

项目五

宏程序编程应用及自动编程应用

项目导读

宏程序与子程序类似,对编制相同加工的操作可以使程序简化,同时宏程序中可以使用变量、算术和逻辑运算及转移指令,还可以方便地实现循环程序设计,使相同加工操作的程序更方便,更灵活。本章以 FANUC 系统为例介绍宏程序设计的内容。

宏一般分为 A 类宏和 B 类宏。A 类宏是以 G65 H_ P#_ Q#_ R#_ 的格式输入的,而 B 类宏程序则是以直接的公式和语言输入的,和 C 语言很相似,在 Oi 系统中应用比较广。本书主要介绍 B 类宏程序。

项目目标

- (1) 了解宏程序的作用。
- (2) 理解变量种类及应用。
- (3) 掌握条件语句和循环语句的编程格式及应用。
- (4) 会运用宏程序进行简单的编程与计算。

任务一 了解宏变量与常量

知识点 1 变量与变量的引用

在常规程序中,总是将一个具体的数值赋给一个地址,为了使程序更具有通用性,更加灵活,可在程序中设置变量。

1. 变量的表示

变量由变量符号 # 和后面的变量号组成: #I(I=1,2,3,…)或#[<式子>]。

例: #5, #109, #501, #[#1+#2-12]。

2. 变量的引用

将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替,即引入了变量。

(1) 地址字后面指定变量号或公式。

格式:

<地址字>#I

这里的“I”代表变量号。

例: $F\#103$, 设 $\#103=15$, 则为 $F15$;

$Z-\#110$, 设 $\#110=250$, 则为 $Z-250$;

$X[\#24+\#18*\text{COS}[\#1]]$ 。

(2) 变量号可用变量代替。

例: $\#[\#30]$, 设 $\#30=3$, 则为 $\#3$ 。

(3) 变量不能使用地址 O, N, I。

(4) 变量号所对应的变量, 对每个地址来说, 都有具体的数值范围。

例: $\#30=1100$ 时, 则 $M\#30$ 是不允许的。

(5) $\#0$ 为空变量, 没有定义变量值的变量也是空变量。

知识点 2 变量的类型

变量分为局部变量、公共变量和系统变量三种。

(1) 局部变量($\#1\sim\#33$)。局部变量是一个在宏程序中局部使用的变量, 可以服务于不同的宏程序, 在不同的宏程序中局部变量可以赋予不同的值, 相互之间不影响。

(2) 公共变量($\#100\sim\#199, \#500\sim\#999$)。公共变量也叫通用变量, 可在各级宏程序中被共同使用, 即这一变量在不同程序级中调用时含义相同。

(3) 系统变量($\#1000\sim$)。系统变量用来读取和写入各种数控数据项, 如当前位置和刀具偏置值, 它的值决定于系统的状态。

知识点 3 常量

PI: 圆周率 π 。

TRUE: 条件成立(真)。

FALSE: 条件不成立(假)。

任务二 变量的运算与控制

知识点 1 运算指令

变量之间进行运算的通常表达形式是: $\#i=(\text{表达式})$ 。

常用运算指令如下。

1. 定义替换

$\#I=\#j$

2. 算术运算

加: $\#I=\#j+\#k$

减: $\#I=\#j-\#k$

乘: $\#I=\#j*\#k$

除： $\#I = \#j / \#k$

3. 逻辑运算

或： $\#I = \#JOK \#k$

异或： $\#I = \#JXOK \#k$

与： $\#I = \#JAND \#k$

4. 函数

正弦： $\#I = \text{SIN}[\#j]$

余弦： $\#I = \text{COS}[\#j]$

正切： $\#I = \text{TAN}[\#j]$

反正切： $\#I = \text{ATAN}[\#j]$

平方根： $\#I = \text{SQRT}[\#j]$

绝对值： $\#I = \text{ABS}[\#j]$

以上算数运算和函数运算可以结合在一起使用,运算的先后顺序是:函数运算、乘除运算、加减运算。在三角函数的运算中,单位为度。

表达式中括号的运算将优先进行。连同函数中使用的括号在内,括号在表达式中最多可以有 5 层。

知识点 2 变量的赋值

(1) 直接赋值。MDI 方式直接赋值或在程序中以等式方式赋值,等号左边不能用表达式。

(2) 宏程序调用时赋值。宏程序以子程序的方式出现,所用变量可以在宏程序调用时赋值。

知识点 3 条件判别语句

1. 无条件的转移

格式:

GOTO n;

GOTO #10;

2. 条件转移

格式:

IF[<条件式>] GOTO n

条件式:

#j EQ #k 表示 =;

#j NE #k 表示 ≠;

#j GT#k 表示 $>$;

#j LT#k 表示 $<$;

#j GE#k 表示 $\geq$;

