


# 数控机床操作

上海理工大学  
工程实训中心



# 教学基本要求

- 了解数控机床的主要结构组成、基本类型和特点。
- 了解数控机床编程的通用格式及主要指令。
- 初步掌握简单零件的数控铣削加工程序编制与基本加工操作

# 一. 数控机床简介

## 1. 数控机床产生的背景

1946年诞生了世界上第一台电子计算机。

1948年为了生产加工直升机螺旋桨叶片轮廓检测样板的机床，美国Pasons公司与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作研究三坐标数控铣床。

1952年试制成功第一台三坐标立式数控铣床。当时的数控装置采用电子管元件。

1955年进入实用阶段。生产100台交付军工使用。

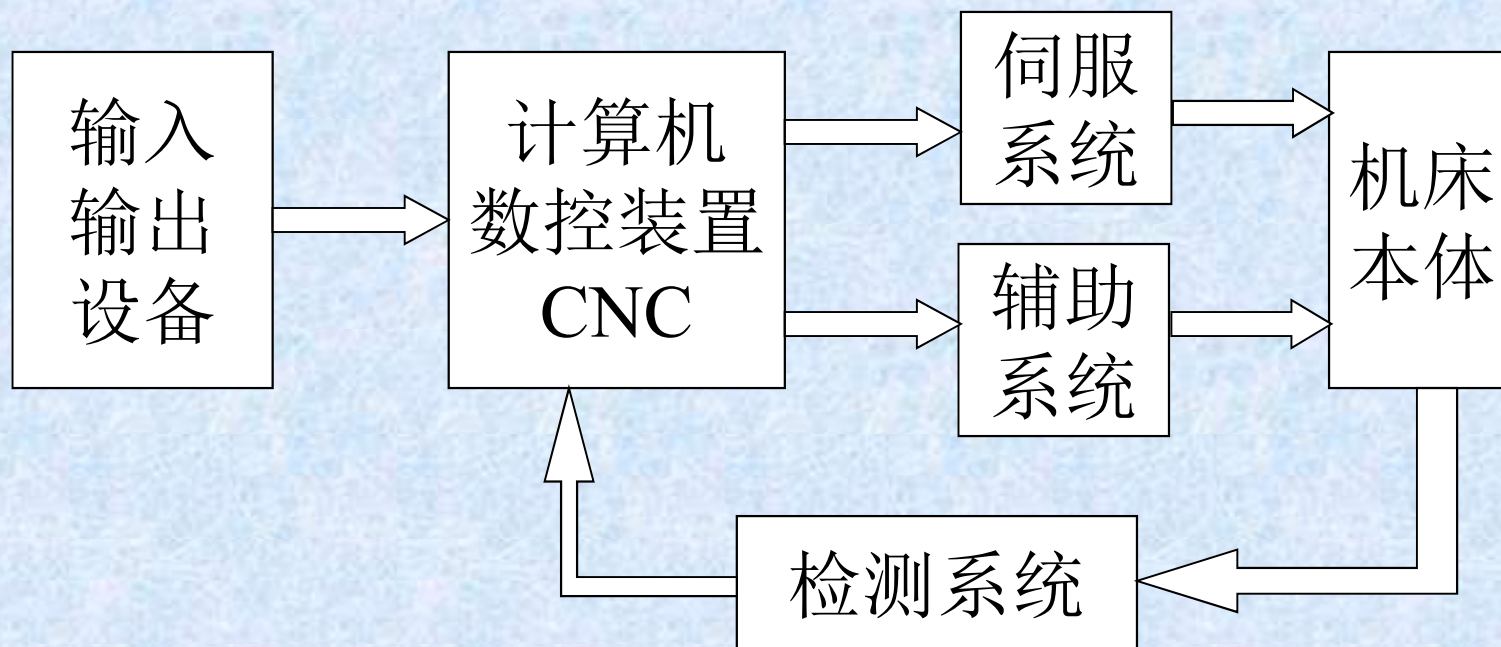
数控机床的发展经历了两个阶段

数控(NC)阶段(1952-1970年)

计算机数控(CNC)阶段(1970-至今)

# 一. 数控机床简介

## 2. 基本组成及原理



## 二. 数控机床的分类

### 1. 按工艺用途分类

- 金属切削类数控机床：指采用车、铣、镗、钻或复合切削加工工艺的数控机床。

如：数控车床、数控铣床、数控钻床、[复合加工机](#)

