



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

数控技术

主 编 吴瑞明



打破传统教材的模式
贴近学生的实际需求
精、浅、实高度综合



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

“数控技术”是集机械加工技术、微电子技术、自动控制技术和计算机技术等为一体的综合课程。本书系统地介绍了数控加工工艺和编程技术、计算机数控装置、数控机床的伺服控制和位置检测、数控机床的机械结构和刀具系统、数控机床的选用和维修等知识,突出数控机床的编程和维修实践应用。

本书既可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及其自动化专业、模具设计与制造专业以及其他相关专业的教学用书,也可作为相关专业技术人员以及数控机床操作、编程和维修人员的工作参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/吴瑞明主编. —北京:北京大学出版社, 2012. 9

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-21144-1

I. ①数… II. ①吴… III. ①数控技术—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 193983 号

书 名: 数控技术

著作责任者: 吴瑞明 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 童君鑫 黄红珍

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21144-1/TH·0308

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 291 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着科学技术的不断发展,世界上工业发达国家都把发展数控技术作为机械工业发展的战略重点,我国近年来在该领域也有了很大的发展。但是,从企业使用数控机床的情况调查中发现,数控设备在使用过程中,经常出现故障造成停产待修等现象,严重影响了企业的生产进程。分析其原因,企业严重缺乏数控机床维修人员是关键所在,企业急需能够对数控机床进行维修、安装、调试的人员。以数控加工工艺和编程为基础,为企业培养出合格的数控机床维修人员是我们教育工作者的责任和义务。

从现有的《数控技术》教材中可以看出,它更强调和重视学科体系的系统性和完整性,强调基础的重要性,其实践性教学力度不大,属于专业教育而不是专长教育,脱离了应用型本科教学的宗旨。

在当前教学中,要注重以下内容的拓展:

- (1) 数控操作;
- (2) 知识的综合应用,如数控工艺知识、刀具等;
- (3) 数控维修和故障诊断等。

教材是实现教学的重要保证,教材的编写要结合生产实际,由浅入深,配备实例教学,强调应用性,突出数控技术的编程和数控维修技能培养。因此我们在编写本书过程中,注重学生自学能力的培养,充分利用学生的形象思维,贴近学生的实际,做到专业理论始终围绕专业实训这项核心活动,打破传统教材的模式,做到精、浅、实的高度综合,不求学科体系的完整,但求实用。

参加本书编写的人员有浙江科技学院吴瑞明副教授、吴坚教授、周刚副教授、李岸副教授、朱勇建副教授、徐军民讲师、徐兴博士、凌玮工程师、胡伟蓉高级实验师及硕士生姜金,东南大学陈建松高级工程师。具体分工如下:第1章(吴瑞明、姜金为),第2章(吴瑞明、吴坚),第3章(吴瑞明、吴坚、徐军民、徐兴),第4章(吴坚、吴瑞明、凌玮、胡伟蓉、姜金为)、第5章~第7章(吴瑞明),第8章(吴坚、李岸、吴瑞明、朱勇建),附录(周刚、朱勇建)。本书由吴瑞明担任主编,吴坚担任副主编,全书由吴瑞明统稿,陈建松参与了第1、3、8章部分内容的编写和稿件整理工作。教材编写过程中,参阅了国内外相关资料、文献、教材和教案,参阅了百度文库部分数控资料,并得到了专家和同行的指导,在此一并致谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年6月

目 录

第 1 章 数控技术概论	1
1.1 数控机床简介	1
1.1.1 数控技术的产生	1
1.1.2 数控机床的特点	2
1.2 数控机床的组成与工作原理	2
1.2.1 数控机床的组成	2
1.2.2 数控机床的工作原理	3
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按加工工艺类型分类	4
1.3.2 按机床运动轨迹分类	5
1.3.3 按伺服系统类型分类	6
1.3.4 按控制坐标数分类	7
1.4 数控技术的发展	8
1.4.1 数控机床的发展	8
1.4.2 柔性制造系统和柔性制造单元	10
思考题	12
第 2 章 数控加工编程基础	13
2.1 数控加工工艺基础	13
2.1.1 数控加工工艺特点	13
2.1.2 数控加工的适应性及工艺性分析	15
2.1.3 数控加工的工艺文件	16
2.2 数控加工工艺设计	17
2.2.1 数控加工工艺设计内容	17
2.2.2 工序的划分	18
2.2.3 刀具和走刀路线	18
2.2.4 切削用量的确定	23
2.2.5 数控机床的坐标系	24
2.2.6 数控加工要考虑的几个关键问题	28
2.3 数控编程基础	32
2.3.1 手工编程和自动编程	32
2.3.2 程序结构与程序段格式	34
2.3.3 数控编程特点	38
思考题	41
第 3 章 普通数控机床编程及实训	42
3.1 FANUC 系统编程	42
3.1.1 FANUC 数控系统	42
3.1.2 FANUC 数控车削编程常用指令	44
3.1.3 FANUC 数控铣削编程常用指令	58
3.2 SIEMENS 系统编程	66
3.2.1 SIEMENS 数控系统	66
3.2.2 SIEMENS 数控车床编程常用指令	67
3.2.3 SIEMENS 数控铣床编程常用指令	73
思考题	78
第 4 章 加工中心编程和自动编程软件	81
4.1 MAHO 数控系统	81
4.2 车削加工中心 MAHO GR350C 常用指令	85
4.3 铣削加工中心 MAHO 600C 常用指令	96
4.4 常用 CAM 软件	111
4.4.1 MasterCAM 介绍	113
4.4.2 Pro/E NC 介绍	115
思考题	118
第 5 章 计算机数控装置	121
5.1 数控系统的组成	121
5.1.1 CNC 的基本组成	121
5.1.2 CNC 装置的功能	123

