



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控机床及应用

(机械制造与控制专业)

主编 王志平



高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据教育部2001年颁发的中等职业学校机械制造与控制专业教学指导方案中主干课程“数控机床及应用”教学基本要求,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的。

本书主要包括:数控机床概述、数控加工工艺分析及编程基础、插补原理与计算、数控车床编程、数控铣床编程、计算机数控系统、数控机床的机械结构、伺服系统及位置传感器、自动编程简介、实验与实训。

本书可作为中等职业学校机械制造与控制专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及应用 / 王志平主编. —北京: 高等教育出版社, 2002.2 (2007 重印)

本书适用中职机械制造与控制专业

ISBN 978-7-04-010263-5

I. 数... II. 王... III. 数控机床 — 专业学校 — 教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第001761号

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	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京市鑫霸印务有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2002年3月第1版
印 张	12.75	印 次	2007年5月第11次印刷
字 数	300 000	定 价	15.60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 10263-00

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据教育部 2001 年颁布的中等职业学校机械制造与控制专业主干课程“数控机床及应用”教学基本要求编写的,是中等职业教育国家规划教材。

本书根据新大纲要求培养生产一线的高素质劳动者和中初级专门人才的目标,对数控知识体系进行了整体优化,选取数控最基本的概念、工作原理及大量编程实例,以教学大纲要求为基础,用通俗易懂、少而精的内容增强学生学习的信心,激发学习的兴趣。以能力培养为主线,通过典型数控机床和数控系统将各部分教学内容有机联系、渗透和互相贯通,通过强调数控编程技术、数控系统的外部特性及数控机床的维护和保养方面较实用的基本知识,体现实用性及广泛适用性。本书增加了 21 世纪制造新技术、新知识的介绍,可开拓学生的视野,满足不同经济发展程度的地区或部分优秀学生学习的需要。

本书共 80 学时,建议学时分配如下:

序 号	内 容	课 时	学 时 分 配	
			讲 课	实验与实训
1	数控机床概述	6	4	2
2	数控加工工艺分析及编程基础	12	10	2
3	插补原理与计算	6	6	
4	数控车床编程	12	6	6
5	数控铣床编程	14	8	6
6	计算机数控系统	8	8	
7	数控机床的机械结构	6	6	
8	伺服系统及位置传感器	10	10	
9	自动编程简介	2	2	
	机动	4	4	
	合计	80	64	16

本书由王志平主编,参加编写的有常州轻工业学校的王志平(第一、四、六、八章)、王荣兴(第二、五章及第十一章第一、二、四节)、吴明友(第三、七章)、徐伟(第九章及第十章第三节)。

本书在编写过程中得到了常州轻工业学校和常州高压电力设备厂的大力支持,常州轻工业学校张世良、朱凌云也参加了部分书稿的编写工作,编者在此一并表示感谢。

本教材通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由北京科技大学罗圣国教授担任责任主审,北京科技大学李晶教授、程国全副教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,谬误欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 7 月

目 录

第一章 数控机床概述	1	第六章 计算机数控系统	98
第一节 数控机床的产生和发展过程	1	第一节 计算机数控系统的组成及微机的作用	98
第二节 数控机床的组成、工作原理和特点	1	第二节 计算机数控系统中的硬件	101
第三节 数控机床的分类	3	第三节 计算机数控系统的控制软件	110
第四节 数控机床的发展	6	第四节 可程序控制器	112
思考题	9	思考题	114
第二章 数控加工工艺分析及编程基础	11	第七章 数控机床的机械结构	115
第一节 数控机床的坐标系	11	第一节 数控机床机械结构的特点	115
第二节 零件装夹方法及工件原点的确定	14	第二节 数控机床的主传动系统	116
第三节 工序的划分及加工路线的确定	17	第三节 数控机床的进给传动系统	119
第四节 切削用量的选择	20	第四节 自动换刀装置及回转工作台	130
第五节 常用编程指令	23	思考题	136
第六节 数值计算方法	29	第八章 伺服系统及位置传感器	137
第七节 手工编程基础	30	第一节 伺服系统的组成和工作原理	137
第八节 工艺文件的编制方法	34	第二节 常用位置传感器	142
思考题	37	第三节 步进电动机	150
第三章 插补原理与计算	39	第四节 直流伺服电动机	155
第一节 插补原理	39	第五节 交流伺服电动机	158
第二节 逐点比较插补法	40	思考题	160
第三节 数字积分插补法	48	第九章 自动编程简介	161
第四节 数字增量插补法	50	第一节 常用自动编程软件	161
思考题	51	第二节 UG 计算机辅助制造系统操作简介	162
第四章 数控车床编程	53	思考题	168
第一节 数控车床编程的特点和基础	53	第十章 实验与实训	169
第二节 数控车床的编程方法	60	实验与实训一 数控机床的组成	169
第三节 数控车床编程举例	70	实验与实训二 基点的计算	172
思考题	73	实验与实训三 数控车床 SINUMERIK802S 系统的操作	173
第五章 数控铣床编程	75	实验与实训四 数控铣床 FANUC 系统的操作	181
第一节 数控铣床编程的特点和基础	75	思考题	193
第二节 数控铣床的编程方法	78	参考文献	195
第三节 数控铣床编程举例	94		
思考题	96		