- 金属成型类数控机床：指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。

如：数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机等

- 特种加工类数控机床：如线切割、EDM、数控激光切割机

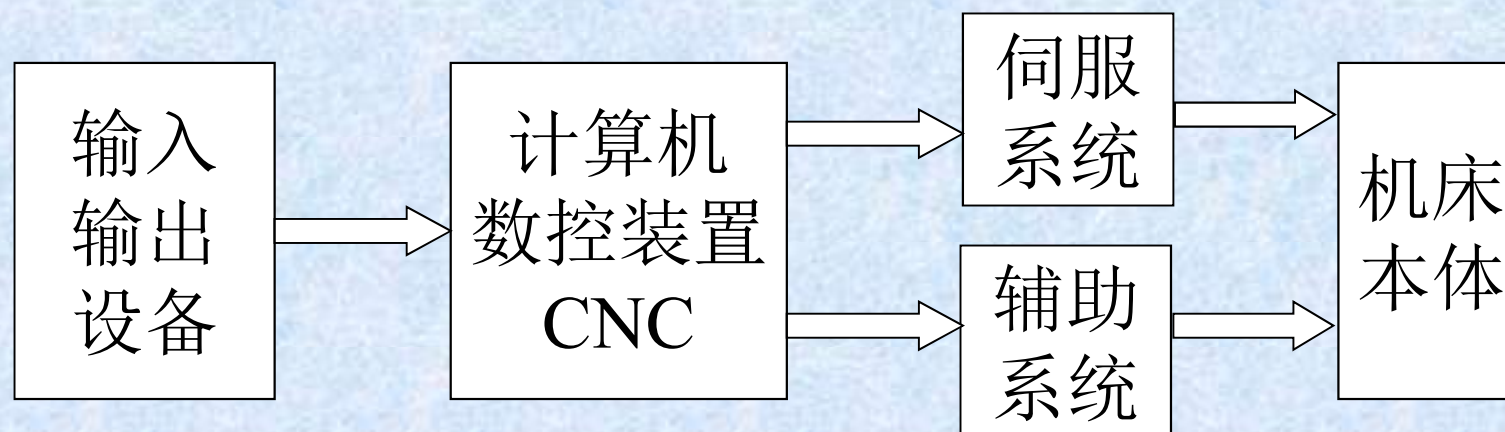
- 其他类数控机床：如三坐标测量机、机械手（工业机器人）、自动绘图机等

## 二. 数控机床的分类

### 2. 按反馈方式分类

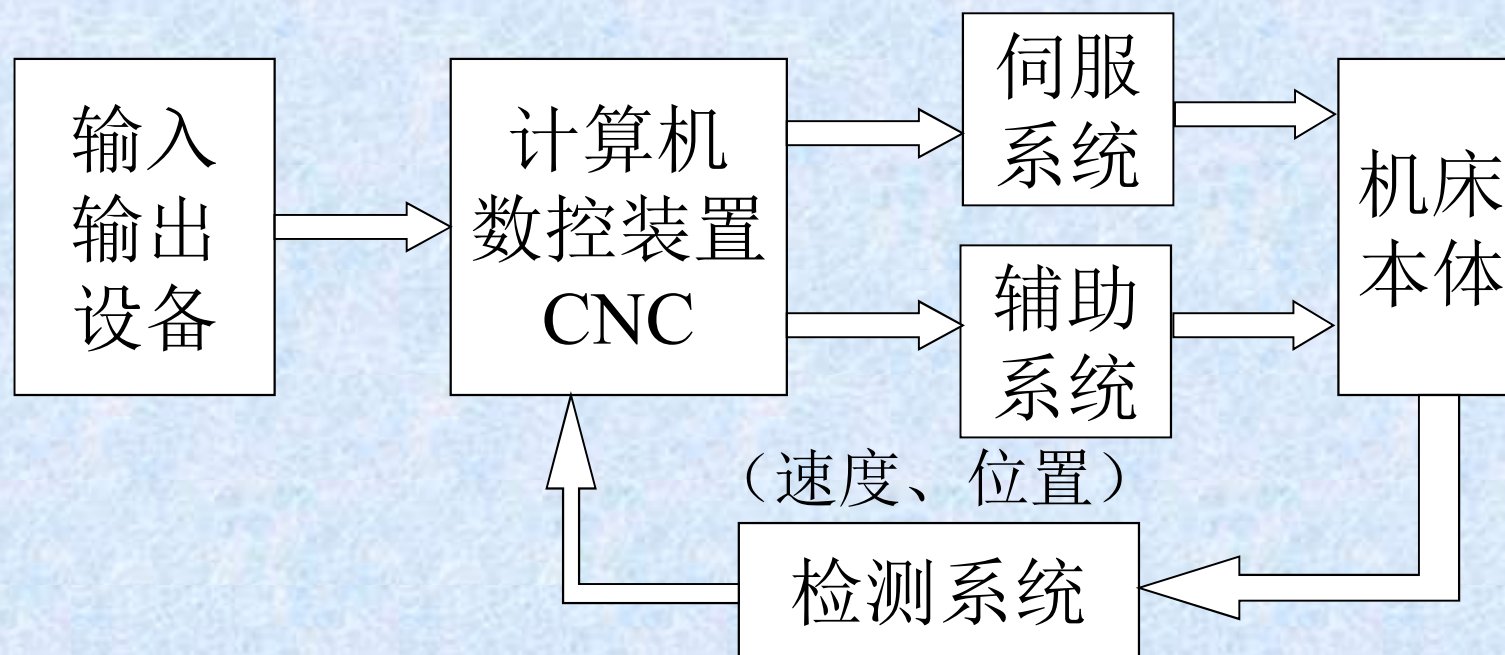
- 开环反馈系统
- 半闭环反馈系统
- 闭环反馈系统

## a) 开环控制系统



特点：结构简单，步进驱动、步进电机，无位置速度反馈

## b) 闭环控制系统



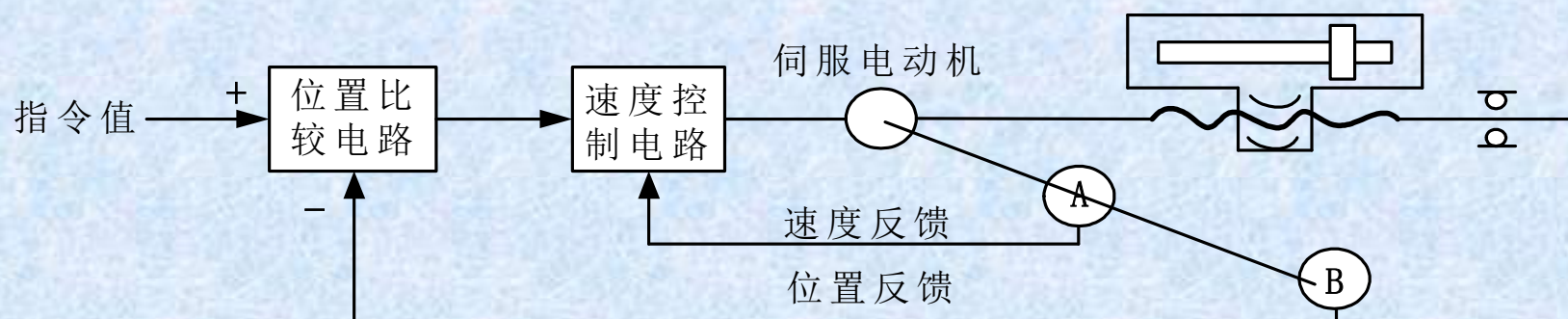
典型部件：光栅尺

特点：精度高，采用交流或直流伺服驱动及伺服电机，  
有直线位移、速度检测装置，价格贵，调试困难。



## c) 半闭环控制系统

这类机床与闭环控制机床的区别在于检测反馈信号不是来自安装在工作台上的直线位移测量元件，而是来自安装在电机轴或丝杆轴上的角位移测量元件。通过测量电机转角或丝杆转角推算出工作台的位移量，并将此值与指令值进行比较，用差值来进行控制。

