



21 世纪中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 模具CAD/CAM

主编 关绍阁



北京邮电大学出版社  
<http://www.buptpress.com>

中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 模具 CAD/CAM

主 编 关绍阁  
主 审 刘伟民

北京邮电大学出版社  
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

模具 CAD/CAM/关绍阁主编. —北京:北京邮电大学出版社, 2007

ISBN 978 - 7 - 5635 - 1461 - 8

I. 模... II. 关... III. ①模具—计算机辅助设计—专业学校—教材②模具—计算机辅助制造—专业学校—教材 IV. TG76 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 053875 号

# 模具 CAD/CAM

关绍阁 主 编  
周堃 审 主

书 名 模具 CAD/CAM  
主 编 关绍阁  
责任编辑 周 堃 聂立芳  
出版发行 北京邮电大学出版社  
社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876  
经 销 各地新华书店  
印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司  
开 本 787 mm × 960 mm 1/16  
印 张 13  
字 数 267 千字  
版 次 2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978 - 7 - 5635 - 1461 - 8/TH · 42  
定 价 17.00 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系

电话:(010)82551166 (010)62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

Http://www.buptpress.com

版权所有

侵权必究

# 出版说明

随着数控加工技术和 CAD/CAM 技术在制造业中的普及和应用,市场急需一大批既懂 CAD 设计,又熟悉 CAM 加工的专业人才。

本书以北京北航海尔软件有限公司 CAXA 制造工程师为基础,介绍了 CAD/CAM 技术的应用。CAXA 制造工程师 2006 是贴近国人习惯、具有 Windows 原创风格、功能强大、易学易用、全中文文化的 CAD/CAM 工具软件。该软件为模具制造、数控加工等行业提供了造型设计、仿真加工、加工 G 代码生成和校核的全面解决方案,其系列软件受到国内广大 CAD/CAM 用户及业界人士的好评,具有较高的市场占有率及品牌知名度。

本书是按照中等职业学校《模具设计与制造》专业模具 CAD/CAM 的教学要求及技能型人才培养的需要,结合编者多年 CAD/CAM 的教学经验编写而成。本书突出技能培养为特色,不强求理论的完整性,结合目前中等职业学校学生的实际情况及现代设计与制造的需要,列举了大量实用示例。内容由浅入深,语言通俗易懂,操作步骤简单明了,使读者轻松掌握该软件的基本操作。

全书共分四章。第一章介绍了 CAD/CAM 的基本概念和常用 CAD/CAM 软件,通过快速入门了解 CAXA 制造工程师实现 CAD/CAM 的全过程。第二章介绍了线架造型、曲面造型和实体造型的方法。第三章介绍了数控加工的基础知识及 CAXA 数控加工功能。第四章通过典型实例介绍了 CAXA 在模具制造过程中的使用。

本书由关绍阁主编,邓守峰、陈丽梅为副主编。其中第一、二、三章由关绍阁编写,第四章由陈丽梅编写。由北京北航海尔软件有限公司的刘伟民任主审,并提出了许多宝贵的意见。在编写过程中还得到了北京北航海尔软件有限公司徐勇鹏、马莹的大力支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者时间仓促,水平及经验有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第1章 模具 CAD/CAM 基础知识 .....    | 1   |
| 1.1 CAD/CAM 基本概念及应用 .....    | 1   |
| 1.2 常用 CAD/CAM 软件 .....      | 3   |
| 1.3 了解 CAXA 制造工程师 2006 ..... | 4   |
| 1.4 CAXA 制造工程师基础知识 .....     | 10  |
| 1.5 快速入门 .....               | 16  |
| 本章小结 .....                   | 22  |
| 思考题 .....                    | 22  |
| 第2章 图形绘制与编辑 .....            | 23  |
| 2.1 曲线的绘制与编辑 .....           | 23  |
| 2.2 曲面造型与编辑 .....            | 45  |
| 2.3 三维实体特征造型基础 .....         | 73  |
| 本章小结 .....                   | 128 |
| 思考题 .....                    | 129 |
| 第3章 CAXA 数控加工 .....          | 132 |
| 3.1 加工管理概述 .....             | 132 |
| 3.2 粗加工方法 .....              | 135 |
| 3.3 精加工方法 .....              | 158 |
| 3.4 补加工方法 .....              | 170 |
| 3.5 孔加工方法 .....              | 175 |
| 3.6 后置处理 .....               | 177 |
| 本章小结 .....                   | 181 |
| 思考题 .....                    | 182 |
| 第4章 CAXA 在模具制造中的应用 .....     | 184 |
| 4.1 铸造模具设计与加工实例 .....        | 184 |
| 4.2 注塑模具设计与加工实例 .....        | 189 |
| 4.3 冲压模具设计与加工实例 .....        | 195 |

