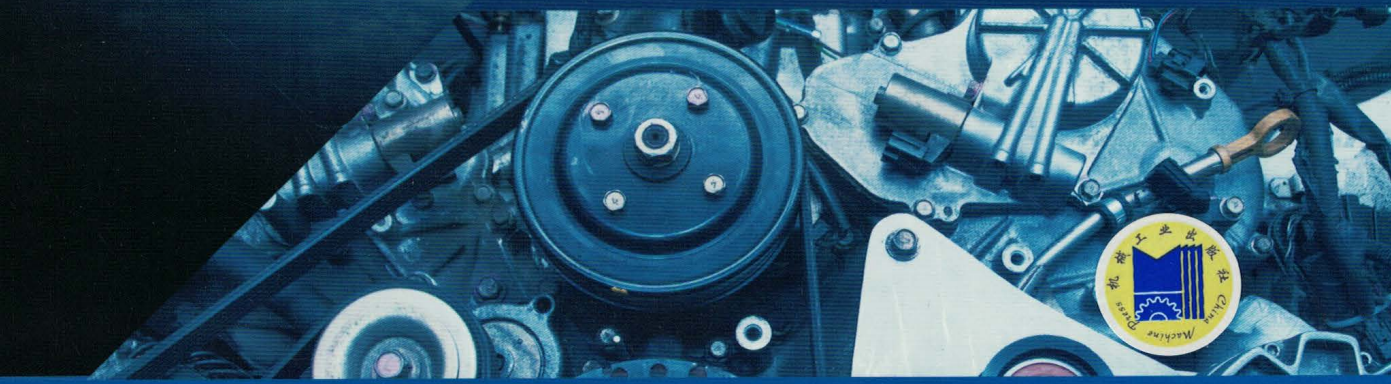
CATIA V5工程应用精解丛书

CATIA V5-6 R2016

数控加工教程

北京兆迪科技有限公司 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

扫一扫
获取随书附赠学习资源

需要全本请访问 www.ertongbook.com

CATIA V5 工程应用精解丛书

CATIA V5-6 R2016 数控加工教程

北京兆迪科技有限公司　编著

机 械 工 业 出 版 社

本书以 CATIA V5-6 R2016 为对象，全面、系统地介绍了 CATIA 数控加工编程的方法和技巧，内容包括数控加工概论、数控工艺概述、CATIA 数控加工入门、2.5 轴铣削加工、曲面铣削加工、车削加工以及数控加工综合范例等。

在内容安排上，本书紧密结合实例对 CATIA 数控编程加工的流程、方法与技巧进行讲解和说明，这些实例都是实际生产一线中具有代表性的例子，这样的安排可增加本书的实用性和可操作性，还能使读者较快地进入数控加工编程实战状态；在写作方式上，本书紧贴 CATIA V5-6 R2016 软件的实际操作界面，使初学者能够直观、准确地操作软件进行学习，从而尽快地上手，提高学习效率。

本书可作为工程技术人员学习 CATIA 数控加工编程的自学教程和参考书，也可作为大中专院校学生和各类培训学校学员的 CAD/CAM 课程上课及上机练习的教材。

为方便读者学习使用，本书附赠学习资源，包括本书所有的教案文件、实例文件及练习素材文件，还包括大量 CATIA 应用技巧和具有针对性实例的教学视频，并进行了详细的语音讲解。读者可在本书导读中按照提示步骤下载使用。

图书在版编目（CIP）数据

CATIA V5-6R2016 数控加工教程 / 北京兆迪科技有限公司编著. —5 版. —北京：机械工业出版社，2017.11
(CATIA V5 工程应用精解丛书)
ISBN 978-7-111-58092-8

Ⅰ.①C… Ⅱ.①北… Ⅲ.①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件—教材 Ⅳ.①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 235457 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：丁 锋 责任编辑：丁 锋
责任校对：张 薇 封面设计：张 静
责任印制：李 飞
北京铭成印刷有限公司印刷
2018 年 1 月第 5 版第 1 次印刷
184mm×260 mm • 24.25 印张 • 441 千字
0001—3000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-58092-8
定价：69.90 元

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：010-88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203 金 书 网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版 教育服务网：www.cmpedu.com

