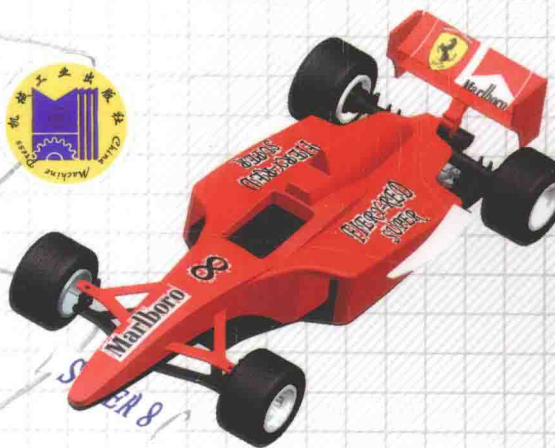
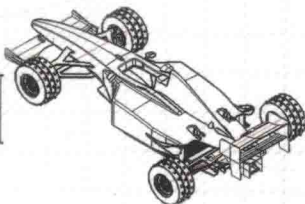
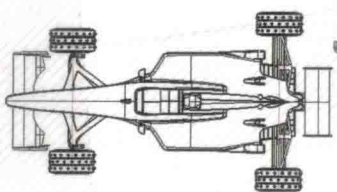
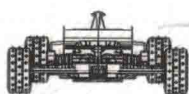
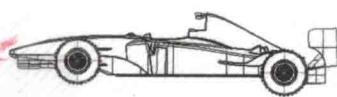


国家精品资源共享课配套教材

**CAD/CAM** 工程范例系列教材  
国家职业技能培训教材

# UG 机械制造工程 范例教程

## (CAM自动编程篇)



国家级数控培训基地  
UGS公司授权培训中心

袁锋 编著

附赠1CD



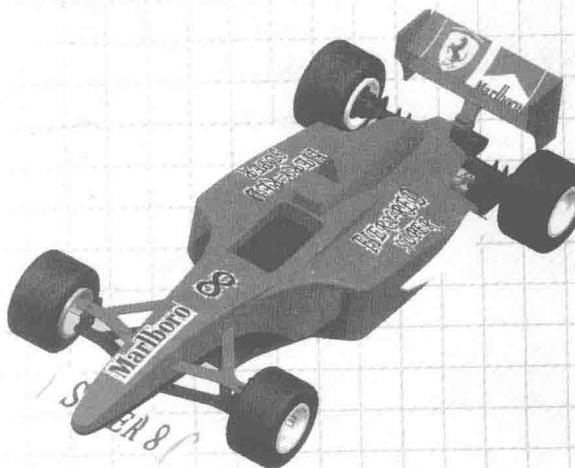
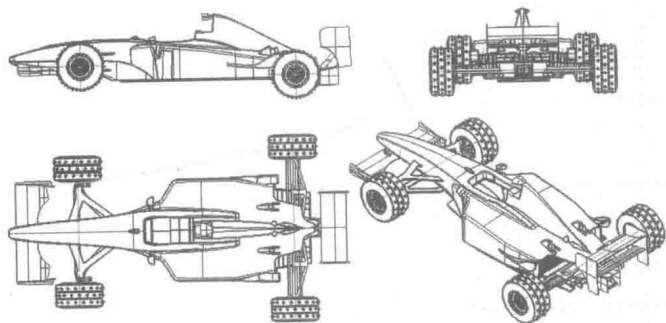
机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国家精品资源共享课配套教材

CAD/CAM 工程范例系列教材  
国家职业技能培训教材

# UG 机械制造工程 范例教程

## (CAM自动编程篇)



国家级数控培训基地  
UGS公司授权培训中心

袁 锋 编著

附赠1CD

全书共 12 章, 第 1 章为数控加工基础知识, 第 2 章为 UG NX CAM 基础, 第 3 章为平面铣操作基础, 第 4、第 5 章为平面铣工程实例, 第 6 章为轮廓铣削操作基础, 第 7、第 8 章为轮廓铣削工程实例, 第 9 章为钻削加工, 第 10 章为特征加工, 第 11 章为创建和调用自定义加工模板, 第 12 章为后处理构造器。

本书以图文并茂的方式详细介绍了典型工程案例的数控加工工艺和 UG 软件的操作步骤, 并配有操作过程的动画演示光盘, 帮助读者更加直观地掌握 UG NX8.0 的软件界面和操作步骤, 易学易懂。

本书可作为 CAD/CAE/CAM 专业教材, 特别适合 UG 软件的初、中级用户以及大中专院校机械、数控、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用, 也可作为研究生和企业从事三维设计、数控加工、自动编程的广大工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

UG 机械制造业工程范例教程. CAM 自动编程篇/袁锋编著. —北京: 机械工业出版社, 2015. 11

CAD/CAM 工程范例系列教材 国家职业技能培训教材 国家精品资源共享课配套教材

ISBN 978-7-111-52082-5

I. ①U… II. ①袁… III. ①机械制造—计算机辅助制造—应用软件—教材②机械制造—计算机辅助制造—程序设计—教材 IV. ①TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 266691 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 薛礼 责任编辑: 薛礼

