

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

# 数控机床编程加工技术

主 编 魏 杰

副主编 迟 旭

主 审 王 瑞

电子科技大学出版社

#### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程加工技术/魏杰主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2007.8

ISBN 978-7-81114-497-0

I. 数… II. 魏… III. ①数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材②数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 094214 号

#### 内容简介

本书是根据高职高专培养数控技术应用性人才的教学需要而专门编写。本书结合当前数控技术发展的最新情况,对常用数控技术进行了全面细致的介绍。全书共分为 8 章,包括数控加工概述、数控加工工艺基础、数控编程基础、数控车床编程技术、数控铣床编程技术、数控加工中心编程技术、宏程序编程技术、数控电火花线切割编程技术等方面。

为了便于教学和自学,本书列举了大量的编程实例,在每章后配置了大量的习题,并且在其中 7 章后配置了相应的实训课题。

本书可作为高职高专数控技术应用、机械自动化、机电一体化、模具设计及制造等专业的教材,也可供从事数控技术和相关专业技术人员参考、培训与自学使用。

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

### 数控机床编程加工技术

主 编 魏 杰

副主编 迟 旭

主 审 王 瑞

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 江进优

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都金龙印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 20 字数 486 千字

版 次: 2007 年 8 月第一版

印 次: 2007 年 8 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-497-0

定 价: 28.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

# 前 言

目前,在世界各国的制造业中,普遍使用了数控技术。数控技术以其高难度、高精度、高稳定、高效率 and 高度灵活性为制造业的发展提供了技术上的保障。随着我国制造业的飞速发展,数控技术在我国已得到了广泛使用。数控设备的使用程度及数控设备操作者的数控技术水平已成为决定企业生产制造水平的关键因素。因此,数控技术人才的培养已成为我国制造业人才培养中的当务之急。

为了适应数控技术人才培养的需要,同时,为了适应我国高等职业教育的改革与发展,我们总结了多年的教学经验,编写了这本教材。

本书对常用数控技术进行了全面、细致的介绍,包括数控加工概述、数控加工工艺基础、数控编程基础、数控车床编程技术、数控铣床编程技术、数控加工中心编程技术、宏程序编程技术、数控电火花线切割编程技术等方面。

本书主要特点是:

## 1. 范围广泛

对当前常用的数控车、铣、加工中心编程,宏程序编程,数控电火花线切割编程及自动编程都进行了详细的介绍。

## 2. 内容全面

数控车、铣、加工中心编程和宏程序编程的介绍中,分别对当前我国常用的华中世纪星(国产)、FANUC(日本法那克)、SIEMENS(德国西门子)三种数控系统的编程技术都进行了详细的阐述。在数控电火花线切割的编程技术中,对当前使用的3B、4B及ISO编程方法都进行的详细的阐述。

## 3. 实例众多

除数控加工概述外,在其余章节中,都配合讲述编程指令列举了大量的实例供读者参照学习,并且在每章结尾一般都列出了综合编程实例。

## 4. 实训突出

除数控加工概述外,在其余章节中,都给出了实训课题,供读者在学习过程中进行实践训练,同时更适合高等职业技术学院在实践教学过程中使用。

## 5. 习题丰富

在每章后都附有习题,供读者练习及高等职业技术学院在教学过程中使用。

本书共 8 章，其中第六、七、八章由辽宁信息职业技术学院魏杰编写，第一、四章由辽宁信息职业技术学院迟旭编写，第三、五章由辽宁信息职业技术学院单春阳编写，第二章由辽阳职业技术学院吴刚编写。本书由魏杰任主编，辽阳职业技术学院王瑞任主审。

限于编者水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 5 月

# 目 录

第一章 数控加工概述.....	1
1.1 数控机床加工编程概述.....	1
1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制.....	4
1.3 数控加工程序编制的内容和方法.....	9
1.4 数控加工的特点.....	11
本章小结.....	13
练习题.....	14
第二章 数控加工工艺基础.....	15
2.1 数控加工工艺概述.....	15
2.2 数控加工工艺分析.....	16
2.3 典型零件的数控加工工艺.....	32
本章小结.....	40
2.4 数控加工基础实训.....	41
练习题.....	46
第三章 数控编程基础.....	48
3.1 数控机床的坐标系统.....	48
3.2 数控加工程序的结构.....	52
3.3 数控程序编制过程中的数值计算.....	59
本章小结.....	64
3.4 数控编程基础实训.....	64
实训课题一 典型数控机床操作界面的认识与手动操作.....	64
练习题.....	66
第四章 数控车床的编程与加工.....	69
4.1 控制车床功能的基本指令.....	69
4.2 控制车削的基本指令.....	70
4.3 刀具补偿功能.....	102
4.4 华中世纪星系统数控车床编程与加工.....	106
4.5 FANUC 0i 系统数控车床编程与加工.....	112
4.6 SIEMENS 802D 系统数控车床编程与加工.....	117
4.7 典型车削零件的编程与加工.....	129
本章小结.....	133

4.8 数控车床的编程与加工实训 .....	133
实训课题一 车削对刀与 MDI 加工 .....	133
实训课题二 简单轴类零件加工 .....	134
实训课题三 多刀轴类零件加工 .....	135
实训课题四 综合车削加工 .....	136
练习题 .....	137
<b>第五章 数控铣床的编程与加工 .....</b>	<b>141</b>
5.1 控制铣床功能的基本指令 .....	141
5.2 控制铣削的基本指令 .....	142
5.3 华中世纪星系统编程与加工举例 .....	183
5.4 FANUC0i 系统数控铣床编程与加工 .....	190
5.5 SIEMENS 802D 系统编程与加工举例 .....	197
5.6 典型铣削零件的编程与加工综合举例 .....	206
本章小结 .....	212
5.7 数控铣削加工实训 .....	212
实训课题一 铣削对刀与 MDI 加工 .....	212
实训课题二 平面曲线铣削 .....	213
实训课题三 带刀补的平面轮廓加工 .....	214
实训课题四 简化编程指令应用 .....	215
实训课题五 孔加工 .....	216
实训课题六 综合应用 .....	217
练习题 .....	218
<b>第六章 加工中心的编程与加工 .....</b>	<b>223</b>
6.1 数控加工中心概述 .....	223
6.2 加工中心的编程 .....	229
6.3 加工中心编程与加工综合应用举例 .....	244
本章小结 .....	257
6.4 加工中心编程与加工实训 .....	257
实训课题一 加工中心的基本操作 .....	257
实训课题二 加工中心的对刀与换刀操作 .....	257
实训课题三 简单零件的加工 .....	260
实训课题四 综合应用 .....	261
练习题 .....	262
<b>第七章 用户宏程序 .....</b>	<b>265</b>
7.1 FANUC 系统宏指令编程 .....	265
7.2 华中数控宏指令编程 .....	277

7.3 SIEMENS 系统宏程序应用 .....	280
本章小结 .....	282
7.4 宏指令编程实训 .....	282
实训课题一 宏指令应用 .....	282
实训课题二 宏指令应用 .....	283
练习题 .....	284
<b>第八章 数控电火花线切割编程 .....</b>	<b>286</b>
8.1 数控线切割加工概述 .....	286
8.2 电火花线切割加工工艺 .....	287
8.3 数控线切割编程方法 .....	293
8.4 数控线切割加工实例 .....	304
本章小结 .....	307
8.5 数控线切割实训 .....	307
实训课题 凸凹模数控线切割加工工艺与程序编制 .....	307
练习题 .....	309
<b>参考文献 .....</b>	<b>311</b>

# 第一章 数控加工概述

## 【学习目标】

- (1) 了解数控机床的工作原理。
- (2) 理解数控加工的特点。
- (3) 掌握数控机床的组成、分类及编程方法。

## 1.1 数控机床加工编程概述

### 1.1.1 计算机数控简介

计算机数字控制（Computer Numerical Control，简称 CNC）是一种自动控制技术，指利用数字化信息对某一过程进行控制的一种方法，采用这种方法实现数字控制的一整套装置称为数控系统。数控机床和普通机床的最大区别在于数控机床装备有数控系统，通过数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制，从而实现自动加工。

图 1-1 和图 1-2 所示分别为数控车床和铣削加工中心。都配有一个类似于计算机的控制系统（即数控系统），这样的机床就是数控机床。

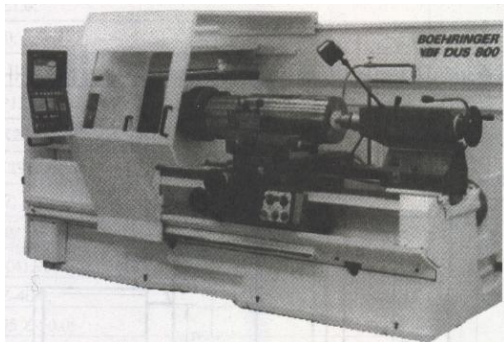


图 1-1 数控车床

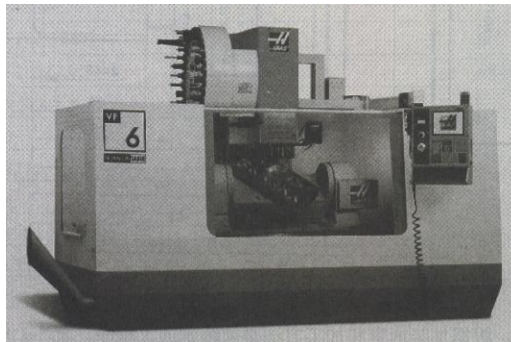


图 1-2 铣削加工中心（带刀库）

我们周围的机械产品 80%左右都属于单件或小批量产品。随着科学技术的不断发展，机械产品的形状越来越复杂、加工精度要求越来越高，而且经常面临着改型或更新换代，为了解决上述问题，数控机床应运而生。它有效地解决了上述矛盾，为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床加工出来的工件可以光洁如镜，精细程度比人类毛发还要细致数倍，而且数控机床擅长复杂零件的加工，如水轮机叶片的加工。对于一些多轴联动的数控机床，仅在一台机床上，就可以完成一个复杂零件的所有工序，相当于把“车间”集成为一台机床，极大地节省了空间，提高了生产效率。有的机床，非常智能化，它能在线检测加工状况，独立自主地管理自己，而且能够与企业 and 客户的生产管理系统通信，实现生产管理的现代化。



### 1.1.2 数控加工程序简介

首先，让我们从总体上来了解数控机床的加工过程以及指挥数控机床运动的指令。当拿到生产依据的技术图样，如图 1-3 所示，要根据给定的工件尺寸和表面光洁度，采用相应的加工方法与加工步骤来实现零件的加工。

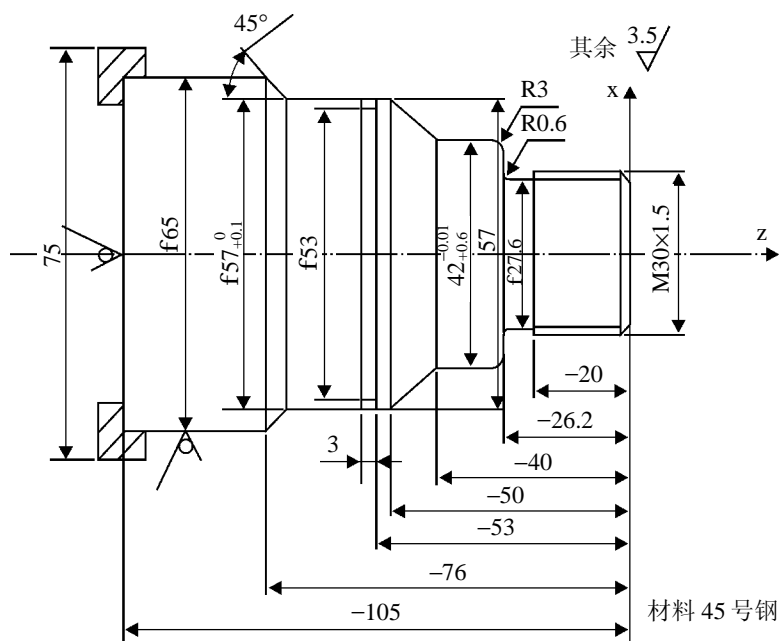


图 1-3 零件图样

加工开始前，根据加工内容和加工方法必须编制加工程序。加工程序就是控制数控机床运动的指令，即人与数控机床进行交流的语言。

O0001	程序名
N01 G54 G00 X 150.0 Z 250.0;	设定坐标系
N02 T0101 F0.4;	粗车刀
N03 G00 X66.0 Z 1.0 M03 S 1500;	车端面
N04 G96 G01 X-1.6 S160;	
N05 G00 Z2.0;	
N06 X66.0;	
N07 G01 Z0.0;	
N08 X-1.6;	
N09 G00 Z1.0;	
N10 X67.0;	
N11 G71 U1.5 R0.5;	粗车外圆循环
N12 G71 P13 Q21 U0.5 W0.1 F0.4;	
N13 G00 X23.8;	
N14 G01 X29.8 Z-2.0;	

N15	Z-25.2;	
N16	X36.0;	
N17	G03 X41.965 Z-28.2 R3.0;	
N18	G01 Z-40.0;	
N19	X56.95 Z-50.0;	
N20	Z-71.0;	
N21	X67.0Z-76.0;	
N22	G00 X150.0G50.0 S 1500;	
N23	T0303 F0.15 M03;	精车刀
N24	G42 X21.8Z2.0;	精车外圆
N25	G01 X29.8 Z-2.0 F0.15;	
N26	Z-20.0;	
N27	G01 X27.5;	
N28	Z-24.4;	
N29	G02 X29.1 Z-25.210.8 K0;	
N30	G01 X35.963;	
N31	G03 X41.963 Z-28.2 10 K-3;	
N32	G01 Z-40.0;	
N33	X56.95 Z-50.0;	
N34	Z-71.0;	
N35	X67.0Z-76.0;	
N36	G40 G00 X150.0 250.0;	

数控机床根据以上程序自动切削，将毛坯上多余的部分切除，从而加工出合格的工件。加工过程模拟如图 1-4 所示。在上面的加工过程中，经验和技能起着非常重要的作用。从上面的示例可以看出，控制数控机床运动的指令主要是由大写的英文字母和阿拉伯数字 0~9 组成。

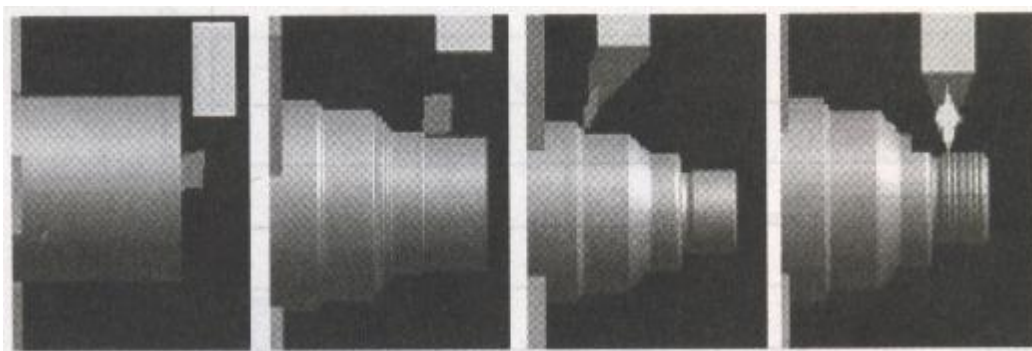


图 1-4 数控加工过程模拟

1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由机床本体、数控系统、伺服驱动系统 3 大部分组成，如图 1-5 所示。

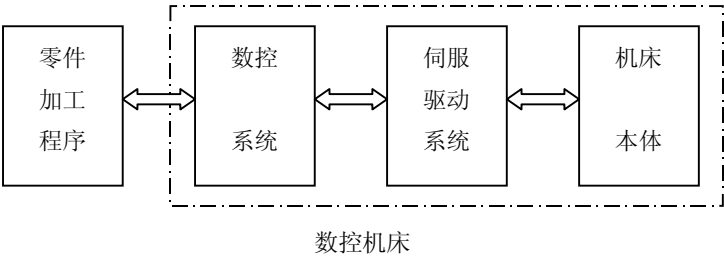


图 1-5 数控机床组成

1. 数控装置

数控装置是数控机床的大脑。数控装置首先接受输入的加工信息，经过“思考”处理后，向伺服系统发出相应的指令脉冲，并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。

数控装置通常由一台专用微型计算机或通用计算机构成。基于 PC 的开放式数控系统，主要由一台通用微型计算机加装运动控制卡、I/O 接口卡并运行 CNC 系统软件构成。目前国内应用较多的数控装置有日本的 FANUC、德国的 SIEMENS 和国产华中世纪星等，如图 1-6 所示。



SIEMENS 802D 数控铣床

FANUC 0i 系统数控车床

华中世纪星数控车床

图 1-6 典型数控系统

2. 伺服系统

伺服系统是数控机床的四肢，执行来自 CNC 装置的运动指令。伺服系统由伺服驱动装置、伺服电机和位置检测装置组成。伺服驱动装置里的主要功能是功率放大和速度调节，将弱电信号转化为强电信号，并保证系统的动态性能，如图 1-7 所示。伺服电机将电能转化为机械能，拖动机械部件移动或转动。伺服电机包括主轴电机和各方向的进给电机，分别如图 1-8 (a) 和图 1-8 (b) 所示。当今直线电机、直线驱动技术得到进一步的发展与应用，被认

为是未来驱动的方向。直线电机通过取消机械传动部件，可达到较高加速度等级和速度，速度可达 120mm/min 以上。



图 1-7 伺服系统



(a) SIEMENS 主轴电机



(b) SIEMENS 进给电机

图 1-8 伺服电机

检测装置是把位移和速度测量信号作为反馈信号，并将反馈信号转换成数字信号送回计算机与脉冲指令信号进行比较，以控制驱动元件的正确运转。数控机床常用的检测元件如图 1-9 所示。检测装置的精度直接影响数控机床的定位精度和加工精度。通过位置检测装置，可构成闭环或半闭环控制的伺服系统，如图 1-10 所示。

### 3. 机床本体

数控机床的本体与普通机床基本类似，不同之处是数控机床结构简单、刚性好，传动系统通常采用滚珠丝杠（如图 1-11 所示）代替普通机床的丝杠和齿条传动，主轴变速系统内简化了齿轮箱，普遍采用变频调速和伺服控制。另外，数控机床床身有的采用混凝土，减震效果非常好。

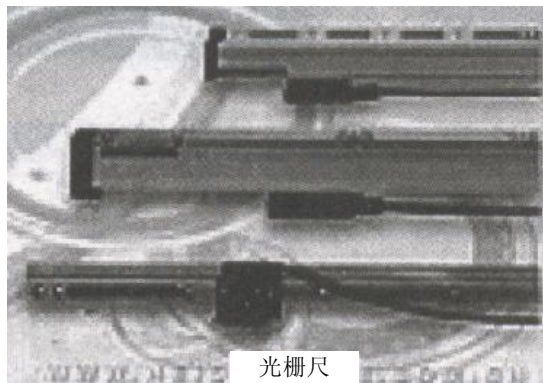


图 1-9 海德汉位置检测元件



图 1-10 闭环伺服系统

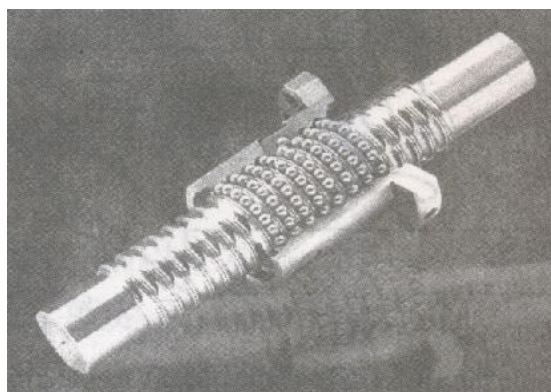


图 1-11 滚珠丝杠

为了使数控机床自动工作，还必须输入相应的零件加工程序，它是联系人和数控机床的桥梁。加工程序以指令的形式记载各种加工信息，如零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具运动等。通过将这些信息输入到数控装置，从而实现人对机床的控制，对零件进行切削加工，最终加工出人所期望的产品形状。程序的输入有多种形式，可通过手动数据输入方式 (MDI) 或通信接口将加工程序输入机床。

### 1.2.2 数控机床加工工作原理

在数控加工中，编程人员首先按照零件加工的技术要求和工艺要求，编写零件的加工程序，并将加工程序输入数控装置；数控装置对加工程序进行相应译码和运算，并将处理结果送到机床各个坐标的伺服系统；伺服系统接收来自数控装置输出的指令信息并且经过功率放大后，带动机床移动部件按照规定的轨迹和速度运动，从而使机床自动加工出符合图纸要求的零件。

在这一过程中，主轴运动、进给运动、更换刀具，以及工件的夹紧与松开，冷却、润滑泵的开与关以及其他辅助装置等，严格按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数进行工作，最终加工出符合图纸要求的零件。从数控机床的工作原理可以看出：数控机床在加工过程中无需人的干预，当加工零件发生变化时，只需改变加工程序即可，这就是数控加工“柔性”的体现。

### 1.2.3 数控机床运动轨迹的控制

数控机床对运动轨迹的控制主要有 3 种形式：点位控制运动、直线控制运动和连续控制运动。

#### 1. 点位控制运动

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，点与点之间的运动轨迹没有严格要求，在移动过程中不进行任何切削加工。因此，为了提高加工效率，保证定位精度，一般移动按照“先快后慢”的原则，即先快速接近目标点，再低速趋近并准确定位。如图 1-12 所示为数控钻床加工示意图。点位控制方式仅用于数控钻床、数控镗床和数控冲床等。

#### 2. 直线控制运动

直线控制运动指刀具或工作台以给定的速度按直线运动。这类数控机床不仅要控制移动部件从一点准确地移动到另一点，而且要控制移动部件的运动速度和轨迹。刀具相对工件移动的轨迹是平行于机床某一坐标轴的直线，移动部件在移动过程中进行切削加工，加工示例如图 1-13 所示。直线控制方式仅用于简易数控车床、数控铣床等。

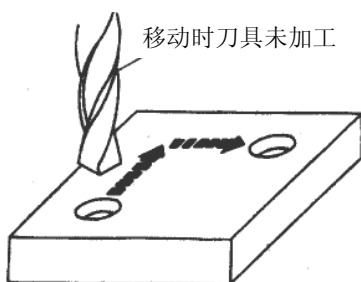


图 1-12 点位控制加工示意图

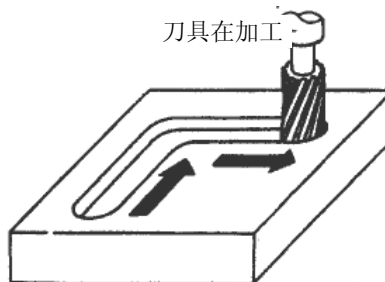


图 1-13 直线控制加工示意图

#### 3. 连续控制运动

连续控制运动也称为轮廓控制运动，指刀具或工作台按工件的轮廓轨迹运动，它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，这样可以加工出由任意斜线、曲线或曲面组成的复杂零件。

如图 1-14 所示为轮廓控制的加工轨迹，刀具在运动过程中对工件表面连续进行切削。能够进行轮廓控制的机床至少是两轴联动。所谓联动轴数是指：按照一定的函数关系能够同时协调运动的轴数。联动轴数越多，其空间曲面加工能力越强。大多数数控机床都具有轮廓切削控制功能，如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床和数控加工中心等。这些机床根据所控制的联动坐标轴数不同，又可以分为下面几种形式：

#### (1) 两轴联动

主要用于数控车床加工回转体曲面或用于数控铣床加工箱板类零件的曲线轮廓，如图 1-14 所示。

#### (2) 两轴半联动

主要用于三轴以上机床的控制，其中两轴可以联动，而另外一根轴可以作周期性进给。如图 1-15 所示就是采用这种方式用行切法加工三维空间曲面。

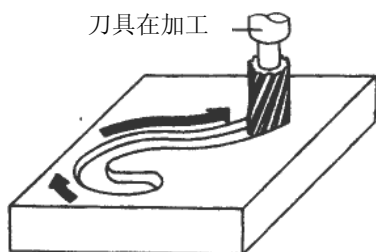


图 1-14 轮廓控制加工示意图

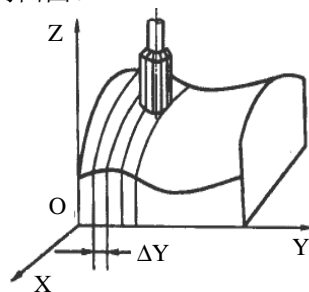


图 1-15 二轴半联动加工曲面

#### (3) 三轴联动

一般分为两类，一类就是 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动，比较多的用于数控铣床、加工中心等，如图 1-16 所示是用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X、Y、Z 其中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了控制 Z 轴和 X 轴两个直线坐标轴联动外，还需同时控制 C 轴（围绕 Z 轴旋转的主轴）联动，如图 1-17 所示。

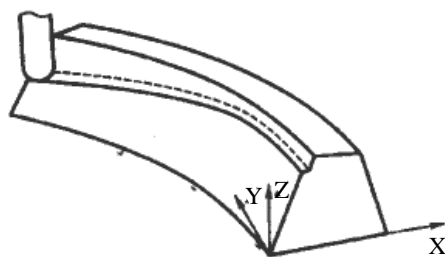


图 1-16 三轴联动加工曲面图

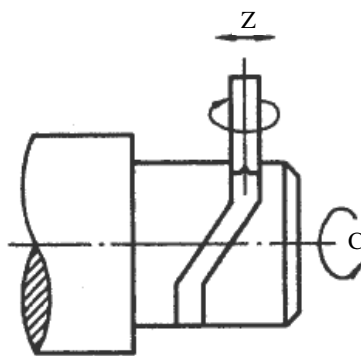


图 1-17 C 轴 Z 轴进给在圆柱面上铣螺旋槽

(4) 四轴联动同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动，如图 1-18 所示为同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴与一个刀具摆动联动的数控机床。



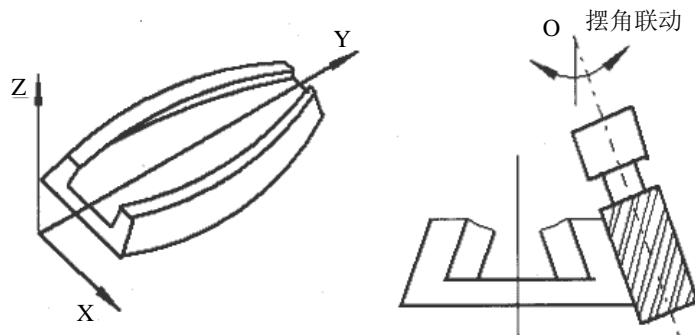


图 1-18 四轴联动加工曲面

(5) 五轴联动除同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A、B、C 坐标轴中的两个坐标轴，形成 5 个轴联动。如图 1-19 所示，除了 3 个直线运动坐标外，工作台还可以作回转运动，另外支撑工作台的托盘还可以摆动。这样 3 个直线坐标加上两个回转坐标形成了五轴联动。这时刀具可以被定在空间的任意方向，加工任意形状复杂的零件。

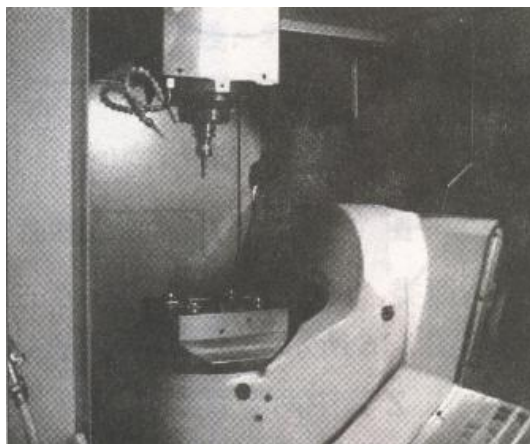


图 1-19 五轴联动

### 1.3 数控加工程序编制的内容和方法

编制数控加工程序是使用数控机床的一项重要技术工作，理想的数控程序不仅应该保证加工出符合零件图纸要求的合格零件，还应该使数控机床的功能得到合理的应用与充分的发挥，使数控机床能安全、可靠、高效地工作。

#### 1.3.1 数控程序编制的内容及步骤

数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程，如图 1-20 所示。编程工作主要包括：

##### 1. 分析零件图样和制定工艺方案

这项工作是编程的第一步，内容包括：对零件图纸进行分析，明确加工的内容和要求；



确定加工方案；选择适合的数控机床；选择或设计刀具和夹具；确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。

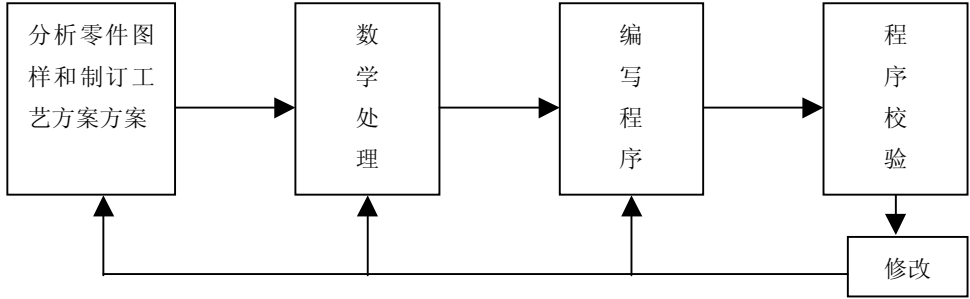


图 1-20 数控编程的内容与步骤

要求编程人员能够对零件图纸的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析，并结合数控机床使用的基础知识，如数控机床的规格、性能、数控系统的功能等，确定加工方法和加工路线。

#### 2. 数学处理

在确定了工艺方案后，就需要根据零件的几何尺寸、加工路线等，计算刀具中心运动轨迹，以获得刀位数据。通常需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值，得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等，以满足编程要求。

当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时，就需要进行较复杂的数值计算，一般需要使用计算机辅助计算，否则难以完成。

#### 3. 编写零件加工程序

在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写加工程序。程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉，才能编写出正确的加工程序。

#### 4. 程序检验及首件试切

程序编好后，在正式加工之前，一般要对程序进行检验。可采用机床空运转的方式，来检查机床动作和运动轨迹的正确性，以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程，对程序进行检查。

程序经过检验正确无误后，应进行首件试切。通过检查试件，不仅可确认程序是否正确，还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切，则更能反映实际加工效果，当发现加工的零件不符合加工技术要求时，可修改程序或采取尺寸补偿等措施。

### 1.3.2 数控程序编制的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种：手工编制程序和自动编制程序。

#### 1. 手工编程

手工编程指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作，如图 1-21 所示。对于加工形状简单、计算量小、程序不长的零件，采用手工编程比较容易，而且经济、及时。

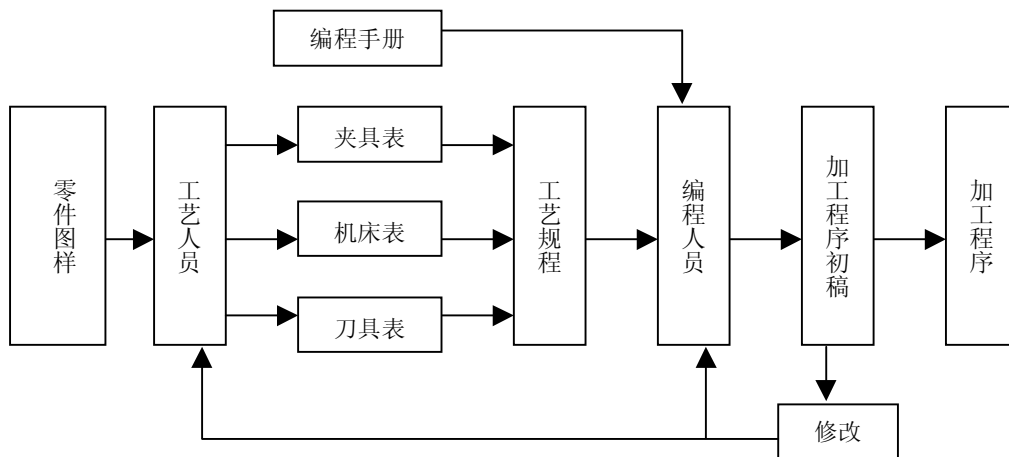


图 1-21 手工编程

## 2. 自动编程

自动编程是指在编程过程中，除了分析零件图纸和制定工艺方案由人工进行外，其余工作均由计算机辅助完成。自动编程适用于：

- (1) 形状复杂的零件（如空间曲线、曲面）。
- (2) 工序多或形状虽不复杂，但编程工作量很大的零件（如有数千个孔的零件）。
- (3) 形状虽不复杂但计算工作量大的零件（如轮廓加工时，非圆曲线的计算）。

图形交互式自动编程是目前使用最为广泛的自动编程方法。它是指将零件的图形信息直接输入计算机，由 CAD/CAM 软件的 NC 模块自动生成数控程序，或者通过其他应用程序，将零件图纸信息直接转换成数控程序。

图形交互自动编程系统处理信息的过程如下：

(1) 几何造型，即 CAD (Computer Aided Design)。即将零件的几何实体准确绘制在计算机的屏幕上，作为下一步刀具轨迹计算的依据。

(2) 刀具路径的产生，即 CAPP (Computer Aided Process Planning) 和 CAM (Computer Aided Manufacturing)。即根据加工要求，输入各种加工参数和制订工艺路线等，生成刀具位置数据，同时在屏幕上显示出刀具轨迹图形。

(3) 后置处理，即形成数控加工文件。在进行后置处理时，编程人员应根据具体的数控机床指令代码和编程格式，编写后置处理文件，或者通过菜单式对话的方式将相应的信息输入系统，形成后置处理文件，然后系统根据该后置处理文件，形成特定机床的指令代码（即数控加工程序）。该指令代码可直接传送到数控机床，进行工件的加工。

## 1.4 数控加工的特点

### 1.4.1 数控机床加工的特点

#### 1. 适应性强

数控机床的一个运动方向定义为一个坐标轴，数控机床能实现多个坐标轴的联动，所以数控机床能完成复杂型面的加工，特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零

件，加工非常方便。并且同一台数控机床，在加工不同的零件时，只需变换加工程序、调整刀具参数等，不必用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备，且可采用成组技术的成套夹具。因此，零件生产的准备周期短，有利于机械产品的迅速更新换代，特别适合多品种、中小批量和复杂型面的零件加工。所以，数控机床的适应性非常强。

## 2. 加工质量稳定

对于同一批零件，由于使用同一类数控机床和刀具及同一个加工程序，刀具的运动轨迹完全相同，且数控机床是根据数控程序自动地进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工的一致性且质量稳定。

## 3. 生产效率高

数控机床跟普通机床相比较，其刚度大，功率大，主轴转速和进给速度范围大且为无级变速，所以每道工序都可选择较大而合理的切削用量，减少了机动时间。

数控机床加工可免去零件加工过程中的划线工作。数控机床加工的空行程速度大大高于普通机床，缩短了刀具快进、快退的时间。数控机床的定位精度、加工精度较稳定，一般省去加工过程中的中间检验，而只作关键工序间的尺寸抽样检验，减少了停机检验时间。

数控车床和加工中心能一次装夹，自动换刀加工，缩短了辅助加工时间。所以，数控机床比普通机床的生产效率高。数控机床的时间利用率高达 90%，而普通机床仅为 30%~50%。

## 4. 加工精度高

数控系统每输出一个脉冲，机床移动部件的移动量称为脉冲当量。数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm，高精度的数控机床可达 0.0001mm，其运动分辨率远高于普通机床。另外，数控机床具有位置检测装置，可将移动部件的实际位移量或滚珠丝杆、伺服电机的转角反馈到数控系统中，并由数控系统自动进行补偿。因此数控加工可获得比机床本身精度还高的加工精度，所以零件加工尺寸的精度高。

## 5. 工序集中，一机多用

数控机床特别是带自动换刀的数控加工中心，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省机加工车间的占地面积，带来较高的经济效益。

## 6. 减轻劳动强度

在输入数控程序并启动机床后，数控机床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。只要对操作人员进行了专门的培训，操作人员只是观察机床的运行，这样就使工人的劳动强度大大降低。

## 7. 易于建立与计算机间的通信联络，容易实现群控。

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，易于建立与计算机间的通信联络，一台计算机可以控制多台数控机床，容易实现群控。

### 1.4.2 数控加工零件的特点

在数控机床上加工的零件，可以是普通零件，但更多的是在普通机床加工起来具有一定难度的零件或对操作人员的技术水平有相当高的要求的零件。一般在数控机床上加工的零件有如下的特点：

- (1) 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件、短期急需的零件;
- (2) 轮廓形状复杂,对加工精度要求较高的零件;
- (3) 用普通机床加工较困难或无法加工(需昂贵的工艺装备)的零件;
- (4) 价值昂贵,加工中不允许报废的关键零件。

#### 1.4.3 数控机床的合理使用

数控机床是高精度、高效率的加工母机。合理使用数控机床,有利于最大限度地发挥数控机床的功效。

数控机床的正常使用条件为:数控机床所处位置的电源电压波动小,环境温度低于 30℃,相对湿度小于 80%。

##### 1. 机床位置环境要求

机床的位置应远离振源、应避免阳光直接照射和热辐射的影响,避免潮湿和气流的影响。如机床附近有振源,则机床四周应设置防振沟,否则将直接影响机床的加工精度及稳定性,数控系统中的电子元件也会因受振动而接触不良,发生故障,降低机床的可靠性。

##### 2. 电源要求

一般数控机床安装在机加工车间,不仅环境温度变化大,使用条件差,而且各种机电设备多,致使电网电压波动大。因此,安装数控机床的位置,需要对电源电压有严格控制。电源电压波动必须在数控机床允许的范围内,并且保持相对稳定,否则会影响数控系统的正常工作。

##### 3. 温度条件

一般来说,数控电控箱内部设有排风扇或冷风机,以保持电子元件,特别是中央处理器工作温度恒定或温差变化很小。过高的温度和湿度将导致控制系统的元件寿命降低,并导致故障增多。温度和湿度的增高、灰尘增多会在集成电路板上产生粘结,并导致短路,降低数控系统的寿命。

##### 4. 按说明书的规定使用数控机床

用户在使用数控机床时,不允许随意改变控制系统内制造厂设定的参数。这些参数的设定直接关系到数控机床各部件的动态特征。数控系统中的参数只有间隙补偿参数值可根据实际情况予以调整。

用户不能随意更换机床附件,如使用超出说明书规定的液压卡盘等。数控机床制造厂在设置附件时,充分考虑了各项环节参数的匹配。盲目更换数控机床附件会造成各项环节参数的不匹配,甚至造成估计不到的事故。

使用液压卡盘、液压刀架、液压尾座、液压缸的压力,都应在许用压力范围内,不允许任意提高。

## 本章小结

本章主要介绍了数控机床加工编程概述,数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制,数控加工程序编制的内容和方法以及数控加工的特点。本章的内容是后面将要介绍的各类数控机床及数控系统编程方法的基本性知识。

## 练习题

### 一、填空题

1. 数控机床主要由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_等三部分组成。
2. 数控机床加工程序的编制方法主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_两种。
3. 伺服系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_组成。

### 二、问答题

1. NC 机床由哪几部分组成，试用框图表示各部分之间的关系，并简述各部分的基本功能。
2. 简述数控机床的运动轨迹控制都有哪几种，各有什么特点。
3. 简述数控机床加工程序的编制步骤。
4. 简述数控机床的加工特点。
5. 简述数控机床合理使用都有哪些要求。

### 三、自己动手查资料

1. 了解数控机床的发展动向。
2. 根据图 1-27，了解数控机床的传动系统。

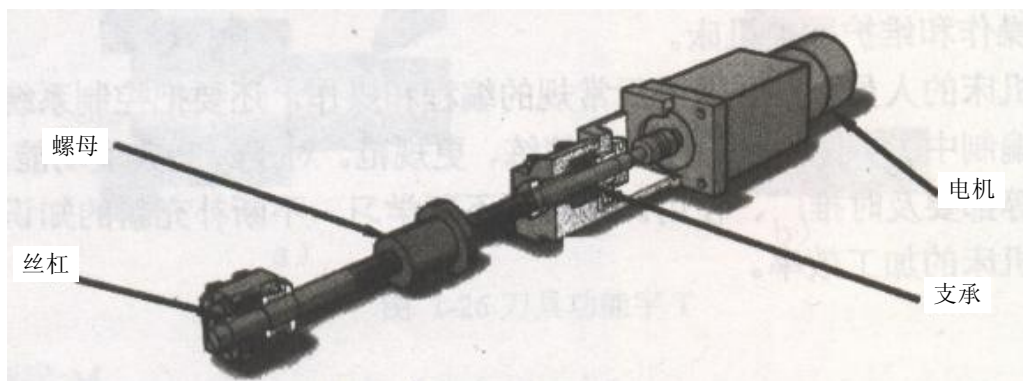


图 1-27 传动系统简图

3. 什么是直线电机，它的工作原理是什么？了解其应用场合及应用特点。

## 第二章 数控加工工艺基础

### 【学习目标】

- (1) 了解数控加工工艺的主要内容及特点。
- (2) 理解数控加工工艺的分析过程及方法。
- (3) 掌握典型零件的数控加工工艺分析方法。

### 2.1 数控加工工艺概述

#### 2.1.1 数控加工工艺的主要内容及特点

##### 1. 数控加工工艺的主要内容

(1) 分析加工零件的图纸，明确加工内容及技术要求，并根据数控编程的要求对零件图作数学处理。

- (2) 制定数控加工路线，确定数控加工方法。
- (3) 确定工件的定位与装夹方法，确定刀具、夹具。
- (4) 调整数控加工工序，如对刀点、换刀点的选择、刀具的补偿等。
- (5) 分配数控加工中的加工余量，确定各工序的切削参数。
- (6) 填写数控加工工艺卡片。
- (7) 填写数控加工刀具卡片。
- (8) 绘制各道工序的数控加工路线图。

