

内 容 简 介

数字化制造是先进制造技术的核心。本书以机械产品 CAD/CAM 和数控加工为主线,介绍数控编程和数控加工工艺规划基本知识,基于 UG NX,着重描述其基本功能以及产品数字化设计、制造过程,包括数控铣床操作技术和加工实例,使读者掌握数字化制造基础,学习掌握 CAD/CAM 技术和数控机床的操作方法,并对数字化制造技术有一个较全面的认识。

本书可作为机械制造及其自动化专业本科生的实训教材,也可作为制造业 CAD/CAM 技术和 UG 软件培训的实用教材和参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字化制造实训基础教程:基于 UG/唐承统,姜巍巍主编. —北京:
北京理工大学出版社, 2006.5
(工程训练系列规划教材)
ISBN 7-5640-0666-8

I. 数... II. ①唐... ②姜... III. 计算机辅助制造—应用软件,
UG—高等学校—教材 IV. TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 027123 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefeditor@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 324 千字

版 次 / 2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

总 序

北京理工大学工程训练中心始建于 1999 年世界银行贷款“高等教育发展项目”,同时得到了北京理工大学“985 工程”实验教学基地建设、“211 工程”公共服务体系建设等项目的支持。中心建设坚持以机械工程学科(含机械制造及自动化、机械设计及理论、机械电子工程、车辆工程及工业工程等五个二级学科)为龙头,依托四大课群(工程材料与机械制造基础课群、机械设计基础课群、机械工程及自动化专业课群以及工业工程专业课群)的知识点,本着“边建设、边运行、边发挥效益”的原则,瞄准高水平、高起点和领先目标,进行规模化、系统化规划和建设。建立了一个面向全校机械类、近机械类以及经、管、文、理等相关专业的本科生工程训练、自主学习和课外科技活动的现代化公共实践教学支撑平台。同时,也为研究生教育以及高等职业教育提供实习实训基地,为科研和学科建设提供服务。在立足本校的基础上,面向地区,发挥了中心示范辐射作用。该公共实践教学支撑平台,加强了资源共享力度,丰富和改善了公共资源环境,为我校的整体办学条件和办学能力的进一步提高奠定了坚实的公共基础。

本套工程训练系列教材根据本科学生在校四年期间“工程训练不断线”的新思想,以工程训练实训为载体,全面提高学生的工程素质为目的,紧紧围绕着工程训练实践教学课程体系、实践教学内容、实践教学方法与手段的改革,充分利用学科建设优势,注重实践教学基地建设与学科建设、课群建设和科研相融合,利用最新科学研究成果,不断更新工程训练实训内容,将前沿的科学技术知识传授给学生,缩短学生与现代技术的距离,扩展工程训练内涵,提升工程训练实训水平,突破以传统“金工实习”为主的实践教学框架,实现“金工实习”向全面工程训练的转变,建立了分阶段、多层次、模块化、开放型、综合性工程训练教学新模式,形成使本科学生进行大工程、大机械以及工程集成全面工程训练的特色。该实践教学体系有利于根据不同专业、不同层次学生的需求,有利于采取灵活的教学方式安排工程实践训练教学内容;有利于培养学生的实践能力、创新意识和工程综合素质;有利于提高实践训练水平。其改革成果已纳入和体现于《北京理工大学 2003 年教学概览》之中。

本套系列规划教材的建设体现教师参与工程训练中心工程训练实训实践教学成果的固化和再现,有效地利用学科建设的资源,促进实践基地与学科建设、科学研究和课群建设的融合,增大工程训练基地规模,促使工程训练的可持续发展,将进一步推动工程训练中心的建设和发展。

工程训练系列规划教材编委会

前 言

数字化制造技术以制造工程科学为理论基础,融计算机技术、信息技术和制造技术为一体,是先进制造技术的核心。数字化技术的应用,导致了制造信息的表述、存储、处理、传递等方法的深刻变革,使制造业逐步从传统的生产型向知识型模式转化,数字化已逐渐成为产品生命周期中不可缺少的驱动因素。随着 CAD/CAM 技术在机械制造业中的广泛应用,许多院校开设了 CAD/CAM 技术的课程,介绍有关 CAD/CAM 原理和基础知识,但在实际机械产品设计、数控加工编程、数控加工操作方面缺少有针对性的基本训练。编写本书的目的是希望为解决该类问题提供具有实用性的数字化制造实训教程。

本教程以机械制造及其自动化专业的本科生和工程技术人员培训为主要对象,在已掌握了计算机、程序设计语言、机械设计与制造等知识的基础上,通过基于先进的 CAD/CAM 系统 UG NX 的培训,学习数字化制造技术的基本原理、基本方法,培养学生应用计算机手段从事产品设计与制造的综合能力以及数控加工操作基本技能。

本书共分 7 章,主要介绍数字化制造技术的概念、内涵和发展趋势;数字化制造基础;交互式图形编程中的工艺知识;UG CAD 功能;UG CAM 基础;基于 UG 的常用加工方法;数控铣削加工实训等内容。随书所附光盘包含了书中所有零件模型和数控程序,可供读者学习参考。

本书由唐承统、姜巍巍主编。第 1 章由唐承统编写,第 2 章由冯俊编写,第 3 章由张虎编写,第 4 章由姜巍巍编写,第 5、6 章由卢继平编写,第 7 章由王克强编写。全书由唐承统、姜巍巍统稿,蔡颖教授主审。

在本书的规划和编写过程中得到了许多专家的协助,在此深表感谢;本书中部分资料和数据参考或直接引用了参考资料中的内容,在此对其作者和机构一并深表感谢!