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的产生和发展过程

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。采用通用计算机硬件结构, 用控制软件来实现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。

数控机床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 20 世纪 60 年代末至 70 年代初, 简易的数控机床已在生产中广泛使用。它们以单板机作为控制核心, 多以数码管作为显示器, 用步进电动机作为执行元件。20 世纪 80 年代初, 由于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。它们具有完备的手动操作面板和友好的人机界面, 可以配直流或交流伺服驱动, 实现半闭环或闭环的控制, 能对 2~4 轴进行联动控制, 具有刀库管理功能和丰富的逻辑控制功能。20 世纪 90 年代起, 我国开始向高档数控机床方向发展, 一些高档数控攻关项目通过了国家鉴定并陆续在工程上得到应用。航天 I 型、华中 I 型、华中—2000 型等高性能数控系统, 实现了高速、高精度和高效经济的加工效果, 能完成高复杂度的五坐标曲面实时插补控制, 可加工出较复杂的整体叶轮及复杂刀具。

第二节 数控机床的组成、工作原理和特点

一、数控机床的组成及工作原理

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 1-1 所示。

1. 程序载体

数控机床是按照程序载体上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、主轴转速等) 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、软磁盘或硬盘等, 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

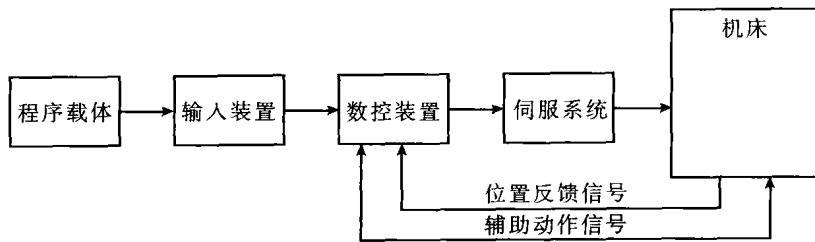


图 1-1 数控机床的组成

输入装置的作用是将程序载体内有关加工程序读入数控装置。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；或者将存储在编程计算机硬盘上的加工程序用通信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、主轴转速功能和刀具功能的控制。

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，驱动数控机床进给传动系统运动。它的伺服精度和动态响应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。

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或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：主传动系统、进给传动系统以及辅助装置。对于加工中心数控机床，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下列优点：

(1) 对加工对象改型的适应性强 这为单件、小批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。

(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，这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) 多品种小批生产的零件。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若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。

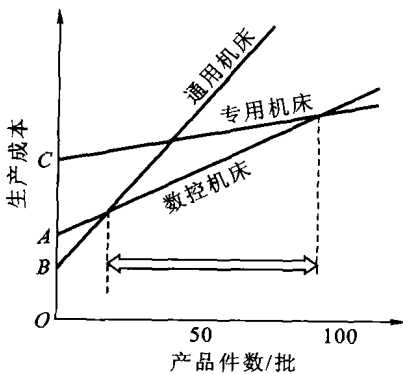


图 1-2 各种机床的加工批量与成本的关系

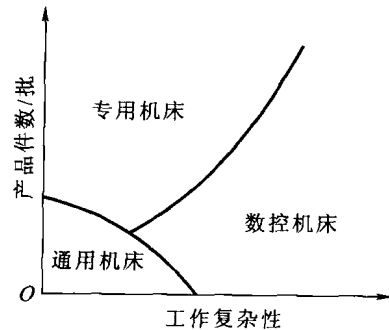


图 1-3 各种机床的使用范围

(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。

第三节 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：

一、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工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，数控系统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、铰及攻螺纹等多工序加工。