前　言

CATIA 是法国达索（Dassault）系统公司的大型高端 CAD/CAE/CAM 一体化应用软件，在世界 CAD/CAE/CAM 领域中处于优势地位。2012 年，Dassault Systemes 推出了全新的 CATIA V6 平台。但作为经典的 CATIA 版本——CATIA V5 在国内外仍然拥有较多的用户，并且已经过渡到 V6 版本的用户仍然需要在内部或外部继续使用 V5 版本进行团队协同工作。为了使 CATIA 各版本之间具有高度兼容性，Dassault Systemes 随后推出了 CATIA V5-6 版本，对现有 CATIA V5 的功能系统进行加强与更新，同时用户还能够继续与使用 CATIA V6 的内部各部门、客户和供应商展开无缝协作。

本书以 CATIA V5-6 R2016 为写作蓝本，全面、系统地介绍了 CATIA 数控编程加工的方法和技巧，其特色如下。

- 内容全面，与其他的同类书籍相比，包括更多的 CATIA 数控加工内容。
- 范例丰富，对软件中的主要命令和功能，先结合简单的范例进行讲解，然后安排一些较复杂的实际综合实例帮助读者深入理解、灵活运用。
- 讲解详细，条理清晰，保证自学的读者能独立学习。
- 写法独特，采用 CATIA V5-6 R2016 软件中真实的对话框、操控板和按钮等进行讲解，使初学者能够直观、准确地操作软件，从而大大提高学习效率。
- 附加值高，本书附赠学习资源，包含大量 CATIA 数控编程技巧和具有针对性的实例教学视频并进行了详细的语音讲解，可以帮助读者轻松、高效地学习。

本书由北京兆迪科技有限公司编著，参加编写的人员有詹友刚、王焕田、刘静、雷保珍、刘海起、魏俊岭、任慧华、詹路、冯元超、刘江波、周涛、段进敏、赵枫、邵为龙、侯俊飞、龙宇、施志杰、詹棋、高政、孙润、李倩倩、黄红霞、尹泉、李行、詹超、尹佩文、赵磊、王晓萍、陈淑童、周攀、吴伟、王海波、高策、冯华超、周思思、黄光辉、党辉、冯峰、詹聪、平迪、管璇、王平、李友荣。本书难免存在疏漏之处，恳请广大读者予以指正。

电子邮箱：zhanygjames@163.com。　咨询电话：010-82176248，010-82176249。

编　者

读者购书回馈活动

活动一：本书“附赠资源”中含有本书“读者意见反馈卡”的电子文档，请认真填写本反馈卡，并 E-mail 给我们。E-mail: 兆迪科技 zhanygjames@163.com，丁锋 fengfener@qq.com。

活动二：扫一扫右侧二维码，关注兆迪科技官方公众微信（或搜索公众号 zhaodikeji），参与互动，也可进行答疑。



凡参加以上活动，即可获得兆迪科技免费奉送的价值 48 元的在线课程一门，同时有机会获得价值 780 元的精品在线课程。在线课程网址见本书“随书学习资源”中的“读者意见反馈卡”电子文档。

本 书 导 读

为了能更好地学习本书的知识，请您仔细阅读下面的内容。

读者对象

本书可作为工程技术人员学习 CATIA V5-6 R2016 数控编程加工技术的自学教程和参考书，也可作为大中专院校学生和各类培训学校学员的 CAD/CAM 课程上课及上机练习的教材。

写作环境

本书使用的操作系统为 Windows 7，对于其他 Windows 操作系统，本书的内容和实例也同样适用。

本书采用的写作蓝本是 CATIA V5-6 R2016 中文版。

附赠学习资源的使用

为方便读者练习，特将本书所有素材文件、已完成的实例文件、配置文件和视频语音讲解文件等放入本书的随书附赠资源中，读者在学习过程中可以打开相应素材文件进行操作和练习。

建议读者在学习本书前，先将随书附赠资源中的所有文件复制到计算机硬盘的 D 盘中。在 D 盘上 cat2016.9 目录下共有 2 个子目录：

（1）work 子目录：包含本书的全部已完成的实例文件。

（2）video 子目录：包含本书讲解中的视频录像文件（含语音讲解）。读者学习时，可在该子目录中按顺序查找所需的视频文件。

附赠资源中带有“ok”扩展名的文件或文件夹表示已完成的范例。

相比于老版本的软件，CATIA V5-6R2016 在功能、界面和操作上变化极小，经过简单的设置后，几乎与老版本完全一样（书中已介绍设置方法）。因此，对于软件新老版本操作完全相同的内容部分，学习资源中仍然使用老版本的视频讲解，对于绝大部分读者而言，并不影响软件的学习。

