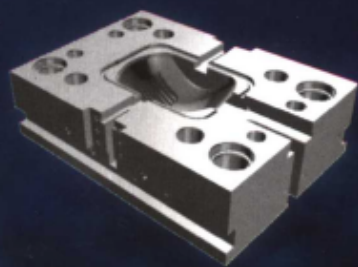
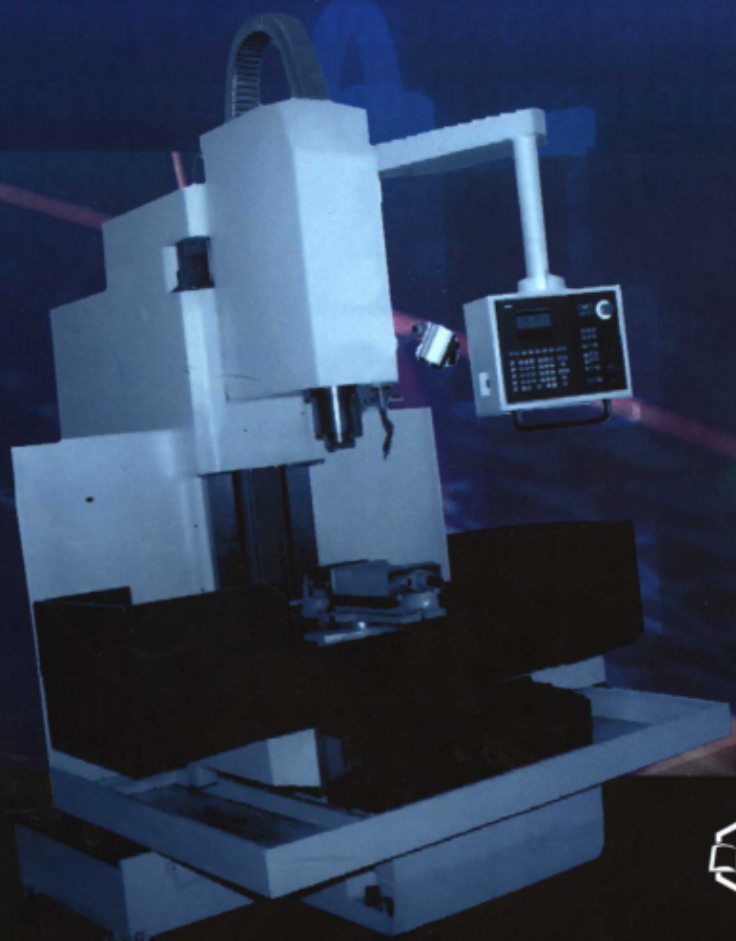




高职高专“十一五”规划教材

数控铣床及加工中心 编程与操作

陈 为 麻庆华 唐绍同 主编

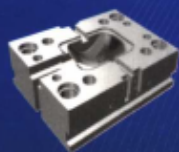


化学工业出版社



www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网



数控铣床**及**加工中心编程与操作

ISBN 978-7-5025-9660-6



9 787502 596606 >

定 价：27.00元

高职高专“十一五”规划教材

数控铣床及加工中心编程与操作

陈 为 麻庆华 唐绍同 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书针对数控铣床、加工中心的特点,以 FANUC 0i-MA 数控系统及广州数控系统作为编程和操作基础,以大量详实、典型的实例讲述了数控铣床、加工中心的编程方法与操作,并且将数控加工工艺等技术能力融合到其中,突出了实际应用能力的培养。本书还加强了自动编程的内容,对 CAXA 制造工程师 2006 及 Mastercam V10 进行了详细介绍,而且精选了编程与加工全过程实例,增加了实训课题指导。书中内容由浅入深,循序渐进,图文并茂。

本书可作为高职高专、成人高校和中专、技校的教材,也可作为数控铣床、加工中心操作人员培训教材,还可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床及加工中心编程与操作/陈为,麻庆华,唐绍同主编. —北京:
化学工业出版社, 2007.1
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5025-9660-6

I. 数… II. ①陈…②麻…③唐… III. ①数控机床:铣床-程序设计-高等学校:技术学校-教材②数控机床加工中心-程序设计-高等学校:技术学校-教材③数控机床:铣床-操作-高等学校:技术学校-教材④数控机床加工中心-操作-高等学校:技术学校-教材 IV. TG547 TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 005606 号

责任编辑:韩庆利 高钰

责任校对:周梦华

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数456千字 2007年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:27.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着现代制造业在我国不断发展,对数控技能人才需求越来越大,在此背景下我们根据教育部颁布的《数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写了本书。

本书根据数控铣削编程的实际过程与中级数控铣床操作员职业岗位要求设置课程的内容,重点介绍数控铣床相关的基础知识、CAM 编程技术、铣削加工技术等。本书的编写始终坚持以就业为导向、以职业能力培养为核心的原则,将数控铣削加工工艺和程序编制方法等专业技术能力融合到教学项目之中。

教材内容的编写主要体现以下几方面特点:

一、围绕中级数控铣床编程与操作员的职业岗位要求对内容进行取舍。为把提高学生的职业能力放在突出位置,本书借鉴中级数控铣床编程与操作员应具备的核心职业能力,对教学内容进行取舍。围绕数控编程、加工工艺两大部分进行展开,同时强化数控铣削加工工艺知识和操作训练,使学员通过学习逐步形成职业能力。

二、以 CAXA 制造工程师 2006 及 Mastercam V10 软件自动编程作为主要内容。为了让学习者能快速掌握数控铣床与加工中心的自动编程,本书突出对 CAXA 制造工程师 2006 及 Mastercam V10 软件自动编程中各个参数的讲解,说明各参数的意义、设置方法,并辅以大量的图形,配合精选的编程与加工全过程实例,使读者对 CAXA 制造工程师 2006 及 Mastercam V10 编程与加工有快速而深入的认识,通过每章中的课题指导与课题,突出“讲”与“练”的有机结合。在讲述内容上力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂,使学员能够尽快掌握数控编程与加工技术。

三、兼顾两种主流数控系统。本书选择占据市场份额最大的 FANUC 系统作为主要数控系统进行讲解,同时兼顾国内市场占有率较高的广州数控系统。其他系统由于多数与 FANUC 系统相兼容,就未做介绍。

本书由陈为、麻庆华、唐绍同主编,参加编写的还有谢玉书、欧阳波仪、杨国安等,全书由陈为统稿。在编写过程中,吴悦钦、颜思廷、曲永珊等老师给予了大力支持与帮助,在此表示感谢,也感谢龙满秀为本书作了详细认真的文字校对。

因编者水平和经验有限,书中欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2007 年 1 月

目 录

第一章 基本知识	1
第一节 概述	1
一、数控铣床及加工中心的组成与工作原理	1
二、数控铣床及加工中心的特点及应用	2
三、数控技术的现状和发展趋势	5
第二节 数控机床的编程规则	8
一、数控机床的坐标系	8
二、数控编程的工艺分析	11
三、编程中的数学处理	15
四、程序编制的方法及一般步骤	18
五、加工程序的结构	19
六、G指令的应用	20
七、M指令的应用	26
思考与练习	29
第二章 数控铣床及加工中心的加工编程	31
第一节 数控铣床加工编程及实例	31
一、数控铣床的铣削加工对象分析	31
二、数控铣削加工工艺处理	33
三、数控铣床的编程方法	38
四、数控铣床编程实例	48
第二节 加工中心加工编程及实例	62
一、加工中心的程序编制特点	62
二、加工中心的工艺处理	62
三、工件的定位及刀具的选择	66
四、加工中心的编程方法	70
五、加工中心编程实例	74
思考与练习	84
第三章 数控铣床与加工中心的计算机辅助编程与加工——CAXA篇	90
第一节 CAXA 制造工程师简介	90
一、计算机辅助编程技术概述	90
二、数控编程系统	90
三、CAD/CAM 软件分类及技术发展趋势	91
四、CAXA 制造工程师介绍	92
第二节 CAXA 造型、编程与加工实例	96

一、底座三维实体造型与加工、仿真	96
二、锻座三维实体造型与加工、仿真	109
三、三维曲面实体混合造型与加工、仿真	129
第三节 课题实训指导	150
一、连杆实体造型及加工指导	150
二、曲面混合实体造型及加工指导	151
思考与练习	153
第四章 数控铣床及加工中心的计算机辅助编程与加工——Mastercam 篇	158
第一节 Mastercam 铣削编程的基本操作	158
一、Mastercam 概述	158
二、Mastercam 通用设置	164
三、Mastercam 的刀路模拟与实体加工模拟	170
四、Mastercam 的后置处理与 NC 程序的生成	174
第二节 Mastercam 造型、编程与加工实例 1——平面类零件编程	180
一、产品的建模	181
二、创建产品加工刀具路径及模拟加工	184
第三节 Mastercam 造型、编程与加工实例 2——曲面类零件编程	188
一、产品的建模	188
二、加工工艺分析	199
三、创建产品加工刀具路径及模拟加工	201
四、产品的加工过程（在 VMC-600 上加工）	221
第四节 造型、编程与加工实训指导与课题	222
一、造型、编程与加工实训指导示例	222
二、造型、编程与加工实训课题 1	226
三、造型、编程与加工实训课题 2	227
思考与练习	231
第五章 数控铣床及加工中心的操作	233
第一节 FANUC-0i 系统数控铣床及加工中心的基本操作	233
一、数控铣床操作面板功能	233
二、机床操作方法和步骤	235
三、数控铣床及加工中心对刀操作	236
四、G54~G59 参数设置	240
五、数控铣床及加工中心刀具补偿参数设置	240
六、数控程序处理	241
七、自动加工方式	242
八、数控铣床操作要则	243
九、典型零件编程与加工实例	244
第二节 GSK990M 数控系统的操作	247
一、操作面板	247
二、程序存储、删除、编辑与检索	251
三、手动操作	252
四、试运转、图形功能与安全操作	255