5.1.3 CNC 系统控制软件	125	第 7 章 数控机床的机械结构和刀具系统	153
5.2 CNC 装置的插补原理	126	7.1 数控机床的机械结构	153
5.3 刀具半径补偿原理	130	7.1.1 数控机床机械系统结构要求	153
5.4 进给速度控制	131	7.1.2 数控机床主轴部件	155
5.4.1 自动升降速控制的必要性	131	7.1.3 数控机床导轨	156
5.4.2 常用自动升降速规律	131	7.1.4 数控回转工作台	159
5.5 数控系统中的 PLC 介绍	132	7.2 刀具系统	160
思考题	133	7.2.1 刀具基础知识	160
第 6 章 数控机床的伺服控制和位置检测	134	7.2.2 刀具角度	163
6.1 伺服控制原理	134	7.3 数控机床常用刀具选择	165
6.1.1 进给伺服系统的要求	134	7.4 自动换刀装置	168
6.1.2 步进电动机原理	135	思考题	169
6.1.3 常用直流伺服电动机	139	第 8 章 数控机床的选用和维修	170
6.1.4 交流伺服电动机	140	8.1 数控机床选用和调试方法	170
6.1.5 步进电动机和交流伺服电动机性能比较	141	8.1.1 数控机床选用	170
6.1.6 伺服系统的发展与数字化控制	142	8.1.2 数控机床安装和调试	171
6.2 常用位置检测装置	143	8.2 数控机床故障诊断方法	174
6.2.1 位置检测装置的要求	143	8.2.1 故障诊断及分类	174
6.2.2 旋转变压器检测原理	144	8.2.2 数控机床维修与维护基础	176
6.2.3 感应同步器检测原理	146	8.2.3 数控机床维修实训	179
6.2.4 光栅位置检测装置的结构和检测原理	149	8.2.4 数控机床分类维修	181
6.2.5 脉冲编码器的结构和检测原理	150	思考题	183
6.2.6 其他位置检测装置	152	附录	184
思考题	152	参考文献	193

第 1 章

数控技术概论



教学目的及要求

- (1) 掌握数字控制和数控机床等基本概念、数控机床的组成及分类；
- (2) 理解数字控制原理及数控机床的加工特点；
- (3) 了解数控技术的产生背景、发展现状及发展趋势。

1.1 数控机床简介

1.1.1 数控技术的产生

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出计算机控制机床的设想。1949 年，该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，开始数控机床研究，并于 1952 年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床，不久即开始正式生产。

当时的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件；1959 年，晶体管元件和印制电路板的研制成功，使数控装置进入了第二代，体积缩小，成本有所下降；1960 年以后，较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展，使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。

1965 年，出现了第三代的集成电路数控装置，它不仅体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和产量的发展。到了 20 世纪 60 年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统(简称 DNC)，又称群控系统；采用小型计算机控制的计算机数控系统(简称 CNC)，使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年,研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置(简称 MNC),这是第五代数控系统。第五代与第三代相比,数控装置的功能扩大了一倍,而体积则缩小为原来的 $1/20$,价格降低了 $3/4$,可靠性也得到极大的提高。

20 世纪 80 年代初,随着计算机软硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置;数控装置更加趋向小型化,可以直接安装在机床上;数控机床的自动化程度进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

在国内,“八五”期间,华中 I、中华 I、航天 I 和蓝天 I 四种基本系统建立了具有中国自主知识产权的数控技术平台。具有中国特色的经济型数控系统有上海开通数控技术有限公司 KT 系列数控系统、北京凯恩帝的 KND 系列数控系统、广州数控设备厂的 GSK 系列数控系统等。应用较成熟的如华中数控系统(HNC),HNC 系统已开发和应用的产品有 HNC-I 和 HNC-2000 两个系列共计 16 种型号。