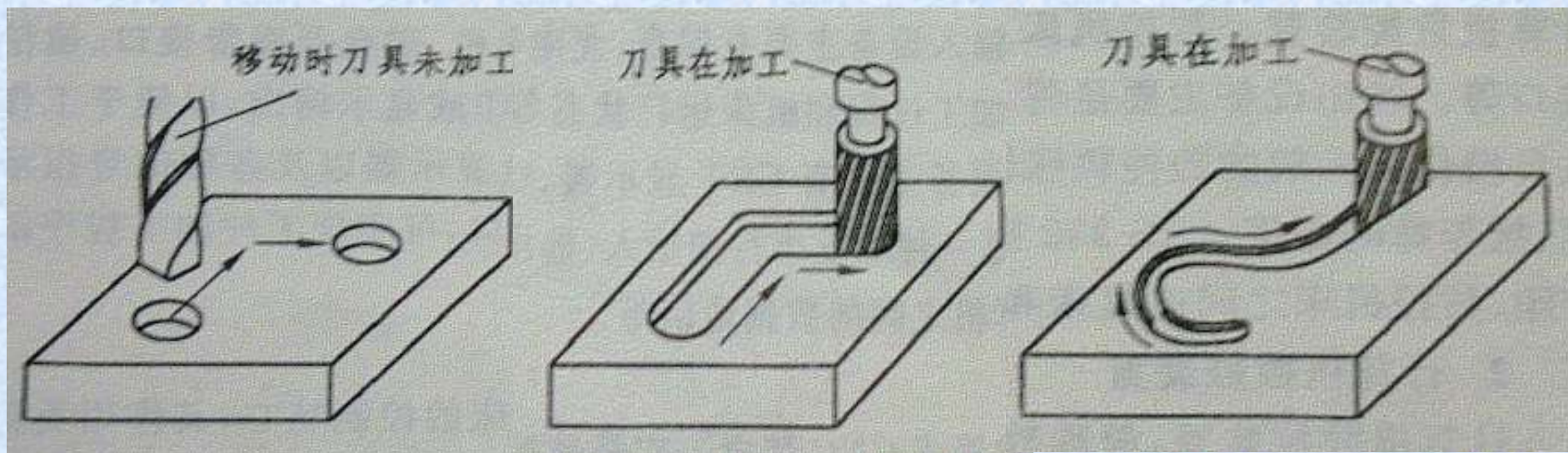


典型部件：编码器

特点：精度较高，采用交流或直流伺服驱动及伺服电机，  
有角位移、角速度检测装置，结构紧凑

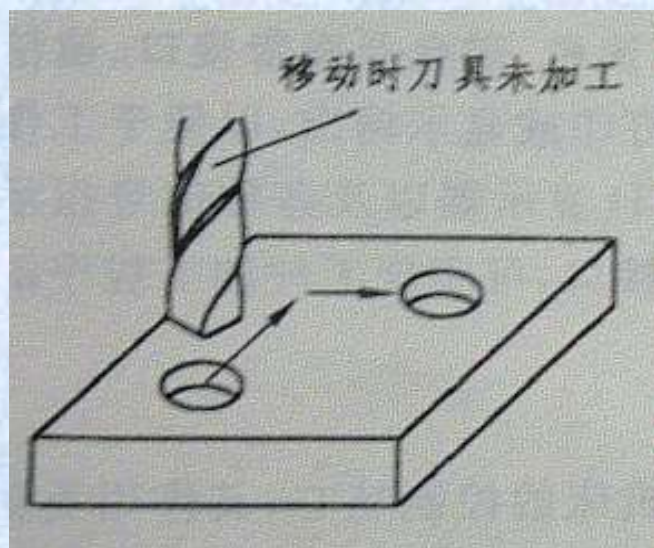
### 3. 按控制运动方式分类

- 点位控制的数控机床
- 直线控制的数控机床
- 轮廓控制的数控机床



# 1) 点位控制的数控机床

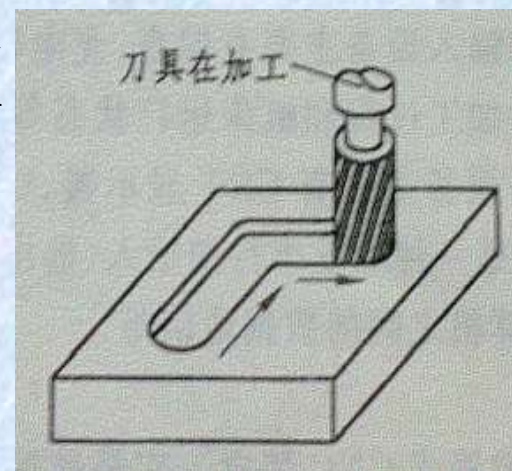
- 只控制刀具从一点到另一点的位置，而不控制移动轨迹，
  - 在定位移动中不进行切削加工。
- 如：数控钻床、数控冲床。



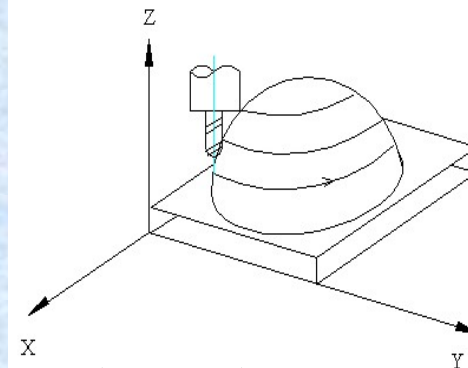
## 2) 直线控制的数控机床

- 控制刀具或机床工作台以给定速度，沿平行于某一坐标轴方向，
- 由一个位置到另一个位置的精确移动。也称点一直线控制方式（单轴运动）

如：数控车床、数控钻床  
和数控铣床



### 3 ) 轮廓控制的数控机床



- 对两个或两个以上的坐标同时进行控制（多轴联动）。
- 它不仅控制机床移动部件的起点与终点，而且要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量，即要控制轨迹，加工出要求的轮廓。
- 运动轨迹是任意的直线、圆弧、螺旋线等如：数控车床、数控铣床、加工中心等。

## 4. 按联动轴数分类

- 两轴联动：如：普通数控车床及部分数控铣床、多用于加工二维轮廓。
- 二轴半： $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 三轴的任意两个轴联动，第三轴作周期性等距运动。
- 三轴联动：如数控铣床及加工中心，可加工三维曲面。
- 多轴联动：指四轴或四轴以上轴数联动，可加工复杂的三维曲面，如叶片、涡轮等。