# 第1章 模具CAD/CAM基础知识

**学习目标** 掌握CAD/CAM的概念。了解常用CAD/CAM软件。了解CAXA的安装过程。掌握CAXA的基本知识。

CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing),即计算机辅助设计与计算机辅助制造,是一门基于计算机技术发展起来的、与机械设计和制造技术相互渗透相结合的、多学科综合性的技术。

## 1.1 CAD/CAM 基本概念及应用

### 1.1.1 CAD/CAM 基本概念

一般认为,CAD是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中,以计算机为辅助工具,通过计算机和CAD软件对设计产品进行分析、计算、仿真、优化与绘图,在这一过程中,把设计人员的创造思维、综合判断能力与计算机强大的记忆、数值计算、信息检索等能力相结合,各尽所长,完成产品的设计、分析、绘图等工作,最终达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的目的。简单地说就是把设计人员头脑中想像的几何形体展示出来。

CAD的功能可以大致归纳为四类,即几何建模、工程分析、动态模拟和自动绘图。为了实现这些功能,一个完整的CAD系统应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。

科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等;

图形系统则包括几何造型、自动绘图、动态仿真等;工程数据库对设计过程中需要使用和产生的数据、图形、文档等进行存储和管理。

CAM是指应用电子计算机来进行产品制造的统称,有狭义CAM和广义CAM。狭义CAM指数控加工,它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是加工时的刀位文件和数控机床能识别的程序代码,使数控机床能把设计人员通过CAD设计出来的形体加工出来。广义CAM是利用计算机进行零件的工艺规划、数控程序编制、加工过程仿真等。

把计算机辅助设计和计算机辅助制造集成在一起,称为CAD/CAM系统。

CAD/CAM技术是一种在不断发展着的技术,随着相关技术及应用领域的发展和扩大,CAD/CAM技术的内涵也在不断扩展。

### 1.1.2 模具CAD/CAM在我国的应用

随着航空、航天、军事、汽车、民用等各个行业的发展,产品对模具的要求越来越高。传统的模具设计与制造方法已经远远不能适应产品更新换代和高质量的要求。模具

CAD/CAM技术正适应了这个要求。

首先,缩短了新产品的试制周期。利用计算机辅助处理数据,适应了现代模具加工设备高速加工的需求,提高了设备利用率。例如在汽车行业中,由于产品更新换代的速度不断提高,要求相应的模具换代也频繁。利用模具 CAD/CAM 技术可以大大地缩短模具的设计和制造周期。

其次,适应了产品质量较高的要求。如汽车表面形状的变化,需要利用 CAD/CAM 软件保障数据支持,以及完成设计后的加工制造工作。

最后,适应了现代的管理要求。利用几何造型技术获得的几何模型,可以利用磁盘进行数据的保存和传输,以备后续的设计和加工制造使用。同时适应了企业现代化信息管理的要求。

模具 CAD/CAM 技术在这种大的环境下得到了充分的重视和发展,应用范围日益扩大。在冲压模、锻模、挤压模、注塑模和压铸模等方面都比较成功。

我国模具 CAD/CAM 的开发始于 20 世纪 70 年代,发展很迅速。由北京数码大方科技有限公司、北京北航海尔科技有限公司(原北京航空航天大学华正模具研究所)开发的 CAXA 系列 CAD/CAM 软件是具有自主知识产权的软件,代表了国内 CAD/CAM 软件的发展情况。

### 1.1.3 模具 CAD/CAM 的特点

模具 CAD/CAM 不论是在提高生产率、改善质量方面,还是在减轻劳动强度、降低设计制造成本方面,都具有传统模具设计制造方法所无法比拟的优势。因此,得以迅速的发展和广泛的应用。模具 CAD/CAM 主要具有以下特点:

#### 1. 可以提高模具设计制造的质量

软件本身集成了优秀设计人员的设计思路、方法和经验,以及相关专业的综合技术知识信息,为模具设计者提供了模具设计与制造的科学依据和宝贵经验。另外,能将设计人员从繁琐的数值计算、手工绘图、模具制造过程中的 NC 编程等工作中解放出来,用更多的精力从事更多的创造性的劳动。设计人员能够充分发挥特长,开拓思路,在模具的结构设计、制造过程中的工艺参数上提出更加优化、更加合理的方案。

