



第六章 数控加工编程技术

6-1 数控机床与机床数控系统 （基础）

6-2 数控加工编程与仿真 （方法）

- ☐ 手工编程
- ☐ 图形交互自动编程 （演示）
- ☐ 数控加工仿真 （演示）

6-3 数控加工编程与仿真软件 （软件）

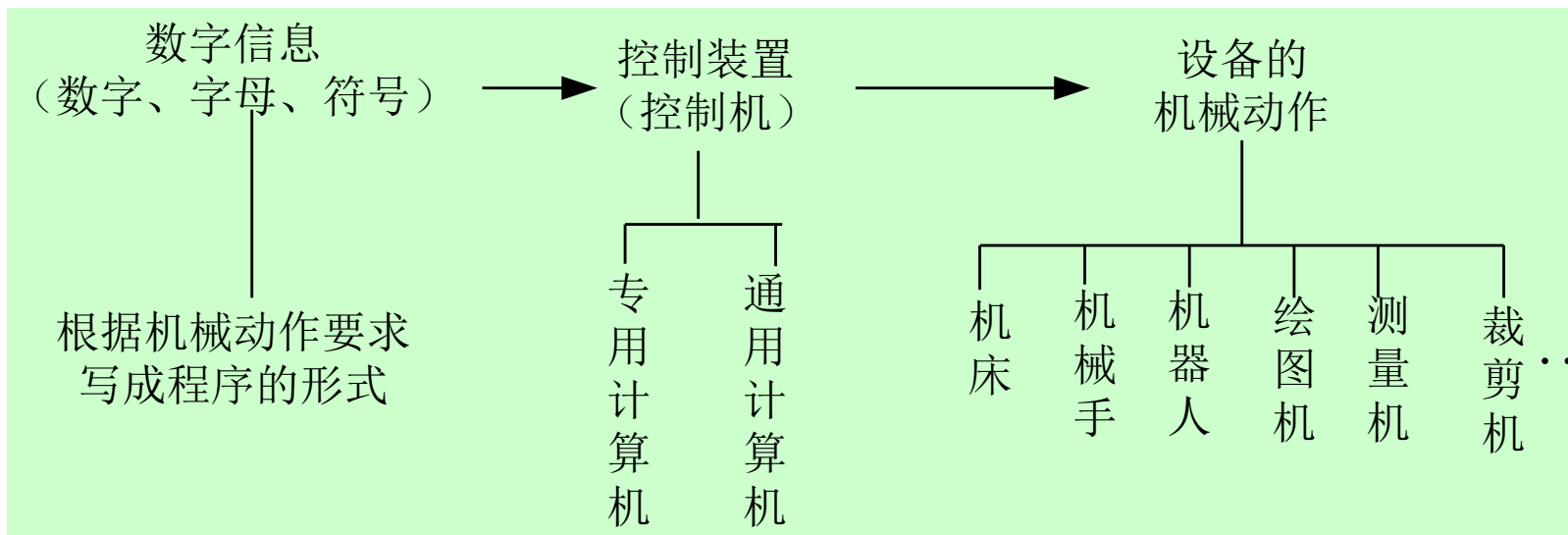
6-1 数控机床与机床数控系统

一、数字控制与数控机床

1. 数字控制（数控，Numerical Control）

数控机械

(1)



(2) NC工作方式是一种可编程序的自动控制方式。

具有灵活性（柔性）：加工对象变→仅改变程序（数字信息）即可。



6-1 数控机床与机床数控系统

2. 数控机床

(1) 数控机床：用数字信息（**数字量**）通过控制装置控制机械动作的机床。
区别于：

普通机床：开、停、走刀、变速等机械动作由**手工直接**控制。

自动机床、仿形机床：上述动作和相关参数由凸轮、挡块、靠模等机械装置以**模拟量**形式控制。

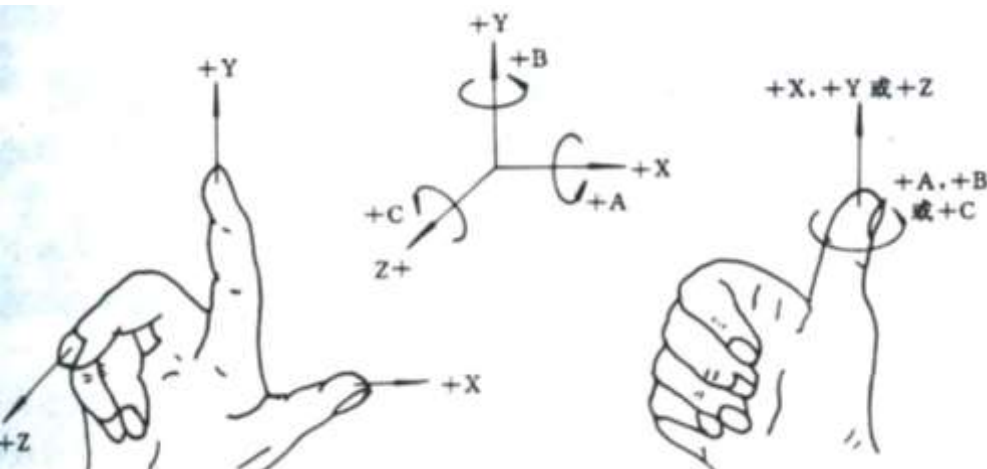
(2) 数控机床的坐标系和运动方向

ISO标准规定：

右手法则：确定直角坐标系中X,Y,Z轴的**直线**运动方向。

右旋定律：确定直角坐标系中X,Y,Z轴的**回转**运动方向(A,B,C)。

数控机床的坐标系和运动方向



Z轴:

//主轴方向，远离工件为+Z方向

X轴:

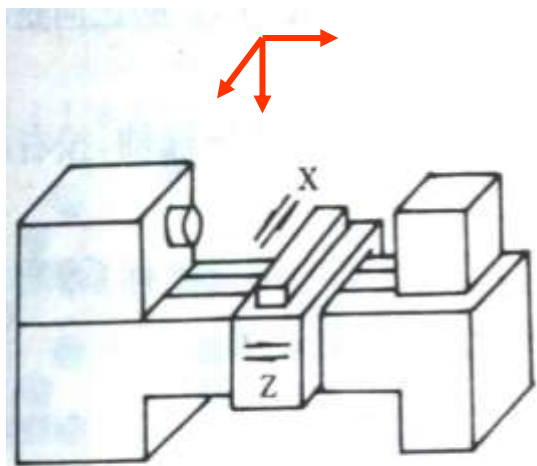
水平且//于工件装夹面，+X在Z轴右方

Y轴:

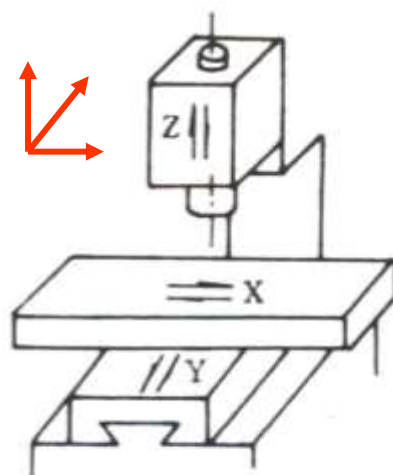
按右手法则确定

+X,+Y,+Z方向:

工件尺寸增大的方向



(a)



(b)

数控机床的坐标数

(3) 数控机床的坐标数

□机床坐标数:

有几个运动方向采用了数字控制。

坐标数越多, 机床结构越复杂, 控制软件也越复杂。

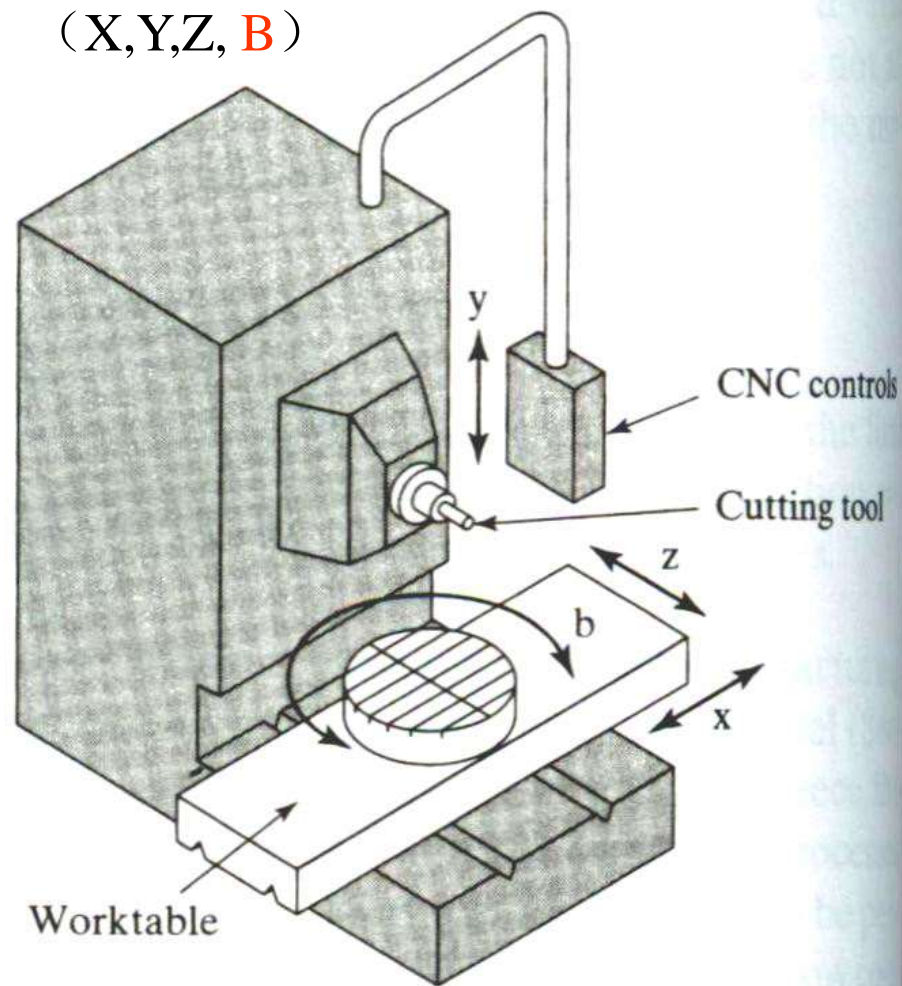
□联动坐标数:

控制装置能同时控制的坐标数目。

(4) 多坐标 (多轴) 数控机床

四轴、五轴、六轴数控机床

四坐标数控机床 (X,Y,Z, **B**)



如果工作台还能够偏转, 就为五坐标, (X,Y,Z,**A**, **B**)

五坐标数控机床（铣床）

旋转部件的运动形式： 双摆台、双摆头、一摆台一摆头

五轴联动数控铣床旋转部件的运动方式各有不同,有些机床设计成刀具摆动的形式,而有些机床则设计成工件摆动的形式。大体可以归纳为 3 种形式:双摆台形式(见图 1-8(a))、双摆头形式(见图 1-8(b))和一摆台一摆头形式(见图 1-8(c))。