## 三. 数控机床加工特点

- 加工精度高

加工精度一般可达0.01-0.001mm

- 具有高度柔性

改变加工程序就可以改变加工的零件。适用于不同类型零件频繁更换。

- 加工质量稳定、可靠

- 生产率高

- 改善劳动条件

- 利于生产管理现代化（无纸化，远程作业）

## 四. 数控机床应用范围

- 多品种，小批量
- 轮廓要求高、结构复杂
- 试制品
- 关键零件
- 周期短
- 多工序零件



# 五. 数控铣床加工

## 实习数控铣床简介

- 数控铣床

沈阳机床厂——VMC850E

主轴转速：30-6000r/min 主轴功率3.7KW

工作行程：X850mm Y500mm Z530mm

主轴锥孔：BT40

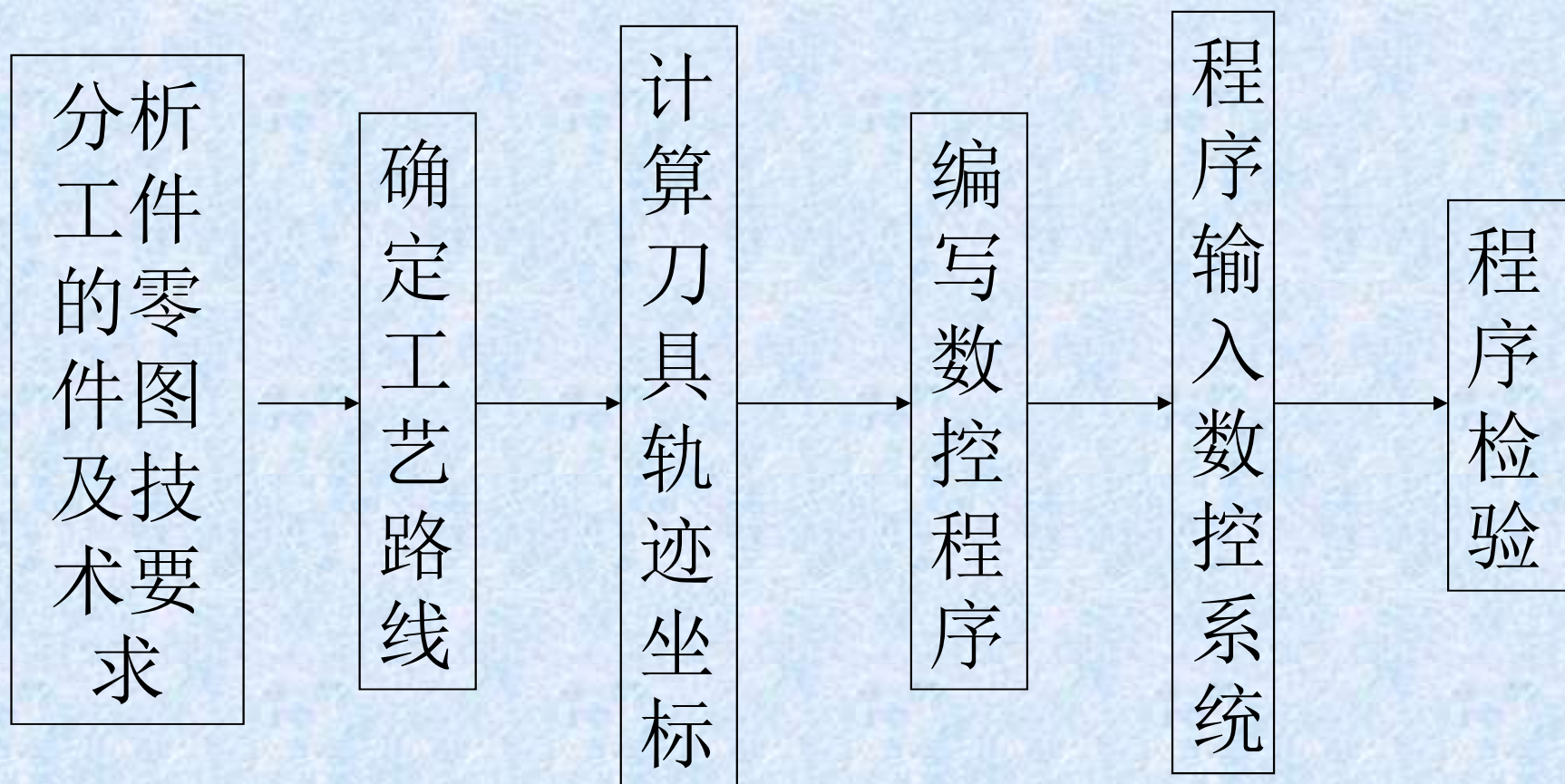
快速移动：10m/min

CNC：fanuc-0i-MD

## 二、数控加工的基本概念

- 手工编程
- 自动编程

# 手工编程的步骤



# 1、坐标系确定

## (1)机床坐标系

数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置，机床运动部件换刀点，参考点等特殊位置及运动范围，即描述机床运动，产生数据信息而建立的几何坐标系。通过机床坐标系的建立，可确定机床位置关系，获得所需的相关数据