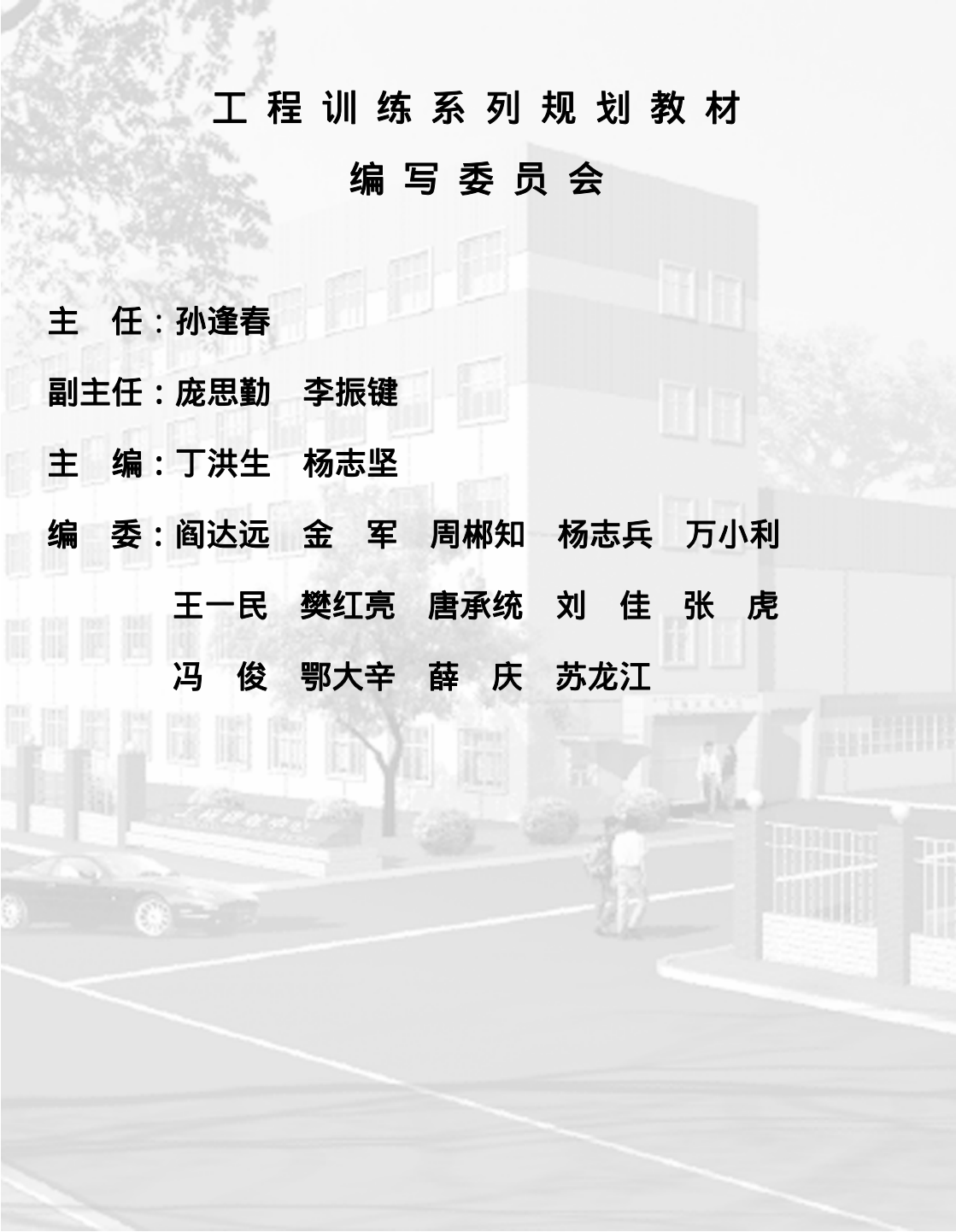
数字化制造技术发展迅猛,学科跨度大,书中难免存在失误、遗漏和不当,恳请专家和读者批评指正。

编 者
2006 年 1 月

目 录

第一章 概述.....	1
1.1 数字化制造技术	1
1.2 数字化制造设备——数控机床	4
1.3 常用 CAD/CAM 软件简介	7
1.4 UG NX 2.0 的功能特点	9
复习思考题	13
第二章 数字化制造基础	14
2.1 数字化设计与制造	14
2.2 数控编程基础知识	23
复习思考题	36
第三章 交互式图形编程中的工艺知识	38
3.1 数控加工的工艺特点	38
3.2 工艺规划	39
3.3 安装与参数选择	53
3.4 数控编程误差控制	64
复习思考题	68
第四章 UG CAD 功能	69
4.1 UG CAD 概述	69
4.2 UG 的曲线功能	79
4.3 UG 的草图功能	94
4.4 UG 的实体造型特征	102
4.5 自由形状特征	148
复习思考题	160