#j LE#k 表示 $\leq$ 。

例:

```
IF[#1 GT 10] GOTO 100;  
...  
N100 G00 G91 X10;
```

例: 求 1 到 10 之和。

```
O9500;  
#1 = 0;  
#2 = 1;  
N1 IF [#2 GT10] GOTO 2;  
#1 = #1 + #2;  
#2 = #2 + 1;  
GOTO 1;  
N2 M30;
```

知识点 4 循环语句

格式:

```
WHILE[<条件式>]DO m; (m = 1, 2, 3)  
...  
ENDm;
```

说明:

- (1) 条件满足时, 执行 DOm 到 ENDm;
- (2) 条件不满足时, 执行 ENDm 后的程序段;
- (3) 省略 WHILE 语句, 只有 DOm...ENDm 时, 则从 DOm 到 ENDm 之间形成死循环。

注意:

- (1) WHILE Dom 和 ENDm 必须成对使用;
- (2) DO 语句允许有三层嵌套。

例: 求 1 到 10 之和。

```
O0001;  
#1 = 0;  
#2 = 1;  
WHILE [#2LE10] DO1;  
#1 = #1 + #2;  
#2 = #2 + 1;  
END1;  
M30;
```

任务三 宏程序固定循环指令的实现

在数控加工程序中可以使用用户宏程序。所谓宏程序就是含有变量的子程序。

知识点 1 用户宏程序的调用方法

可以认为用户宏程序就是含变量的程序,其调用方法和调用子程序一样。当加工尺寸不同的同类零件时,用户可将相同加工操作编为用户宏程序。调用宏程序时,主程序只需改变宏命令的数值,用一条简单指令调用即可,而不必为每一个零件都编一个程序。用户宏程序的调用格式为: M98P(宏程序名)<变量赋值>或 G65P(宏程序名)<变量赋值>。

知识点 2 宏程序的应用

例 1: 如图 5-1 所示,编制其精加工程序。

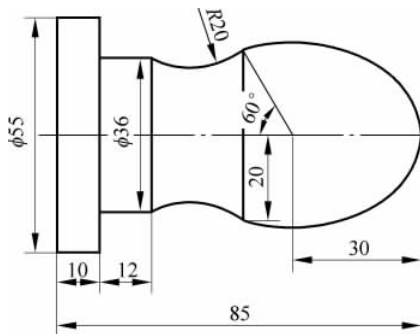


图 5-1 宏程序编程实例 1

主程序:

```
O0021
T0101;
M03S600;
G00X0Z2.0;
G01X0Z0F0.1;
G65P1300;
G02X36.0Z-63.0R20.0;
G01W-12.0;
X55.0;
Z-85.0;
G00X100.0Z100.0;
M30;
```

子程序:

```
O1300
#101=0;
#102=30.0 * COS[ #101 ] - 30.0;
```

```

#103 = 40.0 * SIN[ #101];
N50 IF[ #101GT120] GOTO 100;
G01X#103Z#102F0.1;
#101 = #101 + 0.4;
GOTO 50;
N100 M99;

```

例 2：如图 5-2 所示工件，毛坯尺寸为 $60 \times 40 \times 25$ ，材料为 HT150，试编写椭圆的精加工程序。

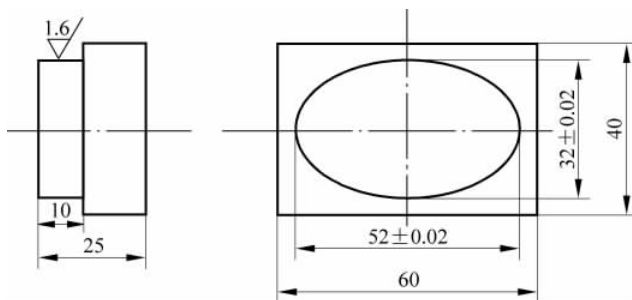


图 5-2 宏程序编程实例 2

分析：在毛坯中心建立工件坐标系， Z 轴原点设在顶面上。

根据椭圆参数方程： $X = a * \cos\phi$ ； $Y = b * \sin\phi$ 。

```

O0002
G54 G40 G49 G17 G80;
G90G00Z50;
X50Y0;
M03S800;
Z5;
G01Z-10F100;
G41Y-24D01;
G03X26Y0R24;
#1 = 0;
N10 #2 = 26 * COS[ #1];
#3 = 16 * SIN[ #1];
G01X#2Y#3;
#1 = #1 + 1;
IF[ #1LE360]GOTO 10;
G02X50Y24R24;
G40G01Y0;
G00Z100;
M05;
M30;

```

例 3：如图 5-3 所示，毛坯尺寸为 $50 \times 50 \times 30$ ，试编写该工件半圆球曲面的精加工程序。

```

O0003
G54 G40 G49 G17 G80;
G90G00Z50;
X50Y0;

```

```

M03S800;
Z5;
#1 = 0;
N10 #2 = [20 - #1] * [20 - #1];
#3 = SQRT[20 * 20 - #2];
G41G01X#3D01F100;
Z - #1;
G02I - #3;
#1 = #1 + 0.5;
IF[ #1LE20]GOTO10;
G40G01X50Y0;
G00Z100;
M05;
M30;