(3) 多坐标数控机床 有些形状复杂的零件用三坐标的数控机床是无法加工的，如螺旋桨、飞机机翼曲面以及其他复杂零件的加工等。这些零件都需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状，于是出现了多坐标的数控机床。多坐标数控机床的特点是数控系统控制的轴数较多，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、数控电火花成形机床、数控激光切割机床等。

二、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沿坐标轴方向的直线，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。

随着计算机数控系统的发展，要增加轮廓控制功能只需增加插补运算软件即可，几乎不会带来成本的提高。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。

三、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通常不带位置检测元件，而是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，就都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 1-4 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的影响，难于实现高精度加工。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

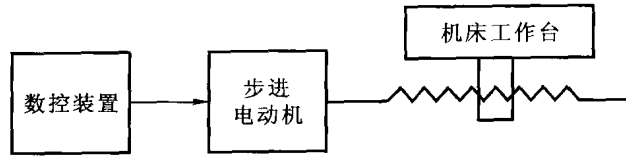


图 1-4 开环控制系统

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 1-5 为一典型的闭环控制系统。数控装置将位移指令与位置检测元件测得的工作台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，得到伺服系统的进给速度指令。此外还利用与伺服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，可以获得比开环伺服系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的特性指标。从图 1-5 中可以看到，闭环控制系统的位置检测元件安装在机床工作台上，用以实测机床工作台的位置或位移量。

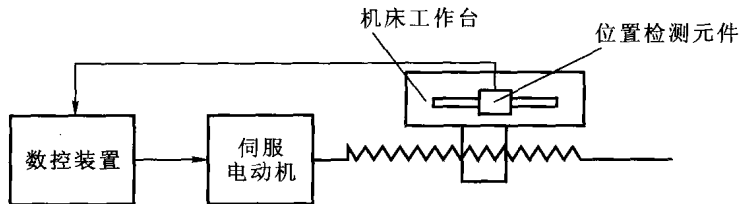


图 1-5 闭环控制系统

(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伺服电动机的端部，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量，就是半闭环控制系统。图 1-6 为一个半闭环控制系统，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。由于位置检测元件安装方便、调试容易，现在大多数数控机床都采用半闭环控制系统。

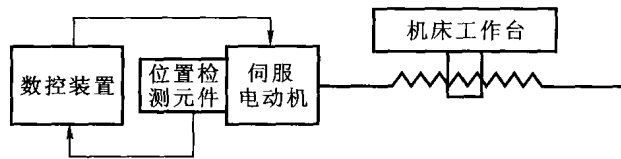


图 1-6 半闭环控制系统

四、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。

第四节 数控机床的发展

一、数控系统的发展

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进行高精度化，目前已可以在最小设定单位为 $0.1\ \mu\text{m}$ 时，使进给速度达到 $24\ \text{m}/\text{min}$ 。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CPU，总线频率已达40 MHz，并有向64位CPU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CPU系统，以进一步提高控制速度。

为实现高速化和高精度化，伺服系统广泛使用如下技术：

(1) 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) 采用高分辨率的码盘。现代高分辨率码盘绝对位置的测量可达163 840脉冲/r。

(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，对潜在的和发生的故障发出警报并提示解决方法。

3. 编程自动化

自动编程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。图形输入方式操作简单、直观，是数控编程的发展方向。现代数控系统一般是多CPU系统，这样，在加工上一种零件的同时，可并行地编制下一种零件的加工程序。