第五章 UG CAM 基础	164
5.1 UG CAM 概述	164
5.2 UG CAM 生成数控程序的一般步骤	167
复习思考题.....	180
第六章 基于 UG 的常用加工方法	181
6.1 点位加工实例	181
6.2 车削加工实例	191
6.3 平面铣加工实例	202
6.4 固定轴铣加工实例	210
复习思考题.....	216
第七章 数控铣削加工实训.....	217
7.1 XK5032C 型数控铣床	217
7.2 基本操作	223
7.3 铣床的对刀操作	226
7.4 数控程序的传输及自动加工	231
7.5 铣床加工过程监控	238
7.6 加工实例	242
复习思考题.....	244
参考文献.....	245



工程训练系列规划教材

编写委员会

主任：孙逢春

副主任：庞思勤 李振键

主编：丁洪生 杨志坚

编委：阎达远 金 军 周郴知 杨志兵 万小利

王一民 樊红亮 唐承统 刘 佳 张 虎

冯 俊 鄂大辛 薛 庆 苏龙江

第一章 概 述

学习重点

数字化制造是先进制造技术的核心。本章内容在论述数字化制造的概念、内涵和发展趋势的基础上，分析了数控机床的工作原理、分类及特点，简单介绍了国内常用的 CAD/CAM 系统，特别对 UG NX 系统的功能特点进行了较为详细描述，为读者后续章节的阅读起到了抛砖引玉的作用。

1.1 数字化制造技术

1.1.1 数字化制造的概念

数字化制造技术是一项融合数字化技术和制造技术，且以制造工程科学为理论基础的重大的制造技术革新，是先进制造技术的核心。数字化技术的应用，导致了制造信息的表述、存储、处理、传递等方法的深刻变革，使制造业逐步从传统的生产型向知识型模式转化，数字化已逐渐成为产品生命周期中不可缺少的驱动因素，从而使数字化制造技术的发展成为必然。数字化制造技术是制造业信息化的基础。它以计算机软硬件、外围设备、协议和网络为基础，用于支持产品全生命周期的制造活动和企业的全局优化运作。

数字化制造革新了制造的科学基础。近 30 年来，制造技术与迅速发展的信息技术的不断融合，使制造业数字化得到了飞速发展。在发达国家的大型企业中，已开始实现无图纸生产，广泛应用 CAD/CAM 技术，实现全面数字化设计。数字化制造从离散的、系统的、动力学的、非线性的和时变的观点来研究制造工艺、设备、技术、组织、管理和营销等问题。它将传统制造中的许多定性的描述转化为数字化的定量描述，在此基础上建立不同层面的系统数字化模型，利用仿真技术，使产品设计、加工、装配等制造过程实现全面数字化。

我国的制造业正处于信息化的关键阶段，为把我国由一个制造业大国建设成一个制造业强国，提高制造业的整体素质、创新能力和市场竞争力，必须大力推进制造业数字化。通过数字化制造技术的应用，增强产品创新度，提高产品设计质量，降低设计制造成本，缩短设计制造周期。同时，应用数字化制造技术提高企业的装备水平和制造能力。

1.1.2 数字化制造的内涵

数字化设计、加工、分析技术以及数字化制造中的资源管理技术等构成了数字化制造的支撑技术,是实现数字化制造的重要途径。数字化制造首先是知识化,数字化要建立在坚实的制造科学理论基础之上;其次是网络化,通过网络使制造进入信息高速公路;再就是可视化,通过友好的人机界面和制造数据可视化,极大地促进了制造知识的使用。数字化制造的内涵是以 CAD/CAE/CAPP/CAM 为主体,以 ERP、MIS、PLM 为信息支持系统的数字控制制造技术。

数字化制造所涉及的对象和活动主要包括企业、企业之间的关系以及企业之间的协作活动和供需活动。从数字化制造过程分析,数字化制造与传统制造有着本质的区别。数字化制造实际上是对制造过程和产品的全生命周期进行精确定义和数字化的描述,来实现对产品的制造。制造过程是根据用户需求,由原材料、零件图形或模型、工艺信息、生产指令、加工、检验、运输、装配和销售等环节构成,最终目的是要生产出达到用户性能要求的合格产品。

数字化制造过程是一个涉及制造企业的产品全生命周期的复杂过程,但其基本的实现流程可以用图 1-1 表示。数字化制造最核心的工作是要将加工的产品、零件进行三维实体建模,获得其数字化模型。一般采用商品化的 CAD 系统,按给定的参数利用该系统的几何建模功能建立零件主模型,对于新设计的产品和零件,必要时应利用 CAE 系统进行分析计算。目前,在一些先进的、功能强大的 CAD/CAM 一体化系统中,当建立了零件的三维模型后,可直接进入 CAM 模块编制其数控加工程序;在有条件的情况下,可利用 CAPP 系统进行数控加工工艺规划和参数确定,实现 CAD/CAPP/CAM 的集成。利用 CAM 编制的 NC 程序,通过加工模拟验证后,经网络或其他介质传递到数控加工机床。同时也可以利用二维绘图系统绘制零件的二维工程图,手工编程得到其数控加工程序。