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈越

封面设计: 路恩中 责任印制: 李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26.5 印张 · 669 千字

0 001—1900 册

标准书号: ISBN 978-7-111-52082-5

ISBN 978-7-89405-828-7 (光盘)

定价: 55.00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

## 一、数字化设计与制造技术

1. 数字化设计与制造技术已经成为提高制造业核心竞争力的重要手段

随着技术的进步和市场竞争的日益激烈,产品的技术含量和复杂程度在不断增加,而产品的生命周期日益缩短。因此,缩短新产品的开发和上市周期就成为企业形成竞争优势的重要因素。在这种形势下,在计算机上完成产品的开发,通过对产品模型的分析,改进产品设计方案,在数字状态下进行产品的虚拟设计、试验和制造,然后再对设计进行改进或完善的数字化产品开发技术变得越来越重要。因此,数字化设计与制造技术已经成为提高制造业核心竞争力的重要手段和世界各国在科技竞争中抢占制高点的突破口。

2. UG 软件已成为数字化设计与制造技术领域首选软件

Unigraphics,简称UG,是美国UGS(后被西门子公司收购)公司推出的功能强大、闻名遐迩的CAD/CAE/CAM一体化软件,是全球运用最广泛、最优秀的大型CAD/CAE/CAM软件之一。UG自1990年进入中国市场以来,发展迅速,已成为我国数字化设计与制造技术领域应用最广泛的软件之一。

3. 我国快速发展的装备制造业迫切需要大量掌握数字化设计与制造关键技术的高素质高级技能人才

我国要从制造大国向制造强国转变,真正成为“世界加工制造中心”,必须要有先进的制造技术,数字化设计与制造技术将成为“中国制造向中国创造”转变的一个重要突破口。我国快速发展的装备制造业迫切需要大量掌握数字化设计与制造关键技术的高素质高级技能型专门人才,因此编写适合高职高专培养数字化设计与制造高技能人才的教材是十分必要的。

## 二、CAD/CAM 工程范例系列教材

CAD/CAM工程范例系列教材为国家精品资源共享课“使用UG软件的机电产品数字化设计与制造”的配套教材。其中,基础篇第2版和高级篇第2版分别被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,高级篇第2版还被评为2007年度普通高等教育国家精品教材;CAD数字化建模篇第3版、CAD数字化建模实训篇第3版、CAD数字化建模课程设计篇第2版被评为“十二五”职业教育国家规划教材。本系列教材被全国100



余所高职高专院校机械类专业广泛选用,覆盖面广、影响力大,使用评价好。

本系列教材包括:《UG 机械设计工程范例教程 (CAD 数字化建模篇) 第3版》《UG 机械设计工程范例教程 (CAD 数字化建模实训篇) 第3版》《UG 机械设计工程范例教程 (CAD 数字化建模课程设计篇) 第2版》《UG 机械制工程范例教程 (CAM 自动编程篇)》《UG 机械制工程范例教程 (CAM 自动编程实训篇)》《UG 机械工程范例教程 (逆向工程篇)》《UG 机械工程范例教程 (逆向工程实训篇)》《UG 机械工程范例教程 (模具设计篇)》以及《UG 机械工程范例教程 (模具设计实训篇)》。

### 三、CAD/CAM 工程范例系列教材的编写特点

1) 系列教材以数字化设计 (三维 CAD 建模)、数字化制造 (CAM 自动编程)、逆向反求、模具设计四大核心技术为重点,以工作过程为导向,将文字和形象生动的图形结合起来,详细介绍了典型机电产品的三维数字化设计与制造、逆向反求与模具设计方法,并通过基础篇、高级篇、实训篇和课程设计篇等来反映高职人才培养全过程,具有鲜明的职业技术教育特色,长期用于高职教学,符合职业教育规律和高端技能型人才的成长规律。

2) 教材与行业、企业紧密联系,教材中的 80% 项目案例均取自于生产实际的工程案例,并将 UG 数字化设计与制造技术领域的知识点、技能点融于教学与实践技能培养的过程中,以“应用”为主旨构建了课程体系与教材体系,对学生职业能力和职业素质养成起到重要的支撑和促进作用。

3) “高等性”与“职业性”的融合是本系列教材的一大特色。教材依据国家职业标准或行业、企业标准 (UGS 技能证书标准),将职业技能标准融合到教学内容中,强化学生技能训练,提高技能训练效果,使学生在获得学历证书的同时顺利获得相应职业资格证书,实现“高等性”与“职业性”的融合。

4) 教材以能力培养为主线,通过典型机电产品的数字化设计与制造将各部分教学内容有机联系、渗透和互相贯通,在课程结构上打破原有课程体系,以工作过程为导向,加强对学生三维数字化设计能力和 UG 软件操作能力的培养,激发学生的学习兴趣,提高了学生三维数字化设计与制造的工程应用能力、创新能力,提高学生理论联系实际的工作能力和就业竞争力,突出了学生对所学知识的灵活应用,做到举一反三。