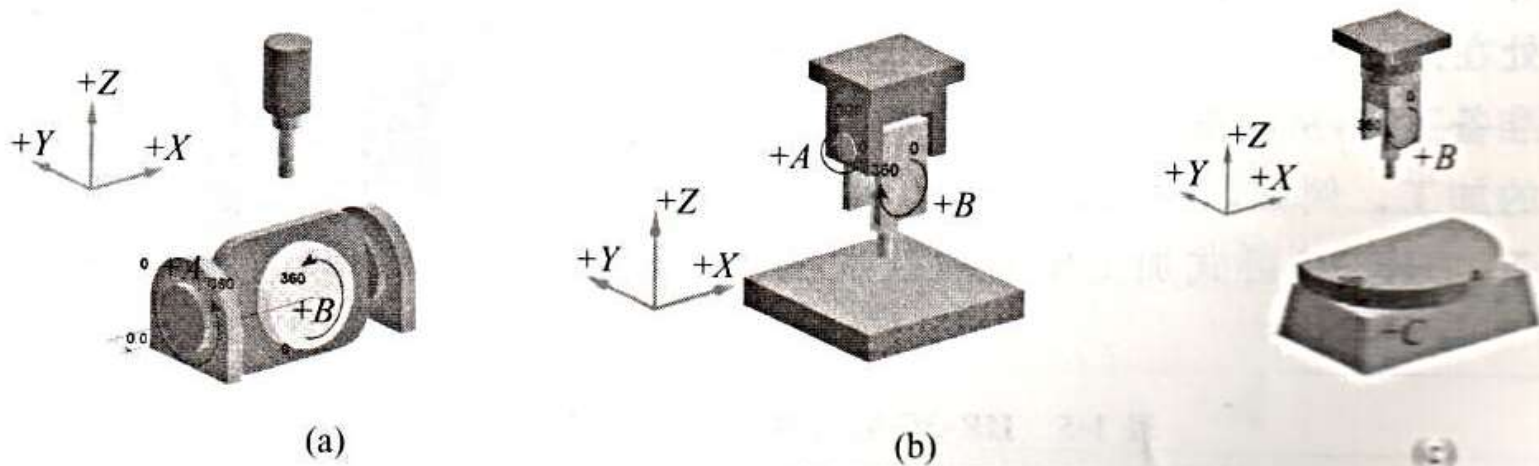


图 1-8 五轴联动数控铣床三种旋转形式

(a) 双摆台形式; (b) 双摆头形式; (c) 一摆台一摆头形式

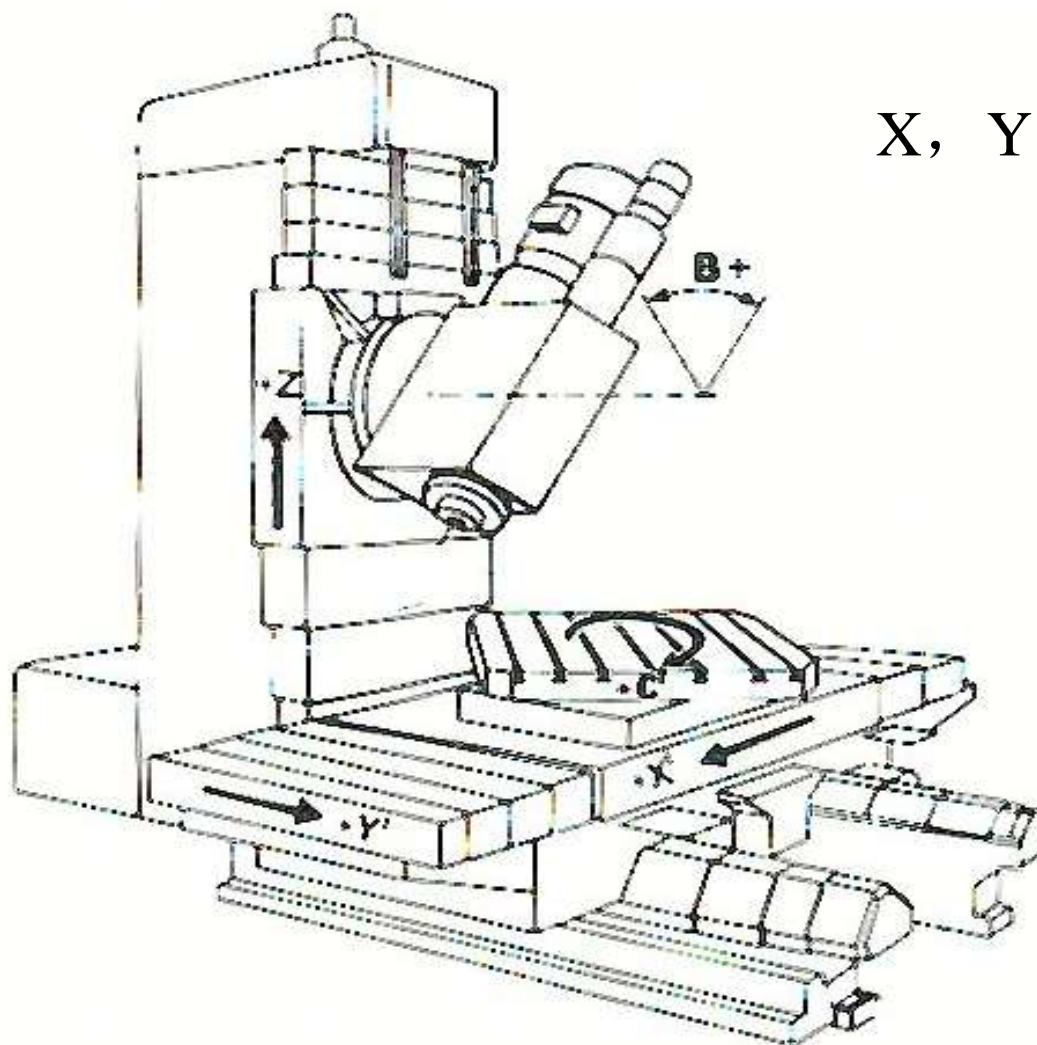
双摆台五坐标（轴）数控机床例子



双摆头五坐标（轴）数控机床例子



一摆台、一摆头五坐标数控机床

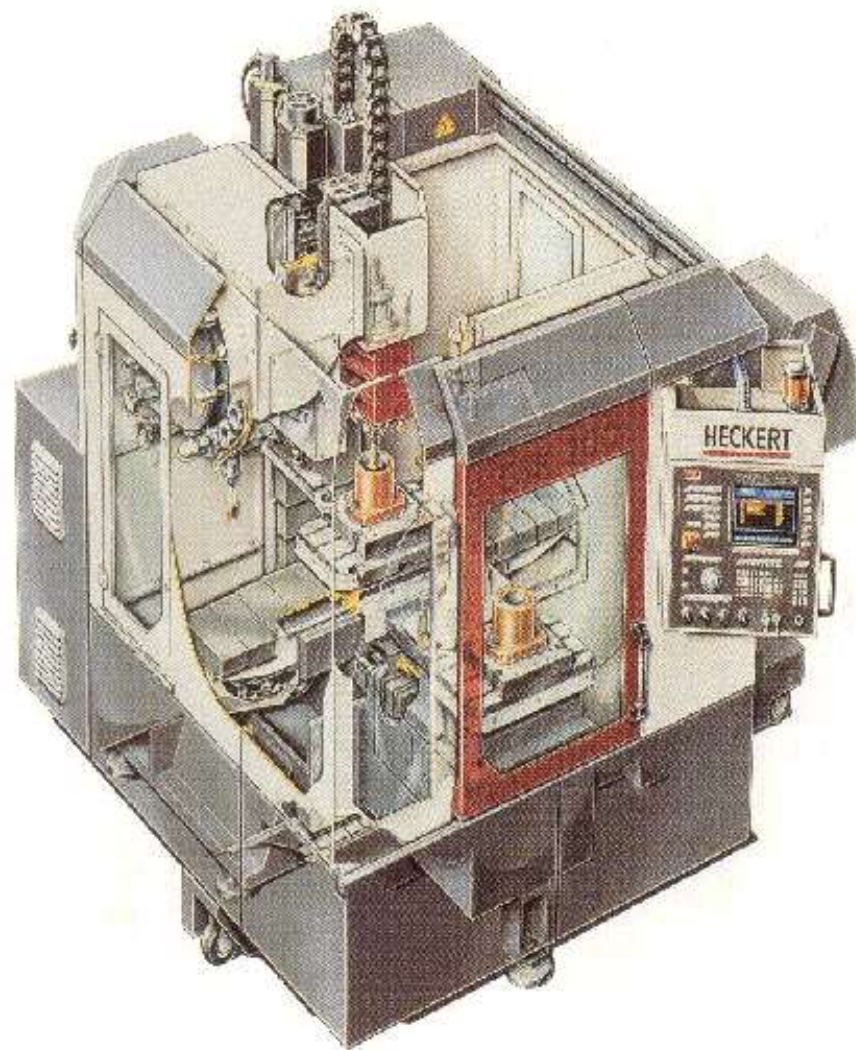


X, Y, Z, B, C

3. 数控加工中心

(1) 加工中心的特征

- 至少有三个轴可以进行位置和进给控制
- CNC控制器
- 自动换到能力
- 托盘交换器
- 自动工件定位

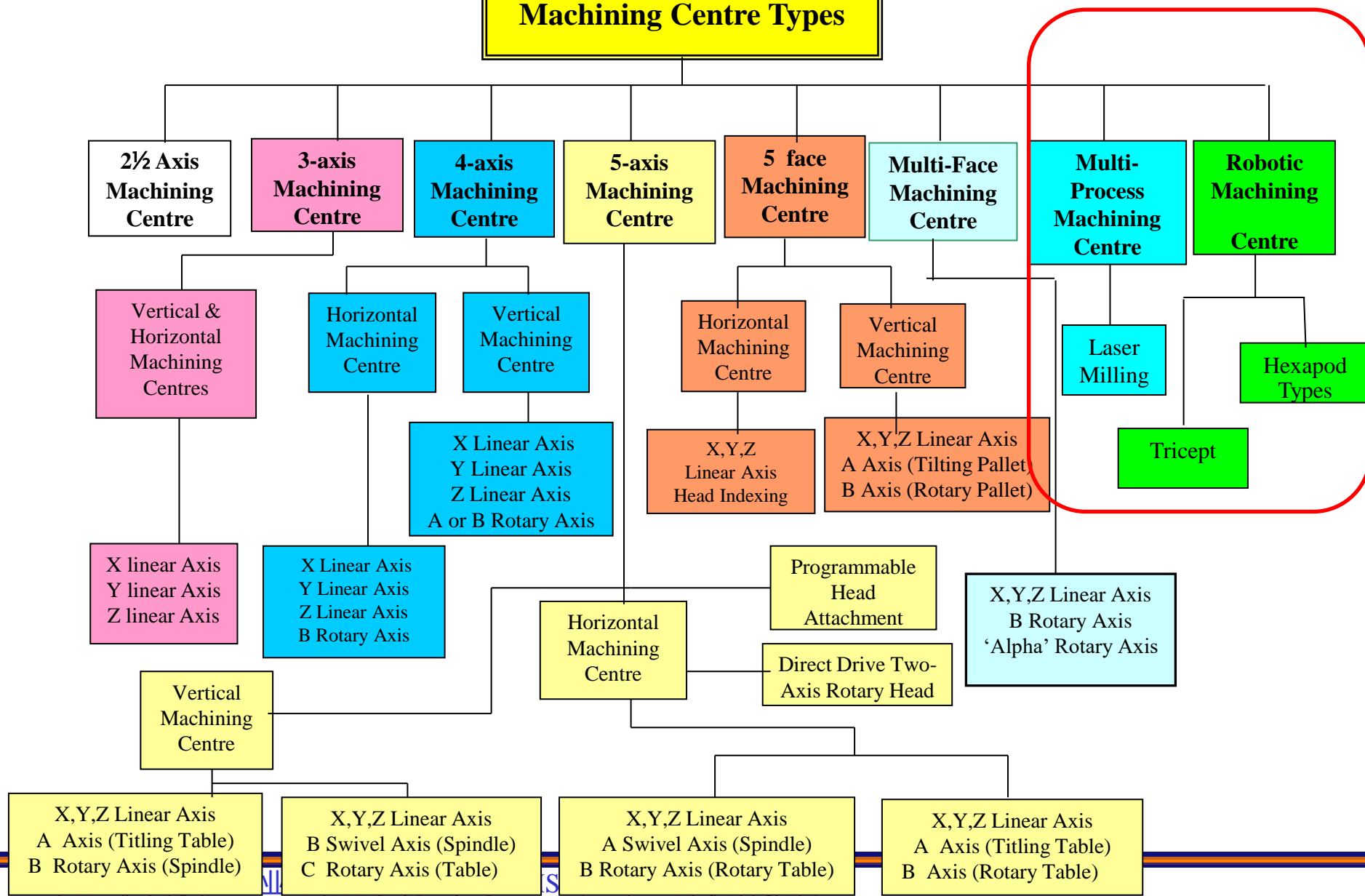


(2) 加工中心的分类

如下图，有各种结构配置形式

加工中心分类

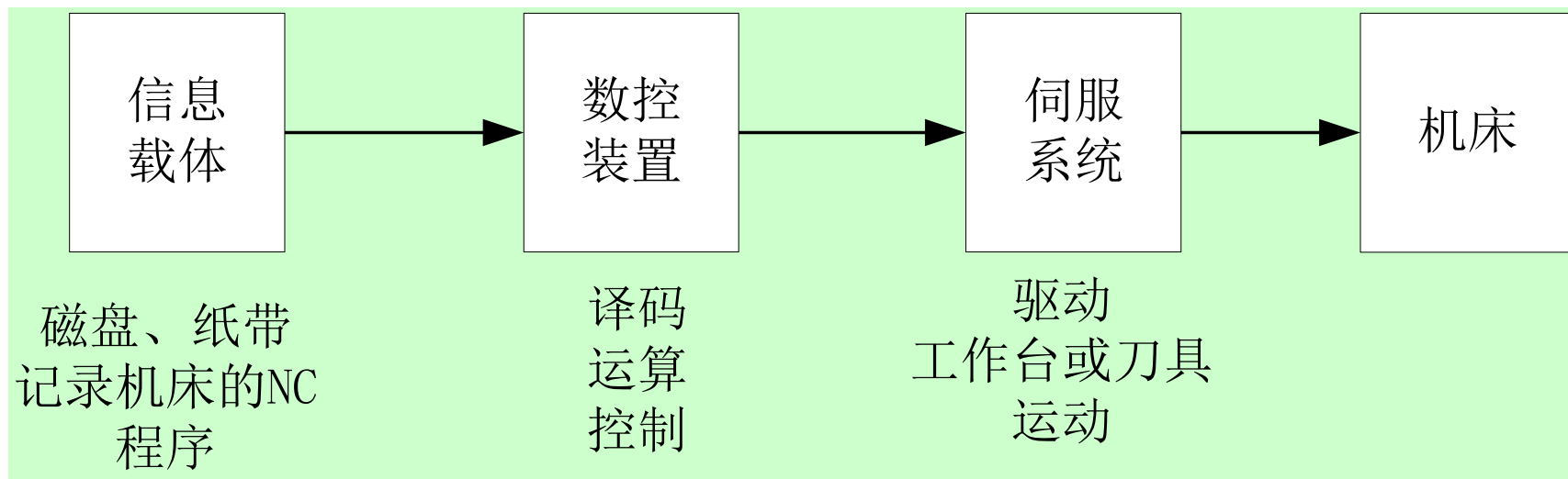
Machining Centre Types



机床数控系统的组成

二、机床数控系统的组成与分类

1. 组成



信息载体： 磁盘 、U盘（80年代以前主要为纸带），记录零件加工程序的所有信息。

简单的加工程序，可通过NC装置的控制面板直接输入(即MDI, Manual Data Input, 手工数据输入)；

复杂的加工程序，需要借助**CAM**编程软件并通过规范的流程和方法来得到。

本课程的重点是，**如何编制或产生零件加工的数控程序并保证正确无误？**

数控装置

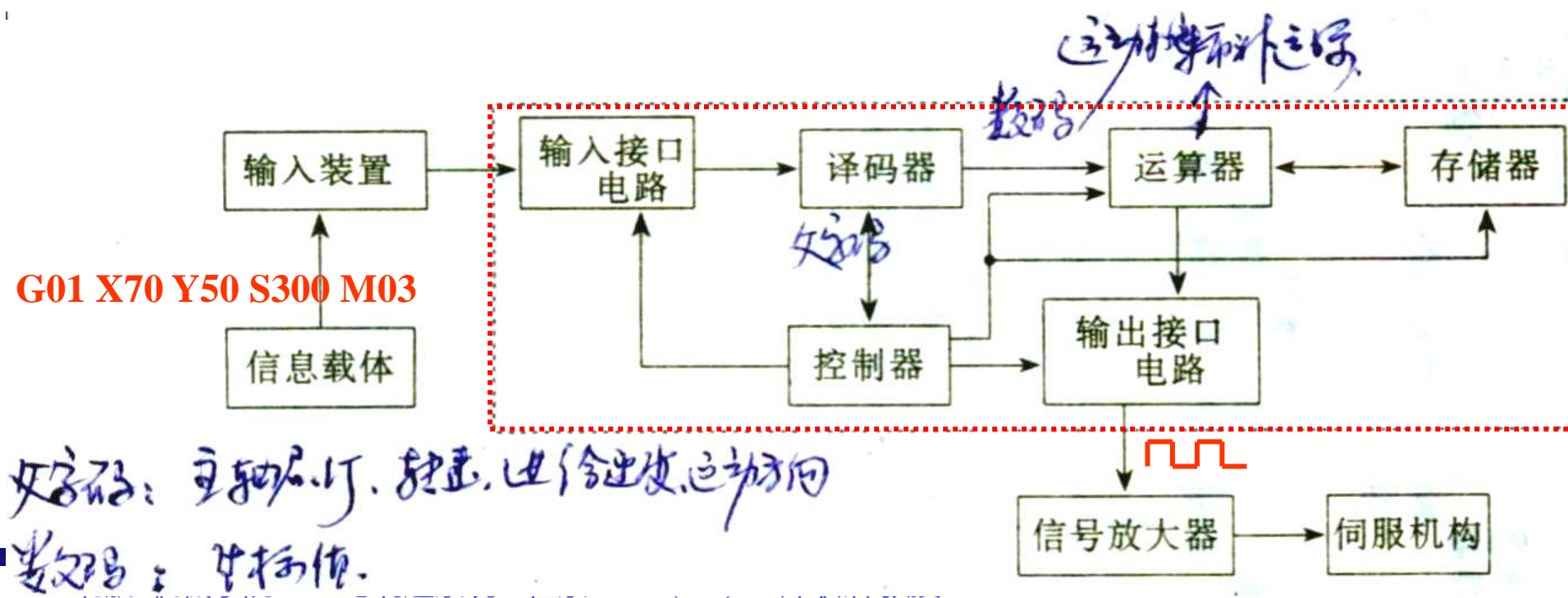
早期的NC装置： 专用计算机（控制机） + 控制软件

目前的NC装置： 通用计算机 + 接口电路 + 控制软件 （计算机数控， CNC）

□ 功能

对输入信息（加工程序）进行译码，完成运动轨迹的插补计算，并以脉冲信号的形式将 控制指令送出（至伺服系统）。

□ 结构与工作原理





伺服系统

(3) 伺服系统

功能：直接带动机床工作台或刀具完成精确定位和轮廓加工。

组成： [\(示意图\)](#)

- 信号处理器 (比较、转换、放大)
- 伺服电机
- 传动丝杠
- 位置检测装置(直线位移、角度位移)

几个概念：

脉冲当量：

NC装置发出一个脉冲信号，反映到机床移动部件上的位移量。

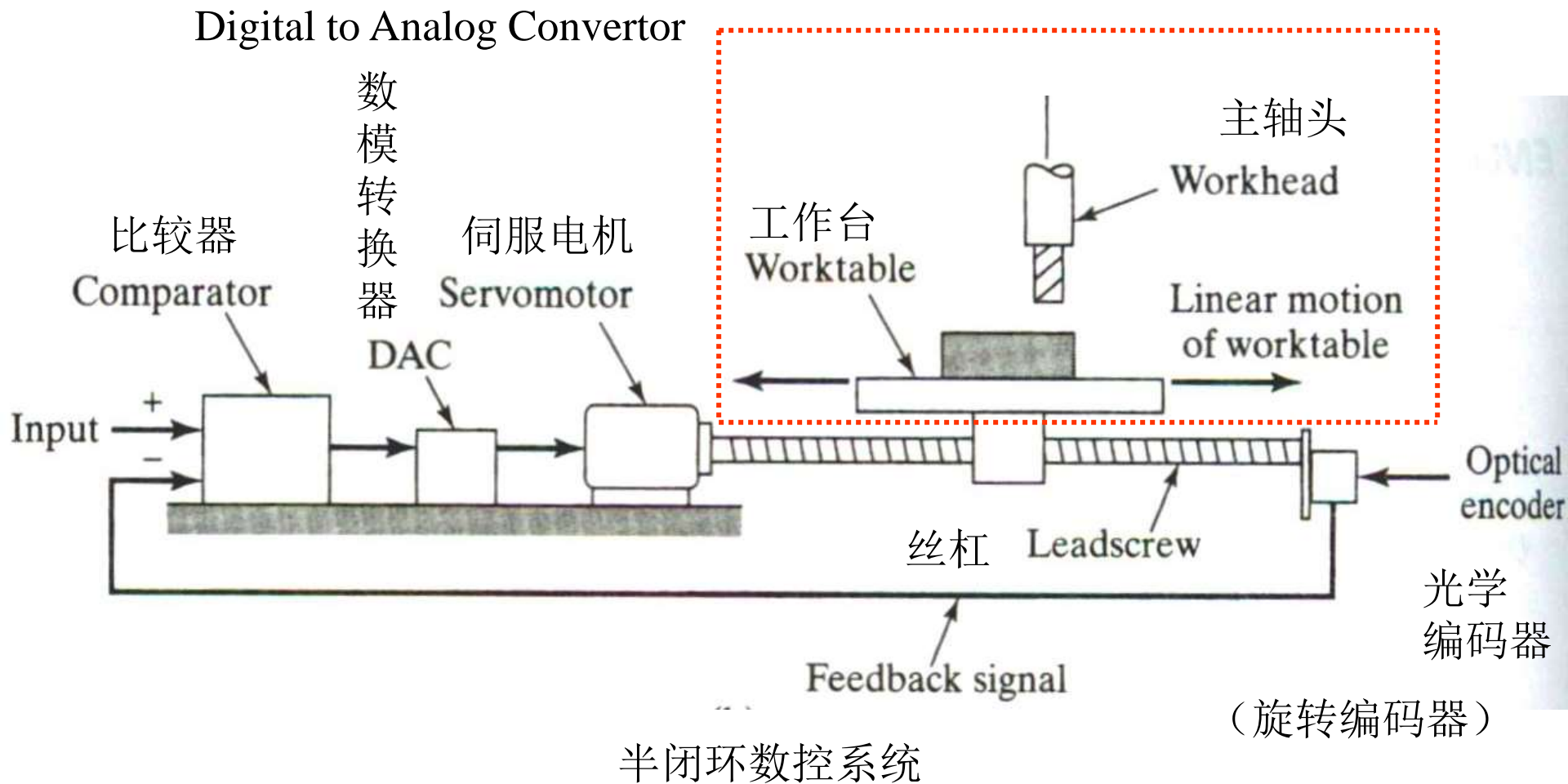
如： 0.01mm/脉冲。 15mm→1500脉冲。

一台机床、其脉冲当量为定值。

脉冲数量 ==> 工作台移动/转动的大小（位移大小）

脉冲频率 ==> 工作台移动/转动的速度

伺服系统的组成



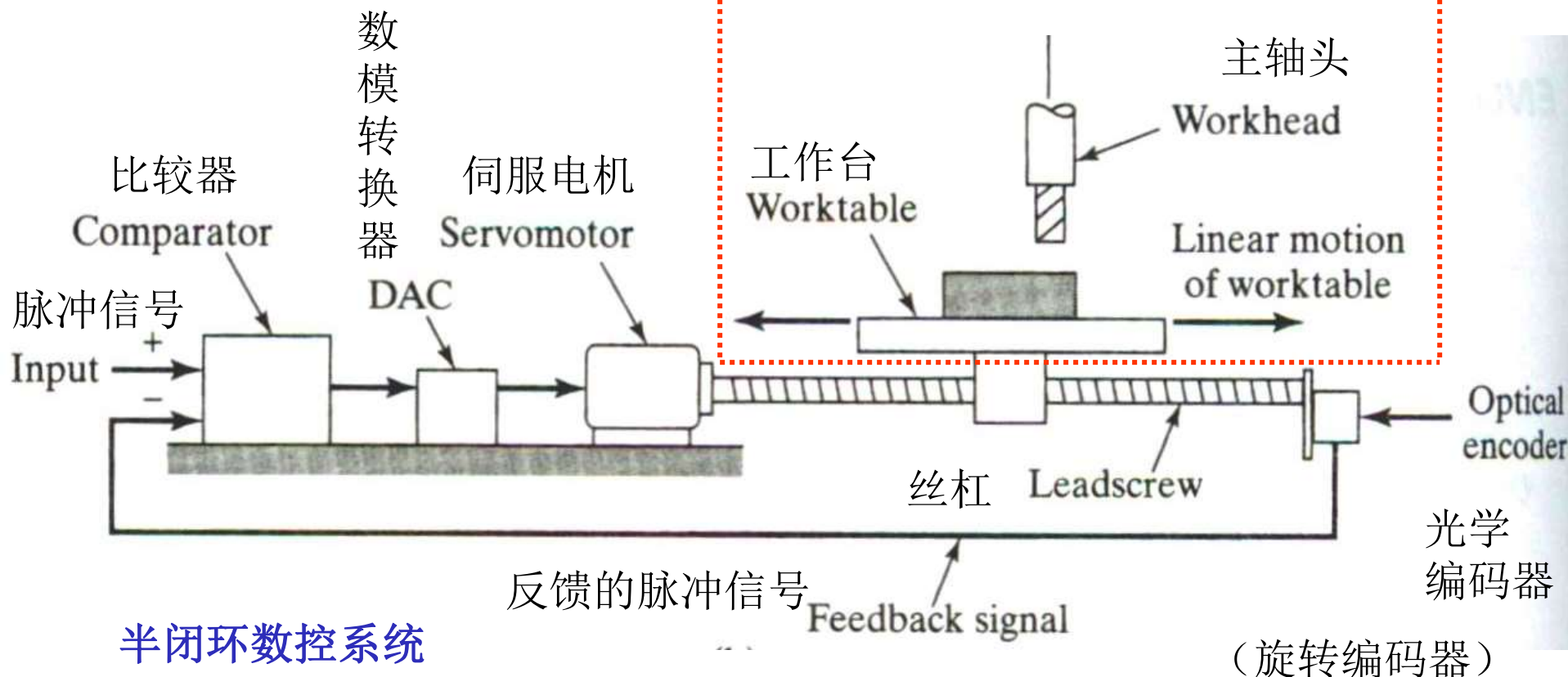
数控系统的分类

2. 分类

(1) 按伺服系统的原理分为：

- 开环系统（无位置检测装置）
- 闭环系统（位置检测装置在工作台上）
- 半闭环系统（位置检测装置在丝杠上）

Digital to Analog Converter

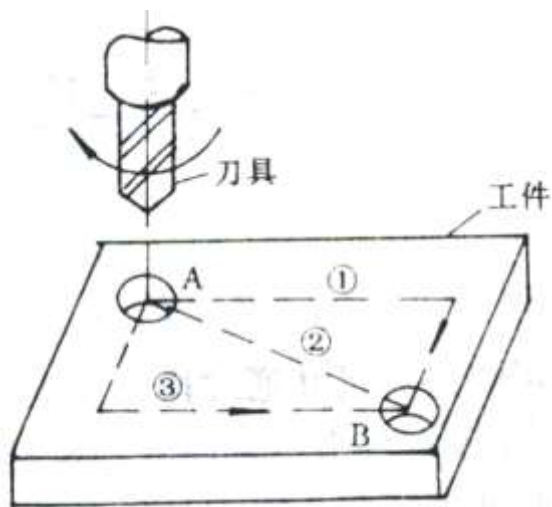


数控系统的分类

2. 分类

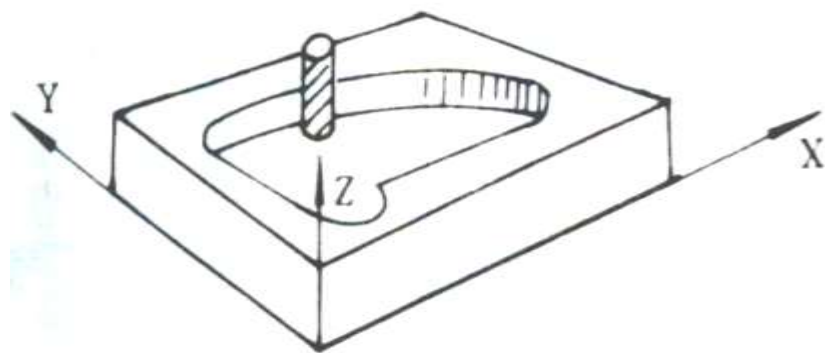
(2) 按刀具进给运动轨迹分为：

- 点位控制 (钻、冲、镗床)
- 轮廓控制 (车、铣)



