



高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敦生

# 数控机床与 编程



主编◎吴明友 程国标



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>



高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵放生

# 数控机床与 编程

主 编 吴明友 程国标

副主编 卢桂萍 保金凤 刘民杰

王卉军

参 编 刘 虎

SHUKONG JICHUANG YU BIANCHENG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉



## 内 容 简 介

全书内容共分10章,主要介绍了三部分内容:数控机床,包含数控系统、数控伺服系统、数控机床机械结构、数控机床编程基础等;数控机床手工编程,含有数控加工工艺,包括配有华中数控系统、FANUC数控系统、西门子系统的数控车床和数控铣床的手工编程;数控机床自动编程,包括基于UG NX 7.0的数控车床和数控铣床的自动编程。尽量通过大量实例来说明问题,突出了实用性和可操作性。本书配有大量的例题,每章后附有习题,便于教和学。

本书适合作为应用型本科相关专业的数控类课程的教材,也可作为大中专院校相关专业和社会相关培训班的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床与编程/吴明友 程国标 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.1  
ISBN 978-7-5609-8491-9

I. 数… II. ①吴… ②程… III. 数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 276220 号

### 数控机床与编程

吴明友 程国标 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:吴 晗

封面设计:陈 静

责任校对:朱 玢

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:仙桃市新华印务有限公司

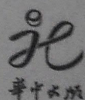
开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:26.75

字 数:680千字

版 次:2013年1月第1版第1次印刷

定 价:48.00元



华中科技出版社

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究





## 高等院校机械类应用型本科 “十二五”创新规划系列教材

画法几何及机械制图	画法几何及机械制图习题集	制造工艺实训课程
工程制图(非机类)	工程制图习题集(非机类)	现代设计方法
机械原理	机械设计	工程材料及材料成形技术基础
理论力学	材料力学	工程力学
互换性与技术测量	互换性与技术测量实验指导书	液压与气压传动
机械制造技术基础	机械基础实验	机械工程控制基础
机械设计基础	液压与气压传动综合实验	机械工程测试技术
金工实训	机械制造技术基础实验	塑性成形工艺与模具设计
机电传动控制	机械设计综合实验	机械制造装备设计
数控技术课程设计	机电控制基础实验	毕业设计指导书
机电传动课程设计	数控机床故障诊断及维护	生产实习指导书
机械设计课程设计	数控技术	电工电子技术
机械原理课程设计	数控机床与编程	模拟电子技术
机械设计基础课程设计	UG计算机辅助设计与制造	冲压模具设计
机械制造技术基础课程设计	机械CAD/CAM基础	计算机辅助绘图(AutoCAD)

明确 **人才** 定位, 知识 **内容** 新颖, 权威 **专家** 把关  
强化 **应用** 能力, 突出 **实践** 创新, 面向 **就业** 需求

华中科技大学出版社 机械分社

E-mail: 279771046@qq.com  
电话: 027-87648431  
http://www.hustp.com

策划编辑: 俞道凯  
责任编辑: 吴 晗  
封面设计: 陈 静

上架建议 机械

ISBN 978-7-5609-6491-9



9 787560 964919 >

定价: 48.00元

# 目 录

## 第1篇 数控机床

第1章 数控机床概述.....	(1)
1.1 数控系统的组成及工作原理 .....	(1)
1.2 数控机床的特点及分类 .....	(6)
1.3 数控机床的发展.....	(12)
习题 .....	(15)
第2章 数控系统 .....	(16)
2.1 数控系统的总体结构及各部分功能.....	(16)
2.2 数控系统的硬件.....	(19)
2.3 数控系统的软件.....	(22)
2.4 数控系统的插补原理.....	(26)
习题 .....	(40)
第3章 数控伺服系统 .....	(41)
3.1 概述.....	(41)
3.2 进给伺服系统的驱动元件.....	(45)
3.3 进给伺服系统的检测元件.....	(57)
3.4 主轴驱动.....	(65)
3.5 位置控制.....	(68)
3.6 直线电动机进给系统简介.....	(70)
习题 .....	(72)
第4章 数控机床机械结构 .....	(73)
4.1 数控机床结构的组成、特点及要求 .....	(73)
4.2 数控机床的进给运动及传动机构.....	(76)
4.3 数控机床的主传动及主轴部件.....	(84)
4.4 自动换刀机构.....	(93)
习题.....	(101)
第5章 数控机床编程基础.....	(103)
5.1 数控机床坐标系 .....	(103)
5.2 数控编程中的数学处理 .....	(106)
5.3 数控加工编程内容与方法简介 .....	(113)
习题.....	(115)

## 第2篇 数控机床的手工编程

第6章 数控加工工艺	(116)
6.1 数控加工工艺概述	(116)
6.2 数控车削(车削中心)加工工艺	(117)
6.3 数控铣削(镗铣削中心)加工工艺	(138)
习题	(151)
第7章 数控车床手工编程	(153)
7.1 华中数控系统的数控车床手工编程	(153)
7.2 FANUC 数控系统数控车床手工编程	(173)
7.3 西门子数控系统的数控车床手工编程	(200)
习题	(212)
第8章 数控铣床手工编程	(215)
8.1 华中数控系统的数控铣床手工编程	(215)
8.2 FANUC 系统数控铣床(加工中心)的手工编程	(236)
8.3 西门子数控系统的数控铣床手工编程	(263)
习题	(289)

## 第3篇 数控机床的自动编程

第9章 UG NX 7.0 数控车削自动编程	(293)
9.1 数控车削加工概述	(293)
9.2 基于 UG NX 7.0 创建车削加工刀具	(295)
9.3 创建车削加工几何体	(295)
9.4 粗加工	(296)
9.5 端面加工	(307)
9.6 精加工	(307)
9.7 槽加工	(308)
9.8 螺纹加工	(310)
9.9 车削加工数控编程综合实例	(314)
习题	(332)
第10章 UG NX 7.0 数控铣床(加工中心)自动编程	(335)
10.1 平面铣数控编程	(335)
10.2 钻孔加工数控编程	(351)
10.3 型腔铣数控编程	(366)
10.4 固定轴曲面轮廓铣加工	(382)
10.5 铣削数控编程综合实例	(395)
习题	(402)

附录 A 数控车床数控系统指令 .....	(404)
A.1 华中世纪星 HNC-21T 数控系统 G 功能指令表 .....	(404)
A.2 华中世纪星 HNC-21T 数控系统 M 指令功能 .....	(405)
A.3 西门子数控系统主要 G 功能指令表 .....	(406)
A.4 西门子数控系统主要 M 代码及功能指令表 .....	(407)
附录 B 数控铣床数控系统指令 .....	(408)
B.1 华中世纪星 HNC-21M 数控系统 G 指令功能表 .....	(408)
B.2 华中世纪星 HNC-21M 数控装置 M 指令功能一览表 .....	(409)
B.3 FANUC 数控系统准备功能 G 代码表 .....	(409)
B.4 FANUC 数控系统辅助功能 M 代码表 .....	(411)
B.5 SINUMERIK 802D G 指令功能表 .....	(413)
B.6 SINUMERIK 802D M 指令功能表 .....	(415)
参考文献 .....	(416)

## 7.2 FANUC 数控系统的数控车床手工编程

FANUC 公司创建于 1956 年的日本，中文名称发那科，是当今世界上最大的数控系统供应商，目前广泛应用在数控车床上的数控系统型号为 FANUC 0—TD、FANUC 0i(mate)-TC、FANUC 0i(mate)-TD、FANUC 0i(mate)-TA 等，本节主要介绍 FANUC0i 数控系统的数控车床手工编程的方法。

### 7.2.1 FANUC 数控系统车削加工程序

例 7.1：编制如图 7-1 所示图形的 FANUC 系统数控加工程序。

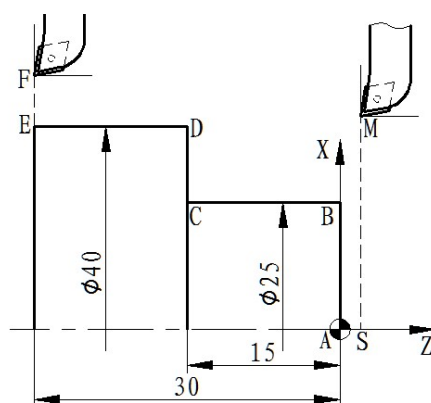


图 7-1 车床编程示例

程序	Z0;
O99;	X25.;
N10 G00 G40 G97 G99 S600 M03;	Z-15.;
T0202 F0.2;	X40.;
N20 X42. Z2.;	Z-30.;
N101 G01 X0;	N107 G00 X50.;

N60 M05;	/切削进给到 A 点
N70 M30;	/切削进给到 B 点
说明	/切削进给到 C 点
/程序开始	/切削进给到 D 点
/主轴正转 600r/min,	/切削进给到 E 点
/T2 号刀, 进给量 0.2mm/r	/快速退刀到 F 点
/切削进给到 M 点	/主轴停转
/刀具到达起始点 S 点	/程序结束

1. 程序开始, 以地址符 **O** 和四位数字组成的程序号表示, 其取值范围为 **O0001~9999**。程序号可以写成 **O1**、**O12**、**O012** 等简化形式。
2. 程序段号, 作为程序段的标识, 主要用于程序段的检索和调用, 由地址符 **N** 和四位数字组成, 取值范围为 **N0001~9999**。根据需要, 程序段可有可无, 并不影响程序执行的先后逻辑顺序。程序段号可以写成 **N1**、**N21**、**N021** 等简化形式。
3. 准备功能 **G**, 指定数控车床的运动方式 (如快进、直线和圆弧插补等), 由地址符 **G** 和两位数字组成如 **G00**、**G01**、**G02** 等。
4. 坐标移动指令, 由 **X(U)/Z(W)** 和带符号的数字组成, 其中正号可省略, 如 **X(U) 23.5**, **Z(W) -35.8** 等。小数点以前不能超过 4 位数, 小数点以后不能超过 3 位数。

### 7.2.2 FANUC 系统数控车床的编程原则

#### 1. 小数点的使用

FANUC 系统中输入的坐标地址符 (如 **X**、**Z**、**I**、**K**、**U**、**W**、**R** 等) 后面跟的数字有无小数点是有区别的, 如刀具在 **X** 轴方向移动 100mm 记作 **X100.0** 或 **X100.**, 而 **X100** 则代表在 **X** 轴方向移动 0.1mm。这是 FANUC 系统的默认设置, 可以通过修改系统参数关闭该功能。

#### 2. 直径编程与半径编程

数控车床加工横截面为圆形的回转体类零件, 所以零件的径向尺寸可以指定为直径或半径。当坐标地址 **X** 后面的尺寸数字表示直径时, 称为直径编程, 当坐标地址 **X** 后面的尺寸数字表示半径时, 称为半径编程。如图 7-1 所示, 工件坐标系原点为 **A**, 刀具从 **A** 点切削进给到 **B** 点的直径编程和半径编程为:

直径编程: **G01 X25.;**

半径编程: **G01 X12.5;**

可以通过修改数控系统的参数将 **X** 向设置为直径编程或半径编程, 大部分数控系统将直



径编程作为默认设置,FANUC 系统也不例外,所以本书中的数控车削编程均为直径编程模式。此外,无论是直径还是半径编程模式,圆弧插补时的地址 R、I、K 后面的数字均以半径值表示。

3. 绝对坐标编程与相对坐标编程

绝对坐标编程是以工件坐标系原点为统一基准零点,机床运动轴的坐标尺寸均是相对于这一基准零点计算的。相对坐标编程也称为增量坐标编程,机床运动轴的坐标尺寸是刀具运动的目标点与当前点的差值。编程时可以采用绝对坐标编程或相对坐标编程,也可以两种方式混合使用。

FANUC 系统数控车床编程时,以地址符 X、Z 表示绝对坐标编程方式,U、W 表示相对坐标编程方式。在数控车床编程中,径向尺寸是以直径方式输入的,所以 X 输入的是直径值,U 输入的是径向直径尺寸的差值,即径向实际位移的两倍,如例 7.2。

例 7.2: 编制如图 7-2 所示刀具由 A 点至 D 点的车削加工程序。

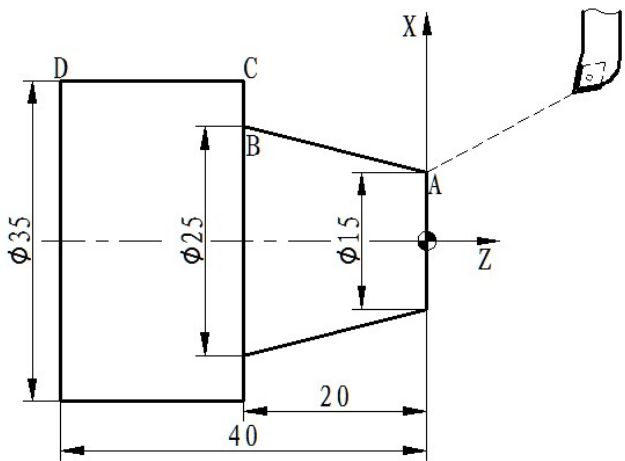


图 7-2 绝对/相对坐标编程示例

程序	N08 M05;
O100;	N09 M30;
N01 G00 G40 G97 G99 S800 M03;	说明
N02 T0303 F0.25;	/程序开始
N03 X15. Z0.;	/主轴正转 800r/min,
N04 G01 U10. W-20.;	/T3 号刀, 进给量 0.25mm/r
N05 X35. W0;	/快进到 A 点 (绝对坐标编程)
N06 U0 Z-40.;	/切削到 B 点 (相对坐标编程)
N07 G28 U0 W0;	/切削到 C 点 (混合坐标编程)

/切削到 D 点（混合坐标编程）

/主轴停转

/返回参考点

/程序结束

#### 4. 前置刀架车床与后置刀架车床

数控车床的刀架有前置刀架和后置刀架两种，刀架位于主轴与操作人员之间的为前置刀架，主轴位于刀架和操作人员之间的属于后置刀架。在刀具使用方面，数控车床主轴正转时，前置刀架的刀片安装方向是向上的，但后置刀架的刀片安装方向就要向下。在编程方面，当主轴正转时，后置刀架和前置刀架的编程基本一致，并且按后置刀架编程时，圆弧插补的方向，刀尖圆弧半径补偿的方向更为直观。综上所述，本节统一按照后置刀架，主轴正转时的情况介绍数控程序的编制，所编制的程序同样适用于前置刀架的数控车床。

### 7.2.3 FANUC 数控系统的基本编程指令

#### 1. 快速定位指令 G00

执行 G00 指令，刀具以数控车床系统参数设定的“快移进给速度”从当前点定位到目标点。快速移动速度不能在进给功能字 F 中规定，速度可由面板上的快速修调按钮调整。

格式：G00 X(U)\_\_\_ Z(W)\_\_\_；

X、Z 后面的数字为目标点在工件坐标系中的坐标值（下文同），U、W 后面的数字表示目标点与当前点之间的距离，X(U)按直径值输入。G00 为模态指令，即被指定后一直有效，只有被同组模态指令取代时才失效。该指令属于点位控制，即只要求刀具到达目标点，而对刀具实际运动的轨迹不做要求。如图 7-3 所示，要求刀具从 A 点快速移动到 B 点的程序段为：

绝对坐标编程：G00 X15. Z5.；

相对坐标编程：G00 U-45. W-45.；

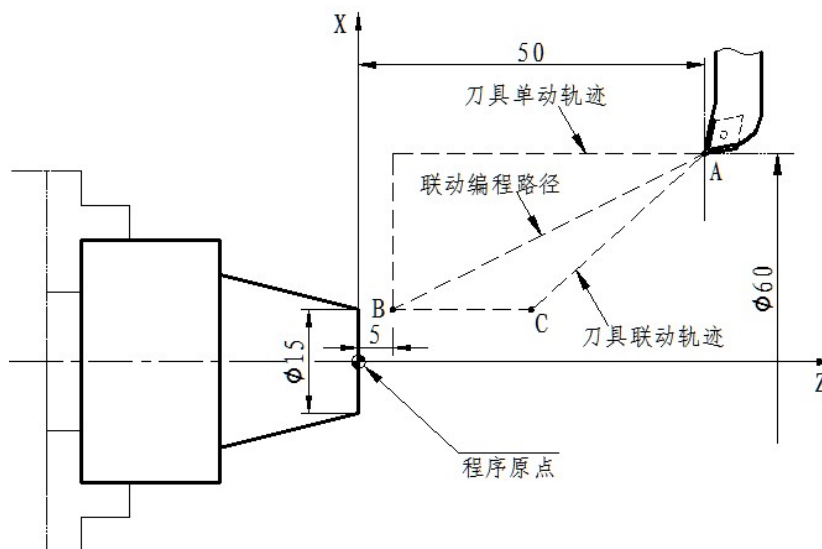


图 7-3 快速进刀指令 G00 轨迹

执行该程序段，刀具以两轴联动方式从 A 点快速移动到 B 点，但刀具实际轨迹却不是理论上的两点连线，而是先从 A 快速移动到 C 再到达 B 点。因此，在实际加工中要考虑执行 G00 的过程中是否会发生干涉碰撞。如果有发生碰撞的危险，可以让两个坐标轴单独进刀，如图 7-3 中的刀具单动轨迹，程序如下：

绝对坐标编程：G00 Z5.;

相对坐标编程：G00 W-45.;

X15.;

U-45.;

## 2. 直线插补指令 G01

该指令使刀具按照进给功能字 F 设定的速度进行直线插补，用于内外圆柱、圆锥面的切削。此外，还可用于对回转体零件进行倒直角和倒圆角，G01 为模态指令。

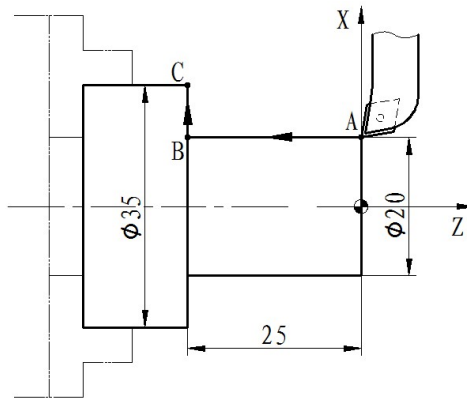


图 7-4 G01 外圆柱面车削

### 1) 直线插补进给

格式：G01 X(U)\_\_\_ Z(W)\_\_\_ F\_\_\_;

(1) 外圆柱面车削，如图 7-4 所示，刀具从 A 点切削至 C 点，程序如下：

O101; (绝对坐标编程)

O102; (相对坐标编程)

.....

.....

N60 G01 X20. Z-25. F0.2;

N60 G01 U0 W-25. F0.2;

N70 X35.; /Z 轴移动量为 0 可省略

N70 U15. W0.;

N80 M05;

N80 M05;

N90 M30;

N90 M30;

(2) 外圆锥面车削，如图 7-5 所示，刀具从 A 点切削至 B 点，程序如下：



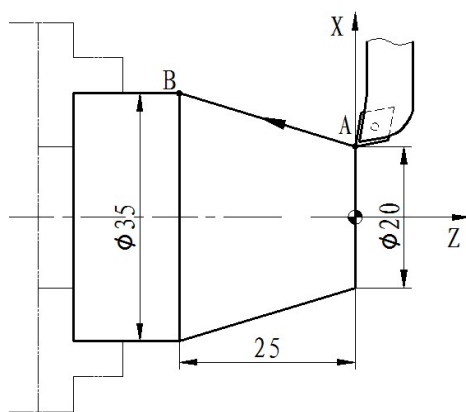


图 7-5 G01 外圆锥面车削

O104; (绝对坐标编程)

O105; (相对坐标编程)

.....

.....

N20 G01 X35. Z-25. F0.2;

N20 G01 U15. W-25. F0.2;

N40 M05;

N40 M05;

N60 M30;

N60 M30;

2) 倒圆角、倒直角

(1) 圆角自动过渡

格式: G01 X(U)\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_; 或 G01 Z(W)\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_;

地址符 R 后面的数字表示圆角半径, 如图 7-6 所示, 对于 X 轴向 Z 轴过渡的圆角 (凸圆弧 R5), 编程时取负值。对于 Z 轴向 X 轴过渡的圆角 (凹圆弧 R4), 编程时取正值, 程序如下:

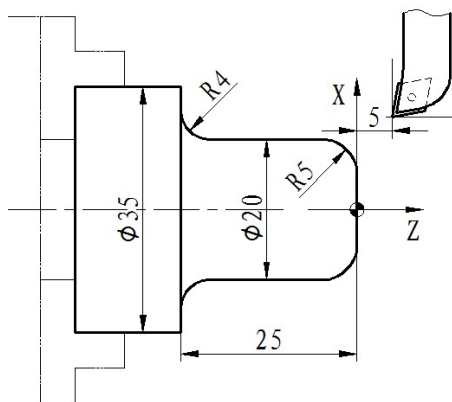


图 7-6 G01 车削过渡圆弧

O106;

.....

N20 G01 X0 F0.3;

N30 Z0;

N40 G01 X20. R-5.;

N50 Z-25. R4.;

.....