5) 作为国家精品资源共享课“使用 UG 软件的机电产品数字化设计与制造”的配套教材,结合中国大学资源共享课程,提供配套的教学资料,如相关实训、学习指导、教案、作业及题解。同步开发与本系列教材配套的教学资源库和拓展资源库,如工程案例库、素材资源库,操作动画库、视频库、试题库、多媒体教学课件等拓展资源,帮助学生全面掌握三维数字化设计与制造的工程应用能力。

本系列教材可作为 CAD/CAE/CAM 专业教材,特别适合 UG 软件的初、中级用户以及大中专院校机械、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用,也可作为研究生和企业从事三维设计、数控加工、自动编程的广大工程技术人员的参考用书。

本系列教材在编写过程中得到了常州轻工职业技术学院、常州数控技术研究所及 Siemens PLM Software 的大力支持,在此一并表示衷心感谢。由于编者水平有限,谬误欠妥之处,恳请读者指正并提宝贵意见,我的 E-Mail: YF2008@CZIL.EDU.CN。

# 前言

CAD/CAM 工程范例系列教材为国家精品资源共享课“使用 UG 软件的机电产品数字化设计与制造”的配套教材。目前已正式出版系列教材中的 CAD 数字化建模篇第 3 版、CAD 数字化建模实训篇第 3 版、CAD 数字化建模课程设计篇第 2 版,均被评为“十二五”职业教育国家规划教材。

本书结合了作者多年从事 UG CAD/CAE/CAM 教学和培训的经验,以 UG NX8.0 中文版为操作平台,详细介绍了数控加工基础知识、UG NX CAM 加工应用基础、固定轴铣削加工技术(包括平面铣、型腔铣和固定轴轮廓铣)、钻削加工、特征加工以及后处理构造器等集成仿真技术。

全书共 12 章,第 1 章为数控加工基础知识,第 2 章为 UG NX CAM 基础,第 3 章为平面铣操作基础,第 4、第 5 章为平面铣工程实例,第 6 章为轮廓铣削操作基础,第 7、第 8 章为轮廓铣削工程实例,第 9 章为钻削加工,第 10 章为特征加工,第 11 章为创建和调用自定义加工模板,第 12 章为后处理构造器。

本书以图文并茂的方式详细介绍了典型工程案例的数控加工工艺和 UG 软件的操作步骤,并配有操作过程的动画演示光盘,帮助读者更加直观地掌握 UG NX8.0 的软件界面和操作步骤,易学易懂。

本书可作为 CAD/CAE/CAM 专业课程教材,特别适合 UG 软件的初、中级用户以及大中专院校机械、数控、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用,也可作为研究生和企业从事三维设计、数控加工、自动编程的广大工程技术人员的参考用书。

本书由常州轻工职业技术学院袁锋教授编著,常州数控技术研究所袁钢担任主审。

本书在编写过程中得到了常州轻工职业技术学院、常州数控技术研究所与 Siemens PLM Software 的大力支持,在此一并表示衷心感谢。由于编者水平有限,谬误欠妥之处,恳请读者指正并提宝贵意见,我的 E-Mail: YF2008@CZILL.EDU.CN。

# 目录

## 丛书序言

## 前言

<b>第1章 数控加工基础知识</b> .....	1
1.1 数字控制与数控机床 .....	1
1.2 数控机床的组成、工作原理和特点 .....	2
1.3 数控机床的分类 .....	4
1.4 数控机床坐标系 .....	9
1.5 刀具补偿 .....	12
1.6 数控刀具 .....	14
1.7 数控加工工艺 .....	29
1.8 数控加工工艺分析和规划 .....	30
1.9 数控工艺粗精加工原则 .....	31
<b>第2章 UG NX CAM 基础</b> .....	33
2.1 UG CAM 主要加工方式及功能特点 .....	33
2.2 UG CAM 界面介绍 .....	35
2.3 UG 数控加工几何体类型 .....	40
2.4 UG 加工余量的设置 .....	43
2.5 UG NX 数控加工常用技术 .....	44
2.6 UG CAM 数控编程步骤 .....	54
2.7 数控加工 UG CAM 编程操作流程 .....	55
<b>第3章 平面铣操作基础</b> .....	81
3.1 平面铣边界介绍 .....	81
3.2 底平面选项介绍 .....	86
3.3 表面铣削 .....	87
3.4 表面铣和平面铣加工选项介绍 .....	90
3.5 切削参数 .....	97
3.6 非切削移动 .....	107
3.7 进给率和速度 .....	118
3.8 机床控制 .....	120