```

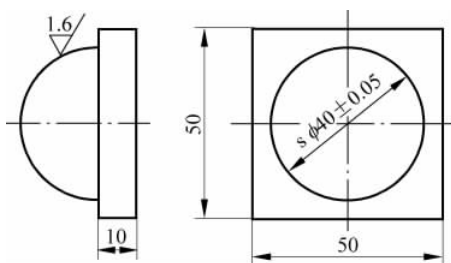


图 5-3 宏程序编程实例 3

任务四 了解自动编程

知识点 1 自动编程概述

自动编程技术是指利用计算机专用软件来编制数控加工程序。编程人员只需根据零件图样的要求,使用数控语言,由计算机自动地进行数值计算及后置处理,编写出零件加工程序单,加工程序通过直接通信的方式送入数控机床,指挥机床工作。自动编程使得一些计算烦琐、手工编程困难或无法编出的程序能够顺利地完。随着数控加工技术的迅速发展,对编程技术的要求也越来越高,不仅要求能解决形状复杂零件的编程,而且要求编程的速度快、精度高,并便于检查,所以采用自动编程技术是必然的发展方向。

自动编程技术发展至今,形成了很多种类型。但从广泛使用的角度来看,主要有数控语言自动编程系统和人机对话式自动编程系统两大类。

1. 数控语言自动编程系统

数控语言自动编程系统的一般处理流程如图 5-4 所示。从流程图中可以看出,数控语言自动编程系统主要由零件源程序和编译软件组成。

1) 源程序

零件的源程序是程序员根据被加工零件的几何图形和工艺要求,用数据语言编写的计

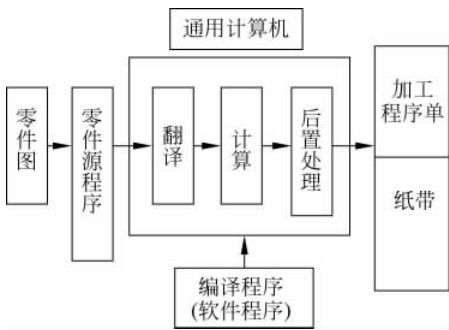


图 5-4 数控语言自动编程系统处理流程图

计算机输入程序。它是生成零件加工程序的根源,故称为零件源程序。零件源程序包含零件加工的形状和尺寸、刀具运动路线、切削参数、机床的辅助功能等。

2) 编译程序

编译程序是把输入计算机中的零件源程序翻译成等价的目标程序的程序,它也称为系统处理程序,是自动编程系统的核心部分。在编译程序的支持下,计算机就能对零件源程序进行如下处理。

- (1) 翻译阶段: 识别语言并理解其含义。
- (2) 计算阶段: 经过几何处理、工艺处理和走刀轨迹处理之后生成刀位文件。
- (3) 后置处理阶段: 后置处理是将刀位文件转换为数控机床能够识别的数控加工程序。

3) APT 语言

自动编程的数控语言(Automatically Programmed Tools, APT)是一种描述零件几何形状和刀具相对工件运动的一种特定的符号, APT 语言是最典型的一种数控语言。APT 是词汇式语言,它的优点是零件源程序编制容易,数控程序制作时间短,可靠性高,可自动诊断错误,能描述图形的数学关系,用户易于二次开发;缺点是只能处理几何形状的信息,不能自动处理走刀顺序、刀具形式及尺寸、切削用量等工艺要求。

4) 数控语言自动编程系统软件的总体结构

数控语言自动编程系统软件由前置处理程序和后置处理程序组成。

(1) 前置处理程序。首先读入零件源程序进行编译,经过词法、语法分析,如果发现错误,就进行显示并修改。然后进入计算阶段,计算出加工零件各几何元素之间的基点及节点坐标和零件加工的走刀路线,形成刀位文件(CLD)。

(2) 后置处理程序。后置处理程序的作用就是把刀位文件翻译成数控机床能够识别的数控加工程序。不同的数控系统,它的前置处理程序也不同。后置处理程序由输入及控制模块、运动模块、辅助功能模块和输出模块组成。

2. 人机对话式自动编程系统

人机对话式自动编程系统又称图形交互式自动编程系统,它是一种直接将零件的几何图形信息自动转化为数控加工程序的计算机辅助编程技术。它通常是以计算机辅助设计(CAD)软件为基础的专用软件来实现的。图形交互式自动编程系统的步骤为:

- (1) 零件图纸及加工工艺分析；
- (2) 几何造型(CAD 模块)；
- (3) 刀位点轨迹计算及生成(CAM 模块)；
- (4) 模拟仿真；
- (5) 后置处理；
- (6) 程序输出。

知识点 2 常见的 CAD/CAM 软件简介

基于 CAD/CAM 的自动编程软件有：Pro/Engineer、UG、Ideas、CATIA、SolidEdge、SolidWorks、Master CAM、CAXA 等。

