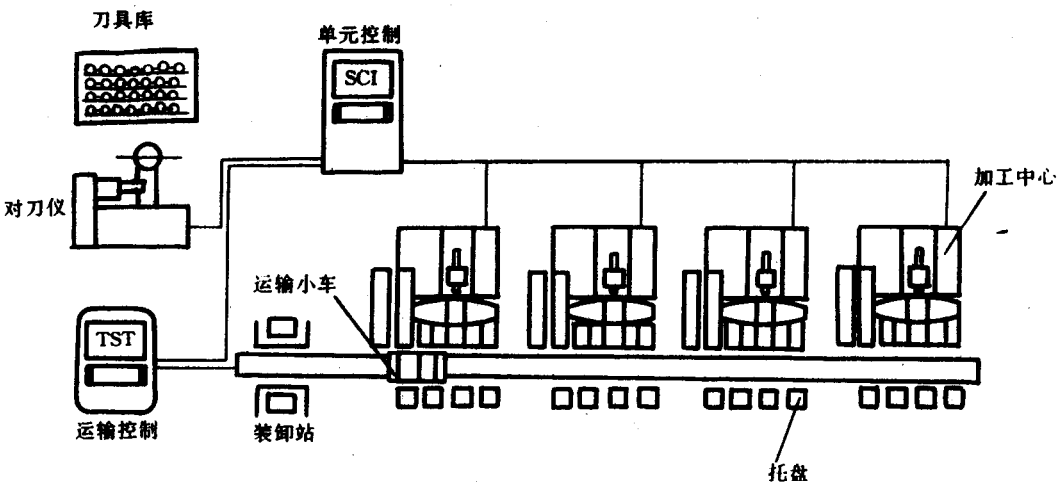


图 1-9 FMS2—4C 示意图

3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统 (CIMS),就是用计算机通过信息集成实现现代化的生产制造,以求得企业的总体效益。图 1-10 表示了 CIMS 的系统结构。

CIMS 的核心是一个公用数据库,其可对信息源进行存储与管理,并与各个计算机系统进行通讯。在此基础上,需要有三个计算机系统。

首先是进行产品设计与制造工艺的计算机辅助设计和计算机辅助制造系统,即 CAD/CAM 系统。

第二个计算机系统是计算机辅助生产控制系统,即 CAP/CAC 系统。此系统对加工过程进行计划、调度与控制。FMS 是这个系统的主体,当它与 CAD/CAM 系统连接起来时,数控机床就可以用 DNC 从 CAD/CAM 系统获得零件的加工程序,从而实现了从设计到产品零件制造的无图样自动加工。

第三个计算机系统是工厂自动化系统,它可以实现产品的自动装配与测试、材料的自动运输与处理等。

在上述三个计算机系统的外围,还需要利用计算机进行市场预测、编制产品发展规划、分析财政状况和进行生产管理与人员管理等。CIMS 是建立在多项先进技术基础上的高技术制造系统,是面向 21 世纪的生产制造技术。为了赶上工业先进国家的机械制造水平,我国 863 计划

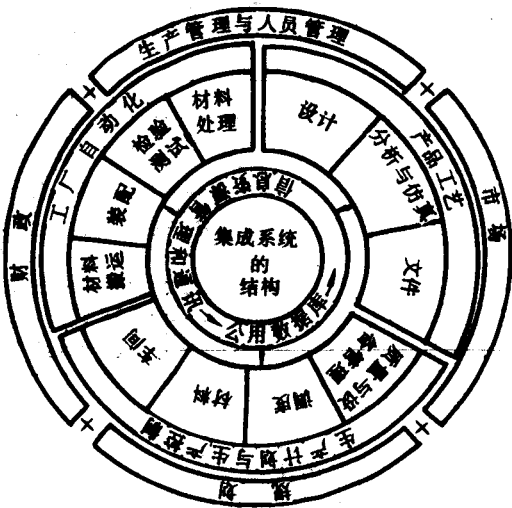


图 1-10 计算机集成制造系统结构图

(即高技术研究和发计划)中已将CIMS在我国的发展和应用列为一个主题,并开展了关键技术的攻关工作,这将对我国机械制造业的现代化起到至关重要的作用。

思 考 题

1. 什么是数控技术?
2. 数控机床有哪些优点和不足之处?
3. 数控机床多用于什么场合?
4. 数控机床由哪些部分组成?
5. 数控机床有哪些分类方式?
6. 点位控制、直线控制和轮廓控制的最主要区别是什么?
7. 开环、闭环和半闭环控制系统由哪些部分组成?它们的工作原理是怎样的?
8. 数控系统的发展方向是什么?
9. FMC与FMS有什么相同处和不同处?
10. FMS中的柔性是指什么?
11. 为什么说计算机集成制造系统CIMS是21世纪制造系统的发展方向?