1.1.2 数控机床的特点

所谓机械加工,就是把金属毛坯零件加工成所需要的形状,包含尺寸精度和几何精度两个方面,车、铣、刨、磨、镗、钻、电火花、剪板、折弯、激光切割等都是机械加工方法。能完成以上功能的设备都称为机床,数控机床就是在普通机床上发展过来的,数控的意思就是数字控制。我们一般所说的数控设备,主要是指普通数控机床和加工中心(简称 MC)。

数控机床的特点:

(1) 具有广泛的适应性和较大的灵活性,能适应不同零件的自动加工。可大大缩短生产周期,有利于产品更新换代。

(2) 具有高的生产效率。加工时可以采用大切削用量,加之换刀等辅助动作的自动化,与普通机床相比数控机床的生产率可以提高 $2\sim 3$ 倍。尤其是对一些复杂零件的加工,其生产率可提高十几倍、甚至几十倍。

(3) 具有高的加工精度,稳定的加工质量。由于数控机床是按照编写的零件加工程序自动加工的,因而可以避免人为因素带来的误差。另外,通过机电控制、应用软件进行精度校正和补偿等。因此,不但加工精度高,而且质量稳定。

(4) 复杂型面加工,如复杂型面模具、整体涡轮、发动机叶片等。

(5) 工序集中,一机多用。如一次装夹后几乎可以完成零件的全部加工,节省了劳动力以及工序间运输、测量和装卡等辅助时间,同时也节省了厂房面积。

(6) 使生产环境得到改善,并可大大地减轻操作者的劳动强度。

(7) 可以实现精确的成本核算和生产进度安排;可以大大地减少在制品的数量,加速流动资金周转。因而有利于生产效率的提高。

(8) 是实现柔性自动加工的重要设备,是发展生产和计算机辅助制造(CAM)的基础。

1.2 数控机床的组成与工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床由信息载体、数控系统、伺服系统和机床本体四大部分组成,如图 1.1 所示。

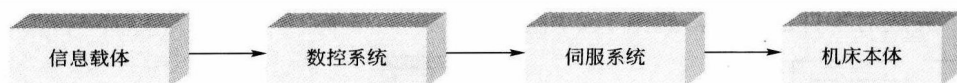


图 1.1 数控机床的组成

1. 信息载体

信息载体又称为控制介质，用来记录零件加工的工艺过程、工艺参数和位移数据等各种加工信息，以控制机床的运动，进行零件的数控加工。

2. 数控系统

数控系统是数控机床的神经中枢，由专用或通用计算机、输入/输出接口及机床控制器(可编程控制器)等部分组成，接收输入装置输入的加工信息，完成计算、逻辑判断、输入/输出控制等功能，发出相应的数字信号给伺服系统，进一步通过伺服系统来控制机床的运动。

3. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分，由速度控制单元、位置控制单元、测量反馈单元、伺服电动机及机械传动装置组成。它接收数控系统发来的数字信号，控制机床上的移动部件按所要求的定位精度和速度进行运动。伺服系统的性能直接影响数控机床的加工精度和生产效率。

4. 机床本体

大多数数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统，大大简化了机床的机械传动结构。在机床中更多地采用了如滚珠丝杠、直线滚动导轨等高效传动部件，提高了机床的传动效率和灵敏度。

为了保证机床具有很强的工艺适应性能和连续稳定工作的能力，数控机床结构设计的特点是具有足够的刚度、精度、抗振性、热稳定性和精度保持性。进给系统的机械传动链采用滚珠丝杠、静压丝杠和无间隙齿轮副等，以尽量减小反向间隙。机床采用塑料减摩导轨、滚动导轨或静压导轨，以提高运动的平稳性并使低速运动时不出现爬行现象。

由于采用了宽调速的进给伺服电动机和宽调速的主轴电动机，可以不用或少用齿轮传动和齿轮变速，这就简化了机床的传动机构。机床布局便于排屑和工件装卸，部分数控机床带有自动排屑器和自动工件交换装置。大部分数控机床采用具有微处理器的可编程序控制器，以代替强电柜中大量的继电器，提高了机床强电控制的可靠性和灵活性。

随着微电子技术、计算机技术和软件技术的迅速发展，数控机床的控制系统日益趋向于小型化和多功能化，具备完善的自诊断功能，可靠性也大大提高，数控系统本身将普遍实现自动编程。

1.2.2 数控机床的工作原理

在数控机床上加工零件时，首先根据零件的加工图样确定零件的加工工艺、工艺参数和刀具位移数据，再按数控系统的指令格式编写数控加工程序，可在机床操作面板上输入加工程序或在计算机上输入程序再利用通信软件传输给数控系统，在数控系统内控制软件的支持下，对程序进行处理和计算，给伺服系统发出相应的信号，控制机床按所要求的轨