五、自动运行.....	257
六、对刀操作.....	259
七、应用 GSK990M 实现 Mastercam 自动编程加工	260
思考与练习.....	261
参考文献	265

第一章 基本知识

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体，是一个国家国民经济的支柱产业。它一方面为全社会生产日用消费品，创造价值，另一方面为国民经济各个部门提供生产资料和装备。工业化国家约 70%~80% 的物质财富来自制造业，约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动。可见，制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响，在 21 世纪的工业生产中具有决定性的地位与作用。

由于现代科学技术日新月异的发展，机电产品日趋精密和复杂，且更新换代加快，改型频繁，用户的需求也日趋多样化和个性化，中小批量的零件生产越来越多。这对制造业的高精度、高效率 and 柔性提出了更高的要求，希望市场能提供满足不同加工需求、迅速高效的生产制造系统，并大幅度地降低维护和使用的成本。同时还要求新一代制造系统具有方便的网络功能，以适应未来车间面向任务和订单的生产组织和管理模式。

因此，随着社会经济发展对制造业的要求不断提高，以及科学技术特别是计算机技术的高速发展，传统的制造业已发生了根本性的变革，以数控技术为主的现代制造技术占据了重要地位。数控技术集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体，是制造业实现柔性化、自动化、集成化、智能化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，关系到一个国家的战略地位。因此，世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。在我国，数控技术与装备的发展亦得到了高度重视，近年来取得了相当大的进步，特别是在通用微机数控领域，基于 PC 平台的国产数控系统已经走在了世界前列。

第一节 概述

一、数控铣床及加工中心的组成与工作原理

(一) 数控铣床的组成与工作原理

1. 组成

如图 1-1 所示，数控铣床一般由主轴箱、进给伺服系统、数控系统、辅助装置、床身等几大部分组成。

(1) 主轴箱 包括主轴箱体和主轴传动系统，用于装夹刀具并带动刀具旋转。主轴转速范围和输出扭矩对加工有直接的影响。

(2) 进给伺服系统 由进给电机和进给执行机构组成，按照程序设定的进给速度实现刀具和工件之间的相对运动，包括直线进给运动和旋转运动。

(3) 数控系统 数控铣床运动控制的中心，执行数控加工程序，控制机床进行加工。

(4) 辅助装置 如液压、气动、润滑、冷却系统和排屑、防护等装置。

(5) 床身 通常是指底座、立柱、横梁等，它是整个机床的基础和框架。

2. 工作原理

在数控铣床上加工零件的过程如图 1-2 所示。

(1) 准备阶段 根据加工零件的图纸，确定有关加工数据（刀具轨迹坐标点、加工的切

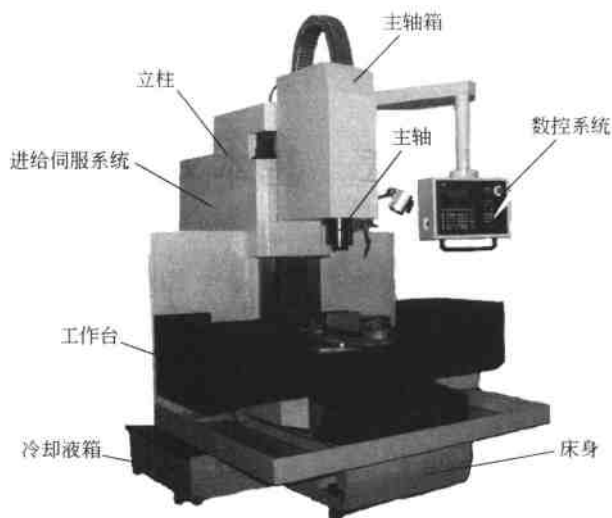


图 1-1 数控铣床的组成



图 1-2 加工零件的过程

削用量、刀具尺寸信息等)，根据工艺方案、夹具选用、刀具类型选择等确定有关其他辅助信息。

(2) 编程阶段 根据加工工艺信息，用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序（程序就是对加工工艺过程的描述），并填写程序单。