## (2) 45°倒角自动过渡

格式: G01 X(U)\_\_\_ C\_\_\_ F\_\_\_; 或 G01 Z(W)\_\_\_ C\_\_\_ F\_\_\_;

地址符 C 后面的数字表示倒角距离, 如图 7-7 所示, 对于 X 轴向 Z 轴过渡的倒角 (C3), 编程时取负值。对于 Z 轴向 X 轴过渡的圆角 (C4), 编程时取正值, 程序如下:

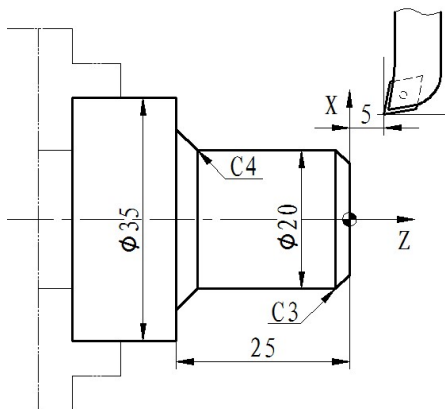


图 7-7 G01 车削过渡倒角

O107;

.....

N20 G01 X0 F0.3;

N30 Z0 ;

N40 G01 X20. C-3.;

N50 Z-25. C4.;

N60 X35. W0.;

.....

## 3. 圆弧插补指令 (G02、G03)

该指令使刀具在 XZ 平面内作逆时针或顺时针的插补运动, 车削出具有圆弧特征的回转体零件。G02 为顺时针圆弧插补, G03 为逆时针圆弧插补, 均为模态指令。插补方向如图 7-8 所示, 以后置刀架车床为例, 虽然加工编程中不涉及 Y 轴, 但 Y 轴是存在的, 按照右手笛卡

尔直角坐标系，Y 轴正方向由地面指向上。逆着 Y 轴的正方向看，刀具顺时针运动为 G02，刀具逆时针运动为 G03。

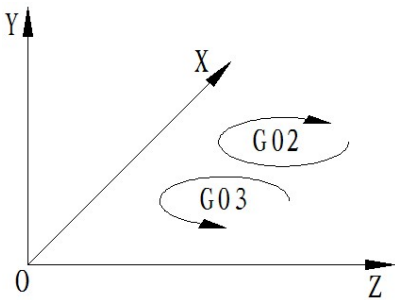


图 7-8 顺、逆时针圆弧插补判断

1) 顺时针圆弧插补 G02

(1) 圆弧终点坐标和半径插补格式

```
G02 X(U)___ Z(W)___ R___ F___;
```

(2) 圆弧终点坐标和分矢量插补格式

```
G02 X(U)___ Z(W)___ I___ K___ F___;
```

其中 R 为圆弧半径值，I、K 为圆弧切削起点到圆弧圆心的方向矢量在 X、Z 轴上的投影，与坐标轴同向取正值，反之取负值。如图 7-9 所示，两种格式的程序段如下：

圆弧终点坐标和半径格式：

```
G00 X10. Z0;
G02 X20. Z-9. R30. F0.3;
或
G00 X10. Z0.;
G02 U10. W-9. R30. F0.3;
```

圆弧终点坐标和分矢量格式：

```
G00 X10. Z0.;
G02 X20. Z-9. I28. K11. F0.3;
或
G00 X10. Z0.;
G02 U10. W-9. I28. K11. F0.3;
```

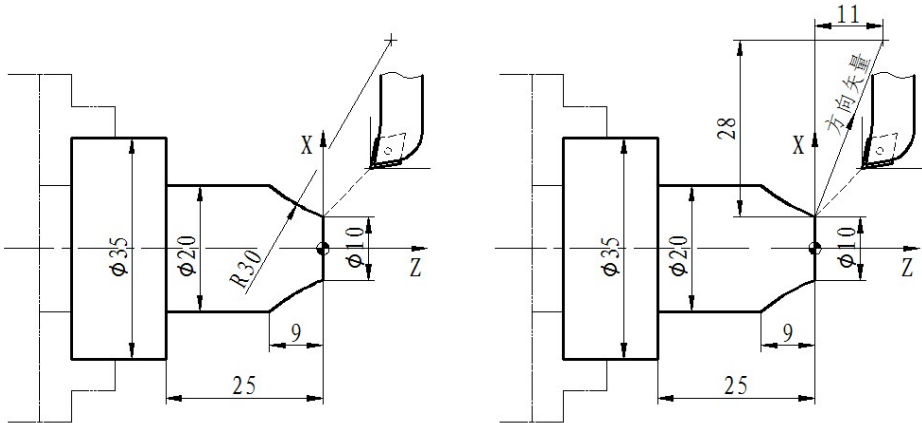


图 7-9 顺时针圆弧插补



## 2) 逆时针圆弧插补 G03

### (1) 圆弧终点坐标和半径插补格式

G03 X(U)\_\_\_ Z(W)\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_;

### (2) 圆弧终点坐标和分矢量插补格式

G03 X(U)\_\_\_ Z(W)\_\_\_ I\_\_\_ K\_\_\_ F\_\_\_;

R、I、K 的意义与顺时针圆弧插补定义相同。如图 7-10 所示，两种格式的程序段如下：

圆弧终点坐标和半径格式：

G00 X10. Z0.;

G03 X20. Z-14. R25. F0.3;

或

G00 X10. Z0.;

G03 U10. W-14. R25. F0.3;

圆弧终点坐标和分矢量格式：

G00 X10. Z0.;

G03 X20. Z-14. I-20. K-15. F0.3;

或

G00 X10. Z0.;

G03 U10. W-14. I-20. K-15. F0.3;

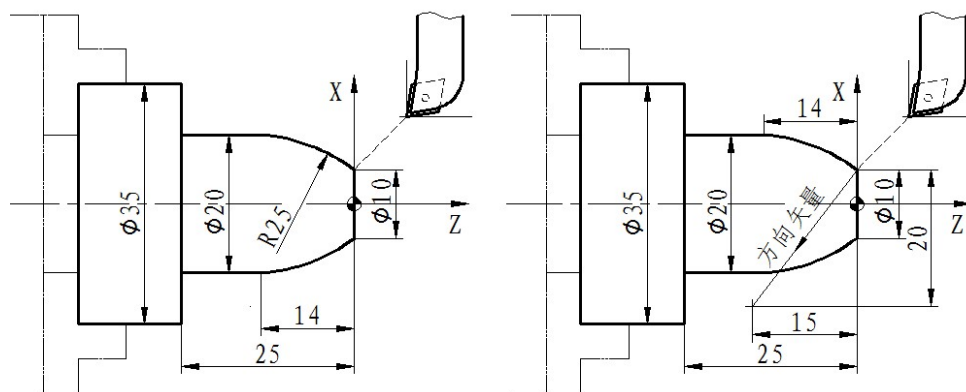


图 7-10 逆时针圆弧插补

### 3) 圆弧插补指令的使用注意事项：

- (1) 圆弧半径 R 值指定的圆弧角度应小于 180°;
- (2) I 或 K 值为 0 时，可省略该地址符;
- (3) 圆弧插补的程序段内不能有刀具功能指令 T;
- (4) 当 I、K 和 R 同时被指定时，R 指令优先，I、K 值无效;

## 4. 进给功能指令 (F) 和进给控制指令 (G98、G99)

指定刀具进给速度有如下两种方式：

### 1) 每转进给量 G99

格式：G99 (G01/G02/G03) F\_\_\_;

进给量以主轴每转一周刀具的移动距离来计量，F 后面数字的单位为 mm/r。

## 2) 每分钟进给量

格式: G98(G01/G02/G03) F\_\_\_\_;

进给量以每分钟刀具的移动距离来计量, F 后面数字的单位为 mm/min。

## 5. 暂停指令 G04

在车床上进行车槽和钻孔加工时, 为了使被加工表面获得较好的质量, 通常在主轴保持转动的同时, 刀具在槽底或孔底停留一段时间。指令格式为:

(G99) G04 X(U)\_\_\_\_; /刀具暂停时间以主轴回转转数计量

(G98) G04 X(U)\_\_\_\_; 或(G98) G04 P\_\_\_\_; /刀具暂停是将以时间计量;

其中以时间计量暂停时间时, X(U)后面的数字为带小数点的数, 单位为 s, P 后面的数字为整数单位为 ms。G04 为非模态指令, 只在当前程序段有效。

## 6. 主轴功能指令 (S) 和主轴转数控制指令 (G96、G97、G50)

### 1) 主轴最高转数设定指令 G50

格式: G50 S\_\_\_\_;

### 2) 以每分钟转数设定主轴速度 G97

格式: G97 S\_\_\_\_;

S 后面数字的单位为 r/min, 如要求主轴最高转数不超过 1500r/min, 指定当前主轴转数为 750r/min 的程序段为:

G50 S1500; G97 S750;

### 3) 以恒定线速度设定主轴转数 G96

格式: G96 S\_\_\_\_;

S 后面数字的单位为 m/min, 如要求主轴最高转数不超过 2000r/min, 设定当前主轴线速度恒定为 100m/min 的程序段为:

G50 S2000;

G96 S100;

这里需要注意的是主轴转速和线速度有如下关系:

$$v = \pi D n / 1000 \quad (\text{式 7.1})$$

式中:  $v$  为切削线速度 (m/min),  $D$  为工件回转直径 (mm),  $n$  为主轴转数 (r/min)。

由线速度公式可知, 当刀具车削端面时工件回转直径趋于零, 从而使主轴转数趋于无穷大。所以使用 G96 模式时, 通常使用 G50 设定最高转数。此外, G96、G97 均为模态指令, 可以互相替代。

## 7. 辅助功能指令（M 指令）

辅助功能字主要对车削过程中的辅助动作及其状态进行设定，常用的辅助功能字主要有：

### 1) 程序暂停指令 M00

在零件加工过程中，如果需要临时停车检验工件或进行调整、清理切屑等操作时，可使用 M00 指令使机床暂时停止。当再次按下循环启动按钮时，才能执行后面的程序。

### 2) 程序选择停止指令 M01

该指令与 M00 功能相似，但只有打开机床控制面板上的“选择停止”控制键才能使该指令有效。

### 3) 程序结束指令 M02

执行该指令使主程序结束，机床停止运转，加工过程结束，但该指令并不能使指令指针自动返回到程序的起始段。

### 4) 程序结束指令 M30

该指令与 M02 具有相同的功能，不同的是该指令在程序结束后使指令指针自动返回到程序的起始段。

### 5) 主轴正转指令 M03

该指令与 S 指令结合使主轴按照 S 设定的速度正向旋转，如 S500 M03；主轴正转定义为沿着 Z 轴的正向看，主轴顺时针旋转为正转。

### 5) 主轴反转指令 M04

使主轴按照 S 指令设定的速度反向旋转，如 S500 M04；主轴反转定义为沿着 Z 轴的正向看，主轴逆时针旋转为反转。

### 6) 主轴停转指令 M05

如果其他指令与 M05 在同一个程序段内，则待其他指令执行完成之后才使主轴停转。

### 7) 打开冷却液指令 M08

### 8) 关闭冷却液指令 M09

## 8. 刀具功能指令 T

格式：T□□ □□；

该指令由地址符 T 和四位数字组成，前两位数字代表刀具序号，后两位数字代表刀具补偿号。执行该指令可以使刀架上相应号位的刀具转到工作位置，同时实现刀具的形状补偿和磨损补偿。



刀具补偿号与数控系统中刀具补偿寄存器号相对应。形状补偿值为刀尖位于工件坐标系原点时，刀架上的基准点相对于参考坐标系的偏置值如图 7-11 所示，可通过对刀操作测定该值，并输入到对应寄存器中。磨损补偿是为了消除由于刀具磨损使刀具到达的实际位置与理想位置的偏差，从而保证加工精度。形状补偿值与磨损补偿值存于相应的补偿寄存器中，如图 7-12 所示。

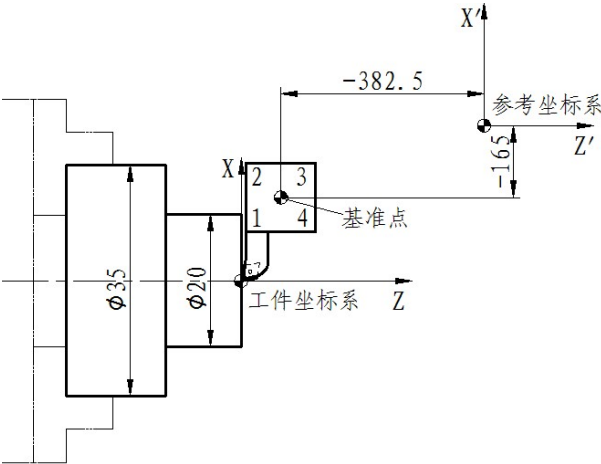


图 7-11 刀具偏置值的设定

工具补正/磨损					0	N
番号	X	Z	R	T		
01	0.200	0.000	0.000	0		
02	0.000	0.000	0.000	0		
03	0.000	0.000	0.000	0		
04	0.000	0.000	0.000	0		
05	0.000	0.000	0.000	0		
06	0.000	0.000	0.000	0		
07	0.000	0.000	0.000	0		
08	0.000	0.000	0.000	0		
现在位置(相对座标)						
U	-200.000	W	-100.000			
JOG **** **					S 0	T
[ 磨损 ] [ 形状 ] [ SETTING ] [ 坐标系 ] [ (操作) ]						

工具补正/形状					0	N
番号	X	Z	R	T		
01	-165.000	-382.500	0.000	0		
02	0.000	0.000	0.000	0		
03	0.000	0.000	0.000	0		
04	0.000	0.000	0.000	0		
05	0.000	0.000	0.000	0		
06	0.000	0.000	0.000	0		
07	0.000	0.000	0.000	0		
08	0.000	0.000	0.000	0		
现在位置(相对座标)						
U	-200.000	W	-100.000			
JOG **** **					S 0	T
[ 磨损 ] [ 形状 ] [ SETTING ] [ 坐标系 ] [ (操作) ]						

a) 刀具形状补偿

b) 刀具磨损补偿

图 7-12 刀具偏置补偿设定画面

执行 T0101 指令将把 01 号刀转到工作位置，并把 01 号寄存器中的补偿值调入数控系统，可以把 01 号刀的偏置值输入到其他寄存器中，如输入到 02 号寄存器，指令写为 T0102。补偿值被指定后一直有效，直到执行其他刀具功能指令替代当前指令或取消刀具补偿指令 T00 使补偿失效。

### 9. 刀尖圆弧半径补偿功能 (G41、G42、G40)

编制数控车削程序时，将车刀刀尖假想为理想尖点，该尖点沿着零件的尺寸轮廓运动，完成零件加工。实际上，车刀刀尖并不是理想的尖点，总是存在着一段半径为 R 的小圆弧，

如图 7-13 所示，假想尖点 P 实际上是不存在的。

由于刀尖圆弧半径  $R$  的存在，以假想刀尖 P 为刀位点进行编程加工时，虽然不影响端面和外圆柱面的车削，但车削锥面和圆弧面时，会产生欠切或过切现象，影响加工精度，如图 7-14 所示。

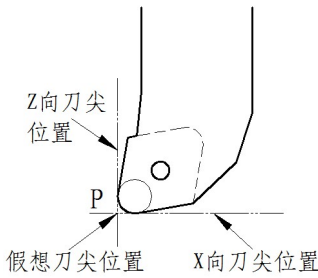


图 7-13 车刀刀尖结构

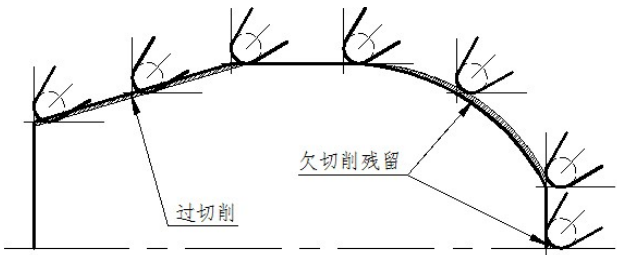


图 7-14 未考虑刀尖圆弧补偿的情况

如图 7-15 所示，为了消除刀尖圆弧半径的影响，可以人工计算刀尖圆弧的圆心相对于工件轮廓偏置一个刀尖圆弧半径  $R$  的轨迹 C，并以圆心为刀位点，按照轨迹 C 的尺寸编制加工程序。但不同的刀具其刀尖圆弧半径值不同，所以当同一轮廓需要多把刀具进行加工时，每把刀都需要计算偏置轨迹，这种方式显然不可行。大部分数控系统都具有刀尖圆弧半径补偿功能，将刀尖圆弧半径值输入到补偿寄存器中，便可按照零件的实际轮廓尺寸编程，由数控系统自动完成偏置轨迹的计算。

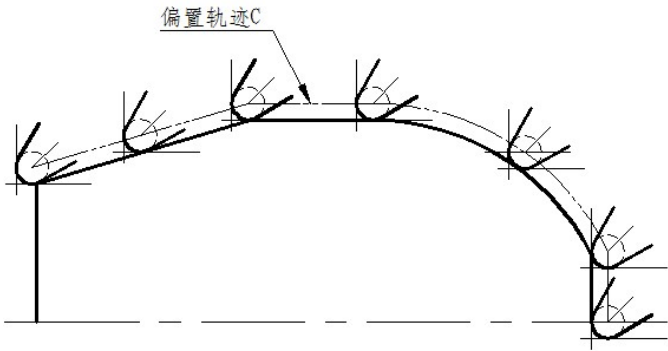


图 7-15 考虑刀尖圆弧半径补偿的情况

如图 7-12 所示，偏置寄存器中不仅包括位置补偿项，而且还包括 **RADIUS** 项和 **TIP** 项，刀尖圆弧半径输入到 **RADIUS** 项，而 **TIP** 项中输入假想刀尖位置序号。不同的车刀其假想刀尖的位置也是不同的如图 7-16 所示，所以要成功建立半径补偿，必须将假想刀尖位置序号输入到偏置寄存器的 **TIP** 项中，图 7-17 列出了几种常用数控车刀假想刀尖位置序号。

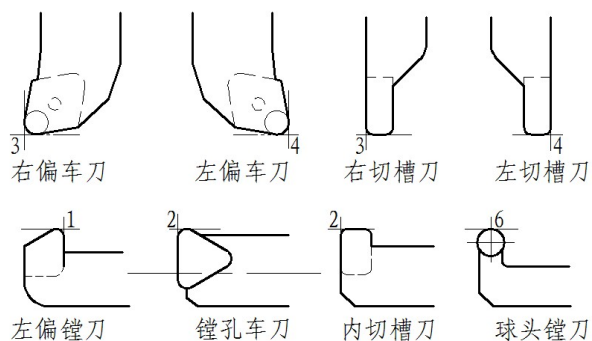
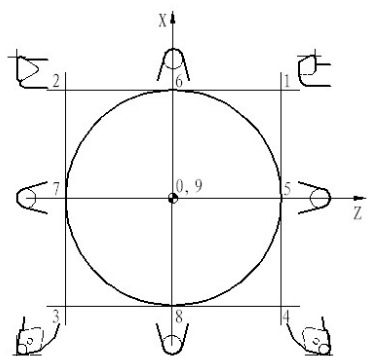


图 7-16 数控车刀假想刀尖位置序号

图 7-17 常用数控车刀假想刀尖位置序号

常见的刀尖圆弧半径为 0.2mm、0.4mm、0.8mm、1.2mm。

#### 1) 刀尖圆弧半径左补偿 G41

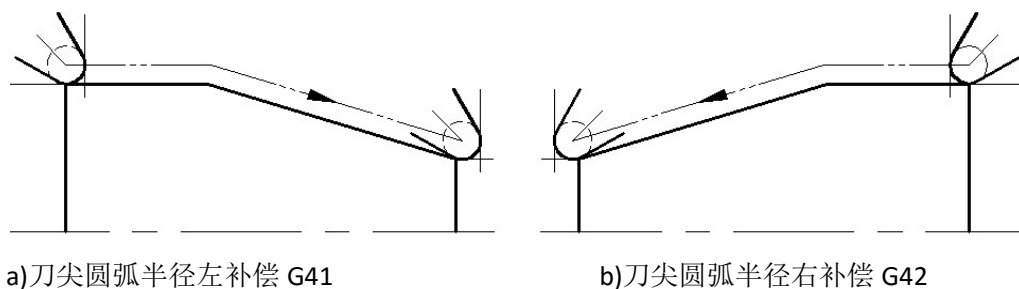
沿着车刀进给方向看，刀具在车削表面的左侧时，利用左补偿指令 G41 完成刀尖圆弧半径的补偿，如图 7-18 中 a 图所示，通常用于左偏车刀的补偿。

#### 2) 刀尖圆弧半径右补偿 G42

沿着车刀切削进给方向看，刀具在车削表面的右侧时，利用右补偿指令 G42 完成刀尖圆弧半径的补偿，如图 7-18 中 b 图所示，通常用于右偏车刀的补偿。

#### 3) 取消刀尖圆弧半径补偿 G40

在程序中应与 G41 或 G42 成对出现，即切削开始加上补偿，切削结束后利用 G40 取消补偿。



a) 刀尖圆弧半径左补偿 G41

b) 刀尖圆弧半径右补偿 G42

图 7-18 刀尖圆弧半径左、右补偿

#### 4) 刀尖圆弧半径补偿使用注意事项



(1) G41、G42 指令后面不跟参数，其参数由刀具功能指令 T□□ □□ 的后两位数字指定。如 01 号刀具的刀尖圆弧半径补偿值输入到 02 号寄存器中，实现刀具半径右补偿的程序段为：