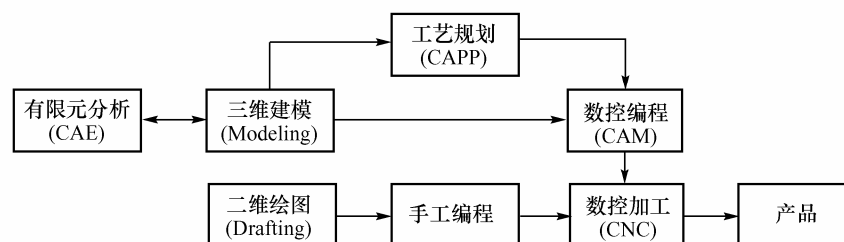


图 1-1 数字化制造的基本流程

近年来,数字化制造技术在我国得到了一定的应用和发展,如数控技术、制造信息支持系统以及 CAD / CAM / CAPP / CAE 技术等在我国已有不同程度的发展。在数控技术方面我

国“八五”期间开发了具有自主知识产权的四种数控系统，在数控机床设计与制造中，已开始采用模块化技术，对数控切削加工中的工艺参数、工具系统的优化控制都进行了研究，为发展数字化制造创造了条件。全国40多万个制造企业在走向市场、参与竞争的过程中，对数字化制造技术的需求日益迫切。我国已有一些研究所、企业开发了数字化产品，有的数字化产品已走向市场，这些都为数字化制造技术和产品在我国的进一步发展奠定了基础。

1.1.3 数字化制造技术的发展趋势

20世纪40年代末数字计算机诞生，不久就被试用于控制加工机床，其特点是把利用人工、行程开关或模板产生的加工信息数字化，并用以控制机床的加工运动。历经半个世纪的发展和运用，数控技术和数控机床都取得了巨大发展，数控机床的拥有量及其年产量已经成为一个国家制造能力的重要标志。数字化制造技术在发达国家得到了广泛应用，在发展中国家也十分重视并积极推广应用，以提高制造业的竞争力，促进经济增长和国家的综合实力。因此，各国既注重技术的超前性，又重视来自制造企业的实际需要，注重系统集成技术与工艺装备技术。数字化制造技术的发展趋势主要体现在以下方面：

一、产品设计技术智能化

产品和零件的数字化模型是数字化制造的信息源。由于产品设计是一个知识驱动的创造性过程，它包含了对知识的继承、集成、创新和管理。随着世界制造业竞争的加剧，创新产品的开发已成为竞争的关键所在，而创新产品的竞争优势在于其所拥有的知识含量。基于知识的产品建模将专家的设计经验和设计过程的有关知识表示在产品信息模型中，为实现产品设计智能化、自动化提供有用的信息。

二、切削加工高速化

这是数字化制造技术的重要发展趋势。其研究应用的一个重要目标是缩短加工时的切削与非切削时间，对于复杂形状和难加工材料及高硬度材料减少加工工序，最大限度地实现产品的高精度和高质量，如智能化工艺参数选择与刀具优选、面向高速切削的刀位路径规划等。高速加工相对于传统的数控加工有着无可比拟的优越性，有利于提高生产率。高速加工作为一种新的技术，其优点是显而易见的，它给传统的数控加工带来了一种革命性的变化，但国内在这一方面的研究尚处于起步阶段。由于高速切削是一种新的加工理念，所以在众多的CAM软件中都没有考虑高速切削问题。高速切削技术以其高速高精度的特点正逐渐成为当前切削技术的重要发展方向和一种主流生产工艺，大力发展高速切削，对制造业发展具有十分重要的意义。

三、普遍应用仿真与优化

在现代产品数字化设计和制造过程中，仿真技术将得到更加广泛的应用。传统的产品设计是基于经验的多反复性过程，从而导致了产品开发周期长、开发成本高。制造业迫切需要利用仿真技术分析产品性能，力求设计出的产品性能最优。目前，优化设计技术与数值仿真

的结合是该领域的重要发展趋势。一些大型制造企业将采用虚拟制造技术，实现产品整个制造过程的仿真，达到对生产过程最优控制的目的。

四、制造资源管理数字化

企业资源管理(ERP)是目前企业信息化建设的核心。随着软件工程技术和 ERP 功能的扩展，ERP 和 PLM (产品生命周期管理)系统的集成已成为重要的发展趋势，这种集成将促进不同功能的协调，有利于促进设计、生产、采购和销售等部门间的交流。ERP/PLM 在实现企业的信息集成、提高企业的管理水平及产品开发效率等方面的意义十分巨大。