(3) 准备信息载体 根据已编好的程序单，将程序存放在信息载体（穿孔带、磁带、磁盘等）上，信息载体上存储着加工零件所需要的全部信息。

(4) 加工阶段 当执行程序时，机床 NC 系统将程序译码、寄存和运算，向机床伺服机构发出运动指令，以驱动机床的各运动部件，自动完成对工件的加工。

(二) 加工中心的组成与工作原理

同类型的加工中心与数控铣床的结构布局相似，主要在刀库的结构和位置上有区别，一般由主轴箱、工作台、底座、立柱、刀库、控制面板等组成，如图 1-3 所示。

加工中心的工作原理与数控铣床基本相同。

二、数控铣床及加工中心的特点及应用

(一) 数控铣床的特点及应用

数控铣床是主要采用铣削方式加工工件的数控机床，能完成各种平面、沟槽、螺旋槽、成形表面、平面曲线和空间曲线等复杂型面的加工。

与普通铣床相比，数控铣床具有以下特点。

(1) 半封闭或全封闭式防护 经济型数控铣床多采用半封闭式；全功能型数控铣床会采用全封闭式防护，防止冷却液、切屑溅出，保证安全。

(2) 主轴无级变速且变速范围宽 主传动系统采用伺服电机（高速时采用无传动方

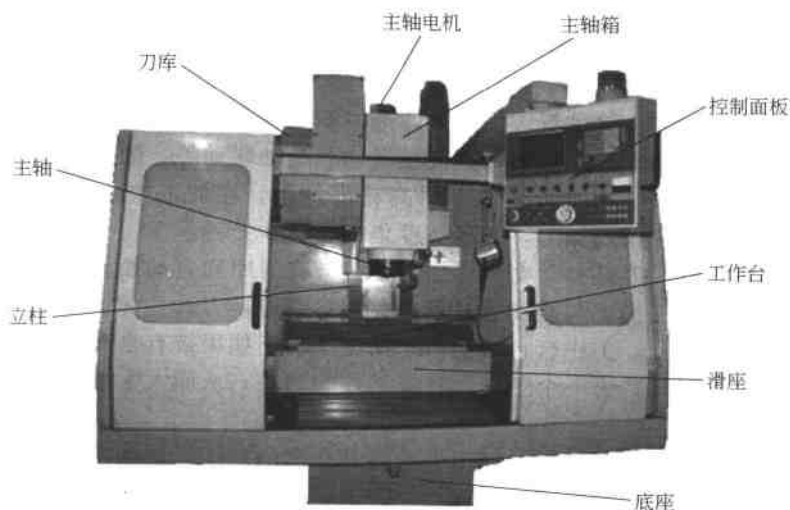


图 1-3 加工中心的组成

式——电主轴）实现无级变速，且调速范围较宽，这既保证了良好的加工适应性，同时也为小直径铣刀工作形成了必要的切削速度。

(3) 采用手动换刀，刀具装夹方便 数控铣床没有配备刀库，采用手动换刀，刀具安装方便。

(4) 一般为三坐标联动 数控铣床多为三坐标（即 X 、 Y 、 Z 三个直线运动坐标）、三轴联动的机床，以完成平面轮廓及曲面的加工。

与数控车床相比，数控铣床有着更为广泛的应用范围，能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂型面的铣削，如各种凸轮、模具等，若再添加圆工作台等附件（此时变为四坐标），则应用范围将更广，可用于加工螺旋桨、叶片等空间曲面零件。此外，随着高速铣削技术的发展，数控铣床可以加工形状更为复杂的零件，精度也更高。图 1-4 所示为五轴数控铣床及其加工的叶轮零件。

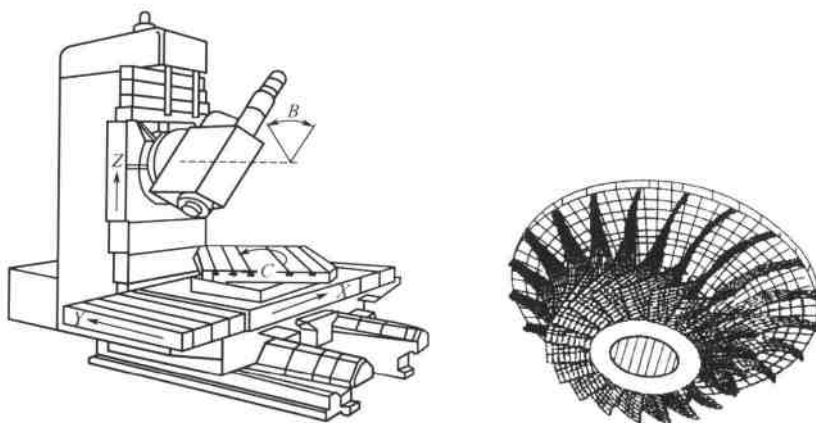


图 1-4 五轴数控铣床及其加工的叶轮零件

(二) 加工中心的特点及应用

加工中心是典型的集高新技术于一体的机械加工设备，它的发展代表了一个国家制造业的水平，在国内外都受到高度重视。

与普通数控机床相比,它具有以下几个突出特点。

(1) 全封闭防护 所有的加工中心都有防护门,加工时将防护门关上,能有效防止人身伤害事故。

(2) 工序集中,加工连续进行 加工中心通常具有多个进给轴(三轴以上),甚至多个主轴,联动的轴数也较多,如三轴联动、五轴联动、七轴联动等,因此能够自动完成多个平面和多个角度位置的加工,实现复杂零件的高精度加工。在加工中心上一次装夹可以完成铣、镗、钻、扩、铰、攻丝等加工,工序高度集中。

(3) 使用多把刀具,刀具自动交换 加工中心带有刀库和自动换刀装置,在加工前将需要的刀具先装入刀库,在加工时能够通过程序控制自动更换刀具。

(4) 使用多个工作台,工作台自动交换 加工中心上如果带有自动交换工作台,可实现一个工作台在加工的同时,另一个工作台完成工件的装夹,从而大大缩短辅助时间,提高加工效率。