##### 2. 数控加工工艺的特点

由于数控加工是利用程序进行加工，因此，数控加工工艺就必须有利于数控程序的编写并体现数控加工的特点，一般数控加工工艺具有如下的特点：

- (1) 数控加工工艺要充分考虑编程的要求；
- (2) 数控加工工艺中工序相对集中。

因此，工件各部位的数控加工顺序可能与普通机床上的加工顺序有很大区别。数控工艺规程中的工序内容要求特别详细。如加工部位、加工顺序、刀具配置与使用顺序，刀具加工时的对刀点、换刀点及走刀路线、夹具及工件的定位与安装、切削参数等，都要清晰明确，数控加工工艺中的工序内容比普通机床加工工艺中的工序内容详细得多。

##### 3. 常用的数控加工方法

###### (1) 平面孔系零件

常用点位、直线控制数控机床（如数控钻床）加工，选择加工方法时，主要考虑加工精度和加工效率两个原则，即：用什么加工方法能保证零件的加工精度，用什么加工方法能提高零件的加工效率。

###### (2) 旋转体类零件

常用数控车床或数控磨床加工。选择加工方法时，主要考虑加工效率和刀尖强度两个原

则。

### ①考虑加工效率

在车床上加工时，通常加工余量大，必须合理安排粗加工路线，以提高加工效率。实际编程时，一般不宜采用循环指令（否则，以工进速度的空刀行程太大）。比较好的方法是先粗车尽快去除材料，再精车。

### ②考虑刀尖强度

数控车床上经常用到低强度刀具加工细小凹槽，在确定加工方法时必须考虑选用刀具的刀尖强度。

## （3）平面轮廓零件

常用数控铣床加工。选择加工方法时，主要考虑加工精度和加工效率两个原则，在确定加工方法时应注意：

### ①刀具的切入与切出方向的控制

如在图 2-1 中，铣削菱形，刀具沿切削边  $A_1B$  的延长线方向切入、沿切削边  $DD_1$  的延长线方向切出，工件表面轮廓光滑。如果刀具不是沿切削边的延长线方向切入、切出，则在工件表面轮廓上会留下刀具切削的痕迹。

### ②一次逼近方法的选择

用微小直线段或圆弧段逼近非圆曲线轮廓的方法称为一次逼近。在只具有直线和圆弧插补功能的数控铣床上加工非圆曲线轮廓时，微小直线段或圆弧段与被加工轮廓之间的误差称为一次逼近误差，选择一次逼近方法时，应该使工件的轮廓误差在合格范围内，同时程序段的数量少为佳。

## （4）立体轮廓零件

常用多坐标轴联动数控机床（加工中心）加工。选择加工方法时，主要考虑加工精度和加工效率两个原则，在确定加工方法时应考虑：

①工件强度及表面质量，立体轮廓零件上的强度薄弱部位，常常难以承受粗加工时的切削量，同时对表面质量要求高的部位要采取相应的工艺措施。

②机床的插补功能。

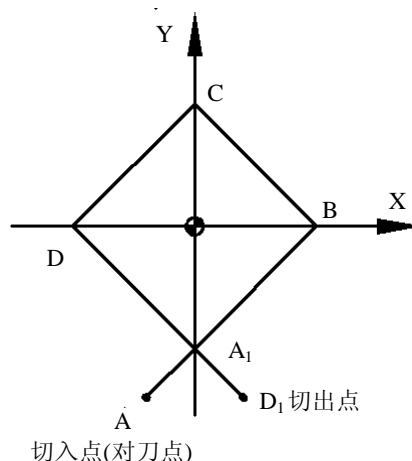


图 2-1 刀具切入与切出方向

## 2.2 数控加工工艺分析

制订数控加工工艺是数控加工的前期工艺准备工作。数控加工工艺贯穿于数控程序中，数控加工工艺制订的合理与否，对程序的编制、机床的加工效率和零件的加工精度都有重要影响。因此，应遵循一般的工艺原则并结合数控加工的特点认真而详细地分析零件的数控加工工艺。

### 2.2.1 零件图的工艺分析

分析零件图是工艺制订中的首要工作，它主要包括以下内容：

#### 1. 零件结构工艺性分析

零件结构工艺性是指零件对加工方法的适应性，即所分析的零件结构应便于加工成型。在进行零件结构分析时，若发现零件的结构不合理等问题应向设计人员或有关部门提出修改意见。

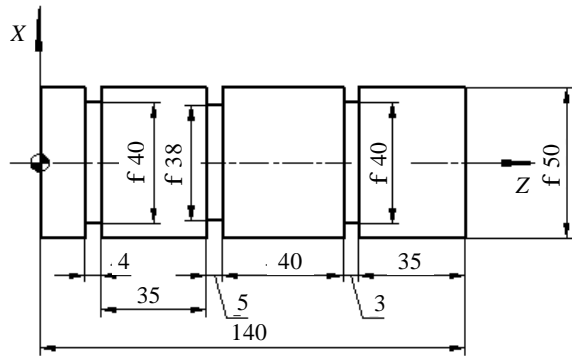


图 2-2 零件的结构工艺性

【例 2-1】零件结构工艺性分析。在图 2-2 中，一个槽的槽宽为 4mm，一个槽的槽宽为 5mm，一个槽的槽宽为 3mm，均不相等，三个槽的槽深也不相等，这给数控编程和加工增加了难度，如果不影响零件的强度和使用，建议把三个槽宽和三个槽深修改成一样的尺寸。

#### 2. 轮廓几何要素分析

零件轮廓是数控加工的最终轨迹，也是数控编程的依据。在手工编程时，要计算零件轮廓上每个基点的坐标，在自动编程时，要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义，因此，在分析零件图时，要分析零件轮廓的几何元素的给定条件是否充分。由于设计等多方面的原因，可能在图样上出现构成零件加工轮廓的条件不充分，尺寸模糊不清及缺陷，增加了编程工作的难度，有的甚至无法编程。

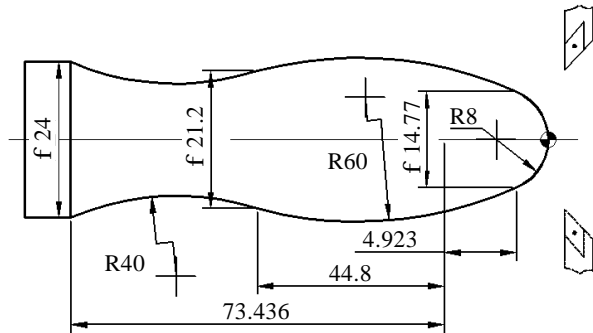


图 2-3 轮廓几何要素分析

【例 2-2】轮廓几何要素分析。在手柄零件轮廓图 2-3 中，R8 的球面和 R60 的弧面相切，要确定切点，必须通过计算求出切点的位置，如图中的 $\phi 14.77$  和 4.923，否则，不能编程。



同理，R60 的弧面和 R40 的弧面的相切点，也必须通过计算求出切点的位置，如图中的 $\phi 21.2$ 和 44.8，R40 的弧面和 $\phi 24$ 的外圆柱相交，也要通过计算求出交点的位置，如图中的 $\phi 24$ 和 73.436，只有这样，手工编程才能顺利进行。

分析轮廓要素时，以能在 AutoCAD 上准确绘制的轮廓为充分条件。

### 3. 精度及技术要求分析

对被加工零件的精度及技术要求进行分析，是零件工艺性分析的重要内容，只有在分析零件尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度的基础上，才能对加工方法、装夹方式、刀具及切削用量进行正确而合理的选择。

精度及技术要求分析主要包括以下内容：

- (1) 分析精度及各项技术要求是否齐全、是否合理；
- (2) 分析每道工序的加工精度能否达到图样要求，若达不到，需采取其他措施（如磨削）弥补的话，则应给后续工序留有余量；
- (3) 找出图样上有位置精度要求的表面，这些表面应在一次安装下完成加工；
- (4) 对表面粗糙度要求较高的表面，应确定相应的工艺措施（如磨削）。

### 4. 零件图的数学处理

零件图的数学处理主要是计算零件加工轨迹的尺寸，即计算零件加工轮廓的基点和节点的坐标，或刀具中心轮廓的基点和节点的坐标，以便编制加工程序。

#### 2.2.2 数控加工工艺的制订

在进行了零件图的工艺分析之后，制订数控加工工艺时，要确定工序的划分、各工序间的加工余量、加工路线、工件的定位、安装与夹具的选择、刀具的选择、对刀点与换刀点的确定、切削用量的选择、加工方案的确定等等。

##### 1. 数控加工工序的划分

划分数控加工工序时推荐遵循的原则如下：

###### (1) 保证精度的原则

数控加工要求工序尽可能集中，常常粗、精加工在一次装夹下完成，为了减少热变形和切削力引起的变形对工件的形状精度、位置精度、尺寸精度和表面粗糙度的影响，应将粗、精加工分开进行。对既需内表面（内型、腔）加工，又需外表面加工的零件，安排加工工序时，应先进行内外表面的粗加工，后进行内外表面的精加工。切不可将零件上一部分表面（外表面或内表面）加工完毕后，再加工其他表面（内表面或外表面）。以保证工件的表面质量要求。同时，对一些箱体零件，为保证孔的加工精度，应先加工表面而后加工孔。遵循保证精度的原则，实现上就是以零件的精度为依据来划分数控加工的工序。

###### (2) 提高生产效率的原则

数控加工中，为减少换刀次数，节省换刀时间，应将需用同一把刀加工的部位全部加工完成后，再换另一把刀来加工其他部位，同时应尽量减少刀具的空行程。用同一把刀加工工件的多个部位时，应以最短的路线到达各加工部位。遵循提高生产效率的原则，实现上就是以加工效率为依据来划分数控加工的工序。

实际操作中，数控加工工序要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

##### 2. 加工余量的确定

加工余量是指毛坯实体尺寸与零件（图纸）尺寸之差。加工余量的大小对零件的加工质量和制造的经济性有较大的影响。余量过大会浪费原材料增加机械加工工时，增加机床、刀具及能源的消耗；余量过小则不能消除上道工序留下的各种误差、表面缺陷和本工序的装夹误差，容易造成废品。因此，应根据影响余量的因素合理地确定加工余量。一般零件的加工通常要经过粗加工、半精加工、精加工才能达到最终的精度要求。因此，零件总的加工余量应等于各中间工序加工余量之和。

#### （1）加工余量的确定原则

①采用最小加工余量原则，以求缩短加工时间，降低零件的加工费用。

②应有充分的加工余量，防止造成废品。

#### （2）确定加工余量时还应考虑的情况

①由于零件的大小不同，切削力、内应力引起的变形也会有差异，工件大，加工过程中的变形增加，加工余量相应地应大一些。零件热处理时也会引起变形，应适当增大加工余量。

②加工方法、装夹方式和工艺装备的刚性可能引起零件的变形，过大的加工余量会由于切削力增大、切削热增加引起零件变形。故应控制零件的最大加工余量。

#### （3）确定零件加工余量的方法

##### ① 查表法

这种方法是根据各工厂的生产实践和实验研究积累的数据，先制成各种切削条件下的加工余量表，再汇集成手册。确定加工余量时查阅这些手册，再结合工厂的实际情况进行适当修改。目前我国各工厂普遍采用查表法来确定零件的加工余量。

##### ② 经验估算法

这种方法是根据工艺编制人员的实际经验来确定加工余量。一般情况下，为了防止因余量过小而产生废品，经验估算法的加工余量数值总是偏大。经验估算法常用于单件小批量生产。

##### ③ 分析计算法

这种方法是根据一定的试验资料数据和加工余量计算公式，分析影响加工余量的各项因素，通过计算确定零件的加工余量。这种方法比较合理，但必须有比较全面和可靠的试验资料数据，计算工作量较大。

### 3. 加工路线的确定

#### （1）加工方法的选择

在数控机床上加工零件，一般有以下两种情况：一是有零件图样和毛坯，要选择适合加工该零件的数控机床；二是已经有了数控机床，要选择适合该机床加工的零件。无论哪种情况，都应根据零件的种类和加工内容选择合适的数控机床和加工方法。

##### ①机床的选择

数控车适合于加工形状比较复杂的轴类零件和由复杂曲线回转形成的模具内型腔；立式数控铣适合于加工平面凸轮、样板、形状复杂的平面或立体零件，以及模具的内、外型腔等；卧式数控铣适合于加工箱体、泵体、壳体类零件；多坐标轴联动的加工中心则可以用于加工各种复杂的曲线、曲面、叶轮、模具等。

##### ②粗、精加工的选择

只经过粗加工的表面，尺寸精度可达 IT12~IT14 级，表面粗糙度（或 Ra 值）可达

12.5 $\mu\text{m}$ ~50 $\mu\text{m}$ 。

经粗、精加工的表面，尺寸精度可达 IT7~IT9 级，表面粗糙度 Ra 值可达 1.6 $\mu\text{m}$ ~3.2 $\mu\text{m}$ 。

### ③孔加工方法的选择

孔加工的方法比较多，有钻孔、扩孔、铰孔和镗孔等。大直径的孔还可采用圆弧插补方式进行铣削加工。

对于直径大于  $\Phi 30\text{mm}$  且已铸出或锻出毛坯孔的孔加工，一般采用粗镗→半精镗→孔口倒角→精镗的加工方案。

大直径孔可采用立铣刀粗铣→精铣的加工方案。

对于直径小于  $\Phi 30\text{mm}$  的无毛坯孔的孔加工，通常采用镗平端面→打中心孔→钻→扩→孔口倒角→铰加工方案。

有同轴度要求的小孔，通常采用镗平端面→打中心孔→钻→半精镗→孔口倒角→精镗（或铰）加工方案。为提高孔的位置精度，在钻孔工步前推荐安排镗平端面和打中心孔工步。孔口倒角安排在半精加工之后、精加工之前，以防孔内产生毛刺。

### ④ 螺纹的加工

螺纹的加工根据孔径大小而定，一般情况下，直径在 M5mm~M200mm 之间的螺纹，通常采用攻螺纹的方法加工。直径在 M6mm 以下的螺纹，通常在加工中心上完成底孔加工后，再用其他方法攻螺纹。因为在加工中心上攻螺纹不能随机控制加工状态，小直径丝锥容易折断。直径在 M25mm 以上的螺纹，可采用镗刀片镗削加工。

由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有许多，因而在实际选择加工方法时，要结合零件的形状、尺寸和热处理要求全面考虑。例如，对于 IT7 级精度的孔采用镗孔、铰孔、磨孔等方法加工可达到精度要求，但箱体上的孔一般采用镗孔或铰孔；而不采用磨孔。一般小尺寸的箱体孔选择铰削，当孔径较大时则应选择镗削。此外，还应考虑生产率和经济性的要求，以及工厂的生产设备等实际情况。

### （2）加工路线的确定

在数控加工中，刀具（严格说是刀位点）相对于工件的运动轨迹称为加工路线。即刀具从对刀点开始运动起，直至加工程序结束所经过的路径，包括切削加工的路径和刀具快退及刀具引入、返回等非切削空行程。

加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量，其次考虑数值计算简单，走刀路线尽量短，效率较高等。

下面举例分析数控机床加工零件时常用的加工路线。

#### 【例 2-3】车圆锥的加工路线。

在数控车床上车外圆锥，假设圆锥大径为  $D$ ，小径为  $d$ ，锥长为  $L$ ，车圆锥的加工路线如图 2-4 所示。

按图 2-4 (a) 的阶梯切削路线，二刀粗车，最后一刀精车；二刀粗车的终刀距  $S$  要作精确的计算，可由相似三角形得：

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{(\frac{D-d}{2}) - a_p}{S}$$

$$S = \frac{L \left[ \frac{D-d}{2} - a_p \right]}{\frac{D-d}{2}}$$

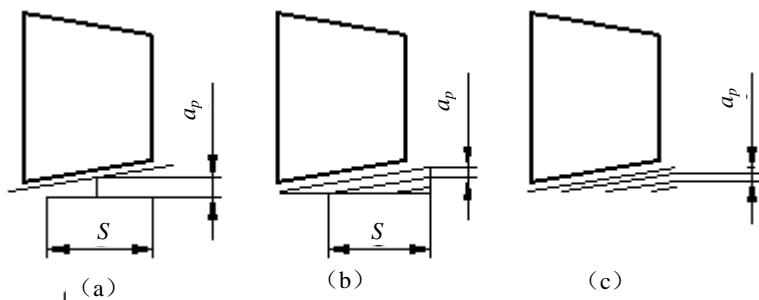


图 2-4 车圆锥的加工路线

此种加工路线，粗车时，刀具背吃刀量相同，但精车时，背吃刀量不同；同时刀具切削运动的路线最短。

按如图 2-4 (b) 所示的相似斜线切削路线，也需计算粗车时的终刀距  $S$ ，同样由相似三角形可计算得：

$$\begin{aligned} \frac{\frac{D-d}{2}}{L} &= \frac{a_p}{S} \\ S &= \frac{L \times a_p}{\frac{D-d}{2}} \end{aligned}$$

按此种加工路线，刀具切削运动的距离较短。

按图 2-4 (c) 的斜线加工路线，只需确定每次背吃刀量  $a_p$ ，而不需计算终刀距，编程方便。但在每次切削中背吃刀量是变化的，且刀具切削运动的路线较长。

车圆锥的三种加工路线均适合于手工编程。

#### 【例 2-4】车圆弧的加工路线。

车圆弧时，若用一刀粗车就把圆弧加工出来，这样吃刀量太大，容易打刀。所以，实际车圆弧时，需要多刀加工，先用粗车将大部分余量切除，最后才精车所需圆弧。

如图 2-5 所示为车圆弧的阶梯切削路线。即先粗车成阶梯形状，最后一刀精车出圆弧。此方法在确定了每次车削的背吃刀量  $a_p$  后，须精确计算出粗车的终刀距  $S$ ，即求圆弧与直线的交点。此方法刀具切削运动距离较短，但数值计算较繁。

如图 2-6 所示为车圆弧的同心圆弧切削路线。即用不同的半径圆来车削，最后将所需圆弧加工出来。此方法在确定了每次车削的背吃刀量  $a_p$  后，对  $90^\circ$  圆弧的起点、终点坐标较易确定，数值计算简单，编程方便，经常采用。但按图 1-6 (b) 加工时，刀具的空行程时间较长。

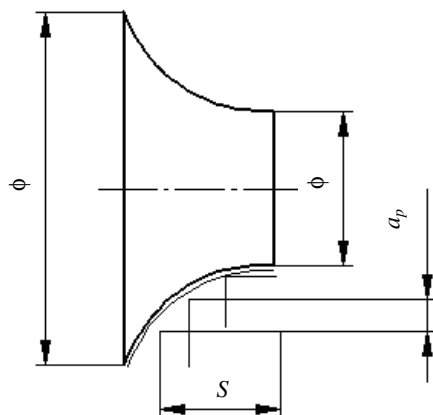


图 2-5 车圆弧的阶梯切削路线

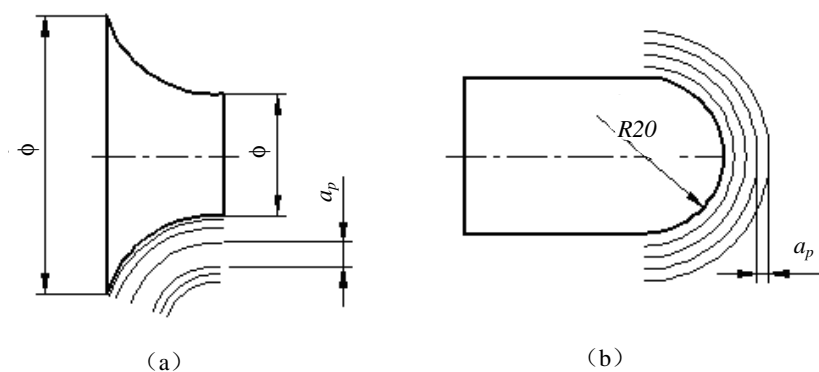


图 2-6 车圆弧的同心圆弧切削路线

如图 2-7 所示为车圆弧的车锥法切削路线。即先车一个圆锥，再车圆弧。此时要注意，车圆锥时的起点和终点的确定，若确定不好，则可能损坏圆弧表面，也可能将余量留得过大。

确定车圆锥时的起点和终点的方法如图 2-7 所示，连接  $OC$  交圆弧于  $D$ ，过  $D$  点作圆弧的切线  $AB$ 。由几何关系  $CD=OC-OD=\sqrt{2}R-R=0.414R$  知， $CD$  为车圆锥时的最大切削余量，即车圆锥时，加工路线不能超过  $AB$  线。由图示关系，可得  $AC=BC=0.586R$ ，这样可确定出车圆锥时的起点和终点。当  $R$  不太大时，可取  $AC=BC=0.5R$ 。此方法数值计算较繁，刀具切削路线短。

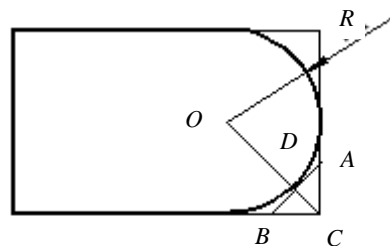


图 2-7 车圆弧的车锥法切削路线

在手工编程中常用同心圆弧加工路线来车圆弧。

**【例 2-5】**车螺纹时的加工路线和轴向进给距离。

车螺纹时，刀具沿螺纹方向的进给应与工件主轴旋转保持严格的速比关系。考虑到刀具从停止状态加速到指定的进给速度或从指定的进给速度降至零时，驱动系统有一个过渡过程。因此，刀具沿轴向进给的加工路线长度，除保证螺纹加工的长度外，还应增加  $\delta_1$  (2~

5mm) 的刀具引入距离和  $\delta_2$  (1~2mm) 的刀具切出距离, 如图 2-8 所示, 以便保证螺纹切削时, 在升速完成后才使刀具接触工件, 在刀具离开工件后再开始降速。

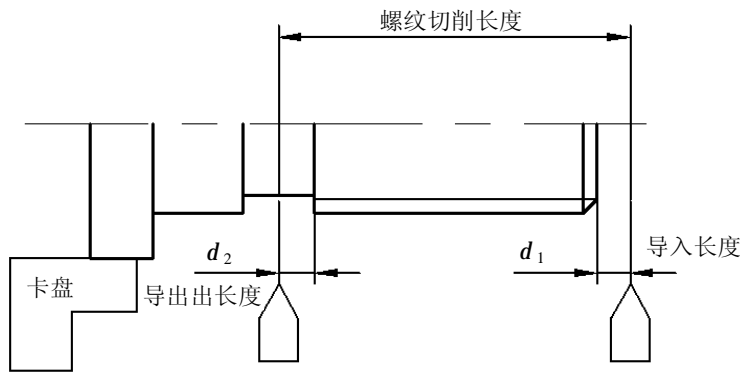


图 2-8 车螺纹时的轴向进给距离

**【例 2-6】轮廓铣削的加工路线。**

对于连续铣削轮廓, 特别是加工圆弧轮廓时, 要注意安排好刀具的切入、切出, 要尽量避免交接处重复加工, 否则会出现明显的界限痕迹。如图 2-9 所示, 用圆弧插补方式铣削外整圆时, 要安排刀具从切向进入圆周铣削加工, 当整圆加工完毕后, 不要在切点处直接退刀, 而让刀具多运动一段直线距离, 最好沿切线方向, 以免取消刀具补偿时, 刀具与工件表面相碰撞, 造成工件报废。铣削内圆弧时, 也要遵守从切向切入、切出的原则, 安排切入、切出过渡圆弧。如图 2-10 所示, 设刀具从工件坐标原点出发, 其加工路线为 1→2→3→4→5, 这样安排可以提高内孔表面的加工精度和质量。

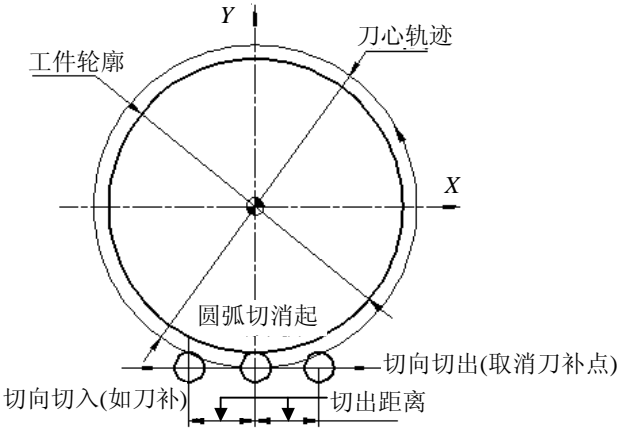


图 2-9 铣削外整圆的加工路线

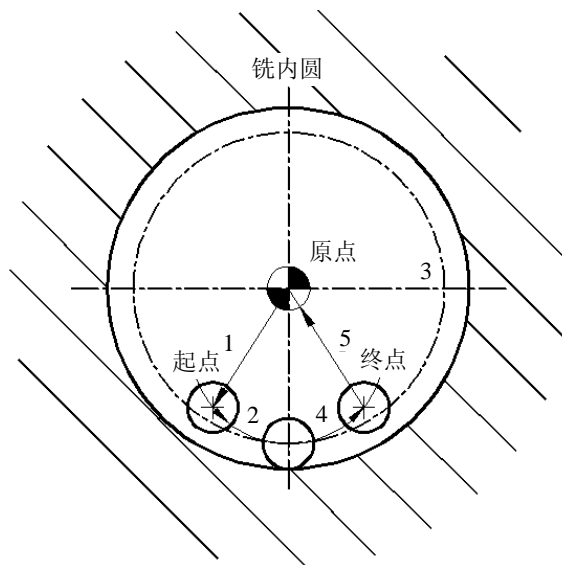


图 2-10 铣削内孔的加工路线

**【例 2-7】位置精度要求高的孔加工路线。**

对于位置精度要求较高的孔系加工，特别要注意孔的加工顺序的安排，加工顺序安排不当时，就有可能将沿坐标轴的反向间隙带入，直接影响位置精度。如图 2-11 所示，图 2-11 (a) 为零件图，在该零件上加工六个尺寸相同的孔，有两种加工路线。当图 2-11 (b) 所示路线加工时，由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相反，在  $Y$  方向运动时，反向间隙会使定位误差增加，而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。按图 2-11 (c) 所示路线，加工完 4 孔后，往上移动一段距离到 P 点，然后再折回来加工 5、6 孔，这样  $Y$  方向运动方向一致，可避免反向间隙的引入，提高 5、6 孔与其他孔的位置精度。

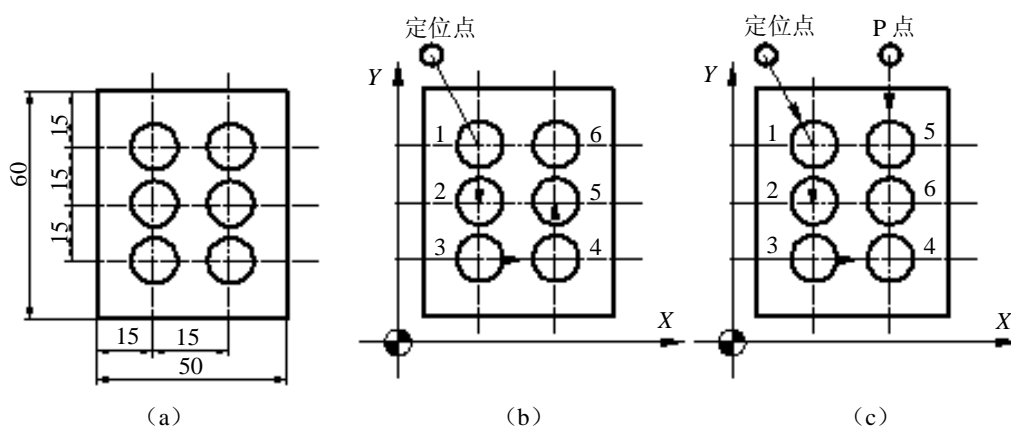


图 2-11 孔加工路线

**【例 2-8】铣削曲面的加工路线。**

铣削曲面时，常用球头刀，采用“行切法”进行加工。所谓行切法，是指刀具与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的，而行间的距离是按零件加工精度的要求来确定。对于边界敞开的曲面加工，可采用两种加工路线。如图 2-12 所示，对于发动机大叶片，当采用图 2-12 (a)

的加工方案时，每次沿直线加工，刀位点计算简单，程序少，加工过程符合直纹面的形成，可以准确保证母线的直线度。当采用图 2-12 (b) 的加工方案时，符合这类零件数据给出情况，便于加工后检验，叶形的准确度高，但程序较多。由于曲面零件的边界是敞开的，没有其他表面限制，所以曲面边界可以延伸，球头刀应由边界外开始加工。

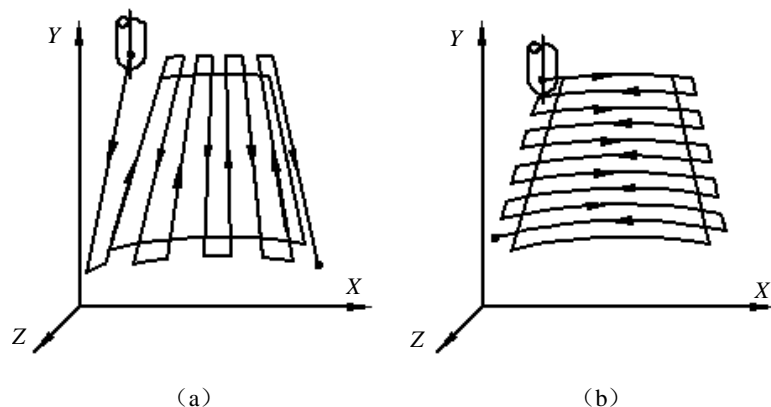


图 2-12 铣削曲面的加工路线

#### 4. 工件的定位、安装与夹具的选择

为了充分发挥数控机床的高速度、高精度和自动化的效能，还应有相应的数控夹具进行配合。

##### (1) 工件定位、安装的基本原则

- ①力求设计基准、工艺基准与编程计算的基准统一。
- ②尽量减少工件的装夹次数，尽可能在一次定位装夹后，加工出全部待加工表面。
- ③避免采用占机人工调整式加工方案，以充分发挥数控机床的效能。

##### (2) 选择夹具的基本原则

- ①当零件加工批量不大时，应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具，以缩短生产准备时间，节省生产费用。
- ②零件在夹具上的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停机时间。
- ③夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各加工表面的加工，即夹具要开敞，其定位夹紧元件不能影响加工中的走刀（如产生碰撞等）。

##### (3) 常用数控夹具

###### ①数控车床夹具

数控车床夹具除了使用通用三爪自定心卡盘、四爪卡盘，大批量生产中使用便于自动控制的液压、电动及气动夹具外，数控车床加工中还有多种相应的夹具，它们主要分为两大类，即用于轴类工件的夹具和用于盘类工件的夹具。

###### 1) 用于轴类工件的夹具

数控车床加工轴类工件时，坯件装卡在主轴顶尖和尾座顶尖之间，工件由主轴上的拔盘或拨齿顶尖带动旋转。这类夹具在粗车时可以传递足够大的转矩，以适应主轴高速旋转车削。用于轴类工件的夹具有自动夹紧拨动卡盘、拨齿顶尖、三爪拨动卡盘和快速可调万能卡盘等。车削空心轴时常用圆柱心轴、圆锥心轴或各种锥套轴或堵头作为定位装置。



## 2) 用于盘类工件的夹具

这类夹具适用在无尾座的卡盘式数控车床上。用于盘类工件的夹具主要有可调卡爪式卡盘和快速可调卡盘等。

## ②数控铣床上的夹具

数控铣床上的夹具一般安装在工作台上,其形式根据被加工工件的特点可多种多样。如:通用台虎钳、数控分度转台等等。

## 5. 刀具的选择

与普通机床加工方法相比,数控加工对刀具提出了更高的要求,不仅要求刀具的刚性好、精度高,而且要求尺寸稳定,耐用度高,断屑和排屑性能好;同时还要求安装调整方便。数控机床上所选用的刀具常采用适应高速切削的刀具材料(如高速钢、超细粒度硬质合金)并使用可转位刀片。

### (1) 车削用刀具及其选择

数控车削常用的车刀一般分尖形车刀、圆弧形车刀以及成型车刀三类。车削刀具形状与被加工表面的关系见图 2-13。

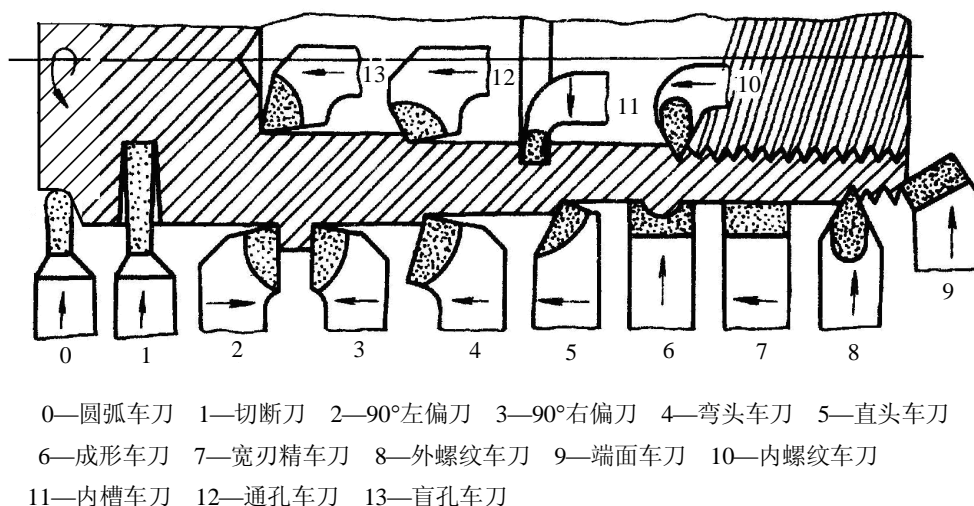


图 2-13 车削刀具形状与被加工表面

### ①尖形车刀

以直线形切削刃为特征的车刀一般称为尖形车刀。这类车刀的刀尖由直线形的主副切削刃构成,如 90°内外圆车刀、左右端面车刀、切槽(切断)车刀及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。

尖形车刀几何参数(主要是几何角度)的选择方法与普通车削基本相同,但应结合数控加工的特点(如加工路线、加工干涉等)进行全面的考虑,并应兼顾刀尖本身的强度。

用这类车刀加工零件时,其零件的轮廓形状主要由一个独立的刀尖或一条直线形主切削刃位移后得到,它与另两类车刀加工所得到零件轮廓形状的原理是截然不同的。

### ②圆弧形车刀

圆弧形车刀是较为特殊的数控加工用车刀。其特征是,构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或轮廓误差很小的圆弧;该圆弧上的每一点都是圆弧形车刀的刀尖,因此,刀位点不

在圆弧上，而在该圆弧的圆心上；车刀圆弧半径理论上与被加工零件的形状无关，并可按需要灵活确定或经测定后确认。

圆弧形车刀可以用于车削内外表面，特别适合于车削各种光滑连接（凹形）的成型面。

选择车刀圆弧半径时应考虑两点：一是车刀切削刃的圆弧半径应小于或等于零件凹形轮廓上的最小曲率半径，以免发生加工干涉；二是车刀圆弧半径不宜选择太小，否则不但制造困难，还会因刀尖强度太弱或刀体散热能力差而导致车刀损坏。

当某些尖形车刀或成型车刀（如螺纹车刀）的刀尖具有一定的圆弧形状时，也可作为这类车刀使用。

### ③成型车刀

成型车刀俗称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。数控车削加工中，常见的成型车刀有小半径圆弧车刀、非矩形车槽刀和螺纹车刀等。在数控加工中，应尽量少用或不用成型车刀，当确有必要选用时，则应在工艺文件或加工程序单上进行详细说明。

## （2）铣削刀具及其选择

### ①平底立铣刀（如图 2-14 所示）

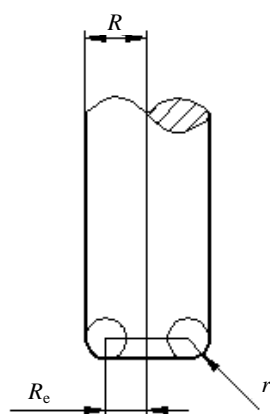


图 2-14 平底立铣刀

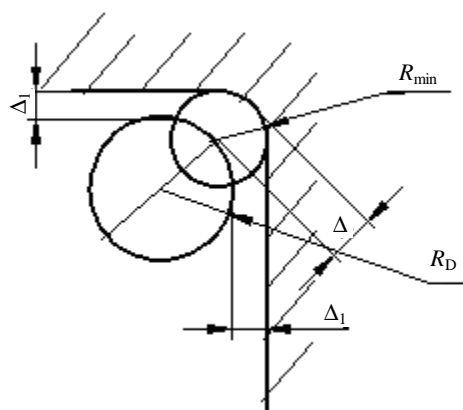


图 2-15 粗加工铣刀直径估算

数控加工中，铣削平面零件及其内外轮廓时常用品底立铣刀，该刀具有关参数的经验数据如下：

铣刀半径  $R_D$  应小于零件内轮廓面的最小曲率半径  $R_{\min}$ ，一般取  $R_D = (0.8 \sim 0.9) R_{\min}$ 。

零件的加工高度  $H \leq (1/4 \sim 1/6) R_D$ ，以保证刀具具有足够的刚度。

粗加工内轮廓时，铣刀最大直径  $D$  可按下式计算（参见图 2-15）：

$$D = 2R_D = \frac{2(\Delta \sin \frac{j}{2} - \Delta_i)}{1 - \sin \frac{j}{2}} + 2R_{\min} \quad \text{式 (2-1)}$$

式 (2-1) 中：

$R_{\min}$ ——轮廓的最小凹圆角半径；

$\Delta$ ——圆角邻边夹角等分线上的精加工余量；

$\Delta_1$ ——精加工余量；

$j$ ——圆角两邻边的最小夹角。

用平底立铣刀铣削内槽底部时，由于槽底两次走刀需要搭接，而刀具底刃起作用的半径为  $R_e=R-r$ ，如图 2-14 所示，即每次切槽的直径为  $d=2R_e=2(R-r)$ ，故编程时应取刀具半径为  $R_e=0.95(R-r)$ ，以避免两次走刀之间出现过高的刀痕。

## 2) 常用的其他铣刀

对于一些立体型面和变斜角轮廓外形的加工，常用球形铣刀、环形铣刀、鼓形铣刀、锥形铣刀和盘形铣刀，如图 2-16 所示。

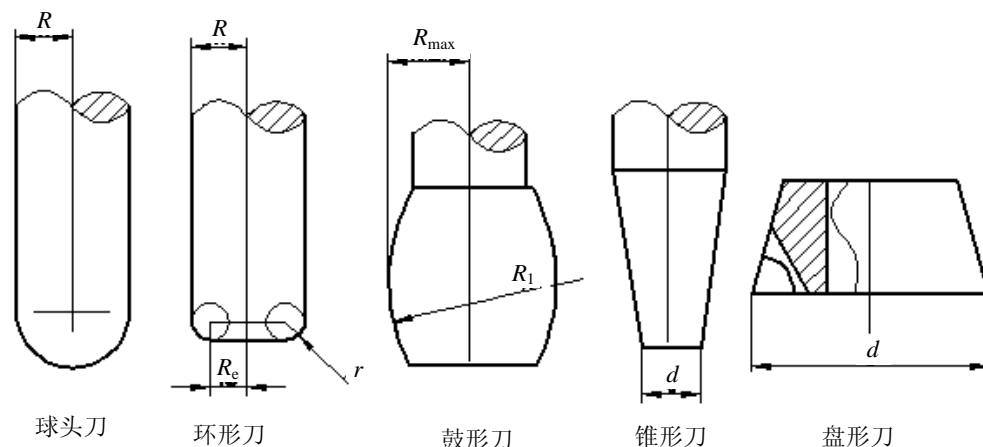


图 2-16 常用的其他铣刀

## 3) 标准化刀具

目前，数控机床大多使用系列化、标准化刀具，对可转位机夹外圆车刀、端面车刀等的刀柄和刀头都有国家标准及系列化型号；对于加工中心及有自动换刀装置的机床，刀具的刀柄都已有系列化和标准化的规定，如锥柄刀具系统的标准代号为 TSG—JT，直柄刀具系统的标准代号为 DSG—JZ。