本书的随书学习资源领取方法：

1. 扫下面的二维码获得下载地址，下载密码为：khdy。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2. 通过电话索取，电话：010-82176248，010-82176249。

本书约定

- 本书中有关鼠标操作的简略表述说明如下：
  - ☑ 单击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的左键。
  - ☑ 双击：将鼠标指针移至某位置处，然后连续快速地按两次鼠标的左键。
  - ☑ 右击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的右键。
  - ☑ 单击中键：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的中键。
  - ☑ 滚动中键：只是滚动鼠标的中键，而不能按中键。
  - ☑ 选择（选取）某对象：将鼠标指针移至某对象上，单击以选取该对象。
  - ☑ 拖移某对象：将鼠标指针移至某对象上，然后按下鼠标的左键不放，同时移动鼠标，将该对象移动到指定的位置后再松开鼠标的左键。
- 本书中的操作步骤分为 Task、Stage 和 Step 三个级别，说明如下：
  - ☑ 对于一般的软件操作，每个操作步骤以 Step 字符开始。例如，下面是草绘环境中绘制样条曲线操作步骤的表述：

    Step1. 选择命令。选择下拉菜单 

    命令。

    Step2. 定义样条曲线的控制点。单击一系列点，可观察到一条“橡皮筋”样条附着在鼠标指针上。

    Step3. 按两次 Esc 键结束样条线的绘制。
  - ☑ 每个 Step 操作视其复杂程度，其下面可含有多级子操作。例如 Step1 下可能包含（1）、（2）、（3）等子操作，（1）子操作下可能包含①、②、③等子操作，①子操作下可能包含 a）、b）、c）等子操作。
  - ☑ 如果操作较复杂，需要几个大的操作步骤才能完成，则每个大的操作冠以 Stage1、Stage2、Stage3 等，Stage 级别的操作下再分 Step1、Step2、Step3 等操作。
  - ☑ 对于多个任务的操作，则每个任务冠以 Task1、Task2、Task3 等，每个 Task 操作下则可包含 Stage 和 Step 级别的操作。
- 由于已建议读者将随书附赠资源中的所有文件复制到计算机硬盘的 D 盘中，书中在要求设置工作目录或打开附赠资源文件时，所述的路径均以“D:”开始。

目　　录

前言
本书导读
第 1 章　CATIA 数控加工基础 1
1.1　数控加工概论 1
1.2　数控编程简述 1
1.3　数控机床 3
1.3.1　数控机床的组成 3
1.3.2　数控机床的特点 4
1.3.3　数控机床的分类 5
1.3.4　数控机床的坐标系 7
1.4　数控加工程序 8
1.4.1　数控加工程序结构 8
1.4.2　数控指令 9
1.5　数控工艺概述 12
1.5.1　数控加工工艺的特点 12
1.5.2　数控加工工艺的主要内容 14
1.6　数控工序的安排 15
1.7　加工刀具的选择和切削用量的确定 16
1.7.1　数控加工常用刀具的种类及特点 17
1.7.2　数控加工刀具的选择 17
1.7.3　铣削刀具 19
1.7.4　切削用量的确定 22
1.8　高度与安全高度 24
1.9　走刀路线的选择 25
1.10　对刀点与换刀点的选择 27
1.11　数控加工的补偿 28
1.11.1　刀具半径补偿 28
1.11.2　刀具长度补偿 29
1.11.3　夹具偏置补偿 29
1.12　轮廓控制 30
1.13　顺铣与逆铣 30
1.14　切削液 31
1.14.1 切削液的作用 31
1.14.2 切削液的种类 32
1.14.3 切削液的开关 33
1.15　加工精度 33
第 2 章　CATIA V5-6 R2016 数控加工入门 35
2.1　CATIA V5-6 R2016 数控加工流程 35
2.2　进入加工模块 36
2.3　建立毛坯零件 37
2.4　零件操作定义 38
2.5　定义几何参数 42