4. 基于PC平台的开放型数控系统

数控系统的发展一直落后于计算机的发展，人们一直在致力于缩短两者在发展中的差距。针对封闭型专用数控系统所带来的不同的编程语言，五花八门的人机界面，多种操作系统，无标准接口等，人们提出了向标准化、规范化的方向发展，设计开放型数控系统的问题。例如，美国的NGC和OMAC计划，欧共体的OSACA计划和日本的OSEC计划等，其核心是制定开放型体系结构规范，发展开放型数控系统。进入20世纪90年代之后，随着通用PC机的发展和普及，特别是开放型计算机的发展，数控系统发生了历史性的变化，其将嵌入式和开放

型结合在一起，比较好地解决了数控系统的设计问题。人们在 PC 机体系结构的基础又设计了新一代嵌入式的数控系统，使 PC 机既有通用 PC 机的通用性，又有数控产品所要求的专用性。

利用通用 PC 机设计新一代开放型数控系统，基本上有两种典型的结构：一种为 PC + NC，例如美国 Autocon、CINCINNATIMILACRON 的 2100；德国 Siemens 的 840D；意大利 Fidia 的 M30；我国航天数控集团的航天 I 型 CASNUC911TC/MC、中国科学院沈阳计算技术研究所的 8540 和北航海尔软件有限公司的 CAXA 等。它们将通用 PC 机与 NC 连接在一起构成前后台结构，形成多机、多过程数控系统。另一种为 PC - based，例如美国 Fadal、德国 IBH、日本朋立、我国航天数控集团、珠峰公司、华中科技大学和南京航空航天大学等都有这种结构的产品，它们将数控专用模板插到通用 PC 机中构成数控系统。这两种不同结构的开放型数控系统，是在一套数控专用模板的基础上，通过充分利用通用 PC 机的软硬件资源实现的。

二、先进制造技术

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、小批生产的功能。图 1-7 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，这样各种零件就可以不间断地进行加工。由于它的投资较柔性制造系统少得多，技术上又容易实现，因而深受用户的欢迎。

2. 柔性制造系统

柔性制造系统（FMS）是解决多品种、中小批生产中效率低、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并用一套自动物料搬运系统将它们连接起来，由分布式计算机系统综合治理与控制，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 解决了零部件的存放、运输以及等待时间等问题，可以提高生产率并缩短了生产周期。此外 FMS 还具有装夹、测量、工况监视、质量控制等功能，使机床的利用率由 50% 提高到 70% ~ 90%。图 1-8 是一 FMS 的示意图。FMS 的加工中心是可互换的同种机床，工艺上只限于某一类零件的加工，布局一般采用直线式，多使用有轨自动运输小车。

3. 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统（CIMS）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。CIMS 的核心是一个分布式工程数据库，可对信息源进行存储与管理，并与各个计算机系统进行网络通信，在分布式工程数据库和计算机网络的支持下，CIMS 由四个基本功能模块组成，如图 1-9 所示。

（1）工程设计分析分系统。其功能是进行产品设计和工艺的计算机辅助设计与制造及计算机综合工程分析，即 CAD/CAM/CAE。该系统使机械制造自动化技术发展为设计、制造和工程分析一体化。

（2）制造自动化分系统（MAS）。MAS 是工厂生产经营活动的基础，是实现 CIMS 递阶规划和控制的关键环节，制造系统的柔性自动化标志着工厂自动化进入了一个新的阶段。产品的市