(5) 功能强大,趋向复合加工 加工中心可复合车削功能、磨削功能等,如圆工作台可驱动工件高速旋转,刀具只做主运动不进给,完成类似车削加工,这使加工中心有更广泛的加工范围。

(6) 高自动化、高精度、高效率 加工中心的主轴转速、进给速度和快速定位精度高,可以通过切削参数的合理选择,充分发挥刀具的切削性能,减少切削时间,且整个加工过程连续,各种辅助动作快,自动化程度高,减少了辅助动作时间和停机时间,因此,加工中心的生产效率很高。

(7) 高投入 由于加工中心智能化程度高、结构复杂、功能强大,因此加工中心的一次投资及日常维护保养费用较普通机床高出很多。

(8) 在适当的条件下才能发挥最佳效益 即在使用过程中要发挥加工中心之所长,才能充分体现效益,这一点对加工中心的合理使用至关重要。

加工中心适用于复杂、工序多、精度要求高、需用多种类型普通机床和繁多刀具、工装,经过多次装夹和调整才能完成加工的具有适当批量的零件。其主要加工对象有以下四类。

(1) 箱体类零件 箱体类零件是指具有一个以上的孔系,并有较多型腔的零件,这类零件在机械、汽车、飞机等行业较多,如汽车的发动机缸体、变速箱体,机床的床头箱、主轴箱,柴油机缸体,齿轮泵壳体等。

箱体类零件在加工中心上加工,一次装夹可以完成普通机床 60%~95% 的工序内容,零件各项精度一致性好,质量稳定,同时可缩短生产周期,降低成本。对于加工工位较多,工作台需多次旋转角度才能完成的零件,一般选用卧式加工中心;当加工的工位较少,且跨距不大时,可选立式加工中心,从一端进行加工。图 1-5 所示为镗铣加工中心及其加工的箱体零件。

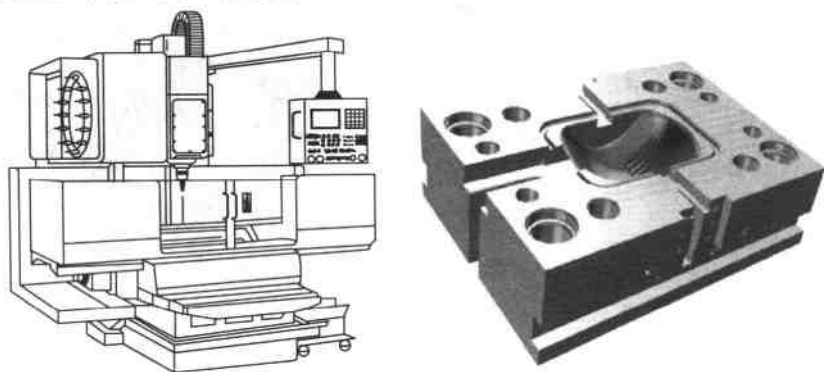


图 1-5 镗铣加工中心及其加工的箱体零件

(2) 复杂曲面 在航空航天、汽车、船舶、国防等领域的产品中, 复杂曲面类占有较大的比重, 如叶轮 (见图 1-4)、螺旋桨、各种曲面成形模具等。就加工的可能性而言, 在不出现加工干涉区或加工盲区时, 复杂曲面一般可以采用球头铣刀进行三坐标联动加工, 加工精度较高, 但效率较低。如果工件存在加工干涉区或加工盲区, 就必须考虑采用四坐标或五坐标联动的机床。图 1-6 所示为复杂曲面。



图 1-6 复杂曲面

(3) 异形件 异形件是外形不规则的零件, 大多需要点、线、面多工位混合加工, 如支架、基座、样板、靠模等。异形件的刚性一般较差, 夹压及切削变形难以控制, 加工精度也难以保证, 这时可充分发挥加工中心工序集中的特点, 采用合理的工艺措施, 一次或两次装夹, 完成多道工序或全部的加工内容。

(4) 盘、套、板类零件 带有键槽、径向孔或端面有分布孔系以及有曲面的盘套或轴类零件, 还有具有较多孔加工的板类零件, 适宜采用加工中心加工。端面有分布孔系、曲面的零件宜选用立式加工中心, 有径向孔的可选卧式加工中心。

三、数控技术的现状和发展趋势

(一) 发展历程

从 1952 年第一台数控机床问世至今 50 多年, 随着微电子技术的不断发展, 数控系统也在不断更新换代, 先后经历了电子管 (1952 年)、晶体管 (1959 年)、小规模集成电路 (1965 年)、大规模集成电路及小型计算机 (1970 年)、微处理机或微型计算机 (1974 年) 五代。前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬逻辑接线数控系统, 称为普通数控系统 (NC)。20 世纪 70 年代初, 小型计算机逐渐普及并应用于数控系统, 数控系统中的许多功能由软件实现, 简化了系统设计并增加了系统的灵活性和可靠性, 计算机数控 (CNC) 技术从此问世, 数控系统发展到第四代。1974 年, 以微处理器为基础的 CNC 系统问世, 标志着数控系统进入了第五代。1977 年, 麦道飞机公司推出了多处理器的分布式 CNC 系统。到 1981 年, CNC 达到了全功能的技术特征, 其体系结构朝柔性模块化方向发展。1986 年以来 32 位 CPU 在 CNC 系统得到了应用, CNC 系统进入了面向高速度、高精度、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 和自动化工厂 (FA) 的发展阶段。