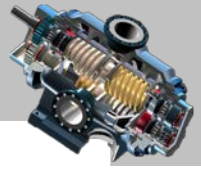
2.6 定义刀具参数 46
2.7 定义进给量 49
2.8 定义刀具路径参数 51
2.9 定义进刀/退刀路径 56
2.10 刀路仿真 58
2.11 余量/过切检测 60
2.12 后处理 62

第 3 章 2.5 轴铣削加工 65
3.1 概述 65
3.2 平面铣削 67
3.3 粗加工 75
3.4 多型腔铣削 83
3.5 轮廓铣削 92
3.5.1 两平面间轮廓铣削 93
3.5.2 两曲线间轮廓铣削 100
3.5.3 曲线与曲面间轮廓铣削 104
3.5.4 端平面轮廓铣削 108
3.6 曲线铣削 111
3.7 凹槽铣削 116
3.8 点到点铣削 123
3.9 孔加工 136

第 4 章 曲面铣削加工 146
4.1 概述 146
4.2 等高线粗加工 148
4.3 投影粗加工 156
4.4 投影加工 163
4.5 等高线加工 170
4.6 轮廓驱动加工 176
4.7 等参数加工 182
4.8 螺旋加工 188
4.9 清根加工 193
4.10 加工特征 197
4.10.1 加工区域 197
4.10.2 二次加工区域 200
4.10.3 建立几何区域 203
4.11 编辑数控刀路 208
4.11.1 编辑刀位点 208
4.11.2 编辑区域 211
4.11.3 刀路变换 212
4.11.4 刀路连接 214
4.11.5 改变进刀/退刀 214
4.11.6 其他操作 217

第 5 章 车削加工 221
5.1 概述 221
5.2 粗车加工 222
5.3 沟槽车削加工 235
5.4 凹槽车削加工 242
5.5 轮廓精车加工 250
5.6 沟槽精车加工 257
5.7 顺序车削 261

5.8 斜升粗车加工 270
5.9 斜升凹槽精车加工 276
5.10 螺纹车削 282
5.10.1 外螺纹车削 282
5.10.2 内螺纹加工 288
第 6 章 数控加工综合范例 293
6.1 圆盘加工 293
6.2 凹模加工（一） 321
6.3 凹模加工（二） 338
6.4 凸模加工 354



第 1 章 CATIA 数控加工基础

本章提要 本章主要介绍 CATIA 数控加工的基础知识，内容包括数控编程以及加工工艺基础等。

1.1 数控加工概论

数控技术即数字控制技术（Numerical Control Technology，NC 技术），通常指用计算机以数字指令方式控制机床动作的技术。

数控加工具有产品精度高、自动化程度高、生产效率高以及生产成本低等特点。在制造业及航天工业领域中，数控加工是所有生产技术中相当重要的一环。尤其是汽车或航天产业零部件，其几何外形复杂且精度要求较高，更突出了 NC 加工制造技术的优点。

数控加工技术集传统的机械制造、计算机、信息处理、现代控制、传感检测等光机电技术于一体，是现代机械制造技术的基础。它的广泛应用，给机械制造业的生产方式及产品结构带来了深刻的变化。

近年来，由于计算机技术的迅速发展，数控技术的发展相当迅速。数控技术的水平和普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

1.2 数控编程简述

数控编程一般可以分为手工编程和自动编程。手工编程是指从零件图样分析、工艺处理、数值计算、编写程序单直到程序校核等各步骤的数控编程工作均由人工完成。该方法适用于零件形状不太复杂、加工程序较短的情况。而复杂形状的零件，如具有非圆曲线、列表曲面和组合曲面的零件，或形状虽不复杂但是程序很长的零件，则比较适合于自动编程。

自动数控编程是从零件的设计模型（即参考模型）直接获得数控加工程序，其主要任务是计算加工进给过程中的刀位点（Cutter Location Point，CL 点），从而生成 CL 数据文件。采用自动编程技术不仅可以帮助人们解决复杂零件的数控加工编程问题，其大部分工作由计算机来完成，编程效率大大提高，还能解决手工编程无法解决的许多复杂形状零件的加