五、制造集成与协同化

网络技术特别是 Internet/Intranet 技术的迅速发展，给制造业带来了新的变化和重大影响。制造企业内部实现信息集成和资源集成，在制造企业间形成动态联盟，实现信息和资源共享。将分布在不同地域和不同单位的设计资源、智力资源和制造资源等集成起来协同运作，能提高产品设计水平、市场快速响应能力，降低制造成本。

六、制造绿色化

随着社会的发展和技术的进步，现代制造系统的制造过程所产生的废弃物不能对环境造成污染，因此，环境保护将是建立制造企业的先决条件。目前，对制造业提出了绿色工程和绿色加工的概念，已开展了相关理论和应用技术研究。在建立新的和改造旧的制造系统时，将充分考虑对资源的有效利用以及资源的回收、再生和再利用。

1.2 数字化制造设备——数控机床

1.2.1 数控机床的组成与工作原理

数控机床是实现数字化制造的基础设备之一。数控机床由数控系统和机床本体组成。数控系统就是数控机床的控制系统，它是用数字控制技术实现的自动控制系统，其被控对象是机床本体，也可以是各种生产过程。

数控机床集机械制造、计算机、微电子、现代控制及精密测量等技术为一体，实现了高度的机电一体化。数控系统主要由输入/输出装置、数控装置、驱动控制装置、机床电器逻辑控制装置等部分组成，机床本体为被控对象，如图 1-2 所示。

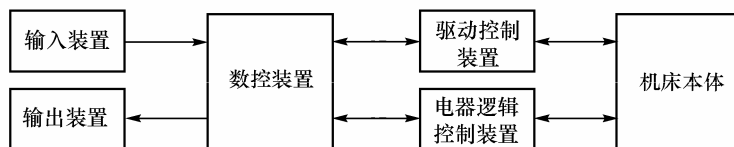


图 1-2 数控机床组成的一般形式

(1) 输入装置：数控系统严格按照通过输入装置输入的数控程序进行自动加工。数控加工程序按零件的加工顺序记录了机床加工所需的各种信息，包括加工轨迹信息、工艺信息和有关机床运动的指令等。常用的输入装置有纸带阅读机、磁盘驱动器以及操作面板上的输入键盘。

(2) 输出装置：主要包括 CRT 和液晶等各种显示器，用来显示输入内容和数控系统的工作状态等。

(3) 数控装置：它是数控系统的核心，其主要功能是正确识别和解释数控加工程序，并对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，完成各种输入和输出任务。数控装置有两种形式：数控功能由数字逻辑电路构成的专用电路实现的装置称为硬件数控（NC）装置；数控功能由计算机控制实现则称为计算机数控（CNC）装置。数控装置将处理后的加工程序信息按两类控制量分别输出：一类是连续控制量，输出给驱动控制装置；另一类是离散的开关控制量，输出给机床的电器逻辑控制装置。

(4) 驱动控制装置：它包括机床的进给轴伺服驱动装置和主轴驱动装置。进给轴伺服驱动装置由位置控制单元、速度控制单元、电动机和测量反馈单元等组成。它按照数控装置输出的指令正确驱动机床的运动部件等被控对象。主轴驱动装置主要由速度控制单元控制。电动机可以是各种步进电动机、直流电动机和交流电动机。

(5) 电器逻辑控制装置：它接受数控装置输出的开关指令。主要完成机床主轴选速、起停和转向控制功能。换刀功能、工件装夹功能、冷却、液压、气动、润滑系统控制功能及其他机床辅助功能，其形式可以是继电器控制电路或可编程控制器。

(6) 机床本体：根据加工零件的工艺要求选择加工方式，由加工方式确定机床本体类型，机床本体可以是车床、铣床、钻床、镗床、磨床、加工中心和电加工机床等。

1.2.2 数控机床的分类

数控机床的品种和规格繁多，分类方法不一。根据不完全统计，目前已有近 500 种数控机床。数控设备在使用上虽然各自控制的对象不同，但是在原理上却都是由数据处理和控制电路以及伺服机构等组成的数控系统。根据数控机床的不同特点可有不同的分类方法。

一、按控制系统的特点分类

1. 点位控制数控机床

对于一些孔加工用数控机床，只要求获得精确的孔系坐标定位精度，而对运动轨迹原则上不加控制，如坐标钻床，坐标镗床以及冲床等。

2. 直线控制数控机床

这类控制方式除了控制点与点之间的准确位置外，还要保证被控制的两点之间移动的轨迹是一条直线，而且移动的速度是按照给定的速度进行控制的。采用这类控制系统的机床有加工中心机床、车床、铣床、磨床以及数控火焰切割机和线切割机等。

3. 轮廓控制的数控机床

这类数控机床应能同时控制两个或两个以上的轴，具有插补功能，对位移和速度进行严格的间断控制。可以有2轴控制、2.5轴控制、3轴控制、4轴控制、5轴控制等。

二、按执行机构的伺服系统类型分类

可分为开环伺服系统数控机床、闭环伺服系统数控机床和半闭环伺服系统的数控机床。

三、按加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床：如数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床等。