#### 2. CAD/CAM 可以较大幅度地降低成本

计算机的高速设计计算和图样的自动绘制,大大缩短了设计时间,缩短了从设计到制造的周期,同时也节省了劳动力。优化设计还带来了原材料的节省。利用 CAM 可以完成传统方法难以加工的繁杂型面处理工作,减少了传统方法中加工和调试的人工占机时间,生产准备时间缩短,产品更新换代加快。在制造成本明显降低的基础上,市场竞争能力同时得以增加,经济效益显著。

#### 3. 模具 CAD/CAM 的标准化

对于同一产品零件,不同的设计人员设计思路 and 方案不可能完全相同,这样就有一个存储量增加的问题。为了便于管理,模具 CAD/CAM 系统首先解决了标准化的问题,包括设

计的标准化、模具零件和模具结构的标准化。在设计中调用标准的模块进行组合,只需要设计部分结构就能完成整个模具的设计工作。

模具 CAD 采用了成组技术(GT)。成组技术就是按照成形零件的形状尺寸和材料的不同将其分类,根据各类成形零件的特点,采用不同的生产工艺和模具设计方法。成组技术有助于以定量的方式表述现有的设计经验,建立系统的设计方法。

#### 4. 具有充分的柔性

现代的模具 CAD 系统不仅具有全面的功能和较高的效率,而且具备充分的柔性。由于模具的结构随产品的不同而变化,模具型面的形状比较复杂,在设计方法上基本上还属于根据经验设计,模具设计的质量很大程度上取决于设计者的经验。而且设计制造基本上属于单件小批,大量生产模具的情况很少。模具 CAD 系统针对这些问题,从自身的功能上适应了这种不同的产品进行选择方案、修改设计的需要,体现了充分的柔性。

## 1.2 常用 CAD/CAM 软件

目前,国内外的 CAD/CAM 系统软件很多,下面介绍几种常用的计算机软件系统。

(1) CAXA 是国产 CAD/CAM 软件,其 CAXA 电子图板具有较广泛的应用,可帮助设计人员进行零件图、装配图、工艺图表、平面包装的设计。

CAXA 制造工程师 2006 具有卓越的实体造型、模具设计和 NC 加工功能,大大提高了精密工件、模具的设计和加工的效率。CAXA 制造工程师以其强大的功能和稳定性,赢得了广大工程技术人员、职业院校师生的信任和好评,是我国自主知识产权 CAD/CAM 软件的优秀代表和知名品牌。

(2) AutoCAD 是应用最广泛的 CAD 软件,它优良的二次开发工具使其能够活跃在各类 CAD 专业领域。其三维功能具有比较完善的 3D 参数化造型能力,3D 对象含有类似 3Dmax 对象的夹点动态拖动旋转功能,渲染器内核和材质完全与 3Dmax 兼容,支持 mental-ray 渲染特性。

(3) Pro/Engineer 简称 Pro/E,是一个面向机械工程的 CAD 系统。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念改变了模具 CAD/CAE/CAM 的传统观念。

(4) Mastercam 为 PC 级 CAM 软件。Mastercam 包括了铣削加工(milling)、车削加工(turning)、线切割加工(wire EDM)等主要模块,适用于机械设计与制造的各个领域。

(5) Cimatron 系统是以色列的 CAD/CAM/PDM 产品,该系统提供了比较灵活的用户界面,优良的三维造型、工程绘图,全面的数控加工,各种通用、专用数据接口以及集成化的产品数据管理。

(6) UG 是一个集 CAD、CAE 和 CAM 于一体的机械工程辅助系统,UG 为用户提供了一个全面的产品建模系统。集设计与加工于一体,为用户提供了从设计到制造一体化的解决方案。

## 1.3 了解 CAXA 制造工程师 2006

CAXA 制造工程师 2006 是一个功能强大,易学易用的全中文三维复杂型面加工的 CAD/CAM 软件。其灵活、强大的实体曲面混合造型功能和丰富的数据接口,可以实现复杂产品的三维造型设计;通过加工工艺参数和机床后置的设定,选取需加工的部分,自动生成适用于任何数控系统的加工代码;通过直观的加工仿真和代码反读来检验加工工艺和代码质量。CAXA 制造工程师 2006 为数控加工行业提供了从造型设计到加工代码生成、校验一体化的全面解决方案,已广泛应用于塑模、锻模、汽车覆盖件伸模、压模等复杂模具的生产及汽车、电子、兵品、航空航天等行业的精密零件加工。