3.9 NC 助理 .....	120
<b>第4章 平面铣工程实例一 .....</b>	<b>125</b>
4.1 打开文件 .....	126
4.2 设置加工坐标系及安全平面 .....	127
4.3 设置铣削几何体 .....	129
4.4 创建刀具 .....	131
4.5 创建程序组父节点 .....	132
4.6 编辑加工方法父节点 .....	133
4.7 创建外形加工操作 .....	134
4.8 创建大型腔加工操作 .....	143
4.9 创建小型腔加工操作 .....	152
4.10 创建综合刀轨仿真验证 .....	154
4.11 拓宽加工思路 .....	154
<b>第5章 平面铣工程实例二 .....</b>	<b>161</b>
5.1 打开文件 .....	162
5.2 创建毛坯 .....	162
5.3 设置加工坐标系及安全平面 .....	163
5.4 创建铣削几何体 .....	166
5.5 运用 NC 助理分析模型 .....	167
5.6 创建刀具 .....	171
5.7 创建程序组父节点 .....	172
5.8 编辑加工方法父节点 .....	173
5.9 创建粗加工操作 .....	174
5.10 创建精加工顶部平面操作 .....	179
5.11 创建精加工侧壁操作 .....	181
5.12 创建刀轨仿真验证 .....	185
5.13 创建机床仿真验证 .....	185
<b>第6章 轮廓铣削操作基础 .....</b>	<b>197</b>
6.1 型腔铣与固定轴曲面轮廓铣的特点 .....	197
6.2 型腔铣各子类型功能 .....	198
6.3 固定轴曲面轮廓铣各子类型功能 .....	199
6.4 型腔铣削参数介绍 .....	201
6.5 等高轮廓铣参数介绍 .....	210
6.6 固定轴曲面轮廓铣削参数 .....	215
<b>第7章 轮廓铣削工程实例一 .....</b>	<b>240</b>
7.1 打开文件 .....	241
7.2 创建毛坯 .....	241
7.3 设置加工坐标系及安全平面 .....	243



7.4	创建铣削几何体 .....	246
7.5	创建刀具 .....	247
7.6	创建粗加工操作 .....	248
7.7	创建半精加工操作 .....	251
7.8	创建精加工操作 .....	255
7.9	创建精加工清根操作 .....	258
<b>第 8 章</b>	<b>轮廓铣削工程实例二 .....</b>	<b>262</b>
8.1	打开文件 .....	263
8.2	创建毛坯 .....	264
8.3	设置加工坐标系及安全平面 .....	265
8.4	设置铣削几何体 .....	267
8.5	创建刀具 .....	269
8.6	创建加工方法 .....	270
8.7	创建粗加工操作 .....	271
8.8	创建半精加工操作 .....	280
8.9	创建精加工操作 .....	288
<b>第 9 章</b>	<b>钻削加工 .....</b>	<b>295</b>
9.1	钻削加工概述 .....	295
9.2	钻削加工子类型功能 .....	296
9.3	钻削加工参数设置 .....	298
9.4	打开文件 .....	301
9.5	创建毛坯 .....	301
9.6	设置加工坐标系及安全平面 .....	303
9.7	创建铣削几何体 .....	307
9.8	创建刀具 .....	308
9.9	创建中心 (点) 钻操作 .....	312
9.10	创建标准钻孔加工操作一 .....	316
9.11	创建标准钻孔加工操作二 .....	320
9.12	创建攻螺纹孔操作 .....	323
9.13	创建标准钻孔加工操作三 .....	326
9.14	创建镗孔加工 .....	328
9.15	创建标准钻孔加工操作四 .....	332
9.16	创建铰锥形孔加工操作 .....	336
<b>第 10 章</b>	<b>特征加工 .....</b>	<b>341</b>
10.1	特征加工的概念 .....	341
10.2	基于特征的智能加工实例 .....	341
<b>第 11 章</b>	<b>创建和调用自定义加工模板 .....</b>	<b>364</b>
11.1	模板的概念 .....	364

---

11.2	使用系统自带的加工向导实例 .....	364
11.3	调用模型模板 .....	372
11.4	创建自定义模板 .....	385
<b>第 12 章</b>	<b>后处理构造器 .....</b>	<b>396</b>
12.1	NX/Post Builder 制作 fanuc 后处理 .....	396
12.2	编辑后处理模板文件 .....	407
12.3	应用自制的后处理器进行后处理 .....	408
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>411</b>

# 第 1 章

## 数控加工基础知识

### 1.1 数字控制与数控机床

数控机床是一种利用数字控制技术进行自动化加工控制，并按照事先编制好的程序，实现规定加工动作的金属切削加工机床。

数控机床的控制对象可以是各种加工过程，而任何生产都有一定的过程，数控机床控制生产过程是通过将事先编制好的程序输入计算机或专用计算装置，利用计算机的高速数据处理能力对程序进行计算和处理，然后分解为一系列的动作指令，输出并控制生产过程中相应的执行对象，从而可使生产过程在人干预或少干预的情况下自动进行，实现生产过程的自动化。