(2) 金属成形类数控机床：如数控折弯机、数控油压成形机等。

(3) 数控特种加工机床：如数控线切割机床、数控电脉冲机床、数控激光切割机等。

(4) 其他类型的数控机床：如水射流切割机、鞋样切割机、雕刻机、数控三坐标测量机等。

1.2.3 数控机床的特点

近年来我国制造企业的数控机床占有率逐年上升，在中小企业甚至个体企业中也普遍开始使用。随着计算机技术、网络技术日益普遍运用，数控机床的应用由单机向单元（系统）方向发展。数控机床走向网络化、集成化已成为必然的趋势。数控机床推广应用逐步由经济型为主向普及型为主转变。由于数控机床是通过将零件加工过程所需的各种操作、步骤以及关键的形状尺寸用数字化的代码表示，由控制介质或网络把数字信息输入其数控装置，来控制驱动机床的运动部件，使机床自动加工出所需要的零件。因此数控机床相对普通机床具有以下特点：

一、生产柔性大

在数控机床上加工不同的零件时，只需要更换加工程序即可，因此特别适合于单件、小批量和新产品试制需要。与普通机床不同，不需要设计、制造和更换许多工具和夹具，更不需重新调整机床，不仅大大缩短了加工准备时间，而且节省了大量工艺装备费用。

二、加工精度高

数控机床在结构上由精密机械装置和自动化控制系统组成，本身具有很高的制造精度和控制精度。在数控机床上，零件的加工过程是按照给定的程序自动完成的，消除了操作者的人为误差，加工质量稳定，产品的合格率高。

三、加工效率高

数控机床具有良好的结构刚性，允许进行大切削用量的强力切削。其主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大，且各运动部件的快速移动和定位均采用了减少摩擦、加速和减速措施，能有效地节省机动时间。在更换加工零件时，一般不需要重新调整机床，特别在使用具有自动换刀装置的数控加工中心机床时，一次装夹可以完成多道工序加工，因此数控机床的生产率比普通机床高得多。

四、劳动强度低

数控机床按照预先编制好的零件加工程序自动完成加工，操作者根据所要加工的零件输入程序，装卸零件，并在关键工序进行测量和观察机床运动，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度和紧张程度大为降低。由于数控机床，特别是加工中心能实现封闭式加工，工作环境既清洁又安全。

五、生产管理自动化程度高

数控机床使用数字化信息和标准代码输入，最适宜与各种计算机辅助制造系统的联系与集成。数控机床按给定的加工程序进行加工，能准确地计算零件的加工时间，并有效地简化检验和工装以及半成品的管理，在网络环境下，数控机床具有双向、高速的联网通讯功能，能保证信息流在工厂、车间的底层之间及底层与上层之间通讯的畅通，有利于物料和生产管理的自动化。

1.3 常用 CAD/CAM 软件简介

1.3.1 UG 系统

Unigraphics 是美国 EDS 公司的产品，也是当今世界上最先进的面向制造业的 CAX 高端软件。它是一个集 CAD、CAE 和 CAM 为一体的计算机辅助设计、制造系统，适用于航空航天飞行器、汽车、通用机械以及模具的设计、分析和制造。EDS 公司于 2003 年 5 月发布了新一代数字化产品开发系统——Unigraphics NX 2.0。它的推出将有助于制造企业通过知识驱动自动化和数字化仿真来进一步促进制造业的变革。NX 独特之处是其知识管理，它使得工程专业人员能够推动革新以创造出更大的利润，使企业能够通过新一代数字化产品开发系统实现向产品全生命周期管理转型的目标。在国内外得到了广泛应用。

UG 系统主要功能特点：提供特征化、参数化和变量化的概念设计；采用非均匀 B 样条作为曲面造型和实体模型融为一体；提供可以独立运行的面向对象的集成管理数据库系统，使 CAD、CAE、CAM 各部分能够自由切换；具有良好的二次开发接口和工具。

UG 系统的主要功能模块包括：概念设计、工程绘图、实体造型、特征建模、自由曲面建模、装配建模、高级装配、机构分析、有限元建模与分析、平面铣削、型腔铣切、车削加工、钣金成形、下料排样、冲压、综合仿真、工程数据库、计算机辅助工艺过程设计等。

1.3.2 Pro/E 系统

Pro/Engineer 是美国 PTC 公司开发的一套机械设计自动化软件系统。它是新一代 CAD/CAE/CAM 软件，实现了产品零件或组件从概念设计到制造全过程设计的自动化。该系统提供了以参数化为基础，基于特征的实体造型技术。工程设计人员采用具有智能特性的基

于特征的功能生成模型，该功能特性给工程设计者提供简便和灵活的设计工具。Pro/ Engineer 建立在统一的数据库上，在整个设计过程的任何一处发生改动，就会反应在整个设计过程的相关环节上。主要用于汽车、运输机械、宇航和飞机制造、电子、计算机设备以及其他行业。

Pro/E 系统的主要功能特点：将产品设计至生产全过程集为一体，其核心技术是采用参数化、特征化的实体建模，具有独特的功能结合能力。系统是建立在统一的富有关联性的数据库基础之上，任何一处更改，其他有关地方都会相应地自动修改，提供了工程的“完全关联性”。