### 1.3.1 CAXA 制造工程师 2006 的安装

#### 1. 硬件、软件要求

CAXA 制造工程师 2006 以 IBM 兼容微机为硬件平台。最低的硬件配置为 P3 以上 CPU,512M 内存,带光盘驱动器。推荐配置为 P4 2.8GHz 以上 CPU,1GB 以上内存。

软件以 Microsoft 公司的 Windows2000/XP 为软件平台。

#### 2. CAXA 制造工程师 2006 的安装步骤

CAXA 制造工程师 2006 在安装时,先将软件光盘放入光盘驱动器,待其自动运行或直接运行光盘上的 Autorun. exe 文件,系统出现图 1-3-1 所示欢迎对话框,单击“下一步”按钮。

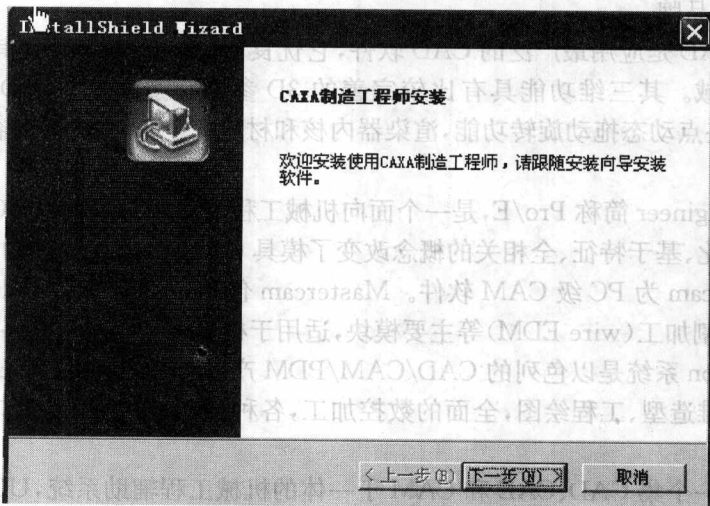


图 1-3-1 欢迎对话框

系统出现版权协议对话框,单击“是”接受协议,出现用户信息对话框,如图1-3-2所示。填好用户名及公司名和产品序列号(见产品包装盒上的序列号),如176-1234567,填写正确后,单击“下一步”,出现安装路径对话框,如图1-3-3所示。单击“浏览”选择好路径(或默认路径)后单击“下一步”,出现安装选项对话框,采用默认设置。