T0102; /系统只获得了 02 号刀具补偿寄存器中的值，并不执行补偿

G42; /开始刀尖半径右补偿

(2) G41、G42 指令只能在 G00、G01 模式下进行补偿，不能与 G02、G03 写在同一个程序段，否则系统会报警。

(3) G41、G42 指令为模态指令，所以，在切削加工完成后，返回刀具起始点之前要用 G40 取消刀补，否则刀具不能正确的返回到起始点。

(4) 包含 G41 或 G42 指令的程序段，其后不允许连续出现两个只包含非移动指令的程序段，即补偿开始后加工平面内必须有坐标轴的移动，否则会发生过切或欠切的情况。非移动指令主要有：

M 代码，如 M03、M04、M09、M30 等；

S 代码，如 S500；

暂停指令 G04；

移动为零的指令，如 G00(G01) U0 W0；

某些 G 代码，如 G97、G99、G50 等；

例 7.3：编制如图 7-19 所示的数控车削程序。

工艺说明：

如图 7-19 所示，先车削零件右端大部分轮廓，右端车削到 Z-65.，然后掉头完成左端圆柱面的车削。采用刀尖圆弧半径为 R1.2 的右偏车刀加工该零件，将刀具安装在刀架的 01 号位置上，补偿值输入到 03 号寄存器中。

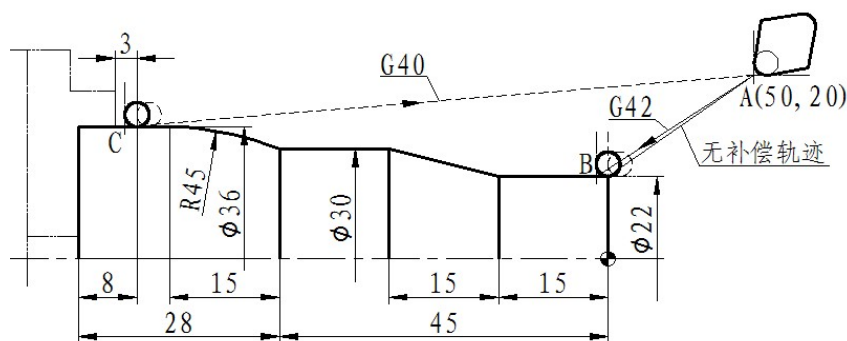


图 7-19 G42 编程示例

O108;（右端加工程序）

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0103 F0.3;	/主轴正转，01 号刀，03 号刀补
X50. Z20.;	/快速定位到程序起点 A（X50,Z20）
G01 G42 X22. Z0.;	/右补偿进给到切削起点，实际到达 B（X22，Z-1.2）点
U0 W-15.;	
X30. W-15.;	
U0 Z-45.;	
G03 X36. W-15. R45.;	/逆时针插补车削 R45 圆弧
G01 U0. Z-65.;	/刀尖半径右补偿的有效，实际到达 C（X36，Z-66.2）
G00 G40 X50. Z20.;	/取消刀尖半径右补偿，快速返回到程序起点 A
G28 U0 W0 T00;	/返回参考点
M05;	/主轴停转
M30;	/程序结束，返回程序头

在程序执行的过程中发现由于刀尖半径补偿的作用，切削到最后一点时，假想刀尖实际运动到了 C 点，所以在编程时要使卡盘端面与切削终点之间的距离要大于刀尖圆弧半径。

#### 10. 自动返回参考点指令 G28

该指令使刀具以快速定位（G00）的方式，经过中间点返回到参考点。执行该指令应取消刀尖圆弧半径补偿，并且 X 向坐标均为直径值。

格式：T00;

G28 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_;

如图 7-20 所示，希望刀具经过 A 点返回到参考点，程序段如下：

T00;

G28 X30. Z25.;

或 G28 X30. Z25. T00;

如果希望刀具直接从当前点返回到参考点，程序段如下：

T00;

G28 U0 W0;

或 G28 U0 W0 T00;

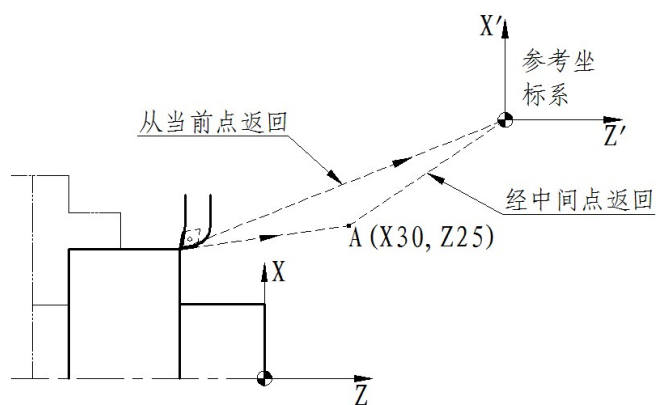


图 7-20 G28 指令编程示例

#### 11. 设定工件坐标系指令 G50

格式: G50 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_;

G50 指令除了能限制主轴最高转速外, 还能设定工件坐标系, 如图 7-21 所示, 刀具当前位置相对于工件坐标系的坐标值为 (X60, Z30), 在编程时, 将刀具移动到当前位置, 在第一个程序段执行 G50 X60. Z30.; 数控系统中就建立起相对于该刀具的工件坐标系。

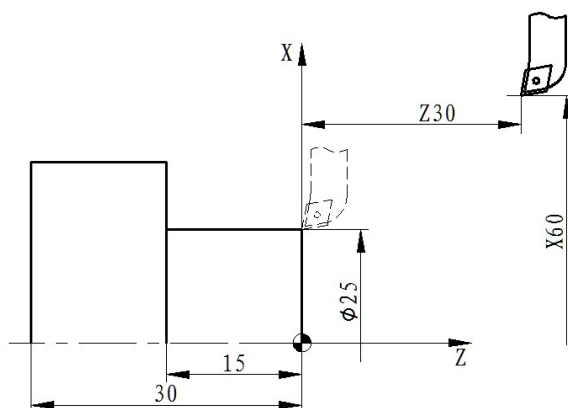


图 7-21 G50 指令示例

在实际的加工中, 刀具的当前位置相对于工件坐标系的坐标值是需要通过对刀操作得到。在手轮方式下, 试切毛坯的端面和外圆后将刀具停留在图中虚线所示的位置, 此时将数控系统中的坐标系选择为相对坐标系, 并把 U 和 W 值清零。然后测出试切后外圆的直径, 如本例中试切后外圆直径为  $\phi 25$ , 将刀具沿坐标正向分别移动 (U35, W30) 刀具即到达起刀点。一般情况下, 利用该方法设定的刀具为基准刀具, 其他刀具分别使刀尖与外圆与端面相接触, 读出数控系统中相对坐标系的 U 和 W 值, 输入到数控系统中对应的偏置寄存器中。

#### 12. 螺纹加工指令 G32

格式: G32 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_ F\_\_\_\_;

G32 主要用于等螺距的内外圆柱螺纹和圆锥螺纹的车削, 地址 F 后面的数字不再代表进

给率，而是表示螺纹导程（对于单线螺纹，F 表示螺距）。

### 1) 圆柱螺纹的车削

例 7.4：编制如图 7-22 所示圆柱螺纹的车削程序，公称直径为 M20，螺距为 2mm，螺纹底径为  $\phi 17.54\text{mm}$ ，分三刀完成该螺纹的车削，引入距离 D1 为 5mm，引出距离 D2 为 2mm。

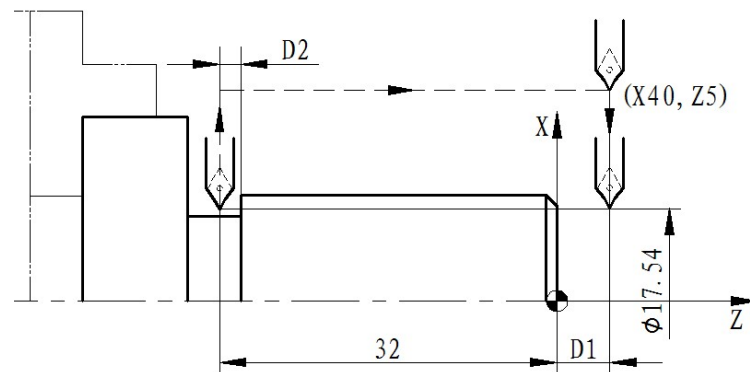


图 7-22 G32 指令车削圆柱螺纹示例

```
O109;
G00 G40 G97 G99 S400 M03 T0101;    /主轴正转，01 号刀具，01 号刀补
X40. Z5.;                            /快速定位到进刀起点
G01 X19.18 F0.3;                      /以 0.3mm/r 的进给速度移动到第一刀车削起点
G32 Z-32. F2.;                        /第一刀螺纹车削
G00 X40.;
Z5.;                                  /快速返回到进刀起点
G01 X18.36 F0.3;
G32 Z-32. F2.;                        /第二刀螺纹车削
G00 X40.;
Z5.;
G01 X17.54 F0.3;
G32 Z-32. F2.;                        /第三刀螺纹车削
G00 X40.;
Z5.;
G28 U0 W0 T00;
M30;                                  /程序结束，返回程序头
```



设定引入距离 D1 和引出距离 D2 是为了避免由于伺服系统的延迟而产生的不完整螺纹。  
D1 和 D2 的最小值可以查询有关手册获得, 根据实际加工经验, 通常选取引入距离 D1 为 2~5mm, 引出距离 D2 取为 D1/2。但要注意螺纹刀具与工件其他部位的干涉问题。

(2) 圆锥螺纹的车削

例 7.5: 编制如图 7-23 所示圆锥螺纹的车削程序, 螺距为 3mm, 螺纹底径为  $\phi 15.95\text{mm}$ , 分两刀完成该螺纹的车削, 引入距离 D1 为 5mm, 引出距离 D2 为 2mm。

O110;	G01 X15.95. F0.3;
G00 G40 G97 G99 S400 M03 T0202;	G32 X28.7 Z-32. F3.
X40. Z5.;	G00 X40.;
G01 X19.98. F0.3;	Z5.;
G32 X30.74 Z-32. F3.;	G28 U0 W0 T00;
G00 X40.;	M05;
Z5.;	M30;

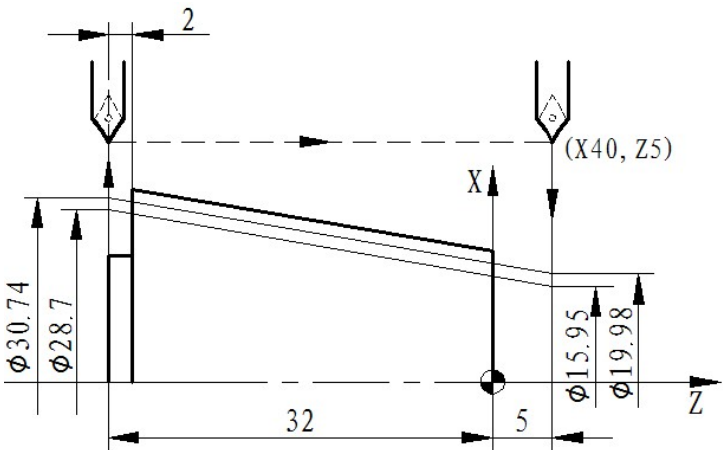


图 7-23 G32 指令车削圆锥螺纹示例

13. 固定循环指令

数控车床把毛坯车削成零件的过程中, 刀具不可能一次车削把所有的余量都切除掉。如图 7-24 所示, 在实际加工中总是将切削余量按照一定的规律分层切除, 如果用前述的编程方法需要计算每一层刀具轨迹的尺寸节点, 并且刀具反复执行相同的退刀和进刀使程序冗长。为了简化编程, 可以使用固定循环指令。图示中切削进给用细实线表示, 快速定位用虚线表示。

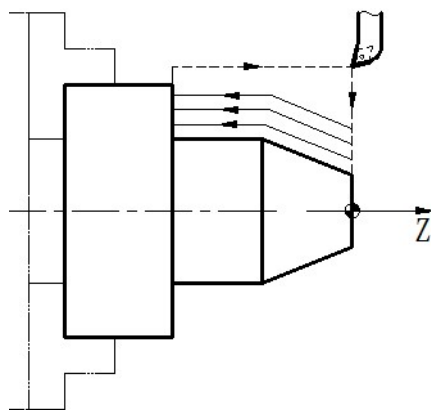


图 7-24 固定循环示例

### 1) 单一固定循环指令

单独地对一个几何要素（如柱面、锥面、端面、螺纹等）进行车削时，利用单一固定循环指令，可以实现一个程序段指定刀具反复切削。

#### （1）内外圆柱、圆锥面车削单一固定循环指令 G90

车削圆柱面格式：G90 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_ F\_\_\_\_；

X(U)和 Z(W)为切削终点在工件坐标系中的坐标值，F 表示进给量。如图 7-25 所示，执行 G90 指令时，刀具从循环点 A 快速定位到第一刀切削的起点 B，再进给到切削终点 C，并径向退到与循环点径向平齐的 D 点，最后快速返回循环点 A，完成一个切削循环。

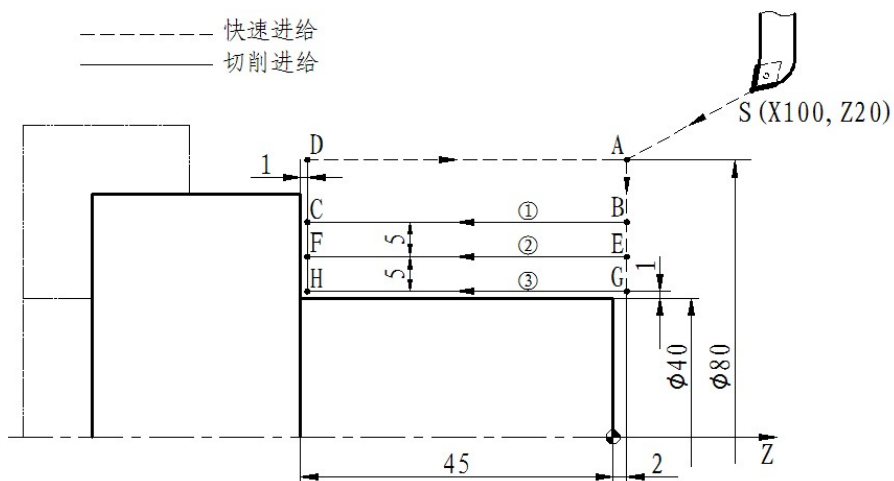


图 7-25 G90 车削圆柱面示例

例 7.6：利用 G90 编制如图 7-25 所示圆柱面车削程序，分三次车削。

O111；

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0404 F0.3； /主轴正转，04 号刀具，04 号刀补

X80. Z2.； /由 S 点快速定位到循环点 A

G90 X62. Z-44.； /完成第一刀车削，轴向留 1mm 余量，A-B-C-D-A

X52.; /完成第二刀车削，A-E-F-D-A

X42.; /完成第三刀车削，径向单边留 1mm 余量，A-G-H-D-A

G00 X100. Z20.; /取消循环，返回到 S 点

G28 U0 W0 T00; /快速返回参考点

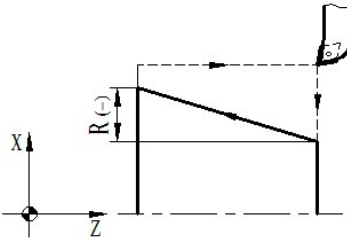
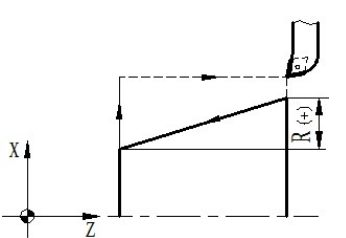
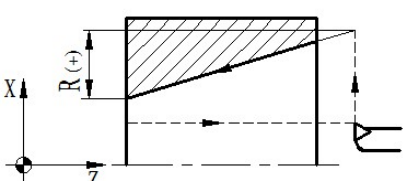
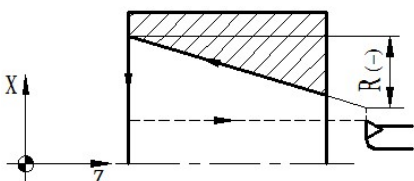
M05; /主轴停转

M30; /程序结束，返回程序头

车削圆锥面格式：G90 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_ R\_\_\_\_ F\_\_\_\_；

圆锥面车削时的循环动作与车削圆柱面时相似，R 为径向锥度参数，其值为锥面车削起点的直径与终点直径差值的一半，表 7.1 定义了切削内外圆锥面时 R 的正负。

表 7.1 G90 车削锥面时 R 的确定

1.外圆锥面车削	
	
R < 0	R > 0
2.内圆锥面车削	
	
R > 0	R < 0

例 7.7：编制如图 7-26 所示锥面的车削程序，径向分三次车削，径向单边留 0.5mm 的余量。

工艺说明：为了避免径向进刀时与工件发生碰撞干涉，轴向切削起点为 Z5，所以 R 值应为圆锥面母线延长到 Z5 处的半径与切削终点半径的差值，本例中为 R-9。

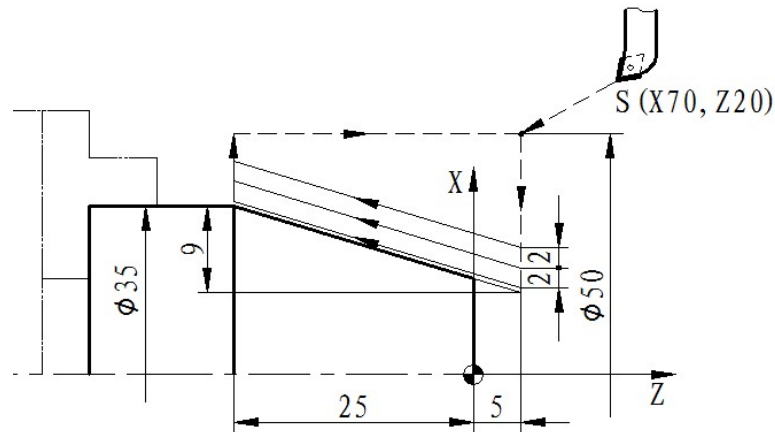


图 7-26 G90 车削圆锥面示例

O112;

G00 G40 G97 G99 S600 M03 T0303;                    /主轴正转，03 号刀具，03 号刀补

X50. Z5.;    /快速定位到循环点

G90 X44. Z-25. R-9. F0.3;                                /完成第一刀车削

X40.;    /完成第二刀车削

X36.;    /完成第三刀车削，径向单边留 0.5mm 余量

G00 X70. Z20.;    /取消循环，返回到 S 点

G28 U0 W0 T00;    /快速返回参考点

M05;    /主轴停转

M30;    /程序结束，返回程序头

## (2) 圆柱及圆锥螺纹车削单一固定循环指令 G92

G92 指令可完成内外圆柱、圆锥螺纹的车削，能够实现用一个程序段使刀具的切入、螺纹切削、退刀等一系列动作循环执行，而不用像 G32 指令那样需要反复指定刀具动作，提高编程效率。螺纹车削时，引入距离和引出距离的规定参考 G32 指令选取。

车削圆柱螺纹格式：G92X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_ F\_\_\_\_;

X(U)和 Z(W)为螺纹切削的终点在工件坐标系中的坐标，F 为螺纹导程（对于单线螺纹，F 表示螺距）。

例 7.8：利用 G92 编制图 7-22 所示圆柱螺纹车削程序。

O114;

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0404;                    X40. Z5.;

G92 X19.1 Z-32. F2.;

G00 X100. Z20.;

X18.5;

G28 U0 W0 T00;

X17.9;

M05;

X17.54

M30;

车削圆锥螺纹格式：G92 X(U)\_\_\_\_ Z(W)\_\_\_\_ R\_\_\_\_ F\_\_\_\_；

圆锥螺纹车削时的循环动作与车削圆柱螺纹时相似，R 为径向锥度参数，其值为车削起点的直径与终点直径差值的一半，其正、负值规定同表 7.1 的定义。

例 7.9：利用 G92 指令编制图 7-27 所示圆锥螺纹车削程序，螺距为 2.5mm。

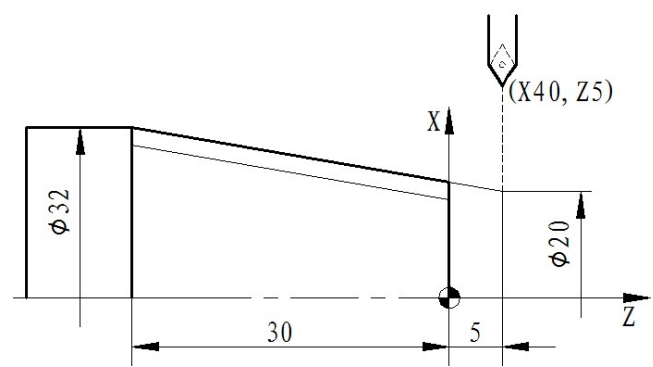


图 7-27 G92 指令圆锥螺纹车削示例

O115;

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0101;

X28.9;

X40. Z5.;

X28.75;

G92 X31. Z-30. R-6. F2.5;

G00 X100. Z20.;

X30.3;

G28 U0 W0 T00;

X29.7;

M05;

X29.3;

M30;

利用 G32 或 G92 指令车削螺纹时每次进刀所需要的背吃刀量见表 7.2。

表 7.2 常用螺纹切削的进给次数与吃刀量

米制螺纹								
螺距		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
牙深		0.649	0.974	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598
背吃	1 次	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5