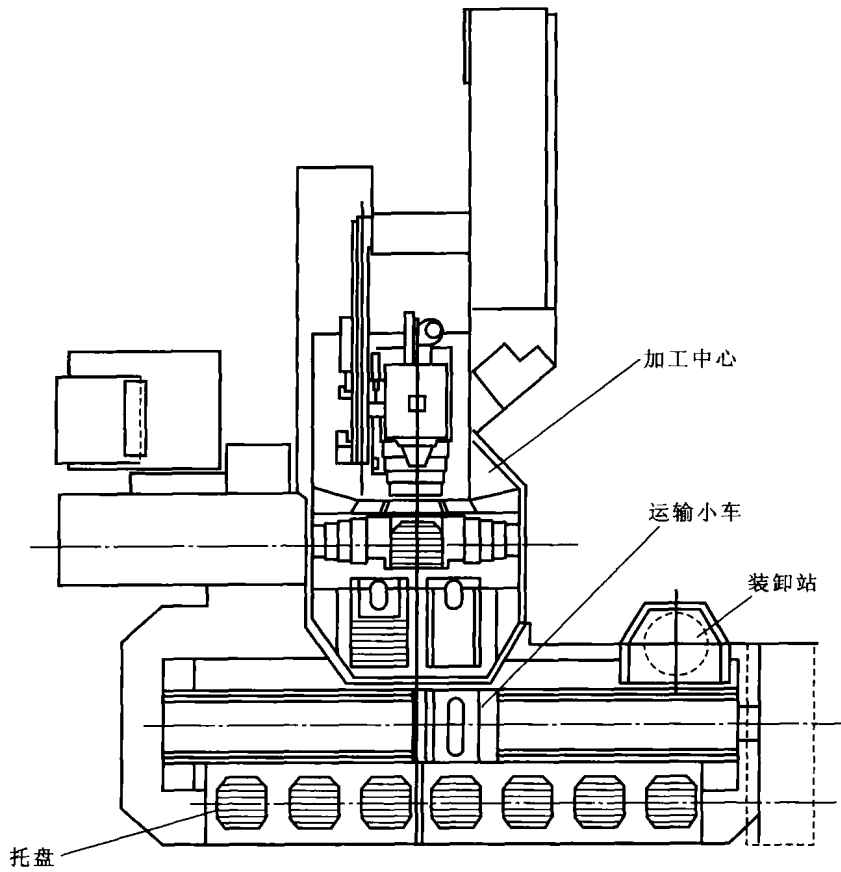


图 1-7 模块化线性托盘库型的 FMC

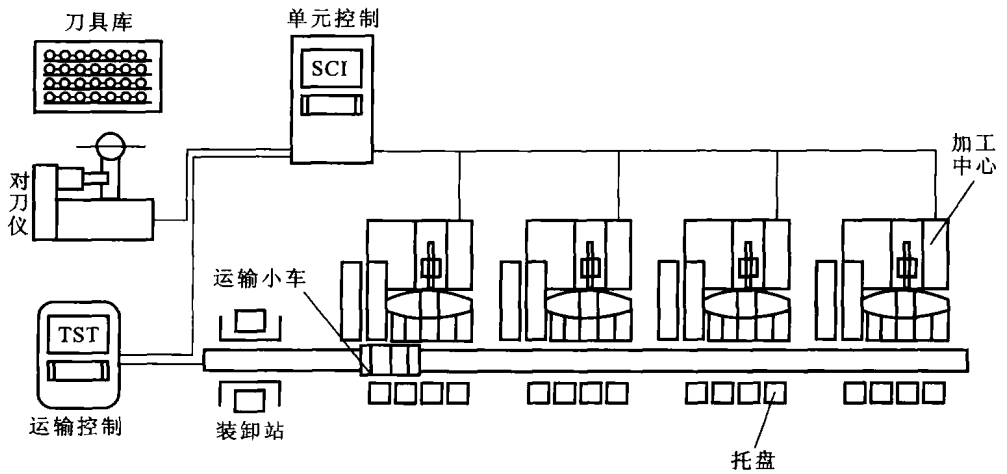


图 1-8 FMS2-4C 示意图

场竞争能力与 MAS 密切相关。

(3) 质量保证分系统。根据全面质量管理的要求，质量保证分系统应贯穿于产品生产的全

过程，也就是说不仅要处理生产制造过程中的零部件产品质量问题，还必须对整个企业的运行状态和各个管理环节进行质量监控，发挥信息与资源高度集成的特点，通过人机结合，对质量环上的各项质量信息进行采集、处理和反馈，提高信息管理水平。

(4) 管理信息分系统(MIS)。MIS 是企事业单位的一种现代化工具，在 CIMS 环境下，建立的管理信息分系统以缩短产品生产周期、降低成本、减少流动资金、提高企业经济效益和应变能力为主要目的，以计划管理为中心，在计算机网络和分布式数据库支撑下，与 CIMS 中其他系统实现集成。

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。我国 863 计划(即高技术研究和发计划)将 CIMS 列为了一个主要课题。