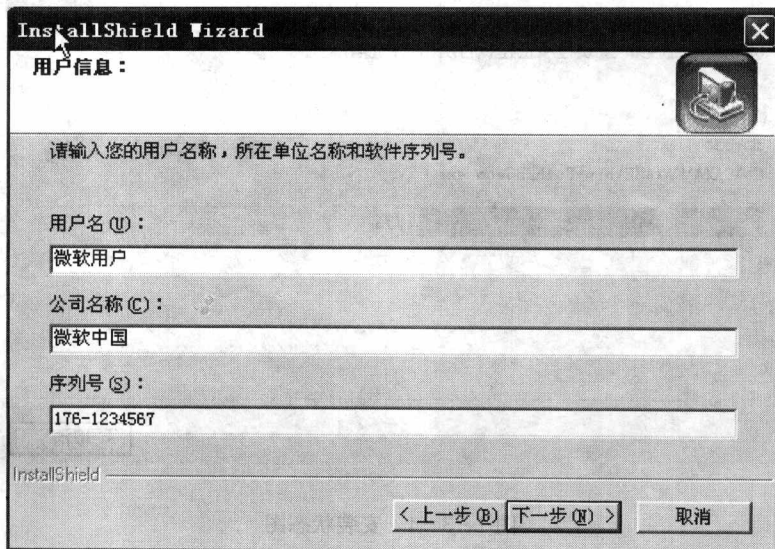


图 1-3-2 用户信息对话框

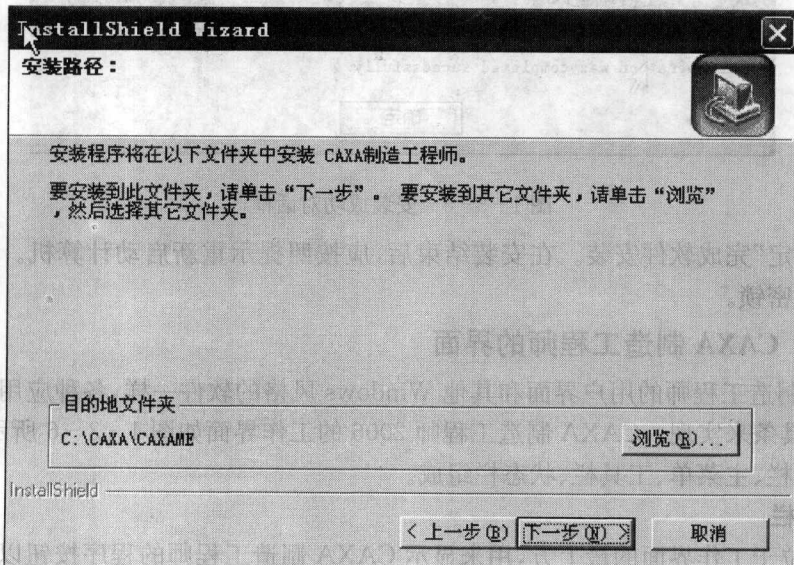


图 1-3-3 安装路径对话框

再单击“下一步”出现安装状态图,开始复制文件,如图 1-3-4 所示。

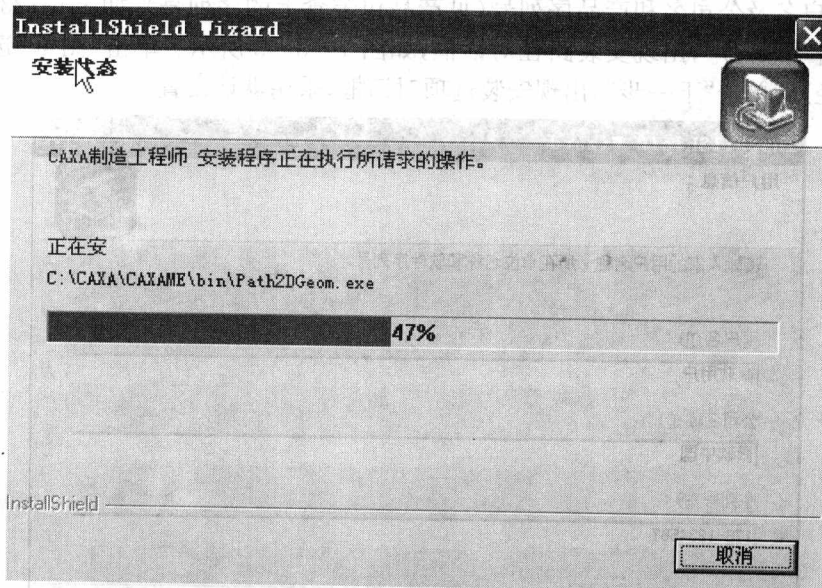


图 1-3-4 安装状态图

文件复制完成后出现安装成功对话框,如图 1-3-5 所示。



图 1-3-5 安装成功对话框

单击“确定”完成软件安装。在安装结束后,应按照提示重新启动计算机。安装完软件以后,再插加密锁。

### 1.3.2 CAXA 制造工程师的界面

CAXA 制造工程师的用户界面和其他 Windows 风格的软件一样,各种应用的功能通过主菜单和工具条来实现。CAXA 制造工程师 2006 的工作界面如图 1-3-6 所示,它主要由绘图区、标题栏、主菜单、工具栏、状态栏组成。

#### 1. 标题栏

标题栏位于工作界面的最上方,用来显示 CAXA 制造工程师的程序按钮以及当前正在运行文件的名字等信息。如果是新建文件并且未经保存,则文件名显示为“无名文件”;如果