采用了数字控制技术的数控机床会经常接触到以下概念。

#### 1. 数字控制 (Numerical Control) 技术

数字控制技术是一种通过数字化信号对机床的运动及加工过程进行控制的方法，简称数控 (NC) 技术。

数控技术不仅用于数控机床的控制，还可用于控制其他机械设备，如工业机器人、智能纺织机和自动绘图机等。

#### 2. 数控系统 (Numerical Control System)

数控系统即采用数控技术的控制系统，它能自动阅读输入载体上事先给定的程序，并将其译码，从而使机床运动并加工零件。它一般包括数控装置、输入/输出装置、可编程控制器 (PLC)、驱动控制装置等部分，机床本体为其控制对象。

数控系统严格按照外部输入的程序对工件进行自动加工，与普通机床相比，数控机床避免了普通机床操作人员大量而又烦琐的手工操作。

#### 3. 数控机床 (Numerical Control Machine)

数控系统与机床本体的结合体称为数控机床，或者称为采用数控系统的机床。它是技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备，是一个装有程序控制系统的机床。

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多种技术为一体，使传统的机械加工工艺发生了质的变化，这个变化就在于使用数控系统实现加工过程的自动化操作。

#### 4. 计算机数控系统 (Computerized NC System)

当数控系统的数控装置采用计算机数控装置 (CNC 装置) 时，该数控系统就称为计算

机数控系统, 习惯上称为 CNC 系统。CNC 系统一般由装有数控系统程序的专用计算机、输入/输出设备、可编程序控制器 (PLC)、存储器、主轴驱动及进给装置等部分组成。

目前, 绝大多数的数控系统都是采用 CNC 装置的计算机数控系统。

## 1.2 数控机床的组成、工作原理和特点

### 1.2.1 数控机床的组成及工作原理

数控机床一般由程序载体、输入装置、数控装置、伺服系统、位置反馈系统和机床本体等部分组成, 如图 1-1、图 1-2 所示。

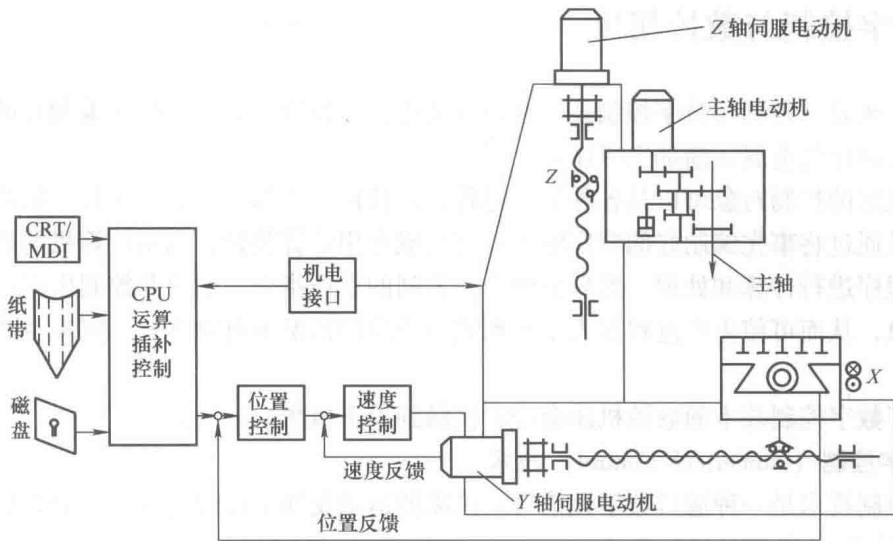


图 1-1

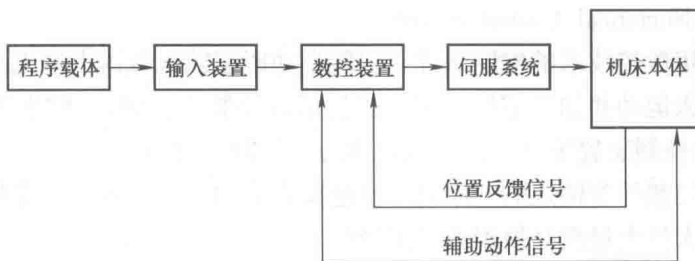


图 1-2

#### 1. 程序载体

数控机床是按照输入的零件加工程序进行加工的。零件加工程序按照加工顺序记载着机床加工所需的各种信息, 其中包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数 (进给量、主轴转速等) 和辅助运动等指令和参数。零件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上, 通过数控机床的输入装置, 将程序信息输入到数控机床装置内。

## 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等。

现代数控机床,还可以不用任何程序载体,只需将事先编制好的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,或者将加工程序输入到编程计算机中,再由编程计算机用通信方式传送到数控装置中。

## 3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它根据程序载体通过输入装置传来的加工信息代码,经过识别、译码后传输到相应的存储区,再经过数据运算处理输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统,进而控制机床的进给机构执行相应的动作。