20 世纪 90 年代以来, 受通用微机技术飞速发展的影响, 数控系统正朝着以通用微机 (个人计算机——PC) 为基础、体系结构开放和智能化的方向发展。1994 年基于 PC 的 NC 控制器在美国首先出现于市场, 此后得到迅速发展。由于基于 PC 的开放式数控系统可充分利用通用微机丰富的硬软件资源和适用于通用微机的各种先进技术, 已成为数控技术发展的

潮流和趋势。

在伺服驱动方面,随着微电子、计算机和控制技术的发展,伺服驱动系统的性能也不断提高,从最初的电液伺服电机和功率步进电机开环控制驱动,发展到直流伺服电机和目前广泛应用的交流伺服电机闭环(半闭环)控制驱动,并由模拟控制向数字化控制方向发展。在高性能的数控系统上已普遍采用数字化的交流伺服驱动,使用高速数字信号处理器(DSP)和高分辨率的检测器,以极高的采样频率进行数字补偿,实现伺服驱动的高速高精度化。同时,新的控制方法也被不断采用,以进一步提高伺服控制精度。如FANUC15M采用前馈预测控制和非线性补偿控制方法,FANUC16M中的逆传递函数控制法DENG等。

在数控系统在不断更新换代的同时,数控机床的品种也在不断发展。自1952年美国研制出世界上第一台数控铣床后,德、日、前苏联等国于1956年分别研制出本国第一台数控机床。中国于1958年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了第一台数控铣床。20世纪50年代末期,美国K & T公司开发了第一台加工中心,从而揭开了加工中心的序幕。1967年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的FMS。20世纪70~80年代,随着数控系统和其他相关技术的发展,数控机床的效率、精度、柔性和可靠性进一步提高,品种规格系列化,门类扩展齐全,FMS也逐步进入了实用化阶段。目前,几乎所有品种的机床都实现了数控化,并以发展数控单机为基础,加快了向FMC、FMS及计算机集成制造系统工程(CIMS)全面发展的步伐。数控加工装备的范围也正迅速延伸和扩展,除金属切削机床外,不但扩展到铸造机械、锻压设备等各种机械加工装备,而且延伸到非金属加工行业中的玻璃、陶瓷制造等各类装备。数控机床已成为国家工业现代化和国民经济建设中的基础与关键设备。

(二) 技术现状与趋势

数控机床技术可从精度、速度、柔韧性和自动化程度等方面来衡量,目前的技术现状与发展趋势如下。

(1) 高精度化 精度包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度,两个方面均已取得明显进展。例如,普通级中等规格加工中心的定位精度已从20世纪80年代中期的0.012/300mm,提高到0.002~0.005/全程。精密级数控机床的加工精度已由原来的0.005mm提高到0.0015mm。

(2) 高速度化 提高生产率是机床技术追求的基本目标之一,实现该目标的关键是提高切削速度、进给速度和减少辅助时间。中等规格加工中心的主轴转速已从过去的2000~3000r/min提高到10000r/min以上。日本新泻铁工所生产的UHSIO型超高速数控立式铣床主轴最高转速高达100000r/min。中等规格加工中心的快速进给速度从过去的8~12m/min提高到60m/min。加工中心换刀时间从5~10s减少到小于1s。而工作台交换时间也由过去的12~20s减少到2.5s以内。

(3) 高柔性化 采用柔性自动化设备,是提高加工精度和效率、缩短生产周期、适应市场变化需求和提高竞争能力的有效手段。数控机床在提高单机柔性化的同时,朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展。如出现了可编程控制器(PLC)控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有高柔性、高效率的柔性加工单元(FMC)。柔性制造系统(FMS)、介于传统自动线与FMS之间的柔性制造线(FTL)、计算机集成制造系统(CIMS)以及自动化工厂(FA)也有较大发展。有的厂家则走组合柔性化之路,这类柔性加工系统由若干加工单元合成,自动上下料机械手兼有工件传输的作用。

(4) 高自动化 高自动化是指在全部加工过程中尽量减少“人”的介入而自动完成规定的任务,它包括物料流和信息流的自动化。自20世纪80年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化(单台数控机床)发展到“线”的自动化(FMS、FTL)

和“面”的自动化（柔性制造车间），结合信息管理系统的自动化，逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现 FA（自动化工厂）和 CIMS（计算机集成制造）工厂的雏形实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备，投资过大，回收期长，但数控机床的高自动化并向 FMS、CIMS 集成方向发展的总趋势仍然是机械制造业发展的主流。数控机床的自动化除进一步提高其自动编程、上下料、加工等自动化程度外，还在自动检索、监控、诊断等方面进一步发展。