文件经过保存或打开已有文件,则以“路径+文件名”显示文件。

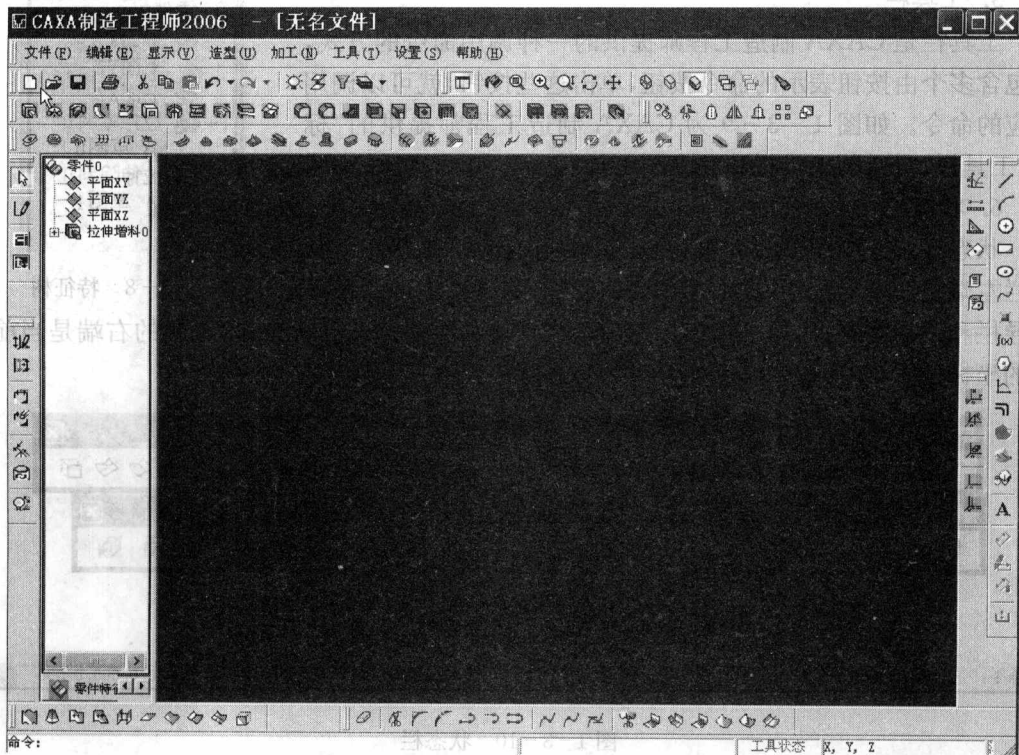


图 1-3-6 CAXA 制造工程师界面

## 2. 主菜单

主菜单由“文件”、“编辑”、“显示”、“应用”、“工具”、“设置”及“帮助”等菜单项组成,这些菜单几乎包括了CAXA制造工程师的全部功能和命令。图1-3-7为CAXA制造工程师的主菜单。

文件(F) 编辑(E) 显示(V) 造型(U) 加工(N) 工具(T) 设置(S) 帮助(H)

图 1-3-7 主菜单

## 3. 绘图区

绘图区位于屏幕的中心,是用户进行绘图设计的工作区域。它占据了屏幕的大部分面积,用户所有的工作结果都反映在这个窗口中。

## 4. 特征树

特征树位于工作界面的左侧,以树型格式直观地再现了基准平面和实体特征的建立顺

序,并让用户对这些特征执行各种编辑操作。特征树如图 1-3-8 所示。

### 5. 工具栏

工具栏是 CAXA 制造工程师提供了一种调用命令的方式,它包含多个由按钮表示的命令按钮,单击这些按钮,就可以调用相应的命令。如图 1-3-9 为 CAXA 制造工程师提供的“标准”工具栏、“特征”工具栏和“曲面”工具栏。



图 1-3-8 特征树

### 6. 状态栏

状态栏位于绘图窗口底部,用来反映当前的绘图状态。状态栏左端是命令提示栏,提示用户当前动作;状态栏中部为操作指导栏和工具状态栏,用来指出用户的不当操作和当前的工具状态;状态栏的右端是当前光标的坐标位置,如图 1-3-10 所示。

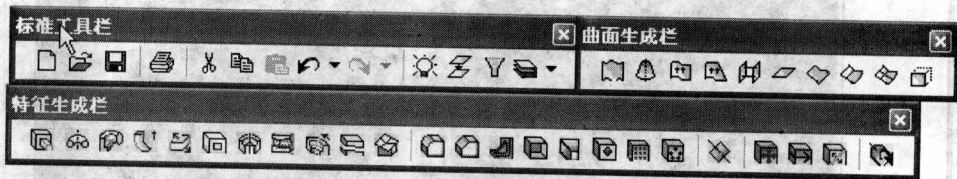


图 1-3-9 CAXA 制造工程师的部分工具条



图 1-3-10 状态栏

### 7. 立即菜单与快捷菜单

CAXA 制造工程师在执行某些命令时,会在特征树下方弹出一个选择窗口,称为立即菜单。立即菜单描述了该项命令的各种情况和使用条件。用户根据当前的作图要求,正确地选择某一选项,即可得到准确的响应。图 1-3-11 为“直线”命令时出现的立即菜单。用户在操作过程中,在界面的不同位置单击鼠标右键,即可弹出不同的快捷工作间。利用快捷菜单中的命令,用户可以快速、高效地完成绘图操作。图 1-3-12 为在选择实体表面时所出现的快捷菜单。