第二章 数控编程基础和工艺分析

数控机床是在普通机床的基础上，经发展和演变而成的。在普通机床上加工零件时，用工艺规程或工艺卡片来规定每道工序的操作程序和切削用量，操作者按工艺卡片上规定的“程序”动手加工零件。数控加工不需要通过手工去进行直接操作，而是严格按照一套特殊的命令（简称指令），经机床数控系统处理后，使机床自动完成零件加工。数控机床所以能加工出各种不同形状、尺寸和精度的零件，就是因为编程人员为它编制出了不同的数控加工程序。所以说，数控加工程序的编制是数控机床使用中最重要的一环。

第一节 概 述

一、加工程序编制的基本概念

在数控机床加工零件时，需要把加工零件的全部工艺过程和工艺参数，以信息代码的形式记录在控制介质上，并用控制介质的信息控制机床动作，以实现零件的全部加工过程。

从分析零件图样到获得数控机床所需控制介质（工序单或控制带等）的全过程，称为加工程序编制。它的主要内容有工艺处理、数学处理、填写工序单及制带等。

加工程序编制可分为手工编程和自动编程两类。

手工编程时，整个加工程序的编制过程是由人工完成的。这就要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则，而且还必须具备机械加工工艺知识和数值计算能力。

自动编程时，编程人员只要根据零件图样的要求，按照某个自动编程系统的规定，编写一个零件程序，送入编程计算机，由计算机自动进行编制，编程系统能自动打印出工序单和制带。

二、加工程序编制的内容及步骤

一般而言，用数控机床加工任何一个零件，加工程序的编制都要包含八方面的工作内容，并分别在如下的三个阶段中完成。

1. 工艺处理阶段

工艺处理阶段中的主要工作内容是：

（1）分析被加工零件图样，明确加工内容及技术要求，并在此基础上确定零件的加工方式和走刀路线，以及确定切削用量等工艺参数。

（2）制定零件的数控加工工艺过程。在已经确定工艺参数的前提下，考虑零件如何安装，对刀点位置如何选定，该零件如何分步加工，如何使图样上的尺寸精度等技术要求得以实现等等。

（3）选择或设计刀夹具。

2. 数学处理阶段

工艺处理阶段完成后，编程人员便可结合所使用的数控机床控制机的输入要求，通过数学处理计算出应输入给控制机的输入数据。这种计算工作量的大小，随着被加工零件的形状、加工内容及控制机的功能等而有所不同。

3. 制带阶段

在这个阶段中，主要有四项工作内容：

(1) 编制工序单。在工艺处理和数学处理的基础上，再考虑某些辅助工艺处理，如确定准备功能，主轴的正转、反转及停车、变换速度等。这样，便可按控制机输入格式的要求编写出工序单。

(2) 穿孔制带。工序单经过严格检查确认无误后，便作为穿孔制带的依据，由穿孔机制作穿孔纸带。

(3) 纸带校验。除了检查穿孔有无错误外，还应检查包括编程过程中的错误。

(4) 首件的试切削。由生产部门对纸带做进一步检查。一般方法是用划针或用圆珠笔在机床上对涂有颜料的玻璃板或纸上画出零件轮廓形状来检查，最后试切一个零件。经检验合格，这个零件的编程工作才算完成，否则仍要返回到编程部门进行修改，直到完全正确为止。

加工程序编制的一般过程如图 2-1 所示。

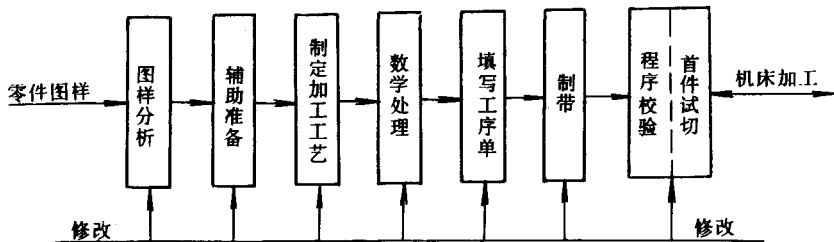


图 2-1 加工程序编制的一般过程

三、加工程序编制中的数控工艺

数控工艺的内容较多，有些又与普通机床加工工艺相似。结合数控加工的特点，数控工艺主要有以下几个方面：

- (1) 选择适合于在数控机床上加工的零件。
- (2) 零件图样的数控工艺性分析。
- (3) 制定数控工艺路线，如工序的划分、加工顺序的安排、基准的选择及与非数控工序的衔接等。
- (4) 数控工序的设计，如工步、刀具的选择，夹具的定位与安装，走刀路线的确定，测量，切削用量等。
- (5) 有关数控工序的调整，如对刀、刀具补偿等。
- (6) 数控加工中的容差分配。
- (7) 部分工艺指令的处理。

在加工程序编制中进行工艺分析时，编程人员应拥有机床的操作说明书和编程指南、切削用量与标准工具手册及其他有关技术参考资料，这样才能对以上这些问题切合实际地进行分析。

四、控制带

数控机床的零件加工程序，可以通过拨码盘、键盘、控制带、磁带、软盘等手段和介质传到数控装置中去。目前多采用控制带作为输入介质。

1. 控制带的概念