此外，对所选择的刀具，在使用前都需对刀具尺寸进行严格的测量以获得精确数据，并由操作者将这些数据输入到数控系统中，经程序在加工过程调用，从而加工出合格的工件。

### ① 标准化数控加工刀具从结构上可分为：

- a. 整体式；
- b. 镶嵌式，镶嵌式又可以分为焊接式和机夹式。机夹式根据刀体结构不同，又分为可转位和不转位两种；
- c. 减振式，当刀具的工作臂长与直径之比较大时，为了减少刀具的振动，提高加工精度，多采用此类刀具；
- d. 内冷式，切削液通过刀体内部由喷孔喷射到刀具的切削刃部；
- e. 特殊形式，如复合刀具、可逆攻螺纹刀具等。

### ② 标准化数控加工刀具从制造所采用的材料上可分为：

- a. 高速钢刀具；
- b. 硬质合金刀具；

- c. 陶瓷刀具;
- d. 立方氮化硼刀具;
- e. 金刚石刀具;
- f. 涂层刀具。

## 6. 对刀点与换刀点的确定

### (1) 刀位点

在进行数控加工编程时,往往是将整个刀具视为一个点,这就是“刀位点”,它是在加工上用于表现刀具位置的参照点。

一般来说,立铣刀、端铣刀的刀位点是刀具轴线与刀具底面的交点;

球头铣刀的刀位点为球心;

镗刀、车刀的刀位点为刀尖或刀尖圆弧中心;

钻头的刀位点是钻尖或钻头底面中心。

### (2) 对刀点

对刀操作就是要测定出在程序起点处刀具刀位点相对于机床原点以及工件原点的坐标位置,即确定对刀点(也称为起刀点)。

正确选择“对刀点”的原则是:

- 1) 便于用数学处理和简化程序编制;
- 2) 在机床上找正容易,加工中便于检查;
- 3) 引起的加工误差小。

对刀点可以设置在零件上、夹具上或机床上,对刀点尽可能设在零件的设计基准或工艺基准上。

### (3) 换刀点

换刀点则是指加工过程中需要换刀时刀具与工件的相对位置点。换刀点往往设在工件的外部,离工件有一定的换刀安全距离,以能顺利换刀、不碰撞工件和其他部件。

在铣床上,常以机床参考点为换刀点;

在加工中心上,以换刀机械手的固定位置点为换刀点;

在车床上,则以刀架远离工件的行程极限点为换刀点。

## 7. 切削用量的选择

数控编程时,编程人员必须确定每道工序的切削用量,并以指令的形式写入程序中。切削用量包括切削速度、背吃刀量及进给速度等。对于不同的加工方法,需要选用不同的切削用量。

### (1) 切削用量的选择原则

粗加工时,一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工成本;半精加工和精加工时,应在保证加工质量的前提下,兼顾切削效率、经济性和加工成本。具体数值应根据机床说明书、切削用量手册,并结合经验而定。

从刀具的耐用度出发,切削用量的选择顺序是:先确定背吃刀量,其次确定进给量,最后确定切削速度。

### (2) 背吃刀量的确定

背吃刀量由机床、工件和刀具的刚度来决定,在刚度允许的条件下,应尽可能使背吃刀

量等于工件的加工余量，这样可以减少走刀次数，提高生产效率。

确定背吃刀量的原则：

1) 在工件表面粗糙度值要求为  $Ra12.5\mu m \sim 25\mu m$  时，如果数控加工的加工余量小于  $5mm \sim 6mm$ ，粗加工一次进给就可以达到要求。但在余量较大，工艺系统刚性较差或机床动力不足时，可分多次进给完成。

2) 在工件表面粗糙度值要求为  $Ra3.2\mu m \sim 12.5\mu m$  时，可分粗加工和半精加工两步进行。粗加工时的背吃刀量选取同前。粗加工后留  $0.5mm \sim 1.0mm$  余量，在半精加工时切除。

3) 在工件表面粗糙度值要求为  $Ra0.8\mu m \sim 3.2\mu m$  时，可分粗加工、半精加工、精加工三步进行。半精加工时的背吃刀量取  $1.5mm \sim 2mm$ 。精加工时背吃刀量取  $0.3mm \sim 0.5mm$ 。

(3) 进给量的确定

进给量主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料选取。最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制。

确定进给速度的原则：

1) 当工件的质量要求能够得到保证时，为提高生产效率，可选择较高的进给速度。一般在  $100 \sim 200mm/min$  范围内选取。

2) 在切断、加工深孔或用高速钢刀具加工时，宜选择较低的进给速度，一般在  $20 \sim 50mm/min$  范围内选取。

3) 当加工精度，表面粗糙度要求高时，进给速度应选小些，一般在  $20 \sim 50mm/min$  范围内选取。

4) 刀具空行程时，特别是远距离“回零”时，可以选择该机床数控系统设定的最高进给速度。

(4) 主轴转速的确定

主轴转速应根据允许的切削速度和工件（或刀具）直径来选择。其计算公式为：

$$n = 1000v / \pi D \quad (2-2)$$

式 (2-2) 中：

$v$ ——切削速度，单位为  $m/min$ ，由刀具的耐用度决定；

$n$ ——主轴转速，单位为  $r/min$ ；

$D$ ——工件直径或刀具直径，单位为  $mm$ 。

计算的主轴转速  $n$  最后要根据机床说明书选取机床有的或较接近的转速。

(5) 数控车削的切削条件

数控车削切削条件参考表 2-1：

表 2-1 数控车削切削条件参考表 ( $m/min$ )

被切削材料名称		轻切削	一般切削	重切削
		背吃刀量 $0.5 \sim 1.0mm$ 进给量 $0.05 \sim 0.3mm/r$	背吃刀量 $1 \sim 4mm$ 进给量 $0.2 \sim 0.5mm/r$	背吃刀量 $5 \sim 15mm$ 进给量 $0.4 \sim 0.8mm/r$
优质碳素 结构钢	10#	100~250	150~250	80~220
	45#	60~230	70~220	80~180
合金钢		100~220	100~230	70~220
		70~220	80~220	80~200

(6) 数控铣削的切削条件

1) 数控铣削的最高切削速度参考表 2-2。

表 2-2 铣刀刀具材料与许用最高切削速度

序号	刀具材料	类别	主要化学成分	最高切削速度 m/min
1	碳素工具钢		Fe	
2	高速钢	钨系 铝系	18W+4Cr+1V+ (CO) 7W+5Mo+4Cr+1V	50
3	超硬工具	P 种 (钢用) M 种 (铸钢用) K 种 (铸铁用)	WC+Co+TiC+ (TaC) WC+Co+TiC+ (TaC) WC+Co	150
4	涂镀刀具 (COATING)		超硬母材料镀 Ti TiNi103 A203	250
5	瓷金 (CERMET)	TicN+Nbc 系 Nbc 系 TiN 系	TicN+Nbc+CO Nbc+CO TiN+CO	300

2) 铣刀每齿进给量参考表 2-3。

表 2-3 铣刀每齿进给量

工件材料	每齿进给量 mm/z			
	粗铣		精铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

3) 铣削时的切削速度参考表 2-4。

总之，切削用量的具体数值应根据机床性能、相关的手册并结合实际经验用类比方法确定。同时，使主轴转速、切削深度及进给速度三者能相互适应，以形成最佳切削用量。

表 2-4 铣削时的切削速度

工件材料	硬度 (HBS)	切削速度 (m/min)	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	<225	18~42	66~150
	225~325	12~36	54~120
	325~425	6~12	36~75
铸铁	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	260~320	4.5~10	21~30

## 8. 加工方案的确定

在进行零件加工的工艺分析之后,就可以确定加工方案了。在确定加工方案时,首先应根据主要表面的尺寸精度和表面粗糙度的要求,初步确定为达到这些要求所需要的加工方法,即精加工的方法,再确定从毛坯到最终成形的加工方案。

通常对一个零件进行加工有多种加工方案,在确定加工方案时,要进行分析比较,从中选出比较好的加工方案。

## 9. 根据数控加工工艺,填写数控加工工艺卡片

为了使零件在加工过程中能及时地检验,也为了使零件的加工有序地进行,对于每个加工零件,在确定了数控加工方案之后,要制订详细的数控加工工艺,并且要填写数控加工工艺卡片,作为零件在加工过程中的工艺文件。

# 2.3 典型零件的数控加工工艺

## 2.3.1 车削零件的数控加工工艺

### 1. 最适合数控车削加工的零件。

#### (1) 精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好,制造和对刀精度高,以及能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿,所以能加工尺寸精度要求较高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外,数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的,再加上机床的刚性好和制造精度高,所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。对于圆弧以及其他曲线轮廓,加工出的形状与图纸上所要求的几何形状的接近程度比用仿形车床要高得多。数控车削对提高位置精度特别有效,且加工质量稳定。

#### (2) 表面粗糙度要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速切削功能,能加工出表面粗糙度值小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已定的情况下,表面粗糙度取决于进给量和切削速度。在普通车床上车削锥面和端面时,由于转速恒定不变,致使车削后的表面粗糙度不一致,只有某一直径处的粗糙度值最小。使用数控车床的恒线速切削功能,就可选用最佳线速度来切削锥面和端面,使车削后的表面粗糙度值既小又一致。数控车削还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。粗糙度值要求大的部位选用大的进给量,要求小的部位选用小的进给量。

#### (3) 表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能,所以可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。组成零件轮廓的曲线可以是数学方程式描述的曲线,也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的轮廓,直接利用机床的直线或圆弧插补功能,对于由非圆曲线组成的轮廓应先用直线或圆弧去逼近,然后再用直线或圆弧插补功能进行插补切削。

#### (4) 带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所能车削的螺纹相当有限,它只能车等导程的直、锥面公、英制螺纹,而且一台车床只能限定加工若干种导程。数控车床不但能车削任何等导程的直、锥和端面螺纹,而且能车增导程、减导程,以及要求等导程与变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车削螺纹时主轴转向不必像普通车床那样交替变换,它可以一刀又一刀不停顿地循环,直到完成,所

以它车螺纹的效率很高。数控车床可以配备精密螺纹切削功能，再加上一般采用硬质合金成型刀片，以及可以使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度小。

2. 数控车削零件加工工艺

【例 2-9】轴类零件数控车削加工工艺分析。

下面以如图 2-17 所示轴为例，介绍其数控车削加工工艺。所用机床为 CJK6032-3 数控车床。

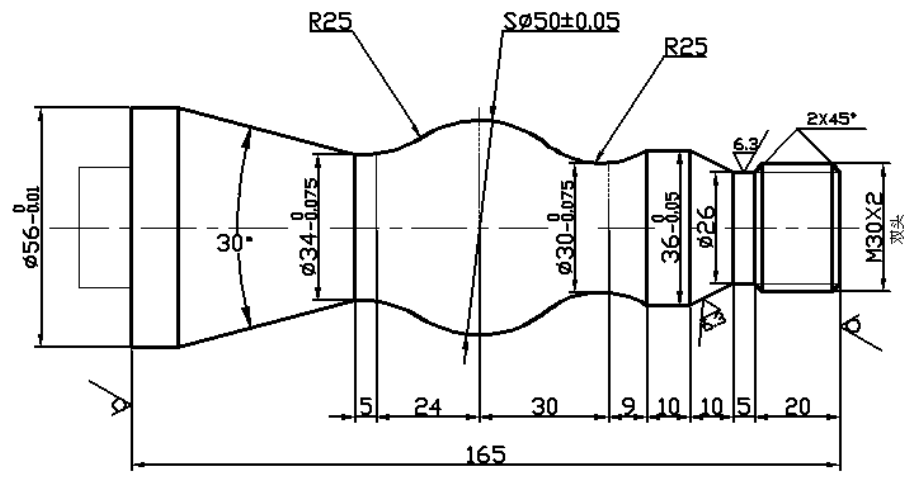


图 2-17 轴

(1) 零件图工艺分析

该零件表面由圆柱、圆锥、顺圆弧、逆圆弧及双线螺纹等表面组成。其中多个直径尺寸有较严的尺寸精度和表面粗糙度等要求；球面  $S\phi 50\text{mm}$  的尺寸公差还兼有控制该球面形状（线轮廓）误差的作用。尺寸标注完整，轮廓描述清楚。零件材料为 45 钢，无热处理和硬度要求。

通过上述分析，采取以下几点工艺措施。

- 1) 对图样上给定的几个精度 (IT7~IT8) 要求较高的尺寸，因其公差数值较小，故编程时不必取平均值，而全部取其基本尺寸即可。
- 2) 在轮廓曲线上，有三处为过象限圆弧，其中两处为既过象限又改变进给方向的轮廓曲线，因此在加工时应进行机械间隙补偿，以保证轮廓曲线的准确性。
- 3) 为便于装夹，坯件左端应预先车出夹持部分（双点画线部分），右端面也应先车出并钻好中心孔。毛坯选  $\phi 60\text{mm}$  棒料。

(2) 确定装夹方案

确定坯件轴线和左端大端面（设计基准）为定位基准。左端采用三爪自定心卡盘定心夹紧、右端采用活动顶尖支承的装夹方式。

(3) 确定加工顺序及进给路线

加工顺序按由粗到精、由近到远（由右到左）的原则确定。即先从右到左进行粗车（留 0.25mm 精车余量），然后从右到左进行精车，最后车削螺纹。

CJK6032-3 数控车床具有粗车循环和车螺纹循环功能，只要正确使用编程指令，机床数控系统就会自行确定其进给路线，因此，该零件的粗车循环和车螺纹循环不需要人为确定其



进给路线。但精车的进给路线需要人为确定，该零件是从右到左沿零件表面轮廓进给，如图 2-18 所示。

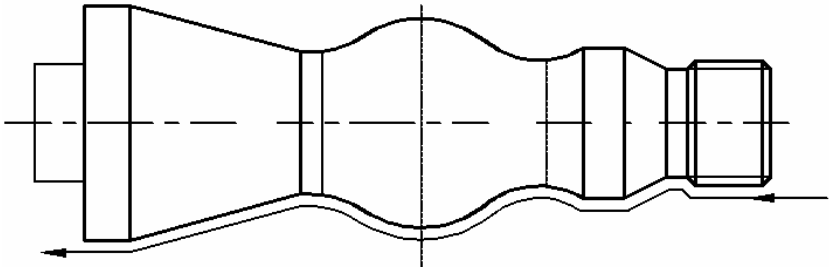


图 2-18 轴的加工路线

- (4) 选择刀具
 

1) 粗车选用硬质合金 90°外圆车刀，副偏角不能太小，以防止与工件轮廓发生干涉，必要时应作图检验，本例取  $Kr=35^\circ$ 。
 2) 精车和车螺纹选用硬质合金 60°外螺纹车刀，取刀尖角  $\epsilon_r=59^\circ30'$ ，取刀尖圆弧半径  $r_\epsilon=0.15\sim0.2\text{mm}$ 。
- (5) 选择切削用量
 

1) 粗车循环时的背吃刀量，确定为  $a_p=3\text{mm}$ ；精车时  $a_p=0.25\text{mm}$ 。
 2) 主轴转速
 

① 车直线和圆弧轮廓时的主轴转速
 

查表取粗车的切削速度  $v_c=90\text{m/min}$ ，精车的切削速度  $v_c=120\text{m/min}$ ，根据坯件直径（精车时取平均直径），利用式（2-2）计算，并结合机床说明书选取：粗车时，主轴转速  $n=500\text{r/min}$ ；精车时，主轴转速  $n=1200\text{r/min}$ 。

 ② 车螺纹时的主轴转速用式（2-2）计算，取主轴转速  $n=320\text{r/min}$ 。

 3) 进给速度
 

先选取进给量，然后用公式  $v=nf$  计算。粗车时，选取进给量  $f=0.4\text{mm/r}$ ，精车时，选取  $f=0.15\text{mm/r}$ ，计算得：粗车进给速度  $v_f=200\text{mm/min}$ ；精车进给速度  $v_f=180\text{mm/min}$ 。车螺纹的进给量等于螺纹导程，即  $f=3\text{mm/r}$ 。短距离空行程的进给速度取  $v_f=300\text{mm/min}$ 。
- (6) 编制工艺文件
 

1) 数控加工工序卡片

(工厂)		数控加工工序卡片		产品名称或代号	零件名称	材料	零件图号
工序号		程序编号	夹具名称	夹具编号	使用设备	车间	
工步号		加工面	刀具号	刀具规格	主轴转速 r/min	进给量 mm/r	背吃刀量 mm
1	粗车循环		T01		500	0.4	3
2	精车循环		T02		1200	0.15	2.5
3	车螺纹循环		T02		320		
编制		审核		批准		共 页	第 页

## 2) 数控加工刀具卡片

产品名称或代号			零件名称		零件图号			程序编号		
工步号	刀具号	刀具名称	刀具型号	刀片			刀尖半径 mm	备注		
				型号		牌号				
1	T01	硬质合金 90°外圆车刀								
2	T02	硬质合金 60°外螺纹车刀								
3	T02	硬质合金 60°外螺纹车刀								
编制			审核			批准			共 页	第 页

【例 2-11】非圆曲面的加工工艺分析。

数控车床一般只能作直线插补和圆弧插补。遇到回转轮廓是非圆曲线的零件时，数学处理的方法是用直线段或圆弧段去逼近非圆轮廓。

如图 2-33 所示工件，毛坯直径为 $\phi 40$ ，选用刀具为 90°正偏刀。

(1) 工艺路线

- 1) 夹工件右端，车工件左端。
- 2) 粗精车工件左端圆柱 $\phi 38$ 、 $\phi 25_{-0.05}^0$ 。
- 3) 调头，用三爪自定心卡盘夹住左端 $\phi 25\text{mm}$ 处，工件伸出卡盘外 30mm。
- 4) 车右端面

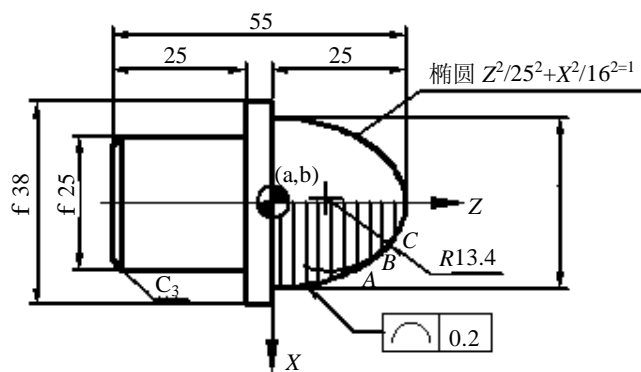


图 2-33 非圆零件的加工

- 5) 粗车外圆至 $\phi 33 \times 25$ 。
- 6) 用车锥法粗车椭圆。
- 7) 分别用直线、圆弧逼近法精车椭圆。

(2) 相关计算

- 1) 椭圆方程:  $(Z^2/25^2) + (X^2/16^2) = 1$

### 2) 直线插补点

在 Z 轴坐标上, 以 2.5mm 为单位, 正向等间距取点, 通过椭圆方程算出相应的 X 坐标值, 如表 2-5 所示。

表 2-5 直线插补点

Z	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
X	15.92	15.68	16.26	14.66	13.86	12.8	11.43	9.6	6.97	0

### 3) 圆弧插补点

从表 2-3 中可以看出, 最后三点 X 轴数值差距较大, 拟合误差也较大, 所以一般在对椭圆进行拟合逼近时, 通常对曲率半径较大的部分采用直线拟合计算, 对曲率半径较小的部分采用圆弧拟合计算。

先用“不在一条直线上的三个点确定一个圆”的定理, 求出该圆的圆心坐标和直径。

设圆心坐标为  $(a, b)$ , 半径为  $r$ , 则由圆的方程有:

$$(X-a)^2 + (Z-b)^2 = r^2$$

$$(9.6-a)^2 + (20-b)^2 = r^2$$

$$(6.97-a)^2 + (22.5-b)^2 = r^2$$

$$(0-a)^2 + (25-b)^2 = r^2$$

用待定系数法解得:  $a = -0.86$ ,  $b = 11.63$ ,  $r = 13.4$ 。由此可用圆弧插补编程。

#### (4) 拟合误差的计算

在 AB 两点之间取  $Z_1 = 21.25$ , 在 BC 两点之间取  $Z_2 = 23.75$ , 代入椭圆方程, 求得  $X_1 = 8.429$ ,  $X_2 = 4.996$ ; 代入圆方程, 求得  $X_1 = 8.407$ ,  $X_2 = 4.845$ 。

$$\Delta X_1 = 8.429 - 8.407 = 0.022, \Delta X_2 = 4.996 - 4.845 = 0.151。$$

$\Delta X_2$  小于轮廓精度 0.2, 故拟合方法能满足工件的加工要求。

### 2.3.2 铣削零件的数控加工工艺

【例 2-12】: 平面轮廓零件的加工工艺分析

对如图 2-34 所示纸垫落料模凸模轮廓进行加工。刀具直径为  $\phi 10$ ,  $\times$  刀号为 01, 切削深度为 5mm, 工件表面 Z 坐标为 0。(给定毛坯为  $160 \times 100 \times 20$ , 所有表面的粗糙度  $R_a$  为 3.2)。

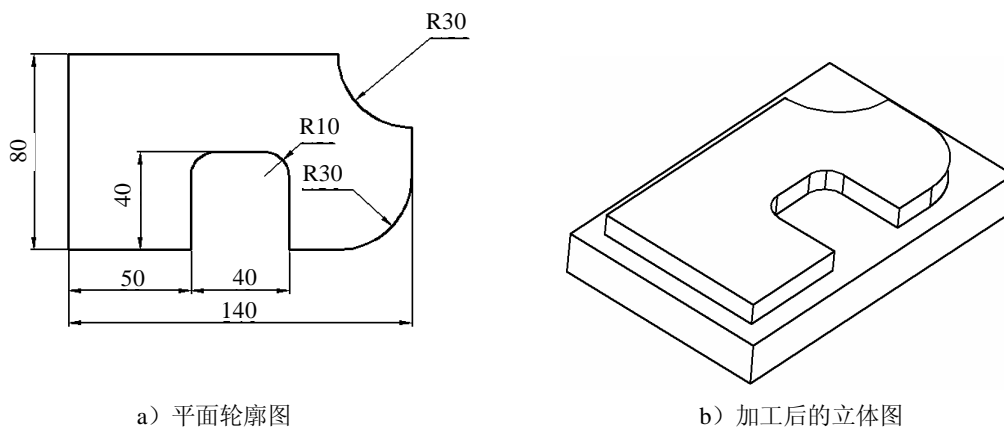


图 2-34 平面轮廓零件

工艺分析如下：

(1) 几何尺寸分析。

从平面轮廓图中知，所有尺寸的公差没有标注，即为一般公差，选用中等级（GB1804—m），其极限偏差为： $\pm 0.3$ 。数控机床在正常维护和操作情况下是完全可以达到的。

(2) 规划刀具路径。

根据零件表面粗糙度的要求，应有粗、精加工。

根据毛坯、刀具的直径，分两次进刀进行粗加工。留加工余量 0.2mm。

加工的起刀点设置在工件轮廓外面，距工件边约 10mm。并设置刀补。

为保证加工平稳不振动。起刀点与切入点在一条直线上，如图 2-35 所示。

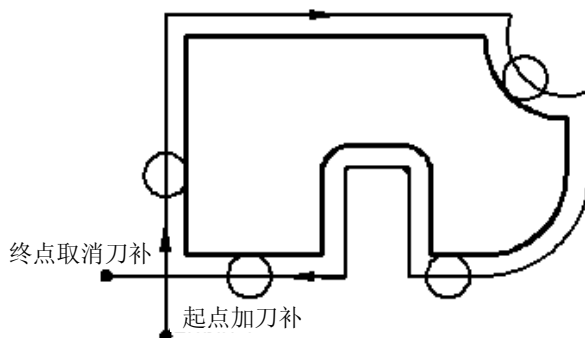


图 2-35 刀具路径的规划

(3) 将典型零件的尺寸作如下变化：（达到 IT7）

$80 \rightarrow 80_0^{+0.03}$ ， $40 \rightarrow 40_{-0.039}^0$ ， $140 \rightarrow 140_0^{+0.04}$

当尺寸带有公差时，必须对尺寸公差进行处理。

(4) 对尺寸公差进行处理的方法。

一是直接换算，将公差换算成几何尺寸，供编程和绘图用。二是用刀补值来完成对公差的处理。

平面轮廓零件的数控工艺特点是：保证轮廓的加工精度和位置要求，合理设置刀补，安排好刀具的切入与切出路线。

【例 2-13】钻孔、挖槽的加工工艺分析。

如图 2-36 所示的槽形零件，其毛坯四周已加工（厚为 20mm）。槽宽 6mm，槽深 2mm。槽的表面粗糙度为 Ra3.2，其余为 Ra12.5。

该槽形零件的工艺分析如下：

(1) 工艺和操作清单。

该槽形零件除了槽的加工外，还有螺纹孔的加工。其工艺安排为“钻孔→扩孔→攻螺纹→铣槽”，其工艺和操作清单如表 2-6 所示。

(2) 钻孔

在数控机床和加工中心上钻孔都是无钻模直接钻孔。钻孔前最好用中心钻钻一个中心孔，或用一个刚性较好的短钻头划一个窝，解决铸件毛坯表面的引正。

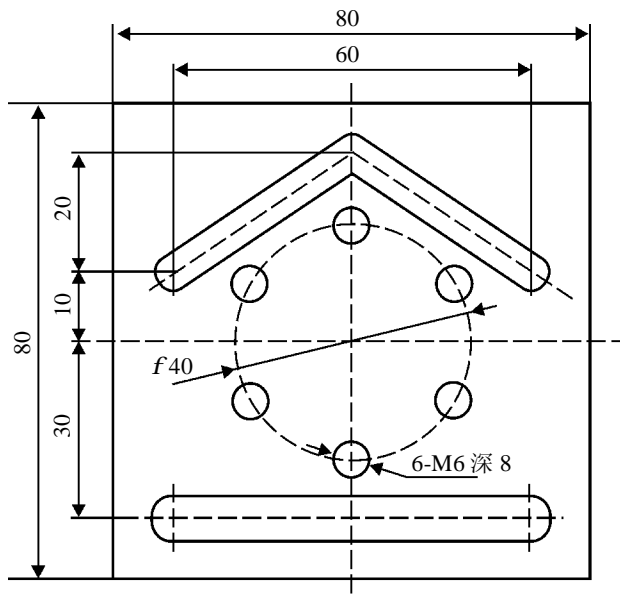


图 2-36 槽形零件

表 2-6 槽形零件的工艺清单

材料	铝	零件号			程序号	
操作 序号	内容	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	刀 具		
				号数	类型	直径 (mm)
1	中心钻	1500	80	T01	4mm 钻头	4
2	扩钻	2000	100	T02	5mm 钻头	5
3	攻螺纹	200	200	T03	M6 攻螺纹	6
4	铣斜槽	2300	100、180	T04	6mm 铣刀	6

当工件毛坯非常硬，钻头无法划窝时，可先用硬质合金立铣刀，在欲钻孔的部位先铣一个小平面，然后用中心钻钻孔，解决硬表面钻孔的引正问题。

### (3) 刀具轴向进给的切入与切出距离的确定

钻头钻孔如图 2-37 所示。钻头定位于 R 点，从 R 点以进给速度作 Z 向进给，钻到孔底后，快速退到 R 点，图中 A 为切入距离，λ 为切出距离。刀具的轴向引入距离的经验数据为：

在已加工面上钻、镗、铰孔，A=1mm~3mm；

在毛坯表面上钻、镗、铰孔，A=5mm~8mm；

钻孔时刀具的轴向切出距离为 1mm~3mm，当顶角  $\theta=118^\circ$ ，切入、切出长度  $\lambda=D\cos\theta/2\approx0.3D$ 。

钻孔零件的工艺特点是：准确定位，确定孔的加工方案，确定孔的轴向切入与切出距离。

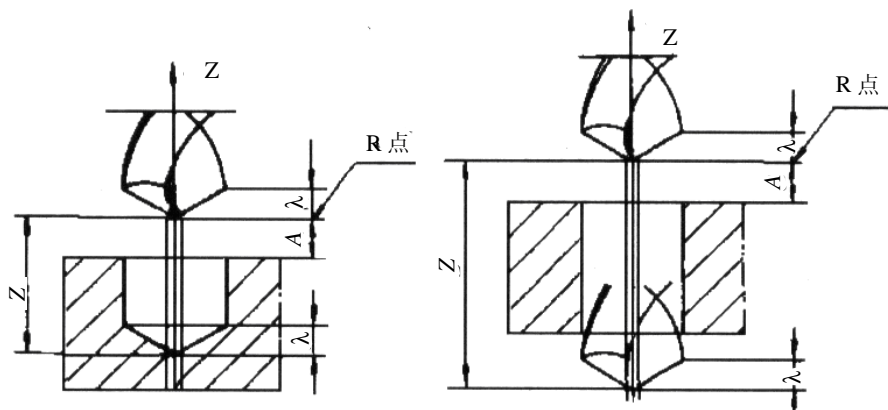


图 2-37 钻孔的切入与切出

【例 2-14】曲面零件的加工工艺分析。

图 2-38 为某快餐盒凹模的零件图。快餐盒的主要结构是由多个曲面组成的凹形型腔，型腔四周的斜平面之间采用半径为 20mm 的圆弧过渡，斜平面与底平面之间采用半径为 5mm 的圆弧过渡，在凹模的底平面上有一个四周为斜平面的锥台。凹模上部型腔为锥面，用于压边，模具的外形结构较为简单，为标准的长方体。

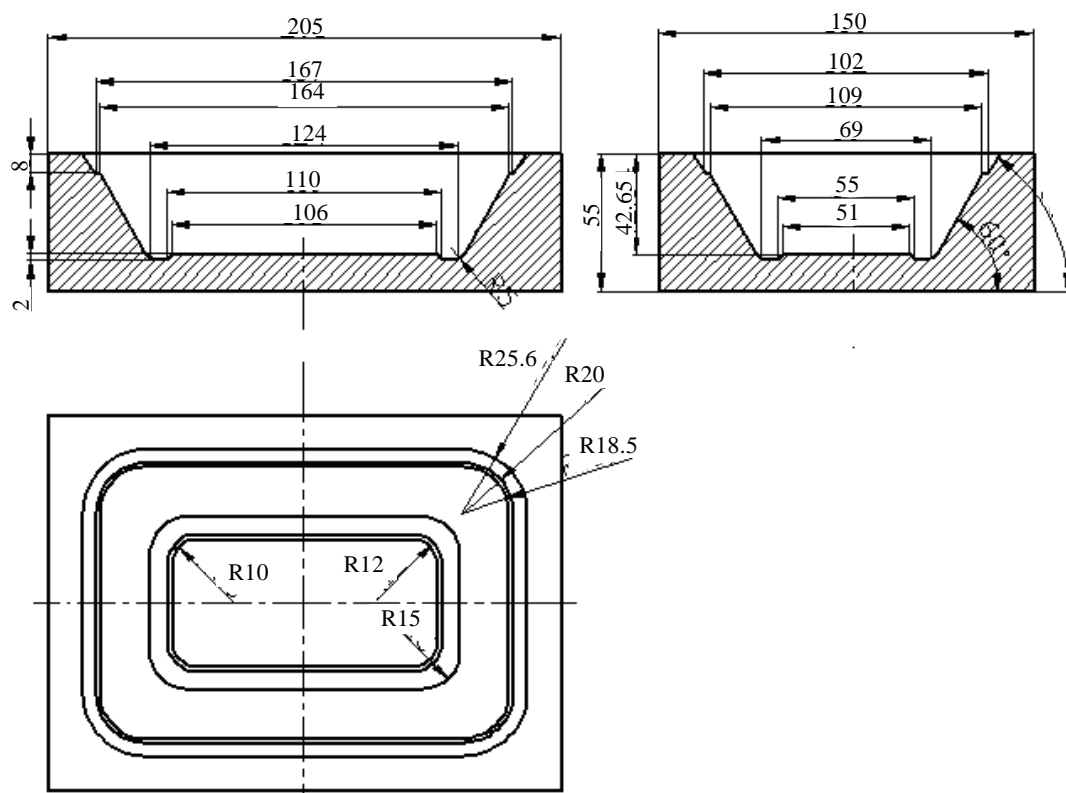


图 2-38 快餐盒凹模

工艺分析如下：

(1) 数控加工工艺

粗加工整个型腔，去除大部分加工余量；精加工上凹槽；精加工下凹槽；精加工底部锥台四周表面；精加工底部上表面；精加工上、下凹槽过渡平面。

(2) 工件的定位与夹紧

工件直接安装在机床工作台上，用两块压板压紧。凹模中心为工件坐标系 X 轴、Y 轴的原点，上表面为工件坐标系 Z 轴的零点。

(3) 刀具选择

根据工件的加工工艺，型腔粗加工选用 $\phi 20\text{mm}$  波刃立铣刀；上凹槽精加工采用 $\phi 20\text{mm}$  平底立铣刀；下凹槽精加工为 $\phi 6\text{mm}$  球头铣刀。底面锥台四周表面的精加工采用直径为 $\phi 4\text{mm}$  的平底立铣刀（因锥台直角边与底平面交线距离仅为  $4.113\text{mm}$ ）；用 $\phi 20\text{mm}$  的平底立铣刀精加工底部锥台上表面和上、下凹槽过渡平面。上下凹槽粗加工一起进行，精加工采用 $\phi 6\text{mm}$  的球头铣刀。

(4) 切削用量加工工序卡（见表 2-7）

表 2-7 快餐盒凹模的加工工序卡

工步 序号	工步内容	刀具号	刀具规格（mm）	主轴转速 r/min	进给速度 mm/min	切削深度 mm
1	型腔挖槽粗加工	T01	$\phi 20$ 波刃立铣刀	500	200	2
2	上凹槽表面精加工	T04	$\phi 20$ 平底立铣刀	600	300	
3	下凹槽表面精加工	T02	R3 球头铣刀	1500	300	
4	底部锥台四周表面精加工	T03	$\phi 4\text{mm}$ 的平底立铣刀	1600	200	
5	底部锥台上表面精加工	T04	$\phi 20$ 平底立铣刀	600	300	
6	上、下凹槽过渡平面	T04	$\phi 20$ 平底立铣刀	600	300	

【说明】曲面零件的工艺特点在于合理利用各种铣刀，确定合理的加工路线，以方便程序的编制。

### 本章小结

本章主要介绍了数控加工工艺的内容及特点，着点讲解了数控加工工艺分析、安排中的注意事项，重点介绍了数控车削、数控铣削中几种典型零件的工艺分析、编制过程。

工艺分析是数控编程的前提，没有准确、合理的工艺分析及安排，就不可能编制出合格的数控加工程序，因此读者应对本章予以重视。

## 2.4 数控加工基础实训

### 实训课题：安全操作规程与数控零件工艺分析

#### 一、实训目的

1. 学习数控机床的安全操作规程，树立安全意识，做到安全文明生产。
2. 学习典型零件的数控工艺分析，掌握零件的数控工艺分析方法。
3. 了解数控工艺分析中的“二卡一图”。

#### 二、实训内容

##### （一）数控机床的安全操作规程

数控机床操作者要努力掌握好数控机床的性能，精心操作，管好、用好和维护好数控机床。养成文明生产的良好工作习惯和严谨的工作作风，做到安全第一，严格遵守数控机床的安全操作规程。

1. 数控机床的编程、操作、维修人员必须经过专门的技术培训，熟悉所用数控机床的使用环境、条件和工作参数等，严格按机床和系统的使用说明书要求正确、合理地操作机床。
2. 数控机床的开机与关机顺序，一定要按照机床说明书的规定操作。
3. 主轴启动开始切削之前一定要关好防护罩门，程序正常运行中严禁开启防护罩门。
4. 主轴启动开始切削之后，一定要密切关注加工过程，严格禁止擅自离岗。
5. 数控机床在正常运行中不允许打开电器柜门。
6. 在每次接通电源后，必须先完成各轴的返回参考点操作，然后再开始其他运行方式，以确保各轴坐标的正确性。
7. 手动对刀时，应注意选择合适的进给速度，一般将进给修调速度按钮旋转到较小的挡位。手动换刀时，刀架距工件要有足够的转位距离。严格禁止刀具与工件或工作台发生碰撞。
8. 加工程序必须经过严格校验方可进行操作运行。
9. 加工过程中，如出现异常情况，可按下“急停”按钮，以确保设备的安全。如出现危急情况，应立即切断电源，以确保人身的安全。
10. 机床发生事故，操作者要注意保留现场，并如实汇报事故发生前后的情况，以利于查找事故原因。

11. 数控机床的使用一定要有专人负责，严禁其他人员随意动用数控设备。
12. 不得随意更改数控系统内部由制造厂设定的参数，对原始参数要及时做好备份。
13. 要认真填写数控机床的工作日志，做好交接工作，消除事故隐患。
14. 要经常润滑机床导轨，防止导轨生锈，并做好机床的清洁保养工作。
15. 操作人员离开数控设备之前，必须按说明书的要求关机并切断电源。

##### （二）典型零件的数控工艺分析

分析下列零件的数控加工工艺，包括零件图分析、数控加工工序的划分、加工余量的确定、工件的安装与夹具的选择、刀具的选择、对刀点与换刀点的确定、切削用量的选择、加



工方案的确定。

1. 车削加工零件数控工艺分析

(1) 轴类零件如图 2-39 所示。

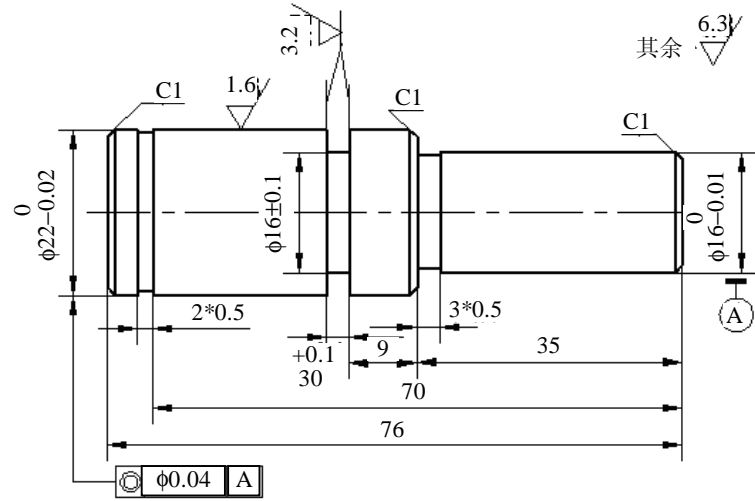


图 2-39 轴类零件工艺

(2) 轴套类零件如图 2-40 所示。

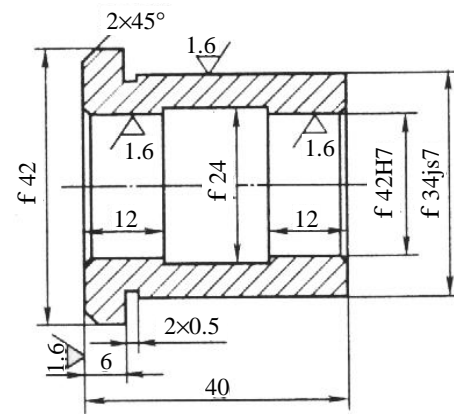


图 2-40 轴套类零件工艺

2. 铣削（加工中心）加工零件数控工艺分析

(1) 平面轮廓零件如图 2-41 所示。

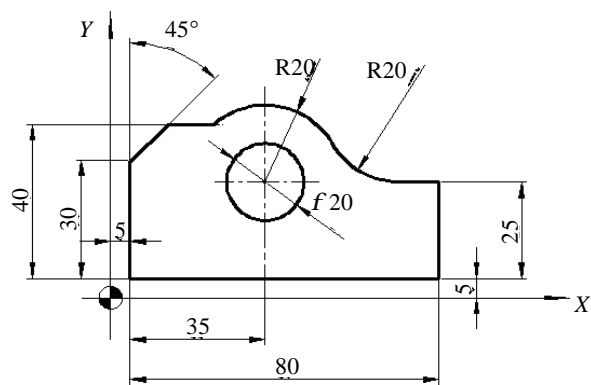


图 2-41 平面轮廓零件工艺

(2) 槽型零件如图 2-42 所示。

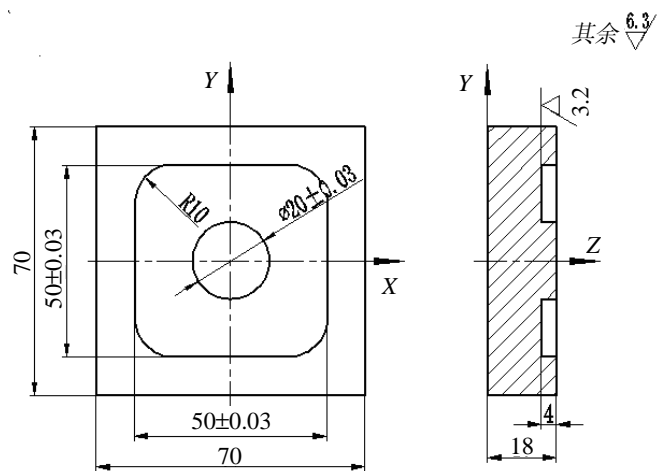


图 2-42 槽型零件工艺

(3) 孔加工零件如图 2-43 所示。

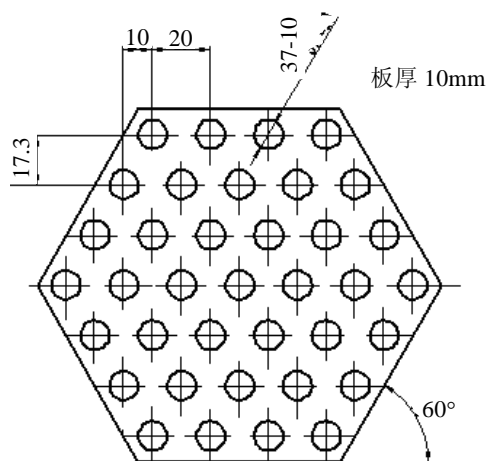


图 2-43 孔加工零件工艺

(4) 曲面加工零件如图 2-44 所示。

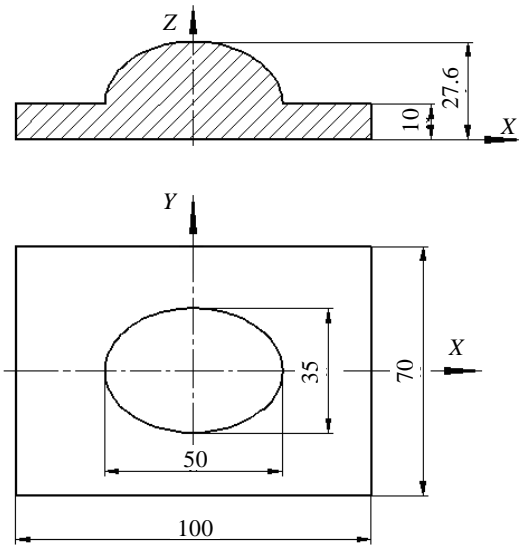


图 2-44 曲面加工零件工艺

三、数控工艺中的“二卡一图”