刀量 及 切削 次数	2 次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
	3 次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	5 次			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
	6 次				0.15	0.4	0.4	0.4
	7 次					0.2	0.2	0.4
	8 次						0.15	0.3
	9 次							0.2
英制螺纹								
牙/inch		24	18	16	14	12	10	8
牙深		0.678	0.904	1.016	1.162	1.355	1.626	2.033
背吃 刀量 及 切削 次数	1 次	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	3 次	0.16	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.11	0.14	0.3	0.4	0.4	0.5
	5 次				0.13	0.21	0.4	0.5
	6 次						0.16	0.4
	7 次							

## 2) 复合固定循环指令

单一固定循环指令只能实现单一几何形状的车削循环,但大部分工件是有几种几何要素共同组成的整体,如图 7-28 所示,该零件由圆柱面和圆锥面组合而成,如果用单一固定循环指令进行编程会使编程工作困难,而且程序复杂,可以利用复合固定循环指令实现复合零件的车削加工编程。

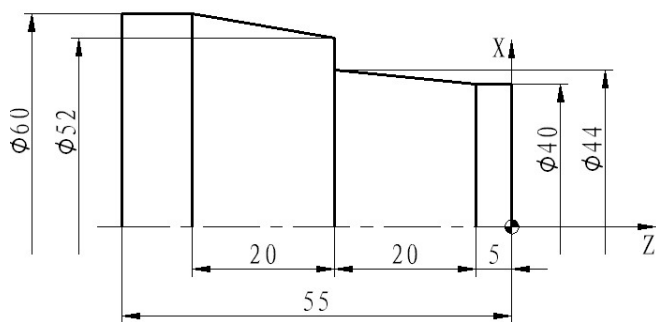


图 7-28 复合形状的零件

(1) 内、外径粗车复合固定循环指令 G71

格式: G71 U( $\Delta d$ ) R(e);

G71 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F\_\_\_\_ S\_\_\_\_ T\_\_\_\_;

N(ns).....;	}	ns 到 nf 之间为根据工件尺寸形状编制的刀具精车程序段组
.....		
N(nf).....;		

$\Delta d$ : 背吃刀量, 用半径值指定, 即每次单边切削深度, 取正值且为模态指定;

e: 退刀量, 每次切削终止时的径向退出距离;

ns: 精车形状程序段组中起始程序段的顺序号;

nf: 精车形状程序段组中结束程序段的顺序号;

$\Delta u$ : X 方向预留的精加工余量, 用直径值表示, 有正、负号;

$\Delta w$ : Z 方向预留的精加工余量有正、负号;

F、S、T: 在包含 G71 的程序段中指定的 F、S、T 功能有效, 但在 ns 到 nf 之间指定的 F、S、T 功能将被忽略;

例 7.10: 利用 G71 指令编制如图 7-28 所示零件的粗车加工程序。

O116;

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0101 F0.3;

G42 X62. Z2.; /沿着进给方向看, 刀具在被加工表面的右侧

G71 U2.5 R1.;

G71 P10 Q11 U2. W1.;

N10 G00 X40.;

G01 Z-5.;

X44. W-20.;

X52.;

X60. W-20.;

Z-55.;

N11 X62.;

G00 G40 X100. Z100.;

G28 U0 W0 T00;

M05;

M30;

**G71 编程刀具路径描述：**如图 7-29 所示，本例中刀具首先从程序以外的点快速定位到循环起始点 S ( $X62, Z2$ )，然后快速定位到 S1 ( $X63, Z3$ ) 点，S1 点是 S 点在 Z 向偏置  $\Delta w$ ，在 X 方向偏置  $\Delta u/2$  得到的实际进刀点。刀具从 S1 点出发，分四次完成粗车循环，每次 X 向的单边切除量为  $\Delta d$  (2mm)。在每层切削进给终点，刀具以进给速度沿  $45^\circ$  方向退刀，退刀量为  $e$  (1mm)，然后快速定位到实际进刀点 S1 的 Z 向位置开始下一刀循环。

最后一刀车削是沿着精车形状在 X 和 Z 向分别偏置  $\Delta u/2$  和  $\Delta w$  的轮廓走刀，从而得到留有余量的工件轮廓。需要说明的是每次循环 X 向的快速进刀轨迹是处在同一条线上的，本书为了表达清楚才将 X 向各进刀轨迹互相错开一个距离。

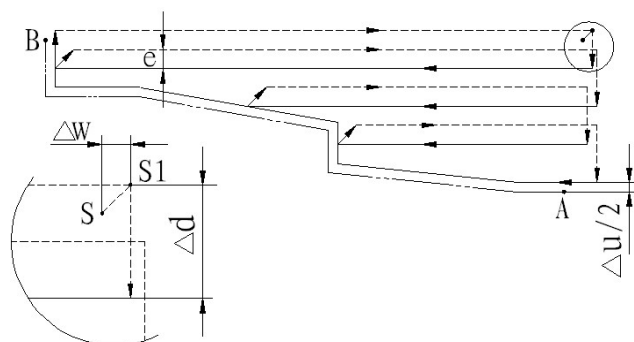


图 7-29 G71 编程刀具路径

使用 G71 指令时，还需要注意以下问题：

- ①精车形状起始程序段（顺序号 ns）中，只能用 G00 或 G01 指定 X 轴的移动，而不能指定 Z 轴的移动；
- ②只能在精车形状程序段组之外指定刀尖圆弧半径补偿 G41/G42 和取消刀尖圆弧半径补偿 G40；
- ③G71 指令通常用于具有较大长径比的轴类零件的粗车循环。
- ④G71 切削的形状有四种模式，如图 7-30 所示。X 轴和 Z 轴均须单调增加或单调减少的形状。在 U(+)的情况下，不可加工比循环起点 A 更高位置的形状。在 U(-)的情况下，不可加工比循环起点 A 更低的形状。

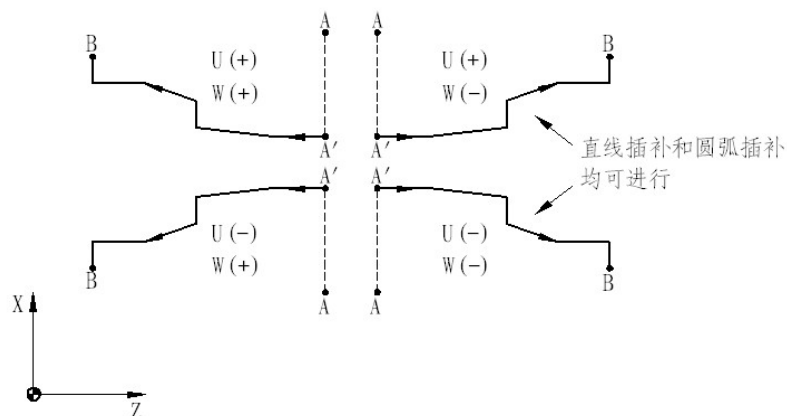


图 7-30 G71 切削形状的 4 种模式

## (2) 端面粗车复合固定循环指令 G72

格式: G72 W( $\Delta d$ ) R(e);

G72 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F\_\_\_\_ S\_\_\_\_ T\_\_\_\_;

N(ns).....;	}	ns 到 nf 之间为根据工件尺寸形状编制的刀具精车程序段组
.....		
N(nf).....;		

$\Delta d$ : 背吃刀量, 用半径值指定, 即每次单边切削深度, 取正值且为模态指定;

e: 退刀量, 每次切削终止时的径向退出距离;

ns: 精车形状程序段组中起始程序段的顺序号;

nf: 精车形状程序段组中结束程序段的顺序号;

$\Delta u$ : X 方向预留的精加工余量, 用直径值表示, 有正、负号;

$\Delta w$ : Z 方向预留的精加工余量有正、负号;

F、S、T: 在包含 G72 的程序段中指定的 F、S、T 功能有效, 但在 ns 到 nf 之间指定的 F、S、T 功能将被忽略;

例 7.11: 利用 G72 指令编制如图 7-31a 所示零件的粗车加工程序。

O117;

G00 G40 G97 G99 S600 M03 T0202 F0.3;

G41 X132. Z2.; /沿着进给方向看, 刀具在被加工表面的左侧

G72 W4. R2.;

G72 P20 Q30 U2. W1.;

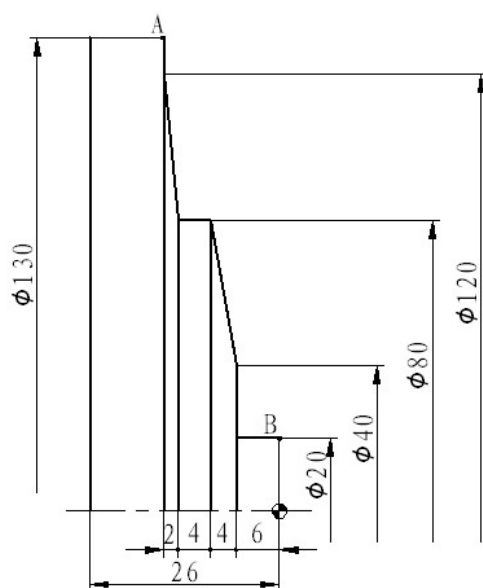
N20 G00 Z-16.;

```

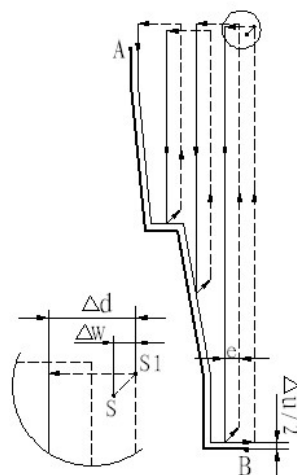
G01 X120.;
X80. W2.;
W4.;
X40. W4.;
X20.;
N30 W6.;
G28 U0 W0 T00;
M05;
M30;

```

精车形状程序段组 (S—A—B)



a) 零件图



b) G72 编程刀具路径

图 7-31 G72 编程示例

**G72 编程刀具路径描述：**如图 7-31b 所示，本例中刀具先从程序外的点快速定位到点 S ( $X_{132}, Z_2$ )，再快速定位到由 S 点在 X 和 Z 向分别偏置  $\Delta u/2$  和  $\Delta w$  得到点 S1 ( $X_{133}, Z_3$ )。从 S1 点出发沿 Z 向快速进刀，Z 向每次的切除量为  $\Delta d$ ，在每层切削进给终点，刀具以进给速度沿  $45^\circ$  方向退刀，退刀量为  $e$  (2mm)，然后快速定位到点 S1 的 X 向位置开始下一刀循环。与 G71 不同的是 G72 指令使刀具沿着 Z 向间歇进刀，沿着 X 向进给切削。最后一刀车削也是沿着精车形状在 X 和 Z 向分别偏置  $\Delta u/2$  和  $\Delta w$  的轮廓走刀，从而得到留有余量的工件轮廓。

使用 G72 指令时，还需要注意以下问题：

①精车形状起始程序段 (顺序号 ns) 中，只能用 G00 或 G01 指定 Z 轴的移动，而不能



指定 X 轴的移动；

②只能在精车形状程序段组之外指定刀尖圆弧半径补偿 G41/G42 和取消刀尖圆弧半径补偿 G40；

③G72 指令通常用于具有较小长径比的盘类零件的粗车循环。

④G72 切削的形状有四种模式，如图 7-32 所示。X 轴和 Z 轴均须单调增加或单调减少的形状。在 W(+)的情况下，不可加工比循环起点 A 更高位置的形状。在 W(-)的情况下，不可加工比循环起点 A 更低位置的形状。

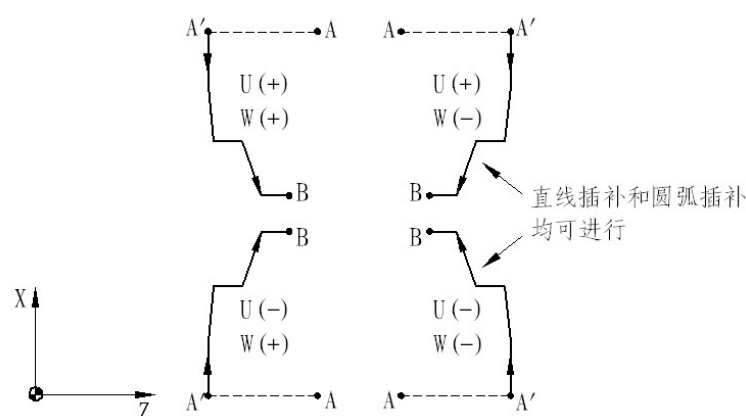


图 7-32 G72 切削形状的 4 种模式

### (3) 闭合车削固定循环指令 G73

格式：G73 U( $\Delta i$ ) W( $\Delta k$ ) R(d)；

G73 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F\_\_\_\_ S\_\_\_\_ T\_\_\_\_；

$N(ns) \dots\dots;$   
 $\dots\dots$   
 $N(nf) \dots\dots;$

} ns 到 nf 之间为根据工件尺寸形状编制的刀具精车程序段组

$\Delta i$ : X 方向的总退刀量即 X 方向的毛坯切除余量，用半径值指定；

$\Delta k$ : Z 方向的总退刀量即 Z 方向的毛坯切除余量；

d: 分割次数即粗车循环的次数，其值为模态指定；

ns: 精车形状程序段组中起始程序段的顺序号；

nf: 精车形状程序段组中结束程序段的顺序号；

$\Delta u$ : X 方向预留的精加工余量，用直径值表示，有正、负号；

$\Delta w$ : Z 方向预留的精加工余量有正、负号；

F、S、T: 在包含 G73 的程序段中指定的 F、S、T 功能有效，但在 ns 到 nf 之间指定的 F、

S、T 功能将被忽略；

例 7.12：利用 G73 指令编制图 7-33 所示零件的粗车加工程序。

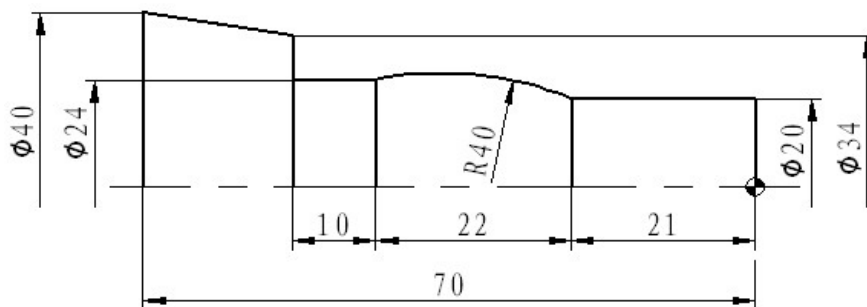


图 7-33 G73 编程示例

O118;

G00 G40 G97 G99 S500 M03 ;

G01 W-10.;

T0101 F0.3;

X34;

G42 X70. Z5.;

N80 X40. Z-70.;

G73 U9. W9 R3.;

G00 G40 X100. Z100.;

G73 P60 Q80 U2. W1.;

G28 U0 W0 T00;

N60 G00 X20. Z0;

M05;

G01 Z-21.;

M30;

G03 X24. W-22. R40.;

G73 编程刀具路径描述：如图 7-34 所示，本例中刀具先从程序外的点快速定位到点 S (X70, Z5)，再经点 M (X71, Z6) 快速定位到点 S1 (X90, Z15)。从 S1 点出发，经过 3 次粗车循环得到留有精车余量的工件轮廓。

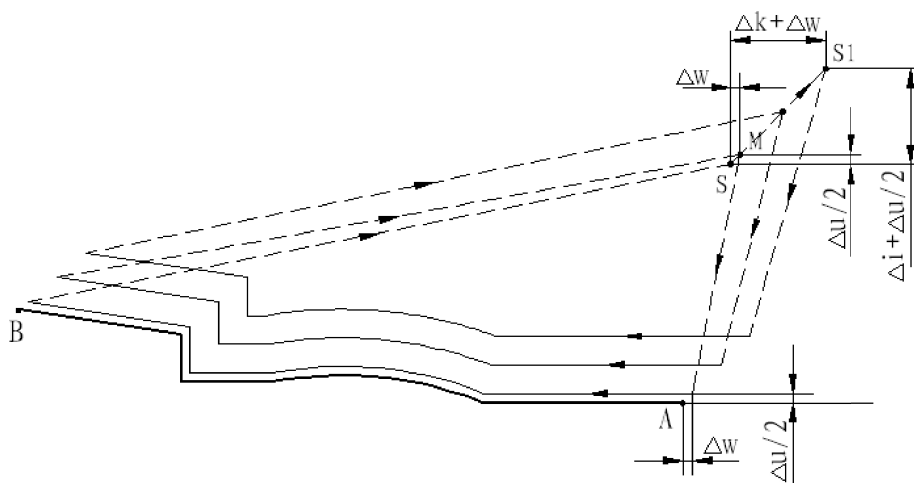


图 7-34 G73 编程刀具路径

使用 G73 指令时，还需要注意以下问题：

①精车形状起始程序段（顺序号 ns）中，只能用 G00 或 G01 指定；

②只能在精车形状程序段组之外指定刀尖圆弧半径补偿 G41/G42 和取消刀尖圆弧半径补偿 G40；

③G73 指令通常用于毛坯为铸件或锻件为的零件即已具备与零件相似的基本轮廓；

④G73 指令对工件轮廓的单调性没有要求；

（4）精车固定循环指令 G70

格式：G70 P(ns) Q(nf)；

该指令与 G71、G72、G73 指令配合使用，用于去除粗车循环留下的加工余量完成精加工。通常放在粗车循环完成后的程序段，调用 ns 到 nf 所描述的精车形状，使刀具沿着精车形状走刀。

例 7.13：利用 G73 和 G70 指令编制图 7-33 所示零件的加工程序，粗加工车刀为 01 号，精加工车刀为 02 号。

O118；

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0101 F0.3；                      /01 号刀，01 号补偿

G42 X70. Z5.；

G73 U9. W9 R3.；

G73 P60 Q80 U2. W1.；

N60 G00 X20. Z0；

G01 Z-21.；

G03 X24. W-22. R40.；

G01 W-10.；

X34；

N80 X40. Z-70.；

G00 G40 X100. Z100.；                      /粗车循环结束返回指定点

G00 G40 G97 G99 S800 M03 T0202 F0.1；                      /换 02 号刀，02 号补偿

G42 X70. Z5.；

G70 P60 Q80；                      /调用精车形状程序段组，完成精加工

G00 G40 X100. Z100.；

G28 U0 W0 T00；

M30:

格式: G75 R(e);

G75 X(U)\_\_\_\_\_Z(W)\_\_\_\_\_P( $\Delta$ i) Q( $\Delta$ k) R( $\Delta$ d) F\_\_\_\_\_;

**e:** X 向退刀量，刀具每次沿径向切削进给后的退回量，用半径值指定，其值为模态指定；

$X(U)$ : 径向进刀的终点坐标 (图 7-35 中 B 点的 X 向坐标);

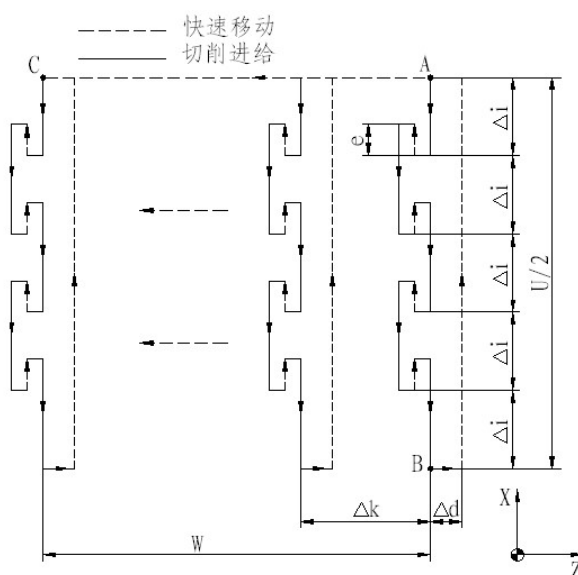
Z(W): 轴向进刀的终点坐标 (图 7-35 中 C 点的 Z 向坐标);

$\Delta i$ : X 方向每次进刀量, 用半径值指定, 不可以用带小数点的数输入, 其单位为  $\mu\text{m}$ ;

$\Delta k$ : 完成一次径向循环后, 刀具在  $z$  方向的移动量, 不可以用带小数点的数输入, 其单位为  $\mu m$ ;

$\Delta d$ : 刀具每次循环切削到槽底位置时, z 方向的退刀量;

**G75** 指令主要用于切断或切槽加工，不可进行刀尖圆弧半径补偿。其刀具路径为：如图 7-35 所示，切槽刀从设定点快速定位到循环点 **A**，并以每次切除量 $\Delta i$ 沿 **X** 向分次切削进给。每次进刀 $\Delta i$ 后刀具都快速回缩一个退刀量 **e**，而后再继续进刀，如此往复直到槽底位置 **B**。到达 **B** 点后刀具沿 **Z** 向退刀 $\Delta d$ ，并以快速移动方式返回，之后向 **C** 点方向快速移动 $\Delta k$ ，再次进行切削。需要说明的是实际切削时刀具沿着 **X** 向的进、退刀动作处于同一直线上，为了表达清楚才在图中使它们错开一个距离。



### 7-35 G75 编程刀具路径

#### 14. 子程序的调用

如图 7-36 所示, 该工件由若干个等尺寸的槽组成, 用 G75 指令按上述方法编程时, 刀具在每一个槽的位置都要执行相同的程序段, 这样不仅程序语句多, 也增加了编程工作量。所以考虑将切槽动作编写为一个子程序, 然后由主程序定位切槽循环点的位置并调用子程序进行加工。