工编程问题。

CATIA 数控模块提供了多种加工类型，可用于各种复杂零件的粗、精加工。用户可以根据零件结构、加工表面形状和加工精度要求选择合适的加工类型。

数控编程的主要内容有分析零件图样、工艺处理、数值处理、编写加工程序单、输入数控系统、程序检验及试切。

（1）分析零件图样及工艺处理。在确定加工工艺过程时，编程人员首先应根据零件图样对工件的形状、尺寸和技术要求等进行分析，然后选择合适的加工方案，确定加工顺序和路线、装夹方式、刀具以及切削参数。为了充分发挥机床的功用，还应该考虑所用机床的指令功能，选择最短的加工路线、合适的对刀点和换刀点，以减少换刀次数。

（2）数值处理。根据图样的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系，计算工件粗、精加工的运动轨迹，得到刀位数据。零件图样坐标系与编程坐标系不一致时，需要对坐标进行换算。形状比较简单的零件的轮廓加工，需要计算出几何元素的起点、终点及圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值，有的还需要计算刀具中心运动轨迹的坐标值。对于形状比较复杂的零件，需要用直线段或圆弧段逼近，根据要求的精度计算出各个节点的坐标值。

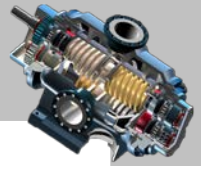
（3）编写加工程序单。确定加工路线、工艺参数及刀位数据后，编程人员可以根据数控系统规定的指令代码及程序段格式，逐段编写加工程序单。此外，还应填写有关的工艺文件，如数控刀具卡片、数控刀具明细表和数控加工工序卡片等。随着数控编程技术的发展，现在大部分的机床已经直接采用自动编程。

（4）输入数控系统。即把编制好的加工程序，通过某种介质传输到数控系统。过去我国数控机床的程序输入一般使用穿孔纸带，穿孔纸带的程序代码通过纸带阅读器输入数控系统。随着计算机技术的发展，现代数控机床主要利用键盘将程序输入到计算机中。随着网络技术进入工业领域，通过计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing,，CAM）生成的数控加工程序，可以通过数据接口直接传输到数控系统中。

（5）程序检验及试切。程序单必须经过检验和试切才能正式使用。检验的方法是直接将加工程序输入到数控系统中，让机床空运转，即以笔代刀，以坐标纸代替工件，画出加工路线，以检查机床的运动轨迹是否正确。若数控机床有图形显示功能，可以采用模拟刀具切削过程的方法进行检验。但这些过程只能检验出运动是否正确，不能检查被加工零件的精度，因此必须进行零件的首件试切。首件试切时，应该以单程序段的运行方式进行加工，监视加工状况，调整切削参数和状态。

从以上内容来看，作为一名数控编程人员，不但要熟悉数控机床的结构、功能及标准，而且必须熟悉零件的加工工艺、装夹方法、刀具以及切削参数的选择等方面的知识。

需要全本请访问 www.ertongbook.com



1.3 数 控 机 床

1.3.1 数控机床的组成

数控机床的种类很多，但是任何一种数控机床都主要由数控系统、伺服系统和机床主体三大部分以及辅助控制系统等组成。

1．数控系统

数控系统是数控机床的核心，是数控机床的“指挥系统”，其主要作用是对输入的零件加工程序进行数字运算和逻辑运算，然后向伺服系统发出控制信号。现代数控系统通常是一台带有专门系统软件的计算机系统。开放式数控系统就是将 PC 机配以数控系统软件而构成的。

2．伺服系统

伺服系统（也称驱动系统）是数控机床的执行机构，由驱动和执行两大部分组成。它包括位置控制单元、速度控制单元、执行电动机和测量反馈单元等部分，主要用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。它接受数控系统发出的各种指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求控制机床运动部件的进给速度、方向和位移。目前数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有步进电动机、电液电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机，后两者均带有光电编码器等位置测量元件。一般来说，数控机床的伺服系统，要求有良好的快速响应功能和灵敏而准确的跟踪指令功能。

3．机床主体

机床主体是加工运动的实际部件，除了机床基础件以外，还包括主轴部件、进给部件、实现工件回转与定位的装置和附件、辅助系统和装置（如液压、气压、防护等装置）、刀库和自动换刀装置（Automatic Tools Changer，ATC）、托盘自动交换装置（Automatic Pallet Changer，APC）。机床基础件通常是指床身或底座、立柱、横梁和工作台等，它是整台机床的基础和框架。加工中心则还应具有 ATC，有的还有双工位 APC 等。数控机床的主体结构与传统机床相比，发生了很大变化，普遍采用了滚动丝杠、滚动导轨，传动效率更高。由于现代数控机床减少了齿轮的使用数量，使得传动系统更加简单。数控机床可根据自动化程度、可靠性要求和特殊功能需要，选用各种类型的刀具破损监控系统、机床与工件精度检测系统、补偿装置和其他附件等。