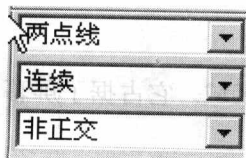


图 1-3-11 立即菜单

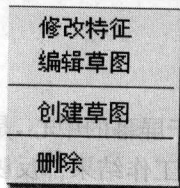


图 1-3-12 快捷菜单

## 8. 工具菜单

工具菜单是将操作过程中频繁使用的命令分类组合在一起而形成的菜单。当操作中需要某一特征量时,只要按下空格键,即在屏幕上弹出工具菜单。工具菜单包括点工具菜单、矢量工具菜单和选择集工具菜单三种。

(1) 点工具菜单 用来选择具有几何特征的点的工具,如图 1-3-13所示。

① 缺省点(sketch point)系统默认的点捕捉状态,它能自动捕捉直线、圆弧、圆、样条线的端点,实体特征的角点,快捷键为 S。

② 端点(end point)可捕捉直线、圆弧、圆、样条线的端点,快捷键为 E。

③ 中点(mid point)可捕捉直线、圆弧、圆、样条线的中点,快捷键为 M。

④ 交点(intersection)可捕捉任意两曲线的交点,快捷键为 I。

⑤ 圆心(center point)可捕捉圆、圆弧的圆心点,快捷键为 C。

⑥ 垂足点(perpendicular)曲线的垂足点,快捷键为 P。

⑦ 切点(tangent point)可捕捉直线、圆弧、圆、样条曲线的切点,快捷键为 T。

⑧ 最近点(near point)可捕捉到光标覆盖范围内、最近曲线上距离最短的点,快捷键为 N。

⑨ 型值点(knot)可捕捉曲线的控制点,包括直线的端点和中点,圆、椭圆的端点、中点、象限点、圆弧的端点、中点,样条曲线的型值点,快捷键为 K。

⑩ 刀位点(operation point)刀具轨迹上的点,快捷键为 O。

⑪ 存在点(existing point)用曲线生成中的点工具生成的独立存在的点,快捷键为 G。

(2) 矢量工具菜单 用来选择方向的工具,如图 1-3-14 所示。

矢量工具主要是用在方向选择上,当交互操作处于方向选择状态时,用户可通过矢量工具菜单(如图 1-3-14 所示)来改变拾取的类型。

矢量工具包括直线方向、X 轴正方向、X 轴负方向、Y 轴正方向、Y 轴负方向、Z 轴正方向、Z 轴负方向、端点切矢(矢量沿过曲线端点且与曲线相切的方向)八种类型。

(3) 选择集拾取工具菜单 用来拾取所有元素的工具,如图 1-3-15 所示。

- ✓ S 缺省点
- E 端点
- M 中点
- I 交点
- C 圆心
- P 垂足点
- T 切点
- N 最近点
- K 型值点
- O 刀位点
- G 存在点

图 1-3-13 点工具菜单

- ✓ 直线方向
- X轴正方向
- X轴负方向
- Y轴正方向
- Y轴负方向
- Z轴正方向
- Z轴负方向
- 端点切矢

- ✓ A 拾取添加
- W 拾取所有
- R 拾取消消
- L 取消尾项
- D 取消所有

图 1-3-14 矢量工具菜单

图 1-3-15 选择集拾取工具菜单

## 1.4 CAXA 制造工程师基础知识

### 1.4.1 当前平面

当前平面是指当前的作图平面,是当前坐标系下的坐标平面,即 XY 面、YZ 面、XZ 面中的某一个,通过[F5]、[F6]、[F7]三个功能进行选择,系统会在确定作图平面的同时,调整视图,使用户面向该坐标系平面,也可以通过[F9]键,在三坐标平面间切换当前平面。

系统使用连接两坐标轴正向的斜线标示当前平面,如图 1-4-1 所示。

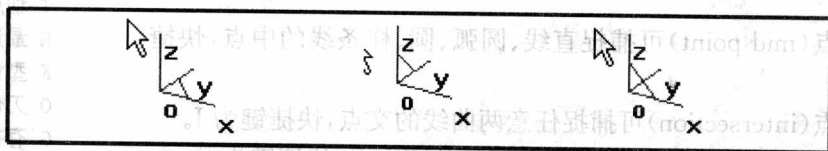


图 1-4-1 当前坐标平面标示

### 1.4.2 光标反馈

#### 1. 导航反馈

在绘制各种曲线时,系统通过不同的光标显示,提示用户所要绘制的曲线类型,系统提供的导航反馈信息有以下几种:

当光标显示为时,绘制直线;