1. Pro/Engineer 软件

Pro/Engineer 软件是美国 PTC 公司于 1988 年推出的产品,如图 5-5 所示,它是一种最典型的基于参数化(Parametric)实体造型的软件。可工作在工作站和 Unix 操作环境下,也可以在微机的 Windows 环境下运行。Pro/Engineer 包含了从产品的概念设计、详细设计、工程图、工程分析、模具,直至数控加工的产品开发过程。

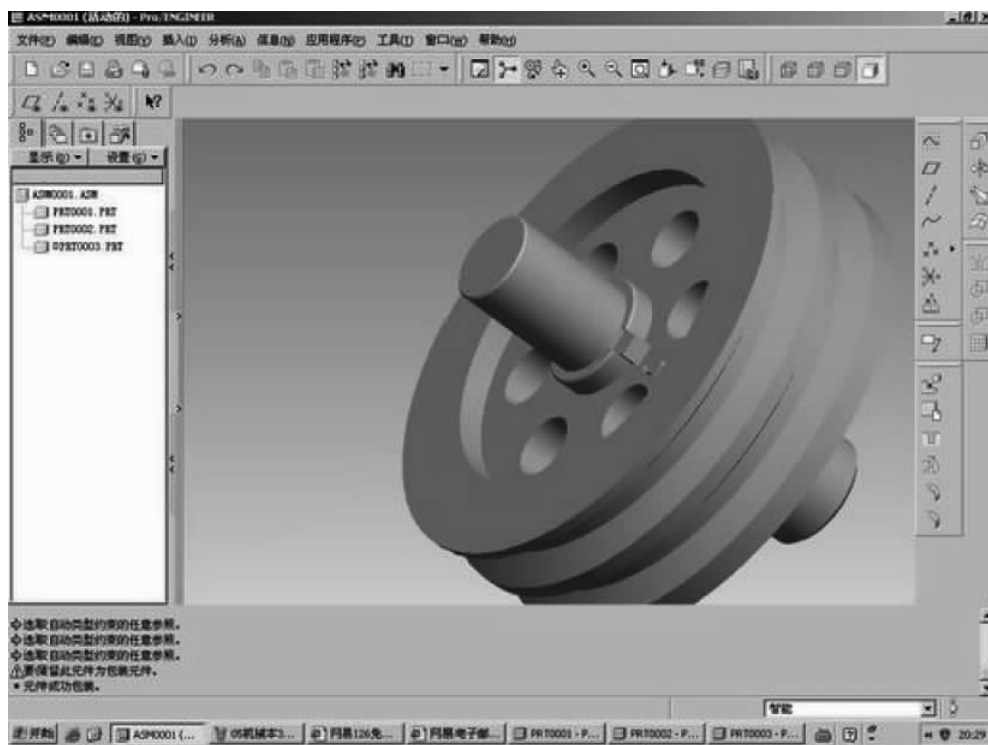


图 5-5 Pro/Engineer 软件

1) Pro/Engineer 软件 CAD 功能

具有简单零件设计、装配设计、设计文档(绘图)和复杂曲面的造型等功能。具有从产品

模型生成模具模型的所有功能。可直接从 Pro/E 实体模型生成全关联的工程视图,包括尺寸标注、公差、注释等。还提供三坐标测量仪的软件接口,可将扫描数据拟合成曲面,完成曲面光滑和修改;提供图形标准数据库交换接口,包括 IGES、SET、VDA、CGM、SLA 等。还提供 Pro/E 与 CATIA 软件的图形直接交换接口。

2) Pro/Engineer 软件 CAM 功能

提供车加工、2~5 轴铣加工、电火花线切割、激光切割等功能。加工模块能自动识别工件毛坯和成品的特征。当特征发生修改时,系统能自动修改加工轨迹。

2. MasterCAM 软件

MasterCAM 是美国 CNC 公司开发的一套适用于机械设计、制造的运行在 PC 平台上的 3D CAD/CAM 交互式图形集成系统,如图 5-6 所示。它可以完成产品的设计和各种类型数控机床的自动编程,包括数控铣床(3~5 轴)、车床(可带 C 轴)、线切割机(4 轴)、激光切割机、加工中心等的编程加工。