Pro/E 系统的主要功能模块包括：实体造型、曲面造型、特征定义、装配设计、组件设计、工程制图、图表设计、电缆设计、模具设计、钣金设计、有限元网络、数控加工编程、标准件库、数据管理、报表生成等。

1.3.3 SolidWorks 系统

SolidWorks 是美国生信国际有限公司 (SolidWorks Corporation) 推出的基于 Windows 的机械设计软件。通过接口技术以 SolidWorks 为核心将各种应用集成，(SolidWorks) 是一个 CAD/CAE/CAM/PDM 桌面集成系统。该软件易学易用，设计人员在较短时间内就能掌握其使用方法，并应用到设计实践中去，为企业提供了较为理想的三维机械设计解决方案。SolidWorks 是微机版参数化特征造型软件的新秀。该软件旨在以工作站版的相应软件价格的 1/4 ~ 1/5 向广大机械设计人员提供界面更友好、运行环境更大众化的实体造型实用功能。从 1995 年发布第一个商品化版本开始，SolidWorks 得到了迅速推广和应用。

SolidWorks 系统功能特点：三维机械设计软件的功能强，具有自顶向下 (Top Down) 和自下向上 (Down Top) 的装配建模能力，以及基于 Internet 的协同工作环境。使用 SolidWorks 进行产品设计，设计人员不仅能体会到它强大的建模功能、装配能力以及灵活的工程图操作，而且可以感受到利用 SolidWorks 设计所带来的便捷和高效率。

SolidWorks 系统的主要功能模块包括：三维建模、曲面设计、装配特征、装配建模、工程绘图、钣金设计、管道设计、动画等。

1.3.4 Master CAM 系统

Master CAM 是美国 CNC.Software 公司开发的 CAD/CAM 软件系统。该系统基于 PC 平台，对运行环境要求不高，支持中文环境，具有设计与数控编程功能强、操作灵活、易学易用的特点。虽然不如一些大型的工作站软件功能齐全、模块多，但其性能价格比高，使企业能很快见到效益，是目前在我国应用最广泛、最有代表性的 CAD/CAM 软件之一。

Master CAM 的功能特点：设计模块集二维、三维线框、曲面和实体建模于一体，具有全特征化造型功能和强大的图形编辑、转化处理能力。制造模块可生成和管理多种类型的数控

加工程序，具有将加工操作与几何图形、工艺参数联系在一起的关联性功能，使刀具路径可方便地随零件图形或工艺参数改变而自动重新生成。

Master CAM 系统功能模块包括：零件几何建模（Design）、车削加工（Lathe）和铣削加工（Mill）三大模块。

1.4 UG NX 2.0 的功能特点

1.4.1 功能特点

UG NX 2.0 除了具有 UG 系统的强大功能外，其功能特点主要体现在知识驱动的自动化、集成的数字化仿真、基于系统级的建模能力等方面的功能增强。

一、知识驱动自动化

扩展了获取知识的范围，超越了几何模型创建的范畴而进入产品生命周期的其他领域，使用户能够“预载”产品开发流程，应用制造和系统知识使设计决策最优化。其主要功能包括更深入的知识捕捉，涵盖了结构和运动模拟、工程图、纹理、质地和材料设计等方面的知识。利用增强的人机界面功能，用户能浏览知识依存关系，所提供的知识驱动验证功能，使用户能进行诸如塑料件可加工性的自动检查，以及汽车曲面性能是否满足要求的检查。

二、集成的数字化仿真

通过在产品开发流程早期使用数字化仿真技术，用户能够核对概念设计与功能要求的差异，创建满足严格设计标准的产品，降低产品的开发费用。

(1) 集成化和基于知识的检查和仿真工具，可以依据仿真结果自动修改产品外形，以更改设计意图。

(2) 新集成的疲劳和寿命分析解算器，使设计师可以模拟包括预期失效在内的产品整个设计寿命。

(3) 在计算机辅助制造中对机床运动进行模拟仿真分析。

三、基于系统的建模

在 Unigraphics NX 2.0 中新增的功能允许用户在产品概念设计阶段快速评估可供选择的多个设计方案。基于系统级建模的功能包括以下两个方面：

(1) 管理装配的功能，包括管理装配“排列”和在产品结构中的多向阵列等，并可在整个装配或是子装配中进行管理操作。

(2) 增强了管理可变形件的功能，包括可变动定位装配的简化小平面片显示、允许使用更多的定位方法等，大大提高了系统执行效率。

四、全面的产品工程

(1) 主要的增强功能覆盖了从产品概念设计到制造工程的各个部分。

(2) Imageware 逆向工程及曲面设计与 CAD 设计功能相结合，为工业设计者提供了一个完整、灵活的设计环境，使用户在设计中既可以使用曲线和基于曲面的工业设计方法，也可以使用 CAD 造型设计方法。