当光标显示为时,绘制圆弧;

当光标显示为时,绘制圆;

当光标显示为时,绘制样条曲线;

当光标显示为时,绘制矩形;

当光标显示为时,绘制点;

当光标显示为时,绘制等距线;

当光标显示为时,进行曲线投影;

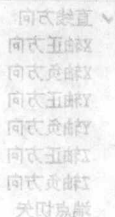
当光标显示为时,绘制相关线;

当光标显示为时,输入文字;

当光标显示为时,进行尺寸标注;

#### 2. 拾取反馈

在实体、曲面或曲线上进行点、线、面拾取时,系统通过不同的光标显示,提示当前所捕



捉到的图形对象类型。此时,单击左键即可以拾取到光标所提示类型的图形对象。CAXA制造工程师提供的拾取反馈信息包括以下几种:

当光标显示为时,拾取到实体的一个曲面;

当光标显示为时,拾取到实体的一个平面;

当光标显示为时,拾取到实体的一条棱边;

当光标显示为时,拾取到实体的一个顶点;

当光标显示为时,拾取到点或坐标系原点;

当光标显示为时,拾取到直线;

当光标显示为时,拾取到圆及圆弧;

当光标显示为时,拾取到各种样条曲线;

当光标显示为时,拾取到标注尺寸。

### 1.4.3 点的输入方法

#### 1. 键盘输入

##### (1) 功能

输入已知坐标的点。

##### (2) 操作

操作方法有以下两种:

方法一:在需要输入坐标值时,按`Enter`键,系统在屏幕中心位置弹出数据输入框,通过键盘输入点的坐标值,系统将在输入框内显示输入的内容,再次按`Enter`键,完成点的输入。

方法二:利用键盘直接输入点的坐标值,系统在屏幕中心位置弹出数据输入框,并显示输入的内容,输入完后按`Enter`键,完成点的输入。

##### (3) 说明

在CAXA制造工程师中,坐标的表达方式有以下三种:

① 用“绝对坐标”表达 表达方式包括完全表达和不完全表达两种。

完全表达即将(X,Y,Z)三个坐标全部表示出来,数字间用逗号分开,例如,“30,50,40”代表坐标  $x=30$   $y=40$   $z=50$  的坐标点。

不完全表达即(X,Y,Z)三个坐标的省略方式,当其中一个坐标值为零时该坐标可省略,其间用逗号隔开即可,例如“40,,0”可以表示为“40,,”,坐标“30,0,40”可以表示为“30,,40”;坐标“0,0,40”可以表示为“,,40”。

② 用“相对坐标”表达 相对坐标输入需要在坐标数据前加符号@。该符号的含义为:后面的坐标值是相对于前点的坐标。同样,采用相对坐标的输入方式,也可使用完全表达和

不完全表达两种方式。

③ 用“函数表达式”表达 将表达式的计算结果作为点的坐标值输入,如输入坐标“100 \2,30 \* 2,140 \* sin(30),等同于计算后的坐标值“50,60,70”。

例 1-1 绘制如图 1-4-2 所示的封闭折线图形。

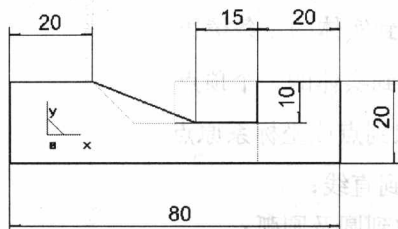


图 1-4-2 封闭折线图形

绘图步骤如下:

- ① 单击曲线工具栏的“直线”按钮.
- ② 在立即菜单中依次设置选项为“两点线”连续和“非正交”。
- ③ 采用绝对坐标的完全表达方式输入第一点,按 **Enter** 键,此时屏幕中心出现数据输入框;使用键盘输入第一点坐标“0,0,0”,再次按 **Enter** 键。

④ 采用绝对坐标的不完全表达方式输入第二点,按 **Enter** 键;输入 80,按 **Enter** 键。

⑤ 采用相对坐标的不完整方式直接输入其他点:

@0,20 ↵ (↵表示回车符)

@-20 ↵

@,-10 ↵

@-15 ↵

@-25,10 ↵

@,-20 ↵

采用绝对坐标的不完全表达方式输入最后一点“0”,完成绘制。

## 2. 鼠标输入

### (1) 功能

用于捕捉图形对象的特征值点。

### (2) 操作

操作方法有以下两种:

- ① 使用点工具菜单 当需要输入特征值点时按 **Space** (空格) 键,弹出如图 1-3-13 所