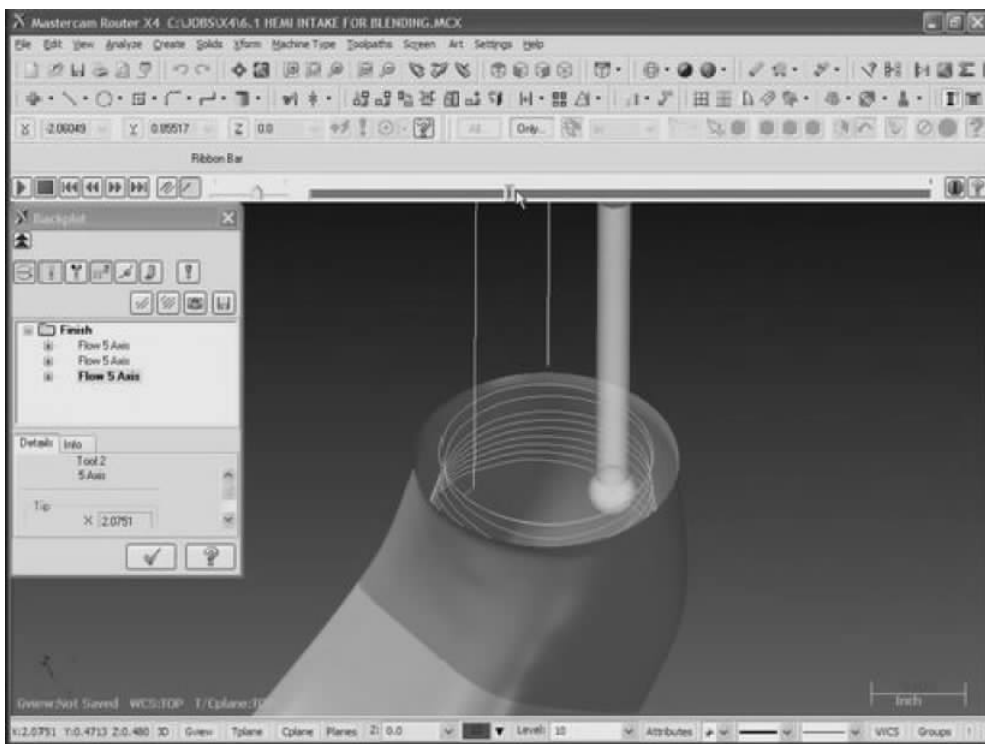


图 5-6 MasterCAM 软件

产品零件的造型可以由系统本身的 CAD 模块来建立模型,也可通过三坐标测量仪测得的数据建模,系统提供的 DXF、IGES、CADL、VDA、STL、PARASLD 等标准图形接口,可实现与其他 CAD 系统的双向图形传输,也可通过专用 DWG 图形接口与 AutoCAD 进行图形传输。

系统具有很强的加工能力,可实现多曲面连续加工、毛坯粗加工、刀具干涉检查与消除、实体加工模拟、DNC 连续加工以及开放式的后置处理功能。

3. “CAXA 制造工程师”软件

“CAXA 制造工程师”软件(图 5-7)是由北京北航海尔软件有限公司开发的全中文 CAD/CAM 软件。

1) CAXA 软件的 CAD 功能

提供线框造型、曲面造型方法来生成 3D 图形。采用 NURBS 非均匀 B 样条造型技术,能更精确地描述零件形体。有多种方法来构建复杂曲面,包括扫描、放样、拉伸、导动、等距、边界网格等。对曲面的编辑方法有任意裁剪、过度、拉伸、变形、相交、拼接等,可生成真实感图形。具有 DXF 和 IGES 图形数据交换接口。

2) CAXA 软件的 CAM 功能

支持车加工,具有轮廓粗车、精切、切槽、钻中心孔、车螺纹功能。可以用参数修改功能对轨迹的各种参数进行修改,以生成新的加工轨迹;支持线切割加工,具有快、慢走丝切割功能,可输出 3B 或 G 代码的后置格式;支持 2~5 轴铣加工,提供轮廓、区域、3 轴和 4~5 轴加工功能。区域加工允许区域内有任意形状和数量的刀。可分别指定区域边界和刀的拔模斜度,自动进行分层加工。针对叶轮、叶片类零件提供 4~5 轴加工功能。可以利用刀具侧刃和端刃加工整体叶轮和大型叶片,还支持带有锥度的刀具进行加工,可任意控制刀轴方向。此外还支持钻加工。

CAXA 软件系统还提供丰富的工艺控制参数、多种加工方式(粗加工、参数线加工、限制线加工、复杂曲线加工、曲面区域加工、曲面轮廓加工)、刀具干涉检查、真实感仿真功能模拟加工、数控代码反读、后置处理功能等。