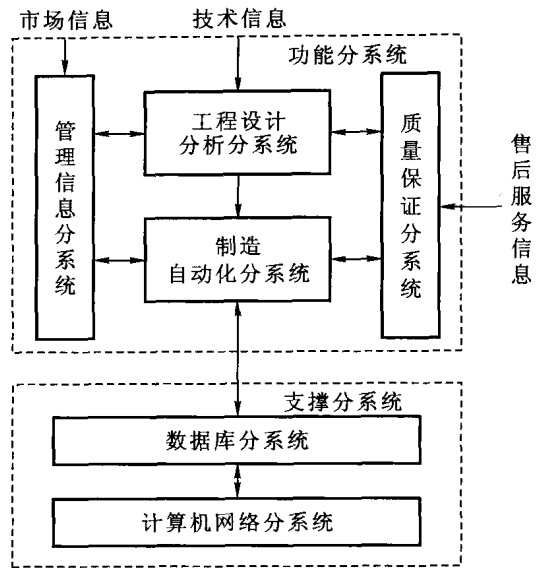


图 1-9 CIMS 系统的组成

4. 敏捷制造系统

敏捷制造(AM)系统采用标准化和计算机化的计算机网络及信息集成基础结构，以分布式结构连接各类企业，构成虚拟制造环境；以竞争合作为原则，在虚拟制造环境内动态选择成员，组成面向生产任务的虚拟公司进行快速生产；系统的运行目标是最大限度地满足用户的需求。

敏捷制造所涉及的范围是一个国家乃至全世界，它是制造模式的一种突破。原来 CIMS 的概念是企业内部各个部分的集成，现在敏捷制造是全球范围内企业和市场的集成，实现面向网络的设计、面向网络的制造、面向网络的销售和面向网络的服务。

敏捷制造主要由两个部分组成：敏捷制造的基础结构和敏捷制造虚拟企业。基础结构为虚拟企业提供环境和条件，敏捷的虚拟企业实现对市场不可预期变化的响应。

敏捷制造策略将提高企业的竞争能力，全部参加虚拟制造环境的公司将能够以更低成本、更少的风险、更短的周期来生产更高质量的产品。

思考题

1. 什么是数控机床？
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. 数控机床由哪几部分组成？
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数控机床的最主要的区别是什么？
7. 开环、闭环和半闭环控制系统各由哪些部分组成？它们的工作原理是什么？
8. 数控系统的发展方向是什么？
9. 开放型数控系统的特点是什么？

10. FMC 与 FMS 有什么相同处和不同处?
11. FMS 中的柔性是指什么?
12. CIMS 由哪些基本功能模块组成?
13. AM 与 CIMS 有什么不同?

第二章 数控加工工艺分析及编程基础

数控机床加工零件时,由机床按照事先编好的加工程序自动地进行加工。所以在编制加工程序过程中,必须全面考虑加工的过程、刀具的选用、零件的尺寸与形状精度及表面粗糙度,即进行加工工艺分析。只有经过良好的工艺分析及制订合理的加工工艺,才能加工出合格的零件。

第一节 数控机床的坐标系

一、坐标轴的命名

在数控机床中统一规定采用右手直角坐标系进行坐标轴的命名,如图2-1所示。图中大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指指向为 Y 轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。 A 、 B 、 C 分别表示绕 X 、 Y 、 Z 的轴线或绕与 X 、 Y 、 Z 轴线相平行的轴转动。