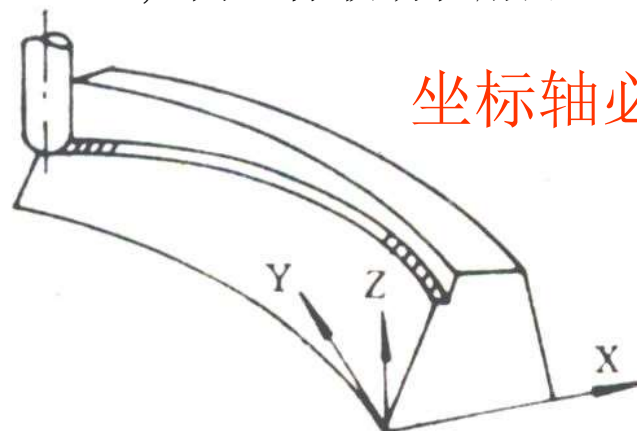
点位控制加工

坐标轴可以不联动



X,Y两坐标联动轮廓加工

坐标轴必须联动



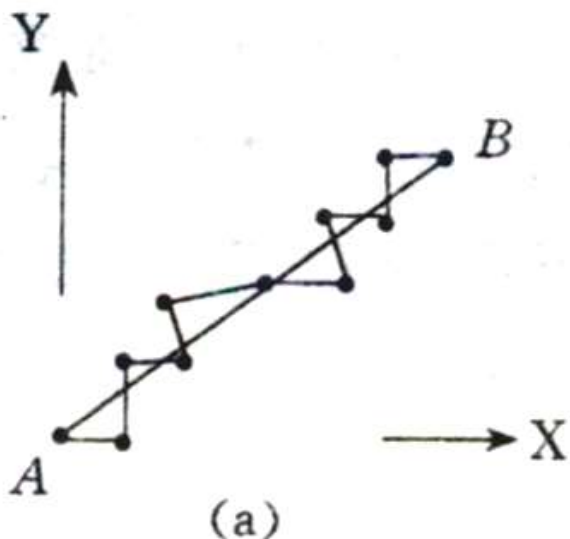
X,Y,Z三坐标联动轮廓加工

轮廓控制中的重要概念——插补

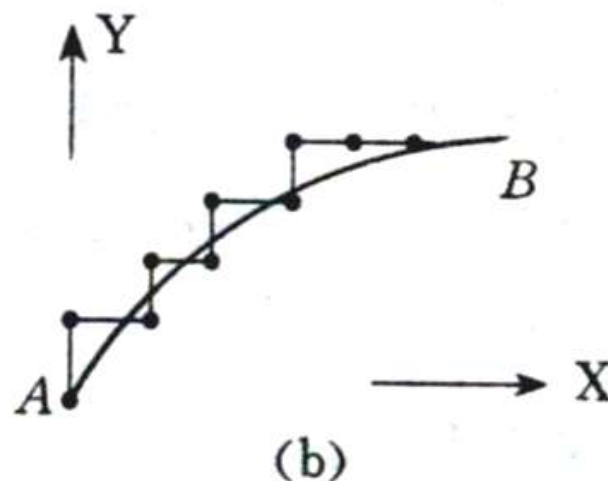
(1) 插补 (Interpolation)

根据轮廓形状，计算出插补点、并相应向各个坐标轴有规律地分配脉冲，得到所需轨迹的过程。（密化）

直线插补



圆弧插补



插补运算： 计算插补点的过程。

早期由硬件实现，称为插补器，在NC装置中。

现在由软件实现，成为插补程序，在计算机中。

插补方法： 逐点比较法、数字积分法

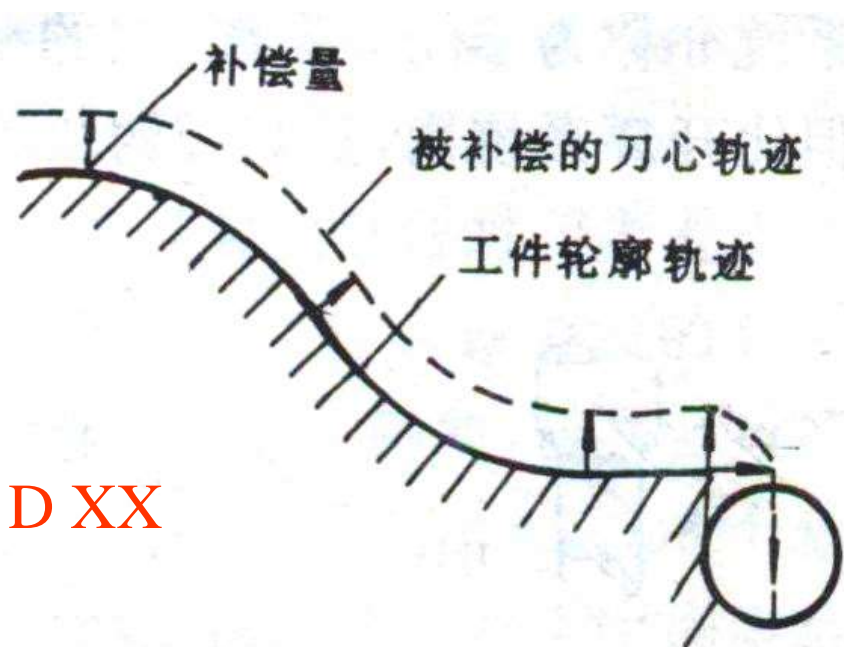
轮廓控制中的重要概念——刀补

(2) 刀具补偿 (Cutter Compensation)

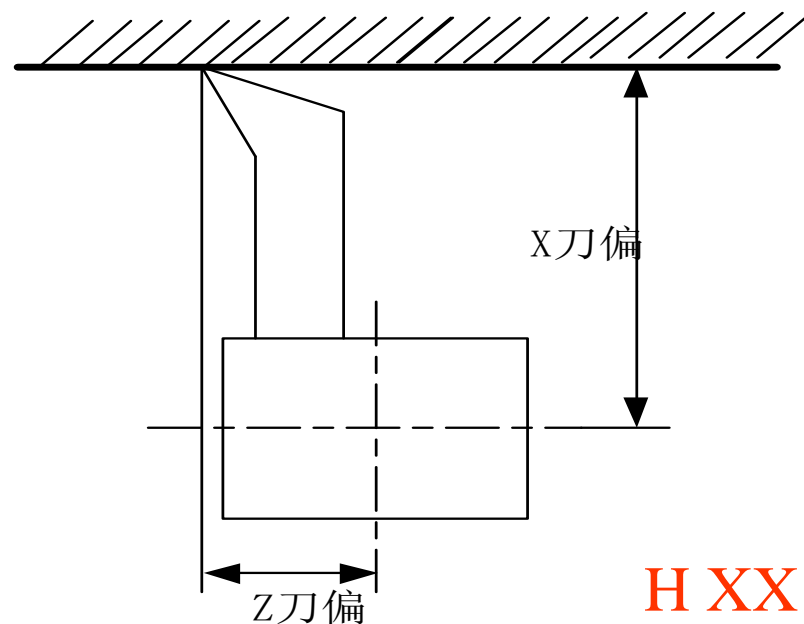
数控程序是控制刀具的刀心或刀尖的运动轨迹。

刀具补偿既可以降低对刀具制造和安装的要求，又可以简化程序编制。

半径补偿 (铣)



长度补偿 (车、钻)





第六章 数控加工编程技术

6-1 数控机床与机床数控系统 （基础）

6-2 数控加工编程与仿真 （方法）

- ❑ 手工编程
- ❑ 图形交互自动编程 （演示）
- ❑ 数控加工仿真 （演示）

6-3 数控加工编程与仿真软件 （软件）

6-2 数控加工编程与仿真

一、数控编程的基本概念

1. 什么是数控编程？

- 普通机床上加工零件：由工人根据**工艺规程**的内容手工完成
- 数控机床上加工零件：由NC机床根据**NC程序**自动完成加工动作，
工人只装卸工件、操纵控制面板/台、监督等工作。

(1) **NC程序**：按照一定程序格式记录的加工顺序、工艺参数、位移参数等信息。

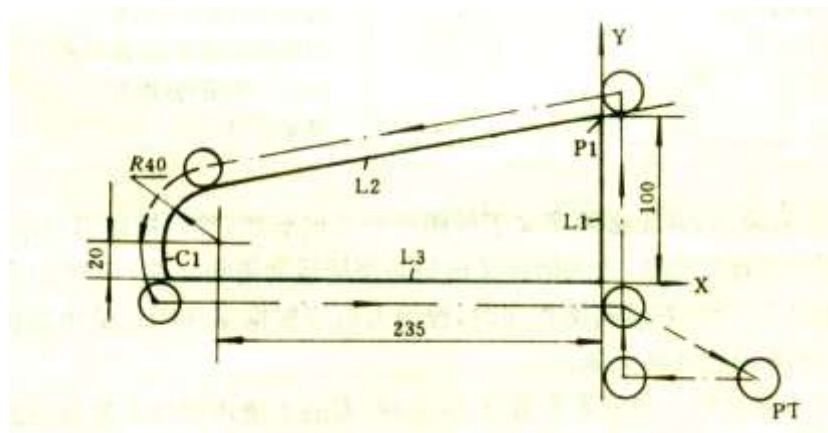
(2) **NC编程**：从分析零件图纸（模型） \Rightarrow 得到 NC程序的全过程。

(3) **NC编程的方式（方法）**：

手工编程

数控语言自动编程

图形交互自动编程





NC程序格式（字地址格式）

2. NC程序格式（字地址格式）

程序格式：信息代码的含义及其安排顺序的规定。

- （一个零件的）NC程序由若干**程序段**组成，
- 每个程序段由若干**字**组成，
- 每个字由一个**字母**及一个**数**组成。

例：某车削程序

N01 G01 X1000 Z1500 F0150 S300 T12 M03;

N02 X200 Z300;

二个程序段，第一段9个字，第二段4个字。

每个字以字母开头，称为字地址。

字母+数字合成一个特定含义的字。

各个字又按一定顺序排列。



数控程序中字的含义

- (1) **N** —— 程序段号。 **Nxxx, N?.**
- (2) **G** —— 准备功能字。 **Gxx**, 含义见表6-3.
- (3) **X,Y,Z** —— 刀具运动坐标字(距离位移)。
I,J, K —— 刀具运动坐标字（角度位移）。
- (4) **F,S,T** —— 工艺性指令字
- (5) **M** —— 辅助功能字。 **Mxx**, 含义见表6-4.
- (6) **;** —— 程序段结束字。

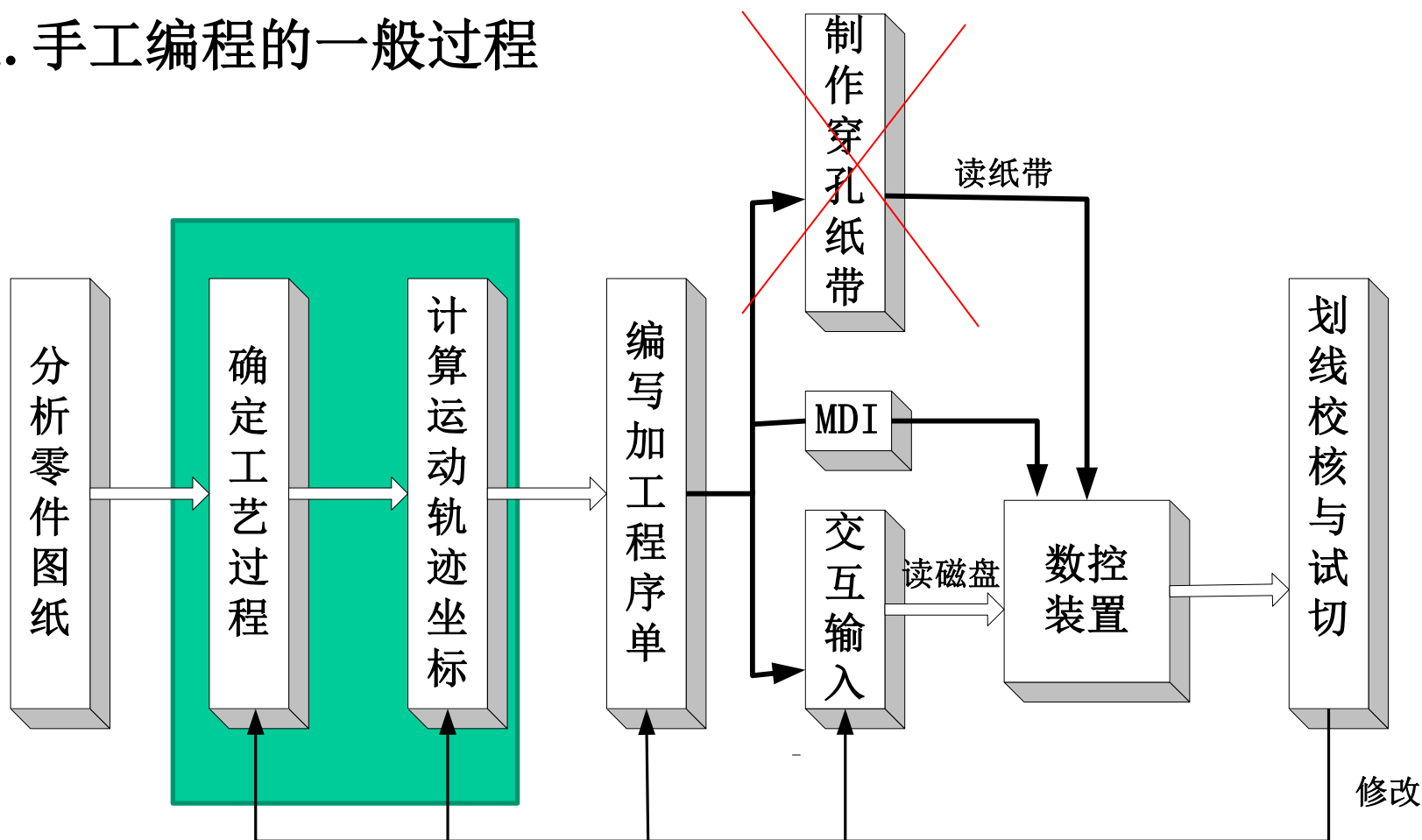
M 代码及其功能

代码	功能	代码	功能
M00	程序停止	M06	换刀
M01	选择停止	M07、M08	切削液打开
M02	程序结束	M09	切削液停止
M03	主轴正转启动	M30	程序结束
M04	主轴反转启动	M98	调用子程序
M05	主轴停止转动	M99	子程序结束

手工编程过程

二、手工编程方法及过程

1. 手工编程的一般过程

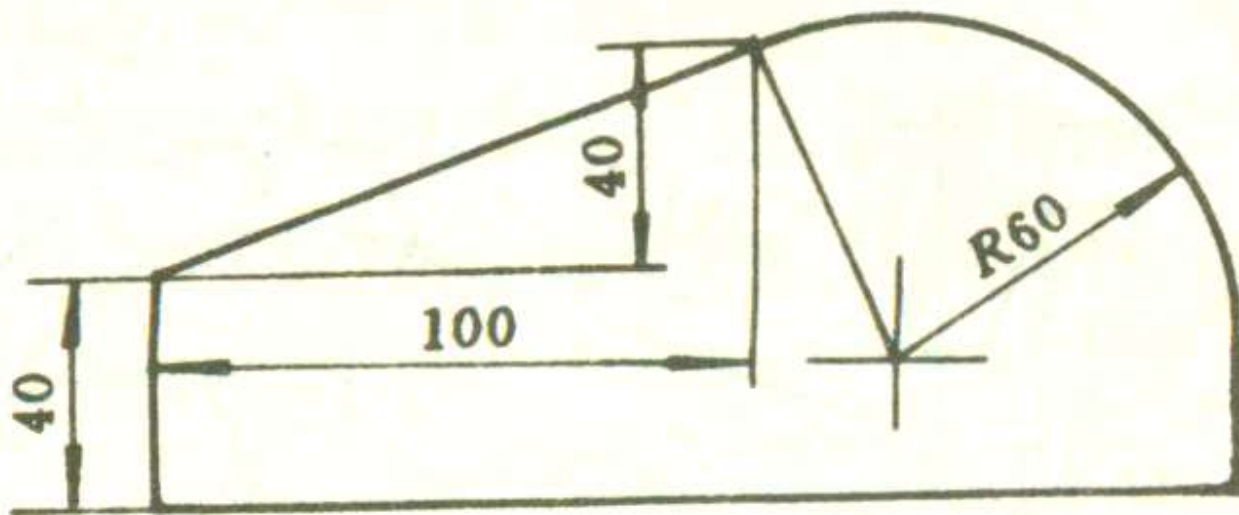


手工编程的实例—零件图

2. 手工编程举例

(1) 零件图。材料：**钢**；厚度 $<15\text{mm}$

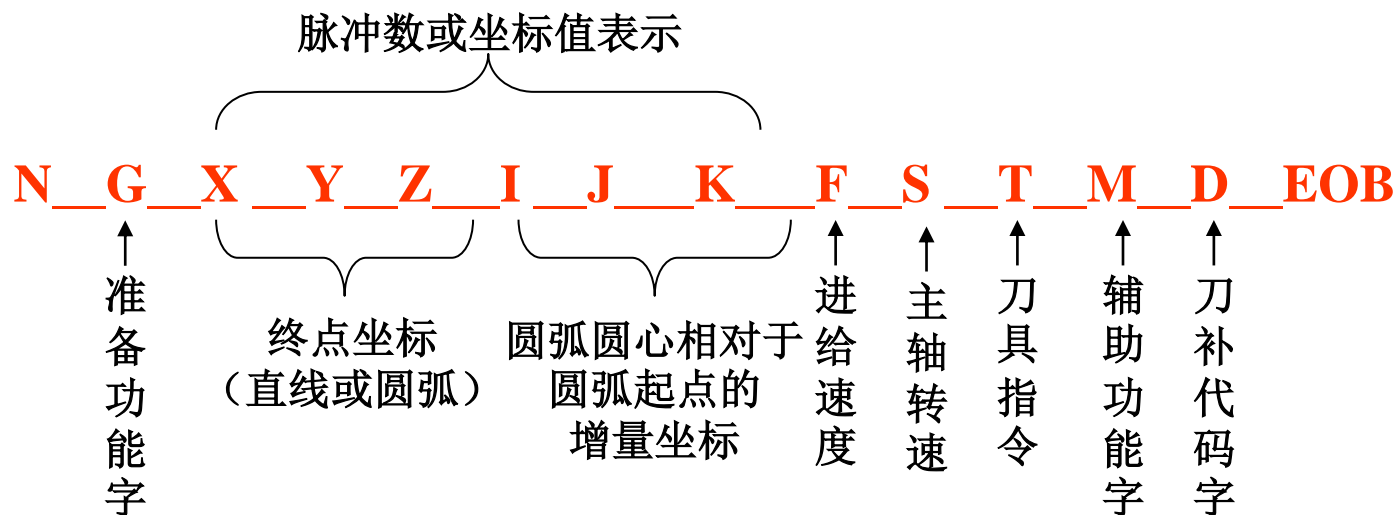
(2) 按FANUC-6M数控系统编程



如何确定工艺过程（装夹方法、工件坐标系、走刀路线、工艺参数）？
如何计算运动轨迹坐标—轮廓上哪些坐标未知？

FANUC-6M数控系统的程序编制说明（1）

- 适用范围：3坐标（可扩到4、5坐标）NC铣床或加工中心
- 插补功能：直线、圆弧（能跨象限）
- 刀补功能：半径、长度补偿
- 编程坐标：绝对或相对坐标系（由G90/G91设定）
- 脉冲当量：0.001mm/脉冲，即1 μ /脉冲
- 编码指令：ISO规定的编码指令（G、M等）
- 程序格式：





FANUC-6M数控系统的程序编制说明（2）

■ 准备功能字（G指令）：分五组

（1）坐标系设定：

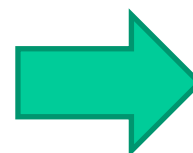
G92——对刀点相对于工件坐标系原点的位置

G54, G55, G56, G57, G58, G59——工件坐标系相对于机床坐标系原点的位置
相当于坐标变换，简化编程。

（2）绝对/相对坐标编程：

G90——绝对坐标

G91——相对坐标



（3）定位/插补：

G00——定位，刀具快速移动到某点（点位控制）

G01——直线插补

G02——顺圆插补

G03——逆圆插补

（4）坐标平面设定：

G17——XY平面

G18——ZX平面

G19——YZ平面



FANUC-6M数控系统的程序编制说明（3）

（5）刀补设定：

G41——左偏

G42——右偏

G40——取消刀补

与刀补代码D配合使用，**DXX**（补偿号，00—32），D00表示补偿值为零，D01表示补偿值放在01号寄存器中，其它同理。可以MDI方式输入数控系统。

G指令组的一般顺序：

G92
G54

G90
G91

G00
G01
G02
G03

G17
G18
G19

G40
G41
G42

注意：

- (1)一个程序段内可同时使用多组G指令，但每组内只能取其一，不能同时用。
- (2)G指令都是模态的，即后续程序段继续有效。

■ 辅助功能字（M指令）：

（1）程序结束： M02， M30（纸带终止）

（2）主轴控制： M03—正转， M04—反转， M05—停转

（3）冷却液控制： M08—开， M09—关

装夹加工三个相同零件的多程序原点的例子

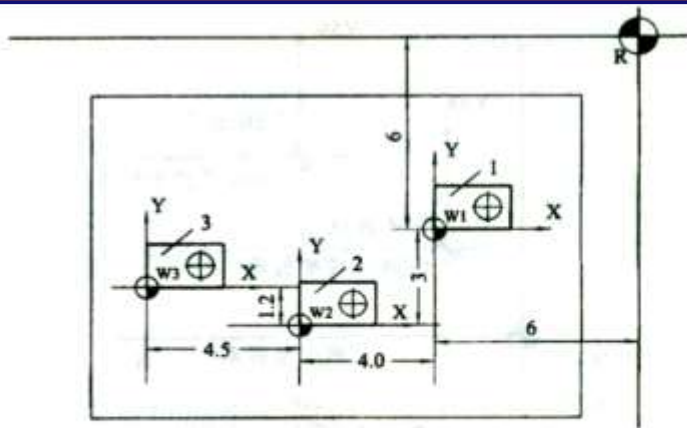


图 3.9 机床参考点向多程序原点的偏移

采用 G54~G59 实现原点偏移的有关指令为：

首先设置 G54~G56 原点偏置寄存器

对于零件 1: G54 X-6.0 Y-6.0 Z0

对于零件 2: G55 X-10.0 Y-9.0 Z0

对于零件 3: G56 X-14.5 Y-7.8 Z0

然后调用

N01 G90 G54;

...