1.3.2 数控机床的特点

科学技术和市场经济的不断发展，对机械产品的质量、生产率和新产品的开发周期提出了越来越高的要求。为了满足上述要求，适应科学技术和经济的不断发展，数控机床应运而生。20 世纪 50 年代，美国麻省理工学院成功地研制出第一台数控铣床。1970 年首次展出了第一台用计算机控制的数控机床（CNC 机床）。图 1.3.1 所示为数控铣床，图 1.3.2 所示为数控加工中心。



图 1.3.1 数控铣床



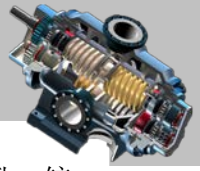
图 1.3.2 数控加工中心

数控机床自问世以来得到了高速发展，并逐渐为各国生产组织和管理者接受，这与它在加工中表现出来的特点是分不开的。数控机床具有以下主要特点：

（1）高精度，加工重复性高。目前，普通数控加工的尺寸精度通常可达到±0.005mm。数控装置的脉冲当量（即机床移动部件的移动量）一般为 0.001mm，高精度的数控系统可达 0.0001mm。数控加工过程中，机床始终都在指定的控制指令下工作，消除了工人操作所引起的误差，不仅提高了同一批加工零件尺寸的统一性，而且产品质量能得到保证，废品率也大为降低。

（2）高效率。机床自动化程度高，工序、刀具可自行更换、检测。例如，加工中心在一次装夹后，除定位表面不能加工外，其余表面均可加工。生产准备周期短，加工对象变化时，一般不需要专门的工艺装备设计制造时间；切削加工中可采用最佳切削参数和走刀路线。数控铣床一般不需要使用专用夹具和工艺装备。在更换工件时，只需调用储存于计算机的加工程序、装夹工件和调整刀具数据即可，可大大缩短生产周期。更主要的是数控铣床的万能性带来的高效率，如一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能，工序高度集中，提高了劳动生产率，并减少了工件的装夹误差。

（3）高柔性。数控机床的最大特点是高柔性，即通用、灵活、万能，可以适应加工不



同形状工件。如数控铣床一般能完成铣平面、铣斜面、铣槽、铣削曲面、钻孔、镗孔、铰孔、攻螺纹和铣削螺纹等加工，而且一般情况下，可以在一次装夹中完成所需的所有加工工序。加工对象改变时，除相应地更换刀具和改变工件装夹方式外，只调整相应的加工程序即可，特别适应于目前多品种、小批量和变化快的生产特征。

（4）大大减轻了操作者的劳动强度。数控铣床对零件加工是根据加工前编好的程序自动完成的。操作者除了操作键盘、装卸工件、中间测量及观察机床运行外，不需要进行繁重的重复性手工操作，大大地减轻了劳动强度。

（5）易于建立计算机通信网络。数控机床使用数字信息作为控制信息，易于与计算机辅助设计（Computer Aided Design，CAD）系统连接，从而形成 CAD/CAM 一体化系统，它是 FMS（柔性制造系统）、CIMS（计算机一体化制造系统）等现代制造技术的基础。

（6）初期投资大，加工成本高。数控机床的价格一般是普通机床的若干倍，且机床备件的价格也高；另外，加工首件需要进行编程、程序调试和试加工，时间较长，因此使零件的加工成本也大大高于普通机床。

1.3.3 数控机床的分类

数控机床的分类有多种方式。

1．按工艺用途分类

按工艺用途分类，数控机床可分为数控钻床、车床、铣床、磨床和齿轮加工机床等，还有压床、冲床、电火花切割机、火焰切割机和点焊机等也都采用数字控制。加工中心是带有刀库及自动换刀装置的数控机床，它可以在一台机床上实现多种加工。工件只需一次装夹，就可以完成多种加工，这样既节省了工时，又提高了加工精度。加工中心特别适用于箱体类和壳类零件的加工。车削加工中心可以完成所有回转体零件的加工。