（5）智能化 随着人工智能在计算机领域的不断渗透与发展，同时为适应制造业生产柔性化、自动化发展需要，数控设备智能化程度也在不断提高。如 Mitsubishi Electric 公司的数控电火花成形机床上的“MiracleFuzzy”自适应控制器利用基于模糊逻辑的自适应控制技术，能自动控制和优化加工参数，使操作者不需具备专门的知识就能很好的操作机床；日本大隈公司的 7000 系列数控系统带有人工智能式自动编程功能；日本牧野公司在电火花数控系统 MAKINO-MCE20 中，用带自学习功能的神经网络专家系统代替操作人员进行加工监视。

（6）复合化 复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床的发展已模糊了粗精加工工序的概念。加工中心的出现，又把车、铣、镗等工序集中到一台机床来完成，打破了传统工序界限和分开加工的工艺规程。近年来，又相继出现了许多跨度更大功能集中的超复合化数控机床，如日本池贝铁工所的 TV4L 立式加工中心，由于采用 U 轴，亦可进行车加工；美国辛辛那提公司的车、铣、镗多用途制造中心；意大利 SAFOP 的车、镗、铣、磨复合机床；瑞士 RASKIN 公司的冲孔、成形与激光切割复合机床等。

除上述几个基本趋势外，值得一提的是数控机床的结构技术正取得重大突破。近年来已出现了所谓 6 条腿结构的并联加工中心，如美国 GIDDINGS & LEWIS 公司的 VARIAX（“变异型”）加工中心、INGERSOLL 公司的 OCTAHEDRALHEXAPOD（“八面体的六足动物”）加工中心等。这种新颖的加工中心是采用以可伸缩的 6 条腿（伺服轴）支撑并连接上平台（装有主轴头）与下平台（装有工作台）的构架结构形式，取代传统的床身、立柱等支撑结构。而没有任何导轨与滑板的所谓“虚轴机床”（VIRTUALAXISMACHINE）。其最显著的优点是机床基本性能高，精度、刚度和加工效率均可比传统加工中心高出许多倍。随着这种结构技术的成熟和发展，数控机床技术将进入一个有重大变革和创新的新时代。

（三）关键技术分析

数控机床的高速度、高精度、高柔性和高自动化程度对机床主机、数控系统和伺服驱动系统均提出了相应要求，下面主要从数控系统与伺服驱动系统方面介绍其关键技术。

1. 高速化技术

要实现数控设备高速化，首先要求数控系统能对由微小程序段构成的加工程序进行高速处理以计算出伺服电机的移动量，同时要求伺服电机能高速度做出反应。采用 32 位微处理器，是提高数控系统高速处理能力的有效手段，目前正在开发 CPU 为 64 位的新型数控系统。在数控设备高速化中，提高主轴转速占有重要地位。主轴高速化的手段是直接电机与主轴连接成一体，即电主轴，从而可将主轴转速大大提高。在伺服系统方面，采用直线电机技术来替代目前机床传动中常用的滚珠丝杠、工作台等，在提高轮廓加工精度的同时，提高了加工速度。

2. 高精度化技术

提高数控机床的加工精度，一般通过减少数控系统的误差和采用机床误差补偿技术来实现。在减少 CNC 系统控制误差方面，通常采用提高数控系统的分辨率、提高位置检测精度、在位置伺服系统中采用前馈控制和非线性控制等方法；在机床误差补偿方面，除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具补偿等技术外，近年来对设备热变形误差补偿和空间误差

综合补偿技术的研究已成为世界范围的研究课题。

3. 智能化技术

模糊数学、神经网络、数据库、知识库、以范例和模型为基础的决策系统及专家系统等理论与技术的发展,以及这些技术在制造业中的成功运用,为数控设备智能化水平的提高建立了可靠的技术基础。智能化正成为数控设备研究及发展的热点,目前采取的主要技术措施包括以下几个方面。

(1) 自适应控制技术 数控系统能检测对自己有影响的信息,并自动连续调整系统有关参数,达到改进系统运行状态的目的。如通过监控切削过程中的刀具磨损、破损、切屑形态、切削力及零件的加工质量等,向制造系统反馈信息,通过将过程控制、过程监控、过程优化结合在一起,实现自适应调节,以提高加工精度和降低工件表面粗糙度。

(2) 专家系统技术 将专家的经验 and 切削加工的一般规律与特殊规律存入计算机中,以加工工艺参数数据库为支撑,建立具有人工智能的专家系统,提供经过优化的切削参数,使加工系统始终处于最优和最经济的工作状态,从而达到提高编程效率和降低对操作人员的技术要求,大大缩短生产准备时间的目的。

(3) 故障自诊断技术 故障诊断专家系统是诊断装置发展的最新动向,它为数控设备提供了一个包括二次监测、故障诊断、安全保障和经济策略等方面在内的智能诊断及维护决策信息集成系统。