加工第一个零件

N07 G55;

...

加工第二个零件

N10 G56;

...

加工第三个零件

机床坐标系和工件坐标系(G54-G59)



图 3.7 工件坐标系与机床坐标系

执行 N01 句时，系统会选定 G54 坐标系作为当前工件坐标系，然后再执行 G00 移动到该坐标中的 A 点（见图 3.8），执行 N02 句时，系统又会选择 G59 坐标系作为当前工件坐标系，执行 N03 句时，机床就会移动到刚指定的 G59 坐标系中的 B 点（见图 3.8）。

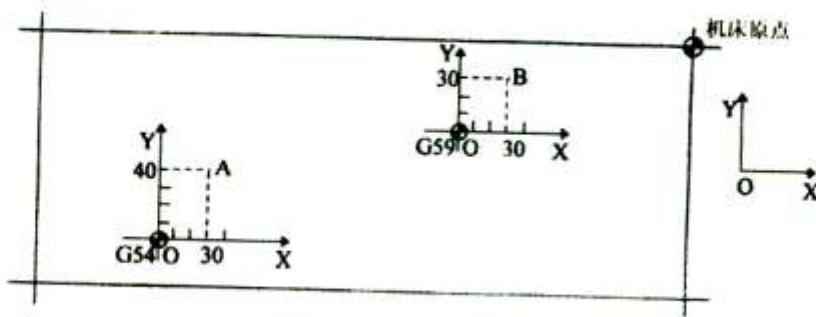


图 3.8 工件坐标系的使用

```
N01 G54 G00 G90 X30 Y40
N02 G59
N03 G00 X30 Y30
```

绝对坐标与相对坐标编程

如图 3.28(b)所示三个孔的加工，采用增量坐标编程的有关指令为：

G90 G00 X15. Y15. ;

...

G91 G00 X20. Y15. ;

...

G91 G00 X20. Y15. ;

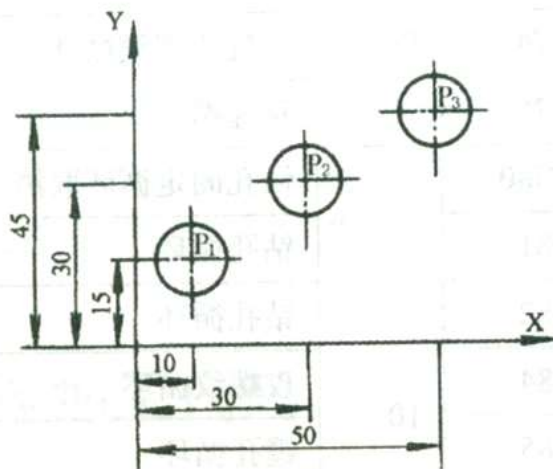
...

绝对坐标编程，快速定位到 P_1 点
加工第一个孔

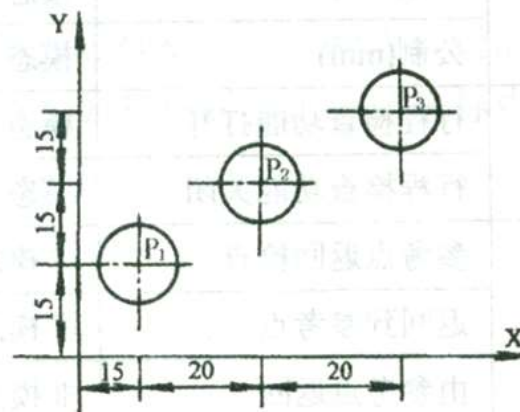
增量坐标编程，快速定位到 P_2 点
加工第二个孔

增量坐标编程，快速定位到 P_3 点
加工第三个孔

应注意：第一个孔的加工应该采用绝对坐标编程。



(a) 绝对坐标编程



(b) 相对坐标编程

图 3.28 绝对坐标及相对坐标编程



手工编程的实例——确定工艺过程

步骤一：工艺分析，确定工艺过程

装夹方法：“一面两孔”定位夹紧。

工件坐标系：XOY；

工件编程原点：A

对刀点、停刀点：O

走刀路线：顺时针， $o—a—b—d—e—f—a_1—o$

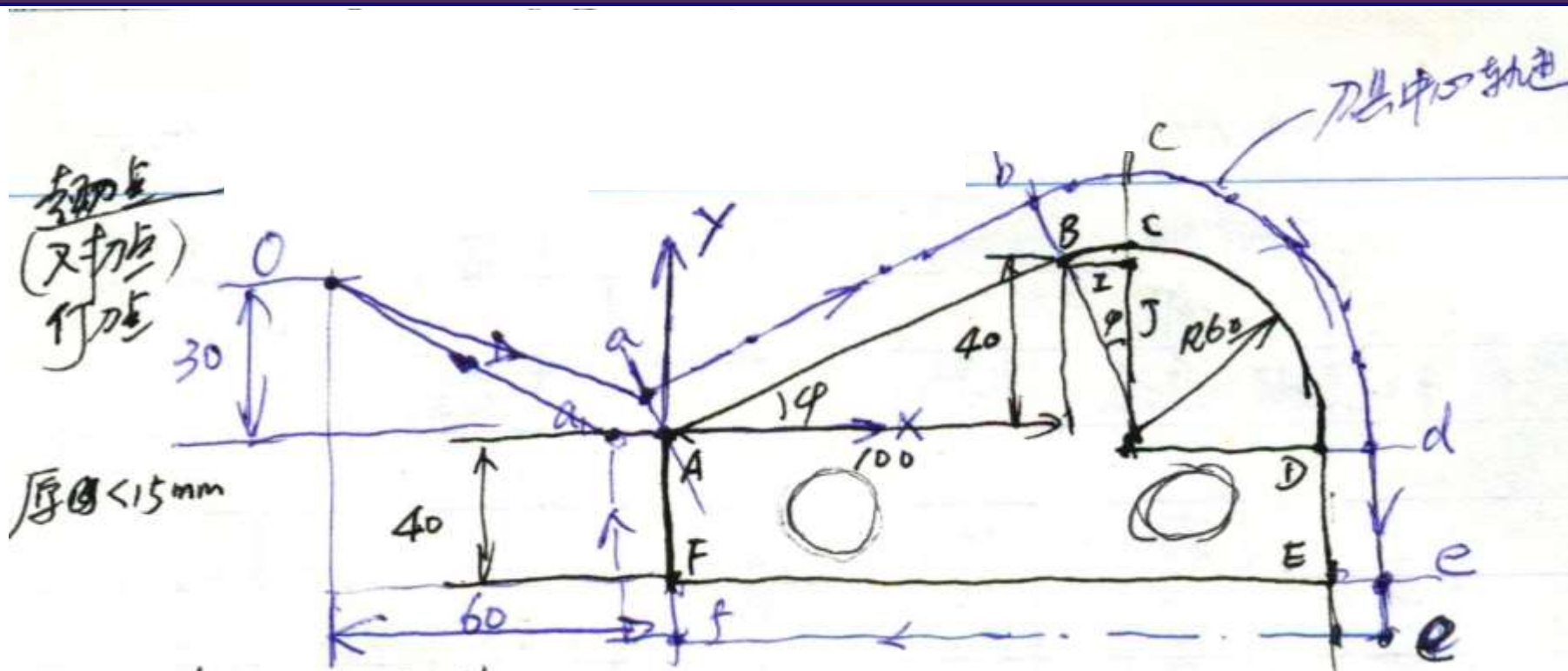
工艺参数：

$\Phi 20$ 圆柱铣刀，刀补 $R=10$

主轴转速 $n=450\text{r/min}$

进给速度 $f=50\text{mm/min}$

手工编程的实例—走刀路线示意图



步骤二：计算运动轨迹坐标

A (0, 0) , B (100, 40) ; $\varphi = \arctg(40/100) = 21.8^\circ$

$I = R \cdot \sin \varphi = 60 \cdot \sin 21.8^\circ = 22.283$, $J = R \cdot \cos \varphi = 55.709$

$X_C = X_B + I = 122.283$, $Y_C = Y_B + (R - J) = 44.291$;

$X_D = X_C + R = 182.283$, $Y_D = Y_C - R = -15.291$; $X_E = X_D$, $Y_E = -40$



手工编程的实例——计算运动轨迹坐标

步骤二：计算运动轨迹坐标

$$A (0, 0) , B (100, 40)$$

$$\varphi = \arctg(40/100) = 21.8^\circ$$

$$I = R \cdot \sin \varphi = 60 \cdot \sin 21.8^\circ = 22.283$$

$$J = R \cdot \cos \varphi = 60 \cdot \cos 21.8^\circ = 55.709$$

$$X_C = X_B + I = 100 + 22.283 = 122.283$$

$$Y_C = Y_B + (R - J) = 44.291$$

$$X_D = X_C + R = 182.283$$

$$Y_D = Y_C - R = -15.291$$

$$X_E = X_D$$

$$Y_E = -40$$

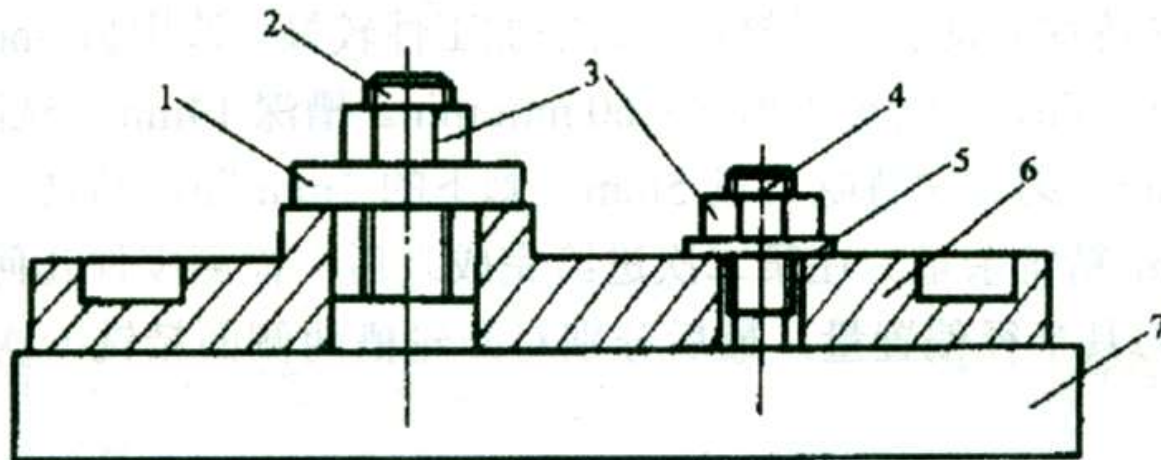


手工编程的实例——编写程序单

步骤三：编写数控程序单

N	G	X Y Z	I J K(R)	F S M T	;	备注
N1	G92	X-60 Y30 Z0		S 450 M03	;	坐标系, 主轴正转
N2	G90G00	Z-20		M08	;	下刀, 开冷却液
N3	G01G41	X0 Y0		F50 D01	;	a, 切入, 刀具左偏
N4		X100 Y40			;	b
N5	G02	X182.283 Y-15.279	I 22.283 J-55.709		;	d
N6	G01	Y-40			;	e
N7		X0			;	f
N8		Y0			;	a ₁
N9	G00 G40	X-60 Y30		M05	;	回退刀点,取消刀补; 主轴停转
N10		Z0		M09	;	抬刀,关冷却液
N11				M02	;	程序终止

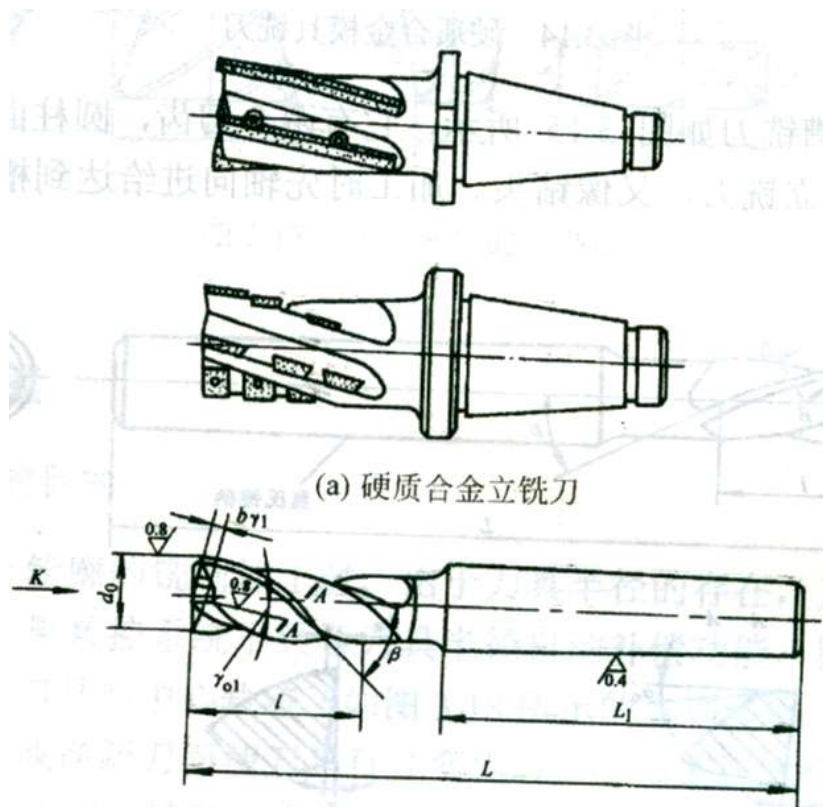
平面轮廓零件的装夹



- 1——开口垫圈 2——带螺纹圆柱销 3——压紧螺母
4——带螺纹削边销 5——垫块 6——工件 7——垫块

“一面两孔”定位方法 ==> “一面两销”夹具

铣刀-立铣刀



高速钢立铣刀

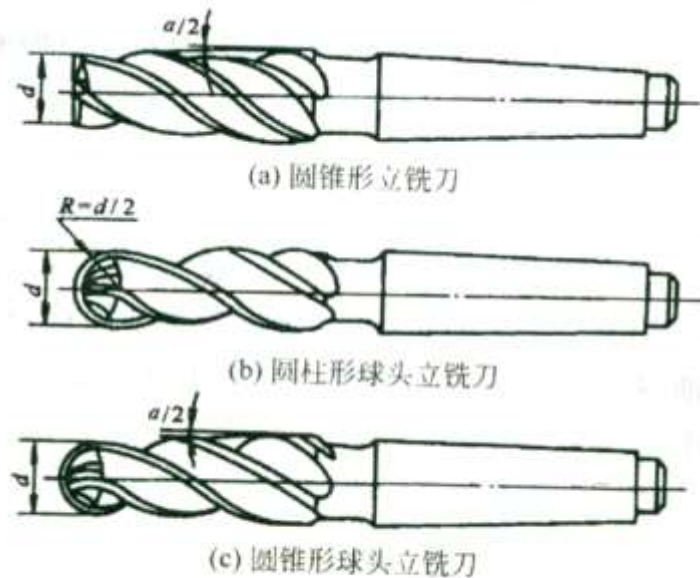


图 3.13 高速钢模具铣刀

工艺参数选择

表 2.2 切削用量的选取（高速钢立铣刀、粗铣）

工件材料		铸铁		铝		钢	
刀具直径 (mm)	刀槽数	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)
		切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)	切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)	切削速度 (m/min)	每齿进给量 (mm/齿)
8	2	1100	115	5000	500	1000	100
		28	0.05	126	0.05	25	0.05
10	2	900	110	4100	490	820	82
		28	0.06	129	0.06	26	0.05
12	2	770	105	3450	470	690	84
		29	0.07	130	0.07	26	0.06
14	2	660	100	3000	440	600	80
		29	0.07	132	0.07	26	0.07
16	2	600	94	2650	420	530	76
		30	0.08	133	0.08	27	0.07



手工编程作业

1. 已知零件的程序如下所示，零件厚度10mm，精铣其轮廓。采用 $\phi 10\text{mm}$ 的立式铣刀。请根据已有的语句：（1）用实线画出零件轮廓并标明各交、切点的坐标；（2）用虚线画出刀具中心轨迹图并标明刀具运行的方向；（3）用箭头和文字说明刀具偏移方向和距离。

- %
- N001 G90 G00 G54 X-20.0 Y0 Z100.0 ;
- N002 S1000 M03 ;
- N003 G43 Z-10.0 H01 ;
- N004 G01 G41 X0 Y0 D02 F300.0 ;
- N005 G01 X0 Y15.0 ;
- N006 G02 X10.0 Y25.0 R10.0 ;
- N007 G01 X58.775 ;
- N008 G02 X58.775 Y-25.0 R-40.0 ;
- N009 G01 X10.0 ;
- N010 G02 X0 Y-15.0 I0 J10.0 ;
- N011 G01 X0 Y0 ;
- N012 G01 G40 X-20.0 Y0 ;
- N013 G00 Z100.0 M05 ;
- N014 M30 ;
- %



6-2 数控加工编程与仿真

三、图形交互自动数控编程 (CAD/CAM编程)

Computer-Assisted Manufacturing (CAM)

手工编程方法的局限：

- ❑ 要用人工方法对零件的几何信息进行必要的数学处理，用手工方法编写加工程序，制备数控介质，因而编程速度慢，精度低，对所编程序的检查也很困难；
- ❑ 特别对某些形状复杂零件的编程，如曲面零件的3轴联动、五轴联动加工编程，用手工编程非常困难甚至无法解决。

1.什么是图形交互自动数控编程？

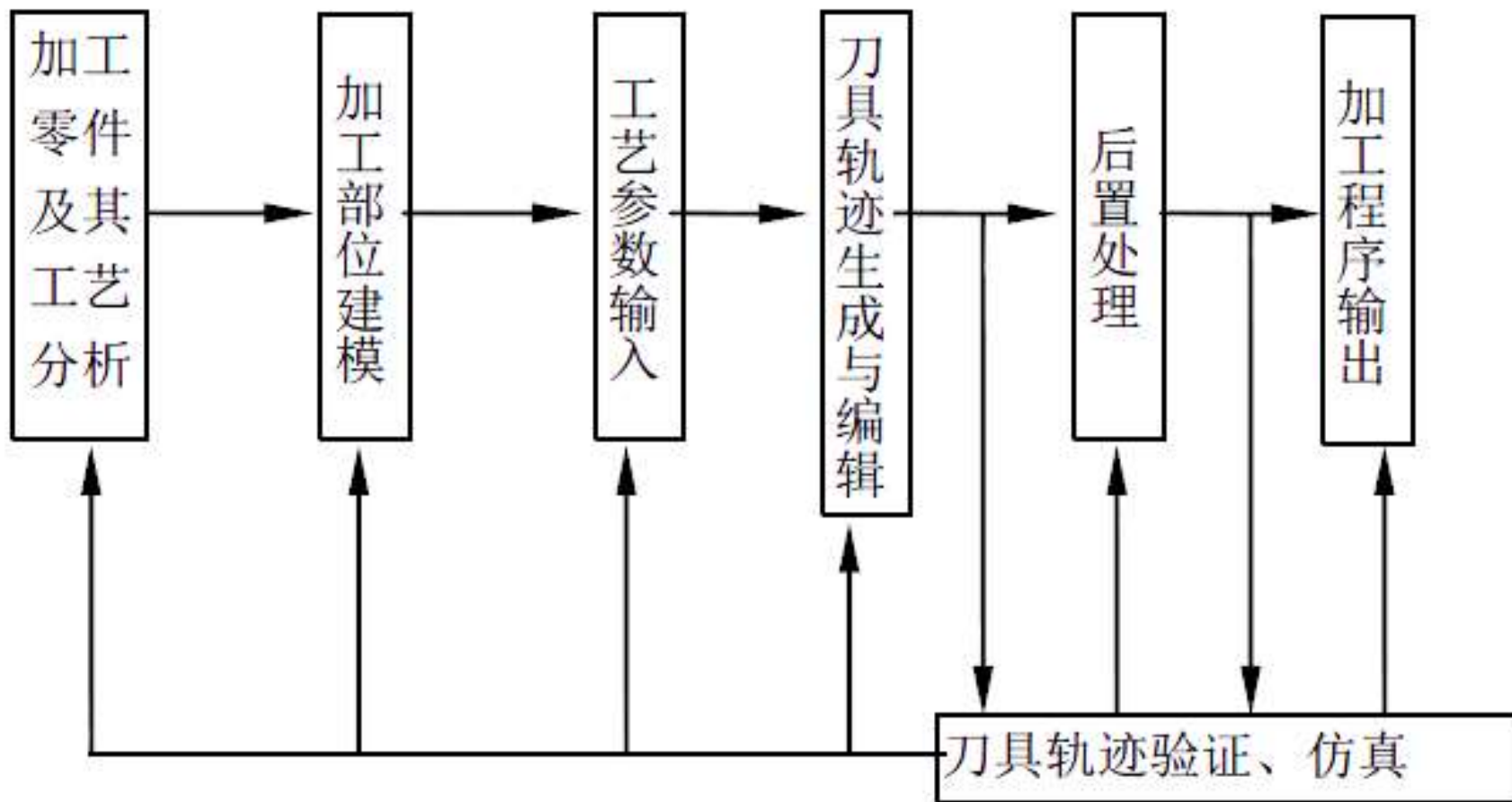
是一种可以直接将零件的几何图形信息自动转化为数控加工程序的计算机辅助编程技术。

它建立在CAD/CAM的基础上，具有自动化程度高、速度快、直观性好、使用方便、便于检查等优点。

它是目前国内先进的CAD/CAM软件所普遍采用的数控编程方法。

三、图形交互自动编程

2.图形交互自动数控编程的基本过程





图形交互自动编程的七大步骤

(1) 零件图纸及加工工艺分析

1) 核准零件的几何尺寸、公差和精度要求；2) 确定零件相对机床坐标系的装夹位置以及被加工部位所处的坐标平面；3) 选择刀具并准确测定刀具有关尺寸；4) 确定工件坐标系、编程零点、找正基准面及对刀点；5) 确定加工路线（工步顺序）；6) 选择合理的工艺参数