### 机床坐标系确定的原则

刀具相对静止工件而运动的原则

无论机床具体结构，均视为工件固定，刀具相对工件运动

# 1、坐标系确定

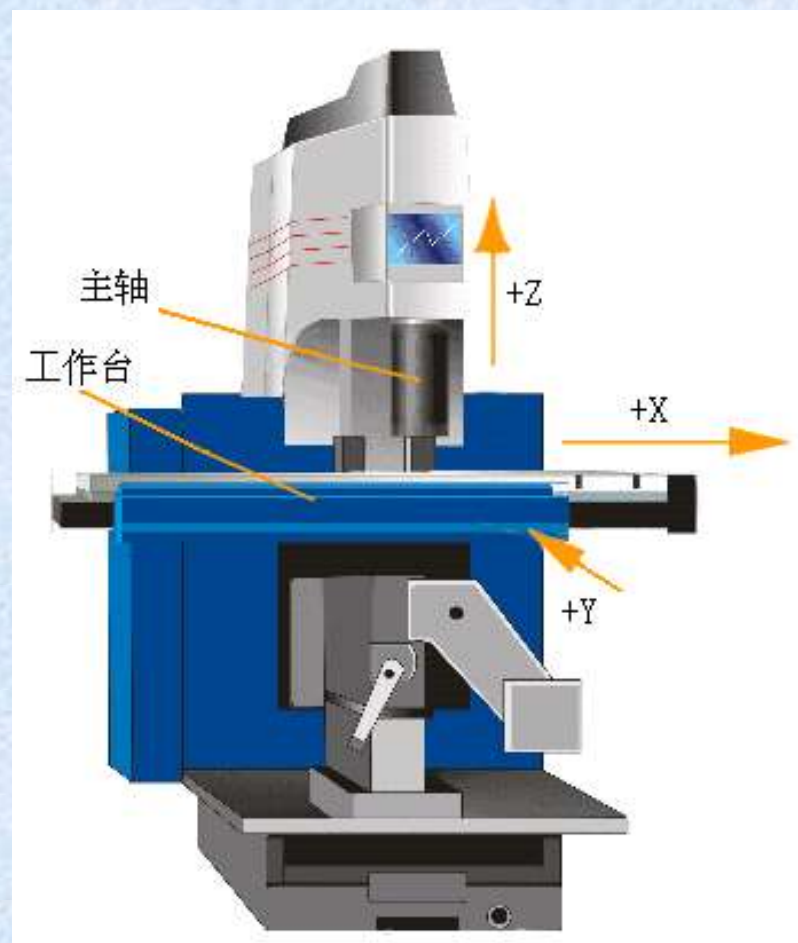
## (1) 机床坐标系

**Z轴**：平行于机床主轴（远离工件的方向为+）。

**X轴**：为水平方，且垂直于Z轴并平行于工件装夹面（远离工件的方向为+）。

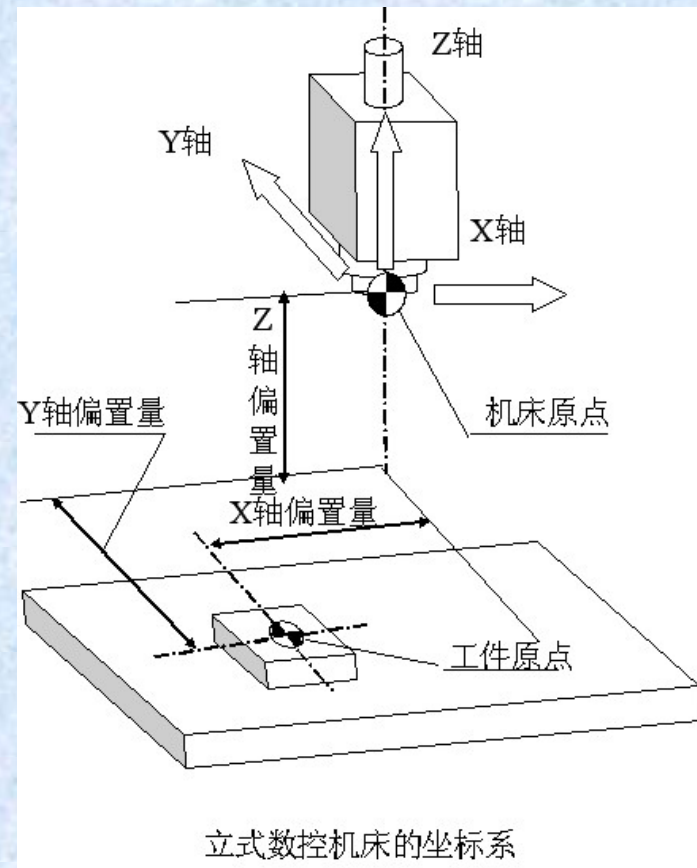
**Y轴**：在确定了X、Z轴后，可按右手直角笛卡尔坐标系确定Y轴的正方向

符合右手螺旋定则



## (2) 工件坐标系

- 由编程人员根据具体情况确定工件坐标系的原点，但坐标轴的方向应与机床坐标系一致
- 确定刀具和程序的起点，并且与之有确定的尺寸关系。
- 不同的工件建立的坐标系也可有所不同



## (2) 工件坐标系

- 工件坐标系的原点选择
  - 与设计基准一致
  - 尽量选择尺寸精度高，表面粗糙度低的表面
  - 要尽量满足编程简单、尺寸换算少
  - 便于测量与检测
  - 编程原点应选在尺寸标注的基准点
  - 对称零件或以同心圆为主的零件，编程原点应选在对称中心线或圆心上。

Z 轴的程序原点通常选在工件的上表面。

# 3、程序结构与格式

## 程序的组成

一个完整的数控加工程序由程序名、程序体和程序结束三部分组成。

程序段：由顺序号、若干代码字和结束符号组成；每个代码字，由字母和数字组成

N30 G91 G01 X50. Y60. F100 S600 M03 ;

程序段号

准备功能G指令

目的点坐标值

进给速度指令

主轴转速指令

辅助功能M代码

程序段结束符号



## 2、G准备功能(铣床)

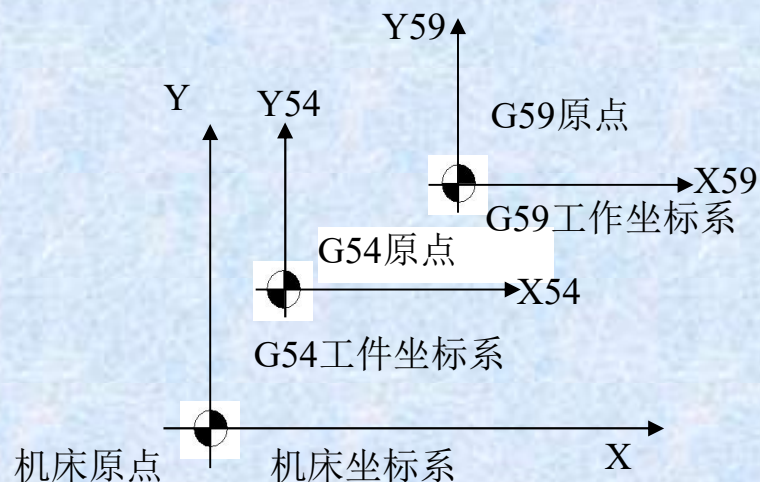
| G代码     | 功能        | 格式              |
|---------|-----------|-----------------|
| G00     | 快速定位      | G00 X_ Y_ Z_    |
| G01     | 直线插补      | G01 X_ Y_ Z_ F_ |
| G02     | 顺圆插补      | G02 X_ Y_ R_ F_ |
| G03     | 逆圆插补      | G03 X_ Y_ R_ F_ |
| G02     | 顺圆插补 (整圆) | G02 X_ Y_ I_ J_ |
| G03     | 逆圆插补 (整圆) | G03 X_ Y_ I_ J_ |
| G40-G42 | 刀具半径补偿    | G41 X_ Y_ Dn_   |
| G54-G59 | 选择工作坐标系   | G54             |
| G90     | 绝对值编程     | G90             |
| G91     | 增量值编程     | G91             |

## (1)、工件坐标系选择G54~G59

格式: G54

.....

G59



- 为避免尺寸换算，需多次把工件坐标系平移。将工件坐标(编程坐标)原点平移至工件基准处，称为编程原点的偏置。
- 皆以机床原点为参考点，分别以各自与机床原点的偏移量表示。

## (2)、绝对坐标编程与增量坐标编程G90、G91

G90: 绝对坐标编程指令。

刀具运动过程中所有的位置坐标均以固定的坐标原点为基准来给出。

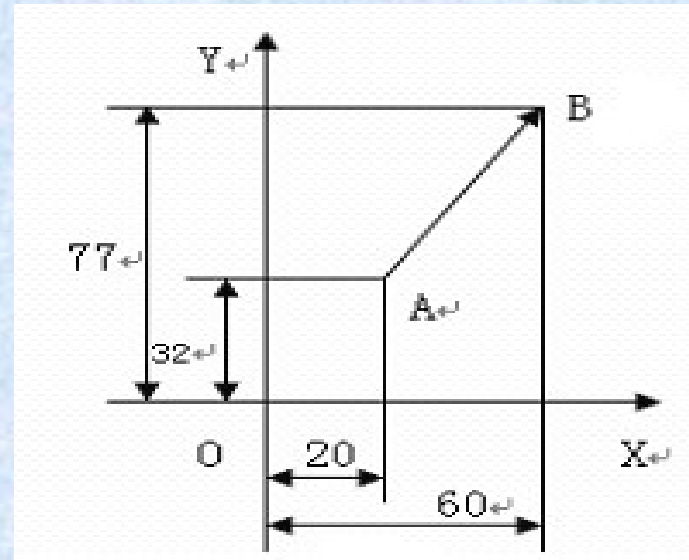
右图中, A点坐标为 $X_A=20$ ,  $Y_A=32$ ,  
B点坐标为 $X_B=60$ ,  $Y_B=77$ 。