2．按机床数控运动轨迹分类

（1）点位控制数控机床（PTP）：指在刀具运动时，不考虑两点间的轨迹，只控制刀具相对于工件位移的准确性。这种控制方法用于数控冲床、数控钻床及数控点焊设备，还可以用在数控坐标镗铣床上。

（2）点位直线控制数控机床：就是要求在点位准确控制的基础上，还要保证刀具运动轨迹是一条直线，并且刀具在运动过程中还要进行切削加工。采用这种控制的机床有数控车床、数控铣床和数控磨床等，一般用于加工矩形和台阶形零件。

（3）轮廓控制数控机床（CP）：轮廓控制（亦称连续控制）是对两个或两个以上的坐标运动进行控制（多坐标联动），刀具运动轨迹可为空间曲线。它不仅能保证各点的位置，

而且还要控制加工过程中的位移速度，即刀具的轨迹。要保证尺寸的精度，还要保证形状的精度。在运动过程中，同时要向两个坐标轴分配脉冲，使它们能走出要求的形状来，这就叫插补运算。它是一种软仿形加工，而不是硬（靠模）仿形，并且这种软仿形加工的精度比硬仿形加工的精度高很多。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机和加工中心等。在模具行业中，对于一些复杂曲面的加工，多使用这类机床，如三坐标以上的数控铣或加工中心。

3．按伺服系统控制方式分类

（1）开环控制是无位置反馈的一种控制方法，它采用的控制对象、执行机构多半是步进式电动机或液压转矩放大器。因为没有位置反馈，所以其加工精度及稳定性差，但其结构简单，价格低廉，控制方法简单。对于精度要求不高且功率需求不大的情况，这种数控机床还是比较适用的。

（2）半闭环控制是在丝杠上装有角度测量装置作为间接的位置反馈。因为这种系统未将丝杠螺母副和齿轮传动副等传动装置包含在反馈系统中，因而称之为半闭环控制系统。它不能补偿传动装置的传动误差，但却因此获得稳定的控制特性。这类系统介于开环与闭环之间，精度没有闭环高，调试比闭环方便。

（3）闭环控制系统是对机床移动部件的位置直接用直线位置检测装置进行检测，再把实际测量出的位置反馈到数控装置中去，与输入指令比较看是否有差值，然后把这个差值经过放大和变换，最后使驱动工作台向减少误差的方向移动，直到差值符合精度要求为止。这类控制系统，因为把机床工作台纳入了位置控制环，故称为闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的运动误差，因而定位精度高，调节速度快。但由于该系统受到进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响，给调试工作造成较大的困难。如果各种参数匹配不当，将会引起系统振荡，造成系统不稳定，影响定位精度。由于闭环伺服系统复杂和成本高，故适用于精度要求很高的数控机床，如超精密数控车床和精密数控镗铣床等。

4．按联动坐标轴数分类

（1）两轴联动数控机床。主要用于 3 轴以上控制的机床，其中任意两轴作插补联动，第三轴作单独的周期进给，常称 2.5 轴联动。

（2）3 轴联动数控机床。X、Y、Z 3 轴可同时进行插补联动。

（3）4 轴联动数控机床。

（4）5 轴联动数控机床。除了同时控制 X、Y、Z 3 个直线坐标轴联动以外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A、B、C 坐标轴中的两个坐标，即同时控制 5 个坐标轴联动。

这时刀具可以被定位在空间的任何位置。

1.3.4 数控机床的坐标系

数控机床的坐标系统包括坐标系、坐标原点和运动方向，对于数控加工及编程，它是一个十分重要的概念。每一个数控编程员和操作者，都必须对数控机床的坐标系有一个很清晰的认识。为了使数控系统规范化及简化数控编程，ISO 对数控机床的坐标系统作了若干规定。关于数控机床坐标和运动方向命名的详细内容，可参阅 GB/T 19660—2005 的规定。

机床坐标系是机床上固有的坐标系，是机床加工运动的基本坐标系。它是考察刀具在机床上的实际运动位置的基准坐标系。对于具体机床来说，有的是刀具移动工件不动，有的则是刀具不动而工件移动。然而不管是刀具移动还是工件移动，机床坐标系永远假定刀具相对于静止的工件而运动，同时运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。为了编程方便，一律规定为工件固定，刀具运动。