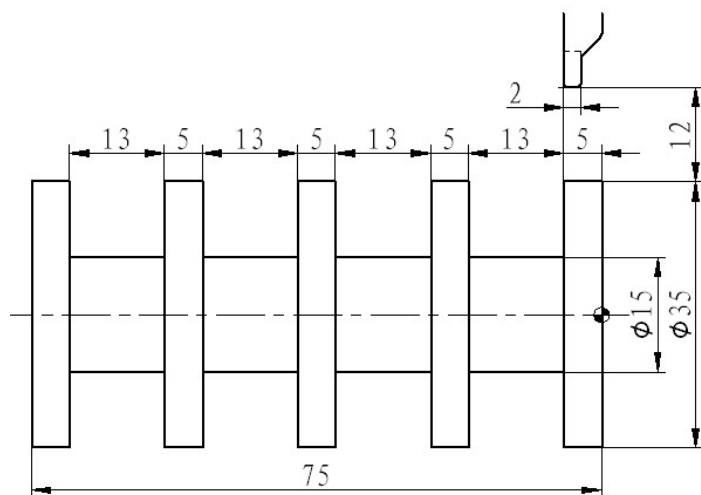


图 7-36 切槽工件示例

子程序调用指令格式: M98 P\_\_\_\_ L\_\_\_\_;

返回主程序指令: M99;

子程序由 M99 指令结束, 在主程序中用 M98 调用子程序, P 用来指定调用的子程序号, L 用来指定调用次数, 调用与返回的关系如图 7-37 所示, 主、子程序可以多级调用。



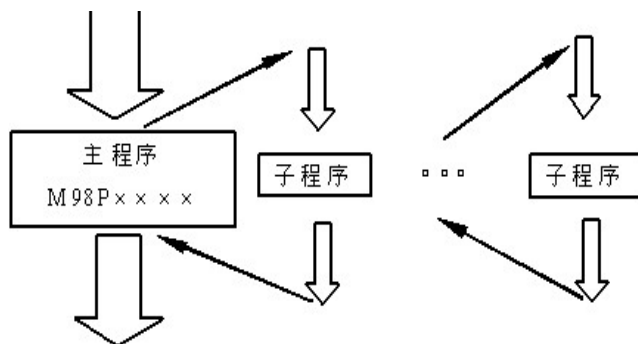


图 7-37 主、子程序调用关系

例 7.14 利用主、子程序编制图 7-36 所示工件切槽的车削程序。

O100; (主程序)

G00 G40 G97 G99 S500 M03 T0202 F0.3;

X59. Z-7.; /考虑到 2mm 的刀宽, 刀位点向-Z 方向多移动一个刀宽

M98 P200 L4; /调用 O200 号子程序, 调用 4 次

G28 U0 W0 T00;

M05;

M30;

O200; (子程序)

G75 R0.5; /退刀量 0.5mm

G75 U-44. W-11. P1500 Q1500; /X 向每次进刀 1.5mm, Z 向每次进刀 1.5mm

G00 W-18.; /快速移动到下一个槽的切削循环点

M99;

7.2.4 编程实例

1. 编程实例（一）

编制如图 7-38 所示工件的加工程序，零件毛坯为  $\Phi 58$  的长棒料，材料为铝。

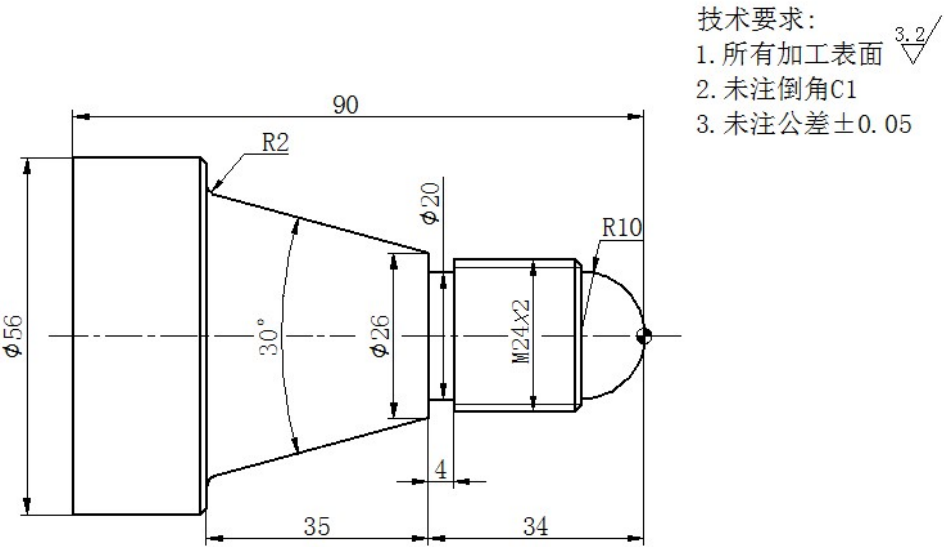


图 7-38 编程实例（一）

- 1) 工艺分析：该工件毛坯为  $\Phi 58$  的长棒料，加内容为外轮廓、退刀槽和螺纹，根据工件结构选择卧式数控车床进行加工，选择三爪卡盘装夹；
- 2) 加工路线：根据表面粗糙度和尺寸精度要求，确定加工路线为：粗车轮廓—精车轮廓—切槽—车螺纹—切断--掉头平端面的，粗车为精车留单边 0.2mm 的余量；
- 3) 刀具选择：粗车选择  $90^\circ$ 外圆车刀，精车选择  $35^\circ$ 精车刀，切槽和切断选择 4mm 切断刀，车螺纹选择  $60^\circ$ 螺纹车刀；
- 4) 切削参数：见表 7.3；
- 5) 数学处理：选择工件左端面中心为工件坐标系，该工件上所有编程节点相对于工件坐标系原点的坐标值只有  $30^\circ$ 圆锥面的终点坐标不能直接读出，利用几何计算得到锥面的终点坐标为 (44.76, -69)。

表 7.3 数控加工工序卡

零件号		001	程序号	O100	编制日期		
零件名称					编制		
工步号	程序段号	工步内容	使用刀具名称		切削参数		
			刀具号	补偿号	S r/min	F mm/r	ap mm

1	N1	粗车轮廓	90° 外圆车刀		500	0.2	1.5
			T01	01			
2	N2	精车轮廓	35° 外圆车刀		800	0.1	0.2
			T02	02			
3	N3	切槽	4mm 切断刀		400	0.15	0.5
			T03	03			
4	N4	车螺纹	60° 螺纹车刀		500	L	
			T04	04			
5	N5	切断	4mm 切断刀		400	0.15	1
			T03	03			

# 6) 编制程序

O100;

N1; /粗车轮廓段

G00G40G97G99S500M03T0101F0.2;

X80.Z20.;

G42X60.Z2.;

G71U1.5R0.5;

G71P30Q40U0.4W0.2;

N30 G00X0;

G01Z0.;

G03X20.Z-10.R10.;

G01X24.C-1.;

Z-34.;

X26.;

X44.76Z-79.R2.;

X56.C-1.;

Z-95.; /由于是长棒料需要切断，所以多切出 5mm 作为切断区域

N40 X60.;

G00G40X80.Z20.;

M05;

N2; /精车轮廓

G00S800M03T0404F0.1;

G42X60.Z2.;

G70P30Q40;

G00G40X80.Z20.;

M05;

N3; /切槽

G00S400M03T0303F0.15;

Z-34;	/考虑切断刀宽度
X30.;	
G75R0.5;	
G75X20P500;	
G00X80.;	
Z20.;	
M05;	
N4;	/车螺纹
G00S500M03T0404;	
X26.Z-8.;	/切削螺纹循环点
G92X23.1 Z-31.F2.;	
X22.5;	
X21.9;	
X21.5;	
X21.4;	
G00X80.;	
Z20.;	
M05;	
N5;	/切断
G00S400M03T0303F0.15;	
Z-94.5;	/考虑刀宽和平端面余量
X58.;	
G75R0.5;	
G75X0.5P1000;	
G00X80.;	
Z20.;	
M05;	
M30;	

## 2. 编程实例（二）

编制如图 7-39 所示工件的加工程序, 零件毛坯如图 a 所示, 图 b 为零件图。

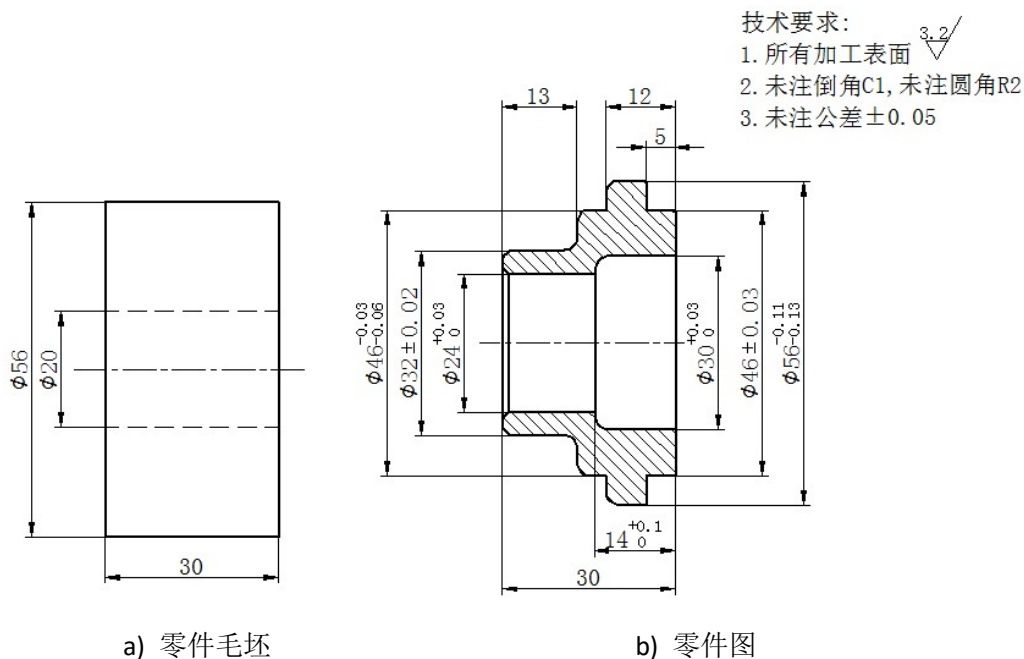


图 7-39 编程实例 (二)

1) 工艺分析: 该工件毛坯如图 a 所示, 加内容为外轮廓和阶梯孔, 根据零件结构选择卧式数控车床进行加工, 加工内孔和右侧轮廓时选择三爪卡盘装夹, 装夹位置和工件坐标系原点如图 7-40 a 所示; 加工左侧轮廓时选择  $\Phi 24$  可胀心轴装夹, 装夹位置和工件坐标系原点如图 7-40b 所示, 图中粗实线为一次装夹要完成的加工内容。

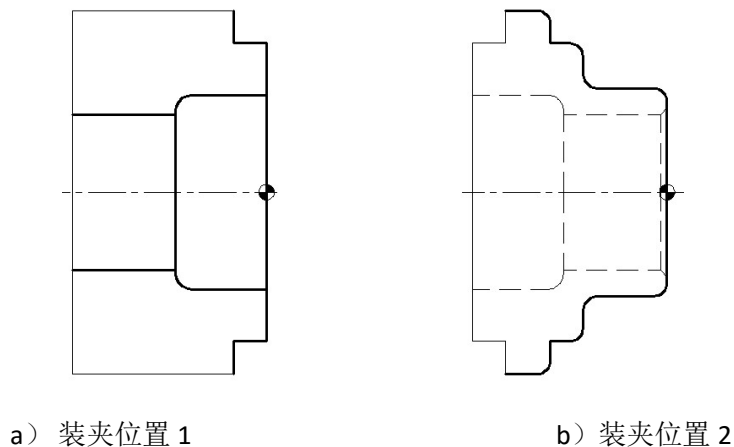


图 7-40 编程实例 (二) 装夹位置

2) 加工路线: 根据表面粗糙度和尺寸精度要求, 选择加工路线: 粗车右侧轮廓—精车右侧轮廓—粗镗阶梯孔—精镗阶梯孔—掉头粗车左侧轮廓—精车左侧轮廓, 粗车为精车留单边 0.2mm 的余量;

3) 刀具选择: 粗车选择 90°外圆车刀, 精车选择 35°精车刀, 粗镗孔刀, 精镗孔刀;

4) 切削参数: 见表 7.4

5) 数学处理: 该工件上所有编程节点相对于工件坐标系原点的坐标值均能读出;

表 7.4 数控加工工序卡

零件号		002	程序号	O200	编制日期		
零件名称					编制		
工步号	程序段号	工步内容	使用刀具名称		切削参数		
			刀具号	补偿号	S r/min	F mm/r	ap mm
1	N1	粗车右侧轮廓	90° 外圆车刀		500	0.2	1.5
			T01	01			
2	N2	精车右侧轮廓	35° 外圆车刀		800	0.1	0.2
			T02	02			
3	N3	粗镗阶梯孔	粗镗孔刀		300	0.2	1
			T03	03			
4	N4	精镗阶梯孔	精镗孔刀		400	0.1	0.2
			T04	04			
5	N5	粗车左侧轮廓	90° 外圆车刀		500	0.2	1.5
			T01	01			
6	N6	精车左侧轮廓	35° 外圆车刀		800	0.1	0.2
			T02	02			

6) 编制程序

O200;

N1; /粗车右侧外轮廓

G00G40G97G99S500M03T0101F0.2;

X80.Z20.;

G42X58.Z2;

G71U1.5R0.5;

G71P10Q20U0.4W0.2;

N10 G00X0;

G01Z0.;

G01X46.;

Z-5.;

X56.;

N20 X58.;



G00G40X80.Z20.;	
M05;	
N2;	/精车右侧外轮廓
G00S800M03T0202F0.1;	
G42X58.Z2.;	
G70P10Q20;	
G00G40X80.Z20.;	
M05;	
N3;	/粗镗阶梯孔
G00S300M03T0303F0.2;	
G41X14.Z2;	
G71U1.R0.5;	
G71P30Q40U-0.4W0.2;	
N30 G00X30;	
G01Z-12.;	
G03X26.Z-14.R2.;	
G01X24.;	
Z-30.C1.;	
N40 X14.;	
G00G40Z20.;	
X80.;	
M05;	
N4;	/精镗阶梯孔
G00S400M03T0404F0.1;	
G41X14.Z2;	
G70P30Q40;	
G00G40Z20.;	
X80.;	
M05;	

N5;

/粗车左侧外轮廓

G00G40G97G99S500M03T0101F0.2;

X80.Z20.;

G42X58.Z2;

G71U1.5R0.5;

G71P50Q60U0.4W0.2;

N50 G00X0;

G01Z0.;

G01X32.R-2.;

Z-16.R2.;

X46.R-2.;

Z-5.;

X56.R-2.;

Z-30.;

N60 X58.;

G00G40X80.Z20.;

M05;

N6;

/精车左侧外轮廓

G00S800M03T0202F0.1;

G42X58.Z2.;

G70P50Q60;

G00G40X80.Z20.;

M05;

M30;

## 8.2 FANUC 系统数控铣床（加工中心）的手工编程

本节主要介绍配备 FANUC 数控系统的数控铣床（加工中心）的手工编程方法，目前广泛应用于数控铣床和加工中心上的数控系统型号为 FANUC 0i(mate)-MC、FANUC 0i(mate)-MD、FANUC 0i(mate)-MA 等，高档系统一般为 FANUC-16i 最大支持 8 轴 6 联动，FANUC-18i 最大支持 6 轴 4 联动。

### 8.2.1 FANUC 系统数控铣床（加工中心）的基本编程指令

#### 1. 工作平面选择指令（G17、G18、G19）

如图 8-1 所示，数控铣床的三个坐标轴构成了一个空间坐标系，铣削二维轮廓的工件时，将轮廓面平行于不同的坐标平面安装，刀具运动的工作平面则不尽相同，所以需要根据工件的不同安装方式合理的选择刀具工作平面。

G17: 指定刀具当前工作平面为 XY 平面

G18: 指定刀具当前工作平面为 XZ 平面

G19: 指定刀具当前工作平面为 YZ 平面

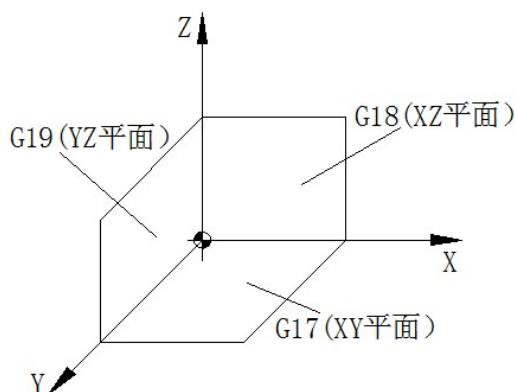


图 8-1 刀具工作平面的指定

#### 2. 工作坐标系指定（G54—G59）

数控铣床（加工中心）的坐标系统包括机床坐标系（machine）、参考坐标系（reference）和工件坐标系（work），如图 8-2 所示，工件坐标系与机床坐标系之间的坐标偏置关系式通过参考坐标系间接建立的，而参考坐标系与机床坐标系之间的位置关系是机床出厂前设定好的。

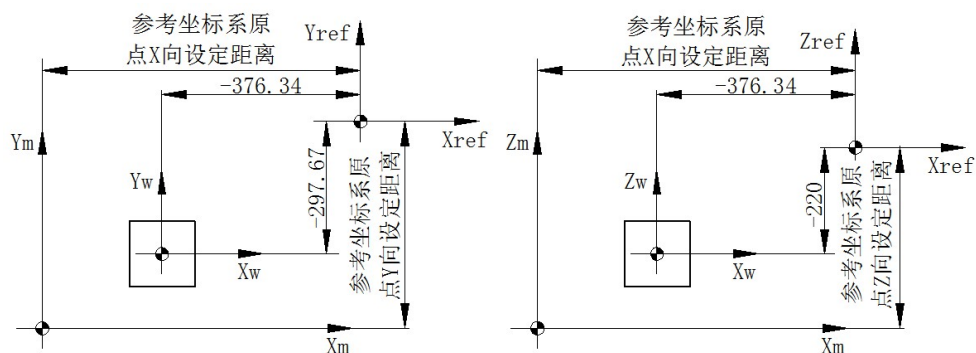


图 8-2 数控铣床坐标系

编程时选择工件上的某一点作为编程基准原点即工件坐标系的原点，但工件加工时，需要将工件安装到机床工作台上的某个位置，此时工件坐标系和机床坐标系之间的相对位置关系并没有输入到数控系统中，机床无法控制刀具完成加工。所以在加工前需要将工件坐标系和机床坐标系之间的相对位置关系输入到如图 8-3 所示的数控系统坐标设定界面中的预置工件坐标系 G54~G59 中。

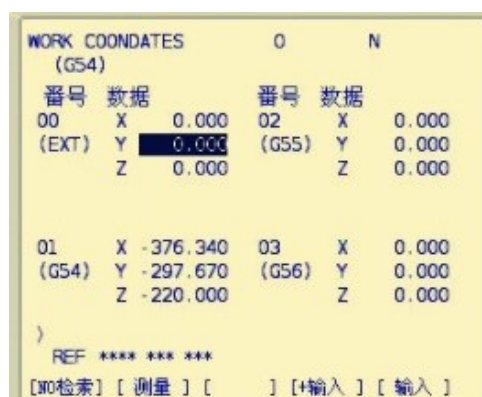


图 8-3 数控系统坐标输入界面

在运行加工程序时，通过调用存有正确偏置信息的某个坐标系（G54—G59）建立工件坐标系和机床坐标系之间的联系。例如工件坐标系与机床坐标系的偏置值存储在 G54 中，起始程序段表示为：

G17 G90 G54 G00 X10. Y5.S500 M03;

表示 XY 平面内以绝对坐标方式编程，调用 G54 中的偏置值，建立当前工件坐标系与机床坐标系的关系，此后坐标地址指定的移动量都是以工件坐标系原点为基准的坐标值。

### 3. 编程方式选择 G90/G91

数控铣削程序的编制可以采用绝对坐标方式或相对坐标方式，与车削程序不同，铣削程序中用 G90 指定绝对坐标编程方式，用 G91 指定相对坐标方式，二者均未模态指令，可以互相替代。

#### 4. F、S、T 功能指令

##### 1) 切削进给指令 F

格式： F\_\_\_\_；

地址 F 后的数值单位为 mm/min，直线插补和圆弧插补均需要 F 指定进给速度，最大进给速度受系统设定的限制。

##### 2) 主轴功能指令 S

格式： S\_\_\_\_ ；

地址 S 后面数值的单位为 r/min，S 只规定主轴每分钟的转数，要使主轴按指定的转数转动需要和辅助功能指令 M03 或 M04 一起使用，例如 S600M03；表示主轴以 600r/min 的转速正转。主轴最大转数受系统和机床结构的限制。

##### 3) 刀具功能指令 T

格式： T\_\_\_\_ ；

地址 T 后面的数值为刀库中对应编号的刀具，T 只规定选择某一把刀，要完成换刀动作还需要和辅助功能指令 M06 一起使用，例如 T08 M06；表示将刀库中的 6 号刀具换到主轴上。

#### 5. 快速定位指令 G00

格式： G00 X\_\_\_\_Y\_\_\_\_Z\_\_\_\_；

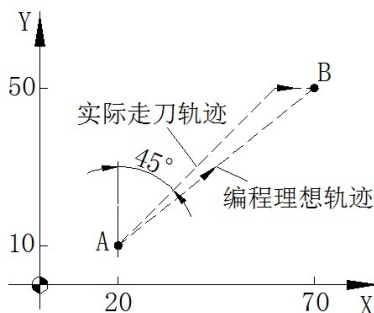


图 8-4 快速进刀指令 G00 轨迹

执行 G00 指令，刀具以机床系统设定的“快移进给速度”从当前点移动到目标点。快速移动速度不能在地址 F 中规定，速度可由面板上的快速修调按钮调整。在 G90 模式下，X、Y、Z 后面的数字为刀具目标点在工件坐标系中的坐标值（下文同），G00 为模态指令，即被指定后一直有效，只有被同组模态指令取代时才失效。该指令属于点位控制，即只要求刀具到达目标点，而对刀具实际运动的轨迹不做要求。如图 8-4 所示，要求刀具从 A 点快速移动到 B 点的程序段为：

绝对坐标编程：G90 G54 G00 X70. Y50.；

相对坐标编程：G91 G54 G00 X50. Y40.；

## 6. 直线插补指令 G01

该指令使刀具按照给定的切削进给速度 F (mm/min) 进行直线插补，与 G00 的区别在于 G01 控制刀具沿指定的路径切削进给完成加工，而 G00 用于快速定位。G01 为模态指令。

格式：G01 X\_\_\_Y\_\_\_Z\_\_\_ F\_\_\_；

如图 8-5 所示，XY 平面轮廓铣削程序如下：

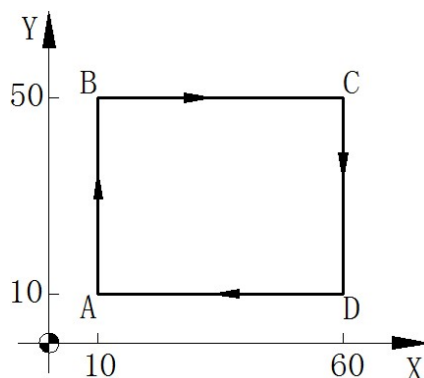


图 8-5 G01 直线插补进给示例

O101；（绝对坐标编程）

.....