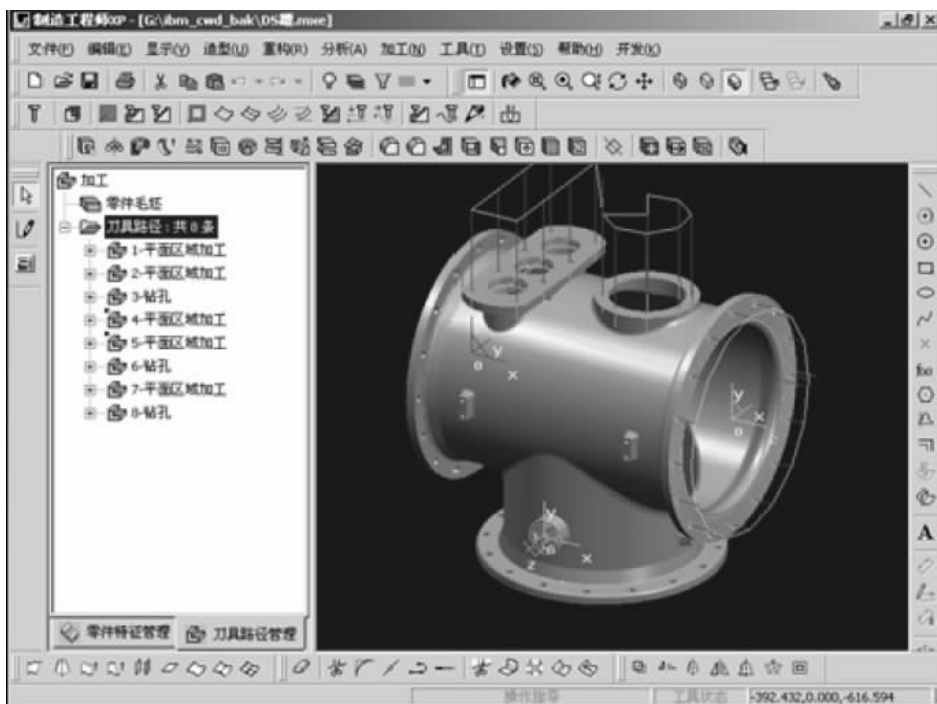


图 5-7 “CAXA 制造工程师”软件

知识点 3 UG 软件自动编程(UG NX6 软件应用)

1. UG NX6 简介

UG NX 是一个集成的 CAD/CAE/CAM 软件,是当今世界最先进的计算机辅助设计、分析和制造软件之一。该软件是一套集成的 CAX 程序,已远远超越了个人和部门生产力的范畴,完全能够改善整体流程以及该流程中每个步骤的效率,因而广泛应用于航空、航天、汽车、通用机械和造船等工业领域。

2. UG NX6 功能模块和特点

UG NX6 的各功能是靠各功能模块来实现的,利用不同的功能模块来实现不同的功能。下面简要介绍几种常用的功能模块。

1) CAD 模块

UG NX 软件的 CAD 模块产品设计包括实体建模、特征建模、自由形状建模、装配建模和制图等基本模块,是 CAID(计算机辅助工业设计)和 CAD 的集成软件,较好地解决了以往难以克服的 CAID 和 CAD 数据传输的难题。

2) CAM 模块

UG NX 软件的 CAM 模块包括交互工艺参数输入模块、刀具轨迹生成模块(UG/Toolpath Generator)、刀具轨迹编辑模块(UG/Graphical Tool Path Editor)、三维加工动态仿真模块(UG/Verify)、后置处理模块(UG/Postprocessing)。

使用加工模块可根据建立起的三维模型生成数控代码,用于产品的加工,其后处理程序支持多种类型的数控机床。加工模块提供了众多的基本模块,如车削、固定轴铣削、可变轴铣削、切削仿真、线切割等。

3) CAE 模块

UG NX CAE 功能主要包括结构分析、运动和智能建模等应用模块,是一种能够进行质量自动评测的产品开发系统,它提供了简便易学的性能仿真工具,对任何设计人员都可以进行高级的性能分析,从而获得更高质量的模型。

3. UG NX6 操作界面

要使用 UG NX6 软件进行工程设计,必须首先进入该软件的操作环境。用户可通过新建文件的方法进入该环境,或者通过打开文件的方式进入该环境。UG NX6 的操作界面如图 5-8 所示。

新的操作界面更具 Windows 风格,它加入大量 XP 风格的操作方式和图标,使界面更加干练、清晰、美观。从图 5-8 中可以看出,该界面主要由绘图区、标题栏、菜单栏、提示栏、状态栏、工具栏和资料栏组成。

1) 标题栏

在 UG NX6 工作界面中,窗口标题栏的用途与一般 Windows 应用软件的标题栏用途大致相同。在此,标题栏主要用于显示软件版本与使用者应用的模块名称,并显示当前正在操作的文件及状态。