(4) 智能化交流伺服驱动技术 目前开始研究能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置,使驱动系统获得最佳运行。

4. 开放式 CNC 数控系统

由于数控系统中大量采用计算机的新技术,新一代数控系统体系结构向开放式系统发展。国际上主要数控系统和数控设备生产国及其厂家瞄准通用个人计算机(PC机)所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点,自20世纪80年代末以来竞相开发基于PC的CNC系统,并开展了针对开放式CNC的前、后台标准的研究。如日本的OSEC(控制器的开放系统环境)、欧盟的OSAC(自动化系统的开放式体系结构)以及美国的SOSAS(开放式系统体系结构标准规范)。基于PC的开放式CNC系统大致可分为四类:PC连接型CNC,PC内装型CNC,CNC内装型PC和纯软件NC。典型产品有FANUC150/160/180/210、A2100、OAC500、AdvantageCNCSystem等。这些系统以通用PC机的体系结构为基础,构成了总线式(多总线)模块、开放型、嵌入式体系结构,其软硬件和总线规范均是对外开放的,硬件即插即用,可向系统添加标准软件 and 用户软件,为数控设备制造厂和用户进行集成给予了有力的支持,以发挥其技术特色。经加固的工业级PC已在工业控制领域得到了广泛应用,并逐渐成为主流,其技术上的成熟度使其可靠性大大超过了以往的专用CNC硬件。先进的CNC系统还为用户提供了强大的联网能力,除有RS322C串行口外,还带有远程缓冲功能的DNC(直接数控)接口,甚至MAP(MiniMAP)或Ethernet(以太网)接口,可实现控制器与控制器之间的连接,以及直接连接主机,使DNC和单元控制功能得以实现,便于将不同制造厂的数控设备用标准化通信网络连接起来,促进系统集成化和信息综合化,使远程操作、遥控及故障诊断成为可能。

第二节 数控机床的编程规则

一、数控机床的坐标系

1. 规定原则

(1) 右手直角坐标系 标准的坐标系,它规定了X、Y、Z三坐标轴的关系。围绕X、

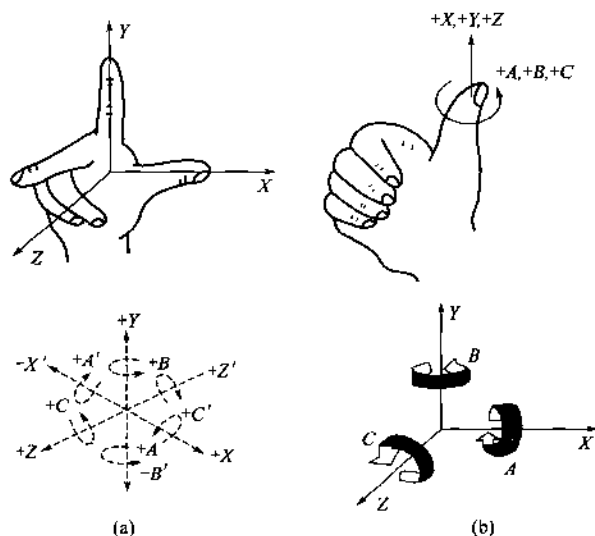


图 1-7 右手直角坐标系

Y、Z 各轴回转运动分别用 A、B、C 表示。具体如图 1-7 所示。

(2) 刀具相对“静止”的工件运动 数控机床的坐标系是机床运动部件进给运动的坐标系。分为刀具运动坐标系（如数控车床）及工件运动坐标系（如数控铣床）。

为了编程方便，一律以刀具运动坐标系（假定工件静止，刀具运动）来编程，即用标准坐标系 X、Y、Z 和 A、B、C 进行编程。

(3) 运动的正方向 使刀具与工件之间距离增大的方向。

2. 坐标轴的确定

(1) Z 轴 一般取产生切削力的主轴轴线为 Z 轴，刀具远离工件方向为正向。

(2) X 轴 一般为水平方向，位于平行于工件装夹面的水平面内且垂直于 Z 轴。

对于数控铣床，当 Z 轴为立式时，人面对主轴，向右为正 X 方向；当 Z 轴为卧式时，人面对主轴，向左为正 X 方向。

(3) Y 轴 根据已确定的 X、Z 轴，按右手直角坐标系确定。

(4) A、B、C 轴 根据已确定的 X、Y、Z 轴，用右手螺旋法则来确定。

具体各数控机床的坐标系如图 1-8～图 1-12 所示。

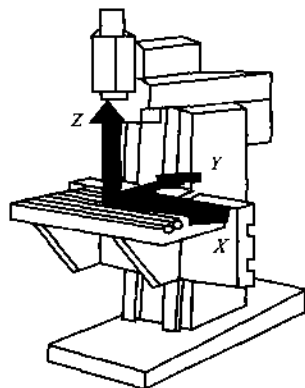


图 1-8 升降台式立式数控铣床坐标系