数控装置一般由存储器、运算器、输入/输出接口及控制器等组成。其中控制器主要用于对数控机床的一些辅助动作(如刀具的选择与更换、主轴转速控制、切削液开关等)的控制。

## 4. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的位置控制指令转变成机床工作部件的运动,使工作台精确定位或按照规定的轨迹移动,加工出符合图样要求的零件。伺服系统由伺服驱动电路、功率放大电路、伺服电动机、传动机构和检测反馈装置组成,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主要因素之一。

在数控机床的伺服系统中,常用的伺服驱动元件有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。根据接受指令的不同,伺服驱动元件有脉冲式和模拟式两种,其中步进电动机采用脉冲式驱动方式,而直流伺服电动机、交流伺服电动机采用的则是模拟式驱动方式。

## 5. 位置反馈系统

位置反馈系统的作用是通过传感器将测量到的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,反馈给数控装置,与指令位置随时进行比较,并由数控装置发出指令纠正所产生的误差,从而实现工作台的精确定位。

闭环、半闭环数控系统的精度取决于位置反馈系统的测量装置,所以测量装置是高性能数控机床的重要组成部分,通常安装在数控机床的工作台或丝杠上。

## 6. 机床本体

在开始阶段,数控机床的机床本体使用通用机床,只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面有点改变。后来,在数控机床设计时,采用了许多新的加强刚性、减少热变形、提高精度等措施,提高了数控机床的强度、刚度和抗振性。在传动系统与刀具系统的部件结构、操作机构等方面也都发生了很大的变化,其目的是满足数控技术的要求和更为充分地发挥数控机床的效能。

数控机床的机械部件包括主传动系统、进给传动系统及辅助装置。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。

总体说来,数控加工是通过数控机床的输入装置,将程序载体中的零件加工程序输入到数控装置内,由数控装置对输入的程序和数据进行数字计算、逻辑判断等操作,再发出各种动作指令给伺服系统,驱动数控机床的进给机构进行运动。当数控机床执行机构的位移与所需的指令位置发生误差后,由位置反馈系统反馈给数控装置,并由数控装置发出指令消除所产生的误差。

## 1.2.2 数控机床的特点

近年来,数控机床的柔性、精确性、可靠性和集成性等各方面功能越来越完善,在自动化加工领域的占有率也越来越高。作为一种灵活的、高效能的自动化机床,数控机床较好地解决了复杂、精密、多变的单件、小批量的零件加工问题。概括起来,与其他加工方法相比,采用数控机床具有以下特点:

(1) 适应性强,适合加工单件或小批量复杂工件 在数控机床上加工零件,当零件发生变化时,只需重新编制新零件的加工程序,重新选择、更换所使用的刀具,而对机床不需要做任何调整,就能实现对新零件的加工。

(2) 加工精度高 数控机床的加工完全是自动进行的,这种方式避免了操作人员的人为操作误差,同一批工件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量稳定。另外,数控机床的传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,进给系统采用消除间隙措施,并由数控系统对反向间隙与丝杠螺距误差等进行自动补偿,所以工件的加工精度较高。

(3) 生产效率高 数控机床的主轴转速和进给量的调整范围都比普通机床的范围大,机床刚性好,能根据程序中编制的指令进行快进和工进并精确定位,有效地提高了空行程的运动速度,大大缩短了加工时间。另外数控机床不需要专用的工夹具,因而可以省去工夹具的设计和制造时间。与普通机床相比,数控机床生产率可提高2~3倍。

(4) 减轻工人的劳动强度 数控机床的加工是自动进行的,在工件加工过程中不需要操作人员进行繁重的重复性手工操作,使工人的劳动强度大大减轻。

(5) 能加工复杂型面 数控机床能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,为实现生产过程的计算机管理与控制奠定了基础。

## 1.3 数控机床的分类

自1958年第一台数控机床问世以来,数控机床无论是在品种、数量还是在技术水平等方面都已经得到了迅速发展。目前数控机床的品种很多,归纳起来,一般可以按照下面四种方法来进行分类。

### 1.3.1 按工艺类型分类

(1) 金属切削类数控机床 如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床及加工中心等。

(2) 金属成形类数控机床 如数控冲床、数控折弯机、数控剪板机、数控弯管机等。

(3) 数控特种加工机床 如数控线切割机床、数控电火花机床、数控激光切割机、数控等离子切割机等。

(4) 其他数控机床 如数控三坐标测量机、数控快速成形机等。

### 1.3.2 按控制的运动轨迹分类

按照可以控制的刀具与工件之间相对运动的轨迹,数控机床可以分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床等。



### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的数控装置只能控制机床上的移动部件如刀具从一个位置（点）精确地移动到另一个位置（点），在移动过程中不进行加工，至于两点之间的移动速度和移动轨迹因并不影响加工的精度而没有严格的要求。为尽可能地保证精确定位并提高生产率，一般是先快速移动到接近最终定位点的位置，再以低速精确移动到最终定位点。

常见的点位控制数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床及数控点焊机等。图 1-3 所示为点位控制数控钻床加工示意图。