迹运动, 完成对零件的加工, 如图 1.2 所示。

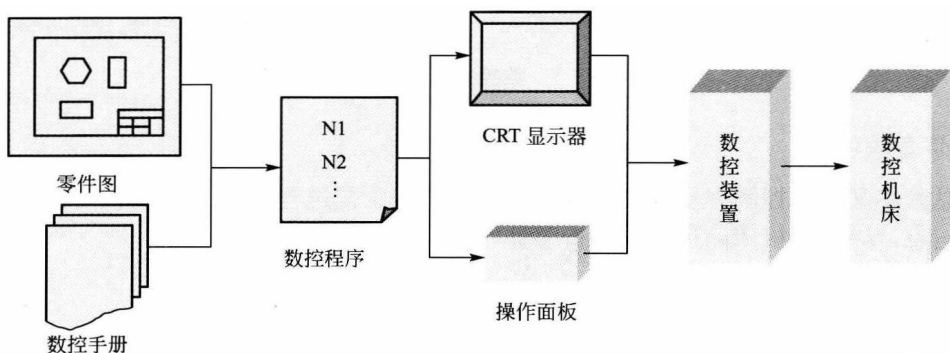


图 1.2 数控机床的工作原理

数控系统的主要工作有输入、译码、数据处理、插补、伺服输出等。

1. 输入

CNC 数控系统通常有两种不同的输入工作方式: 一是一次将程序读入数控系统内的存储器; 另一种是边传输边加工, 将程序读入一部分到缓冲区, 进行加工, 同时再读取下一段程序。

2. 译码

输入的加工程序是按数控系统所要求的指令格式编写的。它包含零件的几何信息 G 指令(直线或圆弧, 起点、终点坐标等)、加工工艺信息 S 指令与 F 指令(主轴转速、进给量等)、刀具信息 T 指令(刀具半径补偿、长度补偿)和辅助信息 M 指令(主轴正反转、开停, 冷却液开停, 换刀等)。译码程序将加工程序的代码翻译成计算机内部能识别的机器代码。

3. 数据处理

数据处理程序包括刀具半径补偿、速度计算以及辅助功能的处理等。

4. 插补

插补是对一条已知曲线在起点和终点之间的数据进行细化的过程, 即将一条曲线分解成许多条直线或圆弧。插补有直线插补、圆弧插补和抛物线插补等几种。CNC 数控系统是边插补边加工的。

5. 伺服控制

数控系统在每个采样周期内计算出一个微小的位置增量, 伺服控制系统完成该采样周期的位置伺服计算, 输出到伺服驱动进口中去。

1.3 数控机床的分类

1.3.1 按加工工艺类型分类

1. 普通数控机床

普通数控机床和传统的通用机床一样, 有车床、铣床、钻床、镗床、磨床等, 而且每

一类里又可分为许多品种。如数控铣床中又可分为立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。与通用机床相比,普通数控机床能加工具有复杂形状的零件。

2. 加工中心

在普通数控机床上增加一个刀具库和自动换刀装置就构成了加工中心。在加工中心上加工零件,可经一次装夹加工除底面外的所有面。数控系统能控制机床自动更换刀具,连续自动地进行铣(车)、镗、钻、铰、攻螺纹、倒角等多工序加工,故又称为多工序数控机床。某些加工中心还可以配上自动交换工作台、机械手,进一步提高加工效率。

3. 金属成形类数控机床

对金属板件、管件进行成形处理的数控机床。如数控折弯机、数控冲床、数控弯管机、数控回转头压力机等。

4. 虚拟轴机床

虚拟轴机床(Virtual Axis Machine Tool)如图 1.3 所示,是近年来逐渐兴起的一种并联结构机床,被称为 21 世纪的新型加工设备。机床的形状酷似六足虫,所以也被称为六条腿(Hexapod)机床。机床主体在运动学上属于并联运动机构,也有人把此类机床称为并联机床(Parallel Structured Machine Tool)。

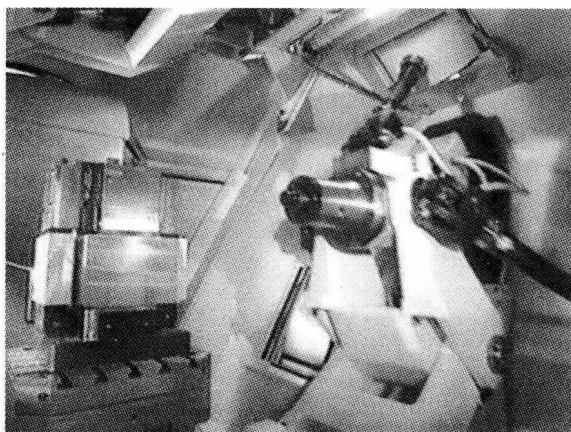


图 1.3 虚拟轴机床

虚拟轴机床突破了传统机床的工作轴线的概念,这类机床通常由并联杆系构成,其典型结构是通过可以伸缩的六条“腿”连接定平台和动平台,每条“腿”各自单独驱动。控制六条“腿”的长度就可以控制装有主轴头的动平台在空间中的位置和姿态,实现具有六自由度运动的复杂曲面加工。