(2) 几何造型即加工部位（或整个零件）的建模

利用CAM系统提供的图形生成和编辑功能将零件的被加工部位绘制在计算机屏幕上，建立三维的加工模型，作为自动生成刀具轨迹的依据。

(3) 指定加工方式并输入工艺参数

加工方式（方法）： 钻铰孔/平面铣削/轮廓铣/腔槽铣/曲面铣等加工方式；

工艺参数： 刀具类型、尺寸与材料；切削用量（主轴转速、进给速度、切削深度、加工余量）；毛坯信息（尺寸、材料等）；其它信息（安全平面、线性逼近误差、刀具轨迹间的残留高度、进退刀方式、走刀方式、冷却方式等）



图形交互自动编程的七大步骤

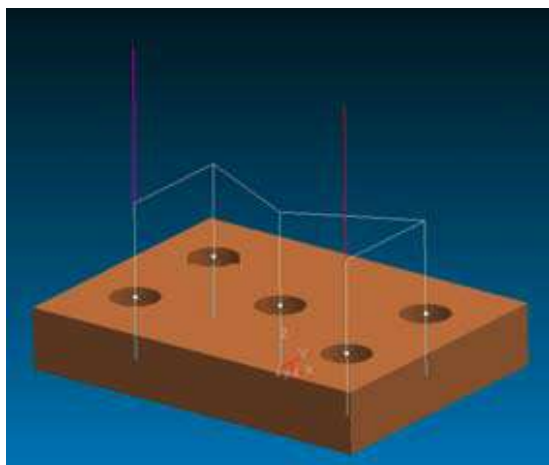
(4) 刀位轨迹计算、生成与编辑

- 自动从图形/模型中提取编程所需的信息，进行分析判断，计算出节点数据，并将其转换成**刀位数据**；
- 存入指定的**刀位数据文件**中或直接进行后置处理生成数控加工程序，同时显示出刀位轨迹图形。

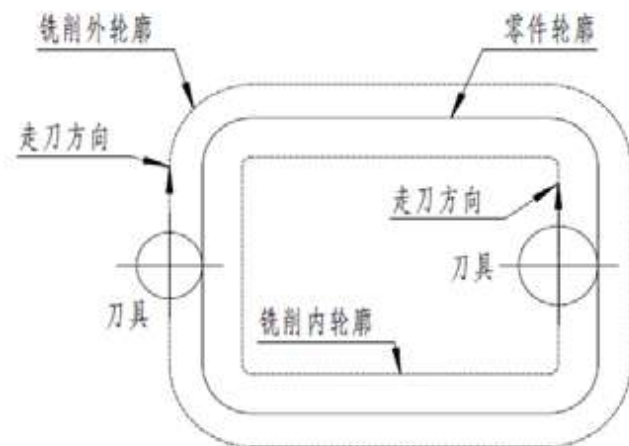
(5) 刀具轨迹的验证与仿真

- 检查刀具轨迹是否正确；
- 加工过程是否发生过切/欠切；
- 所选择的刀具、走刀路线、进退刀方式是否合理；
- 刀具与约束面是否发生干涉与碰撞。

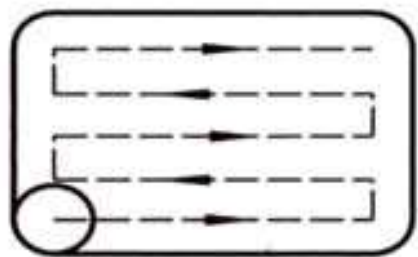
典型刀具（刀位）轨迹的生成



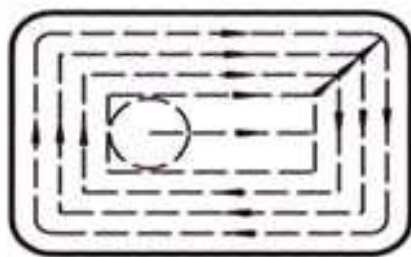
点位加工刀位轨迹



平面轮廓加工刀位轨迹

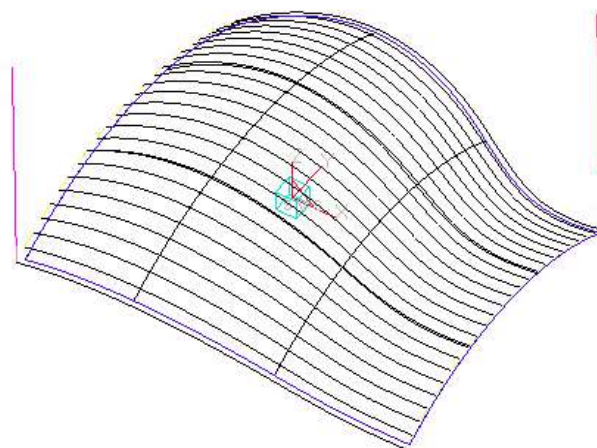


a) 往复加工刀位轨迹



b) 环形加工刀位轨迹

腔槽加工刀位轨迹



曲面加工刀位轨迹



图形交互自动编程的七大步骤

（6）后置处理：按数控系统的指令及格式生成数控程序（G代码文件）的过程。

由于各种机床使用的数控系统不同，所以，所用的数控指令文件的代码及格式也有所不同。为解决这个问题，软件通常设置一个后置处理文件。在进行后置处理前，编程人员需对该文件进行编辑，按文件规定的格式定义数控指令文件所使用的代码、程序格式、圆整化方式等内容。软件在执行后置处理命令时将自动按照设计文件定义的内容，输出所需要的数控指令文件。

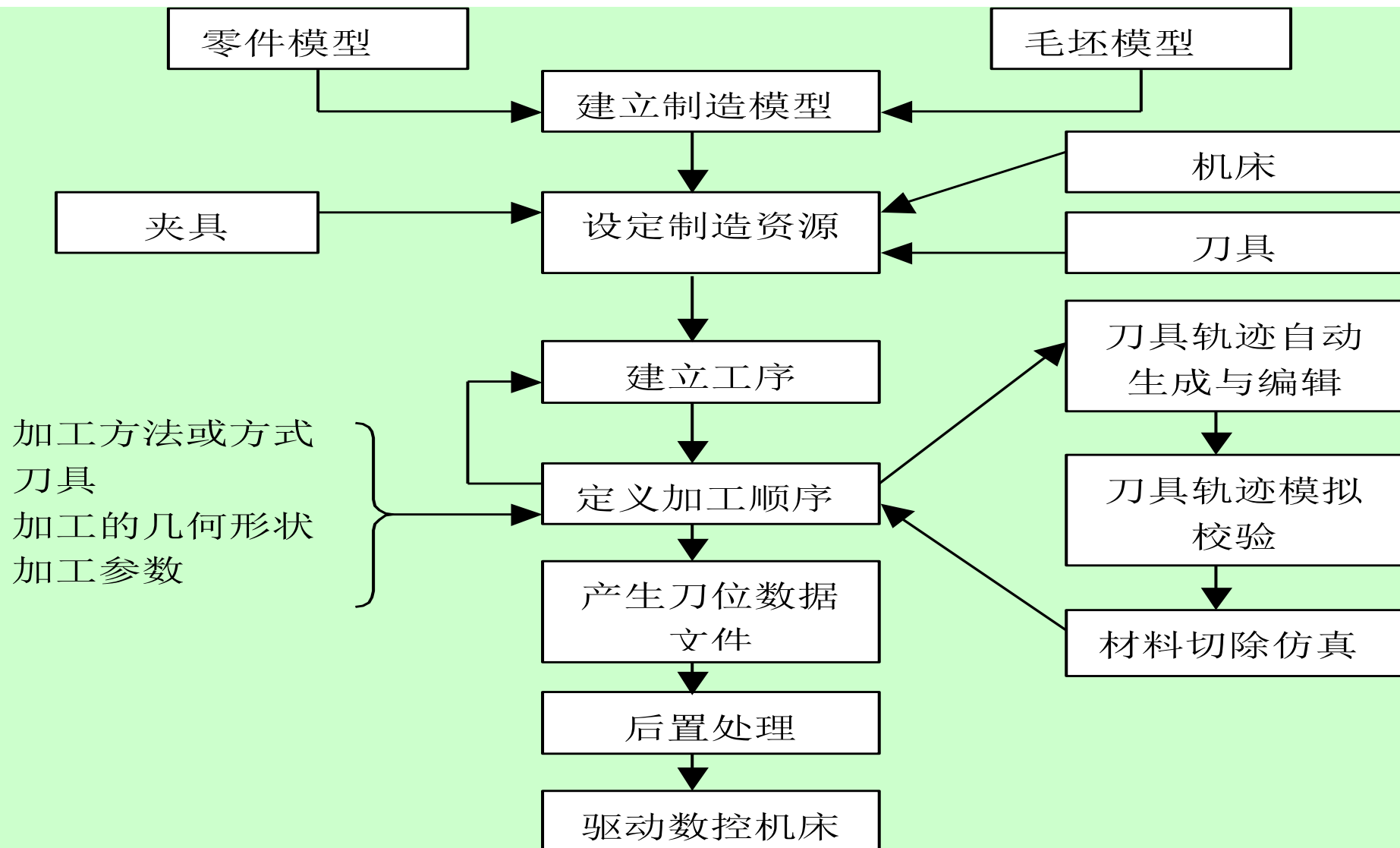
机床类型设置			
机床名:	FANUC		
行号地址:	N	行结束符:	:
快速移动:	G00	直线插补:	G01
主轴转速:	S	主轴正转:	M03
冷却液开:	M07	冷却液关:	M09
半径左补偿:	G41	半径右补偿:	G42
坐标系设置:	G54	程序停止:	M30
程序起始符号:	%		
说明:	:(\$POST_NAME , \$POST_DATE , \$POST_TIME)		
程序头:	\$G90 \$WC00RD \$G0 \$C00RD 20G43H010\$SPN_F \$SPN_SPEED \$SPN_CW		
换刀:	:\$SPN_OFF0\$SPN_F \$SPN_SPEED \$SPN_CW		
程序尾:	G49 \$SPN_OFF0\$PRO_STOP		
<div>确定(O) 忽略(C)</div>			

后置处理设置	
机床名:	FANUC
输出文件最大长度 =	1000 KB
行号设置:	
是否输出行号:	<input type="radio"/> 输出 <input checked="" type="radio"/> 不输出
行号是否填满:	<input checked="" type="radio"/> 填满 <input type="radio"/> 不填满
行号位数 =	4
起始行号 =	10
行号增量 =	2
编成方式设置:	
增量/绝对编程:	<input checked="" type="radio"/> 绝对 <input type="radio"/> 增量
坐标输出格式设置:	
坐标输出格式:	<input checked="" type="radio"/> 小数 <input type="radio"/> 整数
机床分辨率 =	1000
输出到小数点后	3 位
圆弧控制设置:	
圆弧控制码:	<input checked="" type="radio"/> 圆心坐标(I,J,K) <input type="radio"/> 圆弧半径(R)
I,J,K含义:	<input checked="" type="radio"/> 绝对坐标 <input type="radio"/> 相对起点 <input type="radio"/> 起点相对圆心
R含义:	<input checked="" type="radio"/> 圆弧>180时R为负 <input type="radio"/> 圆弧>180时R为正
后置文件扩展名:	.cut
后置程序号:	234
<div>确定(O) 忽略(C)</div>	

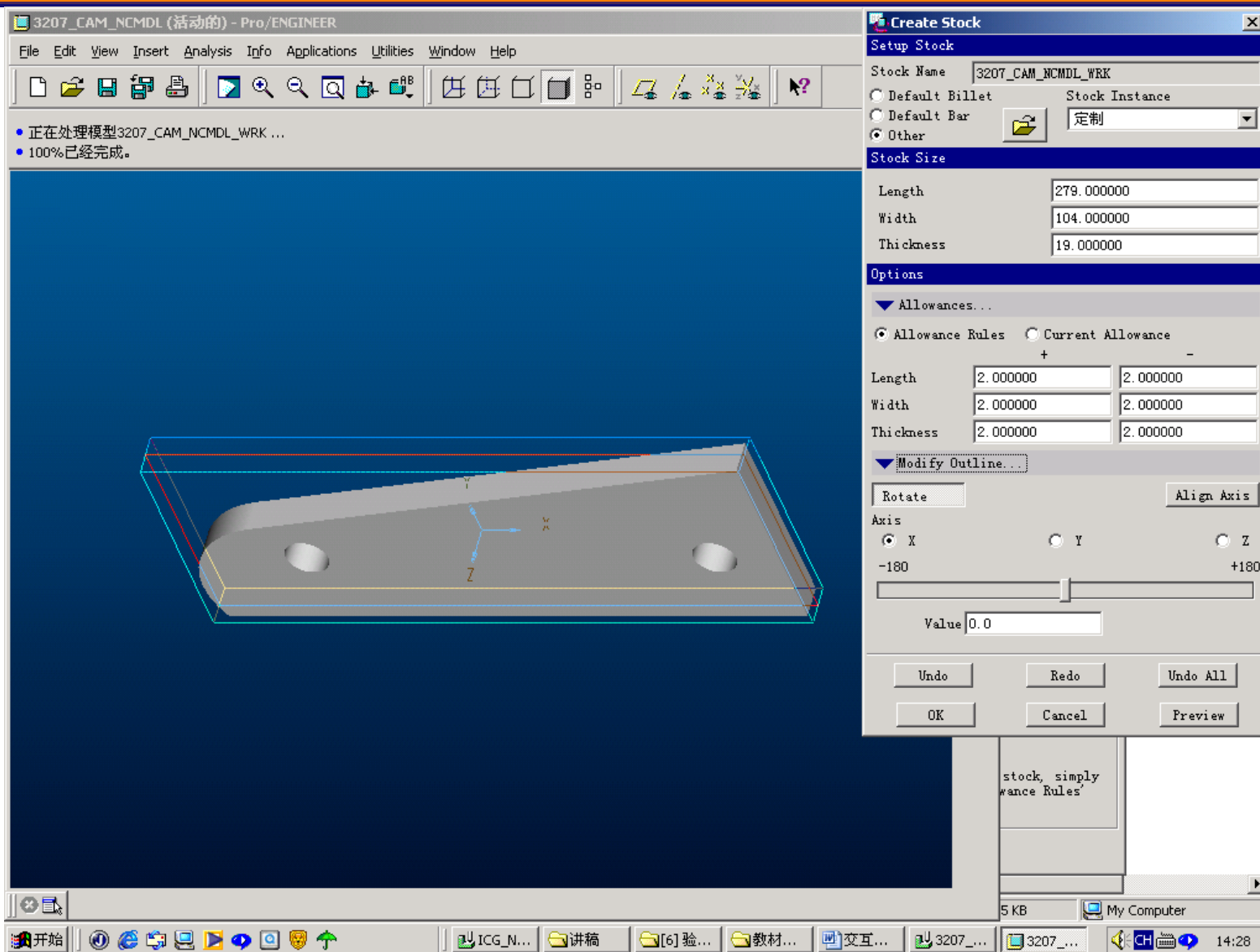
（7）加工程序输出

三、图形交互自动编程

3.Pro/E 系统的图形交互自动数控编程主要过程



建立毛坯模型





设置制造资源（机床、刀具）

Machine Tool Setup

File

Machine Name: MACH01 CNC Control: FANUC-6M

Machine Type: 铣削 Location:

Number Of Axes: 3轴

Output Spindle Feed Cutting Tools Travel Comments

Post Processor Options

PP Name: UNCX01 ID: 01 Reset PPRINT

CL Command Output Options

FROM: 不输出

LOADTL: 模态

COOLNT/OFF: 输出

SPINDL/OFF: 输出

▼ 切刀补偿

Output cutter position

☒ Tool Center ☐ Tool Edge Safe Radius: 0.05 Adjust Corner: 竖直的

OK Cancel 关闭

MACH01: Tools Setup

File Edit View

Number Name Offset Comments

1	T0001		
2	T0002		

Apply Revert Preview Tool Window

Name: T0001

Type: MILLING

Material: -

Units: INCH

Geometry Settings Speeds_Feeds

Cutter Diameter: 20

Length: 80

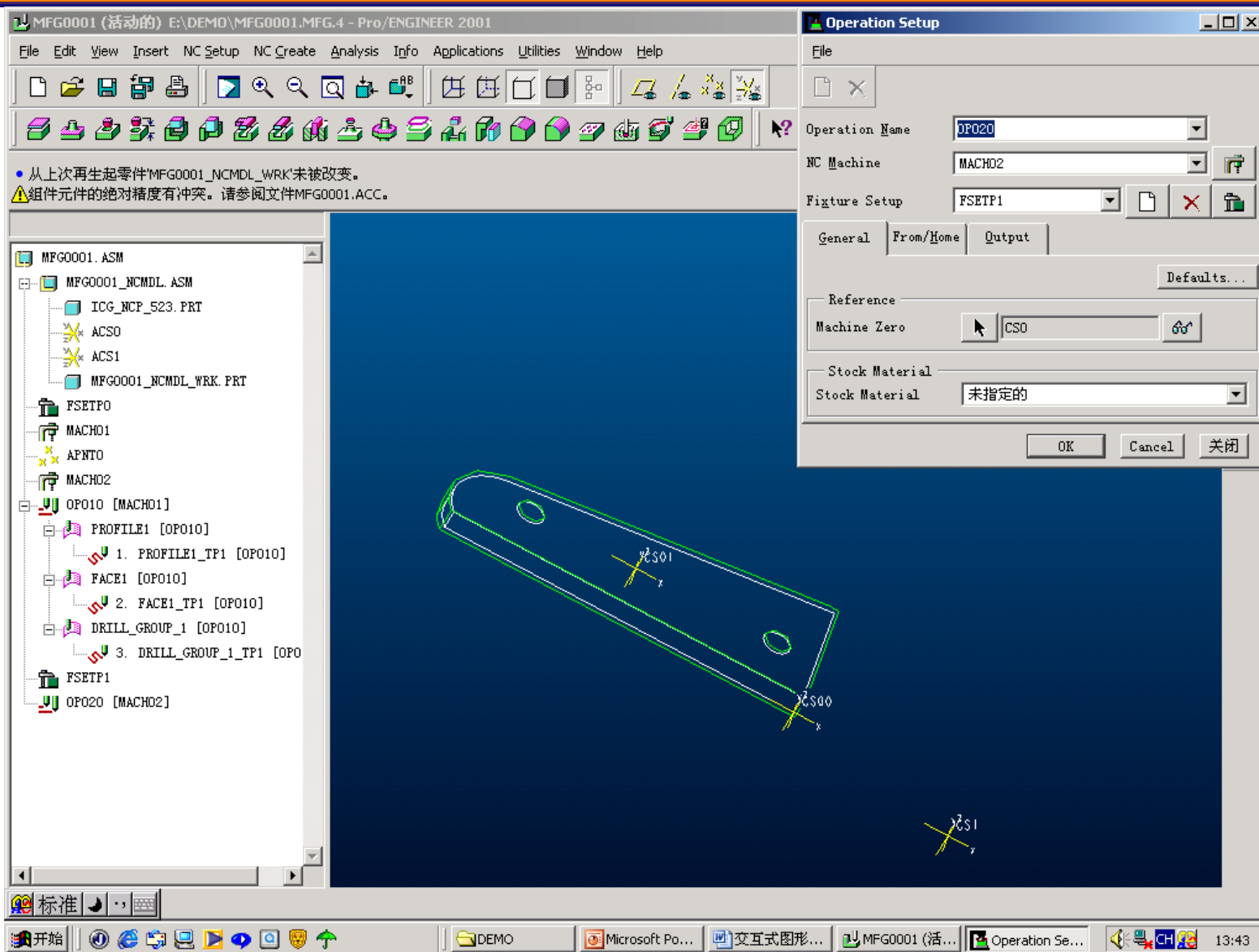
Corner Radius: 1

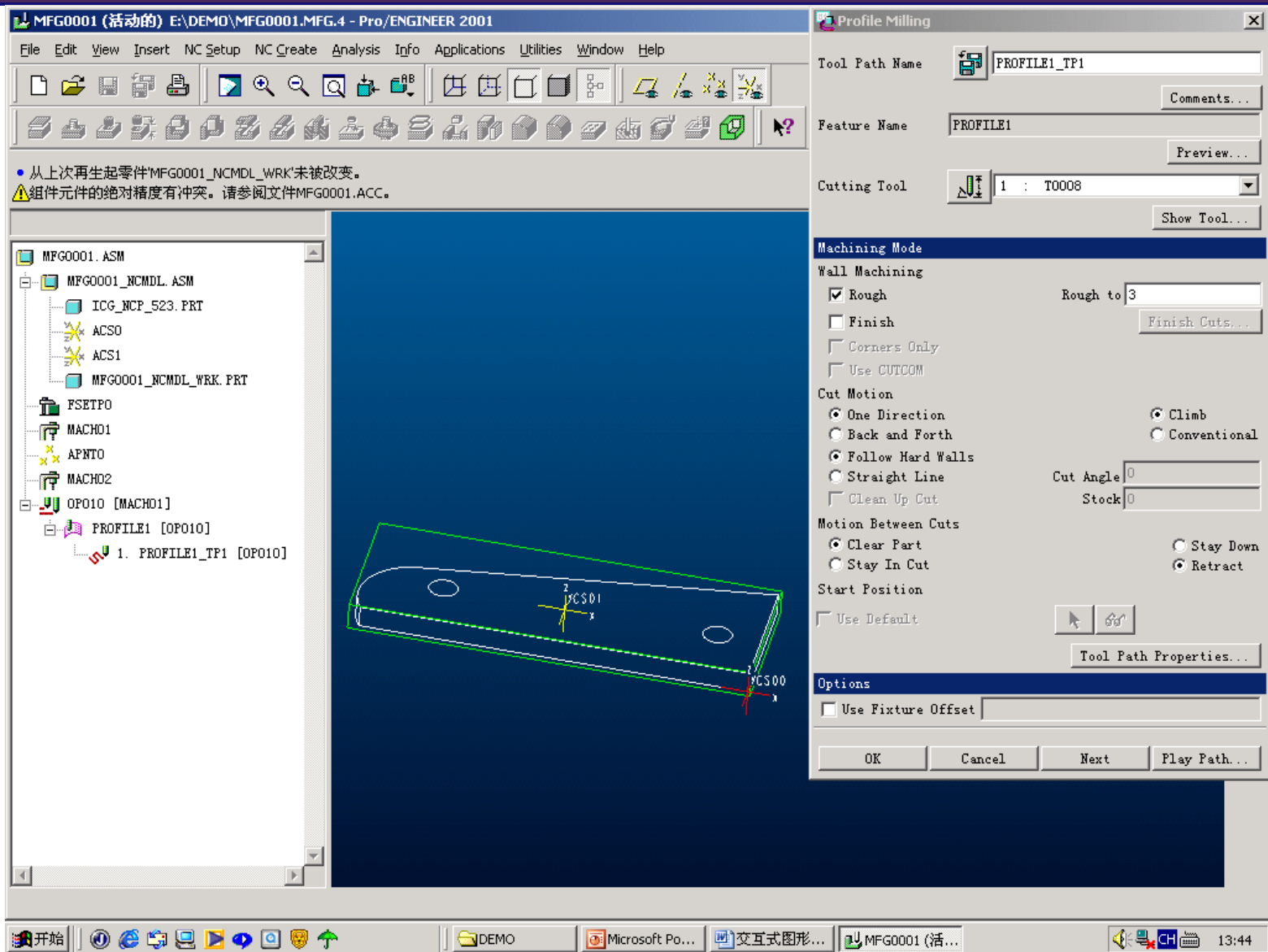
Side Angle: -

Number of Teeth: -

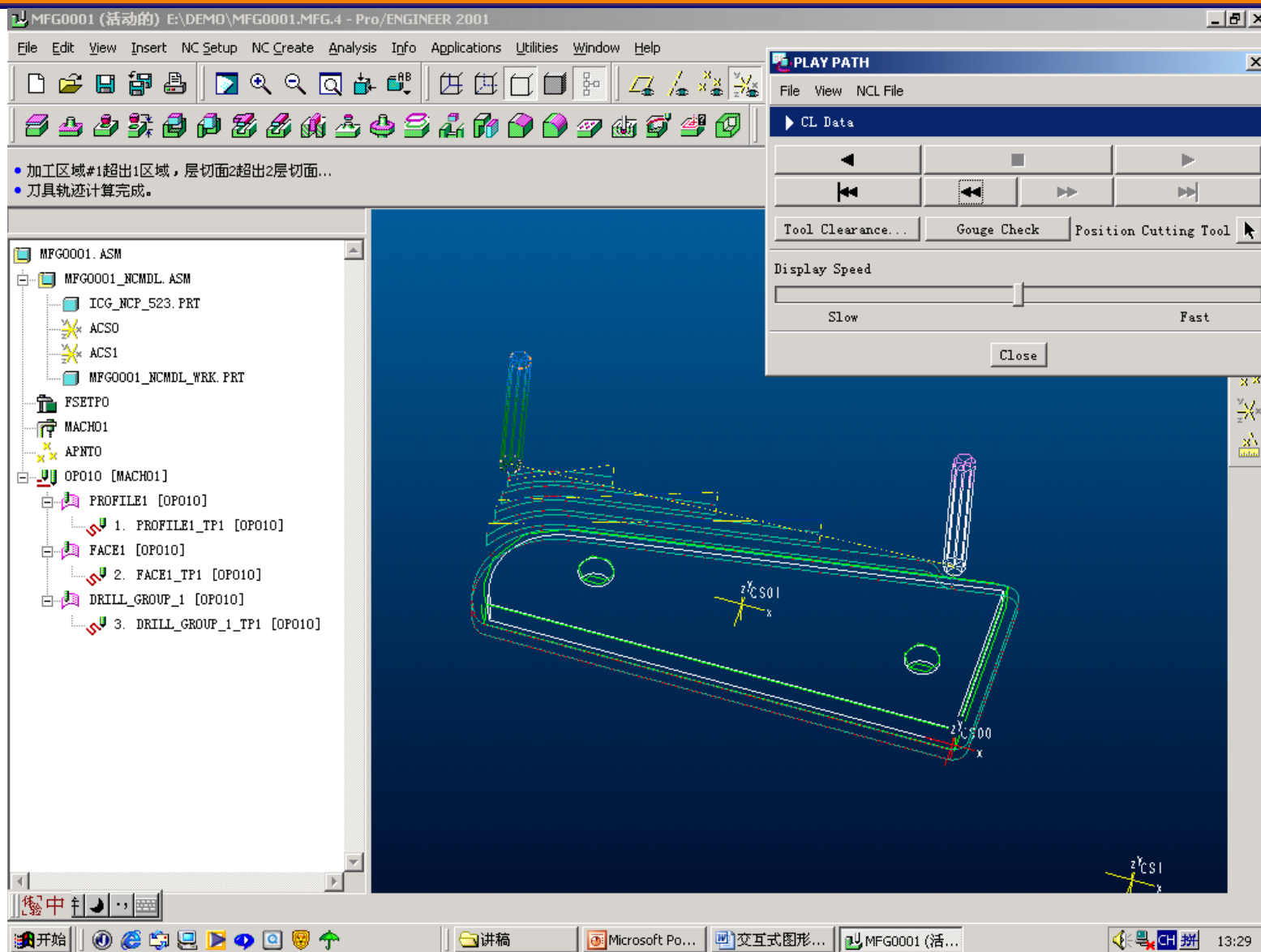
OK Cancel

建立工序





刀具轨迹生成、编辑、校验





后置处理过程

MFG0001 (活动的) E:\DEMO\MFG0001.MFG.4 - Pro/ENGINEER 2001

File Edit View Insert NC Setup NC Create Analysis Info Applications Utilities Window Help

Features Tool Paths Output

Create CL File Create NC Code Automatic Tool Path Player Select Post

加工区域#1超出1区域, 层切面2超出2层切面...
刀具轨迹计算完成。

Create NC Code by selecting a Po

MFG0001.ASM

- MFG0001_NCMLD.ASM
 - ICG_NCP_523.PRT
 - ACSO
 - ACS1
 - MFG0001_NCMLD_WRK.PRT
- FSETP0
- MACH01
 - APNT0
 - OP010 [MACH01]
 - PROFILE1 [OP010]
 - 1. PROFILE1_TP1 [OP010]
 - FACE1 [OP010]
 - 2. FACE1_TP1 [OP010]
 - DRILL_GROUP_1 [OP010]
 - 3. DRILL_GROUP_1_TP1 [OP010]

信息窗口 (C:\DOCUMENT1\ADMINI~1\LOCALS~1\Temp\9.tmp)

File Edit View

Log File

Pro/NC-GPOST 2000i Mill, Version 5.5 B- 3.0, Copyright(c) 2000
Date=10-26-2005 Time=13:32:47
Input File=E:\DEMO\op010.nc1.13

Option File=uncx01.p12
Filter File=uncx01.f12

*** Tape length 57.56 Cycle time 436.06 Warnings 0 ***
Date=10-26-2005 Time=13:32:48

Menu Manager

- 制造
- CL数据
- CL数据
 - 输入
 - 输出
 - 编辑
 - NC检测
 - 过切检测
 - 后置处理
 - 队列管理器
 - 完成/返回
- PP List
 - UNCX01.P11
 - UNCX01.P12
 - UNCX01.P14
 - UNCX01.P15
 - UNCX01.P19
 - UNCX01.P20
 - UNCX01.P23
 - UNCX01.P24
 - UNCX01.P26
 - UNCX01.P37
 - UNCX01.P47
 - UNCX01.P48
 - UNCX01.P49
 - UNCX01.P50
 - UNCX01.P51
 - UNCL01.P01
 - UNCL01.P02

开始 讲稿 Microsoft Po... 交互式图形... MFG0001 (活... CH 拼 13:31



后置处理结果：NC代码文件

The screenshot displays a Microsoft Word document titled 'op010.tap - Microsoft Word'. The document contains two columns of NC code. The left column lists various G-code commands for a part, starting with 'N5 G71' and ending with 'N340 G2 X-244.766 Y78.186 I51.001'. The right column shows the corresponding M-code commands, starting with 'N10 (/ MFG0001)' and ending with 'N100 G0 Z20.'. The document is formatted with a standard Word interface, including a menu bar, a toolbar, and a status bar at the bottom.

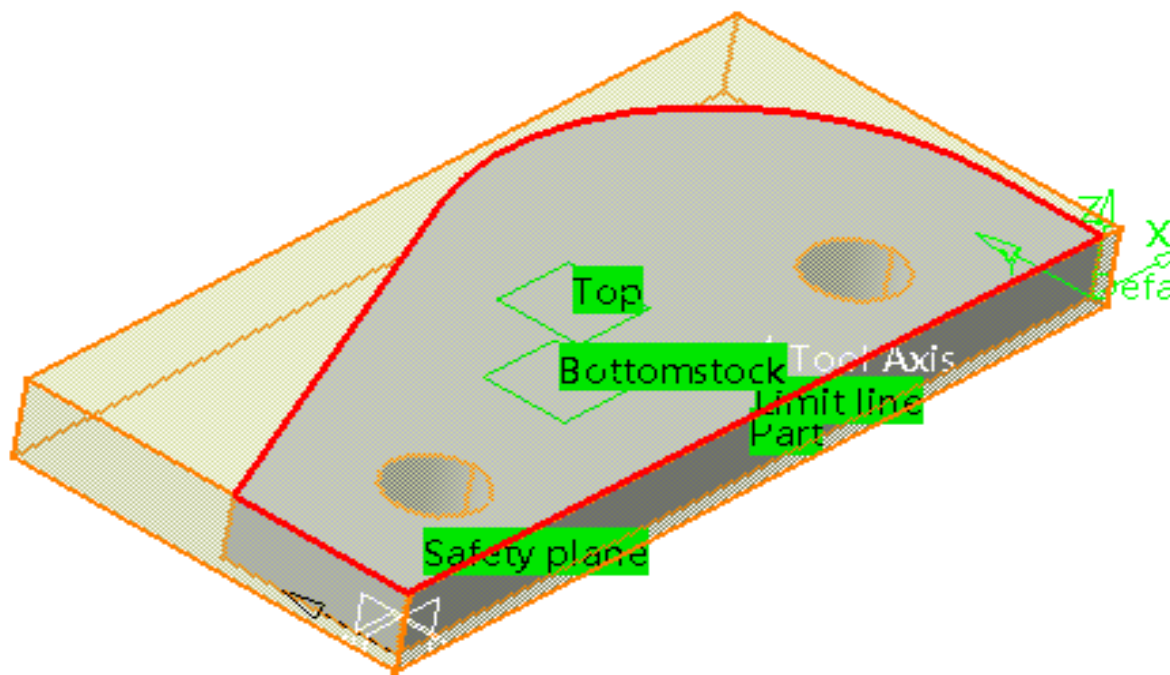
```
N5 G71
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N55 G2 X-249.731 Y107.772 I51. J-7
N65 Z10.5
N75 X-285.999 Y80.333
N85 G2 X-248.076 Y97.91 I50.999 J-
N95 Z10.5
N105 X-286.003 Y66.473
N115 G2 X-246.421 Y88.048 I51.003
N125 Z10.5
N135 X-286.001 Y49.663
N145 G2 X-244.766 Y78.186 I51.001
N155 G2 X-39.882 Y107.502 I1.655
N165 G1 X-1.49 Y108.876
N180 G2 X0. Y-9. I-9. J0.
N185 G1 X-269.641
N195 X-243.11 Y68.324 I42.435 J24.
N200 G1 X-30.513 Y104.005
N215 X-286. Y92.939
N220 Z10.5
N230 X-286. Y92.939 Z-2.1
N245 Z.9
N255 X-285.999 Y80.333
N260 Z10.5
N270 G2 X-248.076 Y97.91 I50.999
N280 Z.9
N290 X-286.003 Y66.473
N295 Z10.5
N305 G2 X-246.421 Y88.048 I51.003
N315 Z.9
N325 X-286.001 Y49.663
N330 Z10.5
N340 G2 X-244.766 Y78.186 I51.001

N10 ( / MFG0001)
N15 G0 G17 G99
N20 G90 G94
N25 G0 G49
N30 T1 M06
N35 S1000 M03
N40 G0 X-286. Y92.939
N45 G43 Z20. H1
N50 G1 Z7.5 F10.
N55 G2 X-249.731 Y107.772 I51. J-72.939
N60 G1 X-230.5 Y111.
N65 Z10.5
N70 G0 Z20.
N75 X-285.999 Y80.333
N80 G1 Z7.5 F10.
N85 G2 X-248.076 Y97.91 I50.999 J-60.333
N90 G1 X-170.083 Y111.
N95 Z10.5
N100 G0 Z20.
```

三、图形交互自动编程

4.CATIA / UG 系统的图形交互自动数控编程案例

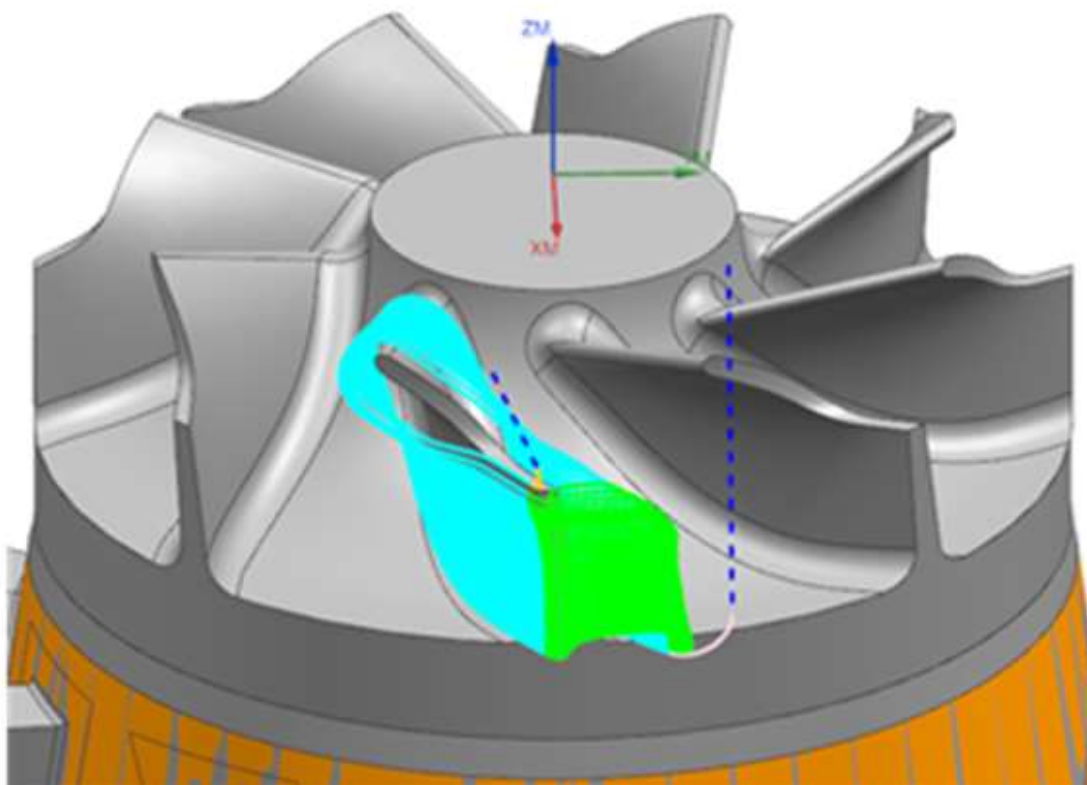
(视频演示)



三、图形交互自动编程

5. UG NX系统的图形交互自动数控编程案例

(视频演示文档)





四、数控加工仿真

1. 数控程序的校验方法及比较

检验方法	人工检验	机床“空运行”检验	替代材料试切	计算机仿真
原理	依靠个人经验对数控程序进行检验	正式加工前让机床空运行检验数控程序	用泡沫塑料、蜡模、铝模等材料替代真实材料在数控机床上加工以检验数控程序	在计算机上利用三维图形技术对数控加工过程进行模拟仿真
适应性	只能应用于简单程序的检验	只能对机床运动是否正确及有无干涉碰撞作粗略的估计	可对加工过程是否正常及加工结果是否满足要求做出较准确的判断	可以快速、安全和有成效地对数控程序地正确性进行较准确地评估，并可根据仿真结果随数控程序迅速地进行修改，免除反复的试切过程
优缺点	可靠性差、人工成本高	可靠性差，费时，效率低，机床成本高，制造周期长	费时，昂贵，效率低，生产成本低，安全性得不到保障，制造周期长	材料消耗和生产成本低，工作效率高，安全性、可靠性有保障，制造周期短

2. 数控加工仿真

用计算机仿真系统，**从软件上实现零件的试切过程**，将数控程序的执行过程在计算机屏幕上显示出来，**是数控加工程序检验的有效方法**。在动态模拟时，刀具可以实时在屏幕上移动，刀具与工件接触之处，工件的形状就会按刀具移动的轨迹发生相应的变化。观察者**可在屏幕上看到的是连续的、逼真的加工过程**。分为几何和物理仿真两类。