### 2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床工作时，数控系统除了控制点与点之间的准确位置外，还要保证两点间移动的轨迹必须是一条直线，而且其移动速度也要进行控制，如在数控车床上车削阶梯轴、数控铣床上铣削台阶面等。由于它只能做单坐标切削进给运动，所以不能加工比较复杂的平面与轮廓。图 1-4 所示为直线控制数控机床切削加工示意图。

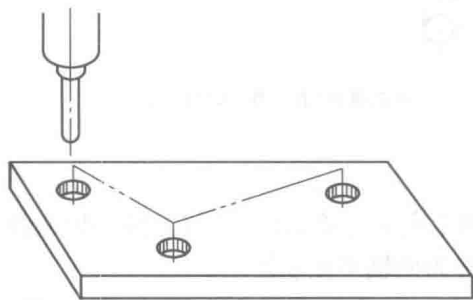


图 1-3

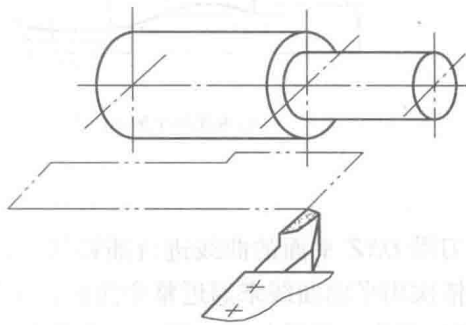


图 1-4

### 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或者两个以上的坐标轴同时进行控制，不仅能控制机床移动部件的起点和终点坐标，还可以控制整个加工过程中每一点的移动速度和位置。也就是说，只要控制机床移动部件的移动轨迹，就能加工出形状复杂的零件。轮廓控制数控机床又分平面轮廓控制数控机床和空间轮廓控制数控机床。

(1) 平面轮廓控制数控机床 这类机床又称为连续控制或多坐标联动数控机床，它具有两轴联动的插补运算功能和刀具半径补偿功能。典型代表有加工曲面零件的数控车床和铣削曲面轮廓的数控铣床，其加工零件的轮廓形状如图 1-5 所示。零件的轮廓可以由直线、圆弧或任意平面曲线（如抛物线、阿基米德螺旋线等）组成。不管零件轮廓由何种线段组成，加工时通常用小段直线来逼近曲线轮廓。

随着计算机数控装置向小型和廉价方向发展，其功能也在不断增加和完善。如增加轮廓控制功能，只需增加插补运算软件即可，几乎不带来硬件成本的提高。因此，除了少数专用的数控机床，如数控钻床、数控冲床等以外，现代的数控机床都具有轮廓控制的功能。

(2) 空间轮廓控制数控机床 空间轮廓加工，根据轮廓形状和所用刀具形状的不同有以下几种：

1) 三坐标轴两联动加工。以  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三轴中任意两轴做插补运动，第三轴做周期性进给，刀具采用球头铣刀，用“行切法”进行加工。如图 1-6 所示，在  $Y$  向分为若干段，球

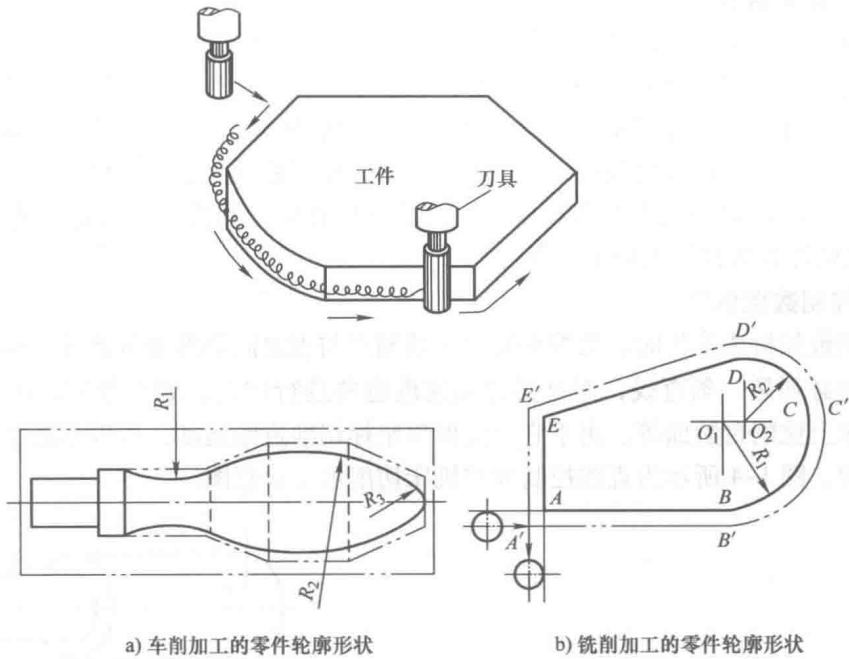


图 1-5

头铣刀沿  $OXZ$  平面的曲线进行插补加工, 当一段加工完后进给  $\Delta Y$ , 再加工另一相邻曲线。如此依次用平面曲线来逼近整个曲面, 这种方法也称为两轴半控制加工。