1.3.2 按机床运动轨迹分类

1. 点位控制系统(Positioning Control System)

点位控制系统又称为点到点控制系统(Point to Point Control System)。刀具从起点向终点移动时,不论其中间的移动轨迹如何,只要求刀具最后能准确地到达终点,如图 1.4 所示。点位控制在移动过程中不进行加工,对其移动速度也无严格要求。可以先移动一个

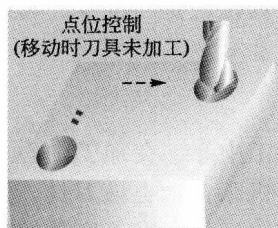


图 1.4 点位控制

坐标轴,再沿另一个坐标轴移动,也可多个坐标轴同时移动,甚至沿空间曲线移动。通常是以快速沿直线运动,以缩短点位时间。点位系统主要用于数控钻床、数控坐标镗床和数控冲剪床等。

2. 直线控制系统(Straight Control System)

直线控制系统控制刀具或工作台以所要求的速度,沿平行于某一坐标轴方向进行直线切削,如图 1.5 所示。它也可沿与坐标轴成 45° 的斜线进行切削,但不能沿任意角度的直线进行直线切削。直线控制系统通常也具备刀具半径补偿功能,主轴转速、进给量控制功能。该类控制系统通常还具备点位控制功能,称为点位-直线控制系统。它主要用于数控镗铣床、数控加工中心。

3. 轮廓控制系统(Contouring Control System)

轮廓控制系统又称为连续控制系统(Continuous Control System)。这类控制系统可对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续地控制,因而可以进行空间曲线或曲面的加工,如图 1.6 所示。



图 1.5 直线控制

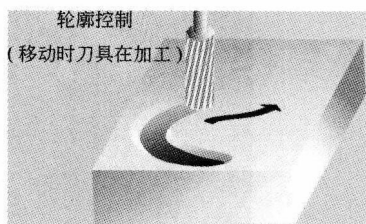


图 1.6 轮廓控制

1.3.3 按伺服系统类型分类

伺服机构分为开环、半闭环和闭环三种类型。

1. 开环伺服系统

开环伺服系统为无位置反馈的系统,其驱动元件主要是功率步进电动机或电液脉冲马达,典型的系统原理如图 1.7 所示。开环系统由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、齿轮箱、丝杠螺母传动副所组成。

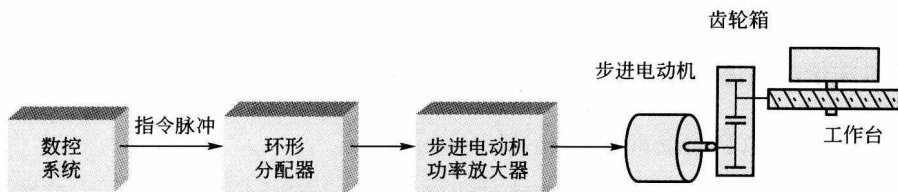


图 1.7 开环伺服系统

当步进电动机或电液脉冲马达接收到 CNC 送来的一个指令脉冲后,即可转动一个单位步距,相对于一个角度位移当量。CNC 连续发送脉冲,就会实现连续转动,转过的角度与脉冲的个数成正比。进给脉冲的频率决定了运动的速度。

开环系统的结构简单,易于控制,但由于没有位置检测装置,精度差(主要取决于传动链的精度和步进电动机的步距角精度)。这种系统的脉冲当量(即分辨率为 1 个脉冲移动的位移量)多数为 0.01 mm,定位精度大于 ± 0.02 mm,被广泛应用于精度要求不太高的中小型数控机床上。

2. 半闭环伺服系统

半闭环伺服系统与闭环伺服系统相比,它使用安装在进给丝杠或电动机轴端的角位移测量元件(如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等)来代替安装在机床工作台上的直线测量元件,用测量丝杠或电动机轴的旋转角位移来代替工作台的直线位移。

3. 闭环伺服系统

闭环伺服系统是误差控制的随动系统。测量装置可采用感应同步器或光栅等直线测量元件。目前,这种系统的分辨率一般在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上,定位精度可达 $\pm 0.005\sim\pm 0.01$ mm 以上。但这种系统调试复杂、成本较高,多用于精度要求较高的数控机床,如加工中心等。

闭环控制系统对机械结构及传动系统的要求比半闭环要高,采用直线电动机作为驱动系统的执行器件,可以完全取消传动系统中将旋转运动变为直线运动的环节,实现所谓的“零传动”,从根本上消除传动环节对精度、刚度、快速性、稳定性的影响,获得更高的定位精度、快进速度和加速度。