四、数控加工仿真——几何仿真

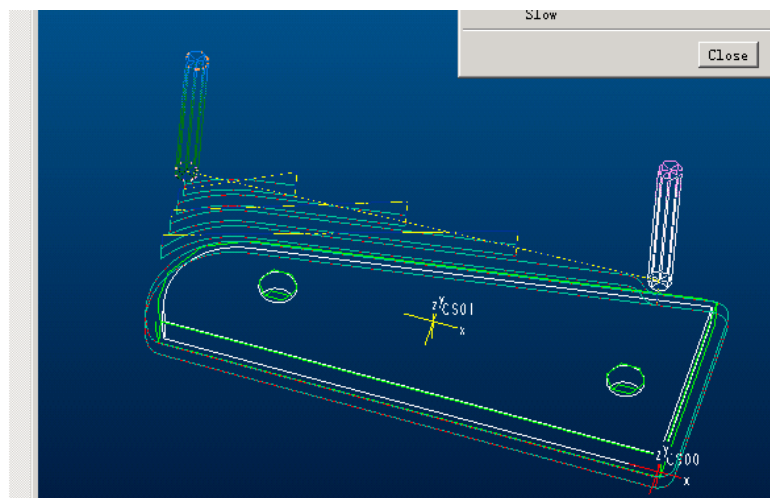
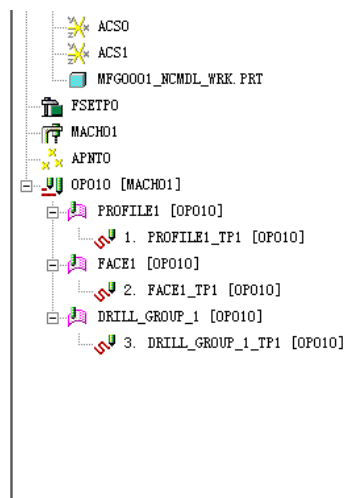
4. 几何仿真的内涵

几何仿真**不考虑切削参数、切削力及其它物理因素的影响，只仿真机床—刀具—工件几何体的相对运动**。几何仿真的关键是构建数控机床、刀具、夹具等工艺系统要素的三维几何模型和确定有效的仿真算法。

通过几何仿真可以：

- (1) 检验刀位轨迹是否符合加工要求；
- (2) 有无过切或欠切；
- (3) 检验干涉和碰撞；等

以减少或消除因程序错误而导致的机床损坏、夹具或刀具折断、零件报废等问题。

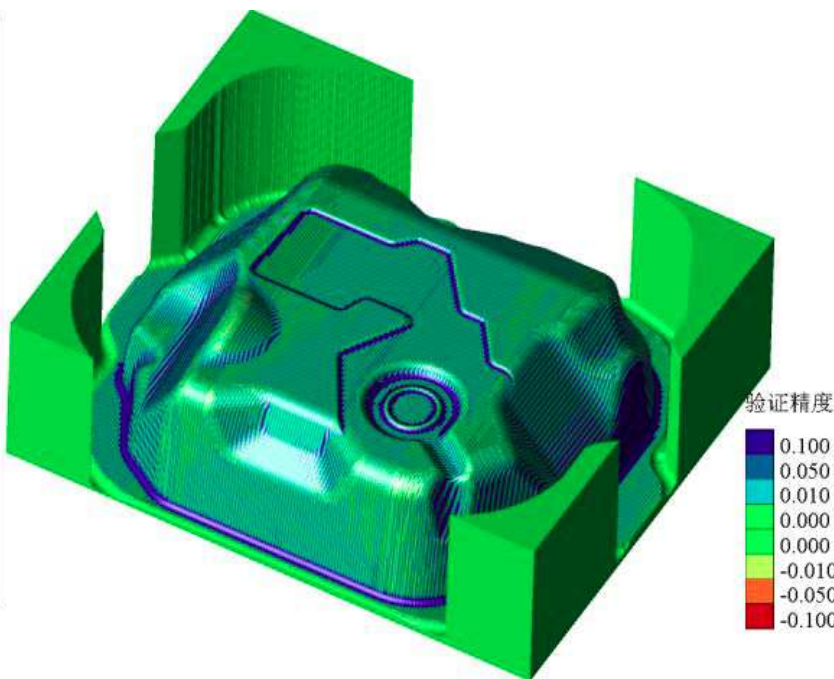


四、数控加工仿真——几何仿真

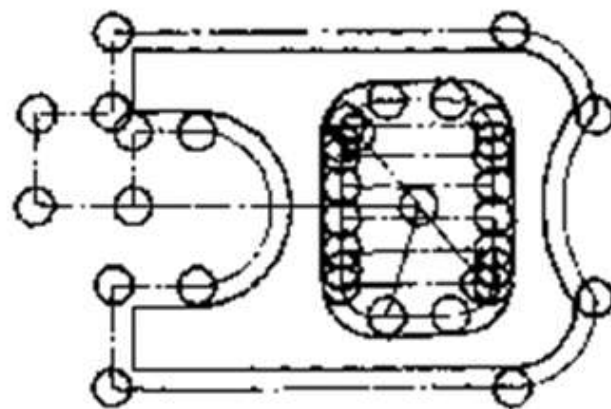
5. 几何仿真的形式(类型) ——刀位轨迹仿真

横截面：与刀轴方向垂直的平面

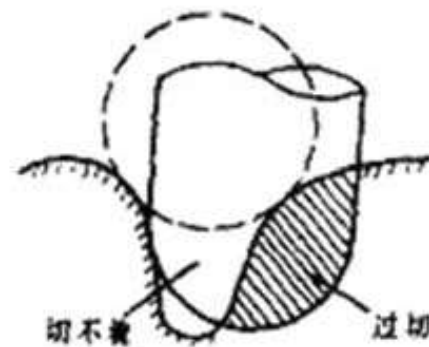
纵截面：通过刀轴的平面



刀具轨迹显示验证



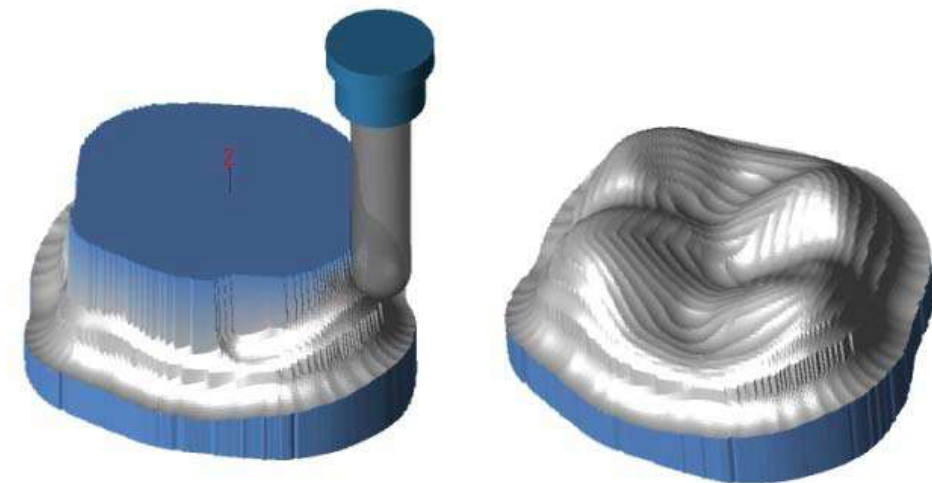
刀具轨迹截面法验证（横截面）



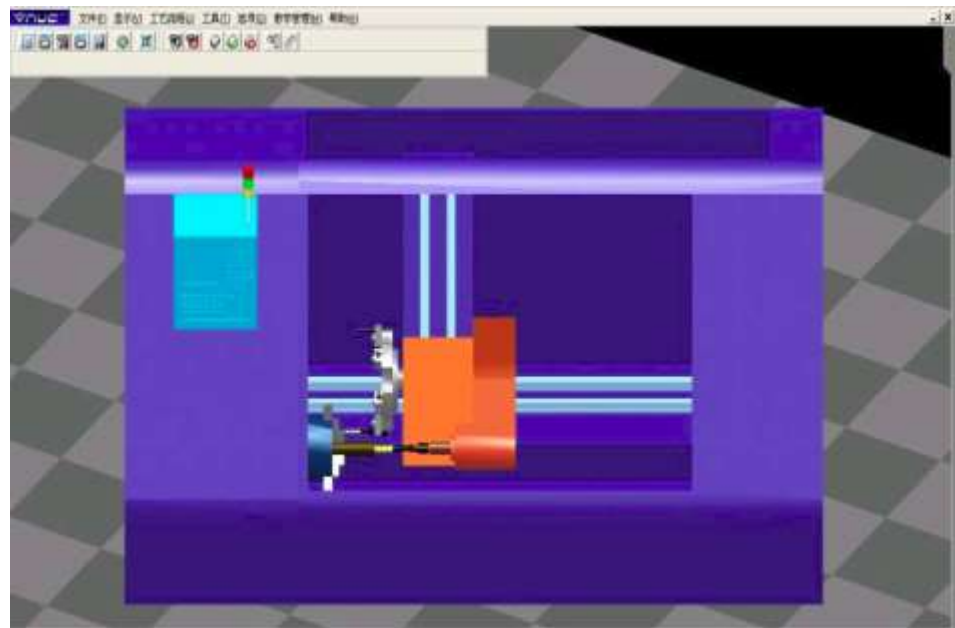
刀具轨迹截面法验证（纵截面）

四、数控加工仿真——几何仿真

5. 几何仿真的形式(类型) -- 三维动态切削(材料切除)仿真



只显示刀具模型和零件模型的
加工过程动态仿真

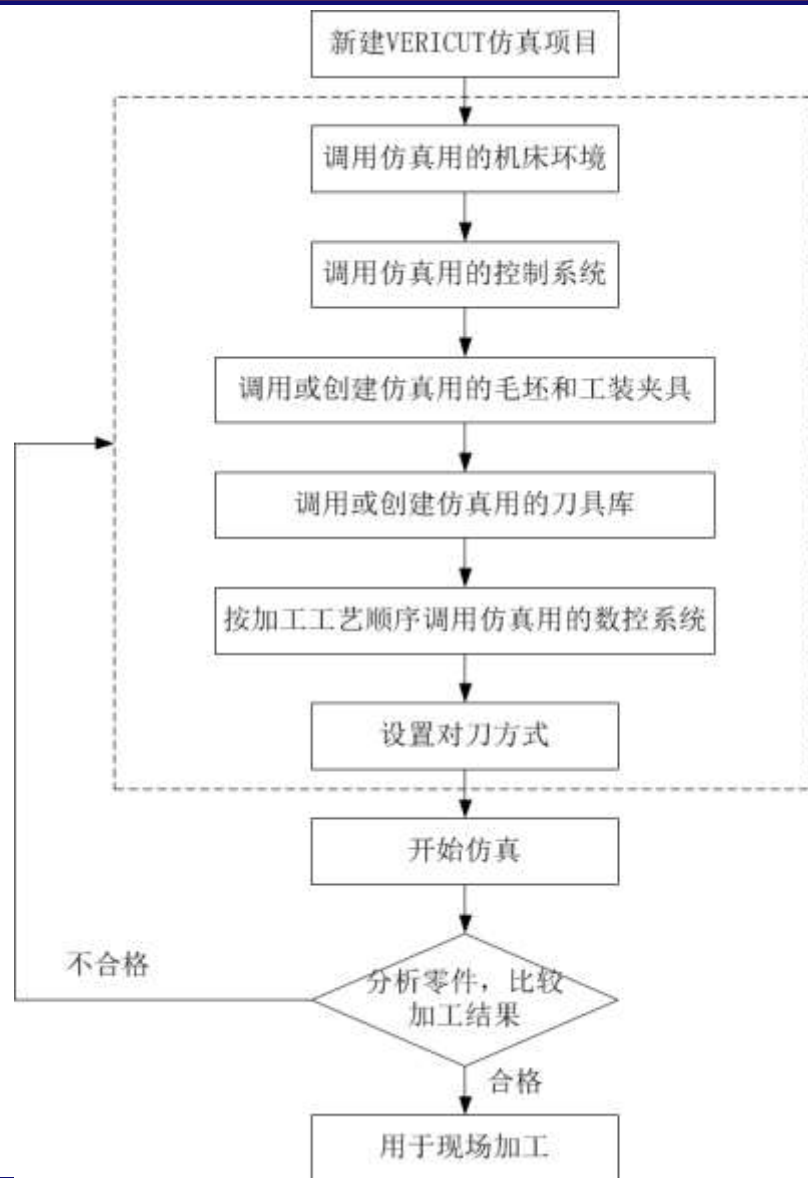


同时动态显示刀具模型、零件模型、夹具模型
和机床模型的加工过程动态仿真

四、数控加工仿真——几何仿真

6. 几何仿真的基本过程 (以VERICUT为例)

(视频演示)



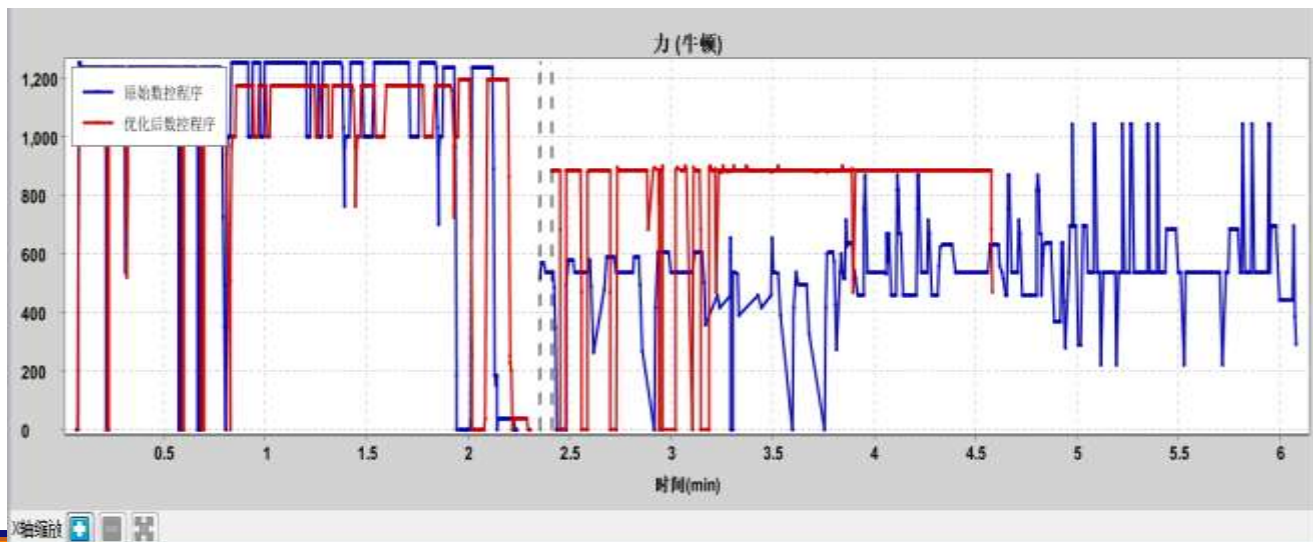
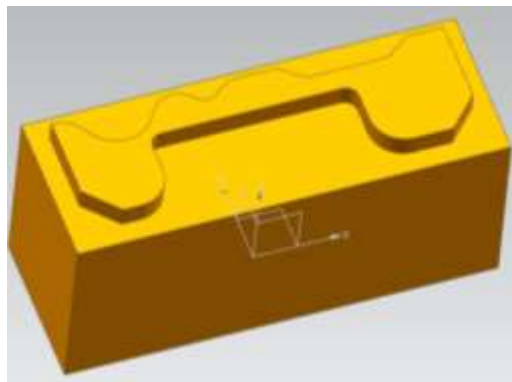
四、数控加工仿真——物理仿真

7. 物理仿真的内涵

考虑整个工艺系统的动态特性对实际切削过程的仿真，由于产品的可制造性与切削过程中的物理条件密切相关，通过切削过程的物理仿真可以**模拟切削过程的动态力学特性，优化切削参数，确保获得好的加工效率和质量。**

单纯的几何仿真不能满足实际的数控加工要求，物理仿真对现代制造业更具有意义。

物理仿真的基础和核心是物理建模，物理仿真建立的模型主要有：
切削力模型、振动模型、表面粗糙度模型、切削温度场模型、刀具磨损模型





四、数控加工仿真——物理仿真

8. 物理仿真的形式(类型)

- 1) **切削力仿真**。预测切削力不仅可使刀具和工件产生弹性变形，而且过大的切削力还会破坏机床的执行机构，引起生产事故。
- 2) **工艺系统的振动/颤振仿真**。预测加工质量，从而优化加工参数。
- 3) **刀具切削性能的物理仿真**。它可较准确地预测出刀具正常及非正常磨损，并可预测出由于刀面磨损、切削振动及冲击力所引起的刀具断裂。
- 4) **切屑的大小及形状仿真**。由于切屑形态对工件表面粗糙度有一定影响，若其形态不好，也会缠绕在工件或刀具上，造成拉伤工件表面或打坏切削刃甚至伤人的弊端，因此，对它预测也很有意义。
- 5) **切削热仿真**。预测机床或工件热变形对工件加工精度的影响。

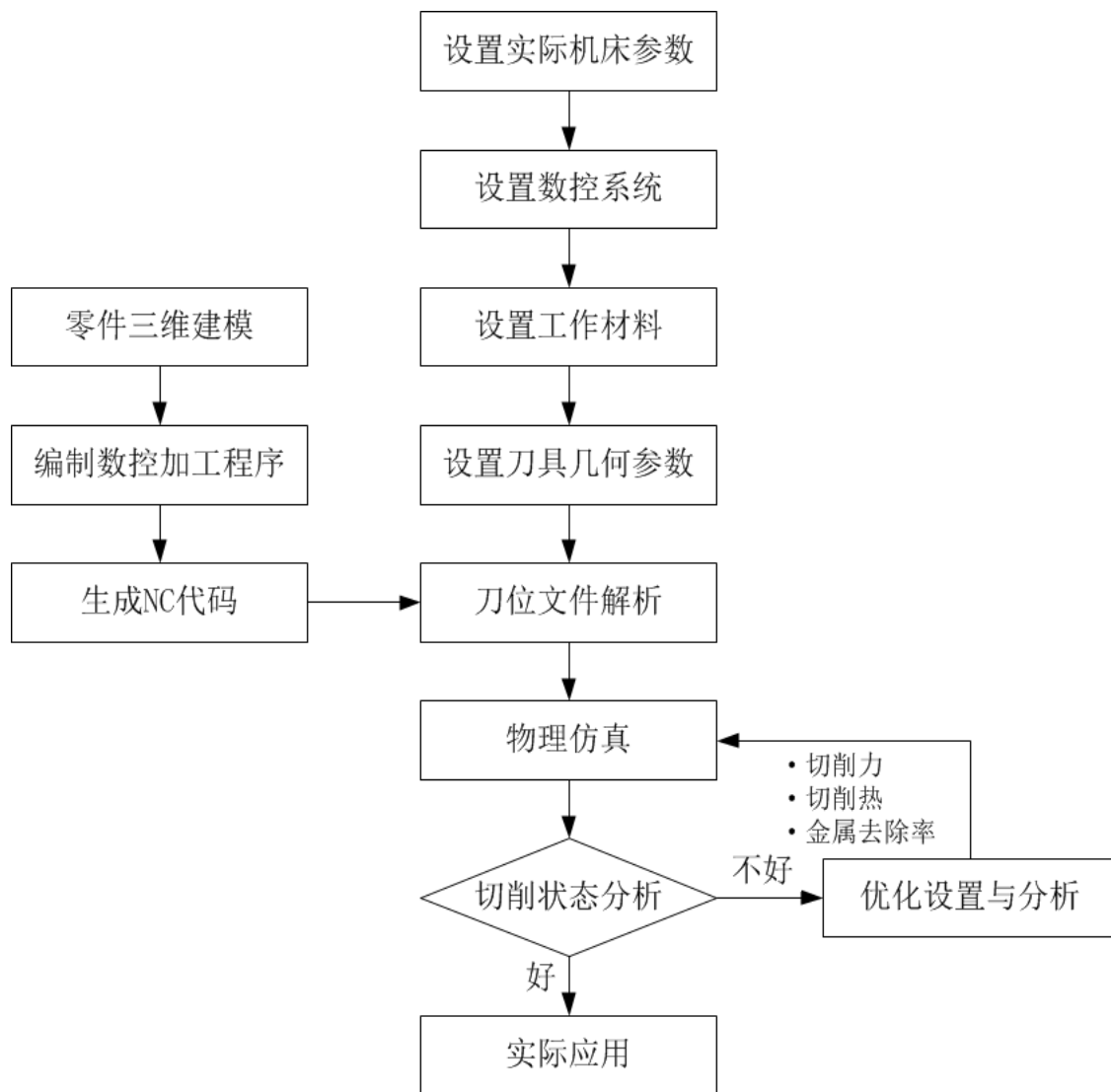


四、数控加工仿真——物理仿真

9. 物理仿真的基本过程

(以Production Module/Advantedge为例)