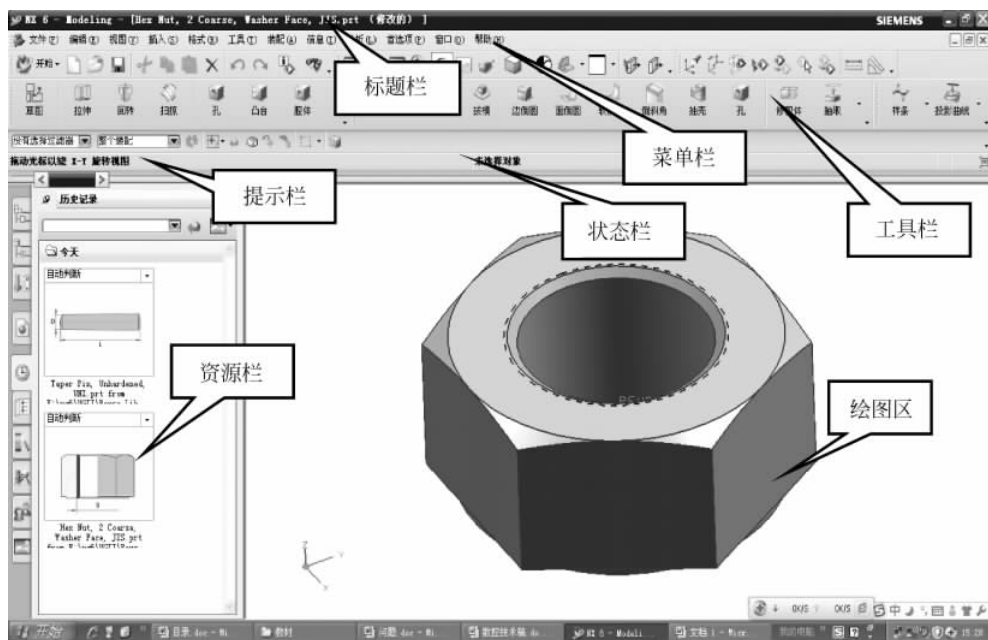


图 5-8 UG NX6 的操作界面

2) 菜单栏

主菜单包含了 UG NX 软件所有主要的功能,系统将所有的指令或设定选项予以分类,分别放在不同的下拉菜单中。

主菜单又可称为下拉式菜单,选择主菜单栏中任何一个功能选项时,系统将菜单下拉,并显示出该功能菜单中包含的有关指令。在下拉式菜单中,每一个选项的前后都有一些特殊的标记,例如在【编辑】子菜单中的【删除】选项前方有图标 $\times$,后方标有该选项对应的快捷键。

3) 工具栏

工具栏位于菜单栏的下面,它以简单直观的图标来表示每个工具的作用。单击图标按钮就可以启动相对应的 UG 软件功能,相当于从菜单中逐级选择到的最后命令。

UG NX6 根据实际需要将常用工具组合为不同的工具栏。为方便绘图,右击工具栏任意按键,选择对应选项将打开相应的工具栏,还可以自定义工具栏各按钮的显示/隐藏状态,图 5-9 所示是隐藏【编辑曲面】工具栏中的【更改刚度】和【法向反向】按钮的显示。



图 5-9 【标准】工具栏

4) 绘图区

绘图区是 UG NX6 的主要工作区域,它以窗口的形式呈现,占据了屏幕的大部分空间,用于显示绘图后的效果、分析结果、刀具路径结果等。在 UG NX6 中还支持以下操作方法。

(1) 小工具条和快捷菜单。

在绘图工作区域右击,将打开如图 5-10 所示的小工具条和快捷菜单,还可以在快捷菜单中选择视图的操作方式。

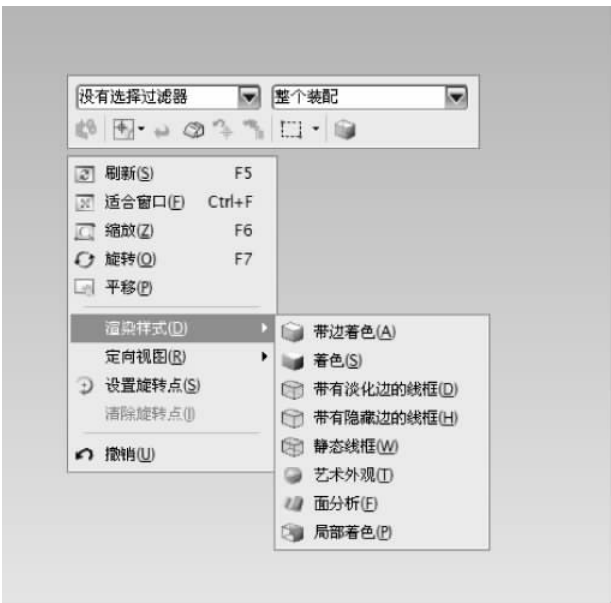


图 5-10 右击打开的快捷菜单

(2) 挤出式按钮。

在绘图区域按住鼠标右键不放,UG NX 6 将打开新的挤出式按钮,同样可以选择多种视图的操作方式,如图 5-11 所示。

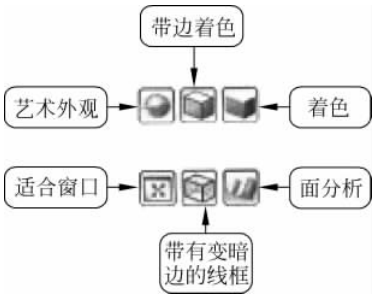


图 5-11 挤出式按钮

5) 提示栏和状态栏

提示栏位于绘图区的上方,用于提示使用者操作的步骤。在执行每个指令步骤时,系统均会显示使用者必须执行的动作,或提示使用者下一个动作。

状态栏固定于提示栏的右方,其主要用途用于显示系统及图素的状态,例如在选择点时,系统会提示当前鼠标位置的点是某一特殊点,如中点、圆心等,如图 5-12 所示。

6) 资源栏

资源栏适用于管理当前零件的操作及操作参数的一个树形界面,当鼠标离开操作资源界面时,操作导航器将会自动隐藏,如图 5-13 所示。该资源栏的导航按钮位于屏幕的左侧,提供常用的导航器按钮,如装配导航器、部件导航器等,该资源栏主要按钮的含义可参照表 5-1。