1. 数控加工工序卡

(工厂)		数控加工工序卡片			产品名称或代号		零件名称	材料	零件图号
工序号		程序编号	夹具名称		夹具编号		使用设备	车间	
工步号	工步内容		加工面	刀具号	刀具规格	主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/r)	背吃刀量 mm	备注
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
编制		审核			批准			共 页	第 页

## 2. 数控加工刀具卡

产品名称或代号		零件名称		零件图号		程序编号	
工步号	刀具号	刀具名称	刀具型号	刀片		刀尖半径 (mm)	备注
				型号	牌号		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
编制		审核		批准		共 页	第 页

## 3. 进给路线图

对于比较复杂的零件,要绘制每道工序的加工路线图,以便清晰地反映刀具的加工过程。  
对于一般零件,通常只绘制精加工的路线图。

## 四、实训要求

1. 认真学习数控机床的安全操作规程。
2. 认真分析典型零件的数控工艺。
3. 练习填写和绘制数控工艺中的“二卡一图”。
4. 写出防止在数控机床操作中发生事故的有效措施。

## 五、实训报告参考格式

班级		课题		学时数	共 页
姓名					第 页
简图					
工艺 分析	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
批阅老师				日期	

## 练习题

### 一、填空题

1. 数控机床特别适合加工（ ）零件。
2. 数控机床是根据（ ）进行加工，可以避免人为的误差。
3. 数控系统每输出一个脉冲，机床移动部件的移动量称为（ ）。
4. 数控加工工艺比普通机床加工工艺要（ ）。
5. 平面孔系零件常用（ ）数控机床来加工。
6. 旋转体类零件常用数控（ ）加工。
7. 沿切削边的延长方向切入、切出是为了防止（ ）。
8. 数控机床所处位置的电源电压（ ），环境温度（ ），相对湿度（ ）。
9. 零件图的数学处理主要是计算（ ）。
10. 构成零件轮廓的不同几何素线的交点或切点称为（ ）。
11. 用直线或圆弧作拟合线段时的交点或切点称为（ ）。
12. 对一些箱体工件，为保证孔的加工精度，应先加工（ ）而后加工（ ）。
13. （ ）是指毛坯实体尺寸与零件（图纸）尺寸之差。
14. 目前我国各工厂普遍采用（ ）来确定加工余量。
15. 经粗加工的表面，尺寸精度可达（ ），表面粗糙度（或 Ra 值）可达（ ）。
16. 刀具相对于工件的运动轨迹称为（ ）。
17. 车螺纹时，刀具沿轴向进给的加工路线长度，除保证螺纹加工的长度外，还应增加（ ）和（ ）。
18. 确定位置精度要求高的孔加工路线时，要防止（ ）。
19. （ ）是指刀具与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的，而行间的距离是按零件加工精度的要求来确定。
20. 数控车削常用的车刀一般分为（ ）、（ ）、（ ）。
21. 圆弧形车刀上的每一点都是（ ）。
22. 将整个刀具在编程时浓缩视为一个点，这就是（ ）。
23. 对工件进行切削时的刀具位置称为（ ）。
24. 从刀具的耐用度出发，切削用量的选择顺序是：先确定（ ），其次确定（ ），最后确定（ ）。

### 二、判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. 数控机床可获得比机床本身精度还高的加工精度。（ ）
2. 数控机床易于建立与计算机间的通信联络。（ ）
3. 数控机床的操作人员要进行专门的培训。（ ）
4. 数控车床的粗加工常用循环指令。（ ）
5. 用户在使用机床时，不允许随意改变控制系统内制造厂设定的参数。（ ）
6. 数控加工工艺贯穿于数控程序中。（ ）
7. 零件结构工艺性是指零件对加工方法的适应性。（ ）
8. 零件轮廓是数控加工的最终轨迹。（ ）

9. 零件图的数学处理主要是计算零件加工轨迹的尺寸。( )
10. 车圆锥的阶梯切削路线最短。( )
11. 车圆弧的车锥法切削路线损坏圆弧表面。( )
12. 对刀点可以设置在零件上。( )
13. 换刀点可以设置在零件上。( )
14. 确定粗加工时的切削用量应以保证精度为原则。( )
15. 背吃刀量由机床、工件和刀具的刚度来决定。( )
16. 进给量主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求来决定。( )
17. 主轴转速应根据允许的切削速度和工件(或刀具)直径来确定。( )
18. 数控车床所能车削的螺纹相当有限。( )

### 三、简答题

1. 数控机床加工有哪些特点?
2. 数控加工的零件有哪些特点?
3. 数控加工工艺的内容主要有哪些?
4. 为什么要分析零件的结构工艺性?
5. 为什么要分析零件的几何要素?
6. 精度及技术要求分析主要包括哪些内容?
7. 简述数控加工工序的划分原则。
8. 简述工序间加工余量的确定原则。
9. 简述确定加工余量的查表法。
10. 简述工件安装的基本原则。
11. 数控加工对刀具有哪些要求?
12. 简述圆弧形车刀的特征。
13. 怎样确定平底立铣刀的半径?
14. 绘图说明铣刀、镗刀、车刀的刀位点。
15. 怎样确定刀具的对刀点?
16. 车床、铣床、加工中心的换刀点一般选在哪里?
17. 切削用量的选择原则是什么?
18. 切削用量的选择顺序是怎样的?
19. 确定背吃刀量的原则有哪些?
20. 确定进给速度的原则有哪些?
21. 怎样计算工件的切削速度?
22. 最适合数控车削加工的零件有哪几类?
23. 什么是数控加工中的“二卡一图”?
24. 最适合数控铣削加工的零件有哪几类?
25. 什么是数控加工?
26. 什么是脉冲当量?
27. 为什么不能随意更换数控机床的附件?
28. 简述数控机床正常使用的条件。
29. 什么是零件的结构工艺性?
30. 什么是基点?什么是节点?

## 第三章 数控编程基础

### 【学习目标】

- (1) 了解数控编程中节点的计算方法。
- (2) 理解数控机床坐标系及程序原理、对刀点的设定方法。
- (3) 掌握数控系统结构、标准代码的规定以及基点的计算方法。

### 3.1 数控机床的坐标系

在数控机床上加工零件时，刀具与工件的相对运动必须在确定的坐标系中才能按规定的程序进行。数控机床的坐标系是一个十分重要的概念。每一个数控机床的编程员和操作人员都必须对其有一个正确、统一的理解，这样将给程序编制和使用维护带来极大的便利；否则，程序编制将发生混乱，操作时会发生事故。

#### 3.1.1 坐标轴和运动方向的命名原则

##### 1. 假定刀具运动，工件静止

由于机床的运动可以是刀具相对于工件的运动，也可以是工件相对于刀具的运动，所以统一规定：不带“'”的坐标表示工件固定、刀具运动的坐标；带“'”的坐标则表示刀具固定、工件运动的坐标。当运动件未确定时，都先假定刀具运动而工件静止。

标准的坐标系是一个右手笛儿尔坐标系。机床的每一个直线进给运动或圆周进给运动都定义一个坐标轴。规定对应直线运动的直角坐标系用 X、Y、Z 表示，常称基本坐标系。X、Y、Z 轴的相互关系用右手定则确定，如图 3-1 所示。图中，大拇指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y 轴的正方向，中指指向为 Z 轴的正方向。围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示。根据右手螺旋法则，当大拇指分别指向 +X、+Y、+Z 方向时，其余手指的指向是圆周进给运动的 +A、+B、+C 方向。

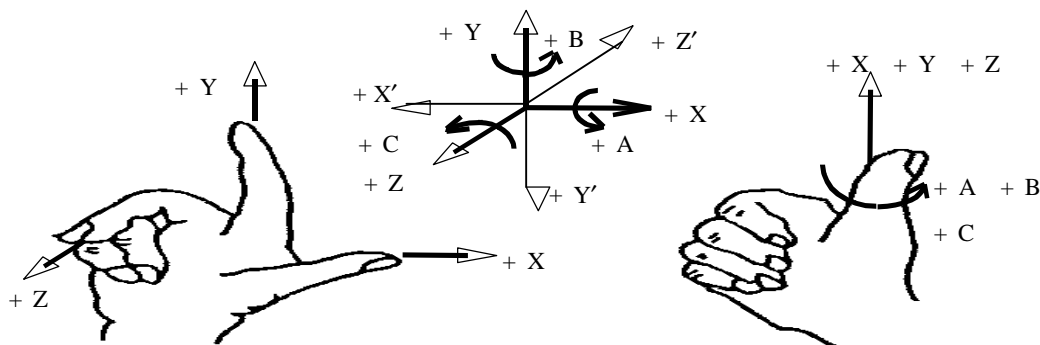


图 3-1 机床坐标轴

根据相对运动的关系，可知：

$$+X = -X', +Y = -Y', +Z = -Z' + A - A', +B = -B', +C = -C'$$

(+X、+Y、+Z 表示三个直线进给的坐标,方向为工件固定、刀具远离工件的运动方向正方向, -X'、-Y'、-Z'方向为刀具不动,工件远离刀具的运动方向为正方向。两者运动方向正好相反。+A、+B、+C 表示三个圆周进给的坐标。)

如果在基本的直角坐标 X、Y、Z 之外,另有轴线与坐标系中的坐标轴平行,则附加的直角坐标系为 U、V、W 和 P、Q、R。这些附加坐标系的运动方向,可按确定基本坐标系运动方向的方法来确定。

## 2.运动方向的规定

数控机床某一坐标轴的正方向是指工件固定、刀具远离工件的运动方向为该坐标轴的正方向。

### 3.1.2 机床坐标系的确定

#### 1. Z 坐标

只有一根主轴的机床,规定平行于主轴轴线的坐标为 Z 坐标。

对于没有主轴的机床,则规定垂直于工件装夹表面的坐标为 Z 坐标;如果机床上有几根主轴,可选垂直于工件装夹面的一根主轴作为主要主轴,Z 坐标则平行于主要主轴的轴线;如果主轴能摆动,在摆动范围内只与标准坐标系中的一个坐标轴平行时,则这个坐标就是 Z 坐标,若摆动范围内能与基本坐标系中的多个坐标轴平行时,则取垂直于工件装夹面的方向作为 Z 坐标的方向。

Z 轴的正方向是使刀具远离工件的方向。

#### 2. X 坐标

在刀具旋转的机床上(如铣床、镗床等),若 Z 轴是水平的,则站在操作位时从刀具(主轴)向工件看,X 轴的正方向指向右边;若 Z 轴是垂直的,则站在操作位时从主轴向立柱看,对于单立柱机床,X 轴的正方向指向右边,对于双立柱机床,当从主轴向左侧立柱看时,X 轴的正方向指向右边。

在工件旋转的机床上(如车床、磨床等),X 轴的正方向是在工件的径向并平行于横向拖板,刀具离开工件旋转中心的方向是 X 轴的正方向。

在刀具和工件均不能旋转的机床上(如刨床),X 轴平行于主要进给方向,并以该方向为 X 轴的正方向。

#### 3. Y 坐标

在确定了 X、Z 轴的正方向后,可按照右手法则来确定 Y 轴的正方向,如图 3-2 所示的卧式车床与立式铣床的坐标系。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局。对卧式车床 Z 轴与主轴轴线重合,正方向从主轴端指向尾座,X 轴垂直于 Z 轴,上刀位车床与下刀位车床方向正好相反。对立式铣床而言,Z 轴与主轴轴线重合,刀具远离工件的方向为正方向(+Z),X 轴垂直于 Z 轴,并平行于工件的装卡面,如果为单立柱铣床(如华中 1 型 ZJK7532 铣床),面对刀具主轴向立柱方向看,其右运动的方向为 X 轴的正方向(+X),Y 轴与 X 轴和 Z 轴一起构成遵循右手定则的坐标系。



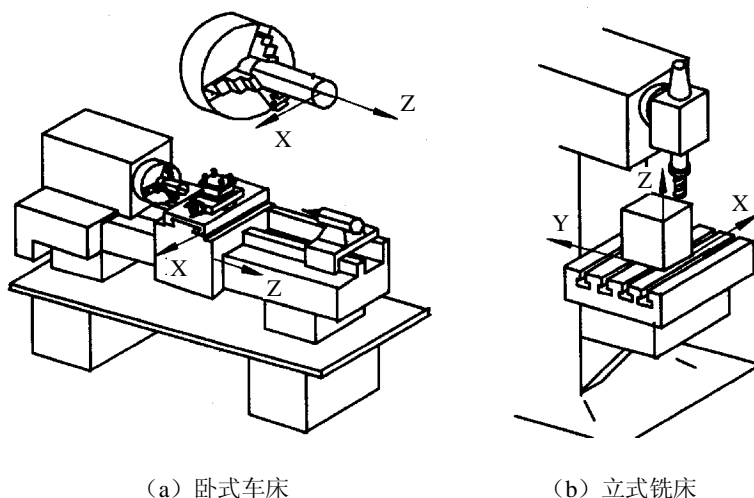


图 3-2 数控机床坐标系示例

对于在基本的直角坐标轴 X、Y、Z 之外，还有其他轴线平行于 X、Y、Z 轴时，则附加的直角坐标系指定为 U、V、W 和 P、Q、R，如图 3-3 所示。

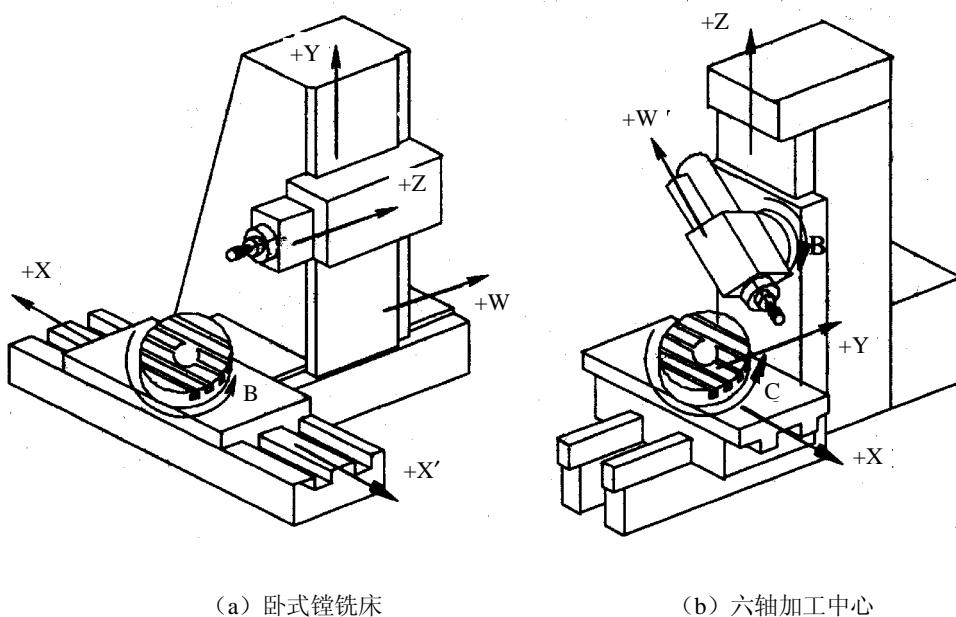


图 3-3 多轴数控机床坐标系示例

### 3.1.3 机床坐标系、机床零点和机床参考点

机床坐标系是机床固有的坐标系。机床坐标系的原点也称为机床原点或机床零点。这个原点在机床一经设计和制造调整后，便被确定下来，它是由生产厂家固定的点。

为了正确地在机床工作时建立机床坐标系，通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点（机床坐标值的测量起点），机床启动时，通常要进行机动或手动回参考点，目的是建立机床坐标系。机床参考点可以与机床零点重合，也可以不重合，通过设置机床参数指

数控机床在通电后，不论刀架位于什么位置，此时显示器上显示的 X、Y、Z 坐标值并不是刀架在机床坐标系中的正确坐标值，只有当完成回零操作后，则马上显示刀架中心在机床坐标系中的坐标值，此时机床坐标系才真正建立起来。通常在下列情况下要进行回零操作：

- (1) 在机床接通电源以后;
- (2) 当机床产生报警而复位清零以后;
- (3) 在机床急停以后。

机床坐标轴的有效行程范围是由数控系统软件限位来界定的,其值由制造商定义。机床的机械行程是各进给轴能运行的最大距离,用挡铁和限位开关设定,是机械硬限位;为确保安全,机床的进给轴都要进行有效行程的设定,机床坐标轴的有效行程范围比机械行程要短。机床零点(O)、机床参考点(M)、机床坐标轴的机械行程及有效行程的关系如图 3-4 所示。

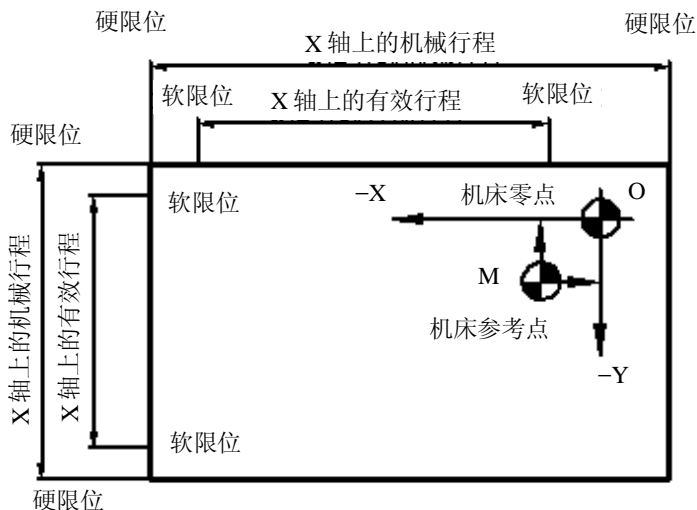


图 3-4 机床零点和机床参考点

#### 3.1.4 工件坐标系、程序原点和对刀点

### 1. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程时使用的坐标系,编程人员选择工件上的某一已知点为原点(也称为程序原点),建立一个新的坐标系,称为工件坐标系。工件坐标系一旦建立,在该工件的加工过程中便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。

## 2. 对刀点

对刀点是零件程序加工的起始点,对刀的目的是确定工件坐标系原点(程序原点)在机床坐标系中的位置,对刀点可与程序原点重合,也可在任何便于对刀之处,但该点与程序原点之间必须有确定的坐标联系。

### 3. 工件原点偏置

在加工时,工件随夹具在机床上安装后,可通过测量某些基准面、基准线之间的距离来

测量工件坐标系原点到机床原点间的距离，这个距离称为工件原点偏置。该偏置值需预存到数控系统中，在加工时，工件原点偏置值便能自动加到工件坐标系上，使数控系统可按机床坐标系来确定加工时的坐标值。因此，编程人员可以不考虑工件在机床上的安装位置，而利用数控系统的原点偏置功能，通过工件原点偏置值来补偿工件在工作台上的装夹位置误差，使用起来十分方便。机床坐标系与工件坐标系的位置关系如图 3-5 所示。

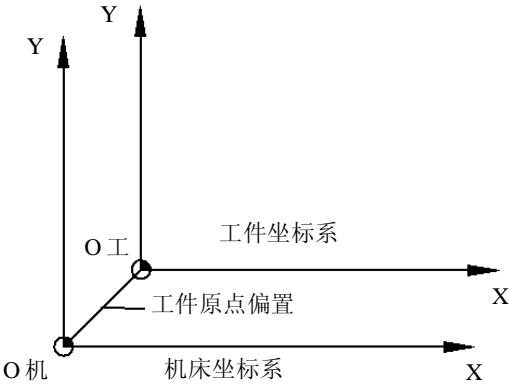


图 3-5 机床坐标系与工件坐标系

### 3.1.5 绝对坐标与相对坐标

如果运动轨迹的终点坐标是相对于该段轨迹的运动起点来计算的坐标，称为相对坐标（或增量坐标）；如果运动轨迹的终点坐标是从某一坐标系的坐标原点计算的坐标，则称为绝对坐标。如图 3-6 所示，图中 A、B 两点，若以绝对坐标表示，坐标原点在 O 点，则

$$X_A=21, Y_A=25; X_B=8, Y_B=11$$

若以相对坐标表示，设以 A 点为运动起点，则 B 点的坐标是在以 A 为原点建立起来的新的坐标系内计算，即终点 B 的相对坐标为： $X_B=-13, Y_B=-14$ ，其中负号表示 B 点在 A 点的 X、Y 轴的负向。

在编程时，可根据具体机床的坐标系，从编程方便（如根据图样尺寸的标注方式）出发，选用适当的坐标系及编程方式。

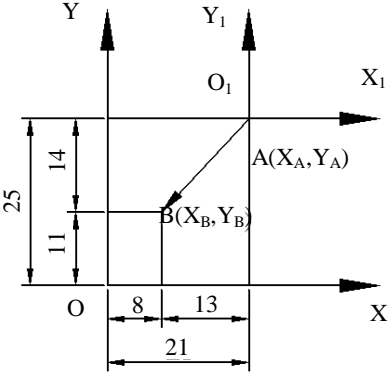


图 3-6 绝对坐标和相对坐标

## 3.2 数控加工程序的结构

数控加工零件程序是一组被传送到数控系统中去的指令和数据。

### 3.2.1 程序的一般结构

一个零件程序是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的，而每个程序段是由若干个指令字组成的，如图 3-7 所示。

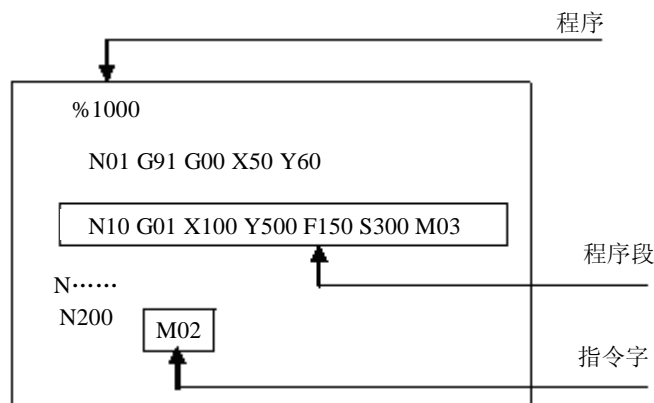


图 3-7 程序的结构

零件程序的结构组成如下：

%\*\*\*\* —— 起始符  
 ..... —— 程序段  
 M30 —— 结束符

一个零件程序必须包括起始符和结束符。

**程序号：**为了区别存储器中的不同程序，每个程序都要有程序编号。一般以规定的英文字母（多用 O、P）或者（%）字符开头，后面跟若干数字组成。有些系统的程序号由英文字母、数字或英文、数字混合组成。

**程序段：**每段程序以“Enter”（回车键）、“;”号或者“LF”为结束符。程序段开始可以冠以该段的程序段号，也可以省略，程序段号由地址 N 及后续 4 位以内的数值 1-9999 构成，它排列的顺序可以是递增的，也可以是任意增大的，中间有间隔也无妨，在同一个程序中，程序段号不能重复。程序段前加“分号 (;)”表示该程序段被注释，系统不执行此程序段。程序段前加“符号 (/)”表示该程序段能被跳过，系统的跳段功能有效时不执行此程序段。

**程序结束符：**M30 或 M02

**注释符：**括号“( )”内或分号“;”后的内容为注释文字。

如图 3-7 所示为一完整的零件加工程序。它由程序号和若干个程序段组成，每个程序段都包括了开始、内容及结束部分。程序段都以序号“N”开头，M02 作为整个程序结束的字符。

每个程序段有若干个指令字，每个程序段都表示一个完整的加工工步或动作。大多数系统规定了一个程序段的字符数≤90 个，90 个字符对于一个程序段来说基本足够。

一个数控系统所允许的加工程序的最大长度取决于该系统中的零件程序存储区的容量。如日本的 FANUC-7M 系统，零件主程序存储区的最大容量为 4KB，另外还可以根据用户要求扩大存储区的容量，所以该系统可适应大型程序的编制。

### 3.2.2 程序段的格式

程序段格式是程序段中的字、字符和数据的安排形式，即排列书写方式和顺序。不同的数控系统往往有不同的程序段格式，格式不符合规定，则数控系统不能接受。常用的程序段

格式有两类：

1. 地址符可变程序段格式

这种格式又称为字-地址程序段格式，前面举例介绍的就是这种格式。程序段中每个字都以地址符开始，其后再跟有符号和数字，代码字的排列顺序没有严格的要求，不需要的代码字以及与上一个程序段相同的续效字可以不写。这种格式的特点是：程序简单，可读性强，易于检查，因此，现代数控机床广泛采用这种格式。

地址符可变程序段格式如下：

N 顺序号 G 准备功能 X±坐标运动尺寸 Y±坐标运动尺寸 Z±坐标运动尺寸 F 进给速度 S 主轴转速 M 辅助功能 附加指令 LF

例如：N120 G01 X20.9 Y-30.2 Z10.0 F120 S500 LF

每个程序段的开头是该程序段的序号，以字母N和几位（位数由数控系统决定）数字表示；接着是准备功能指令，由G和两位数字组成；再接着是坐标运动尺寸；进给速度指令、主轴转速指令、辅助功能指令等属于工艺指令；最后LF是程序段结束代码。

在程序段中，不用的字可省略不写，上一个程序段中已有的续效指令而本段又不必改变的字仍然有效，可不必重写。

2. 分隔符固定程序段格式

每个字的第一个字符为“HT”分隔符，而且每个字都是按规定的顺序出现的程序段格式称为分隔符固定程序段格式。这种格式用分隔符“HT”（在ELA中用“TAB”）代替地址符，而且预先规定了所有可能出现的字的固定排列顺序，根据分隔符出现的顺序，就可判定其功能。

例如某程序段写成分隔符固定程序段格式为：

02 HT HT01 HT10 HT50 HT HT HT150 HT300 HT12 HT03 LF

这种格式书写的程序不太直观，现在只用于功能不多的数控机床中。

3.2.3 指令字的格式

一个指令字是由地址符和带符号（如定义尺寸的字）或不带符号（如准备功能字G代码）的数字组成的。程序段中不同的指令字符及其后续数值确定了每个指令字的含义，如G00、X-20.6指令字。表3-1是数控系统指令字符一览表。

表 3-1 数控系统指令字符一览表

机 能	地 址	意 义
零件程序号	%或O或P	程序编号
程序段号	N	程序段编号
准备机能	G	指令动作方式（直线、圆弧等）G00~99
尺寸字	X, Y, Z A, B, C U, V, W	坐标轴的移动命令 0~99999.999
	R	圆弧的半径，固定循环的参数
	I, J, K	圆心相对于起点的坐标，固定循环的参数

(续表)

机 能	地 址	意 义
进给速度	F	进给速度的指定 F0~24000
主轴机能	S	主轴旋转速度的指定 S0~9999
刀具机能	T	刀具编号的指定 T0~99
辅助机能	M	机床侧开 / 关控制的指定 M0~99
补偿号	H, D	刀具补偿号的指定 00~99
暂停	P, X	暂停时间的指定 (秒)
程序号的指定	P	子程序号的指定
重复次数	L	子程序的重复次数, 固定循环的重复次数
参数	P, Q, R, U, W, I, K, C, A	固定循环的参数
倒角控制	C, R	

3.2.4 数控编程的代码标准

关于编程代码,我国原机械工业部制定了有关的 G 指令和 M 指令的 JB3208-83 标准,它与国际上使用的 ISO1056-1975E 标准基本一致。

1. 准备功能 G 指令

准备功能 G 指令,用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作的准备工作。JB3208-83 标准中规定: G 指令由字母 G 及其后面的两位数字组成,从 G00 到 G99 共有 100 种代码,如表 3-2 所示。

表 3-2“(2)”列中,标有英文小写字母的表示“代码”列中对应的 G 代码为模态代码(又称续效代码),字母相同的为一组。模态代码的含义是:这种代码一经在一个程序段中指定,便保持有效到以后的程序段中出现同组的另一个代码时才失效,在某一程序段中一经应用某一模态 G 代码,如果其后续的程序段中还有相同功能的操作,且没有出现同组的 G 代码时,则在后续的程序段中可以不再指定和书写这一功能代码。且同组的任意两个代码不能同时出现在一个程序段中。

表 3-2“功能”列说明中的“不指定”代码用作将来修订标准时指定新功能之用。“永不指定”代码,说明即使将来修订标准时,也不指定新的功能。但这两类代码均可由数控系统设计者根据需要自行定义表中所列功能以外的新功能,但必须在机床使用说明书中予以说明,以使用户使用。

表 3-2 准备功能 G 代码

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能	代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
G00	a		点定位	G50	# (d)	#	刀具偏置 0/-
G01	a		直线插补	G51	# (d)	#	刀具偏置 +/0
G02	a		顺时针方向圆弧插补	G52	# (d)	#	刀具偏置 -/0

(续表)

代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能	代 码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功 能
G03	a		逆时针方向圆弧插补	G53	f		直线偏移, 注销
G04		*	暂停	G54	f		直线偏移 X
G05	#	#	不指定	G55	f		直线偏移 Y
G06	a		抛物线插补	G56	f		直线偏移 Z
G07	#	#	不指定	G57	f		直线偏移 X、Y
G08		*	加速	G58	f		直线偏移 X、Z
G09		*	减速	G59	f		直线偏移 Y、Z
G10~G16	#	#	不指定	G60	h		准确定位 1 (精)
G17	c		XY 平面选择	G61	h		准确定位 2 (粗)
G18	c		ZX 平面选择	G62	h		快速定位 (粗)
G19	c		YZ 平面选择	G63		*	攻丝
G20~G32	#	#	不指定	G64~G67	#	#	不指定
G33	a		螺纹切削, 等螺距	G68	# (d)	#	刀具偏置, 内角
G34	a		螺纹切削, 增螺距	G69	# (d)	#	刀具偏置, 外角
G35	a		螺纹切削, 减螺距	G70~G79	#	#	不指定
G36~G39	#	#	永不指定	G80	e		固定循环注销
G40	d		刀具补偿/刀具偏置注销	G81~G89	e		固定循环
G41	d		刀具补偿—左	G90	j		绝对尺寸
G42	d		刀具补偿—右	G91	j		增量尺寸
G43	# (d)	#	刀具偏置—正	G92		*	预置寄存
G44	# (d)	#	刀具偏置—负	G93	k		时间倒数, 进给率
G45	# (d)	#	刀具偏置++	G94	k		每分钟进给
G46	# (d)	#	刀具偏置+/-	G95	k		主轴每转进给
G47	# (d)	#	刀具偏置-/-	G96	I		恒线速度
G48	# (d)	#	刀具偏置-/+	G97	I		每分钟转数 (主轴)
G49	# (d)	#	刀具偏置 0/+	G98~G99	#	#	不指定

注: ①#号: 如选作特殊用途, 必须在程序格式说明中说明。

②如在直线切削控制中没有刀具补偿, 则 G43 到 G52 可指定作其他用途。

③在表中 (2) 栏括号中的字母 (d) 表示: 可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或代替, 亦可被有括号的字母 (d) 所注销或代替。

④控制机上没有 G53 到 G59、G63 功能时, 可以指定作其他用途。

## 2. 辅助功能 M 指令

辅助功能指令, 简称辅助功能, 也叫 M 功能。JB3208-83 标准中规定: M 指令由字母 M 及其后面的两位数字组成, 从 M00 到 M99 共有 100 种代码, 如表 3-3 所示。M 指令也有续效指令与非续效指令之分。这类指令与控制系统的插补运算无关, 而是根据加工时机床操作的需要予以规定的。例如主轴的正反转与停止, 冷却液的开关等。

表 3-3 辅助功能 M 代码

代 码	功能开始时间		功能保持 到被注销 或被适当 程序指令 代替	功能仅在所 出现的程序 段内有作用	功 能	代 码	功能开始时间		功能保持 到被注销 或被适当 程序指令 代替	功能仅在 所出现的 程序段内 有作用	功 能
	与程序段 指令运动 同时开始	在程序段指 令运动完成 后开始					与程序段 指令运动 同时开始	在程序段指 令运动完成 后开始			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
M00~M12		*		*	程序停止	M36	*		#		进给范围 1
M01		*		*	计划停止	M37	*		#		进给范围 2
M02		*		*	程序结束	M38	*		#		主轴速度范围 1
M03	*		*		主轴顺时针方向	M39	*		#		主轴速度范围 2
M04	*		*		主轴逆时针方向	M40~M45	#	#	#	#	如有需要作为 齿轮换挡, 此外 不指定
M05		*	*		主轴停止	M46~M47	#	#	#	#	不指定
M06	#	#		*	换刀	M48		*	*		注销 M49
M07	*		*		2 号冷却液开	M49	*		#		进给率修正旁 路
M08	*		*		1 号冷却液开	M50	*		#		3 号冷却液开
M09		*	*		冷却液关	M51	*		#		4 号冷却液开
M10	#	#	*		夹紧	M52~M54	#	#	#	#	不指定
M11	#	#	*		松开	M55	*		#		刀具直线位移, 位置 1
M12	#	#	#	#	不指定	M56	*		#		刀具直线位移, 位置 2
M13	*		*		主轴顺时针方向, 冷却液开	M57~M59	#	#	#	#	不指定
M14	*		*		主轴逆时针方向, 冷却液开	M60		*		*	更换工件
M15	*			*	正运动	M61	*				工件直线位移, 位置 1
M16	*			*	负运动	M62	*		*		工件直线位移, 位置 2
M17~M18	#	#	#	#	不指定	M63~M70	#	#	#	#	不指定
M19		*	*		主轴定向停止	M71	*		*		工件角度位移, 位置 1
M20~M29	#	#	#	#	永不指定	M72	*		*		工件角度位移, 位置 2
M30		*		*	纸带结束	M73~M89	#	#	#	#	不指定
M31	#	#		*	互锁旁路	M90~M99	#	#	#	#	永不指定
M32~M35	#	#	#	#	不指定						

注: ①#号表示: 如选作特殊用途, 必须在程序说明中说明。

②M90~M99 可指定为特殊用途。



因为 M 指令与插补运算无直接关系，所以一般书写在程序段的后部。但这类指令在加工中是必不可少的。

### 3. F、S、T 指令

#### (1) F 功能

该指令是进给速度指令，为续效代码。通常指定进给速度有两种方法。

①代码法：即 F 后跟二位数字，这些数字不直接表示进给速度的大小，而是进给速度数列的序号。指定序号在具体机床的数控系统中有对应的实际进给速度，可查表确定。

②直接指定法：F 后跟的数字就是进给速度的大小，单位由数控系统设定。一般常用单位为 mm/min。例如 F100 表示进给的速度是 100mm/min。这种方法较为直观，因此现在大多数数控系统采用这一指定方法。

进给速度的单位有每转进给 (mm/r) 和每分钟进给 (mm/min) 两种，一般通过 G94、G95 指令来选择。通常加工中心、数控铣床使用每分钟进给；数控车床使用每转进给，数控车床中 F 还可用来指定螺纹导程。

#### (2) S 功能

该指令是主轴转速指令，为续效代码。其指定方法与 F 指令的指定方法基本相同，只是单位不同，常用的主轴转速的单位是 r/min。例如：S600 表示主轴转速为 600r/min。

对于数控车床来讲，S 后面的数字还可指定切削线速度，单位为 m/min。用 G96、G97 来选择是指定每分钟转速还是线速度，线速度和转速之间的关系为：

$$V = \pi Dn / 1000$$

式中 D 为切削部位的直径 (mm)，V 为切削线速度 (m/min)，n 为主轴转速 (r/min)。

#### (3) T 功能

该指令是刀具序号指令。在可以自动换刀的数控系统中，它用来选择所需的刀具。指令以 T 为首，后跟两位数字，以表示刀具的编号。有时 T 后跟有四位数字，后两位数字表示刀具补偿的序号。例如：T0202，前面 02 表示刀具号，后 02 表示刀具补偿号。为了记忆方便，刀具号应尽量与刀具补偿号统一。但多数系统的刀具功能只表示刀具号，而刀补号由地址符 D 或 H 指定。

### 3.2.5 主子程序结构

在一个零件的加工程序中，若有一定量连续的程序段在几处完全重复出现（如在一块较大的材料上加工多个形状和尺寸相同的零件的加工程序），可将这些重复的程序段单独抽出，按一定的格式编成子程序，并存入子程序存储器中。加工程序中子程序以外的部分称为主程序。在执行主程序的过程中，如果需要，可调用子程序，并可以重复调用。某些数控系统，子程序在执行的过程中还可以调用其他的子程序，即所谓“多层嵌套”。从而大大简化了编程工作，缩短了程序长度，节约了程序存储器的容量。子程序与主程序的关系举例如下：

主程序： N01 ...

N02 ...

...

N11 M98 P01（调用子程序 1）

...

N28 M98 P08 (调用子程序 8)

...

N□□... M30

子程序 1: N01 ...

...

N□□ ... M99

...

子程序 8: N01 ...

...