2) 三坐标联动加工。图 1-7 所示为用球头铣刀加工一空间曲面, 它可用空间直线去逼近, 用空间直线插补功能进行加工, 但编程计算较为复杂, 其加工程序一般采用自动编程系统来编制。

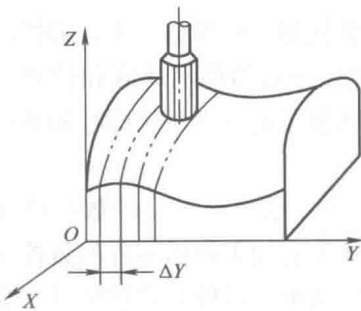


图 1-6

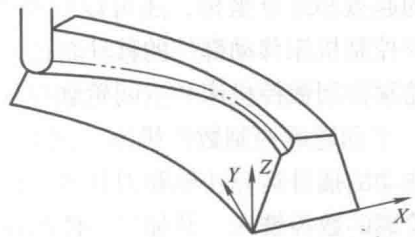


图 1-7

3) 四坐标联动加工。如图 1-8 所示的飞机大梁, 它的加工表面是直纹扭曲面, 若用三坐标联动机床和球头铣刀加工, 不但生产效率低, 而且零件的表面质量也很差。因此可以采用圆柱铣刀周边切削方式, 在四坐标机床上加工。除三个移动坐标的联动外, 为保证刀具与工件型面在全长上始终贴合, 刀具还应绕  $O_1$  (或  $O_2$ ) 做摆动。由于存在摆动运动, 导致直线移动坐标要有附加的补偿移动, 其附加运动量与摆心的位置有关, 也需在编程时进行计算。加工程序要决定四个坐标轴的位移指令, 以控制四轴联动加工, 因此编程相当复杂。

4) 五坐标联动加工。所有的空间轮廓几乎都可以用球头铣刀按照“行切法”进行加

工。对于一些大型的曲面轮廓，零件尺寸和曲面的曲率半径都比较大，改用面铣刀进行加工，可以提高生产率和减少加工的残留量（减小表面粗糙度值）。

如图 1-9 所示，用面铣刀加工时，刀具的端面与工件轮廓在切削点处的切平面相重合（加工凸面），刀位点的坐标位置可以由三个直线进给坐标轴来实现，刀具轴线的方向角可以由任意两个绕坐标轴旋转的圆周进给坐标的两个转角合成实现。因此用面铣刀加工空间曲面轮廓时，需控制五个坐标轴，即三个直线坐标轴、两个圆周进给坐标轴进行联动。

五坐标联动的数控机床是功能最全、控制最复杂的一种数控机床，五坐标联动加工的程序编制也是最复杂的，应使用自动编程系统来编制。

上述数控机床是从加工功能来分类的，如果从控制轴数和联动轴数的角度来考虑，上述的各类机床可分为：两轴联动数控机床、三轴三联动数控机床、四轴三联动数控机床、五轴四联动数控机床和五轴五联动数控机床等。

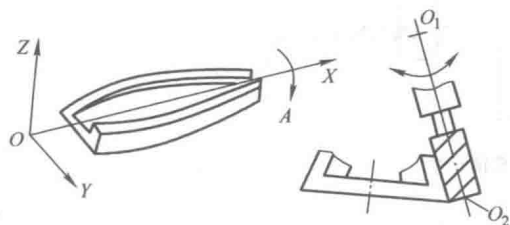


图 1-8

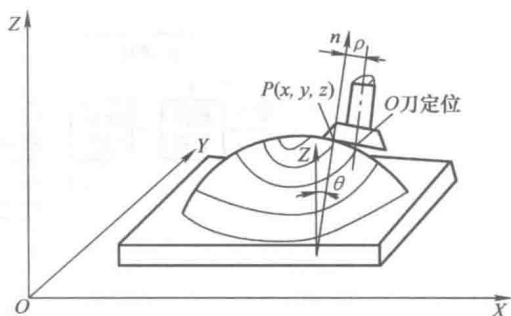


图 1-9

### 1.3.3 按伺服系统的控制方式分类

数控系统按照对控制量有无检测反馈装置可分为开环控制系统和闭环控制系统两种。在闭环系统中，根据检测反馈装置安装的部位又分为半闭环控制系统和全闭环控制系统两种。

#### 1. 开环控制系统的数控机床

开环控制系统中没有检测反馈装置，一般是以步进电动机或功率步进电动机作为执行元件。数控装置对工件的加工程序进行处理后，发出信号给伺服驱动系统，每发出一个指令脉冲经过驱动电路放大后，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产生相应的位移。图 1-10 所示为一典型的开环控制系统。

开环控制系统结构简单、成本较低，但是由于受步进电动机步距精度和工作效率以及传动机构传动精度的影响，开环控制系统的精度和速度都较低，所以目前这类系统只在经济型数控机床上使用。



图 1-10