G91: 增量坐标编程指令,

又叫相对坐标编程指令。

刀具运动的位置坐标是以刀具前一点的位置坐标与当前位置坐标之间的增量给出的, 终点相对于起点的方向与坐标轴相同取正、相反取负。

右图中, 加工路线为A B, 则B点相对于A点的增量坐标为 $U_B=40$ ,  $V_B=45$ 。



### (3)、快速点定位 G00

格式: G00 X\_ Y\_ Z\_ ;

X\_ Y\_ Z\_ : 终点坐标值

刀具以点定位控制方式快速移动到指定位置

用于刀具的空行程运动。

进给速度F对G00程序段无效。

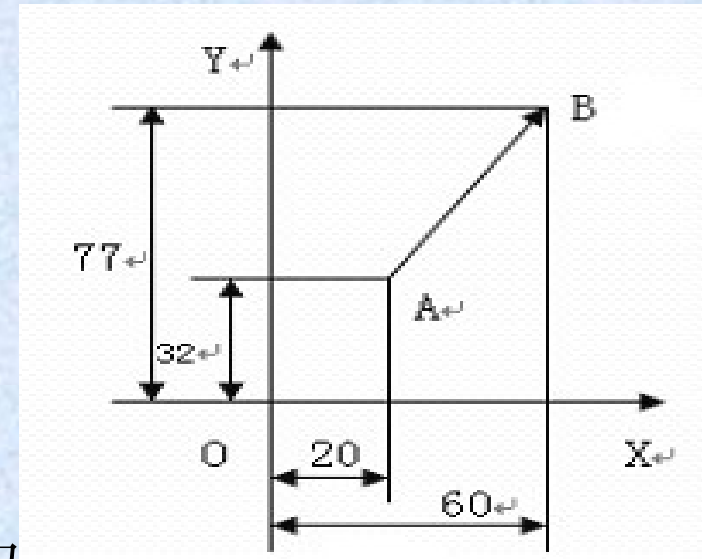
图中刀具从A快速运动到B, 编程方式为.

绝对方式: G90 ;

G00 X60. Y77. ;

增量方式: G91 ;

G00 X40. Y45. ;



## (4)、直线插补指令G01

格式: G01 X \_ Y \_ Z\_ F \_;

X\_Y\_Z\_: 直线终点坐标值

F: 速度指令

可为绝对坐标值或相对坐标值

如: A到B点

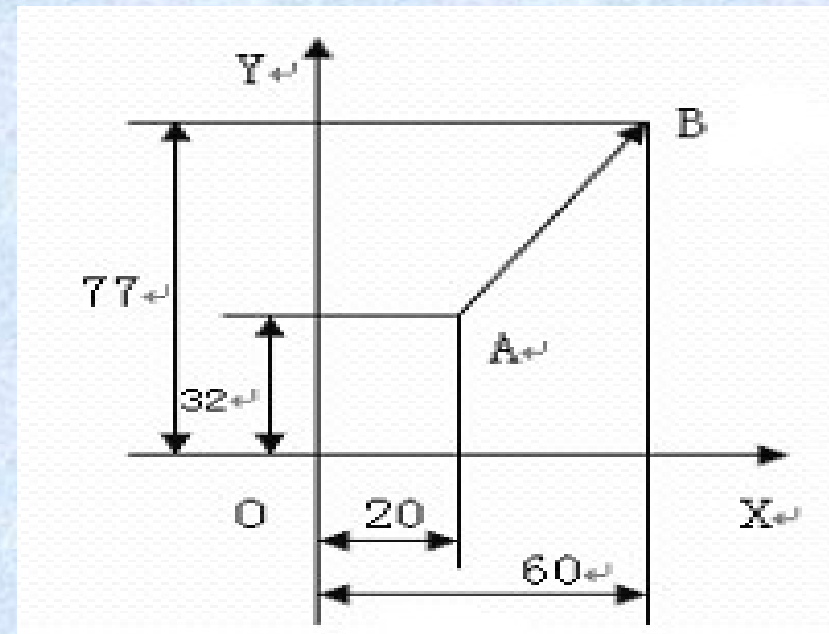
G90 ;

G01 X60. Y77. F100;

G91 ;

G01 X40. Y45. F100;