1.4.2 主要功能模块简介

一、UG/Gateway

UG/Gateway (UG 入口) 是连接所有 UG 功能模块的基础。包括打开、创建、存储等文件操作；着色、消隐、缩放等视图操作；图层管理，绘图及绘图机队列管理。空间漫游功能可以定义漫游路径，生成动画文件。同时具有各种查询功能，如表达式查询、特征查询、模型信息查询、坐标查询、距离测量和曲线曲率分析、曲面光顺分析、实体物理特性自动计算等。还提供了用于定义标准化零件族的电子表格功能，按可用于互联网主页的图片文件格式生成 UG 零件或装配模型的图片文件功能，以及 Macro 宏命令自动记录、回放功能。利用 User Tools 用户自定义菜单功能，使用户可以快速访问其常用功能或二次开发的功能。

二、UG/CAD

1. UG/Solid Modeling (实体建模)

该模块将基于约束的特征建模与显式几何模型方法相结合，提供了草图设计、各种曲线生成、编辑、布尔运算、扫掠实体、旋转实体、沿轨迹扫掠、尺寸驱动等功能，以及定义、编辑变量及其表达式、非参数化模型参数化等工具。

2. UG/Features Modeling(特征建模)

该模块提供了各种标准设计特征的生成和编辑功能，主要包括各种孔、键槽、凹腔、方形、圆形、异形、方形凸台、圆形凸台、异形凸台、圆柱、方块、圆锥、球体、管道、杆、倒圆、倒角等。同时具有模型抽空产生薄壁实体、模型简化(Simplify)、实体线、面提取、特征编辑、特征引用、特征阵列、特征顺序调整等工具。

3. UG/Free Form Modeling(自由曲面建模)

该模块具有丰富的曲面建模工具，支持复杂的自由曲面形状，包括直纹面、扫描面、通过一组曲线的自由曲面、通过两组正交曲线的自由曲面、曲线广义扫掠、标准二次曲线方法放样。该模块还具有等半径和变半径倒圆、广义二次曲线倒圆、两张及多张曲面间的光顺桥接、动态拉动调整曲面、等距或非等距偏置、曲面裁减、曲面编辑、点云生成等功能。

4. UG/User Defined Features(用户自定义特征)

该模块具有交互式定义和存储用户自定义特征 (UDF) 功能，形成用户专用的 UDF 库，以提高用户设计建模效率。在 UDF 生成之后，UDF 即变成可通过图标菜单被所有用户调用的用户专有特征。该模块还提供了从已生成的 UG 参数化实体模型中提取参数、定义特征变量、建立参数间相关关系、设置变量缺省值、定义代表该 UDF 图标菜单的工具。

5. UG/Drafting(工程绘图)

利用该模块的功能可以使工程师由三维实体模型得到完全相关的二维工程图。UG 工程绘图模块提供了自动视图布置、剖视图、向视图、局部放大图、自动和手工尺寸标注、形位公差、粗糙度符号标注、支持 GB 和标准汉字输入、视图手工编辑、装配图剖视、明细表自动生成等功能。

6. UG/Assembly Modeling(装配建模)

该模块提供了并行的、自顶向下和自下而上的产品开发方法。装配模型中零件数据是对零件本身的链接映像，保证了装配模型和零件设计完全双向相关，可在装配环境下直接修改零件设计，减少了存储空间，还具有定义不同零件或组件间的参数关系，以及参数化的装配建模提供描述组件间配合关系的附加功能。同时提供了装配导航、零件搜索、零件装机数量统计、装配层次快速切换、直接访问任何零件或子装配件和生成支持汉字的装配明细表等工具。

7. UG/Advanced Assemblies(高级装配)

该模块提供了产品级大装配设计的特殊功能，允许用户灵活过滤装配结构的数据调用，可实现高速大装配着色、大装配干涉检查功能，还能有效管理、共享和检查复杂产品布局的数字模型，完成全数字化的电子样机装配，并对整个产品、指定的子系统或子部件进行可视化和装配效率分析。对于大型产品，设计师可定义共享产品区段和子系统，以便从大型产品结构中选取进行设计更改的部件，提高软件运行的响应速度。

三、UG/CAE

1. UG/Senario for FEA(有限元前后置处理)

UG 有限元前置处理功能可完成全自动网格划分、交互式网格划分、材料特性定义、载荷定义和约束条件定义操作。有限元后置处理功能可完成分析结果图形化显示、结果动画模拟、输出等值线图与云图、动态仿真和数据输出等操作。同时提供了与 NASTRAN 的接口。

2. UG/FEA(有限元解算器)

该模块与 UG/Senario for FEA 模块集成在一起，为在 UG 环境下进行建模与分析提供了一个完整的解决方案。UG/FEA 提供了线性结构静力分析、线性结构动力分析、模态分析等功能。

四、UG/CAM

1. UG/CAM Base(加工基础)

该模块提供了连接所有 UG 加工模块的基础模块。用户可以在图形方式下观测刀具沿轨迹运动的情况、进行图形化修改：如对刀具轨迹进行延伸、缩短或修改、点位加工编程功能。它还提供了用于钻孔、攻丝和镗孔、按用户需求进行灵活的用户化修改和剪裁、定义标准化刀具库、加工工艺参数样板库等工具。

2. UG/Postprocessing(后置处理)

该模块使用户可方便地建立自己的加工后置处理程序，适用于大多数主流 NC 机床和加