N□□ ... M99

子程序的格式除有子程序名外,还要有子程序结束代码作为子程序结束并返回到主程序的指令,子程序其余部分的编写与主程序完全相同。其具体编程方法按所选用的具体机床的规定去操作。

### 3.3 数控程序编制过程中的数值计算

根据零件图样,按照已确定的加工路线和允许的编程误差,计算出编程时所需要的有关各点的坐标值,称为数值计算。手工编程时,在完成工艺分析和确定进给路线以后,数值计算就成为程序编制中一个关键性的环节。作为一名编程人员,应做到对于一些由圆弧、直线组成的平面零件,能够通过数学方法(如三角函数、几何、解析几何等)手工计算出有关各点的坐标值;对于复杂零件能借助于计算机完成数值计算或直接采用计算机自动编程。

#### 3.3.1 基点坐标计算

数控机床一般只有平面直线和圆弧插补功能,因此,对于由直线和圆弧组成的平面轮廓,编程时数值计算的主要任务是求各基点的坐标。

##### 1. 基点的含义

构成零件轮廓的不同几何素线的交点和切点称为基点。如直线和直线的交点、直线和圆弧的交点或切点、圆弧和圆弧的交点或切点等。如图 3-8 中的 A、B、C、D、E 各点都是该零件轮廓上的基点。基点可以直接作为其运动轨迹的起点或终点。

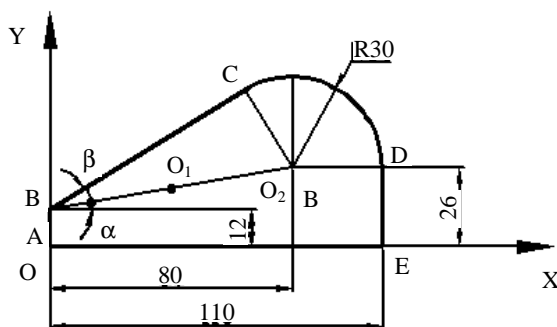


图 3-8 零件轮廓的基点

## 2. 基点的计算内容

根据直接填写加工程序单时的要求,基点直接计算的内容主要有:每条运动轨迹的起点或终点在选定坐标系中的坐标值和圆弧运动轨迹的圆心坐标值。

基点直接计算的方法比较简单,一般可根据零件图样所给已知条件由人工完成。即根据零件图样上给定的尺寸,运用代数、几何等有关知识,直接计算出数值。

## 3. 基点计算举例

现以图 3-8 所示的零件为例,说明平面轮廓中只有直线和圆弧两种几何元素的数值计算方法。图示零件轮廓由四段直线和一段圆弧组成,其中的 A、B、C、D、E 即为基点,它们的坐标值从图样尺寸可以很容易找出。C 点是过 B 点的直线与中心为  $O_2$ 、半径为 30mm 的圆弧的切点。这个尺寸,图样上并未标注,所以要用解联立方程的方法,来找出切点 C 的坐标。

求 C 点的坐标可以用下述方法:求出直线 BC 的方程,然后与以  $O_2$  为圆心的圆的方程联立求解。为了计算方便可将坐标原点选在 B 点上。

其中  $O_2$  坐标为 (80, 14), 可从图上尺寸直接计算出来。

过 B 点的直线方程为  $Y=kX$ 。从图上可以看出  $k=\tan(\alpha+\beta)$ 。这两个角的正切值从已知尺寸中可以很容易求出  $k=0.6153$ 。然后将两方程联立求解:

$$\begin{cases} (X-80)^2 + (Y-14)^2 = 30^2 \\ Y = 0.6153X \end{cases}$$

即可求得现在 C 点坐标为 (64.279, 39.551)。换算成编程坐标系中的坐标为 (64.279, 51.551)。计算时,要注意将小数点以后的位数留够。

C 点也可以采用另一种求法。如果以  $BO_2$  连线中点为圆心  $O_1$ , 以  $O_1O_2$  距离为半径作一圆。这个圆与以  $O_2$  为圆心的圆相交于 C 点和另一对称点 C'。将这两个圆的方程联立求解也可以求出 C 点的坐标。

在计算时,要注意将小数点后边的位数留够,以保证足够的精度。

### 3.3.2 节点坐标计算

在只有直线和圆弧插补功能的数控机床上加工零件时,有一些平面轮廓是非圆方程曲线,如渐开线、阿基米得螺线、双曲线、抛物线等。还有一些平面轮廓是用一系列实验或经验数据点表示的,没有表达轮廓形状的曲线方程(称为列表曲线)。这就使被加工的零件轮廓形状与机床的插补功能出现不一致。对于这类零件的加工就只能采用逼近法。

#### 1. 节点的含义

当采用不具备非圆曲线插补功能的数控机床加工非圆曲线轮廓的零件时,在加工程序的编制时,常常需要用多个直线段或圆弧段去近似代替非圆曲线,这个过程称为拟合(逼近)处理。拟合线段的交点或切点称为节点。图 3-9 中的 G 点为圆弧拟合非圆曲线的节点,图 3-10 中的 A、B、C、D 点均为直线逼近非圆曲线时的节点。

#### 2. 节点的计算方法

节点计算的难度和工作量都较大,故宜通过计算机来完成;必要时,也可由人工计算完成,但这对编程者的数学处理能力要求较高。而且拟合结束后,还必须通过相应的计算,对每条拟合段的拟合误差进行分析、检验。

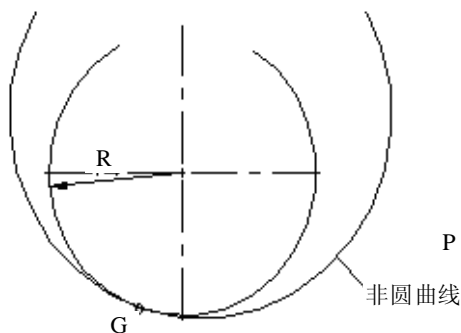


图 3-9 圆弧拟合与节点

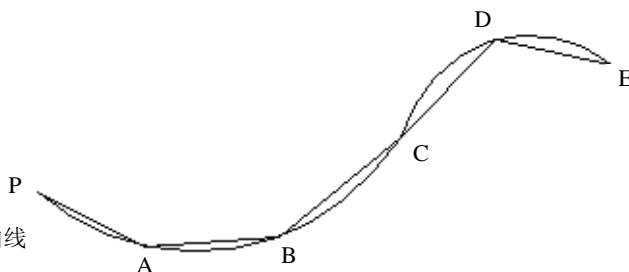


图 3-10 直线拟合与节点

常用的逼近计算方法有：

#### (1) 等间距直线插补法

在一个坐标轴方向，将逼近轮廓的总增量进行等分后，按其设定节点所进行的坐标值计算方法，称为等间距法。

#### (2) 等插补段直线逼近法

当设定其相邻两节点间的弦长相等时，对该轮廓曲线所进行的节点坐标值的计算方法，称为等插补段法。

#### (3) 等误差直线逼近法

以满足各插补段的插补误差相等为条件，对轮廓曲线所进行的拟合方法，称为等误差法。该法是使每个直线段的逼近误差相等，并小于或等于所允许的误差限，所以比上面两种方法合理些，大型、复杂零件轮廓采用这种方法较合理。

#### (4) 圆弧逼近法

如果数控机床有圆弧插补功能，则可以用圆弧段去逼近工件的轮廓曲线，这就是圆弧逼近法。此时，需求出每段圆弧的圆心、起点、终点的坐标值及圆弧的半径等。当然，计算的依据仍然是要使每个圆弧段与工件轮廓曲线间的误差小于或等于允许的逼近误差。

### 3.3.3 节点计算举例

已知条件如图 3-11 所示，下面用最容易理解的等间距法对图 3-12 中曲率变化不大的 AS 曲线段进行逼近计算。

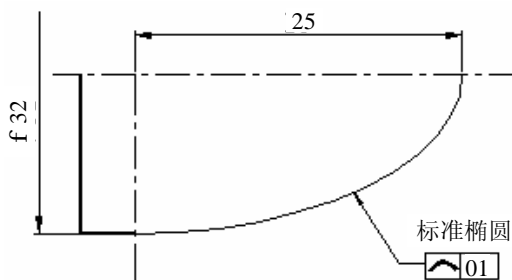


图 3-11 逼近计算示例

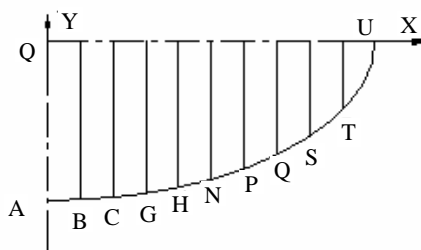


图 3-12 逼近计算示例分析

#### 1. 分析

(1) 根据已知条件和所设定的编程坐标系，可建立轮廓曲线方程为：

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$$

式中：a——椭圆长轴；

b——椭圆短轴。

(2) 根据其曲线的走向位置，将轮廓曲线的总增量在横坐标轴上进行 10 等分后，得到 B、C、G、H、N、P、Q、S 和 T 等各节点。

(3) 将各等分点的纵坐标值按曲线的椭圆方程式进行计算后，列于表 3-3 中。

表 3-3

节点坐标	A	B	C	G	H	N	P	Q	S	T	U
X	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
-Y	16	15.92	15.68	15.26	14.66	13.86	12.80	11.43	9.6	6.97	0

(4) 通过以上节点坐标值的计算表，可知：S、T、U 处的曲率变化较大，不宜采用直线逼近法进行计算。故考虑只在节点 A~S 间用直线逼近法。

(5) 在靠近 Y 轴处，曲线的曲率变化较小，可间隔 5mm 为一段进行插补。

(6) 直线拟合过程采用边逼近边分析误差的方式进行。

1) 如果分析得逼近误差很小时，可将分段长度适当增大，再进行逼近误差分析，以此类推。

2) 如果逼近误差大于允许误差，则要相应缩小分段长度，再进行逼近误差分析，以此类推。

3) 如果分段长度已经很小，而逼近误差仍然大于允许误差，则要考虑改用其他插补算法，如圆弧逼近算法。

## 2. 计算步骤

(1) 对 A (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>)、C (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>) 两点间的直线逼近

1) 由直线方程的两点式：(y-y<sub>1</sub>) / (y<sub>1</sub>-y<sub>3</sub>) = (x-x<sub>1</sub>) / (x<sub>1</sub>-x<sub>3</sub>)

可得直线 AC 的一般形式方程：ax+by+c=0

式中 a=y<sub>1</sub>-y<sub>3</sub>, b=x<sub>3</sub>-x<sub>1</sub>, c=y<sub>1</sub> (x<sub>1</sub>-x<sub>3</sub>) -x<sub>1</sub> (y<sub>1</sub>-y<sub>3</sub>)

利用表 3-3 中的数据，可求出 a、b、c，得直线方程为

$$0.32x-5y-80=0$$

2) 利用点 B (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>) 到直线 AC 的距离公式，可近似分析逼近误差。距离 d 的计算公式为：

$$d = |ax_2 + by_2 + c| / (a^2 + b^2)^{1/2}$$

3) 计算后的结果 0.08mm 已小于允许误差 (图中所给定)，故该逼近计算正确。

(2) 对 C、H 两点间的直线逼近

1) 建立直线 CH 的一般形式方程：1.02x-5y-83.5=0

2) 按上面的点线距离公式计算得 d=1.09mm。

3) 因误差大大超过了允许值，故必须减小逼近的分段间隔。

(3) 减小分段间隔后，再对 C、H 两点间的直线逼近

1) 在 C、H 两点间, 按椭圆方程式计算出中点 R 的坐标值。

2) 重复上述 CH 段的计算过程, 直到误差小于允许值。

(4) 按上述方法及步骤, 依次完成其余各节点的直线逼近。

图中 SU 曲线段因为曲率变化较大, 若还用直线逼近的方法, 则会产生较大的逼近误差, 所以宜采用圆弧逼近的方法。具体方法可以查阅有关资料, 在此就不详述了。

通过以上分析和计算可知, 节点的计算是相当复杂的, 如果节点位置选择不当, 会大大增加工作量。因此, 在对轮廓曲线进行分段确定节点位置时, 首先要分析该曲线在编程坐标系中的位置和走向, 合理选定插补算法。例如: 对轮廓上曲率变化不大的部分, 可选择较大间隔的等分增量; 对轮廓上曲率变化较大的部分, 则应选择较小间隔的等分增量, 或采用圆弧插补方法。这样不仅有助于选定较少的节点数, 还有助于选用合适的逼近计算方法。

### 3.3.4 辅助计算

#### 1. 无刀具半径补偿功能的数值计算

在铣削加工中, 是用刀具中心作为刀位点进行编程; 在车削加工中, 是用车刀的假想刀尖点作为刀位点, 也可用刀尖圆弧半径的圆心作为刀位点进行编程。但在平面轮廓加工中, 零件的轮廓形状总是由刀具切削刃部分直接参与切削形成的, 因此有时编程轨迹和零件轮廓并不完全重合。对于具有刀具半径补偿功能的机床, 只要在程序中加入有关的刀具补偿指令, 就会在加工中进行自动偏置补偿。但对于没有刀具半径补偿功能的机床, 只能在编程时作有关的补偿计算。

#### 2. 增量坐标值的计算

在数值计算过程中, 通常先在零件图样上设定编程坐标原点, 然后按绝对坐标值计算出运动段的起点坐标及终点坐标。但在编程过程中, 坐标尺寸不一定全部按绝对坐标值给出, 也可以以增量方式表示, 这时就要进行数值换算, 其换算公式为:

$$\text{增量坐标值} = \text{终点坐标值} - \text{起点坐标值}$$

例如图 3-8 中已计算出 C 点绝对坐标为 (64.279, 51.551), D 点的绝对坐标为 (110.0, 26.0)。那么 D 点相对于 C 点在 X、Y 坐标轴上的增量值为:

$$\Delta X = 110.0 - 64.279 = 45.721$$

$$\Delta Y = 26.0 - 51.551 = -25.551$$

#### 3. 按进给路线进行一些辅助计算

在平面轮廓加工中, 常要求刀具切向切入和切向切出。例如铣削图 3-13 所示内圆弧时, 最好安排从圆弧过渡到圆弧的加工路线, 以便提高内孔表面的加工精度, 这时过渡圆弧的坐标值也要进行计算。

对边界敞开的零件, 常要求从边界外进刀和退刀。如图 3-14 所示, 在最后单独加工中间 R10 圆弧时, 刀具不应该从 A 点到 B 点进行加工, 而应该从 C 点到 D 点进行加工。这时, 应该计算 C、D 点的坐标, 而不需要计算 A、B 点的坐标值。

所以, 数值计算时, 还应按进给路线的安排, 计算出各相关点的坐标。

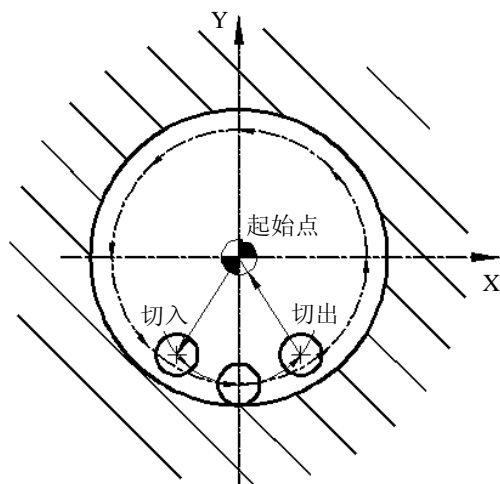


图 3-13 内圆弧铣削路线

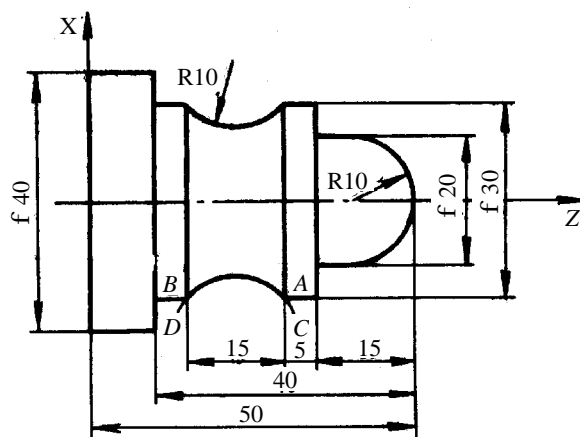


图 3-14 零件图的数值计算

## 本章小结

本章主要介绍了数控编程中的基础知识，包括数控机床坐标系、数控程序结构、数值计算。本章内容为后面数控车床、数控铣床和数控加工中心编程的基础，读者在学习过程中要学得扎实，为后面的编程奠定坚实的基础。

### 3.4 数控编程基础实训

#### 实训课题一 典型数控机床操作界面的认识与手动操作

##### 一、实训目的

1. 认识典型数控机床的操作界面；

2. 练习典型数控机床的基本操作；
3. 加强安全生产。

## 二、实训内容

1. FANUC 0i 数控车床的界面认识与手动操作；
2. SIEMENS802D 数控铣床的界面认识与手动操作；
3. 华中世纪星数控车床的界面认识与手动操作；
4. 华中世纪星数控铣床的界面认识与手动操作；
5. 计算如图 3-15 所示零件内轮廓各基点的坐标。

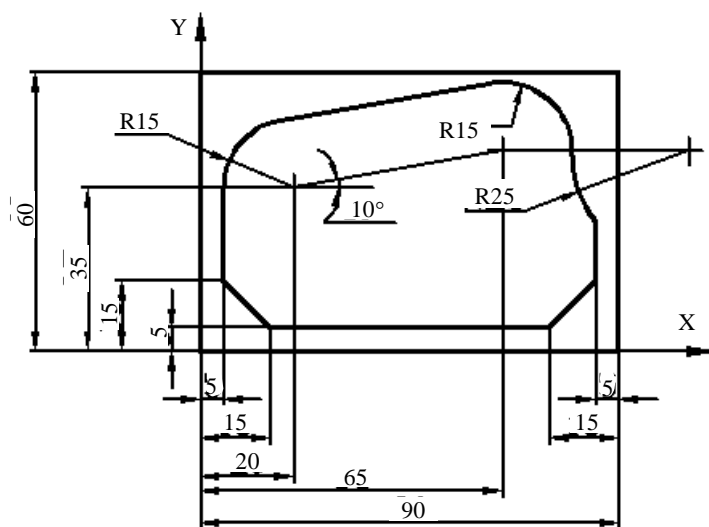


图 3-15 基点的坐标计算

## 三、实训要求

1. 认识显示界面与软键功能；
2. 认识机床操作面板与按键功能；
3. 机床回零；
4. 手工和增量移动各轴到指定的位置
5. 手工启、停主轴；
6. 手工更换刀具位置。

## 四、实训时间

每人两小时

## 五、实训报告要求

1. 写出开机步骤；
2. 写出机床回零步骤；
3. 写出手工和增量移动各轴到指定位置的步骤。



## 练 习 题

### 一、填空题

1. 数控编程就是将加工零件的（ ）按一定格式编写成加工程序。
2. 理想的加工程序不仅应保证（ ），而且应使数控机床（ ）。
3. 数控程序方法可分成（ ）和（ ）。
4. 手工编程时，整个程序的编制过程是由（ ）。
5. 手工编程适合对（ ）的零件编程。
6. 手工编程仍被广泛地应用于（ ）加工中。
7. 自动编程是用计算机（ ）数控加工程序。
8. 数控机床的程序编制的内容有（ ）。
9. （ ）的坐标表示工件固定、刀具运动的坐标。
10. （ ）的坐标表示刀具固定、工件运动的坐标。
11. 当运动件未确定时使用坐标系，都先假定（ ）。
12. 标准的坐标系是一个（ ）坐标系。
13. 机床的每一个（ ）都定义一个坐标轴。
14. 在基本坐标系中，大拇指的指向为（ ）。
15. 数控机床的某一坐标轴的正方向是指（ ）运动方向。
16. 在基本坐标系中，规定（ ）坐标为 Z 坐标。
17. 在刀具旋转的机床上（如铣床、镗床等），若 Z 轴是水平的，（ ）X 轴的正方向指向右边。
18. 在工件旋转的机床上（如车床、磨床等），X 轴的正方向是在（ ）。
19. 在确定了 X、Z 轴的正方向后，可按（ ）法则来确定 Y 轴的正方向。
20. 机床坐标系的原点也称为（ ）。
21. 机床坐标的测量起点是（ ）。
22. 机床参考点可以与（ ）重合，也可以不重合。
23. 机床回到所有坐标轴的参考点，CNC 就建立起了（ ）。
24. 工件坐标系是选择（ ），建立在工件上的坐标系。
25. 对刀点是零件程序加工的（ ）。
26. 对刀点可与（ ）重合，也可在任何便于对刀之处。
27. （ ）与程序原点之间必须有确定的坐标联系。
28. 工件原点到机床原点间的距离称为（ ）。
29. 编程人员可以不考虑工件在机床上的（ ）。
30. 如果运动轨迹的终点坐标是相对于该段轨迹的运动起点来计算的坐标，称为（ ）。
31. 如果运动轨迹的终点坐标是从某一坐标系的坐标原点计算的坐标，称为（ ）。
32. 模态代码一经在一个程序段中指定，便保持有效到以后的程序段中出现（ ）才失效。

33. M 指令与 ( ) 无直接关系。

## 二、判断题 (正确的打“√”，错误的打“×”)

1. 对于几何形状不太复杂的零件宜用手工编程。( )
2. 自动编程系统使用数控语言描述切削加工时的刀具和工件的相对运动、轨迹和一些加工工艺过程。( )
3. 对于不同的数控机床，加工程序相同。( )
4. 各国厂家生产的数控机床的编程规则完全相同。( )
5. 静态显示是在机床闭锁的状态下形成的运动轨迹。( )
6. 动态显示可以模拟刀具和工件的加工过程。( )
7. 当运动件未确定时，都先假定刀具运动而工件静止。( )
8. 基本坐标系中 X、Y、Z 轴的相互关系用右手定则确定。( )
9. 围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴根据右手螺旋法则确定。( )
10. 数控机床某一坐标轴的正方向是指刀具远离工件的运动方向。( )
11. 规定平行于机床主轴轴线的坐标为 Z 坐标。( )
12. 在工件旋转的机床上 (如车床、磨床等)，X 轴的正方向是在工件的径向并平行于横向拖板，刀具离开工件旋转中心的方向是 X 轴的正方向。( )
13. 机床坐标系的原点也称为机床原点或机床零点。( )
14. 机床坐标系的原点由机床生产厂家确定并且不能由用户更改。( )
15. 机床坐标系的原点是运动部件的测量起点。( )
16. 机床坐标轴的有效行程范围是由数控系统软件限位来界定的，其值由制造商定义。( )
17. 机床坐标轴的有效行程范围小于该轴的机械行程范围。( )
18. 工件坐标系是编程人员在编程时使用的坐标系。( )
19. 加工一个工件，只能用一个工件坐标系。( )
20. 对刀点是零件程序加工的起始点。( )
21. 根据零件图样，按照已确定的加工路线和允许的编程误差，计算出编程时所需要的有关各点的坐标值，称为数值计算。( )
22. 基点是一个零件的轮廓上各几何元素之间的连接点。( )
23. 逼近线段与被加工曲线的交点称为节点。( )

## 三、简答题

1. 什么是数控编程？
2. 简述数控车床的机床坐标系。
3. 简述立式数控铣床的机床坐标系。
4. 什么是机床零点？什么是机床参考点？
5. 什么是工件坐标系？
6. 简述工件坐标系与机床坐标系的关系。
7. 什么是基点？什么是节点？

#### 四、数值计算题

选择合适的工件原点，建立工件坐标系，计算出如图平面凸轮的各基点的坐标值（见图 3-16）。

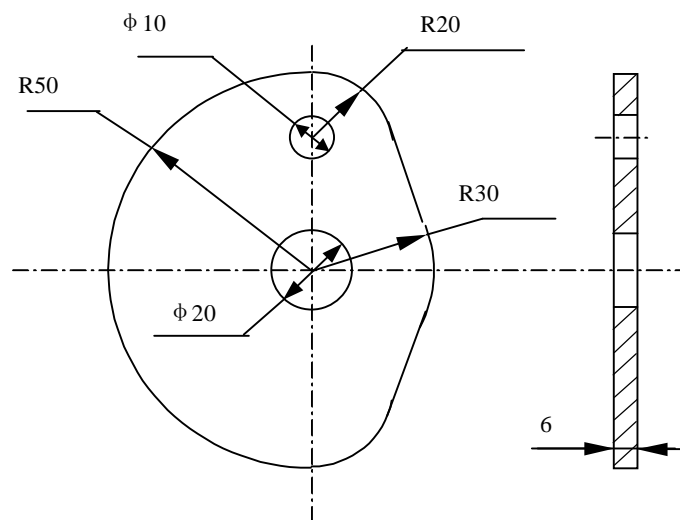


图 3-16 凸轮轮廓

## 第四章 数控车床的编程与加工

### 【学习目标】

- (1) 了解数控车削加工过程。
- (2) 理解控制车床功能的基本指令、控制车削的基本指令和刀具补偿功能。
- (3) 掌握华中世纪星系统、FANUC 0i、SIEMENS 802D 系统数控车床编程与加工方法。

### 4.1 控制车床功能的基本指令

#### 4.1.1 控制车床硬件的基本指令

##### 1. 控制主轴旋转的 M 代码

这一组 M 代码有：M03、M04、M05。

M03 启动主轴正转；M04 启动主轴反转；M05 停止主轴转动。主轴正转的方向是按标准为右手螺旋进入工件的方向。从主轴前端部看过去，主轴旋转为逆时针方向。不论主轴是在正转还是在反转，执行 M05 都能使主轴停止转动。

##### 2. 控制冷却液开/关的 M 代码

这一组 M 代码有：M07、M08、M09。

M07 开 2 号冷却液；M08 开 1 号冷却液；M09 关闭冷却液。不论是 1 号冷却液开还是 2 号冷却液开，执行 M09，都能使冷却液关闭。

##### 3. 自动换刀 M 代码

M06 为自动换刀代码。在多刀加工的数控机床上，执行 M06，机床实现自动换刀。即：主轴停转，刀具离开工件到达换刀点后按加工要求自动换刀。然后启动主轴，程序顺序往下执行。

##### 4. S 指令

S 指令为主轴转速控制指令。有两种指令格式：一种是 S\*\*，用 S 和其后的两位数选择主轴速度。这个两位数是主轴转速的编码，不同编码表示主轴不同的转速级。如 S12 为主轴的第十二级转速。此时，机床主传动为有级变速。另一种是 S\*\*\*\*，用 S 和其后的四位数直接指令主轴的转速。如 S2000 为指令主轴转速为 2000r/min，此时，机床主传动为无级变速。

指令了 S 代码后，主轴转与不转，是正转还是反转，转后是否停止，由控制主轴旋转的 M 代码决定。

在刀具旋转的机床中，主轴旋转单位一般采用 r/min，但在工件旋转的机床中，可以采用 mm/min，此时为恒线速度控制。

S 是模态指令，S 指令只有在主轴速度可调时有效。

模态指令又称为续效指令。这类指令一旦在程序段中使用，便一直有效，直到在后面的程序段中出现同组另一指令（G 指令）或被其他指令取消（M 指令）时才失效。与上段程序中的模态指令相同时，下段程序中的同一模态指令可省略不写。不同组模态指令编在同一

程序段中，不影响其续效。

非模态指令仅在其使用的程序段中有效。

S 所编程的主轴转速可以借助机床控制面板上的主轴倍率开关进行修调。所谓修调，就是主轴的实际转速按 S 所指令的转速的百分比变动。

#### 5. T 指令

T 指令为选择刀具指令。指令格式：T\*\*\*\*。用 T 及后面的四位数表示选择的刀具号和刀具补偿号。当机床上装有刀库时，使用该指令，使被指令的刀具处在换刀位置上。如 T0202，执行该指令，将编号为 T02 的刀具转到换刀位，同时将刀补表中的 02 号刀偏值读入到数控系统中。再用换刀指令，将其交换到加工位置上。

在一个程序段中，可以指令一个 T 代码。刀具移动指令和 T 指令在同一程序段中时，指令执行的顺序由机床厂家决定。

#### 6. F 指令

F 指令表示工件被加工时，刀具相对于工件的合成进给速度。指令格式：F\*\*或 F\*\*\*\*，用 F 及后面的两位数或四位数表示。F 的单位取决于 G94（每分钟进给量 mm/min，用 F\*\*\*\*指令）或 G95（主轴每转一转刀具的进给量 mm/r，用 F\*\*指令）。

### 4.1.2 控制车床软件的基本指令

#### 1. 程序结束指令 M02

M02 为程序结束指令。一般放在主程序的最后一个程序段中。执行 M02 指令时，机床的主轴、进给、冷却液全部停止，加工结束。

#### 2. 程序结束并返回到程序起点指令 M30

M30 与 M02 功能基本相同，只是 M30 指令还兼有使数控系统返回到程序源头的作用。使用 M30 结束程序后，若要重新执行该程序，只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

#### 3. 程序暂停指令 M00

当数控系统执行到 M00 指令时，停止程序的自动运行，此时与单段程序运行相同。数控系统把前面的模态信息全部保存起来，用以停止主轴、冷却液，并停止作进一步的处理。

暂停时，可以方便操作者进行刀具和工件的测量、工件调头、手动变速等。按“循环启动”按钮，数控系统自动运行后续程序。

#### 4. 选择暂停指令 M01

M01 与 M00 功能相同。只是 M01 功能是否执行，由机床操作面板上的“选择暂停”开关控制。当选择暂停开关处于 ON 状态时，M01 指令起作用，程序暂停。若“选择暂停”开关处于 OFF 状态时，则 M01 指令在程序中不起作用。

## 4.2 控制车削的基本指令

### 4.2.1 单位设定 G 指令

#### 1. 英制/米制单位设定指令 G20、G21

G20；编程时使用的单位为英制单位

G21；编程时使用的单位为米制单位

## 2. 切削进给速度单位设定指令 G94、G95

指令格式: G94[F   ];

G95[F   ];

指令 G94 的功能是: 刀具每分钟的进给速度。用 F 代码和后面的四位数值直接指令刀具每分钟的进给量。

指令 G95 的功能是: 刀具每转的进给速度, 用 F 代码和后面的两位数值直接指令主轴每转的进给量。使用指令 G95, 主轴上必须安装位置编码器。如果机床不具备车削功能, 一般只用 G94。

每分钟进给速度 (G94) 的倍率, 可以用机床操作面板上的进给倍率开关调整。

## 3. 恒线速度设定 G96、G97

指令格式: G96S

G97S

G96 的功能为设定切削的线速度为恒定值。G96 后面的 S 值为切削的恒定线速度, 单位为 mm/min。G97 的功能之一为取消恒线速度切削, 并用 S 值来指定主轴取消恒线速度切削后的转速, 单位为 r/min。若 G97 后无 S 值, 则执行指令 G97 后, 主轴转速回复到执行 G96 指令前的转速。

注意: 使用恒线速度功能时, 主轴必须能自动变速。同时在系统参数中要设定主轴的最高限速。

### 4.2.2 坐标系设定 G 指令

加工零件的编程是在工件坐标系内进行的。因此, 设定工件坐标系对编程有着极其重要的作用。工件坐标系可用下述两种方法设定。

#### 1. 工件坐标系设定指令 G92

指令格式: G92 X    Z

使用 G92 指令, 先要在工件上选定一个特殊点作为工件坐标系的原点。同时还要在工件外选定一个特殊点作为刀具在加工之前快速靠近工件的终止点 (又称为对刀点或程序原点)。G92 指令后面的 X、Z 值为对刀点到工件坐标系原点的有向距离。由于工件坐标系的原点一旦选定后是不能改变的, 因此, 在执行 G92 指令之前, 应通过对刀, 确定对刀点。只有确定了对刀点, 才确定了工件坐标系的原点。G92 指令的功能就是建立工件坐标系的原点到刀具的对刀点之间的联系。在执行 G92 指令时, 若刀具当前点不在对刀点上, 则加工原点与程序原点不重合, 加工出的产品就有误差或报废, 甚至出现危险。

【例 4-1】坐标系的设定如图 4-1 所示, 当以工件左端面中心点为工件坐标系原点, 对刀点在图示位置时, 工件坐标系设定指令为: G92 X227 Z371; 当以工件右端面中心点为工件坐标系原点时, 工件坐标系设定指令为: G92 X227 Z71。显然, 若刀具不在对刀点上, 则会发生工件坐标系的移动, 因此, 在执行 G92 X    Z    前必须先对刀。

G92 指令中的 X、Z 值一旦确定, 即确定了对刀点在工件坐标系下的坐标值。

注意: 执行 G92 指令时, 刀具不产生移动。

#### 2. 工件坐标系选择指令 G54~G59

指令格式: G54

G55  
G56  
G57  
G58  
G59

G54~G59 为六个工件坐标系，如图 4-2 所示。

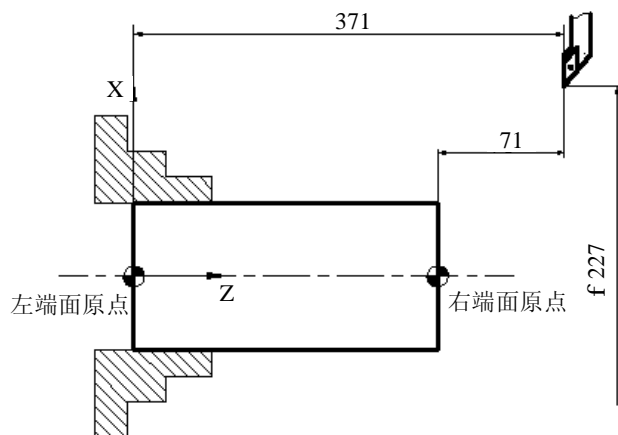


图 4-1 工件坐标系 G92

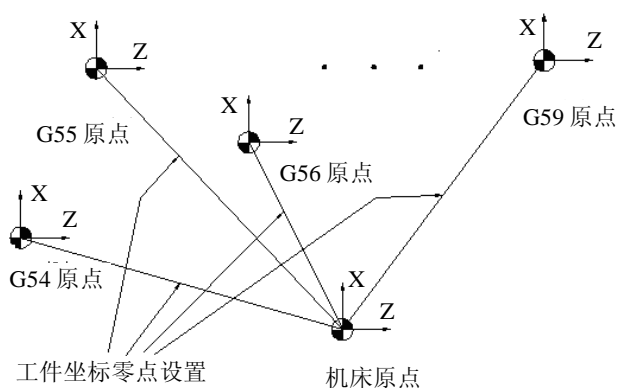


图 4-2 工件坐标系 G54~G59

每个工件坐标系的原点是在加工工件上选择的特殊点。各个工件坐标系原点的值，是机床坐标系中机床原点到各个工件坐标系原点的有向距离。这六个工件坐标系的原点在机床坐标系中的坐标值可用 MDI 方式输入，数控系统自动记忆。例如：选择 G54 作为工件坐标系，编程时用指令 G54，而 G54 坐标系原点的值在编程时可以不考虑，加工时先在工件上选择一个特殊点作为工件坐标系的原点，然后通过对刀，用 MDI 方式将这个特殊点的值输入到数控系统中。

在 G54~G59 中，工件坐标系一旦选定，工件上各点的值均通过工件坐标系原点与机床坐标系建立起联系，程序与工件的位置无关，也与刀具的位置无关。更换工件时可省去重复对刀，也不需要修改程序。

3. 直接机床坐标系编程指令 G53

G53 是机床坐标系编程指令，在含有 G53 的程序段中，绝对值编程时的指令值是在机床坐标系中的坐标值。也就是把工件各点的值取为机床坐标系中的坐标值。用一个机床坐标系来编程和加工。

4.2.3 坐标值编程 G 指令

1. 绝对值编程 G90 与相对值编程 G91

指令格式：G90 X Z

G91X Z

绝对值编程指令 G90 后面的程序段中的编程值，都是相对于工件坐标系原点的编程坐标轴上的坐标值。用该坐标轴和其后的坐标值表示。如：X30、Z50 等。

相对值编程指令 G91 后面的程序段中的编程值，都是当前编程点相对于前一个编程点的编程坐标轴上的增量值，X、Z 的相对坐标值也可以用 U、W 来表达，但在固定循环指令中不要采用 U、W 这种相对坐标值表达方式，见图 4-3。

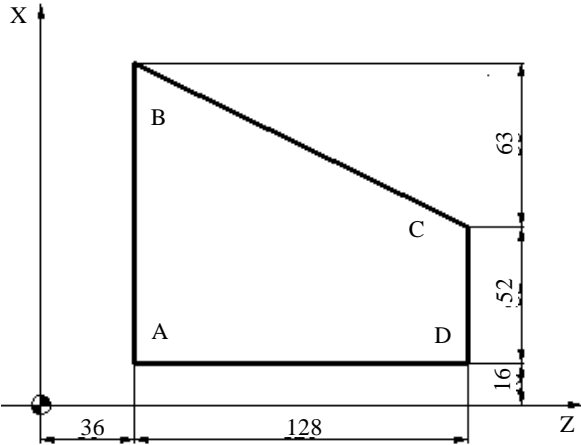


图 4-3 绝对值编程 G90 与相对值编程 G91

【例 4-2】绝对值编程 G90 与相对值编程 G91：在图 4-3 中 A、B、C、D 各点的坐标值编程如表 4-1 所示。

表 4-1 坐标值编程

绝对编程	增量编程	注释
%3020	%3021	程序号
G90G00X16Z36	G90G00X16Z36	刀具先到 A 点
G90G00X131Z36	G91G00X115Z0	由 A 点到 B 点
G90G00X68Z164	G91G00X-63Z128	由 B 点到 C 点
G90G00X16Z164	G91G00X-52Z0	由 C 点到 D 点
G90G00X16Z36	G91G00X0Z-128	由 D 点回到 A 点



2. 直径方式编程 G36 与半径方式编程 G37

指令格式: G36

G37

数控车床的工件外形通常是旋转体，其径向尺寸为 X 轴尺寸，可以用两种方式编程，即：G36 为直径方式编程，在 G36 后面的程序段中的 X 值均为零件的直径值。G37 为半径方式编程，在 G37 后面的程序段中的 X 值均为零件的半径值，见图 4-4。

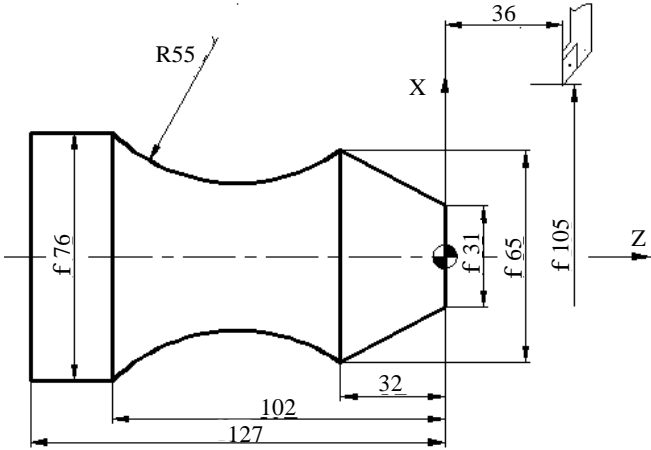


图 4-4 直径方式编程 G36 与半径方式编程 G37

【例 4-3】直径方式编程 G36 与半径方式编程 G37 编程举例见表 4-2。

表 4-2 直径方式编程 G36 与半径方式编程 G37

直径值编程	注释	半径值编程	注释
%3030	程序号	%3031	程序号
G36G90	直径值绝对值编程	G37G90	半径值绝对值编程
G92X105Z36	设定工件坐标系	G92X52.5Z36	设定工件坐标系
G00X80Z0M03S900	X 方向直径编程	G00X40Z0M03S900	X 方向半径编程
G01X0Z0F80	切端面	G01X0Z0F80	切端面
G00X31Z0	刀具定位	G00X15.5Z0	刀具定位
G01X65Z-32F150	切圆台	G01X32.5Z-32F150	切圆台
G02X76Z-102R55F80	切腰鼓	G02X38Z-102R55F80	切腰鼓
G01X76Z-127F120	切圆柱	G01X38Z-127F120	切圆柱
G01X80Z-127F80	慢速退刀	G01X40Z-127F80	慢速退刀
G00X105Z36	快速退刀	G00X52.5Z36	快速退刀
M05	主轴停	M05	主轴停
M30	程序结束并返回起点	M30	程序结束并返回起点

4.2.4 刀具定位 G 指令

1. 快速定位指令 G00

指令格式: G00 X (U) Z (W)

G00 指令用于刀具快速定位。执行 G00 指令, 刀具以数控系统默认的快速进给的速度移动到指令中 X (U)、Z (W) 值指定的位置。由于是快速, 故只用于刀具的空行程。它的移动轨迹可以是直线, 各坐标轴也可以按各自的快速进给速度移动, 这时合成的轨迹通常为折线。

G00 指令着眼于刀具快速移动后的刀具定位位置, 对于刀具在快速移动前的位置没有要求, 因此, 在使用 G00 指令时, 要防止刀具在移动过程中与工件发生碰撞。

G00 指令中的快速移动速度由机床参数对各轴分别设定, 不能用 F 规定。

G00 指令一般用于加工前的快速定位或加工后的快速退刀。

【例 4-4】G00 编程: 见图 4-5。

指令刀具快速到达 D 点程序段:

G90 G00 X20 Z30

指令刀具快速到达 B 点程序段:

G90 G00 X150 Z300

刀具由 D 点运动到 B 点的轨迹并非直线 DB, 原因在于: 在执行 G00 指令时, 各轴以各自的快速移动速度在移动, 哪个轴先到达目标点, 哪个轴就先停止, 其他轴继续运动直至到达目标点。由于各轴的移动距离不同, 不能保证各个轴同时到达目标点, 所以联动轴的合成轨迹不一定是直线。