N50 G90 G54 G00 X10. Y10； /快速定位到 A 点，G90 为模态指令未见 G91 替代时续效

N60 G01 X10. Y50. F50； /以 50mm/min 的进给速度切削至 B 点

N70 X60.； /切削至 C 点，G01 续效，F 续效

N80 Y10.； /切削至 D 点，X 坐标无变化可省略

N90 X10. Y10.； /切削至 A 点

.....

O102；（相对坐标编程）

.....

N50 G91 G54 G00 X10. Y10； N80 Y-40.；

N60 G01 X0 Y40. F50； N90 X-50.；

N70 X50.； .....

## 7. 圆弧插补指令（G02、G03）

该指令使刀具按照给定的进给速度在刀具工作平面内作逆时针或顺时针的圆弧插补运

动，铣削出具有圆弧轮廓的零件。G02 为顺时针圆弧插补，G03 为逆时针圆弧插补，均为模态指令。各工作平面上的插补方向判别如图 8-6 所示，在 XY 平面内，逆着 Z 轴的正方向看，刀具顺时针运动为 G02，刀具逆时针运动为 G03；同样在 YZ 平面内。逆着 X 轴的正方向看，刀具顺时针运动为 G02，刀具逆时针运动为 G03。

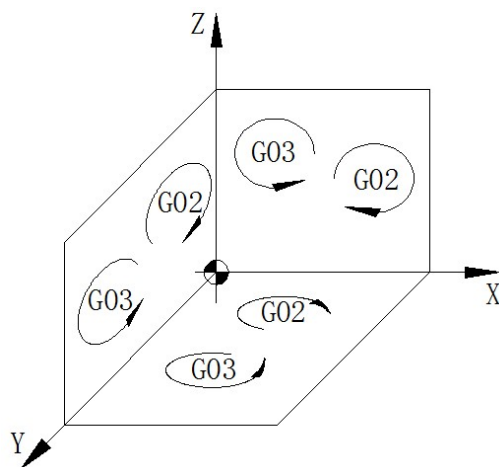


图 8-6 顺、逆时针圆弧插补判断

#### 1) 圆弧终点坐标和半径插补格式

G17 G02/G03 X\_\_\_ Y\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_;

G18 G02/G03 X\_\_\_ Z\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_;

G19 G02/G03 Y\_\_\_ Z\_\_\_ R\_\_\_ F\_\_\_;

#### 2) 圆弧终点坐标和分矢量插补格式

G17 G02/G03 X\_\_\_ Y\_\_\_ I\_\_\_ J\_\_\_ F\_\_\_;

G18 G02 /G03 X\_\_\_ Z\_\_\_ I\_\_\_ K\_\_\_ F\_\_\_;

G19 G02 /G03 Y\_\_\_ Z\_\_\_ J\_\_\_ K\_\_\_ F\_\_\_;

其中：

X、Y、Z 为圆弧插补终点坐标；

R 为圆弧半径值，当圆弧的圆心角 $\leq 180^\circ$  时 R 取正值，当圆弧的圆心角 $> 180^\circ$  时，R 取负值；

I、J、K 为圆弧起点到圆弧圆心的方向矢量在对应轴上的投影，与坐标轴同向取正值，反之取负值；

如图 8-7 所示，在 XY 平面内两种格式的圆弧插补程序段如下：



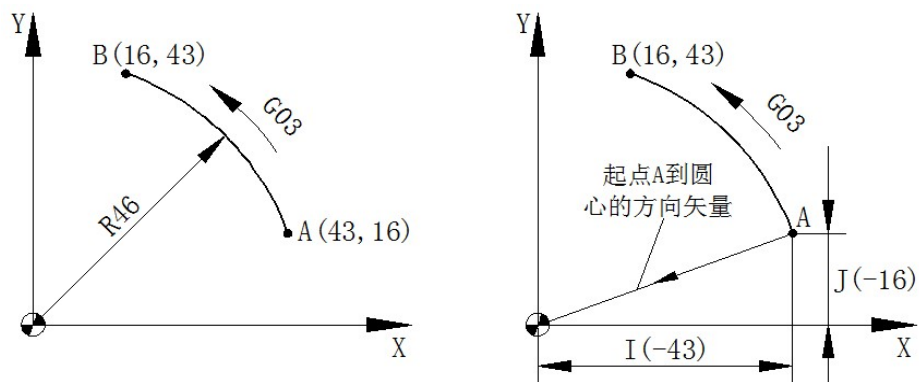


图 8-7 圆弧插补示例

圆弧终点坐标和半径格式:

G17G90 G54 G00 X43.Y16.;

G03 X16.Y43. R46. F100;

圆弧终点坐标和分矢量格式:

G17 G90 G54 G00 X43. Y16.;

G03 X16. Y43. I-43. J-16. F100;

例 8.1: 编制如图 8-8 所示 XY 平面圆弧插补程序。

G17G90G54G00X0Y0S600M03F100;

G02I30.;

G03X-30.Y30.R30.;

G03X-15.Y15.R-15.;

M05;

M30;

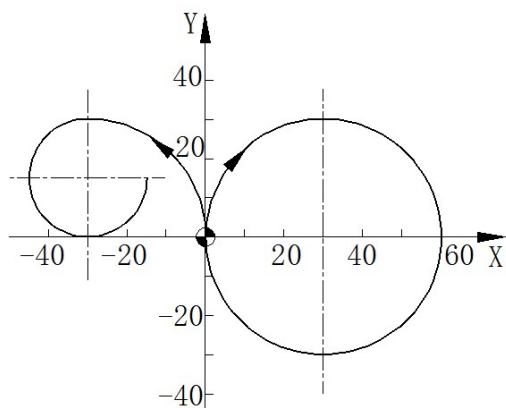


图 8-8 圆弧插补编程示例

3) 圆弧插补指令的使用注意事项:

- (1) 当 I、J、K 值为 0 时, 可省略该地址符;
- (2) 圆弧插补的程序段内不能有刀具功能指令 T;
- (3) 当 I、J、K 和 R 同时被指定时, R 指令优先, I、K 值无效;

## 8. 暂停指令 G04

在数控铣床（加工中心）上进行孔加工时，为了使被加工表面获得较好的质量，通常在主轴保持转动的同时，刀具在孔底停留一段时间。指令格式为：

G04 P\_\_\_\_\_；

P 后面的数字为整数单位为 ms。G04 为非模态指令，只在当前程序段有效。

## 9. 辅助功能指令（M 指令）

辅助功能字主要对加工过程中的辅助动作及其状态进行设定，常用的辅助功能字主要有：

### 1) 程序停止指令 M00

在零件加工过程中，如果需要临时停机检验工件或进行调整、清理切屑等操作时，可使用 M00 指令使机床暂时停止。当再次按下循环启动按钮时，才能执行后面的程序。

### 2) 程序选择停止指令 M01

该指令与 M00 功能相似，但只有打开机床控制面板上的“选择停止”控制键才能使该指令有效。

### 3) 程序结束指令 M02

执行该指令使主程序结束，机床停止运转，加工过程结束，但该指令并不能使指令指针自动返回到程序的起始段。

### 4) 程序结束指令 M30

该指令与 M02 具有相同的功能，不同的是该指令使指令指针自动返回到程序的起始段。

### 5) 主轴正转指令 M03

该指令与 S 指令结合使主轴按照 S 设定的速度正向旋转，如 S500 M03；主轴正转定义为逆着 Z 轴的正向看，主轴顺时针旋转为正转。

### 5) 主轴反转指令 M04

使主轴按照 S 指令设定的速度反向旋转，如 S500 M04；主轴反转定义为逆着 Z 轴的正向看，主轴逆时针旋转为反转。

### 6) 主轴停转指令 M05

如果其他指令与 M05 在同一个程序段内，则待其他指令执行完成之后才使主轴停转。

### 7) 自动刀具交换指令 M06

与刀具指令 T 配合使用，将 T 指令指定的刀具自动换到主轴上，如 T12 M06。

### 8) 打开冷却液指令 M08

### 9) 关闭冷却液指令 M09

## 10. 刀具半径补偿

实际的铣刀并不是理想的直径为零的线，任何铣刀都是有径向尺寸的，数控程序中坐标移动控制的是刀位点的运动，如图 8-9 所示为立铣刀和球铣刀的刀位点。如果在编程时不考虑铣刀的径向尺寸则不能加工出符合尺寸要求的工件。

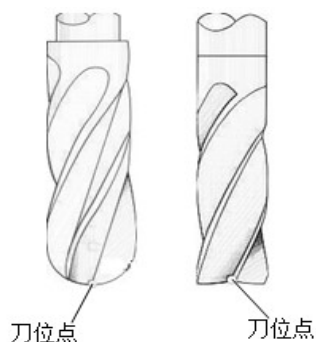


图 8-9 铣刀刀位点

例 8.2: 编制如图 8-10 所示 XY 平面内轮廓铣削程序，立铣刀直径  $D=10\text{mm}$ ，Z 向切深为  $5\text{mm}$ ，工件坐标系原点如图所示。

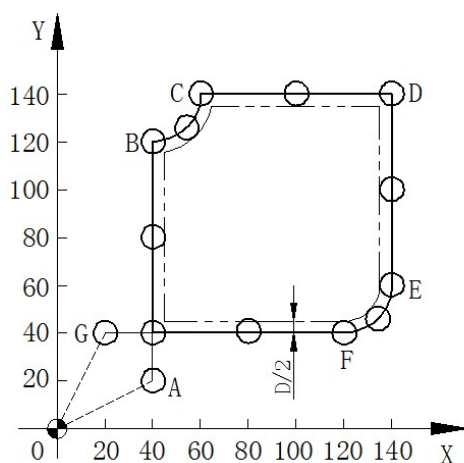


图 8-10 未考虑铣刀半径的编程

O300;

N001 G90 G54 G17 G00 X0 Y0 S800 M03;

N002 Z100.; /快速定位到原点上方 100mm

N003 Z5.; /快速定位到原点上方 5mm

N004[ ] X40. Y20. [ ]; /快速定位到点 A

N005 G01 Z-5. F50; /Z 向进给切削-5mm

N006 Y120. F100; /进给到 B 点

N007G03 X60. Y140. R20.; /进给到点 C

N008G01 X140.;	/进给到点
N009 Y60.;	/进给到 E 点
N010 G02 X120. Y40. R20.;	/进给到 F 点
N011 G01 X20.;	/进给到 G 点
N012 G00 [    ] X0. Y0.;	/快速定位到原点
N013 Z100.;	/快速抬刀至原点 Z 向 100mm
N014 M05;	
N015 M30;	

如图 8-10 所示，编程控制的是铣刀刀位点的运动轨迹，D10 铣刀的刀位点位于刀具中心与底面的交点。但实际切削过程中并不是刀具中心在切削工件而是刀具圆周上的切削刃切削。因此实际加工出来的工件每个边都被多切掉了一个刀具半径，如图中双点划线所示。显然按工件设计尺寸编制加工程序时若不考虑刀具半径的存在是不能加工出满足尺寸要求的工件的。

如图 8-11 所示，为了加工出满足尺寸要求的工件，需要控制刀位点相对工件轮廓偏置一个半径值，即沿着 A' —B' —C' —D' —E' —F' —G' 的轨迹运动，从而保证参与切削的刀刃与工件轮廓相切。

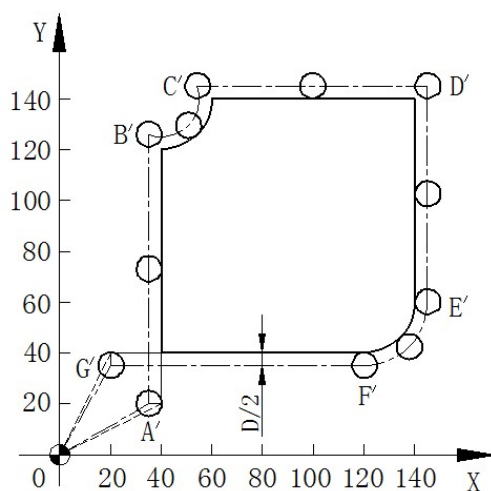


图 8-11 铣刀半径补偿轨迹

数控程序不仅要按照工件的设计尺寸编制，而且还要使刀位点轨迹相对于工件轮廓偏置一定的距离。这就需要使用刀具半径补偿指令 G41 和 G42，G41 刀具半径左补偿，如图 8-12a 所示，左补偿为沿着刀具进给方向看刀具位于被加工轮廓的左侧；G42 为刀具半径右补偿，如图 8-12b 所示，右补偿为沿着刀具进给方向看刀具位于被加工轮廓的右侧；G41 为顺铣，G42 为逆铣，数控铣削编程中常采用顺铣加工方式。

1) 指令格式: G00 (G01) G41 (G42) X\_\_ Y\_\_ D\_\_; /进行补偿

G00 (G01) G40 X\_\_ Y\_\_; /取消补偿

格式说明: G41 刀具半径左补偿;

G42 刀具半径右补偿; G40 取消刀具半径补偿;

D\_\_刀具补偿号, D 后面跟两位非 0 数字表示补偿寄存器地址;

D00 为取消补偿与 G40 等效;

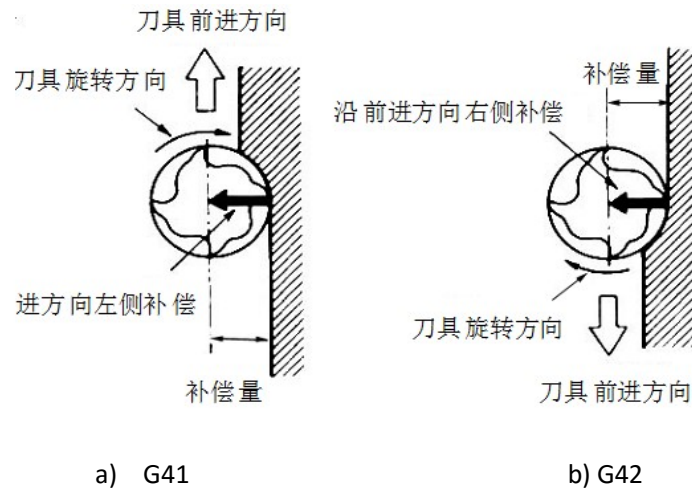


图 8-12 铣刀半径左、右补偿判定

将刀具半径补偿指令用于例 8-2 中, 使刀具按照图 8-11 所示轨迹运动的程序如下:

O300;

N001 G90 G54 G17 G00 X0 Y0 S800 M03;

N002 Z100.;

N003 Z5.;

N004[G41] X40. Y20. [D01]; /刀具半径左补偿, 并调用 01 号补偿寄存器中的补偿值

N005 G01 Z-5. F50; /Z 向进给切削-5mm

N006 Y120. F100; /进给到 B 点

N007G03 X60. Y140. R20.;; /进给到点 C

N008G01 X140.;; /进给到点

N009 Y60.;; /进给到 E 点

N010 G02 X120. Y40. R20.;; /进给到 F 点

N011 G01 X20.;; /进给到 G 点

N012 G00 [G40] X0. Y0.;; /取消刀具半径补偿, 并回工件坐标系原点

N013 Z100.;; /快速抬刀至原点 Z 向 100mm

N014 M05;

N015 M30;

说明:

- (1) 程序中有[ ]标记的地方是与没有使用刀具半径补偿程序的不同之处;
- (2) 刀具半径补偿必须在程序结束前取消, 否则刀具中心将不能回到程序原点上;
- (3) D01 是刀具补偿号, 其具体数值在加工或试运行前已设定在补偿寄存器中;
- (4) D 代码是续效(模态)代码;

## 2) 刀具半径补偿的建立过程

参考例 8.2, 见图 8-11。

### (1) 开始补偿

以下条件成立时, 机床以移动坐标轴的形式开始补偿动作:

- ①有 G41 或 G42 被指定;
- ②在补偿平面内有坐标轴的移动;
- ③指定了一个补偿号, 但不能是 D00;
- ④偏置(补偿)平面被指定或已经被指定
- ⑤G00 或者 G01 模式有效, 若用 G02 或 G03 机床会报警;

例 8.2 中, 当 G41 被指定时, 包含 G41 语句的下边两句被预读(N5, N6)。N4 指令执行完成后机床的坐标位置由以下方法确定: 将含有 G41 语句的坐标点与下边两句中在补偿平面内有坐标移动的且与当前点最近的目标点相连, 其连线垂直方向为偏置方向, G41 为左偏, G42 为右偏, 偏置大小为指定的偏置号(D01)地址中的数值。在这里 N4 坐标点与 N6 (N5 中没有补偿平面内的坐标移动)坐标点连线垂直于 X 轴, 所以刀具中心位置应在 X40.0 Y20.0 左偏一个刀具半径处, 即(X35, Y20)处。

当补偿从 N4 开始建立的时候机床只能预读两句, 若 N5、N6 都为 Z 轴移动没有 XY 轴移动, 机床无法判断下一步补偿的矢量方向, 这时机床不会报警, 补偿照常进行, 只是 N4 目的点发生变化。刀具中心将会运动到 N4 目标点与原点连线垂直方向左偏 D01 值, 会发生过切, 如图 8-13 所示。

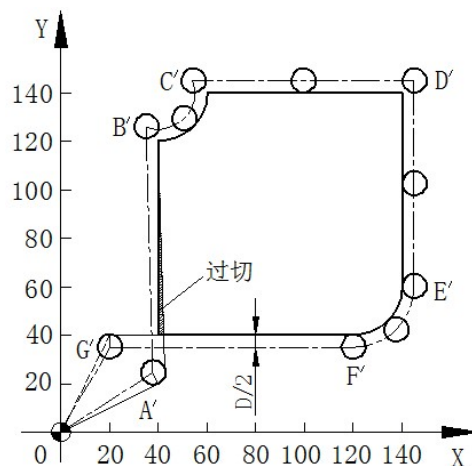


图 8-13 半径补偿的过切现象

### (2) 补偿模式保持

在补偿开始以后，进入补偿模式，此时半径补偿在 G01、G02、G03、G00 情况下均有效。在补偿模式下，机床同样要预读两句程序段以确定目的点的位置。如图 8-11。执行 N6 语句时刀具沿 Y 轴正向运动，但刀位点的目标点不再是 Y120 而是当前补偿轨迹与下一句偏置轨迹的交点 B'，以确保机床把下一个工件轮廓向外补偿一个偏置量。以此类推，其结果相当于把整个工件轮廓向外偏置一个补偿量，得到刀位点的轨迹

### (3) 取消补偿

以下两种情况之一发生时补偿模式被取消，这个过程为取消补偿：

①给出 G40，与 G40 同时要有补偿平面内坐标轴移动；

②刀具补偿号为 D00；

注：必须在 G00、G01 模式下取消补偿（用 G02、G03 机床将会报警）；

### 3) 刀具半径补偿使用的常见问题

(1) 可以通过改变半径补偿值实现同一程序进行粗、精加工：

粗加工刀补 = 刀具半径 + 精加工余量

精加工刀补 = 刀具半径 + 修正量

若刀具尺寸准确或零件上下偏差相等修正量可为 0。

(2) 改变补偿号，一般情况下刀具半径补偿号要在半径补偿取消后才能变换，如果在补偿方式下变换补偿号，当前程序段的的目的点的补偿量将按照新的给定值，而当前句开始点补偿量则不变。