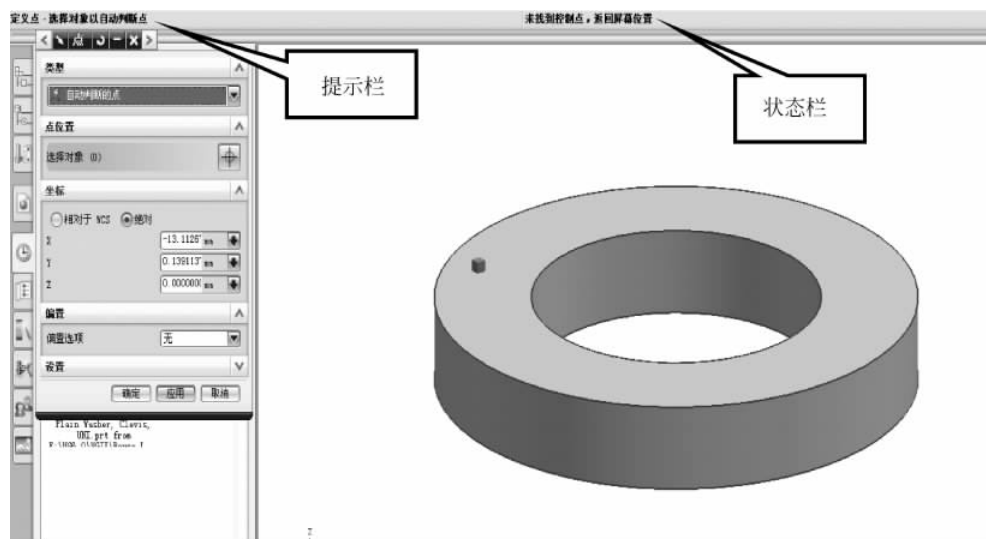


图 5-12 提示栏和状态栏

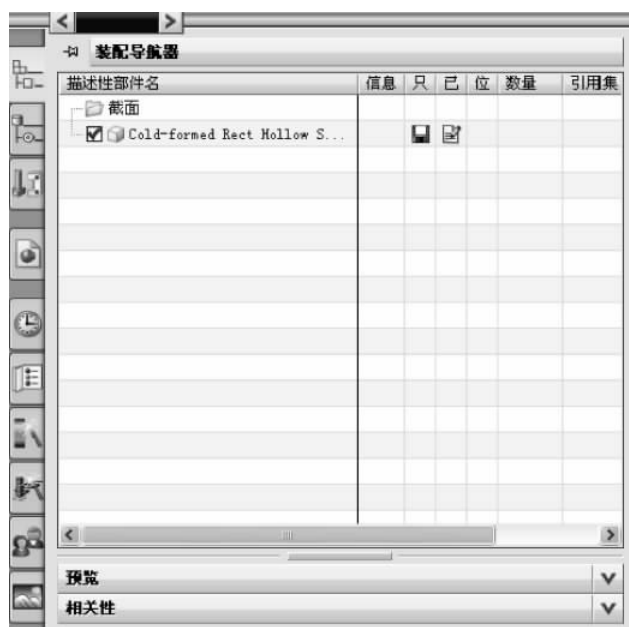


图 5-13 资源栏

表 5-1 资源栏主要按钮的含义

导航器按钮	按钮含义
装配导航器 	用来显示装配特征树及其相关操作过程
部件导航器 	用来显示零件特征树及其相关操作过程,即从中可以看出零件的建模过程及其相关参数。通过特征树可以随时对零件进行编辑和修改

续表

导航器按钮	按钮含义
重用库 	能够更全面地浏览 Teamacenter Classification 层次结构树,并提供对分类对象的直接访问权。此外还可以将相关 NX 部件的分类对象拖动到图形窗口中
IE 浏览器 	可以在 UC NX 6 中切换到 IE 浏览器
历史记录 	可以快速地打开文件,单击要打开的文件就可以打开文件。此外还可以单击并拖动文件到工作区域打开文件
系统材料 	系统材料中提供了很多常用的物质材料,如金属、玻璃和塑料等。可以单击并拖动需要的材质到设计零件上,即可达到给零件赋予材质的目的

思考与习题

1. 解释子程序和用户宏程序之间的区别。
2. 简述宏变量与常量。
3. 变量有哪些类型? 其主要功能有哪些?
4. 何为条件语句和循环语句?
5. 简述条件语句和循环语句的编程格式。
6. 解释 G65 程序段的功能。