(视频演示)





第6章 数控加工编程技术



6-1 数控机床与机床数控系统 (基础)

6-2 数控加工编程与仿真 (方法)

- ☐ 手工编程
- ☐ 图形交互自动编程 (演示)
- ☐ 数控加工仿真 (演示)

6-3 数控加工编程与仿真软件 (软件)



常用数控加工编程与仿真软件系统（1）

CAM编程系统	研发公司	CAM主要功能
Unigraphics(UG)	德国西门子（Simense）	车削加工、型芯和型腔铣削、固定轴铣削、清根切削、可变轴铣削、顺序铣、后置处理、切削仿真、线切割、图形刀具轨迹编辑器、机床仿真、SHOPS、制造资源管理系统及NURBS（非均匀B样条）轨迹生成器
CATIA	法国达索（Dassault）	2.5轴~5轴数控加工（包括铣削、钻削和车削）、直接对点云数据的数控加工、清根加工（笔式清根、区域清根），轮廓加工（等Z高度轮廓加工、沿面轮廓加工），刀具和刀具目录的管理，刀具轨迹的定义、验证和生成，刀具路径和干涉碰撞校验、加工过程模拟，软件智能用户化工具，后置处理数据库，NC加工报表文件，基于过程——产品——资源的模型，有良好的人机接口功能和高度的模块集中功能
MasterCAM	美国CNC Software	外形轮廓的铣削、钻孔、镗孔、径向切槽、车螺纹、面铣、曲面加工、多轴（3、4、5轴）数控加工、线切割、刀具路径转换、管理和修改操作、刀具路径模拟、实体验证、批次模式、程式过滤、后置处理、加工报表、与机床控制器进行通信
Cimatron	以色列Clal	数控铣削（2.5~5轴）、数控钻孔、数控车、数控冲裁、数控线切割、电极设计、基于知识加工、自动化NC和基于毛皮残留知识三大技术为基础的智能NC，灵活的轨迹编辑方法、轨迹校验、可视化加工仿真模拟、仿真校验、定量分析、加工工时估算、高速铣削技术、刀具载荷分析、自动优化
CAXA	北京数码大方软件有限公司	任意型腔、型面造型与自动加工编程，铣床2轴~5轴加工、线切割、车床自动加工编程，以及计算机雕刻机专用雕刻软件



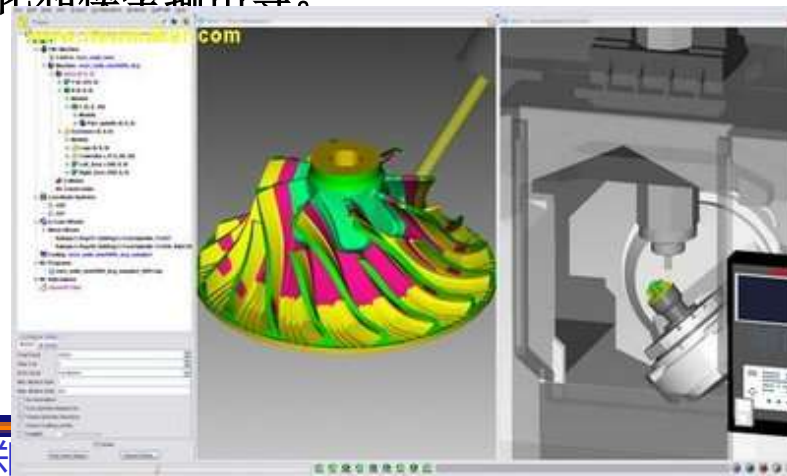
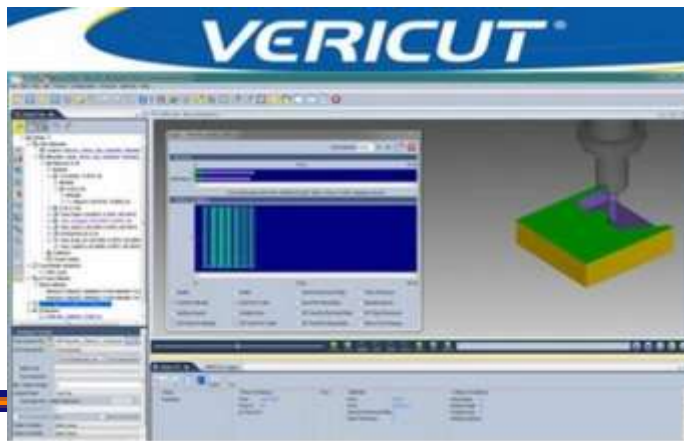
常用数控加工编程与仿真软件系统（2）



1. VERICUT: 美国CGTECH公司开发的数控加工仿真系统

- 由NC程序验证模块、机床运动仿真模块、优化路径模块、多轴模块、高级机床特征模块、实体比较模块和CAD/CAM接口等模块组成；
- 可仿真数控车床、铣床、加工中心、线切割机床和多轴机床等多种加工设备的数控加工过程；
- 能进行NC程序优化，缩短加工时间、延长刀具寿命、改进表面质量，检查过切、欠切，防止机床碰撞、超行程等错误；
- 具有真实的三维实体显示效果，可以对切削模型进行尺寸测量，并能保存切削模型供检验、后续工序切削加工；
- 具有CAD/CAM接口，能实现与UG、CATIA及MasterCAM等软件的嵌套运行。

VERICUT软件目前已广泛应用于航空航天、汽车、模具制造等行业，其最大特点是可仿真各种CNC系统，既能仿真刀位文件，又能仿真CAD/CAM后置处理的NC程序，其整个仿真过程包含程序验证、分析、机床仿真、优化和模型输出等。

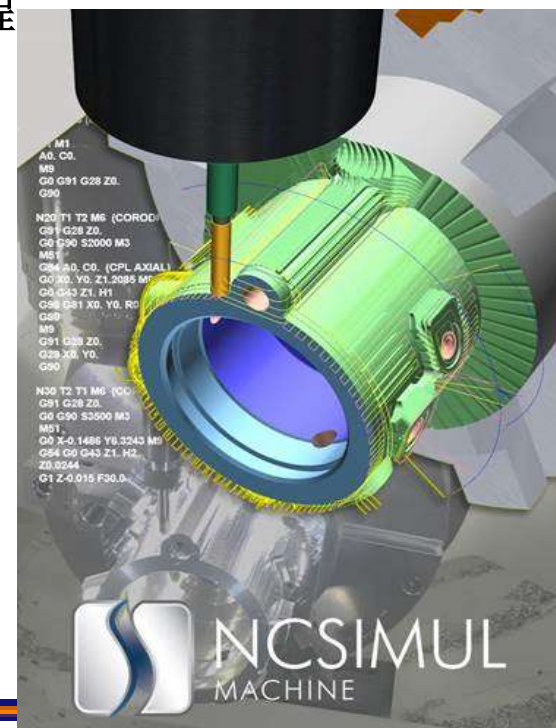
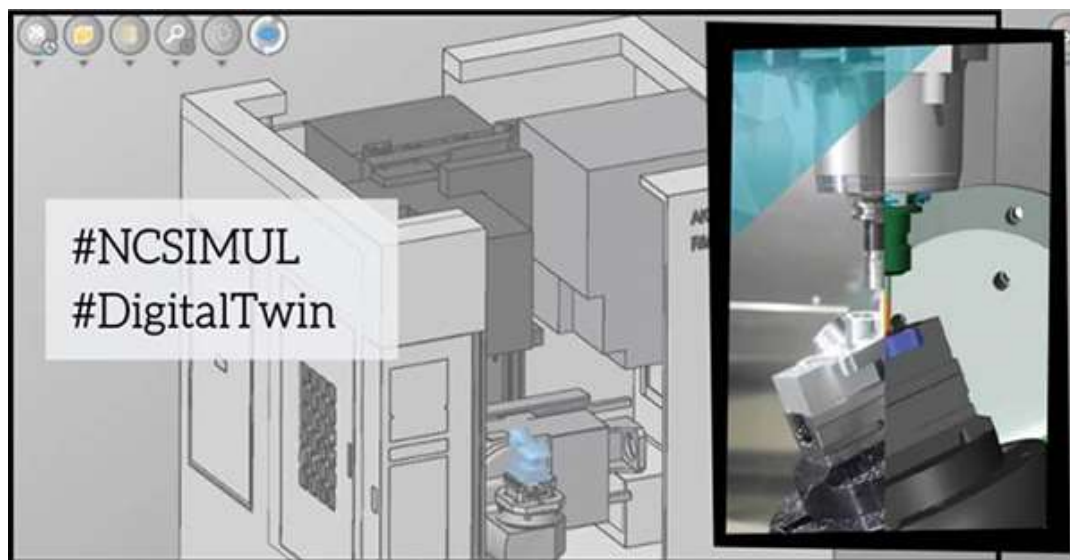


2. NCSIMUL: 瑞士海克斯康公司的数控加工仿真系统

NCSIMUL数控加工仿真、优化、后处理一体化解决方案即为“安全”而生，它专注于机床加工的安全性，并在确保安全的基础上，提供程序优化及后置处理等一系列高效、实用的解决方案。

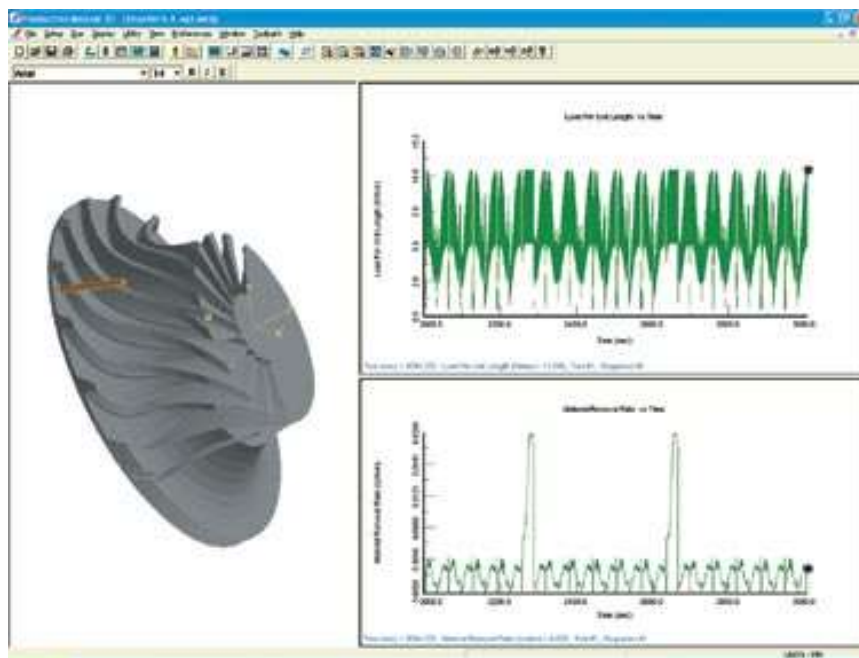
- (1) NCSIMUL/MACHINE 机床仿真，程序验证 —— 强大的功能，简易的操作
- (2) NCSIMUL/OPTITool NC程序优化——所有操作的综合优化值
- (3) NCSIMUL/4CAM程序转换 & 后置处理——简化CNC操作，让车间比以往更加灵活
- (4) NCSIMUL/PLAYER——独有的播放器，可以全程记录加工过程

www.ncsimul.com



3. Production Module/AdvantEdge

是一款 NC 程序分析优化软件，集基于物理特性的材料建模、CAD/CAM、刀具工件几何和机床动力学于一体。通过预测和显示功能，可以得到更多 NC 程序试切无法得到的信息，这些功能使用户能更好地改进切削参数和刀具路径策略，极大的缩短加工周期，降低生产成本，同时提高刀具寿命及零件质量。





第四次作业

1. 手工编程

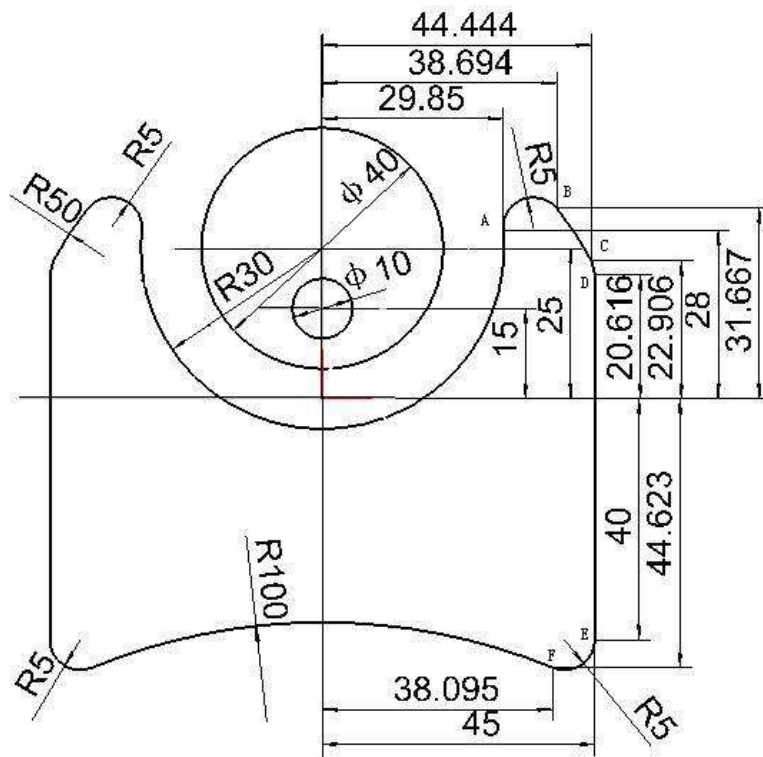
已知零件的程序如下所示，零件厚度10mm，精铣其轮廓。采用 $\phi 10\text{mm}$ 的立式铣刀。请根据已有的语句：（1）用实线画出零件轮廓并标明各交、切点的坐标；（2）用虚线画出刀具中心轨迹图并标明刀具运行的方向；（3）用箭头和文字说明刀具偏移方向和距离。

- %
- N001 G90 G00 G54 X-20.0 Y0 Z100.0 ;
- N002 S1000 M03 ;
- N003 G43 Z-10.0 H01 ;
- N004 G01 G41 X0 Y0 D02 F300.0 ;
- N005 G01 X0 Y15.0 ;
- N006 G02 X10.0 Y25.0 R10.0 ;
- N007 G01 X58.775 ;
- N008 G02 X58.775 Y-25.0 R-40.0 ;
- N009 G01 X10.0 ;
- N010 G02 X0 Y-15.0 I0 J10.0 ;
- N011 G01 X0 Y0 ;
- N012 G01 G40 X-20.0 Y0 ;
- N013 G00 Z100.0 M05 ;
- N014 M30 ;
- %

第四次作业

2. 图形交互自动编程（A或B任选一题）

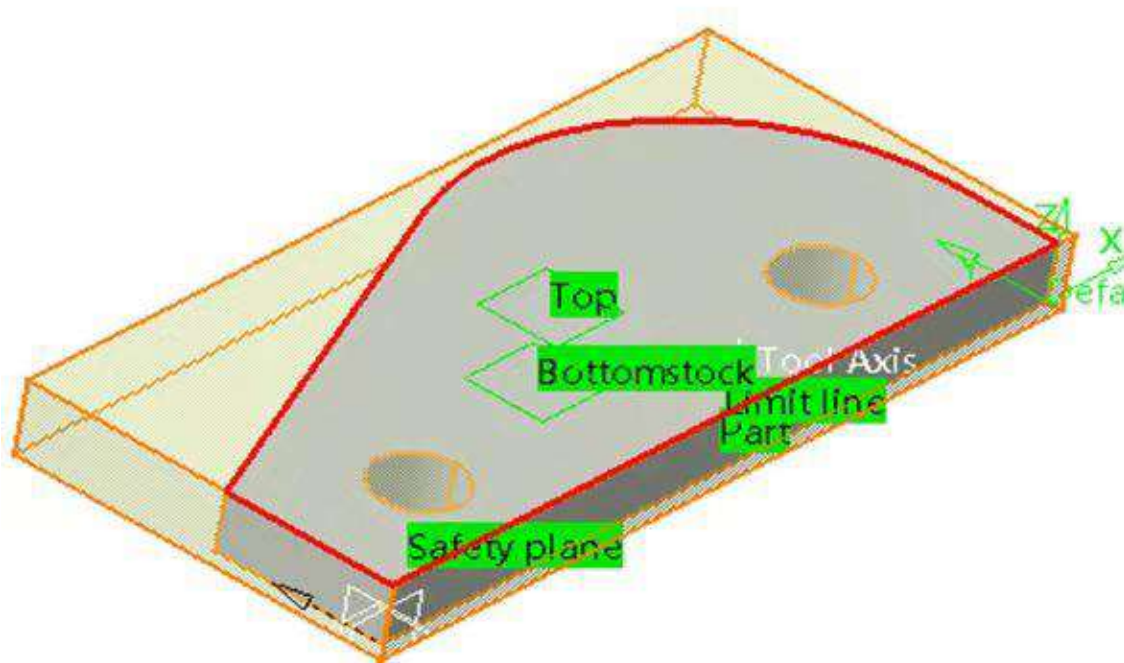
（A）、用CAXA制造工程师软件完成下图所示零件的数控编程，输出主要步骤和结果，提供总结报告；



第四次作业

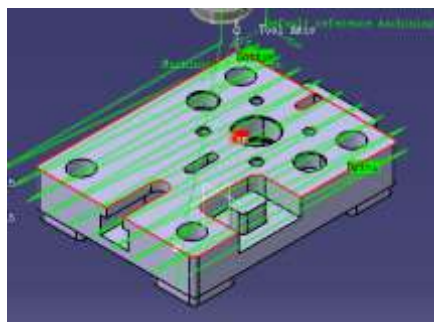
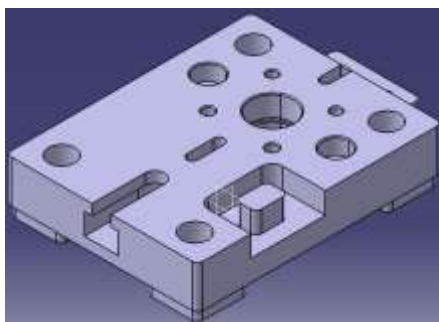
2. 图形交互自动编程（A或B任选一题）

（B）用CATIA数控加工模块的软件功能完成下图（即手工编程例子）所示零件的数控编程，输出主要步骤和结果，提供总结报告；

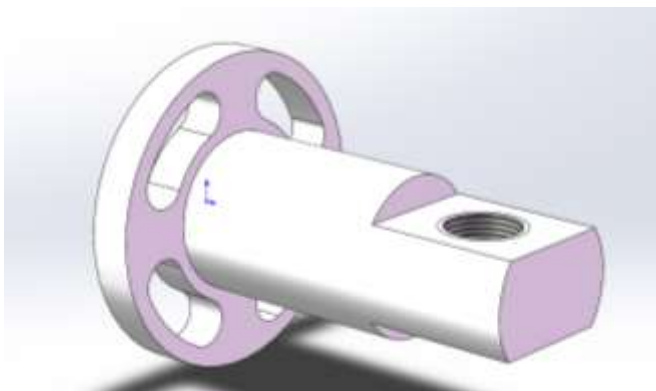


可选课程论文

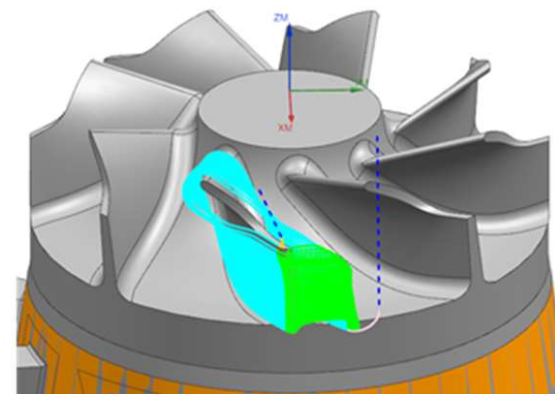
- 1、选择某一主流CAD/CAM系统，对某实例零件（如平面立体类、复杂回转类、曲面类）进行图形交互自动数控编程，写出总结报告。报告应该包括CAM系统的主要功能、主要步骤和结果文件。



平面立体类零件



复杂回转类零件



曲面类零件



可选课程论文

- 2、查找相关资料，总结分析国内外主要数控加工仿真软件的功能和使用过程，并提供若干案例视频。
- 3、查阅资料或参观机床展，综述各类加工中心及其CNC系统的组成、功能特点、主要产品及未来发展，撰写综述报告。