### (3) 半径补偿的过切现象：

①当工件的内圆弧半径小于刀具半径时，向圆弧圆心方向的半径补偿将会导致过切，



这时机床报警并停止在要过切的程序段起始点上，见图 8-14，所以只有过渡圆角  $R \geq$  刀具半径  $r$ +精加工余量情况下才可正常切削。

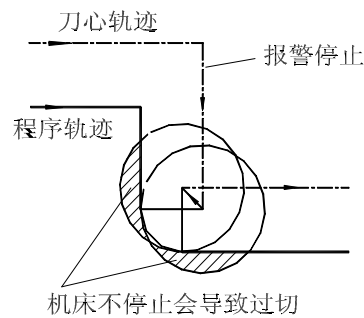


图 8-14 内圆弧半径 $<$ 刀具半径的补偿

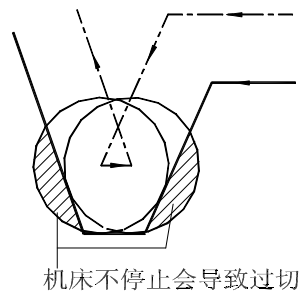


图 8-15 槽底宽度 $<$ 刀具直径的补偿

②被铣削槽底宽小于刀具直径时，刀具半径补偿使刀具中心向编程路径反方向运动，这时将会导致过切。在这种情况下，机床将会报警并停留在该程序段的起始点，见图 8-15。

(4) 无移动类指令，在包含补偿指令的语句后面两句若全为无坐标移动指令时，会出现过切的危险。无坐标轴移动语句大致有以下几种：

```
M05; G04P1000; G90; G91 X0; S1000;
```

### 11. 刀具长度补偿

在数控铣床或加工中心上进行工件的加工时往往需要用多把刀具才能完成，而每把刀具的长度不尽相同，加工工件时按第一把刀具的长度设定了工件坐标系，如果其他刀具也采用按第一把刀的 length 设定的坐标系，将会发生碰撞或过切。可以通过将不同的刀具设定在不同的工件坐标系（G54~G59）中，这种方法不仅容易混乱而且当使用的刀具超过 6 把时也不能使用。通常的做法是使用刀具长度补偿指令，如图 8-16 所示为长度补偿原理。需要说明的是当加工时只使用 1 把刀具时，可以将刀具长度设定在所使用的工件坐标系中。

设定工作坐标系时，让主轴锥孔基准面与工件上表面理论上重合。在使用每一把刀具时可以让机床按刀具长度升高一段距离，使刀尖正好在工件上表面上，这段高度就是刀具长度补偿值，其值可在刀具预调仪或自动测长装置上测出。

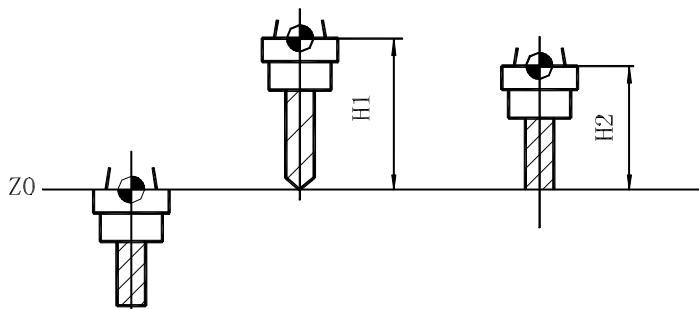


图 8-16 刀具长度补偿原理

实现这种功能的 G 代码是 G43、G44 和 G49。G43 是把刀具向上补偿，G44 是把刀具向下补偿，G49 是取消长度补偿。图 8-16 中钻头用 G43 命令向上补偿了 H1 值，铣刀用 G43 命令向上补偿了 H2 值。

刀具长度补偿使用格式如下：

1) 刀具长度正向补偿

G00/G01G43 Z\_\_ H\_\_ ；

.....

G49；

2) 刀具长度负向补偿

G00/G01G44 Z\_\_ H\_\_ ；

.....

G49；

H 后面跟两位数字表示长度补偿寄存器号，与半径补偿类似，H 后边指定的寄存器地址中存有刀具长度补偿值，如图 8-17 所示。进行长度补偿时，刀具要有 Z 轴移动。

工具补正				
		O		N
番号	形状(H)	摩耗(H)	形状(D)	摩耗(D)
001	-432.560	0.000	5.200	0.000
002	0.000	0.000	0.000	0.000
003	0.000	0.000	0.000	0.000
004	0.000	0.000	0.000	0.000
005	0.000	0.000	0.000	0.000
006	0.000	0.000	0.000	0.000
007	0.000	0.000	0.000	0.000
008	0.000	0.000	0.000	0.000
现在位置(相对座标)				
X	-300.000	Y	-215.000	Z -125.000
}			S 0	T
REF **** ** *				
[NO检索] [ 测量 ] [     ] [+输入 ] [ 输入 ]				

图 8-17 刀具长度补偿输入界面

图 8-18 为不同命令下刀具的实际位置。其中程序段 G90 G54 G0 Z0；在 Z 向移动的情况下没有 G43 指令进行补偿时，将造成严重事故。

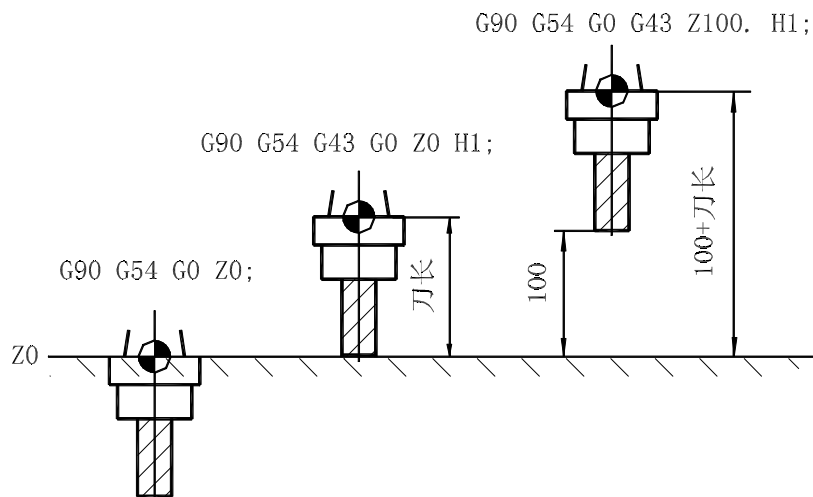


图 8-18 刀具长度正向补偿指令

例 8.3: 编制如图 8-19 所示 XY 平面内轮廓铣削程序, 立铣刀直径  $D=16\text{mm}$ , Z 向切深为  $10\text{mm}$ , 工件坐标系原点如图所示。

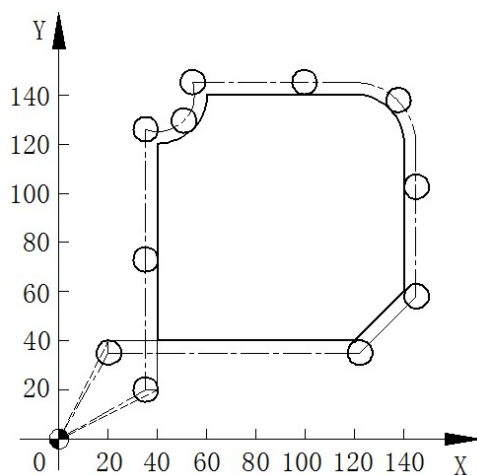


图 8-19 刀具长度补偿编程实例

O400;

N001 G90 G54 G17G40 S600 M03;

N002G00 X0 Y0;

N003 [G43] Z100. [H01];

N004 Z5.;

N005 G41 X40. Y20. D01;

N006 G01 Z-10. F50;

N007 Y120. F100;

N008G03 X60. Y140. R20.;

N009G01 X120.;

N010 G02 X140. Y120. R20.;

N011 G01 Y60.;

N012 X120. Y40.;

N013 X20.;

N014 G00G40X0Y0;

N015Z100.;

N016 G49;

N017 M05;

N018 M30;

## 12. 自动返回参考点指令 G28

该指令使刀具以快速定位（G00）的方式，经过中间点返回到参考点。

格式 1: G90 (G40) G28 X\_\_\_ Y\_\_\_ Z\_\_\_;

格式 2: G91 (G40) G28 X\_\_\_ Y\_\_\_ Z\_\_\_;

格式 1 为在 G90 模式下执行 G28 指令，使刀具先回到基于工件坐标系原点测量的中间点，然后再返回到机床坐标系的原点；

格式 2 为在 G91 模式下执行 G28 指令，使刀具先回到基于刀具当前点测量的中间点，然后再回到机床坐标系的原点，如图 8-20 所示。

程序段为：

G91G28X-100.Y-100.Z100.;

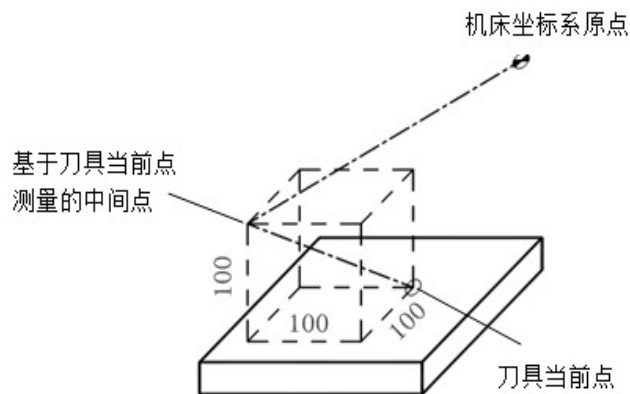


图 8-20 刀具经中间点回机床原点

G28 指令使用注意事项：

1) 执行 G91G28Z0; 程序段时，刀具从当前点移动至机床 Z 轴原点。若为 G91 G28 X0; 则刀具直接返回机床 X 轴原点。

2) 使用 G28 前，必须取消刀具半径补偿（G40）功能。

3) 在返回原点后使用刀具长度补偿取消（G49）功能

## 13. 固定循环指令

加工中心进行钻孔、攻丝和镗孔加工时，刀具通常要根据加工特点往复执行一系列的动作。如钻孔过程中刀具需要往复执行定位—切削—退刀的动作，这些动作如果用 G00 和 G01 来指定，需要在程序中反复指定，不仅使程序量增大，而且容易出现错误。FANUC 系统规定了一系列的固定循环指令，利用循环指令来指定钻孔过程中的一系列动作，从而简化了程序的编制。

### 1) 钻孔固定循环 G81/G73/G83

(1) G81 钻孔时, 刀具以 G00 方式定位到钻孔位置上方的起始点, 再定位到钻孔平面上方的安全点 R 后, 以 G01 方式钻削至孔底, 然后快速抬刀, 在 G98 模式下刀具抬到起始点, 在 G99 模式下刀具抬到安全点, G81 方式适用于较大直径的钻头钻孔, 如图 8-21 所示。

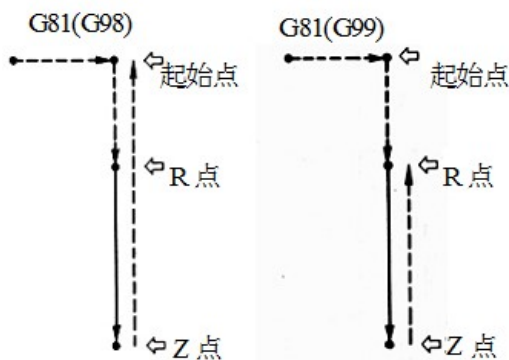


图 8-21 钻孔固定循环 G81

指令格式:

$$\left\{ \begin{array}{l} G98 \\ G99 \end{array} \right\} G81 X\_ Y\_ Z\_ R\_ F\_ ;$$

.....

G80;

(2) G73 钻孔时, 刀具以 G00 方式定位到钻孔位置上方的起始点, 再定位到钻孔平面上方的安全点 R 后, 每次按指定的深度进行钻削后再按给定距离快速抬刀, 循环执行这组动作直至钻削至孔底, 最后快速抬刀, 在 G98 模式下刀具抬到起始点, 在 G99 模式下刀具抬到安全点, G73 方式适用于高速钻孔, 如图 8-22 所示。

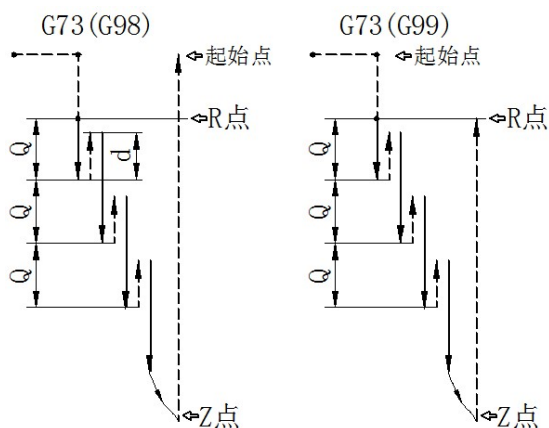


图 8-22 钻孔固定循环 G73

指令格式:

$$\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G73 X\_ Y\_ Z\_ R\_ P\_ Q\_ F\_ ;$$

.....

G80;

(3) G83 钻孔时，刀具以 G00 方式定位到钻孔位置上方的起始点，再定位到钻孔平面上方的安全点 R 后，每次按指定的深度进行钻削后快速抬刀到安全平面，循环执行这组动作直至钻削至孔底，最后快速抬刀，在 G98 模式下刀具抬到起始点，在 G99 模式下刀具抬到安全点，G83 方式适用于深孔钻削，如图 8-23 所示。

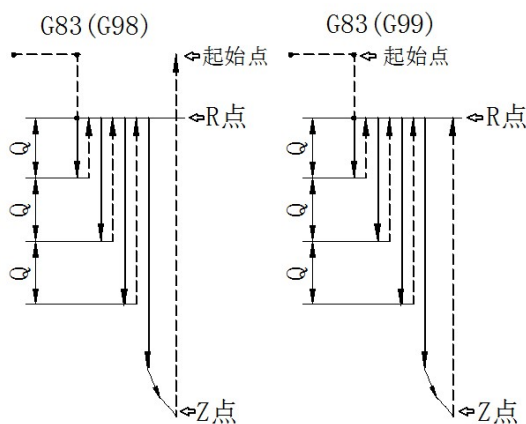


图 8-23 钻孔固定循环 G83

指令格式：

$$\left\{ \begin{matrix} G98 \\ G99 \end{matrix} \right\} G83 X\_ Y\_ Z\_ R\_ P\_ Q\_ F\_ ;$$

.....

G80;

使用 G81/G73/G83 指令完成钻孔加工后要使用 G80 指令取消钻孔固定循环，否则刀具将在下一位置继续钻孔。同时，指令中还指定了一些参数，这些参数的意义如下：

G98: 返回平面为初始平面

G99: 返回平面为安全平面 (R 平面)

R: 安全平面高度(接近高度)

X, Y: 孔位置

Z: 孔深

P: 在孔底停留时间(ms)

Q: 每步切削深度

F: 进给速度

L: 固定循环的重复次数

例 8.4: 编制如图 8-24 所示 XY 平面内钻孔程序, 工件坐标系原点如图所示。

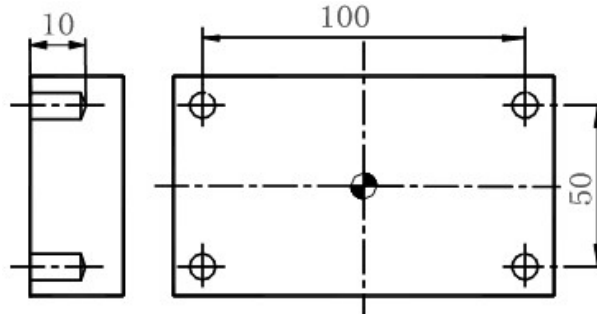


图 8-24 钻孔固定循环编程实例

O1: (G81 模式)

```
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;           X50.;
Z100.; /初始平面                        G80 ; /取消循环
G98 G81 X50. Y25. R5. Z-10. F100;        G00X0 Y0;
X-50.; /在各个指定位置循环              M05;
Y-25.;                                    M30;
```

O2: (G83 模式)

```
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;           X50.;
Z100.; /初始平面                        G80; /取消循环
G99 G83 X50. Y25. R5. Z-10. Q1. F100;   G00X0 Y0;
X-50.; /在各个指定位置循环              M05;
Y-25.;                                    M30;
```

程序 O1 是在 G98 模式下利用 G81 指令完成钻孔, 每个孔钻削完成后刀具抬到初始平面上再定位到下一个钻孔位置; 程序 O2 是在 G99 模式下利用 G83 指令完成钻孔, 每个孔钻削完成后刀具抬到 R 指定的安全高度上再定位到下一个钻孔位置, 如图 8-25 所示。

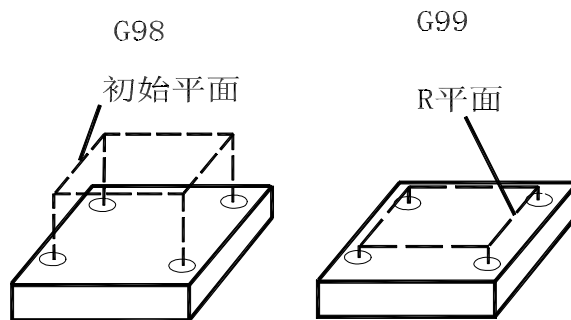


图 8-25 G98/G99 模式的区别

例 8.7: 如图 8.27, Z 轴开始高度为 50mm, 安全平面为工件上表面 2mm, 切深 20mm, 使用 L 控制循环次数。

```
O100;
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;
Z100.;
G98 G83 Y40. R2. Z-20. Q1.0 F100 L0;
G91 X40. L4;
X-160. Y50. L0;
X40. L4;
G90 G80 X0 Y0;
M05;
M30;
```

图 8.25 使用循环次数 L 钻孔

图 8.27 用循环次数 L 进行钻孔循环

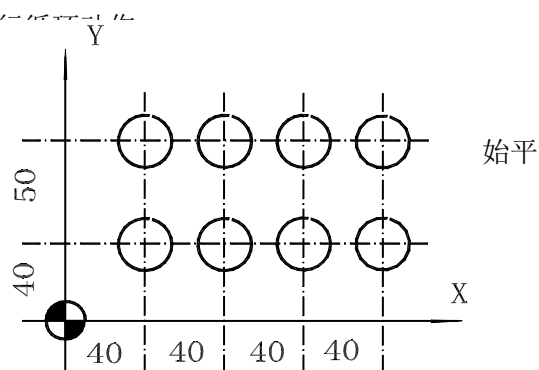
注: (1) L0 表示刀具运动到目标点, 但并不执行钻孔循环。

(2) L 命令需要用 G91 方式。

(3) 上边介绍的程序为 G90 与 G91 的混合使用。G90 指定安全平面高度 R、Z、Q 值, 而 XY 平面内移动为 G91 方式。

(4) L 命令仅在当前句有效。

(5) 允许在主程序中指定固定循环参数, 如:



2) 攻丝循环 G74(左旋)需主轴逆时针旋转, G84(右旋)需主轴顺时针旋转。

```
{G98}
{G99} G74X_ Y_ Z_ R_ P_ F_ ;
```

.....

```
G80;
```

R: 不小于 7mm



P: 丝锥在螺纹孔底暂停时间(ms)

F: 进给速度  $F = \text{转数(r/min)} \times \text{螺距(mm)}$

### 3) 镗孔循环 G76/G82

G76 是精镗孔循环, 退刀时主轴停、定向并有让刀动作, 避免擦伤孔壁, 让刀值由 Q 设定(mm)。

$\left\{ \begin{matrix} \text{G98} \\ \text{G99} \end{matrix} \right\} \text{G76X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ F\_ ;}$   
.....  
G80;

G82 适用于盲孔、台阶孔的加工, 镗刀在孔底停止进给一段时间后退刀, 暂停时间由 P 设定(ms)。

$\left\{ \begin{matrix} \text{G98} \\ \text{G99} \end{matrix} \right\} \text{G82X\_ Y\_ Z\_ R\_ P\_ F\_ ;}$   
.....  
G80;

## 13. 子程序的调用

当一次装夹加工多个相同轮廓的零件或一个零件的轮廓需要重复加工的情况下可将工件轮廓编制成子程序, 然后利用子程序调用指令在主程序中完成子程序的调用。每次调用子程序时坐标系、刀具、半径补偿值、长度补偿值、切削用量等可根据情况改变。

子程序调用指令: M98 P\_\_\_\_ L\_\_\_\_;

返回主程序指令: M99;

子程序由 M99 指令结束, 在主程序中用 M98 调用子程序, P 用来指定调用的子程序号, L 用来指定调用次数, 调用与返回的关系如图 8.28 所示, 主、子程序可以多级调用。

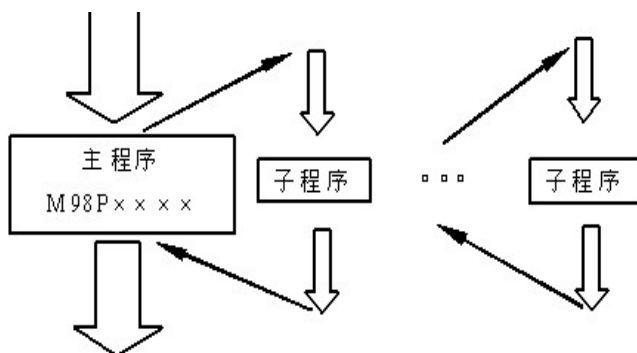


图 8.28 主、子程序调用关系

例 8.8: 如图 8.29 所示, 一次装夹完成两个相同轮廓工件的加工, Z 轴开始点为工件上

方 100mm 处，切深 10mm，利用主、子程序完成加工。

分析：工件 1 和工件 2 具有相同的轮廓，要在一次装夹中完成两件的加工可以在相对坐标模式（G91）下编制工件轮廓的加工程序作为子程序，然后在绝对坐标模式（G90）模式下将刀具移动到起刀点调用子程序，程序如下：