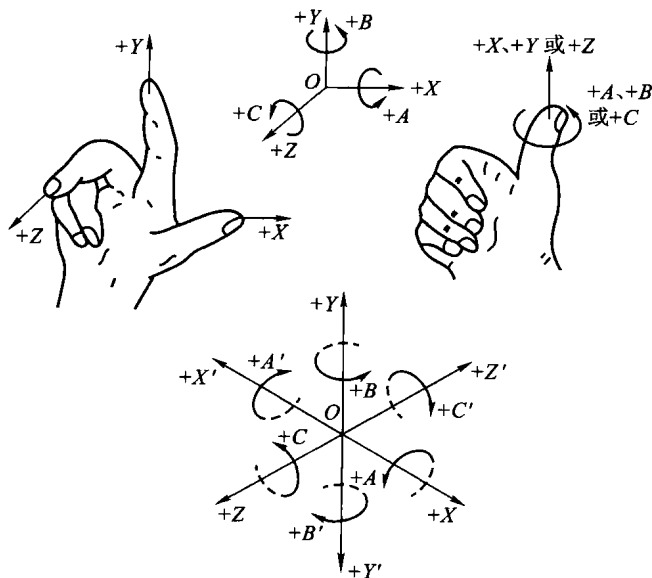


图 2-1 数控机床的坐标系

1. 坐标轴的命名规定

- (1) 坐标系中的各个坐标轴与机床的主要导轨相平行。
- (2) 在加工过程中不论是刀具移动,还是被加工工件移动,都一律假定被加工工件相对静止不动,而刀具在移动,并规定刀具远离工件的运动方向为坐标轴的正方向。
- (3) 如果把刀具看作相对静止不动,工件移动,那么在坐标轴的字母上加“'”,如 X' 、 Y' 、 Z' 等。

(4) 机床主轴旋转运动的正方向用右手螺旋定则确定。

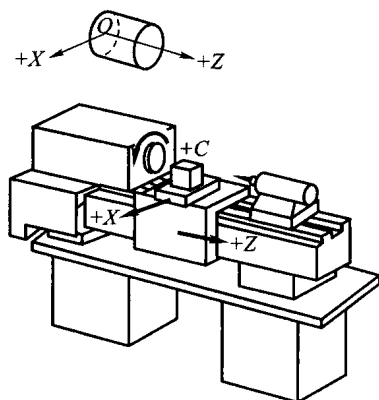


图 2-2 卧式车床

2. 机床坐标系的确定方法

确定机床坐标轴时，一般先确定 Z 轴，再确定 X 轴和 Y 轴。

(1) Z 轴 一般选取产生切削力的轴线作为 Z 轴。对于有主轴的机床，如图 2-2 的卧式车床和图 2-3 的立式升降台铣床等，都以机床主轴轴线作为 Z 轴；对于没有主轴的机床，如图 2-4 的牛头刨床、数控龙门刨床等，则规定都以垂直于装夹面的坐标轴为 Z 轴；同时还规定刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向。

(2) X 轴 X 轴位于与工件装夹面相平行的水平面内。对于机床主轴带动工件旋转的机床，如车床等， X 轴在工件的径向并平行于横向滑板，刀具离开工件旋转中心的方向是 X 轴的正方向(见图 2-2)。

对于机床主轴带动刀具旋转的机床，如铣床、钻床、镗床等，如果 Z 轴是水平的，则从刀具(主轴)向工件看， X 轴的正方向指向右边，如图 2-5 所示。如果 Z 轴是竖直的，则从刀具(主轴)向立柱看， X 轴的正方向指向右边，如图 2-3 所示。

对于无主轴的机床，如刨床等，则选定主要切削方向为 X 轴正方向(见图 2-4)。

(3) Y 轴 Y 轴方向根据已选定的 Z 、 X 轴按右手直角坐标系来确定。

(4) A 、 B 、 C 的转向 选定 X 、 Y 、 Z 坐标轴后，根据右手螺旋定则来确定 A 、 B 、 C 转动的正方向。

(5) 附加坐标系 如果机床在基本的直角坐标系 X 、 Y 、 Z 之外，另有轴线平行于它们的坐标系，则附加的直角坐标系指定为 U 、 V 、 W 和 P 、 Q 、 R 。

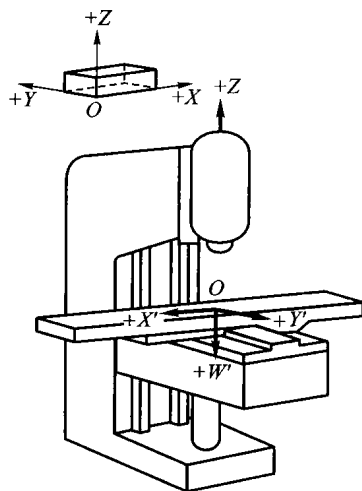


图 2-3 立式升降台铣床