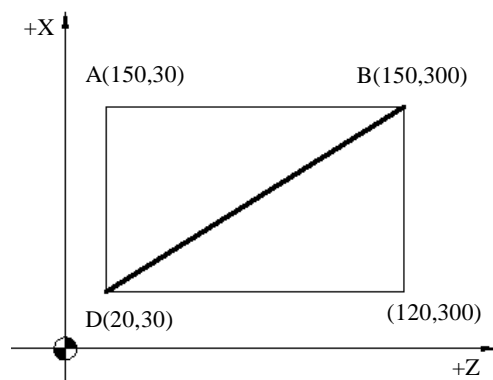


图 4-5 G00 编程

## 2. 刀具自动返回参考点指令 G28

指令格式: G28 X (U) Z (W)

G28 指令中的 X (U)、Z (W) 值是选定的中间点在工件坐标系中的值。可以用绝对值指令或增量值指令, 被指令的中间点坐标储存在数控系统的存储器中。编程时的中间点一般是换刀点, 而参考点则是机床的坐标原点。

G28 指令的动作如图 4-6 所示。

G28 指令的轴, 从 A 点以快速进给速度定位到中间点 B, 即动作①, 然后再以快速进给速度定位到参考点 R, 即动作②。如果没有机械锁紧, 该轴的参考点返回指示灯亮。不指令的轴不执行返回参考点的操作。

这个指令一般在换刀时使用, 在执行该指令之前应取消刀尖半径补偿。

在 G28 的程序段中不仅产生坐标轴的移动指令, 而且记忆了中间点 B 的坐标值, 以供 G29 指令使用。

电源接通后, 在没有手动返回参考点的状态下, 指定 G28 时, 从中间点自动返回参考点, 与手动返回参考点相同。这时从中间点到参考点的方向就是机床参数“回参考点方向”。G28 指令仅在其规定的程序段中有效。

## 3. 自动从参考点返回指令 G29

指令格式: G29 X (U) Z (W)

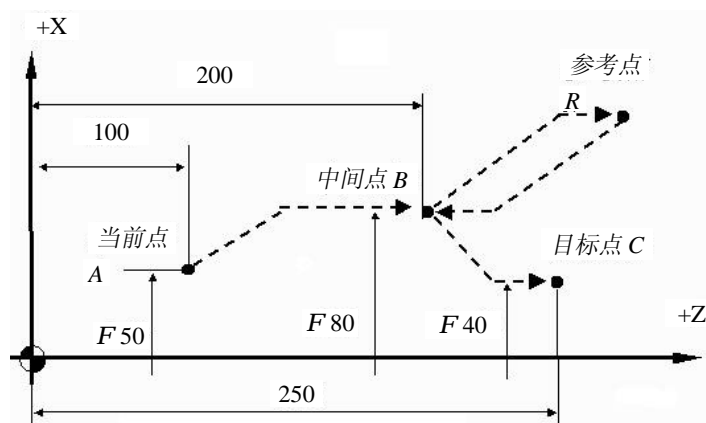


图 4-6 G28/G29 指令动作

G29 指令中的 X (U)、Z (W) 值是选定的目标点在工件坐标系中的值。可以用绝对值指令或增量值指令，通常该指令紧跟在 G28 指令之后。

G29 指令执行时，刀具从参考点 R 出发，快速到达 G28 指令的中间点 B 定位，然后到达 G29 指令的目标点 C 定位。

目标点若为增量值指令时，其值为从中间点到目标点的增量值。在程序中不必指令从中间点到参考点的移动量。

目标点一般选择在下段程序的对刀点。

【例 4-5】用 G28、G29 指令对如图 4-6 所示的路径编程：要求由 A 经过中间点 B 并返回参考点 R，然后暂停 4 秒再从参考点经中间点 B 运动到 C。

参考程序如下：

```
%3318
N1 T0101
N2 G00 X50 Z100
N3 G28 X80 Z200
N4 G04 P4
N5 G29 X40 Z250
N6 G00 X50 Z100
N7 M30
```

#### 4.2.5 子程序调用指令 M98、M99

数控车床程序的编写也可采用主、子程序的形式。数控系统按主程序的指令运行，但在主程序中遇见调用子程序的指令时，将开始按子程序的指令运行；在子程序中遇见调用结束指令时，自动返回到主程序，并重新按主程序的指令运行。

对程序中有一些顺序固定或反复出现的加工图形，可将其写成子程序，然后由主程序来调用，这样可以大大简化整个程序的编写。

##### 1. 子程序调用指令 M98

指令格式：M98 P L

M98 指令中的 P 后面跟的是被调用的子程序的程序号，而 L 后面跟的是调用该子程序

的次数（默认值为 1）。主、子程序的调用关系见图 4-7。

在编写程序时，主、子程序必须写在同一个文件中，都是以字母“O”开头，以“O\*\*\*\*”单独作为一程序行书写。子程序中还可以再调用其他子程序，即可多重嵌套调用。

同一个子程序可被主程序多次调用。同一个主程序可以调用多个不同的子程序。

## 2. 子程序结束指令 M99

M99 的功能就是结束子程序的运行并使数控系统返回到主程序，重新按主程序的指令运行。每个子程序的最后一条指令必须是 M99。

【例 4-6】主子程序调用编程：在图 4-8 中，轮廓的精加工用子程序编写，在主程序中，按轮廓的形状多次调用子程序，其参考程序如下：

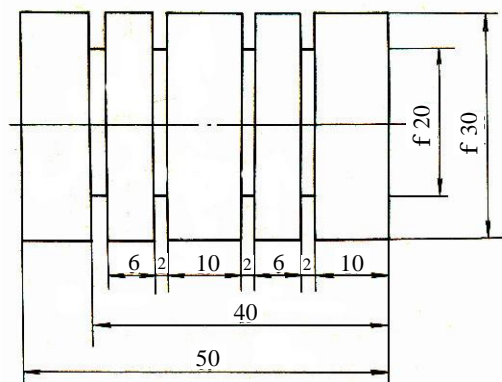


图 4-8 主、子程序编程

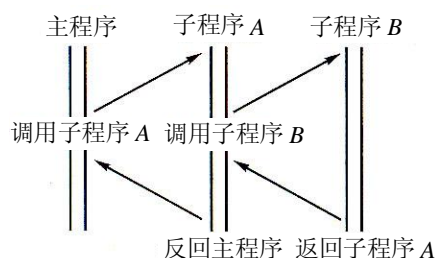


图 4-7 主、子程序调用关系

```
O1000
N001 G92 X150.0 Z100.0;
N002 M03 S800 M08;
N003 G00 X35.0 Z0;
N004 G01 X0 F0.3;
N005 G00 X30.0 Z2.0;
N006 G01 Z-55.0 F0.3;
N007 G00 X150.0 Z100.0;
N008 X32.0 Z0 T0303;
N009 M98 P1500 L2;
N010 G00 W-12.0;
N011 G01 X0 F0.12;
```

```
N012 G04 X2.0;
N013 G00 X150.0 Z100.0 M09;
N014 M30;
```

```
O1500
N101 G00 W-12.0;
N102 G01 U-12.0 F0.15;
N103 G04 X1.0;
N104 G00 U12;
N105 W-8;
N106 G01 U-12 F0.15;
N107 G04 X1.0;
N108 G00 U12;
N109 M99;
```

取工件左端面中心点为编程坐标原点，对刀点位置在编程坐标系中 X150 Z100 位置。

需要注意的是：在 MDI 方式下，使用子程序调用指令是无效的。

## 4.2.6 车削 G 指令及编程

### 1. 直线切削指令 G01

指令格式：G01X (U) Z (W) F

G01 指令中的 X (U)、Z (W) 值是直线切削终点的值。用绝对值编程时是直线切削终点在工件坐标系中的坐标值；用增量值编程时是直线切削终点相对于直线切削起点的增量值。F 为合成进给速度。

G01 指令刀具以联动的方式，按 F 规定的合成进给速度，从当前位置按直线路径切削到程序段指令的终点位置。如果没有指令进给速度，就认为进给速度为零。故在 G01 指令中，F 参数是必须要有的。

【例 4-7】G01 编程见图 4-9。

(1) 绝对值编程：

选取工件右端面中心点为工件坐标系原点  
(精加工程序)，参考程序如下：

%3070;	程序号
G90 G36 G54;	直径值绝对值编程，选 G54 为工件坐标系
M03 S900;	启动主轴
G00 X70 Z75;	刀具快速移到对刀点的位置
G01 X70 Z68 F150;	刀具慢速靠近工件
G01 X-0.5 Z68 F80;	车端面，切过中心线
G01 X20 Z68 C2 F150;	车倒角
Z45;	车 $\phi 20$ 的圆柱
X34;	车右边圆台小端
X40 Z30;	车右边圆台
X60 Z20;	车左边圆台
Z0;	车 $\phi 60$ 的圆柱
X70;	慢速退刀
G00 Z150;	快速退刀
M05 M30;	主轴停，程序结束并返回程序起点

(2) 增量值编程：

选取工件右端面中心点为工件坐标系原点（精加工程序），参考程序如下：

%3071;	程序号
G92 X70 Z150;	设定坐标系，定义对刀点的位置
G00 X70 Z150;	刀具快速移到对刀点的位置
G91 G36;	直径值相对值编程
M03 S900;	启动主轴

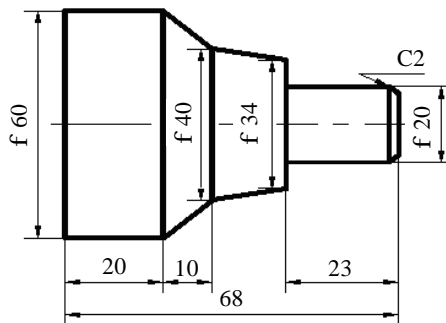


图 4-9 G01 编程图例

G00 X0 Z-82;	刀具快速移到车削起点
G01 X-70 Z0 F100;	车端面
G01 X20 Z0 C2 F150;	车倒角
G01 X0 Z-23 F150;	车 $\phi 20$ 的圆柱
X14 Z0;	车右边圆台小端
X6 Z-15;	车右边圆台
X20 Z-10;	车左边圆台
X0 Z-20;	车 $\phi 60$ 的圆柱
X10;	慢速退刀
G00 X0 Z150;	快速退刀
M05 M30;	主轴停，程序结束并返回程序起点

注：增量值编程的 X 坐标增量也可以用 U 表示；增量值编程的 Z 坐标增量也可以用 W 表示。

### （3）混合编程

选取工件右端面中心点为工件坐标系原点（精加工程序），参考程序如下：

%3072;	程序号
G90 G36 G55;	直径值绝对值编程，选 G55 为工件坐标系
M03 S1000;	启动主轴
G00 X70 Z70;	刀具快速移到车削起点
G01 Z68 F150;	刀具沿 Z 轴进给到端面位置
G01 X-0.5 Z68 F80;	车端面
G01 X20 Z68 C2 F150;	车倒角
G01 U0 Z45 F150;	混合编程，车 $\phi 20$ 的圆柱
X34 W0;	车右边圆台小端
X40 W30;	车右边圆台
X60 W-10;	车左边圆台
U0 W-20;	车 $\phi 60$ 的圆柱
G01 X70 Z0;	慢速退刀
G00 X70 Z150;	快速退刀
M05 M30;	主轴停，程序结束并返回程序起点

注：在混合编程中的绝对坐标用 X、Z，增量坐标用 U、W。

## 2. 圆弧切削指令 G02、G03

指令格式：G02 X (U) Z (W) I K F  
 G02 X (U) Z (W) R F  
 G03 X (U) Z (W) I K F  
 G03 X (U) Z (W) R F

### （1）切削方向

G02 顺时针圆弧切削方向；

G03 逆时针圆弧切削方向。

切削方向的判别方法是：从与坐标平面垂直的轴的正方向向负方向看，坐标平面上的圆弧从起点到终点的移动方向是顺时针方向还是逆时针方向，如图 4-10 所示。

对于上位刀（后置刀架），Y 轴的正向（ $\odot$  方向）指向操作者，圆弧从起点到终点是顺时针时，用 G02 编程；圆弧从起点到终点是逆时针时，用 G03 编程；对于下位刀（前置刀架），Y 轴的正向远离操作者，圆弧从起点到终点从背向看是顺时针，从正向看是逆时针时，用 G02 编程；圆弧从起点到终点从背向看是逆时针，从正向看是顺时针时，用 G03 编程。

### (2) 终点位置

G02/G03 指令中的 X (U)、Z (W) 值是圆弧切削终点的值。用绝对值指令是圆弧切削终点在工件坐标系中的坐标值；用增量值指令是圆弧切削终点相对于圆弧切削起点的增量值。当圆弧切削的终点和起点有一个坐标值相同时，有指令中可以省略这个坐标，当圆弧终点和起点的两个坐标值都相同，即整圆时，两个坐标都可以省略。

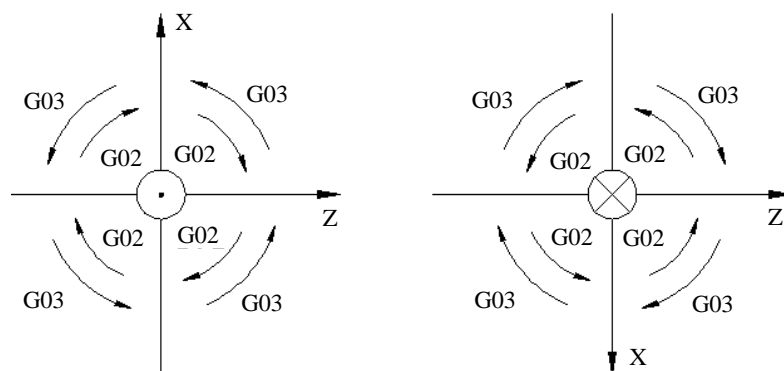


图 4-10 顺时针/逆时针圆弧

### (3) 圆弧的圆心

a. 用 I、K 指令圆弧的圆心如图 4-11 所示，图中：I 为圆心相对于圆弧切削起点的 X 坐标增量值；K 为圆心相对于圆弧切削起点的 Z 坐标增量值。I、K 始终为增量值，与 X、Z 值是否是增量值无关。在直径、半径编程时，I 都是半径值。

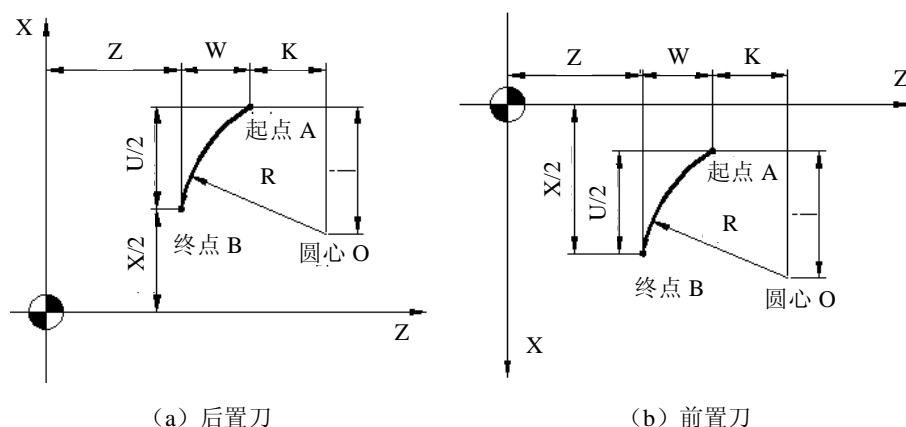


图 4-11 G02/G03 参数说明

【例 4-8】G03 编程。在图 4-11 a) 中，设 O 点坐标为 (40, 60)，A 点坐标为 (120,

40), B 点坐标为 (50, 25), 则编程时的 I 值为  $-40[(O \text{ 点的 } X \text{ 坐标} - A \text{ 点的 } X \text{ 坐标})/2]$ , 编程时的 K 值为 20 (O 点的 Z 坐标 - A 点的 Z 坐标)。圆弧的切削方向为逆时针, 用 G03 编程。

用绝对坐标直径编程时的程序段为: G36 G90 G03 X50 Z25 I-40 K20 F100

用增量坐标半径编程时的程序段为: G37 G91 G03 U-35 W-15 I-40 K20 F100

b. 用半径 R 指令圆弧的圆心。过起点 A 和终点 B 的圆弧有两个, 即小于  $180^\circ$  的圆弧和大于  $180^\circ$  的圆弧, 如图 4-12 所示。

为了区分是切削哪个圆弧, 对小于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用正值表示; 对大于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用负值表示; 对等于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用正值或负值均可。

在车床上, 零件轮廓的圆弧通常小于  $180^\circ$ , 故编程时 R 为正值。

【例 4-9】R 指令圆弧的圆心编程。在图 4-12 中, 设圆弧半径 R50, A 点坐标 (60, 80), B 点坐标 (20, 40), 圆弧的切削方向为逆时针, 用 G03 编程。

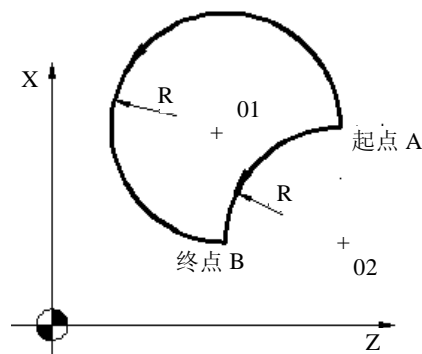


图 4-12 半径 R 指令圆弧的圆心

用绝对坐标直径编程时的程序段为: G36 G90 G03 X20 Z40 R50 F100

用增量坐标半径编程时的程序段为: G37 G91 G03 U-20 W-40 R50 F100

c. 整圆的圆心。切削整圆时, 由于整圆的终点坐标与起点坐标重合, 若用半径 R 指令圆心, 则刀具不移动, 即零度的圆弧。此时, 必须用 I、K 指令整圆的圆心。

d. F 为被编程的两个轴的合成进给速度。它是沿圆弧切线方向的速度。单位为 mm/min。

【例 4-10】圆弧切削指令编程。在图 4-13 中, 设工件坐标系的原点在工件右端面中心点, 刀具的对刀点在工件坐标系中的值为 (40, 5), 该工件的精加工参考程序如下:

%3100;	程序号
G92 X40 Z5;	选 G92 为工件坐标系, 确定对刀点
M03 S1000;	启动主轴
G00 X0 Z1;	刀具快速移动到车削起点
G01 Z0 F80;	工进接触工件
G03 U24 W-24 R15;	车削 R15 圆弧
G02 X26 Z-31 R5;	车削 R5 圆弧
G01 Z-40;	车削 $\phi 26$ 的外圆
G00 X40 Z5;	刀具快速移动到对刀点
M05;	主轴停
M30;	程序结束并返回到程序起点

注: 该程序还可以工件左端面中心点为工件坐标原点, 对刀点不变来编写。

### 3. 倒角加工指令

(1) 直线后倒 (直线) 角指令

指令格式: G01X (U) Z (W) C



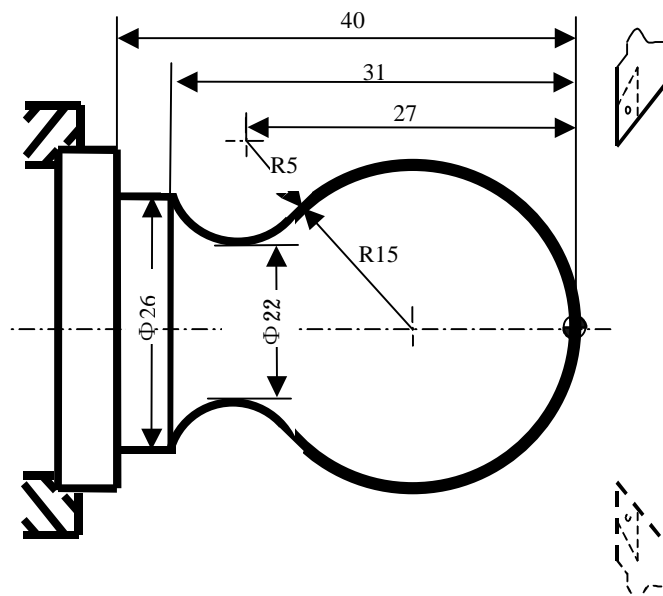


图 4-13 圆弧加工综合编程

该指令用于加工两条相邻直线间倒（直线）角，如图 4-14 所示。

指令中的 X (U)、Z (W) 值，在绝对值编程时为没倒角前两条相邻直线的交点 E 的坐标值。在增量值编程时为交点 E 到先期加工的直线的起点 A 的增量值。指令中的 C 值为倒角终点相对于两条相邻直线的交点 E 的距离。实际上，C 就是倒角的边长。

【例 4-11】直线后倒（直线）角指令编程：在图 4-14 中，设 A 点坐标为 (20, 80)，E 点坐标为 (100, 70)，倒角边长 C 为 5。

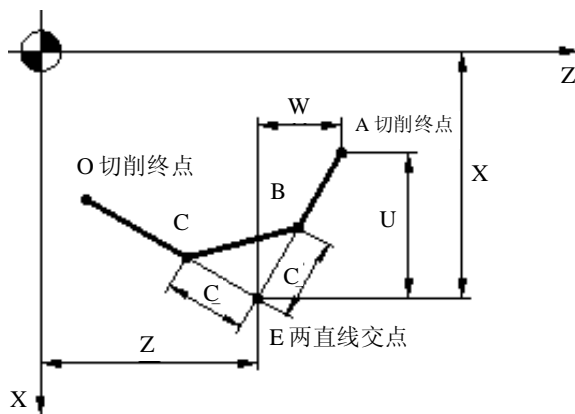


图 4-14 直线后倒角

用绝对坐标直径编程时的程序段为：G90 G01 X100 Z70 C5

用增量坐标直径编程时的程序段为：G91 G01 U80 W-10 C5

## (2) 直线后倒圆（角）指令

指令格式：G01X (U) Z (W) R

该指令用于加工两条相邻直线间倒圆（角），如图 4-15 所示。

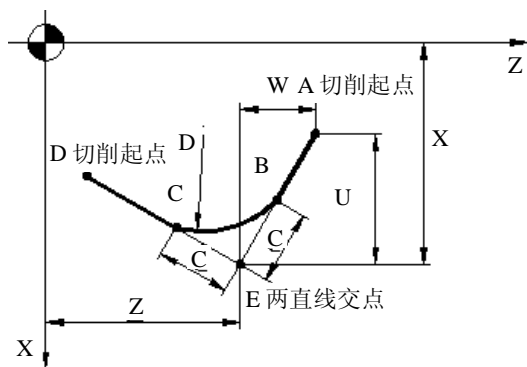


图 4-15 直线后倒圆

指令中的 X (U)、Z (W) 值，在绝对值编程时为没倒圆（角）前两条相邻直线的交点 E 的坐标值。在增量值编程时为交点 E 到先期加工的直线的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为倒圆角的半径值。

【例 4-12】直线后倒圆（角）指令编程：在图 4-15 中，设 A 点坐标为 (20, 80)，E 点坐标为 (100, 70)，倒圆（角）半径 R5。

用绝对坐标直径编程时的程序段为：G90 G01 X100 Z70 R5

用增量坐标直径编程时的程序段为：G91 G01 U80 W-10 R5

### （3）圆弧后倒（直线）角指令

指令格式：G02 X (U) Z (W) R RL

G03 X (U) Z (W) R RL

若圆弧与直线相交，交点在 E 点，加工时先加工圆弧，后加工直线，用该指令在圆弧和直线之间插入加工直线倒角，如图 4-16 所示。

指令中的 X (U)、Z (W) 值，在绝对值编程时为先加工的圆弧和后加工的直线的交点 E 的坐标值。在增量值编程时为交点 E 到先期加工的圆弧的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为先加工圆弧的半径值。指令中的 RL 值为倒角终点 C 到圆弧与直线的交点 E 的距离，实际上是直线倒角的边长。

【例 4-13】圆弧后倒（直线）角指令编程：在图 4-16 中，设 A 点坐标为 (20, 100)，E 点坐标为 (100, 50)，圆弧半径 R50，RL 值为 5。

用绝对坐标直径编程时的程序段为：G90 G02 X100 Z50 R50 RL5

用增量坐标直径编程时的程序段为：G91 G02 U80 W-50 R50 RL5

### （4）圆弧后倒圆（角）指令

指令格式：G02 X (U) Z (W) R RC

G03 X (U) Z (W) R RC

若圆弧与直线相交，交点在 E 点，加工时先加工圆弧，后加工直线，用该指令在圆弧和直线之间插入倒圆（角）加工。如图 4-17 所示。

指令中的 X (U)、Z (W) 值，在绝对值编程时为先加工的圆弧和后加工的直线的交点 E 的坐标值。在增量值编程时为交点 E 到先期加工的圆弧的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为先加工圆弧的半径值。指令中的 RC 值为倒圆弧（角）的半径值。

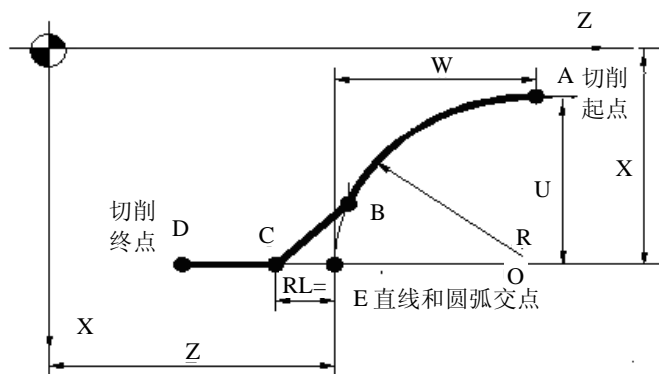


图 4-16 圆弧后倒角

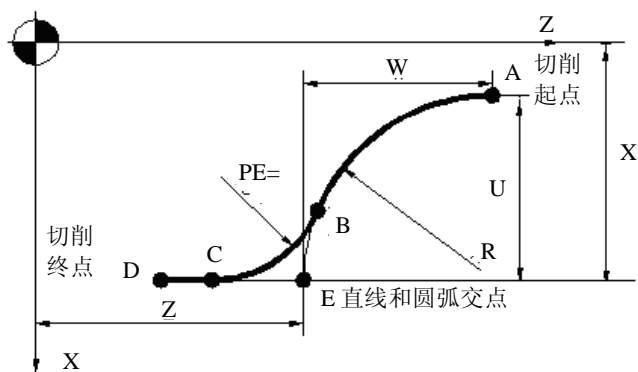


图 4-17 圆弧后倒圆

【例 4-14】圆弧后倒圆（角）指令编程：在图 4-17 中，设 A 点坐标为 (20, 100)，E 点坐标为 (100, 50)，圆弧半径 R50，倒圆角半径 RC 值为 5。

用绝对坐标直径编程时的程序段为：G90 G02 X100 Z50 R50 RC5

用增量坐标直径编程时的程序段为：G91 G02 U80 W-50 R50 RC5

【例 4-15】倒角加工综合编程，如图 4-18 所示。其精加工参考程序如下：

```
%3315
T0101
N1 G00 X70 Z10
N2 G00 X0 Z4
N3 G01 W-4 F100
N4 X26 C3
N5 Z-21
N6 G02 U30 W-15 R15 RL=3
N7 G01 Z-70
N8 G00 U10
N9 X70 Z10
M30
```

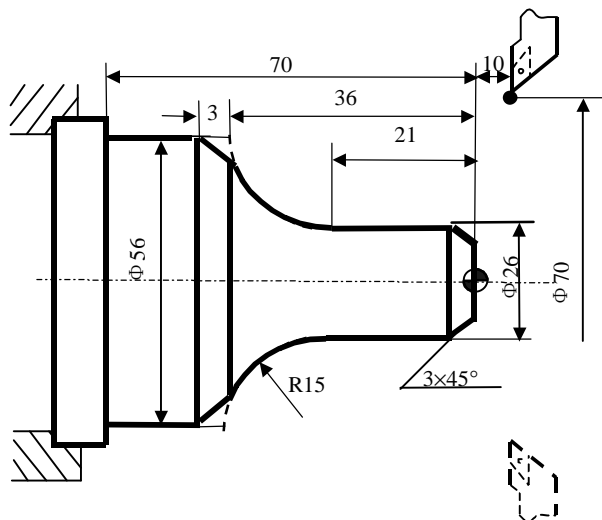


图 4-18 倒角加工综合编程

#### 4. 螺纹切削指令 G32

指令格式: G32 X (U) Z (W) R E P F

螺纹切削指令 G32 为简单螺纹切削指令, 执行 G32 指令一次, 刀具从螺纹起点切削到螺纹终点一次。

指令中的 X、Z 值为绝对值编程时, 有效螺纹终点在工件坐标系中的坐标。

指令中的 U、W 值为增量值编程时, 有效螺纹终点相对于螺纹切削起点的增量。

指令中的 R 表示 Z 轴方向的螺纹退尾量; E 表示 X 轴方向的螺纹退尾量; R、E 在绝对编程或增量编程时都是以增量方式指定, R 为正表示螺纹沿 Z 轴正向回退, E 为正表示螺纹沿 X 轴正向回退, R 为负表示螺纹沿 Z 轴负向回退, E 为负表示螺纹沿 X 轴负向回退。使用 R、E 可免去退刀槽。螺纹没有退尾量时, R、E 可以省略。根据螺纹标准, R 一般取 2 倍的螺距, E 取螺纹的牙型高, 见图 4-19。

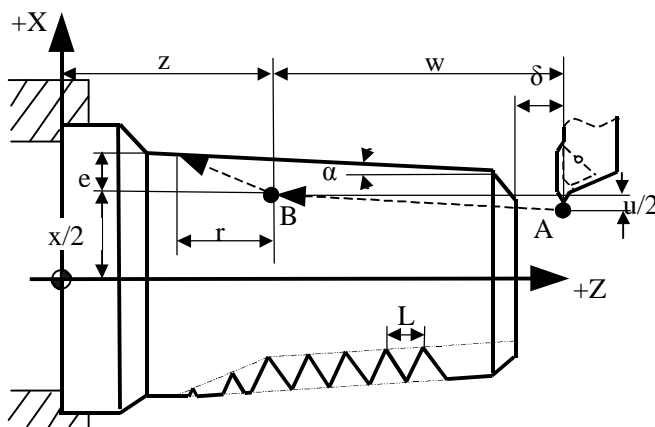


图 4-19 螺纹切削参数

指令中的 P 值为螺距。在加工多线螺纹时, 可先加工完第一条螺纹, 然后在加工第二条螺纹时, 车刀的轴向起点与加工第一条螺纹的轴向起点偏移一个螺距 P 即可。

指令中的 F 值为螺纹导程，即主轴每转一转，刀具相对于工件的进给量，单位为 mm/r。  
使用 G32 指令可以加工圆柱外螺纹，圆锥外螺纹，端面螺纹。

螺纹车削加工为成型车削，且切削进给量较大，刀具强度较差，一般要求分数次进行切削。常用螺纹切削的进给次数与吃刀量见表 4-3。

表 4-3 常用螺纹切削的进给次数与吃刀量

螺距		1.0	1.5	2	2.5	3	3.5	4
牙深（半径量）		0.649	0.974	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598
（直径量） 切削次数及 吃刀量	1 次	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
	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/in		24	18	16	14	12	10	8
牙深（半径量）		0.678	0.904	1.016	1.162	1.355	1.626	2.033
（直径量） 切削次数及 吃刀量	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							0.17

使用 G32 编程时的注意点：

- （1）螺纹从粗加工到精加工时主轴的转速必须保持为恒定值。
- （2）在螺纹加工的两端应设置足够的升速进刀段  $\delta_1$  和降速退刀段  $\delta_2$ ，以消除两端因变速而出现的非标准螺距的螺纹段。
- （3）在没有停止主轴的情况下，停止螺纹的加工将非常危险，因此，螺纹加工时进给保持功能无效，如果按下进给保持键，刀具将在加工完螺纹后才停止运动。
- （4）在螺纹加工中，不能使用恒线速度控制功能。否则，螺距将发生变化。

【例 4-16】如图 4-20 所示，圆柱螺纹车削编程实例。加工 M30×1-6h 螺纹，其牙深 0.974mm（半径值），三次背吃刀量（直径值）为 0.7、0.4、0.2（mm），升降速段为 1.5、1（mm）。

本例中，设工件左端面中心点为工件坐标系原点，对刀点在工件坐标系的坐标值为(80, 160)。圆柱螺纹车削参考程序如下：

```
%3016
N1 G92X80Z160
N2 M03 S460
N3 G00 X50 Z120
N4 X29.3 Z101.5
N5 G32 Z19 F1
N6 G00 X40
N7 Z101.5
N8 X28.9
N9 G32 Z19 F1
N10 G00 X40
N11 Z101.5
N12 X28.7
N13 G32 Z19 F1
N14 G00 X40
```

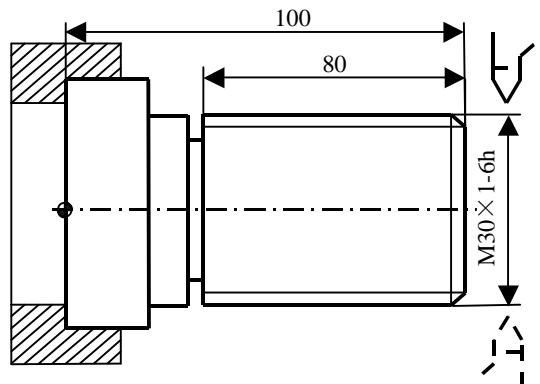


图 4-20 圆柱螺纹车削编程实例

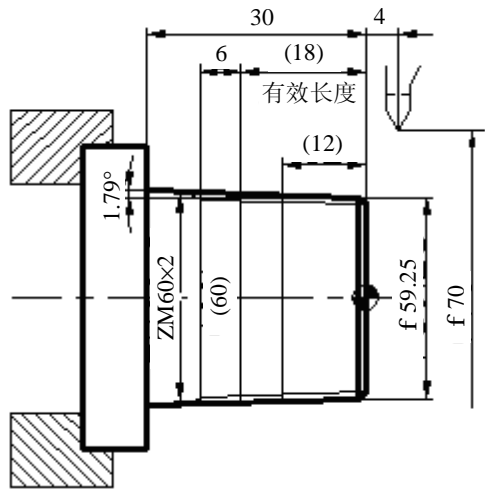


图 4-21 圆锥螺纹车削编程实例

```
N15 X50 Z120
N16 M05
N17 M30
```

【例 4-17】圆锥螺纹车削编程实例。在图 4-21 中，取  $\delta_1=4\text{mm}$ ，螺纹大端大径 60mm，螺纹大端小径为  $d_1'$ ， $d_1'=60-2\times 0.6P=60-2.4=57.6\text{mm}$ 。螺纹小端大径 59.25mm，螺纹小端小径为  $d_2'$ ， $d_2'=59.25-2\times 0.6P=59.25-2.4=56.85\text{mm}$ 。加工余量为 2.4mm，分五次进刀，背吃刀量按递减规律分布为：1.2mm、0.7mm、0.3mm、0.15mm、0.05mm。本例中，设工件右端面中心点为工件坐标系原点，对刀点在工件坐标系的坐标值为 (90, 4)。圆锥螺纹车削参考程序如下：

%3170	
G92 X90 Z4;	选 G92 为工件坐标系，对刀点的坐标值为 (90, 4)
M03 S300;	启动主轴
G00 X58.05 Z4;	刀具快速定位
G32 X58.8 Z-22 R4 E2 F2;	车螺纹第一刀
G00 X90;	快速退刀
Z4;	抬刀到初始高度
X57.35;	刀具快速定位

G32 X58.1 Z-22 R4 E2 F2;	车螺纹第二刀
G00 X90;	快速退刀
Z4;	抬刀到初始高度
X57.05;	刀具快速定位
G32 X57.8 Z-22 R4 E2 F2;	车螺纹第三刀
G00 X90;	快速退刀
Z4;	抬刀到初始高度
X56.9;	刀具快速定位
G32 X57.65 Z-22 R4 E2 F2;	车螺纹第四刀
G00 X90;	快速退刀
Z4;	抬刀到初始高度
X56.85;	刀具快速定位
G32 X57.6 Z-22 R4 E2 F2;	车螺纹第五刀
G00 X90;	快速退刀
X100 Z100;	快速退刀到换刀点
M05 M30;	主轴停，程序结束并返回程序起点

## 5. 循环切削指令

车削循环编程通常是用含 G 代码的程序段完成本来需要多个程序段指令的加工操作。从而简化程序。车削循环一般用在去除大部分余量的粗车加工中。在车削循环中用增量编程时，不用 U、W 编程，而仍用 X、Z 编程，此时的 X、Z 值为终点到起点的坐标差值，即增量值。

### (1) 外圆柱面车削循环 G80

指令格式：G80 X (U) Z (W) F

指令中的 X、Z 值在绝对值编程时为切削终点的坐标值，在增量值编程时为切削终点到循环起点的坐标差值。

外圆柱面车削循环，刀具由循环起点（对刀点）A 开始，快速运动到切削起点 B，再以进给速度运动到切削终点 C，然后以快速运动到达退刀点 D，再快速运动到循环起点 A，完成一次循环，见图 4-22。

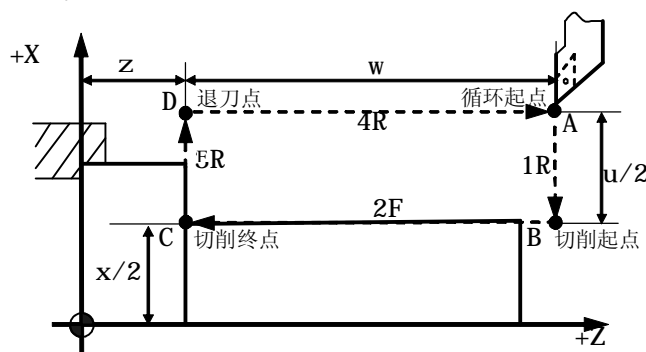


图 4-22 外圆柱面车削循环

【例 4-18】外圆柱面车削编程。在图 4-22 中，设 A 点在工件坐标系中的坐标为 (100,

100), B 点在工件坐标系中的坐标为 (50, 100), C 点在工件坐标系中的坐标为 (50, 50), D 点在工件坐标系中的坐标为 (100, 50), 则:

用绝对值编程时的程序段为: G90 G80 X50 Z50 F100。这一个程序段等效于①G90 G00 X50 Z100; ②G01 X50 Z50; ③G01 X100 Z50; ④G00 X100 Z100 四个程序段。

用增量值编程时的程序段为: G91 G80 X-50 Z-50 F100。

用内圆车刀时, 外圆柱面车削循环指令可以对内圆柱面进行循环车削。

## (2) 外圆锥面车削循环 G80

指令格式: G80 X (U) Z (W) I F

指令中的 I 值总是外圆锥面车削起点 (并非循环起点) 与外圆锥面车削终点的半径差。当切削起点处的半径值大于切削终点处的半径值时, I 值为正; 当切削起点处的半径值小于切削终点处的半径值时, I 值为负。当 I 值为零时, 即为外圆柱面车削循环。

指令中的 X、Z 值在绝对值编程时为切削终点的坐标值, 在增量值编程时为切削终点到循环起点的坐标差值。

外圆锥面车削循环见图 4-23。

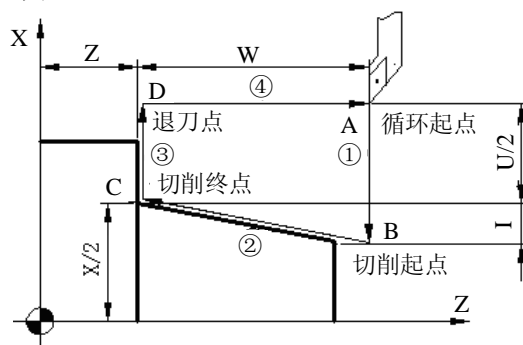


图 4-23 外圆锥面车削循环

【例 4-19】外圆锥面车削编程。在图 4-23 中, 设 A 点在工件坐标系中的坐标为 (200, 100), B 点在工件坐标系中的坐标为 (70, 100), C 点在工件坐标系中的坐标为 (100, 30), D 点在工件坐标系中的坐标为 (200, 30),  $I = (70 - 100) / 2 = -15$ 。

用绝对值编程时的程序段为: G90 G80 X100 Z30 I-15 F100;