图 8.29 子程序调用编程示例

主程序

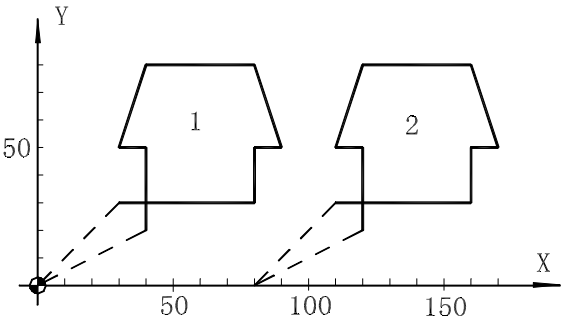
```
O0001;
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;
Z100.;
M98 P200 ;
G90 G00 X80.0;
M98 P200 ;
G90 G00 X0 Y0 ;
M05;
M30;
```

子程序

```
O200;
G91 G00 Z-95.;
G41 X40. Y20. D1;
G01 Z-15. F100;
```

```
Y30.;
X-10.;
X10. Y30.;
X40.;
X10. Y-30.;
```

```
X-10.;
Y-20.;
X-50.;
G00 Z110.;
G40 X-30. Y-30.;
M99;
```



14.镜像指令

如图 8.30 所示，当工件加工轮廓相对于某一个坐标轴或原点对称时，可以将某一象限的轮廓编制成子程序，然后在主程序进行子程序调用时使用镜像指令完成其他象限轮廓的切削。

1) X 轴镜像：M21;

使 X 轴运动指令的正负号相反，这时 X 轴的实际运动是程序指定方向的反方向

2) Y 轴镜像：M22;

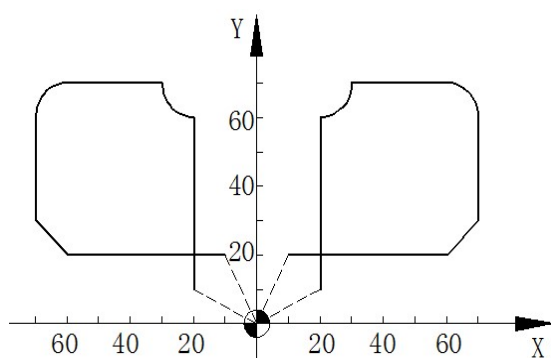
使 Y 轴运动指令的正负号相反，这时 Y 轴的实际运动是程序指定方向的反方向。

3) 相对于原点镜像：M21; M22;

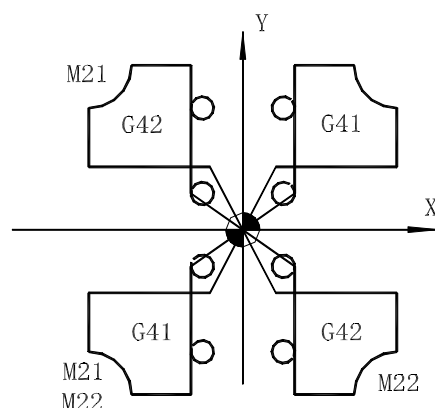
4) 取消镜像：M23;

图 8.30 镜像指令的使用

例 8.9：使用镜像指令编制如图 8.31 所示工件轮廓铣削程序，Z 轴起始高度 100mm，切深 10mm。



分析：  
两个  
工件  
的轮  
廓相



对于 X 轴反向，要在一次装夹中完成两件  
的加工可以在先将第一象限的工件轮廓编制成子程序，然后在主

图 8.31 镜像编程实例

程序中在调用子程序时使用 M21 指令，程序如下：

```
O01; (主程序)
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;
Z100.;
M98 P300;
M21;
M98 P300;
M23;
M05;
M30;
```

```
O300; (子程序)
G90 Z2.;
G41 X20. Y10. D01;
G01 Z-10. F100;
Y60.;
G03 X30. Y70. R10.;
G01 X60.;
G02 X70. Y60. R10.;
G01 Y30.0;
X60. Y20.;
X10.;
G00 Z100.0;
G40 X0 Y0;
M99;
```

## 5) 使用镜像指令的注意事项

(1) 当只对 X 轴或 Y 轴进行镜像时，刀具的实际切削顺序将与源程序相反，刀补矢量方向相反，圆弧插补转向相反。当同时对 X 轴和 Y 轴进行镜像时，切削顺序、刀补方向、圆弧时针方向均不变。

(2) 使用镜像功能后，必须用 M23 取消镜像。

(3) 在 G90 模式下，镜像功能必须在工作坐标系坐标原点开始使用，取消镜像也要回到该点。

## 8.2.3 编程实例

### 1. 编程实例（一）

编制如图 8.32 所示工件的加工程序，工件毛坯尺寸为 90mm×55mm×21mm，工件材料为铝。

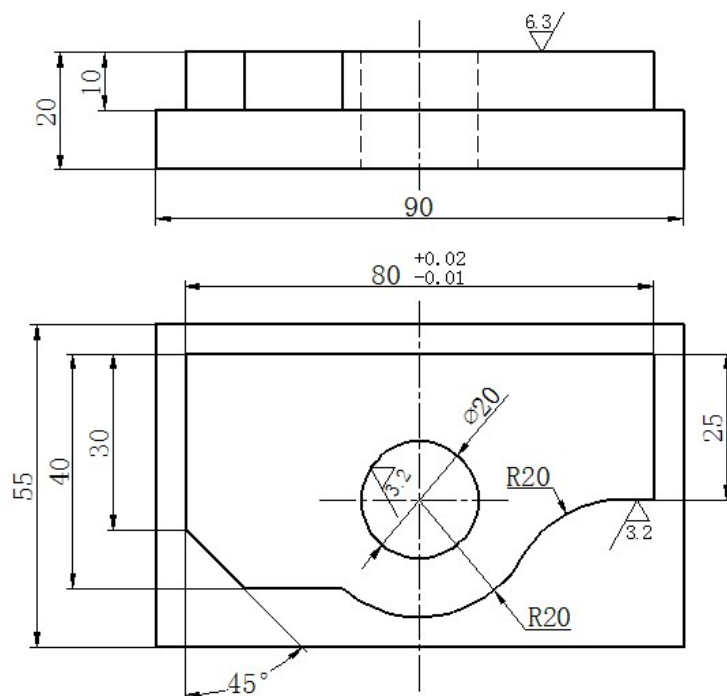


图 8.32 编程实例 1

1) 工艺分析，该工件的加工表面为上表面、深度为10mm的外轮廓和 $\phi 10$ mm的通孔，根据工件结构形状和表面粗糙度要求，选择配备FANUC Oi系统的立式加工中心，将工件通过液压虎钳安装在机床工作台上。加工路线为：粗铣顶面—粗铣外轮廓—钻、铰 $\phi 20$ 通孔—精铣顶面——精铣外轮廓。

2) 刀具选择：D18立铣刀，D10立铣刀，D3点钻，D19.8钻头，D20铰刀。

3) 切削参数：主轴转数、背吃刀量和进给率应根据机床、刀具和工件毛坯材料综合考虑来确定，查阅机械加工工艺师手册并结合实际经验，具体参数见表8.3。

4) 走刀设计：顶面粗加工和精加工的走刀采用D18立铣刀先定位到工件外一点，然后在XY平面往复直线运动，粗加工预留0.2mm的精加工余量，将XY平面的往复移动编制成子程序，主程序中指定切削深度实现粗、精加工；加工深度为10mm的外轮廓刀位点将通过刀具半径补偿功能按照如图8.33所示路径运动，这时会留下残留区域，在粗加工时还需编写去残留程序段。粗、精加工同样利用不同的刀具补偿值来调用轮廓铣削子程序实现，精加工余量0.2mm。

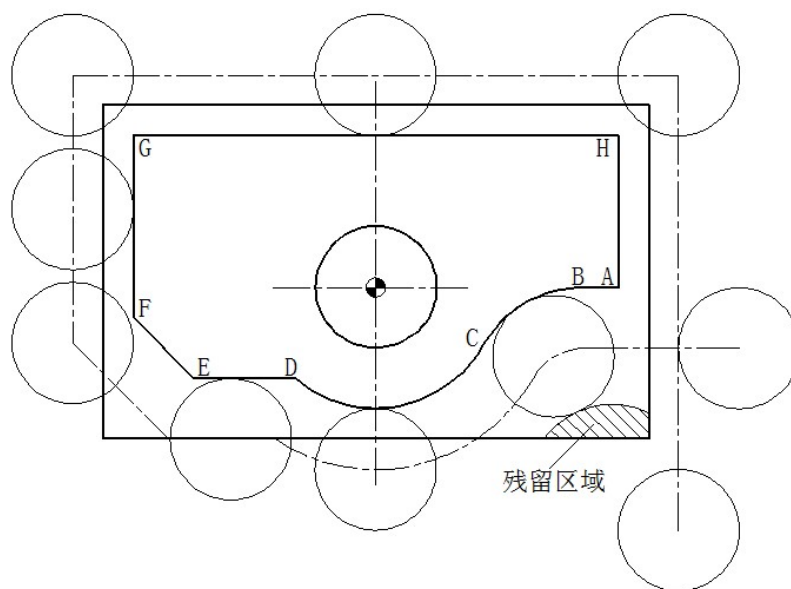


图8.33 实例1轮廓走刀设计

5) 图形的数学处理: 如图8.33所示工件坐标系的XY原点选择 $\phi 20$ 孔中心, Z向原点选择工件上表面。采用绝对方式编制程序时, 需要A--H各点相对于坐标原点的坐标值, 而图中B, C, D点并不能根据图纸标注的尺寸读出, 这些点可以根据几何计算得出, 也可以利用绘图软件的查询功能获得。本例中利用绘图软件的查询功能得到各点相对于坐标原点的坐标值为: B (35, 0); C (17, -10); D (-13, -15)。

根据上述分析列出数控加工工序卡, 如表8.3所示。

表8.3 数控加工工序卡

零件号		001	零件名称		编制日期				
程序号		O1				编制			
工步号	程序段号	工步内容	使用刀具名称			切削参数			
			刀具号	长度补偿	半径补偿	S r/min	F mm/min	ap mm	
1	N10	粗铣顶面	D18 立铣刀			400	100		
			T01	H01					
2	N20	粗铣外轮廓	D18 立铣刀			400	80		
			T01	H01	D01				

3	N30	钻 $\phi 20$ 底孔	3mm 点钻/D19.8mm 钻头			2000 /300	50/100	
			T02/T03	H02/H03				
4	N40	铰 $\phi 20$ 通孔	D20 铰刀			150	20	
			T04	H04				
5	N50	精铣顶面	D18 立铣刀			600	60	
			T01	H01				
6	N60	精铣外轮廓	D10 立铣刀			850	100	0.2
			T05	H05	D02			

6) 编写程序 (FANUC 0i 系统)

O1; (主程序)

T01;

M06;

G17 G40 G90 G54 S400 M03 F100;

G00 G43 Z100. H01;

X0 Y0;

X-46.Y-40.;

Z5.;

Z0.2;

N10 M98 P100; /粗铣顶面

M98 P200; /去残留面积

G17 G40 G90 G54 S400 M03 F80;

N20 H01 D01 M98 P300; /D01=9.2mm, 为精加工留 0.2mm 余量

N30 M98 P400; /钻 $\phi 20$  底孔

N40 M98 P500; /铰 $\phi 20$  通孔

T01;

M06;

G17 G40 G90 G54 S600 M03 F60;

G00 G43 Z100. H01;

X0 Y0;

X-46.Y-40.;  
Z5.;  
Z0;  
N50 M98 P100; /精铣顶面  
T05;  
M06;  
G17 G40 G90 G54 S850 M03 F100;  
N60 H05 D02M98 P300; /精铣外轮廓, D02=5mm  
G49;  
M30;  
O100; (铣平面子程序)  
G01Y40.;  
X-38.; (刀间距为 8mm)  
Y-40.;  
X-30.;  
Y40.;  
X-22.;  
Y-40.;  
X-14.;  
Y40.;  
X-6.;  
Y-40.;  
X2.;  
Y40.;  
X10.;  
Y-40.;  
X18.;  
Y40.;  
X26.;  
Y-40.;

X34.;

Y40.;

X42.;

Y-40.;

G00 Z100.;

M05;

M99;

O200: (去残留子程序)

G17 G40 G90 G54 G00 X0 Y0 S400 M03 F40;

X60.Y40.;

G43 Z100. H01;

Z5.;

G01 Z-10.;

X60.Y-27.5;

X35.;

Y-40.;

G00 Z100.;

M05;

M99;

O300: (铣外轮廓子程序)

G00 G43 Z100.;

X0 Y0;

X60.Y-40.;

Z5.;

G41 X60.Y0.;

G01 Z-10.;

X35.;

G03 X17.Y-10.R20.;

G02 X-13.Y-15.R20.;

G01 X-30.;



X-40.Y-5.;

Y25.;

X40.;

Y-40.;

G00 Z100.;

G40 X60.Y-40.;

M05;

M99;

O400; (钻 $\varnothing$ 20 底孔)

T2;

M06;

G17 G40 G54 G90 S2000M03F50;

G00 G43 Z100.H02;

X0 Y0;

G98 G81 X0 Y0 Z-2.R5.;

G80;

M05;

T03;

M06;

G54 G90 S300M03F100;

G00 G43 Z100.H03;

X0 Y0;

G98 G83 X0 Y0 Z-26.R5.Q2.;

G80;

M05;

M99;

O500; (铰 $\varnothing$ 20 通孔)

T04;

M06;

G17 G40 G54 G90 S120M03F20;

G00 G43 Z100.H04;

X0 Y0;

G01Z-21.;

Z5.;

G00 Z100.;

M05;

M99;

## 2. 编程实例（二）

编制如图 8.34 所示工件的加工程序，工件毛坯尺寸为 50mm×50mm×20mm，工件材料为 45#。

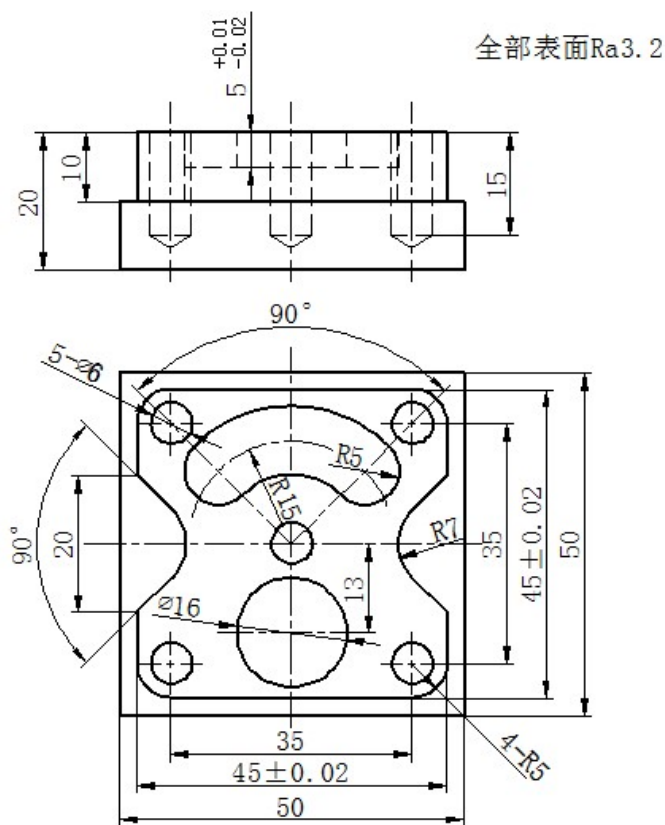


图 8.34 编程实例 2

1) 工艺分析，该工件毛坯的长、宽、高已加工到零件轮廓尺寸，所以加工表面为深度 10mm 的外轮廓、深度 15mm 的 5- $\phi 6$  孔、深度 5mm 的  $\phi 16$  孔和月牙槽。根据工件结构形状和表面粗糙度要求，选择配备 FANUC Oi 系统的立式加工中心，将工件通过液压虎钳安装在机床工作台上。加工路线为：粗、精铣外轮廓—钻 5- $\phi 6$  孔—粗铣  $\phi 16$  孔—粗铣月牙槽—精铣  $\phi 16$  孔—精铣月牙槽。

3) 切削参数: 主轴转数、背吃刀量和进给率应根据机床、刀具和工件毛坯材料综合考虑确定, 查阅机械加工工艺师手册并结合实际经验, 具体参数见表8.4。

根据上述分析列出数控加工工序卡，如表8.4所示。

零件号		002	零件名称			编制日期		
程序号		O2				编制		
工步号	程序段号	工步内容	使用刀具名称			切削参数		
			刀具号	长度补偿	半径补偿	S r/min	F mm/min	ap mm
1	N10	粗铣外轮廓	D12 立铣刀			400	80	

			T01	H01	D01			
2	N20	精铣外轮廓	D10 立铣刀			600	60	0.2
			T02	H02	D02			
3	N30	钻 5- $\phi$ 6 孔	D3 点钻/D6 头			2000 /800	30/60	
			T03/T04	H03/H04				
4	N40	粗铣 $\phi$ 16 孔	D8 立铣刀			600	60	
			T05	H05	D05			
5	N50	粗铣月牙槽	D8 立铣刀			600	60	
			T05	H05	D05			
6	N60	精铣 $\phi$ 16 孔	D6 立铣刀			800	40	0.2
			T06	H06	D06			
7	N70	精铣月牙槽	D6 立铣刀			800	40	0.2
			T06	H06	D06			

5) 图形的数学处理: 如图 8.35 所示工件坐标系的 XY 原点选择工件中心, Z 向原点选择工件上表面。采用绝对方式编制程序时, 图中 A、B、C、D、E、F、G、H 点并不能根据图纸标注的尺寸读出, 本例中利用绘图软件的查询功能得到各点相对于坐标原点的坐标值为: A (-17, -5); B (-17, 5); C (17, 5); D (17, -5); E (-14, 14); F (-7, 7); G (7, 7); H (14, 14)。

6) 编写程序 (FANUC 0i 系统)

O2; (主程序)

T01;

M06;

G17 G40 G54 G90 S400M03F80;

N10 H01 D01 M98 P100; /D01=6.2mm, 为精加工留 0.2mm 余量

T02;

M06;

G17 G40 G54 G90 S600M03F60;

N20 H02 D02 M98 P100; /D01=5.0mm

N30 M98 P200;

T05;  
 M06;  
 G17 G40 G54 G90 S600M03F60;  
 N40 H05 D05 M98 P300; /D05=4.2mm, 为精加工留 0.2mm 余量  
 G17 G40 G54 G90 S600M03F60;  
 N50 H05 D05 M98 P400;  
 T06;  
 M06;  
 G17 G40 G54 G90 S800M03F40;  
 N60 H06 D06 M98 P300; / D06=3.0mm  
 G17 G40 G54 G90 S800M03F40;  
 N70 H06 D06 M98 P400;  
 G49;  
 M30;  
 O100; (铣外轮廓子程序)  
 G00 G43 Z100.; G02 X-17.5 Y22.5 R5.;  
 X0 Y0; G01 X17.5;  
 Y-37.; G02 X22.5 Y17.5 R5.;  
 Z5.; G01 Y10.;  
 G01 Z-10.; X17.Y5.;  
 G41 X12.; G03 X17.Y-5.R7.;  
 G03 X0.Y-25.R12.; G01 X22.5 Y-10.;  
 G01 X-17.5; Y-17.5;  
 G02 X-22.5.Y-17.5 R5.; G02 X17.Y-22.5 R5.;  
 G01 Y-10.; G01 X0;  
 X-17.Y-5.; G03 X-12.Y-37.R12.;  
 G03 X-17.Y5.R7.; G40 G01 X0.Y-37.;  
 G01 X-22.5 Y10.; G00 Z100.;  
 Y17.5; M05;  
 M99;

O200; (钻 5- $\phi$ 6 孔)

T3;

M06;

G17 G40 G54 G90 S2000M03F30;

G43 Z100.H03;

G00 X0 Y0

G98 G81 X0 Y0 Z-2.R5.;

G80;

M05;

T04;

M06;

G54 G90 G00 X0 Y0 S800M03F60;

G43 Z100.H04;

G98 G83 X0 Y0 Z-16.7 R5.Q2.;

X17.5 Y17.5;

Y-17.5;

X-17.5;

Y17.5;

G80;

M05;

M99;

O300; (铣 $\phi 16$  子程序)

G00 G43 Z100.;

X0 Y0;

Y-13.;

Z5.;

G01 Z-5.;

G41 X0.Y-21.;

G03 J8.;

G40 G01 Y-13.;

G00 Z100.;

M05;

M99;

O400; (铣月牙槽子程序)

G00 G43 Z100.;

X0 Y0;

Y15.;

Z5.;

G01 Z-5.;

G41 X0.Y20.;

G03 X-14.Y14.R20.;

X-7.Y7.R5.;

G02 X7.Y7.R10.;

G03 X14.Y14.R5.;

X0.Y20.;

G40 G01 Y15.;

G00 Z100.;

M05;

M99;