\*程序中首次出现的插补指令 (G01、G02、G03) 一定要有F指令, 否则出错! 后续程序中如速度相同可省。如速度改变不可省。



## (5)、圆弧插补指令G02、G03

格式: **G02 X\_\_Y\_\_ R\_\_ F\_\_**; 顺圆插补

**G03 X\_\_Y\_\_ R\_\_ F\_\_**; 逆圆插补

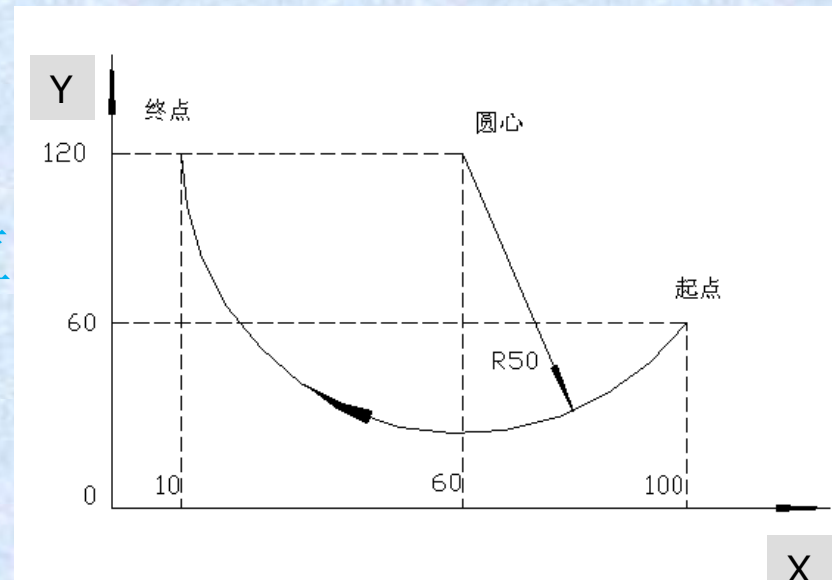
X、Y: 圆弧终点坐标值

R: 圆弧半径

圆弧 小于或等于180度, R为正值  
圆弧大于180度, 则R值为负。

F: 圆弧插补的进给速度

如: **G02 X10. Y120. R50. F80;**



# 圆弧插补指令 G02、G03

例:加工顺弧AB、BC、CD

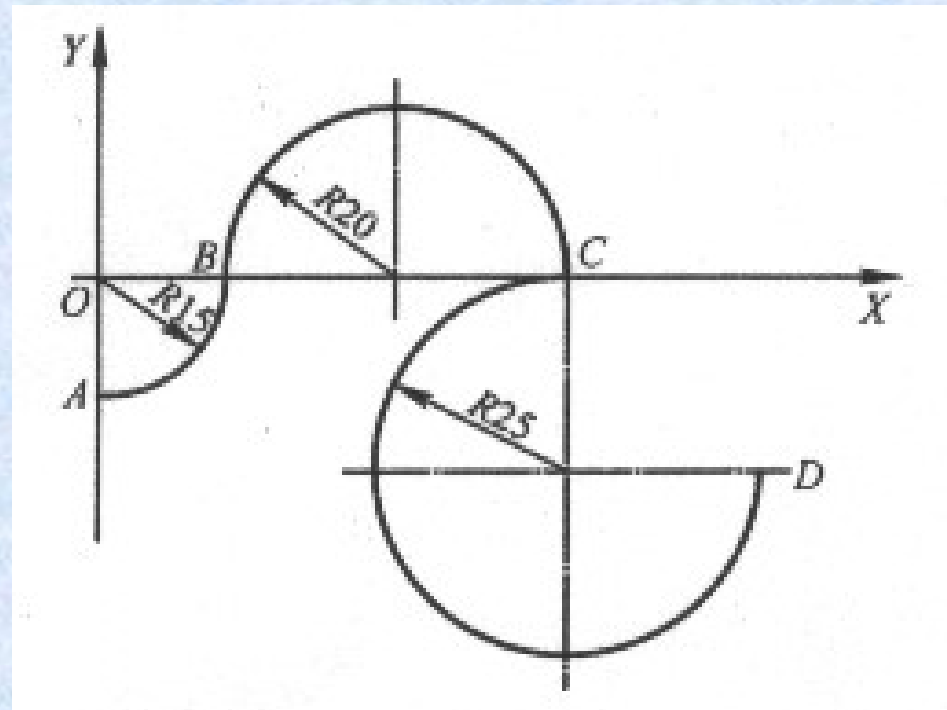
G90

G00 X0 Y-15

G03 X15 Y0 R15 F100

G02 X55 Y0 R20

G03 X80 Y-25 R-25



### 3、辅助功能M代码

| M代码 | 功能    | 说明                           |
|-----|-------|------------------------------|
| M01 | 有条件暂停 | 面板按钮或CNC中选择为“开”              |
| M00 | 无条件暂停 |                              |
| M03 | 主轴正转  |                              |
| M04 | 主轴反转  |                              |
| M05 | 主轴停   |                              |
| M08 | 开冷却泵  |                              |
| M09 | 关冷却泵  |                              |
| M30 | 程序结束  | 程序结束，主轴、冷却泵关并回到程序开始，必须在程序的最后 |

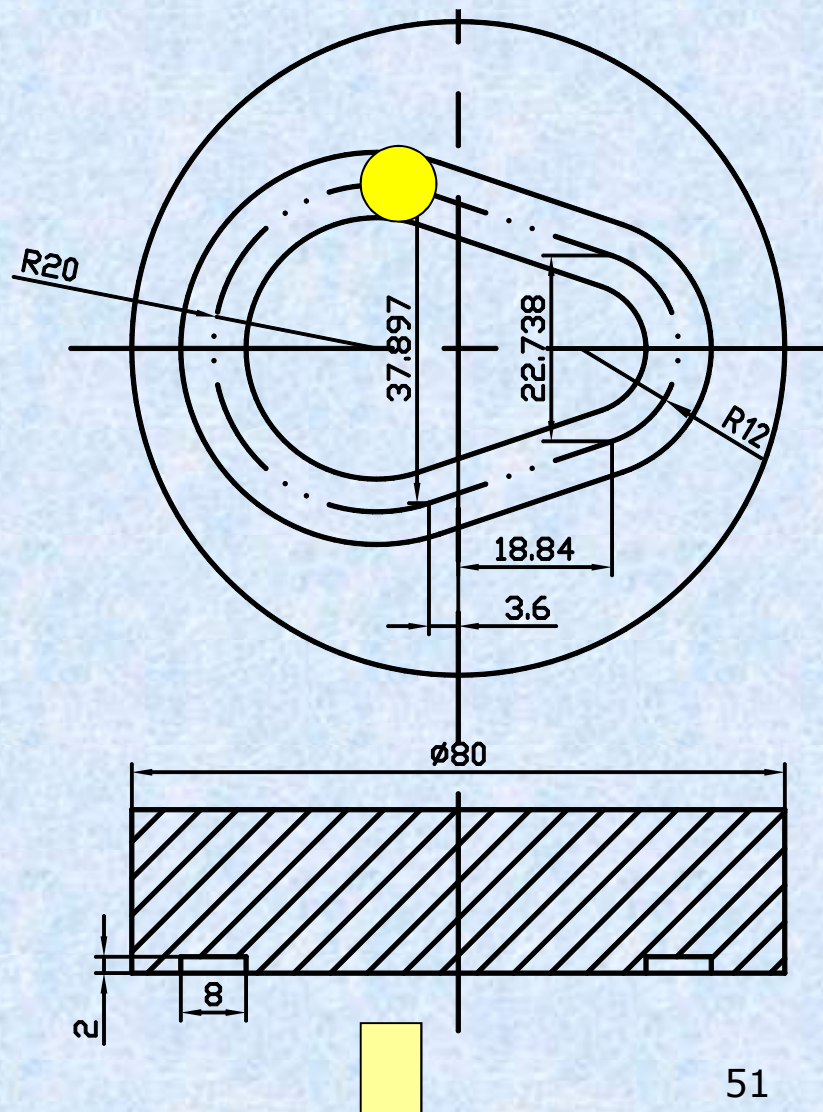
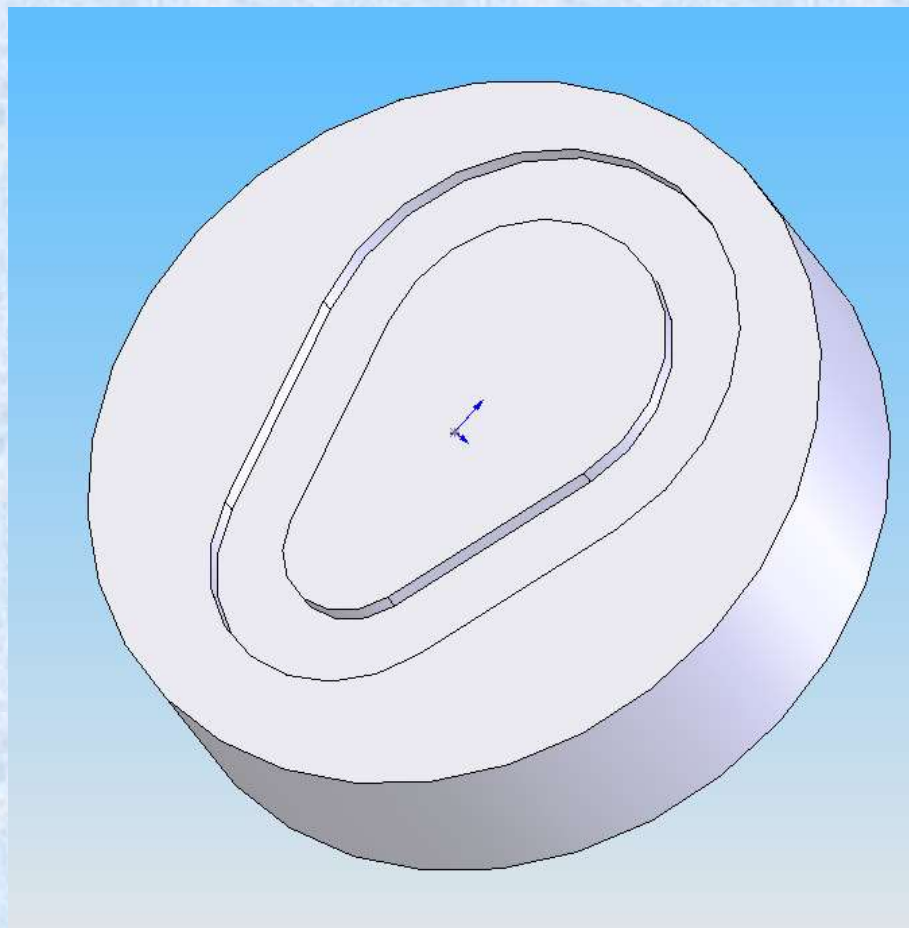