用增量值编程时的程序段为: G91 G80 X-100 Z-70 I-15 F100。

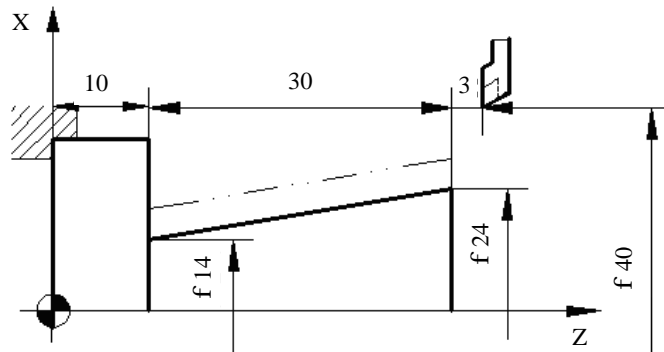


图 4-24 外圆锥面车削循环编程实例



用内圆车刀时，外圆锥面车削循环指令可以对内圆锥面进行循环车削。

【例 4-20】外圆锥面车削循环编程实例。在图 4-24 中， $I=(24-14)/2=5$ ，为正值。其精加工参考程序如下：

```
%3200
G92 X40 Z43;
M03 S1000;
G00 X40 Z43;
G90 G80 X14 Z10 I5 F100;
G00 X100 Z200;
M05;
M30;
```

### （3）平端面车削循环 G81

指令格式：G81 X (U) Z (W) F

平端面车削循环见图 4-25。

【例 4-21】平端面车削循环。在图 4-25 中，设 A 点在工件坐标系中的坐标为 (200, 100)，B 点在工件坐标系中的坐标为 (200, 40)，C 点在工件坐标系中的坐标为 (80, 40)，D 点在工件坐标系中的坐标为 (80, 100)。

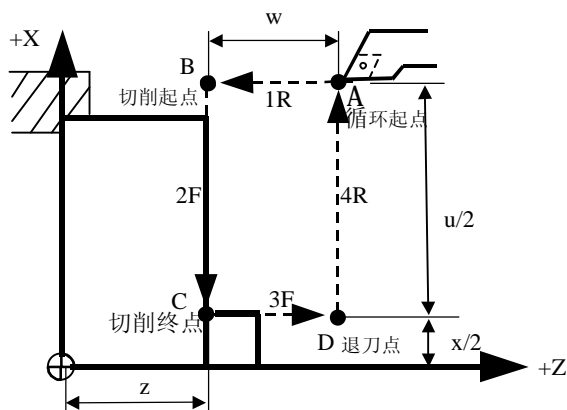


图 4-25 平端面车削循环

用绝对值编程时的程序段为：G90 G81 X80 Z40 F100；

用增量值编程时的程序段为：G91 G81 X-120 Z-60 F100。

### （4）锥端面车削循环 G81

指令格式：G81 X (U) Z (W) K F

指令中的 K 值总是锥端面车削起点（并非循环起点）与锥端面车削终点的 Z 值之差。当切削起点处的 Z 值大于切削终点处的 Z 值时，K 值为正；当切削起点处的 Z 值小于切削终点处的 Z 值时，K 值为负。当 K 值为零时，即为平端面车削循环。

锥端面车削循环见图 4-26。

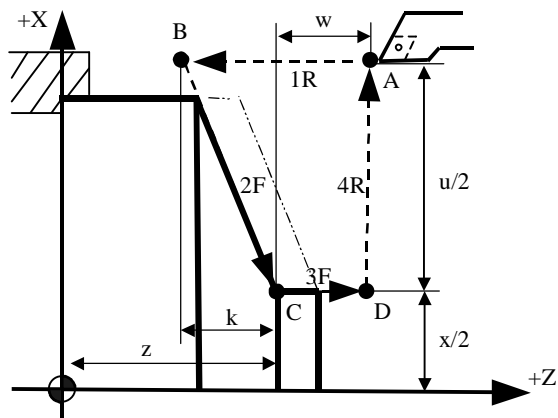


图 4-26 锥端面车削循环

【例 4-22】锥端面车削循环编程。在图 4-27 中，设工件坐标系的原点为工件左端面的中心点。其参考程序如下：

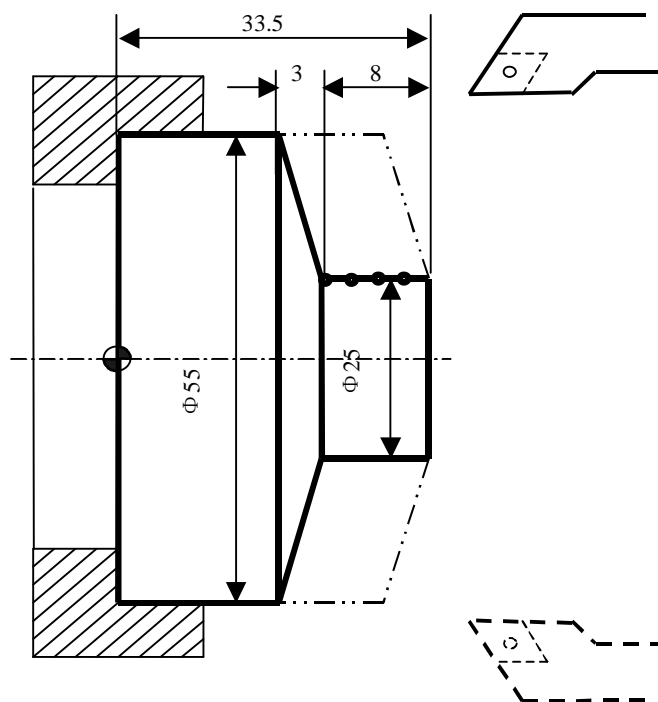


图 4-27 锥端面车削循环实例

%3022

N1 G92 X80 Z60;

N2 G90 G00 X60 Z45 M03;

N3 G81 X25 Z31.5 K-3.5 F100;

N4 X25 Z29.5 K-3.5;

N5 X25 Z27.5 K-3.5;

N6 X25 Z25.5 K-3.5;

N7 M05;

N8 M30;

#### (5) 圆柱螺纹切削循环 G82

指令格式: G82 X (U) Z (W) R E C P F

参数说明见图 4-28。

指令中的 X、Z 值在绝对值编程时为螺纹终点 C 在工件坐标系下的坐标; 在相对值编程时为螺纹终点 C 相对于循环起点 A (并非螺纹起点) 的有向距离。若螺纹终点 C 的两个坐标值小于循环起点的两个坐标值, 则在增量编程时, X、Z 均为负号。

指令中的 R、E 表示螺纹切削的退尾量, R 为 Z 向回退量, E 为 X 向回退量, R、E 可以省略, 表示不用回退功能。

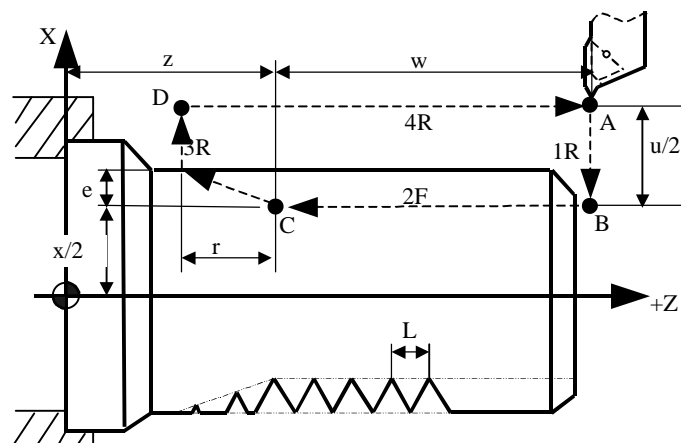


图 4-28 圆柱螺纹切削循环

指令中的 C 为螺纹头数, C 为 0 或者 1 时切削的是单头螺纹, 此时可以省略。

指令中的 P 值为螺距。在加工多线螺纹时, 可先加工完第一条螺纹, 然后在加工第二条螺纹时, 车刀的轴向起点与加工第一条螺纹的轴向起点偏移一个螺距 P 即可。

指令中的 F 为螺纹导程。指令执行的轨迹见图 4-28。

#### (5) 圆锥螺纹切削循环 G82

指令格式: G82 X (U) Z (W) I R E C P F

参数说明见图 4-29。

指令中的 X、Z 值在绝对值编程时为螺纹终点 C 在工件坐标系下的坐标; 在相对值编程时为螺纹终点 C 相对于循环起点 A (并非螺纹起点) 的有向距离。若螺纹终点 C 的两个坐标值小于循环起点的两个坐标值, 则在增量编程时, X、Z 均为负号。

指令中的 I 为螺纹起点 B 与螺纹终点 C 之间的半径差, 其符号为差的符号。

指令中的 R、E 表示螺纹切削的退尾量, R 为 Z 向回退量, E 为 X 向回退量, R、E 可以省略, 表示不用回退功能。

指令中的 C 为螺纹头数, C 为 0 或者 1 时切削的是单头螺纹, 此时可以省略。

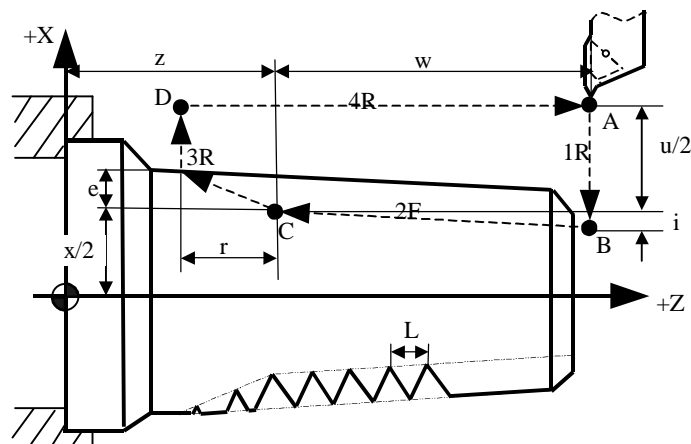


图 4-29 圆锥螺纹切削循环

指令中的  $P$  值为螺距。在加工多线螺纹时，可先加工完第一条螺纹，然后在加工第二条螺纹时，车刀的轴向起点与加工第一条螺纹的轴向起点偏移一个螺距  $P$  即可。

指令中的  $F$  为螺纹导程。指令执行的轨迹见图 4-29。

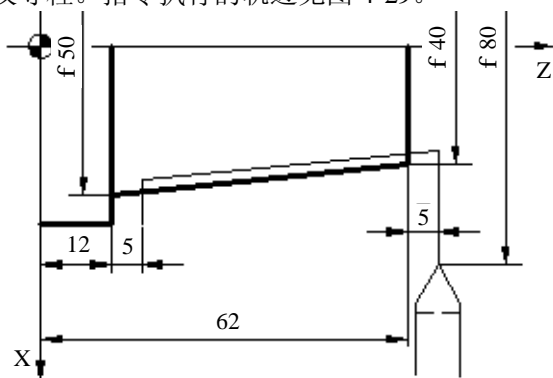


图 4-30 圆锥螺纹切削循环编程实例

**【例 4-23】圆锥螺纹切削循环编程。**在图 4-30 中，取  $\delta_1=5\text{mm}$ ，螺纹大端大径  $50\text{mm}$ ，螺纹大端小径为  $d_1'$ ， $d_1'=50-2\times 0.6P=50-2.4=47.6\text{mm}$ 。螺纹小端大径为  $40\text{mm}$ ，螺纹小端小径为  $d_2'$ ， $d_2'=40-2\times 0.6P=40-2.4=37.6\text{mm}$ 。加工余量为  $2.4\text{mm}$ ，分五次进刀，背吃刀量按递减规律分布为： $1.2\text{mm}$ 、 $0.7\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$ 、 $0.15\text{mm}$ 、 $0.05\text{mm}$ 。 $I=(40-50)/2=-5$ 。本例中，设工件左端面中心点为工件坐标系原点，对刀点在工件坐标系的坐标值为  $(80, 62)$ 。圆锥螺纹车削参考程序如下：

```
%3230
G92 X80 Z62;
M03 S1000;
G90 G00 X80 Z62;
G82 X48.8 Z12 I-5 F2;
G82 X48.1 Z12 I-5 F2;
G82 X47.8 Z12 I-5 F2;
```

G82 X47.65 Z12 I-5 F2;

G82 X47.6 Z12 I-5 F2;

G00 X100 Z200;

M05;

M30;

## 6. 复合循环切削指令

用循环切削指令，刀具轨迹每次走一个循环。要完成一个粗车过程，需要人工分配车削次数和吃刀量，再一段一段地用循环切削程序实现，虽然这比用基本加工指令要简单，但使用起来还是很麻烦。若使用复合车削循环，则只需指定精加工路线和吃刀量，数控系统就会自动计算出粗加工路线和加工次数，因此，可极大地简化编程工作。

### (1) 圆粗车复合循环指令

#### 1) 无凹槽外圆粗车复合循环指令 G71

指令格式：

G71U ( $\Delta d$ ) R ( $r$ ) P ( $ns$ ) Q ( $nf$ ) X ( $\Delta x$ ) Z ( $\Delta z$ ) F ( $f$ ) S ( $s$ ) T ( $t$ )

参数说明见图 4-31。

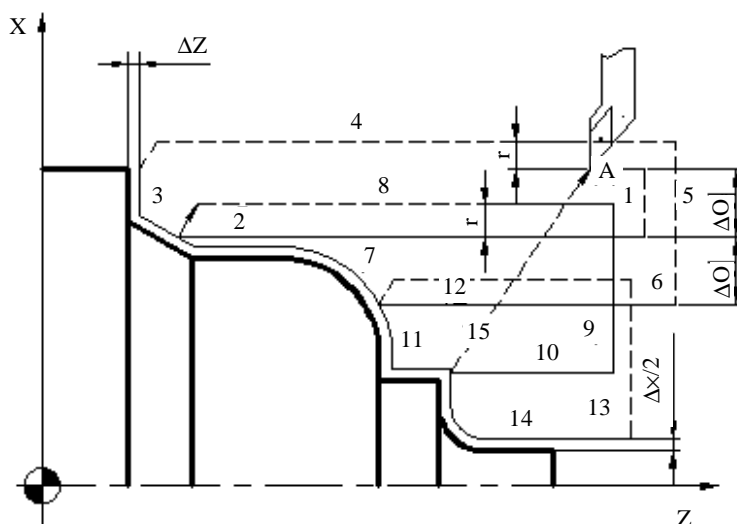


图 4-31 无凹槽外圆粗车复合循环

指令中的 U 表示 X 轴方向的切削深度， $\Delta d$  的值为每次的切削量，指定时不加符号，由进刀方向决定；

指令中的 R 表示退刀量， $r$  的值为刀具切削后退离加工表面的径向值；

指令中的 P 表示复合循环中精加工路径的起始程序段， $ns$  为起始程序段的段号；

指令中的 Q 表示复合循环中精加工路径的结束程序段， $nf$  为结束程序段的段号；

指令中的 X 为粗加工后留给 X 方向精加工的余量， $\Delta x$  为这个余量值的大小；

指令中的 Z 为粗加工后留给 Z 方向精加工的余量， $\Delta z$  为这个余量值的大小；

F、S、T 的含义不变，在粗加工时 G71 中编程的 F、S、T 有效，精加工时处于  $ns$  到  $nf$  程序段之间的 F、S、T 有效。

【例 4-24】无凹槽外圆粗车复合循环编程。在图 4-32 中，设工件右端面中心点为工件坐标系原点，对刀点在工件坐标系中的值为（80，80），每次切削深度为 1.5mm，每次的退刀量为 1mm，X 方向留 0.4mm 的精加工余量，Z 方向留 0.1mm 的加工余量，精加工程序的起始段号为 5，精加工程序的结束段号为 13。其参考程序如下：

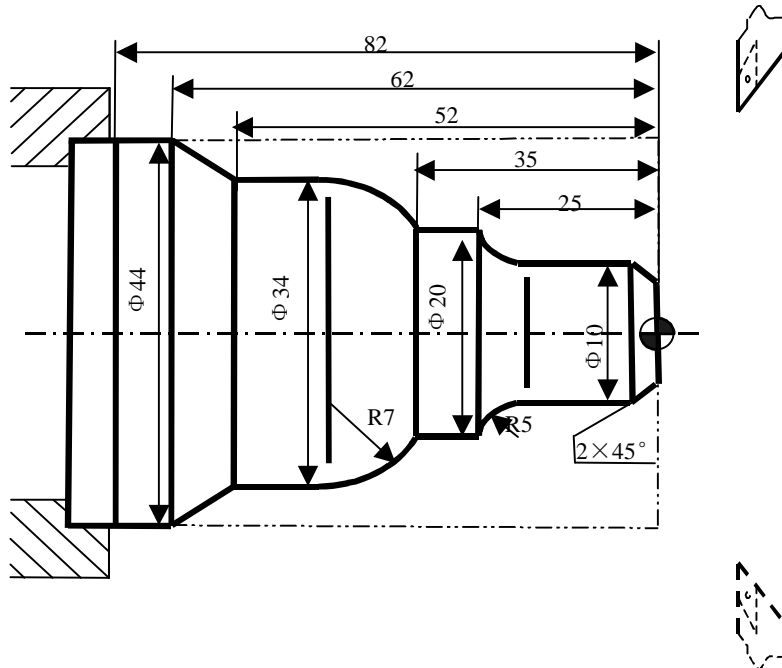


图 4-32 无凹槽外圆粗车复合循环实例

```
%3024
N1 G92 X80 Z80;
N2 M03 S1000;
N3 G01 X46 Z3 F100;
N4 G71 U1.5 R1 P5 Q13 X0.4 Z0.1;
N5 G00 X0;
N6 G01 X10 Z-2;
N7 Z-20;
N8 G02 U10 W-5 R5;
N9 G01 W-10;
N10 G03 U14 W-7 R7;
N11 G01 Z-52;
N12 U10 W-10;
N13 W-20;
N14 X50;
N15 G00 X80 Z80;
N16 M05;
N17 M30;
```

## 2) 有凹槽外圆粗车复合循环指令 G71

指令格式:

G71U ( $\Delta d$ ) R ( $r$ ) P ( $ns$ ) Q ( $nf$ ) E ( $e$ ) F ( $f$ ) S ( $s$ ) T ( $t$ )

指令中的 E 表示精加工余量,  $e$  为精加工余量值, 它是 X 方向的等高距离, 外圆切削时为正。参数说明见图 4-33。

【例 4-25】有凹槽内圆粗车复合循环编程。在图 4-34 中, 设工件右端面中心点为工件坐标系原点, 对刀点在工件坐标系中的值为 (45, 10), 每次切削深度为 1mm, 每次的退刀量为 1mm, 精加工余量值为 0.3, 精加工程序的起始段号为 100, 精加工程序的结束段号为 200。其参考程序如下:

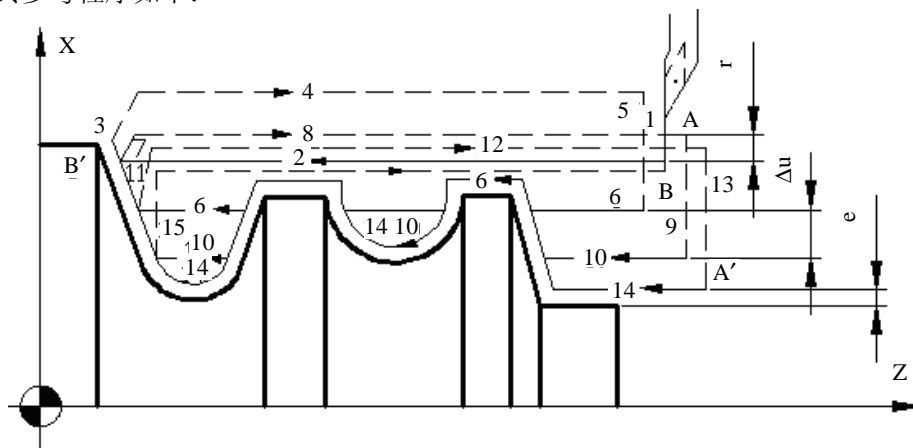


图 4-33 有凹槽外圆粗车复合循环

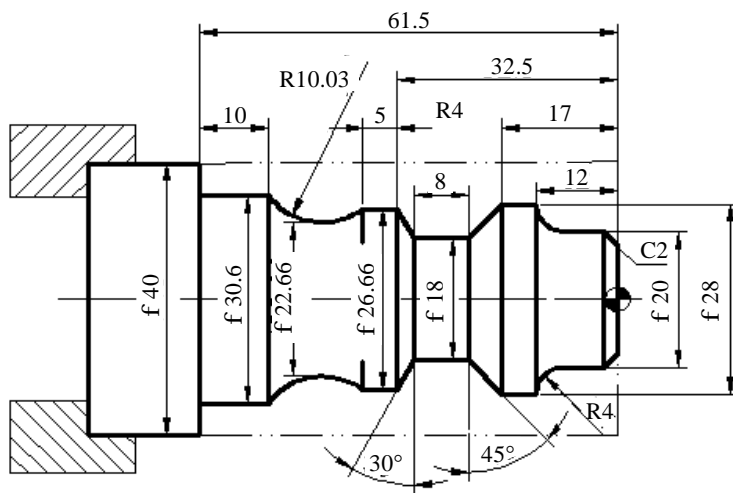


图 4-34 有凹槽外圆粗车复合循环实例

%3025

G92 X45 Z10;

M03 S1000;

G90 G00 X45 Z10;

G71 U1 R1 P100 Q200 E0.3 F100;

N100 G00 X10 Z3;

G01 X20 Z-2 F100;

Z-8;

G02 X28 Z-12 R4;

G01 Z-17;

U-10 W-5;

W-8;

U8.66 W-25;

Z-37.5;

G02 X30.66 W-14 R10;

G01 W-10;

N200 X40;

G00 X45;

Z100;

M05;

M30;

G71 应用提示:

G71 指令必须带有 P、Q 地址 ns、nf，且与精加工路径起、止顺序号对应，否则不能进行该循环加工。

ns 的程序段必须为 G00 或 G01 指令，即精加工路径必须是从点定位运动或直线切削运动开始。

在顺序号为 ns 到顺序号为 nf 的程序段中，不应包含子程序。

### 3) 端面粗车复合循环指令 G72

指令格式:

G72 W ( $\Delta d$ ) R (r) P (ns) Q (nf) X ( $\Delta x$ ) Z ( $\Delta z$ ) F (f) S (s) T (t)

参数说明见图 4-35。

指令中的 W 表示 Z 轴方向的切削深度， $\Delta d$  的值为每次的切削量，指定时不加符号，由进刀方向决定。

指令中的 R 表示退刀量，r 的值为刀具切削后退离加工表面的轴向值。

指令中的 P 表示复合循环中精加工路径的起始程序段，ns 为起始程序段的段号。

指令中的 Q 表示复合循环中精加工路径的结束程序段，nf 为结束程序段的段号。

指令中的 X 为粗加工后留给 X 方向精加工的余量， $\Delta X$  为这个余量值的大小。

指令中的 Z 为粗加工后留给 Z 方向精加工的余量， $\Delta Z$  为这个余量值的大小。

F、S、T 的含义不变，在粗加工时 G72 中编程的 F、S、T 有效，精加工时处于 ns~nf 程序段之间的 F、S、T 有效。



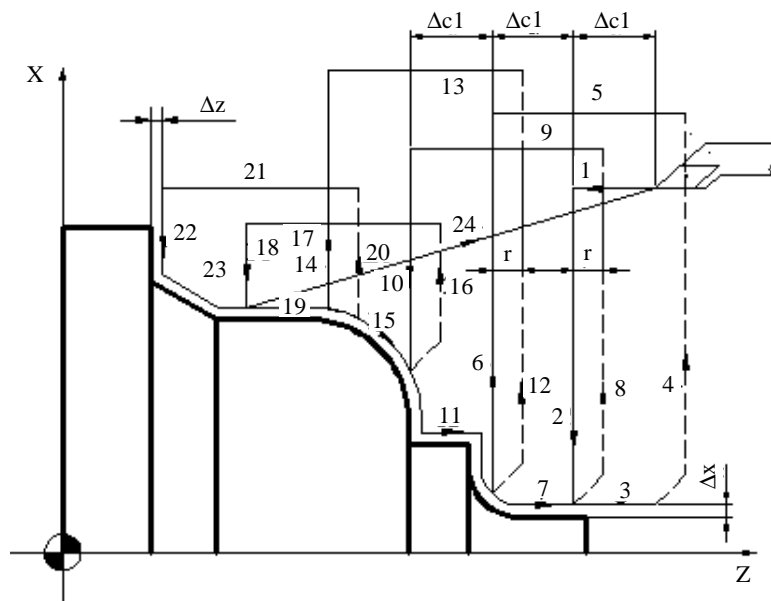


图 4-35 端面粗车复合循环

【例 4-26】外端面粗车复合循环编程。在图 4-36 中，设工件右端面中心点为工件坐标系原点，对刀点在工件坐标系中的值为 (100, 80)，每次切削深度为 1.2mm，每次的退刀量为 1mm，X 方向留 0.2mm 的精加工余量，Z 方向留 0.5mm 的加工余量，精加工程序的起始段号为 8，精加工程序的结束段号为 17。其参考程序如下：

```
%3026
N1 G92 X100 Z80;
N2 G00 X85 Z5;
N3 M03 S400;
N4 G01 X80 Z1;
N5 G72 W1.2 R1 P8 Q17 X0.2 Z0.5
F100;
N6 G00 X100 Z80;
N7 X80 Z1;
N8 G00 Z-56;
N9 G01 X54 Z-40 F80;
N10 Z-30;
N11 G02 U-8 W4 R4;
N12 G01 X30;
N13 Z-15;
```

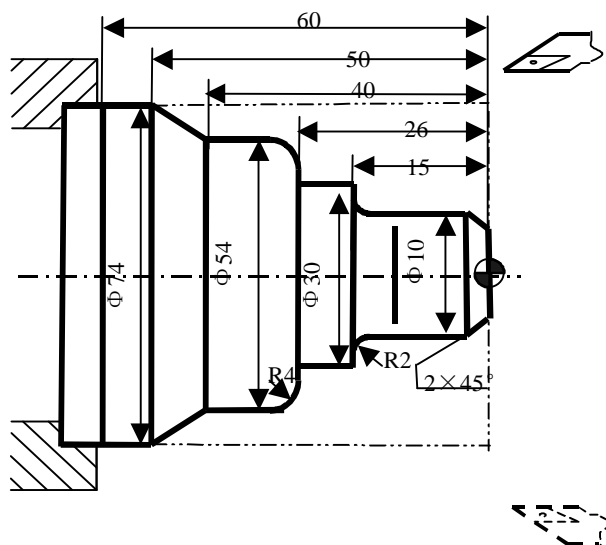


图 4-36 外端面粗车复合循环实例

N14 U-16;  
 N15 G03 U-4 W2 R2;  
 N16 G01 Z-2;  
 N17 U-6 W3;  
 N18 G00 X50;  
 N19 X100 Z80;  
 N20 M30;

**【例 4-27】**内端面粗车复合循环编程。在图 4-37 中，设工件右端面中心点为工件坐标系的原点，对刀点 A 在工件坐标系中的坐标值为 (6, 3)，背吃刀量为 3mm，退刀量为 1mm，X 方向精加工余量为 0.4mm，Z 方向精加工余量为 0.1mm，其中，点画线部分为工件毛坯。参考程序如下：

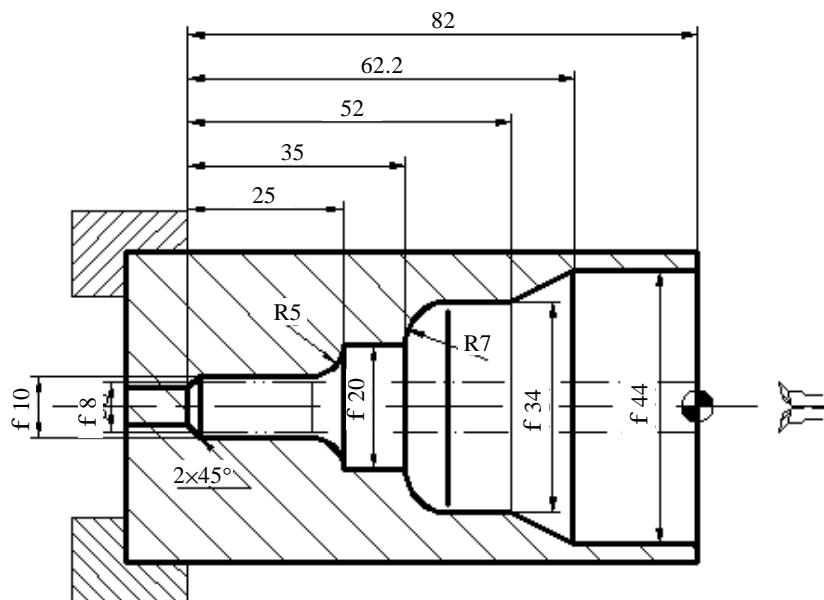


图 4-37 内端面粗车复合循环实例

%3027  
 G92 X6 Z3;  
 M03 S1000;  
 G90 G00 X6 Z3;  
 G72 W1.5 R1 P100 Q200 X0.4 Z0.1 F200;  
 N100G00X8Z-82;  
 G01 X10 Z-80 F200;  
 Z-57 R5;  
 X20;  
 Z-47;  
 G02 X34 Z-40 R7;

G01 Z-30;  
 X44 Z-20;  
 N200 Z0;  
 G00 X100 Z100;  
 M05;  
 M30;

#### G72 应用提示:

G72 指令必须带有 P、Q 地址 ns、nf，且与精加工路径起、止顺序号对应，否则不能进行该循环加工。

ns 的程序段必须为 G00 或 G01 指令，即精加工路径必须是从点定位运动或直线切削运动开始。

在顺序号为 ns 到顺序号为 nf 的程序段中，不应包含子程序。

#### 4) 闭环粗车复合循环指令 G73

指令格式:

G73 U ( $\Delta I$ ) W ( $\Delta k$ ) R (r) P (ns) Q (nf) X ( $\Delta x$ ) Z ( $\Delta z$ ) F (f) S (s) T (t)

参数说明见图 4-38。

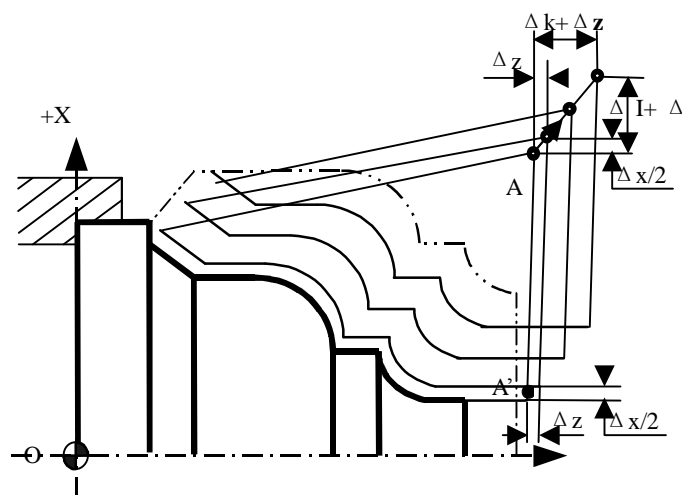


图 4-38 闭环粗车复合循环

指令中的 U 表示 X 轴方向的粗加工余量， $\Delta I$  表示 X 轴方向的粗加工总余量；

指令中的 W 表示 Z 轴方向的粗加工余量， $\Delta k$  表示 Z 轴方向的粗加工总余量；

指令中的 R 表示粗加工的切削次数，r 的值为粗加工切削次数的值；

指令中的 P 表示复合循环中精加工路径的起始程序段，ns 为起始程序段的段号；

指令中的 Q 表示复合循环中精加工路径的结束程序段，nf 为结束程序段的段号；

指令中的 X 为粗加工后留给 X 方向精加工的余量， $\Delta x$  为这个余量值的大小；

指令中的 Z 为粗加工后留给 Z 方向精加工的余量， $\Delta z$  为这个余量值的大小；

F、S、T 的含义不变，在粗加工时 G73 中编程的 F、S、T 有效，精加工时处于 ns~nf 程序段之间的 F、S、T 有效。

该指令使刀具在切削工件时的轨迹为封闭回路，刀具逐渐进给，使封闭切削回路逐渐向零件最终形状靠近，最终切削成工件的形状。这种指令能对铸造、锻造等粗加工中已成型的工件，进行高效率切削。

在使用 G73 指令时，要注意  $\Delta I$  和  $\Delta K$  表示粗加工时总的切削量，粗加工次数为  $r$ ，则每次 X、Z 方向的切削量为  $\Delta I/r$ ， $\Delta K/r$ 。

【例 4-28】闭环粗车复合循环编程。在图 4-39 中，设工件右端面中心点为工件坐标系的原点，对刀点 A 在工件坐标系中的坐标值为 (80, 80)， $\Delta I=3\text{mm}$ ， $\Delta K=0.9\text{mm}$ ， $\Delta x=0.6\text{mm}$ ， $\Delta z=0.1\text{mm}$ 。参考程序如下：

```
%3028
N1 G92 X80 Z80;
N2 M03 S400;
N3 G00 X60 Z5;
N4 G73 U3 W0.9 R3 P5 Q13 X0.6 Z0.1 F120;
N5 G00 X0 Z3;
N6 G01 U10 Z-2 F80;
N7 Z-20;
N8 G02 U10 W-5 R5;
N9 G01 Z-35;
N10 G03 U14 W-7 R7;
N11 G01 Z-52;
N12 U10 W-10;
N13 U10;
N14 G00 X80 Z80;
N15 M30;
```

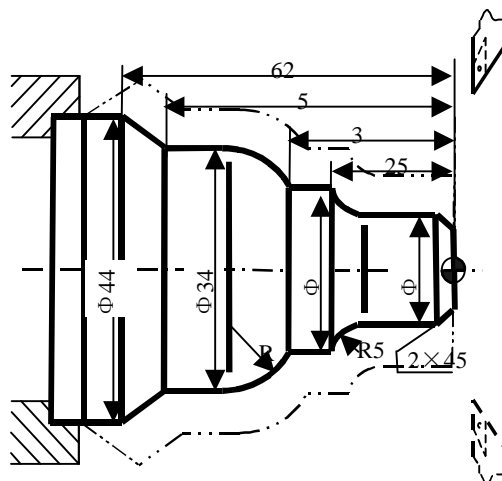


图 4-39 闭环粗车复合循环实例

#### 5) 螺纹切削复合循环指令 G76

指令格式：

G76 C (c) R (r) E (e) A (a) X (x) Z (z) I (i) K (k) U (d) V ( $\Delta d_{\min}$ ) Q ( $\Delta d$ ) P (p) F (L)

参数说明见图 4-40。

指令中：

C 为螺纹的精整次数，c 值为螺纹的精整次数值；

R 为螺纹 Z 向退尾长度，r 为螺纹 Z 向退尾长度值；

E 为螺纹 X 向退尾长度，e 为螺纹 X 向退尾长度值；

A 为螺纹车刀刀尖角度，a 为刀尖角度值，在  $80^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $29^\circ$ 、 $0^\circ$  中间选一个；

X、Z 在绝对值编程时，为有效螺纹终点 C 在工件坐标系中的坐标值，在增量值编程时，为有效螺纹终点 C 相对于循环起点 A 的有向距离；

I 表示螺纹两端的半径差，i 值即是半径差值；

K 表示螺纹的高度，k 值即是螺纹高度值，该值由螺纹在 X 轴方向上的半径值确定；

U 表示精加工余量，d 表示螺纹的精加工余量值，用半径值表示；

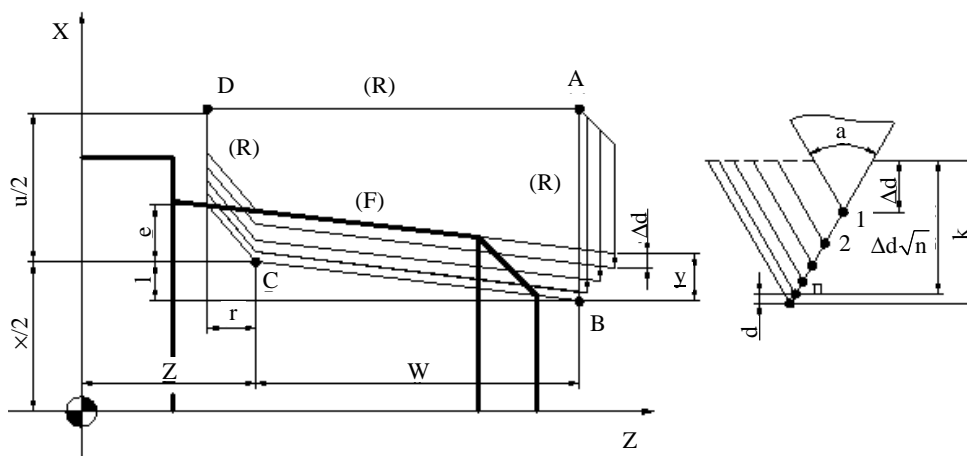


图 4-40 螺纹切削复合循环

V 表示螺纹加工中最后一刀的切削深度， $\Delta d_{\min}$  为螺纹的最小切削深度，当最后一刀的切削深度小于  $\Delta d_{\min}$  时，则切削深度设定为  $\Delta d_{\min}$ ；

Q 表示螺纹加工中第一刀的切削深度， $\Delta d$  为第一刀的切削深度值；

P 值为螺距。在加工多线螺纹时，可先加工完第一条螺纹，然后在加工第二条螺纹时，车刀的轴向起点与加工第一条螺纹的轴向起点偏移一个螺距 P 即可；

F 表示螺纹的导程，L 表示螺纹导程值。

【例 4-29】螺纹切削复合循环编程。在图 4-41 中，设工件左端面中心点为工件坐标系原点， $I=7.5$ ， $K=1.299$ ，其参考程序如下：

```
%3290
G92 X100 Z110;
M03 S1000;
G90 G00 X100 Z110;
G91 X-10 Z-5;
G76 R2 A60 X-30.598 Z-75 I-7.5 K1.299
U0.2 V0.2 Q1 F2;
G90 G00 X100 Z110;
M05;
M30;
```

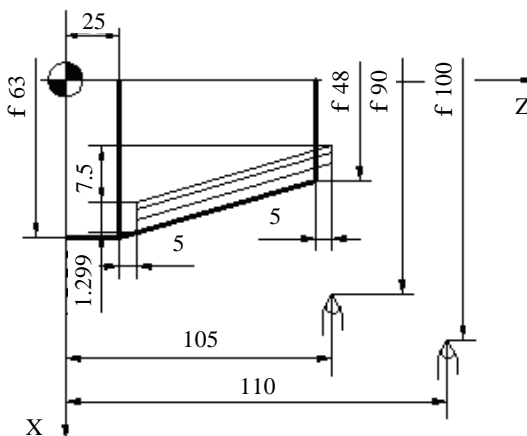


图 4-41 螺纹切削复合循环实例

### 4.3 刀具补偿功能

刀具补偿是补偿实际加工中所用的刀具与编程时使用的理想刀具或对刀时用的基准刀具之间的差值，这个差值的存在，使得实际加工出来的零件不符合图纸尺寸的要求，而数控加工是应该加工出高质量的零件，故在进行数控加工之前，必须进行刀具补偿。

#### 4.3.1 刀具几何补偿和刀具磨损补偿

按图纸尺寸编程时，没有考虑刀具的几何形状和安装位置，加工时，要通过对刀来确定

各个刀具的安装位置。刀具几何补偿就是把对刀时采集到的刀具数据准确地储存在刀具数据库中，然后通过程序中的刀补代码来提取并执行。刀具磨损补偿则是用于补偿当刀具使用磨损后刀具头部与原始尺寸的误差。

刀补指令用 T 代码表示。T 代码后可跟四位数字，其中前两位数字表示刀具号，后两位数字表示刀具补偿号。如 T0101，前两位数字 01 表示 01 号刀具，后两位数字 01 表示该刀具补偿值存放在刀具数据库的 01 号存储器中。刀补值包括了几何补偿值和磨损补偿值。

将刀具补偿值存放在刀具数据库中的方式就是通过对刀、试切。其步骤如下：

- (1) 先将机床回到零点；
- (2) 利用机床的 MDI 功能，按下“刀具偏置表”功能按键，调出刀具偏置表；
- (3) 用光标在刀具偏置表中选择与刀具位置号相同的刀具 T 代码，如 1 号刀具选 T01，2 号刀具选 T02。刀位图见图 4-42。