标准的坐标系是一个右手直角坐标系，如图 1.3.3 所示。拇指指向为 X 轴，食指指向为 Y 轴，中指指向为 Z 轴。一般情况下，主轴的方向为 Z 坐标，而工作台的两个运动方向分别为 X、Y 坐标。

若有旋转轴时，规定绕 X、Y、Z 轴的旋转轴分别为 A、B、C 轴，其方向为右旋螺纹方向，如图 1.3.4 所示。旋转轴的原点一般定在水平面上。

图 1.3.5 是典型的单立柱立式数控铣床加工运动坐标系示意图。刀具沿与地面垂直的方向上下运动，工作台带动工件在与地面平行的平面内运动。机床坐标系的 Z 轴是刀具的运动方向，并且刀具向上运动为正方向，即远离工件的方向。当面对机床进行操作时，刀具相对工件的左右运动方向为 X 轴，并且刀具相对工件向右运动（即工作台带动工件向左运动）时为 X 轴的正方向。Y 轴的方向可用右手法则确定。若以 X′、Y′、Z′ 表示工作台相对于刀具的运动坐标轴，而以 X、Y、Z 表示刀具相对于工件的运动坐标轴，则显然有 X′ = - X、Y′ = - Y、Z′ = - Z。

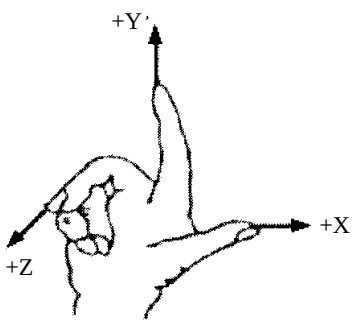


图 1.3.3 右手直角坐标系

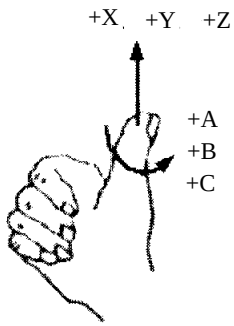


图 1.3.4 旋转坐标系

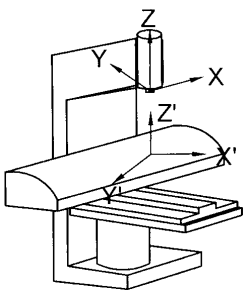


图 1.3.5 铣床加工运动坐标系示意图

1.4 数控加工程序

1.4.1 数控加工程序结构

数控加工程序由为使机床运转而给与数控装置的一系列指令的有序集合所构成。一个完整的程序由起始符、程序号、程序内容、程序结束和程序结束符五部分组成。例如：

起始符 %
程序号 O 0001
程序内容
N01 G92 X30 Y30；
N02 G90 G00 X30 T01 M03；
N03 G01 X8 Y8 F200；
N04 XO YO；
……
N07 G00 X40；
程序结束 N08 M30
程序结束符 %

根据系统本身的特点及编程的需要，每种数控系统都有一定的程序格式。对于不同的机床，其程序的格式也不同。因此编程人员必须严格按照机床说明书规定的格式进行编程，靠这些指令使刀具按直线、圆弧或其他曲线运动，控制主轴的回转和停止、切削液的开关，以及自动换刀装置和托盘自动交换装置等的动作。

- 程序起始符。程序起始符位于程序的第一行。一般是“%”“$”等，数控机床不同，起始符也有可能不同，应根据具体的数控机床说明书使用。
- 程序号也可称为程序名，是每个程序的开始部分。为了区别存储器中的程序，每个程序都要有程序编号。程序号单列一行，一般有两种形式：一种是以规定的英文字母（通常为 O）为首，后面接若干位数字（通常为 2 位或 4 位），如 O 0001；另一种是以英文字母、数字和符号“_”混合组成，比较灵活。程序名具体采用何种形式，由数控系统决定。
- 程序内容。它是整个程序的核心，由多个程序段（Block）组成，程序段是数控加工程序中的一句，单列一行，用于指挥机床完成某一个动作。每个程序段又由若干个指令组成，每个指令表示数控机床要完成的全部动作。指令由字（word）和“;”组成。而字是由地址符和数值构成，如 X（地址符）100.0（数值）Y（地址符）50.0（数值）。字首是一个英文字母，称为字的地址，它决定了字的功能类别。一般字的长度和顺序不固定。

需要全本请访问 www.ertongbook.com