## 4、其他功能

| 代码           | 功能   | 说明                 |
|--------------|------|--------------------|
| <b>S1000</b> | 主轴功能 | 主轴转1000r/min，默认    |
| <b>F100</b>  | 进给功能 | 以100mm/min进给，默认G98 |

# 加工实例

零件名:凸轮槽 材 料:铝合金



# 加工实例

O0001; 程序名

G54G90G00Z150.; 选择工件坐标系，并离工件上表面150mm

G00 X-3.6 Y18.948; 铣刀快速定位至起刀点

M03 S1000; 主轴以1000/m转正转

G00 Z50.; 快速定位Z

G00 Z10.;

G01 Z-2. F30; 下刀

G01 X18.84 Y11.369F100;

G02 Y-11.369 R12.;

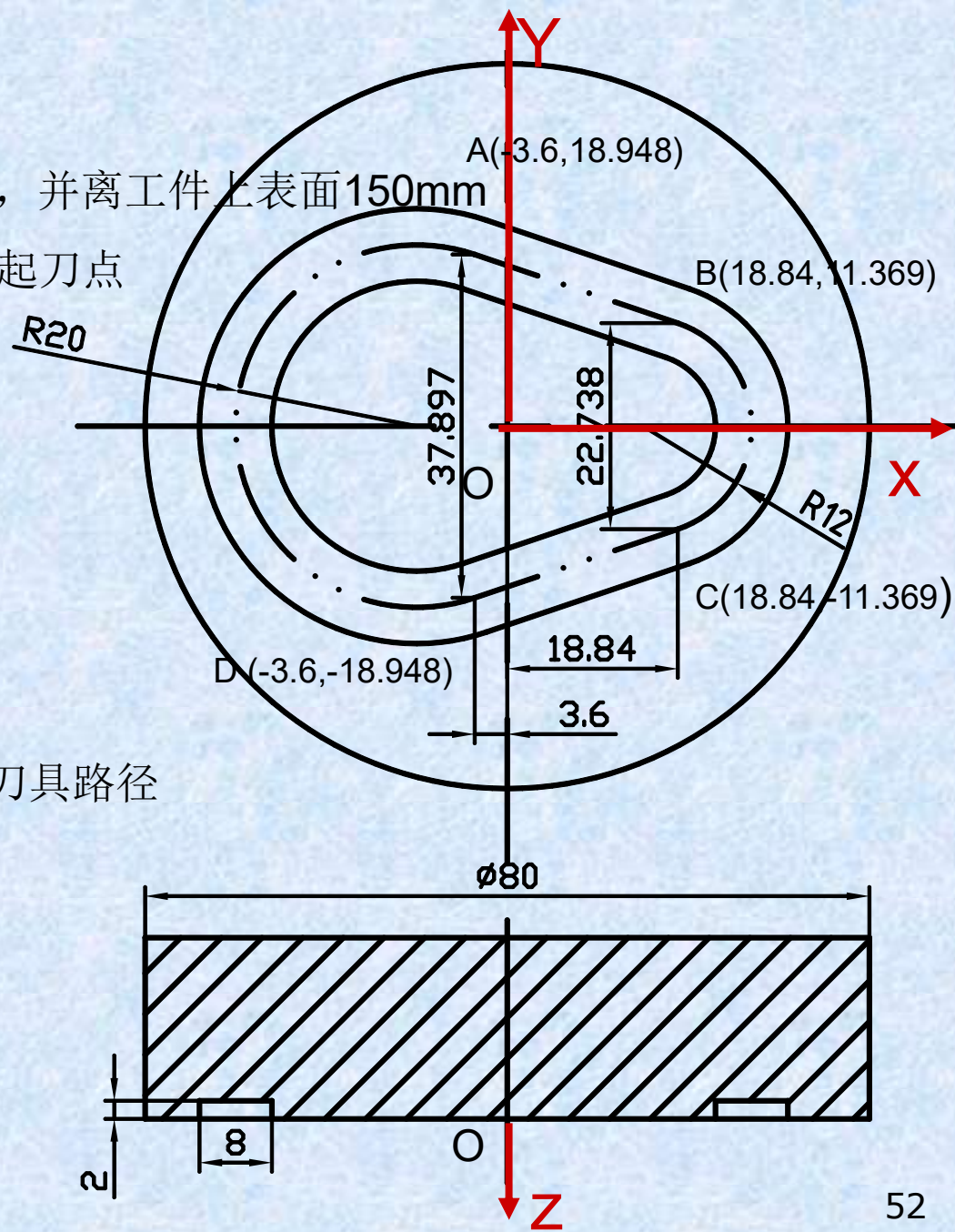
G01 X-3.6 Y-18.948;

G02 X-3.6 Y18.948 R-20.;

G00 Z50.; 抬刀至安全位置

M05; 主轴停转

M30; 程序结束



刀具路径