1.3.4 按控制坐标数分类

控制坐标数是指同时能控制且相互独立的轴数。可分为 2 轴、2.5 轴、3 轴、4 轴和 5 轴等数控机床。

2.5 轴控制是指两个轴连续控制、第三个轴点位或直线控制,从而实现三个轴 X、Y、Z 内的两维控制。图 1.8 所示为 MAHO 加工中心。

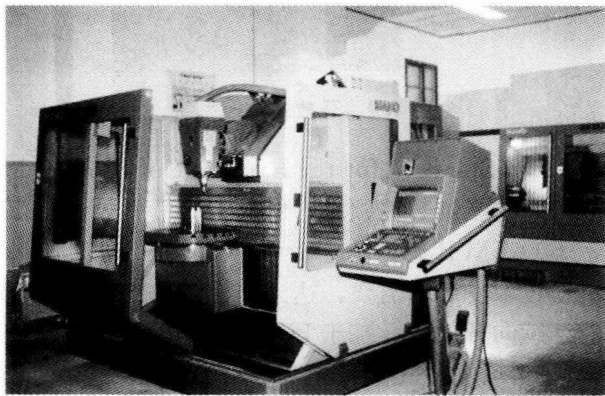


图 1.8 MAHO 加工中心

5 轴控制是在三个移动坐标 X、Y、Z 之外,再加上两个旋转坐标 A、B。刀具可以给定在空间的任意方向,可用来加工极为复杂的空间曲面,如叶片、叶轮等。

1.4 数控技术的发展

1.4.1 数控机床的发展

数控机床先后经历了电子管、晶体管、小规模集成电路、小型计算机(CNC)、微型机(MNC)和微机(PC)数控系统六个发展阶段。

到 20 世纪 80 年代, 总体发展趋势是数控装置由 NC 向 CNC 发展; 广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统; 提高系统的集成度, 缩小体积, 采用模块化结构, 便于裁剪、扩展和功能升级, 满足不同类型数控机床的需要; 驱动装置向交流、数字化方向发展; CNC 装置向人工智能化方向发展; 采用新型的自动编程系统; 增强通信功能; 数控系统可靠性不断提高。

图 1.9 为一个典型的多处理器 CNC 系统。这个系统中共有四个微处理器计算机模块板, 在主处理器的统一管理下分担不同的控制任务。

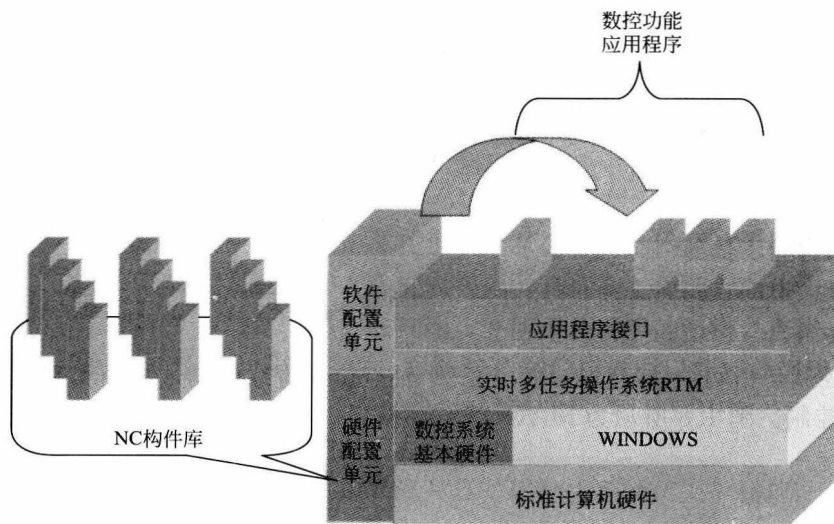


图 1.9 开放式数控系统

产品模型数据转换标准 (Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP) 是面向对象的数据模型, 将此扩展到数控领域, 形成了 STEP-NC, 新标准废弃了传统的数控程序, 无后置处理, 无 G、M 代码。

为了满足市场和科学技术发展的需要, 达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求, 数控技术未来仍然继续向开放式、基于 PC 的高速化、高精度化和智能化等方向发展, 包括以下特征。

1. 高速、高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标, 直接关系到加工效率和产品的质量, 为实现更高速度, 更高精度的指标, 目前主要从以下几点采取措施进行研究。

(1) 数控系统——采用位数, 频率更高的微处理器, 以提高系统的基本运算速度。目前程序中中断处理时间一般小于 $1\ \mu\text{s}$ 。

(2) 伺服驱动系统——全数字伺服交流系统, 所谓数字伺服系统, 指的是伺服系统中的控制信息用数字来处理, 它一般具有以下特征:

- 采用现代控制理论, 通过计算机软件实现最佳最优的控制;
- 数字伺服系统是一种离散系统, 它是由采样器和保持器两个基本环节组成的, 位置/速度/电流构成的反馈全部数字化, PID 软件化;
- 数字伺服系统具有较高的动静精度, 有很强的抗干扰能力;
- 系统一般配有 SERCOS(串行实时通信系统)板, 可实现大信息量数据的高速、无声的传输。

(3) 机床静动摩擦的线形补偿控制技术, 减少或消除机床的爬行。

(4) 高速大功率电主轴的应用——在超高速加工中, 对机床主轴转速提出了极高的要求($10\ 000\sim 75\ 000\ \text{r/min}$), 传统的齿轮变速主传动系统已不能适应其要求。

(5) 配备高速, 功能强的内装式可编程控制器 PLC。

2. 多功能化、智能化、小型化

- 数控机床一机多能, 以最大限度地提高设备的利用率。
- 前台加工, 后台编辑的前后台功能, 以充分提高其工作效率和机床利用率。
- 具有更高的通信功能, 现代数控机床除具有通信口, DNC 功能外, 还具有网络功能。
- 自适应控制技术——自适应控制(AC)技术的目的是要求在随机变化的加工过程中, 通过自动调节加工过程中所测得的工作状态和特性, 按照给定的评价指标自动修正工作参数。
- 采用故障自诊断、自修复功能——利用 CNC 系统的内装程序实现故障诊断, 一旦出现故障时, 立即采取停机等措施, 自动使故障块脱机, 接通备用模块并通过 CRT 进行故障报警。
- 刀具寿命自动检测和自动换刀功能——利用各种检测手段, 对刀具和工件进行检测, 发现工件超差、刀具磨损、破损等, 能够及时报警, 进行自动补偿或更换备用刀具, 以保证产品质量。
- 引进模块识别技术——应用图像识别和声控技术, 使机器自己辨识图样, 按照自然语言命令进行加工。

3. 高可靠性

数控机床的可靠性一直是用户最关心的主要指标, 它取决于数控系统和各伺服系统驱动单元, 为提高可靠性, 目前主要采取以下几方面措施:

- 提高系统硬件质量;
- 采取硬件结构模块化、标准化和通用化;
- 增强故障自诊断、自恢复和保护功能。

4. 环保

节能、低噪声、干切削、无液压、免润滑(Minimum Quilt Liquid, MQL)是今后数控

机床发展的新特点。

- 机床普遍采用既坚固美观, 又方便操作的全封闭活动罩门, 防止切削液飞溅和形成油雾, 安装油雾分离器排除不含油的雾。
- 干切削, 是指在加工过程中不使用或极少使用冷却润滑液。刀具采用耐热性和散热性良好的涂层材料。
- 无润滑的解决办法是采用润滑性能优异的涂层物质, 设计有利于断屑和排屑的刀具形状和几何参数。

1.4.2 柔性制造系统和柔性制造单元

1. 柔性制造系统

柔性制造系统(FMS)是一个非常复杂的系统, FMS 通常定义为: 由计算机集中控制和管理的制造系统, 具有多个半独立工位和一个物料储运系统的体系, 用于高效率地制造中小批量、多品种的零件生产。

FMS 由三部分组成:

- (1) 加工系统——标准的数控(NC)机床、柔性制造单元(FMC)等;
- (2) 传递系统——在机床和装夹工位之间运送零件和刀具的输送网络;
- (3) 控制系统——协调机床、零件运送系统和零件的总体控制系统。

对每一个在 FMS 中加工的零件, 其零件程序预先经调试好并存储在中央数据库中。由一系列数控机床来自动完成按一定规则分组的零件加工。图 1.10 所示为德 SL FMS。

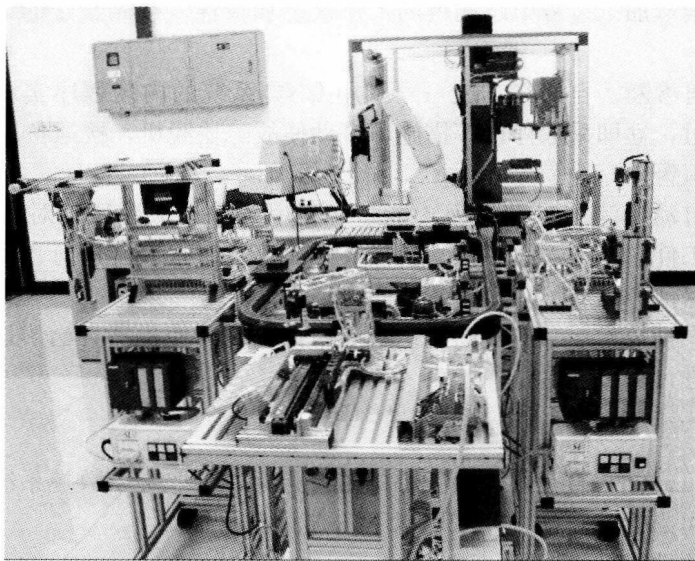


图 1.10 SL FMS

FMS 通常具备以下功能:

- (1) 通过数控系统实现刀具或工件的运动;
- (2) 自动换刀;

- (3) 自动搬运工件;
- (4) 自动交换工件;
- (5) 加工状态监视;
- (6) 机械运动状态监控;
- (7) 加工精度检验;
- (8) 自动装卸工件;
- (9) 刀具寿命监视。

2. 柔性制造单元

柔性制造单元(FMC)是在制造单元的基础上发展起来的,又同时具备了FMS的部分特点的一种单元,如图1.11所示。FMC具备独立加工能力,部分具备自动传递和监控管理的功能,可以实现某些零件的多品种小批量的加工,部分FMC还可以实现24h无人运转。FMC投资没有FMS大,技术上容易实现。其特点是:

- (1) 同步加工——在单元计算机的控制下,可在不同或同一机床上进行不同零件的加工;
- (2) 扩展和通信——在单元计算机的控制下,可组成更高等级的FMS并进行通信;
- (3) 刀具更换——在机床加工过程中可自动进行刀具的更换;
- (4) 过程监控——在机床加工过程中可实现加工过程监控。

FMC可作为FMS中的基本单元,若干个FMC可以发展组成FMS,因此FMC可以看作发展FMS历程的一个阶段。

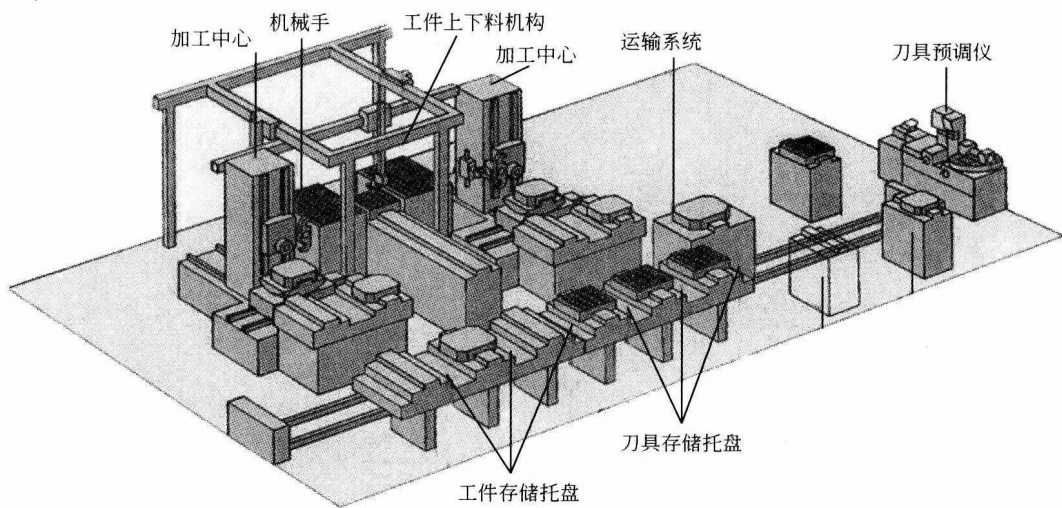


图 1.11 柔性制造单元

3. 柔性制造单元的组成

FMC可分成两大类:一类是加工中心配上托盘交换器APC(Automatic Pallet Changer);另一类是数控机床配工业机器人。

- (1) 加工中心配上托盘交换器的FMC

这类 FMC 以托盘交换器为特征, 一般具备五个以上的托盘, 组成环形回转式托盘库。托盘的选定和定位由可编程控制器(PLC)进行控制。托盘系统通常具备存储、运送功能, 具有自动检测功能、工件和刀具归类功能、切削状态监控功能等。托盘的交换包括加工中心上的托盘与托盘系统中备用的托盘交换, 或通过托盘工作站, 托盘系统与其他系统的托盘相交换, 这样, 若干个 FMC 可通过托盘系统组成一条 FMS 生产线。

(2) 数控机床配工业机器人的 FMC

若干台数控机床以圆周的方式环绕一个工业机器人排列。机器人完成所有零件的搬运及装卸工作, 由单元计算机管理和协调各种工序的计划。

思 考 题

1. 简述数控机床的组成, 各部分作用。
2. 数控机床的加工原理是什么?
3. 什么是点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床?
4. 数控机床的发展趋势主要表现在哪几方面?
5. 按伺服系统的控制原理, 数控机床分为哪几类?
6. 2.5 轴数控的含义是什么?
7. 柔性制造系统和柔性制造单元的区别是什么?