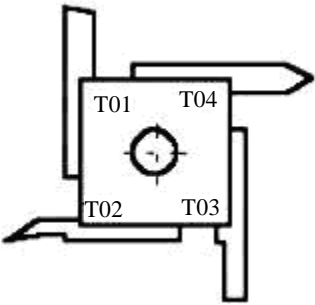


图 4-42 刀位图

- (4) 手动长度对刀。先试切工件端面，如编程时将工件坐标系的原点设在工件的前端面，则在选定刀具号的刀具偏置表的试切长度中填写长度值 0 (填写零之前刀具不得有 Z 轴位移)，如编程时将工件坐标系的原点设在工件的后端面，则在选定刀具号的刀具偏置表的试切长度中填写工件长度值 (填写工件长度值之前刀具不得有 Z 轴位移)，系统源程序通过公式：

$$Z'_{机} = Z_{机} - Z_{工}$$

自动计算出工件原点相对于该刀刀位点的 Z 轴距离，如图 4-43 所示。

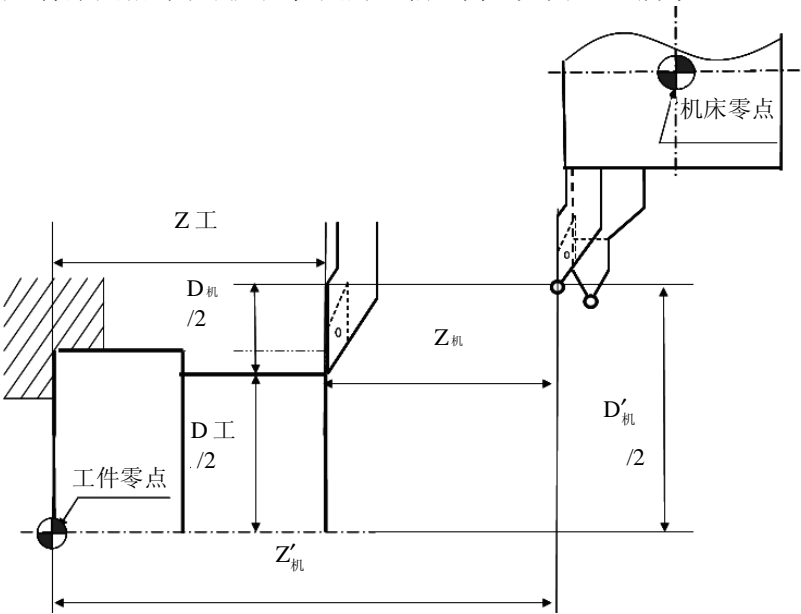


图 4-43 手动对刀时的 Z、X 值

在图中， $Z'_{机}$  为刀具在机床零点时的刀位点到工件零点的 Z 轴距离， $Z_{机}$  为刀具在机床零点时的刀位点到工件前端面的 Z 轴距离， $Z_{工}$  为工件的长度。因为  $Z_{机}$  是手动移动刀具时由

系统储存在存储器中，所以，手动移动刀具到工件前端面并车削前端面后，再向刀具偏置表中填写工件长度值  $Z_1$ ，系统自动计算出工件原点相对于该刀刀位点的  $Z$  轴距离  $Z'_{机}$ 。

(5) 手动直径对刀。用同一把刀试切工件外圆到一定长度（一般约 10mm），测量已切削外圆表面的直径，在选定刀具号的刀具偏置表的试切直径中填写测量得到的直径值（填写直径值之前刀具不得有  $X$  轴位移），系统源程序通过公式：

$$D'_{机} = D_{机} - D_1$$

自动计算出工件原点相对于该刀刀位点的  $X$  轴距离，如图 4-43 所示。在图中， $D'_{机}$  为刀具在机床零点时的刀位点到工件零点的  $Z$  轴距离， $D_{机}$  为刀具在机床零点时的刀位点到工件外圆面的  $X$  轴距离， $D_1$  为工件的外圆直径。因为  $D_{机}$  是手动移动刀具时由系统储存在存储器中，所以，手动移动刀具到工件并车削外圆面后，再向刀具偏置表中填写工件试切直径值  $D_1$ ，系统自动计算出工件原点相对于该刀刀位点的  $X$  轴距离  $D'_{机}$ 。

(6) 退刀换刀后，用下一把刀重复步骤 (4) ~ (5)，即可得到各刀的刀补值并保存在刀具偏置表中。

### 4.3.2 刀尖圆弧半径补偿指令 G40、G41、G42

数控车床是按刀尖对刀的，因车刀的刀尖不可能绝对尖，有一个小圆弧，所以对刀时刀尖的位置是一个假想刀尖 A，如图 4-44 所示。

编程时按假想刀尖轨迹编程，即工件的轮廓与假想刀尖重合，车削时实际起作用的切削刃却是刀尖圆弧上的各个切点，在图中，A 点为假想的刀尖，B 点为刀尖圆弧的圆心，M 点为外圆加工切削点，N 点为端面加工切削点。由于刀具的切削点在变化，这样就会引起加工表面形状误差。

采用刀具半径补偿功能后，编程者按工件轮廓线编程，数控系统会自动计算刀心轨迹，并按刀心轨迹运动，从而消除了刀尖圆弧半径对工件形状的影响，如图 4-45 所示。

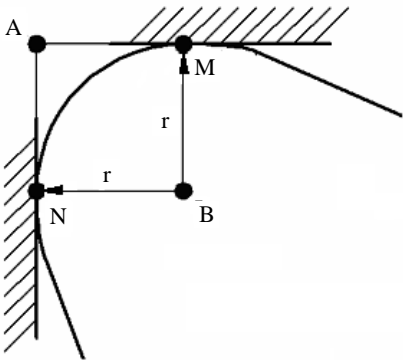


图 4-44 假想刀尖

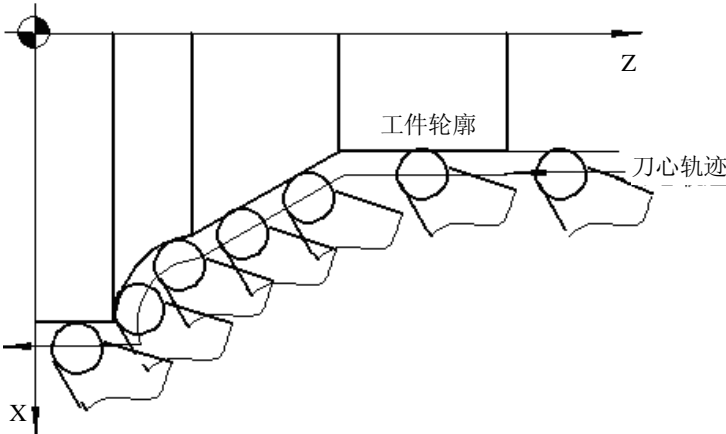


图 4-45 刀具半径补偿功能

G42 G01 X (U) Z (W)

G40 为取消刀具半径补偿指令，使假想刀尖轨迹与编程轨迹重合。

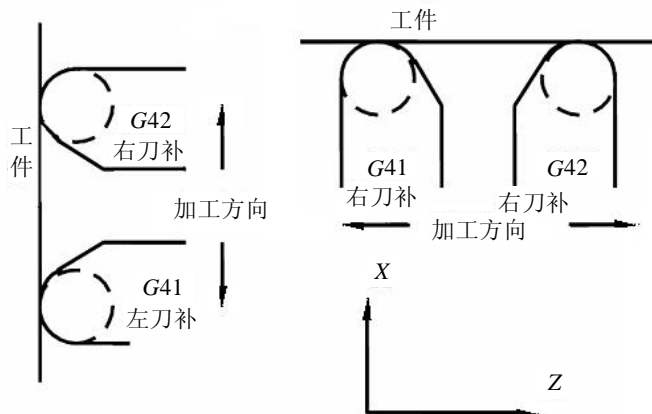


图 4-46 左刀补、右刀补

N11 M30:

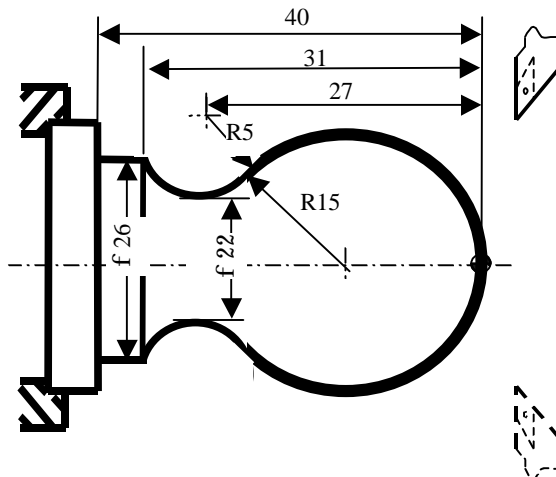


图 4-47 刀尖圆弧半径补偿实例



## 4.4 华中世纪星系统数控车床编程与加工

### 4.4.1 华中世纪星数控车床指令（如表 4-4 所示）

表 4-4 华中世纪星数控车床 G 指令

G 代码	分组	功能
G00	01	快速定位
G01		直线插补
		倒角加工
G02		顺圆插补
G03		逆圆插补
G02（G03）		倒角加工
G04	00	暂停
G20	08	英寸输入
G21		毫米输入
G28	00	返回刀参考点
G29		由参考点返回
G32	01	螺纹切削
G36	17	直径编程
G37		半径编程
G40	09	刀尖半径补偿取消
G41		左刀补
G42		右刀补
G54	11	坐标系选择
G55		
G56		
G57		
G58		
G59		
G71	06	内（外）径粗车复合循环（无凹槽加工时）
		内（外）径粗车复合循环（有凹槽加工时）
G72		端面粗车复合循环
G73		闭环车削复合循环
G76	06	螺纹切削复合循环
G80		圆柱面内（外）径切削循环 圆锥面内（外）径切削循环
G81		端面车削固定循环

(续表)

G 代码	分组	功能
G82		直螺纹切削循环 锥螺纹切削循环
G90 G91	13	绝对编程 相对编程
G92	00	工件坐标系设定
G94 G95	14	每分钟进给速率 每转进给
G96 G97	16	恒线速度切削

#### 4.4.2 华中世纪星数控车床编程与加工举例

【例 4-31】编制如图 4-48 所示螺纹特形轴的加工程序, 材料为 45 钢, 毛坯为  $\Phi 58\text{mm} \times 100\text{mm}$  棒材。数控车削前毛坯已粗车端面、钻好中心孔。

## 1. 刀具设置

1号刀: T01为粗加工刀, 选 $90^\circ$ 外圆车刀; 2号刀: T02为切槽刀, 刀宽为3mm; 3号刀: T03为 $60^\circ$ 外螺纹车刀。通过对刀, 设置刀偏值。

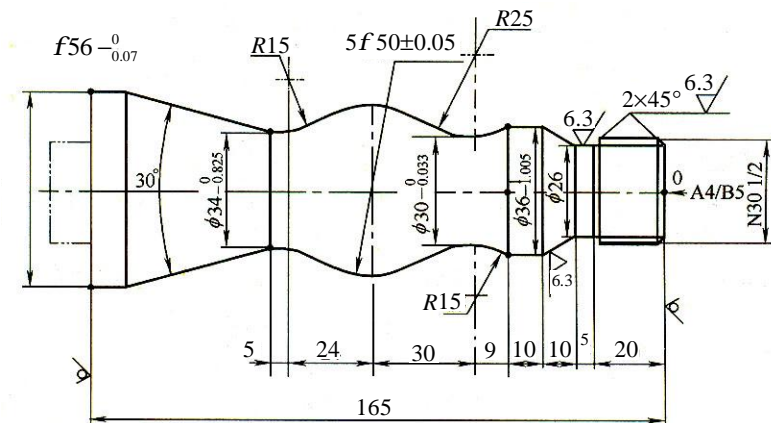


图 4-48 编程与加工实例一

## 2. 夹具设置

对细长轴类零件，轴心线为工艺基准，用三爪自定心卡盘夹持 $\Phi 58\text{mm}$ 外圆一头，使工件伸出卡盘 $175\text{mm}$ ，用顶尖顶持另一头，一次装夹完成粗精加工（注：切断时将顶尖退出）。

### 3. 工艺路线

(1) 粗车外圆。基本采用阶梯切削路线, 粗车  $\Phi 56\text{mm}$ 、 $S\Phi 50\text{mm}$ 、 $\Phi 36\text{mm}$ 、 $M30\text{mm}$  各外圆段以及锥长为  $10\text{mm}$  的圆锥段, 留  $1\text{mm}$  的余量。

(2) 自右向左精车各外圆面：螺纹段右倒角一切削螺纹段外圆  $\Phi 30\text{mm}$ —车锥长  $10\text{mm}$  的圆锥—车  $\Phi 36\text{mm}$  圆柱段—车  $\Phi 56\text{mm}$  圆柱段。

(3) 车  $5\text{mm} \times \Phi 26\text{mm}$  螺纹退刀槽, 倒螺纹段左倒角, 车锥长  $10\text{mm}$  的圆锥以及车

5mm×φ34mm 的槽。

(4) 车螺纹。

(5) 自右向左粗车 R15mm、R25mm、SΦ50mm、R15mm 各圆弧面及 30°的圆锥面。

(6) 自右向左精车 R15mm、R25mm、SΦ50mm、R15mm 各圆弧面及 30°的圆锥面。

(7) 切断

#### 4. 相关计算

##### 1) 螺纹加工余量计算

$d' = d - 2 \times 0.62P = 30 - 2 \times 0.62 \times 2 = 27.52\text{mm}$ 。加工余量为  $30 - 27.52 = 2.48\text{mm}$ 。

##### 2) 确定背吃刀量

分五次进刀，按递减规律分布：1.2mm，0.7mm，0.4mm，0.15mm，0.03mm。

#### 5. 参考程序

%3360;	程序号
T0101;	选 1 号外圆车刀，确定工件右端面为对刀点
M03 S450;	主轴正转，转速 450r/min
G00 X57 Z1;	刀具快速定位
G01 X57 Z-170 F80;	粗车φ57 外圆
G00 X58 Z1;	快速退刀
G00 X51 Z1;	快速进刀
G01 X51 Z-113 F80	粗车φ51 外圆
G00 X52 Z1;	快速退刀
G91 G00 Z0;	相对坐标编程，快速进刀
G81 G01 X-5 Z-63 F80;	端面车削循环，切深 5mm
G81 G01 X-5 Z-63 F80;	端面车削循环，切深 5mm
G81 G01 X-5 Z-63 F80;	端面车削循环，切深 5mm
G80;	取消端面车削循环
G00 X-15 Z0;	快速进刀
G81 G01 X-3 Z-25 F80;	端面车削循环，切深 3mm
G81 G01 X-3 Z-25 F80;	端面车削循环，切深 3mm
G00 X0 Z25;	快速退刀
G80;	取消端面车削循环
G90;	绝对值编程
G00 X31 Z-25;	快速进刀
G01 X37 Z-35 F80;	粗车圆台
G01 X37 Z-54;	粗车外圆
G01 X51 Z-84;	粗车圆台
G01 X51 Z-113;	粗车外圆
G00 X52 Z-84;	快速退刀
G01 X47 Z-113;	粗车圆台
G00 X52 Z-84;	快速退刀

G01 X42 Z-113;	粗车圆台
G00 X52 Z-84;	快速退刀
G01 X37 Z-113;	粗车圆台
G00 X52 Z-84;	快速退刀
G00 X42 Z-112;	快速进刀
G01 X57 Z-155 F60;	粗车圆台
G00 X42 Z-112;	快速退刀
G00 X37;	快速进刀
G01 X57 Z-155 F60;	粗车圆台
G00 X42 Z-112;	快速退刀
G00 X31;	快速进刀
G01 X57 Z-155 F60;	粗车圆台
G28 X100 Z100;	返回参考点
M06 T0202;	换刀, 用 T02 切槽刀, 加刀补
G29 X51 Z0;	从参考点返回
M03 S400;	主轴正转, 转速 400r/min
G00 X31 Z-25;	快速进刀
G01 X26 Z-25 F40;	切槽
G00 X31;	快速退刀
Z-23	
G01 X26 Z-23 F40;	切槽
Z-25;	切除 $\phi 26$ 槽内的刀痕
G00 X36;	快速退刀
G00 X57 Z-113;	快速进刀
G01 X34.5 Z-113 F40;	切 $\phi 34$ 的槽
G00 X57 Z-111;	快速退刀
G01 X34.5 Z-111 F40;	切 $\phi 34$ 的槽
G28 X100 Z100;	返回参考点
M06 T0303;	换刀, 用 T03 螺纹刀, 加刀补
G29 X30 Z2;	从参考点返回
G91;	相对值编程
G32 X-1.2 Z-26 F2;	螺纹切削循环
G32 X-0.7 Z-26 F2;	螺纹切削循环
G32 X-0.4 Z-26 F2;	螺纹切削循环
G32 X-0.15 Z-26 F2;	螺纹切削循环
G32 X-0.03 Z-26 F2;	螺纹切削循环
G90;	绝对值编程
G00 X36 Z-45;	快速进刀
G02 X32 Z-54 I60 K-54 F40;	车 R15 的顺圆

G02 X42 Z-69 I80 K-54 F40;	车 R15 的顺圆
G03 X42 Z-99 I0 K-84 F40;	车 SR50 的球
G02 X34 Z-108 I64 K-108 F40;	车 R75 的顺圆
G01 X34 Z-113;	车外圆
G01 X56 Z-155 F60;	车 30°圆锥
G01 X56 Z-165;	车外圆
G28 X100 Z100;	返回参考点
M06 T0202;	换 2 号切断刀, 加刀补
G29 X57 Z-168;	从参考点返回
M03 S400;	主轴正转, 转速 400r/min
G01 X0 Z-168 F40;	切断
G00 X100;	径向快速退刀
Z100;	轴向快速退刀
M05;	
M02;	

【例 4-32】编制如图 4-49 所示轧辊零件的加工程序, 材料为 45 钢, 毛坯为  $\phi 55 \times 18$  的盘料。 $\phi 12^{+0.05}_0$  mm 内孔及倒角和左右两端面已加工过。

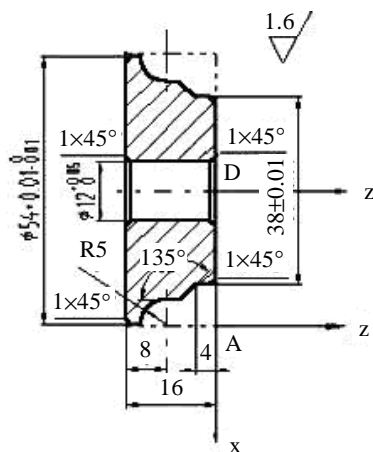


图 4-49 编程与加工实例二

### 1. 刀具设置

根据加工要求, 考虑加工时刀具与工件不发生干涉, 可用一把尖头外圆车刀 (或可转位机夹外圆车刀) 完成粗精加工。

### 2. 夹具设置

以已加工出的  $\phi 12^{+0.05}_0$  mm 内孔及左端面为工艺基准, 用长心轴及左端面定位工件, 工件右端面用压板、螺母夹紧, 用三爪自定心卡盘夹持心轴, 一次装夹完成粗精加工。

### 3. 工艺路线

(1) 粗车外圆。采用阶梯切削路线, 为编程时数值计算方便, 圆弧部分可用同心圆车圆弧法, 分四刀切完; 圆锥部分用相似斜线车锥法分三刀切完。

(2) 自右向左精车外轮廓面。

#### 4. 参考程序

```
%3370
G92 X27.5 Z0;          建立 XOZ 工件坐标系并确定对刀点
S500 M03;
G37 G00 X27.5 Z2;      刀具快速定位，半径编程
G01 X27 F100;          车外圆得  $f$  54mm
Z-18.5
G00 X30;              径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X25.5;                径向快速进刀
G01 Z-10 F100;         粗车外圆得  $\phi$  51mm
G91 G02 X1.5 Z-1.5 I1.5 K0; 粗车圆弧得 R1.5mm
G90 G00 X30;           径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X24;                  径向快速进刀
G01 Z-10 F100;         粗车外圆得  $\phi$  48mm
G91 G02 X3 Z-3 I3 K0;   粗车圆弧得 R3mm
G90 G00 X30;           径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X22.5;                轴向快速进刀
G01 Z-10 F100;         粗车外圆得  $\phi$  45mm
G91 G02 X4.5 Z-4.5 I4.5 K0; 粗车圆弧得 R4.5mm
G90 G00 X30;           径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X21;                  轴向快速进刀
G01 Z-4 F100;          粗车外圆得  $\phi$  42mm
G91 X1.5 Z-1.5;        粗车圆锥
G90 G00 X25;           径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X19.5;                轴向快速进刀
G01 Z-4 F100;          粗车外圆得  $\phi$  39mm
G91 X3 Z-3;            粗车圆锥
G90 G00 X25;           径向快速退刀
Z2;                   轴向快速退刀
X18;                  轴向快速进刀
    G01 Z0 F150 S800;   开始精车外轮廓
    G91 X1 Z-1;         倒角
Z-3;                  精车  $\phi$  38mm 外圆
```

X3 Z-3;	精车 C3 倒角
Z-3;	精车φ 44mm 外圆
G02 X5 Z-5 I5 K0;	精车圆弧得 R5mm
G01 Z-2;	精车φ 54mm 外圆
X-1 Z-1;	倒角
G90 G00 X30;	径向快速退刀
Z150;	轴向快速退刀
M05;	
M02;	

## 4.5 FANUC 0i 系统数控车床编程与加工

### 4.5.1 FANUC 0i 系统数控车床 G 指令（如表 4-5 所示）

表 4-5 FANUC 0i 系统数控车床 G 指令

代码	分组	意义	格式
G00	01	快速进给、定位	G00 X-- Z--
G01		直线插补	G01 X-- Z--
G02		圆弧插补 CW（顺时针）	$\left\{ \begin{matrix} \text{G02} \\ \text{G03} \end{matrix} \right\} \text{X} \text{-----} \text{Z} \text{-----} \left\{ \begin{matrix} \text{R} \text{-----} \\ \text{I} \text{-----} \text{K} \text{-----} \end{matrix} \right\}$
G03		圆弧插补 CCW（逆时针）	
G04	00	暂停	G04 [X U P] X, U 单位：秒； P 单位：毫秒（整数）
G20	06	英制输入	
G21		米制输入	
G28	00	回归参考点	G28 X-- Z--
G29		由参考点回归	G29 X-- Z--
G32	01	螺纹切削（由参数指定绝对和增量）	Gxx X U... Z W... F E... F 指定单位为 0.01mm/r 的螺距。E 指定单位为 0.0001mm/r 的螺旋
G40	07	刀具补偿取消	G40
G41		左半径补偿	$\left\{ \begin{matrix} \text{G41} \\ \text{G42} \end{matrix} \right\} \text{Dnn}$
G42		右半径补偿	
G50	00		设定工件坐标系：G50 X Z 偏移工件坐标系：G50 U W
G53		机械坐标系选择	G53 X-- Z--

(续表)

代码	分组	意义	格式
G54	12	选择工作坐标系 1	GXX
G55		选择工作坐标系 2	
G56		选择工作坐标系 3	
G57		选择工作坐标系 4	
G58		选择工作坐标系 5	
G59		选择工作坐标系 6	
G70	00	精加工循环	G70 Pns Qnf
G71		外圆粗车循环	G71 UΔd Re G71 Pns Qnf UΔu WΔw Ff

4.5.2 FANUC Oi 系统数控车床编程与加工举例

【例 4-33】编制图 4-50 所示零件的精加工程序，图 (a) 中外圆 $\phi 85\text{mm}$  不加工。图 (b) 为刀具布置图及刀具安装尺寸，三把车刀分别用于车外圆、切槽和车螺纹。对刀时，用对刀显微镜以 T01 号刀为准进行，其加工程序如下。

1. 分析图纸要求，按先主后次的加工原则，确定加工路线。

(1) 先从左到右切削外轮廓面。路线为：倒角—螺纹的实际外圆一切削锥度部分一车削 $\phi 62\text{mm}$  外圆—倒角—车 $\phi 80\text{mm}$  外圆一切削圆弧部分一车 $\phi 80\text{mm}$  外圆。

(2) 切  $3\text{mm} \times \phi 45\text{mm}$  的槽。

(3) 车  $\text{M}8 \times 1.5$  的螺纹。

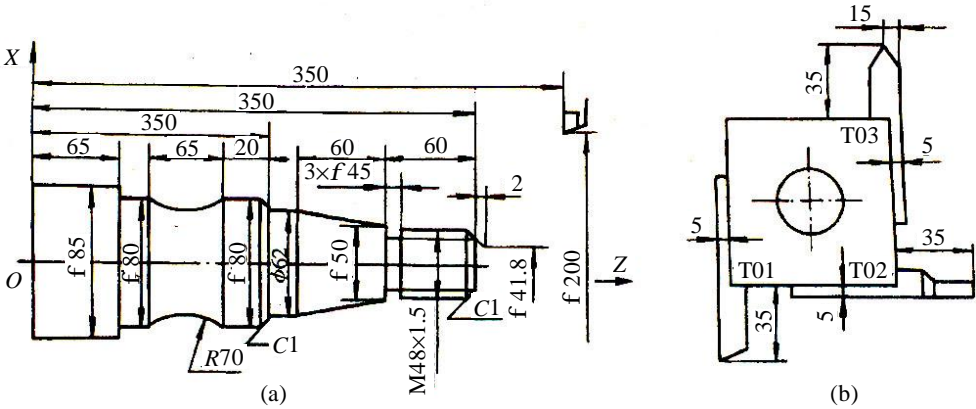


图 4-50

2. 选择刀具并绘制刀具布置图。

根据加工要求：1 号刀车外圆；2 号刀切槽；3 号刀车螺纹。选择换刀点 A 为 (200.0, 350.0) 处。

3. 合理选择切削用量

根据工艺分析，选择如表 4-6 所示切削用量。



表 4-6 切削用量表

切削用量 切削表面	主轴转速 S (r/min)	进给速度 f (mm/r)
车外圆	630	0.15
切槽	315	0.16
车螺纹	200	1.50

#### 4. 编写加工程序

O3031

N01 G50 X200.0 Z350.0;	坐标系设定
N02 S630 M03 T0101 M08;	
N03 G00 X41.8 Z292.0;	
N04 G01 X47.8 Z289.0 F0.15;	倒角
N05 U0 W-59.0;	φ47.8mm
N06 X50.0 W0;	退刀
N07 X62.0W-60.0;	锥度
N08 U0 Z155.0;	φ62mm
N09 X78.0 W0;	退刀
N10 X80.0 W-1.0;	倒角
N11 U0 W-19.0;	车φ80 外圆
N12 G02 U0 W-60.0 R70 I63.25 K-30.0;	圆弧
N13 G01 U0 Z65.0;	车φ80 外圆
N14 X90.0 W0;	
N15 G00 X200.0 Z350.0 M05 T0100 M09;	退刀
N16 X51.0 Z230.0 S315 M03 T0202 M08;	
N17 G01 X45 W0 F0.16;	切槽
N18 G04 X5.0;	延时
N19 G00 X51.0;	退刀
N20 X200.0 Z350.0 M05 T0200 M09;	退刀
N21 G00 X52.0Z296.0 S200 M03 T0303 M08;	
N22 G92 X47.2 Z231.5 F1.5;	切螺纹
N23 X46.6;	
N24 X46.2;	
N25 X45.8;	
N26 G00 X200.0 Z350.0 T0300;	
N27 M30;	

【例 4-34】编制图 4-51 所示零件的加工程序，材料为 45 钢，棒料直径 40mm，棒料长度 120mm。使用刀具、工艺路线、相关计算与例 1 相同。其参考程序如下：

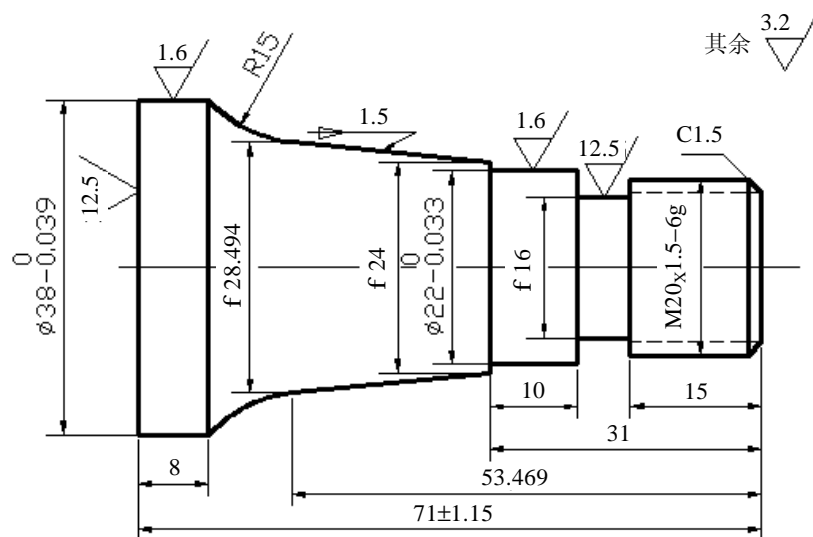


图 4-51

O3032;  
 G54 G98 G21;  
 M3 S800;  
 T0101;  
 G0 X42 Z0;  
 G1 X-0.5 F50;  
 G0 X41 Z2;  
 G71 U1.5 R2;  
 G71 P45 Q90 U0.5 W0.1 F100;  
 N45 G1 X17;  
 Z0;  
 X19.8 Z-1.5;  
 Z-21;  
 X22;  
 Z-31;  
 X24;  
 X28.494 Z-53.469;  
 G2 X38 Z-63 R15;  
 N90 G1 Z-76;  
 /G0 X100;  
 /Z200;  
 /M5;  
 /M0;

程序名  
 用 G54 为工件坐标系，分进给，米制编程  
 主轴正转，转速为 800r/min  
 换 1 号外圆刀，加刀补  
 绝对编程，刀具快速定位  
 车端面，车过中心线，防止留凸块  
 快速到达轮廓循环起点  
 外圆粗车循规蹈矩环，给定加工参数  
 N45~N90 为循环部分轮廓  
 刀具以进给速度轴向移到轮廓起点  
 刀具以进给速度径向移到轮廓起点  
 倒角  
 车削螺纹部分圆柱  
 车削槽处的台阶端面  
 车削  $\phi 22$  外圆  
 车削台阶  
 车削 1 : 5 圆锥  
 车削 R15 顺圆弧  
 车削  $\phi 38$  外圆  
 沿径向退刀  
 沿轴向退刀  
 主轴停  
 程序暂停

M3 S1200;	启动主轴，转速 1200r/min
T0101;	换 1 号外圆刀，加刀补
G0 X42Z2;	刀具快速定位
G70 P45 Q90 F50;	精车循环，N45～N90 为循环部分轮廓
G0 X100;	沿径向退刀
Z200;	沿轴向退刀
/M5;	主轴停
/M0;	程序暂停
M3 S600;	启动主轴，转速 600r/min
T0202;	换 2 号切槽刀，加刀补
G0 X42 Z-19;	刀具快速定位
G75 R0.1;	指定径向退刀量
G75 X16 Z-21 P500 Q3500 R0 F50;	指定槽底、槽宽及加工参数
G0 X100;	沿径向退刀
Z200;	沿轴向退刀
/M3 S600;	启动主轴，转速 600r/min
T0303;	换 3 号螺纹刀，加刀补
G0 X21 Z3;	刀具快速定位
G76 P20160 Q80 R0.1;	设置螺纹循环加工参数
G76 X18.052 Z-17 R0 P974 Q400 F1.5;	设置螺纹循环加工参数
G0 X100;	沿径向退刀
Z200;	沿轴向退刀
/M5;	主轴停
/M0;	程序暂停
/G3 S600;	启动主轴，转速 600r/min
T0202;	换 2 号切槽刀，加刀补
G0 X42 Z-75;	刀具快速定位
G1 X0 F30;	切断进给
X42 F100;	沿径向进给退刀
G0 X100;	沿径向退刀
Z200;	沿轴向退刀
T0101;	换 1 号刀，加刀补，准备后续零件加工
M30;	程序结束
%;	程序结束符
附：G75_切槽循环	
指令 G75R_;	
G75X9u)_Z(W)_P_Q_R_F_;	
R—切槽过程中径向（X）的退刀量	
X—最大切深点的 X 轴绝对标	

Z—最大切深点的 Z 轴绝对坐标

P—切槽过程中径向 (X) 的退刀量 (半径值) (单位:  $\mu\text{m}$ )

Q—径向切完一个刀宽后, 在 Z 的移动量 (单:  $\mu\text{m}$ )

R—刀具切完槽后, 在槽底沿 Z 向的退刀量

## 4.6 SIEMENS 802D 系统数控车床编程与加工

### 4.6.1 Siemens802D 系统数控车床指令

#### 1. Siemens802D 系统数控车床 G 指令 (如表 4-7 所示)

表 4-7 Siemens 系统数控车床 G 指令

分类	分组	代码	意义	格式
插补	1	G0	快速插补 (笛卡儿坐标)	G0 X... Z... G0AP=...RP=...
		G1*	直线插补 (笛卡儿坐标)	G1 X... Z... F... G1AP=...RP=...F...
		G2	在圆弧轨迹上以顺时针方向运行	G2 X... Z... I...J... K... G2 AP=...RP=... G2 X...Y...Z...CR=... G2 AR=... I...J... K... G2 AR=... X... Y...Z... CIP X...Y...Z...I1=...J1=...K1=
		G3	在圆弧轨迹上以逆时针方向运行	G3 X... Z... I...J... K... G3 AP=...RP=... G3 X...Y...Z...CR=... G3 AR=... I...J... K... G3 AR=... X... Y...Z... CIP X...Y...Z...I1=...J1=...K1=
		CIP	圆弧插补 (笛卡儿坐标, 三点圆弧)	CIP X... Z... I1=... K1=...
增量设置	14	G90*	参照当前坐标系原点, 在工件坐标系中编制刀具运行点的程序	G90 或 X=AC (...) Y=AC (...) Z=AC (...)
		G91	参照最新接近点	G91 或 X=IC (...) Y=IC (...) Z=AC (...)
单位	13	G70	英制单位输入	G70
		G71*	公制单位输入	G71

(续表)

分类	分组	代码	意义	格式
选 择 工 作 面	6	G17	工作面 X/Y 进刀方向 Z	G17
		G18*	工作面 Z/X 进刀方向 Y	G18
	9	G53	取消工件坐标设定	G53
工件坐标	8	G54	工件坐标 1	G54
		G55	工件坐标 2	G55
		G56	工件坐标 3	G56
		G57	工件坐标 4	G57
复位	2	G74	回参考点 (原点)	G74 X1=0 Y1=0 Z1=0 A1=0
刀具补偿	7	G40*	解除刀具半径补偿	G40
		G41	激活刀具半径补偿, 刀具沿加 工方向运行至轮廓的右边	G41
		G42	激活刀具半径补偿, 刀具沿加 工方向运行至轮廓的左边	G42
	17	NOR M*	设置刀补开始和结束为正常方 法	
		KONT	设置刀补开始和结束为其他方 法	
	18	G450*	刀补时拐角走圆角	G450 DISC=...
		G451	刀补时到交点时再拐角	G451

## 2. Siemens 系统数控车床的其他指令 (如表 4-8 所示)

表 4-8 Siemens 系统数控车床的其他指令

指令	意义	格式
IF	有条件程序跳 跃	<p><b>LABEL:</b></p> <p>IF expression GOTOB LABEL 或 IF expression GOTOF LABEL</p> <p><b>LABEL:</b></p> <p>IF            条件关键字 GOTOB    带向后跳跃目的的跳跃指令 (朝程序开头) GOTOF    带向前跳跃目的的跳跃指令 (朝程序结尾) LABEL    目的 (程序内标号) LABEL:    跳跃目的; 冒号后面的跳跃目的名 ==        等于 &lt;&gt;        不等于; &gt; 大于; &lt; 小于 &gt;=        大于或等于; &lt;= 小于或等于</p>

(续表)

指令	意义	格式
GOTOB	无条件程序跳跃	标号: GOTOB LABEL 参数意义同 IF
GOTOF	无条件程序跳跃	GOTOF LABEL 标号: 参数意义同 IF
CYCLE93	切槽循环	CYCLE93 (SPD, SPL, WIDG, DIAG, STA1, ANG1, ANG2, RCO1, RCO2, RCI1, RCI2, FAL1, FAL2, IDEP, DTB, VARI) 例: N10 G0 G90 Z65 X50 T1 D1 S400 M3 N20 G95 F0.2 N30 CYCLE93 (35, 60, 30, 25, 5, 10, 20, 0, 0, -2, -2, 1, 1, 10, 1, 5) N40 G0 G90 X50 Z65 N50 M02
CYCLE94	凹凸切削循环	CYCLE94 (SPD, SPL, FORM) 例: N10 T25 D3 S300 M3 G95 F0.3 N20 G0 G90 Z100 X50 N30 CYCLE94 (20, 60, "E") N40 G90 G0 Z100 X50 N50 M02
CYCLE95	毛坯切削循环	CYCLE95 (NPP, MID, FALZ, FALX, FAL, FF1, FF2, FF3, VARI, DT, DAM, _VRT) 例: N110 G18 G90 G96 F0.8 N120 S500 M3 N130 T11 D1 N140 G0 X70 N150 Z60 N160 CYCLE95 ("contour", 2.5, 0.8, .8, 0, 0.8, 0.75, 0.6, 1) N170 M02  PROC contour N10 G1 X10 Z100 F0.6 N20 Z90 N30 Z=AC (70) ANG=150 N40 Z=AC (50) ANG=135 N50 Z=AC (50) X=AC (50) N60 M17

(续表)

指令	意义	格式
CYCLE96	标准螺纹切削	CYCLE96 (DIATH, SPL, FORM) 例: N10 D3 T1 S300 M3 G95 F0.3 N20 G0 G90 Z100 X50 N30 CYCLE96 (40, 60, "A") N40 G90 G0 X30 Z100 N50 M02
CYCLE97	螺纹切削	CYCLE97 (PIT, MPIT, SPL, FPL, DM1, DM2, APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP, NRC, NID, VARI, NUMT) 例: N10 G0 G90 Z100 X60 N20 G95 D1 T1 S1000 M4 N30 CYCLE97 ( , 42, 0, -35, 42, 42, 10, 3, 1.23, 0, 30, 0, 5, 2, 3, 1) N40 G90 G0 X100 Z100 N50 M30
CYCLE98	螺纹链切削	CYCLE98 (PO1, DM1, PO2, DM2, PO3, DM3, PO4, DM4, APP, ROP, TDEP, FAL, IANG, NSP, NRC, NID, PP1, PP2, PP3, VARI, NUMT) 例: N10 G95 T5 D1 S1000 M4 N20 G0 X40 Z10 N30 CYCLE98 (0, 30, -30, 30, -60, 36, -80, 50, 10, 10, 0.92, , , , 5, 1, 1.5, 2, 2, 3, 1) N40 G0 X55 N50 Z10 N60 X40 N70 M02

### 3. Siemens 系统数控车床支持的 M 代码（如表 4-9 所示）

表 4-9 Siemens 系统数控车床支持的 M 代码

代码	意义	功能
M0	编程停止	
M1	选择性暂停	
M2	主程序结束返回程序开头	
M3	主轴正转	
M4	主轴反转	
M5	主轴停转	
M6	换刀（缺省设置）取消刀具	选择第×号刀，×范围：0~32000，T 生效且对应补偿 D 生效
M17	子程序结束	若单独执行子程序则此功能同 M2 和 M30 相同
M30	主程序结束且返回	

#### 4. R 参数

R 参数是 SIEMENS 数控系统所用的参数,SIEMENS802D 共有 250 个 R 参数,其中 R0~R99 可以自由使用, R100~R249 为加工循环传递参数, 若在程序中没有使用加工循环, 则这部分参数也同样可以自由使用。

在编程中, 如果要使用 R 参数, 则应先对 R 参数赋值, 即将某一个具体数据赋给某一个 R 参数。只有在赋值后, 才可使用该 R 参数。例如: R1=20, 表示给 R1 参数赋值为 20, 如果在程序中出现 G91G01Z=R1, 就表示刀具沿 Z 轴直线移动 20mm。

一个程序段中可以有多个 R 赋值语句, 也可以用计算表达式赋值。通过给其他的 NC 地址分配 R 参数或参数表达式, 可以增加 NC 程序的通用性。除地址 N、G、L 外, 可以用数值、算术表达式或 R 参数对任意 NC 地址赋值。赋值时, 在地址符后面写入符号“=”。赋值语句也可以赋值负号。给坐标轴地址(运行指令)赋值时, 要求有一独立的程序段, 例如: G00 X=R2; 就是给 X 轴赋值。

##### 【例 4-35】R 参数赋值编程

O3330	
R1=R1+1;	由原来的 R1 加上 1 后得到新的 R1
R1=R2+R3;	R1 的值为 R2 与 R3 的和
R4=R5-R6;	R4 的值为 R5 与 R6 的差
R7=R8×R9;	R7 的值为 R8 与 R9 的积
R10=R11/R12;	R10 的值为 R11 与 R12 的商
R13=SIN (25.3);	R13 的值等于正弦 25.3 度
R14=R1×R2+R3;	乘法运算优先于加法和减法运算
R15=(R1/R2)-R4;	除法运算优先于加法和减法运算
R16=R3+R2×R1;	乘法运算优先于加法和减法运算
R17=SQRT (R1×R1+R2×R2);	R17=(R1 <sup>2</sup> +R2 <sup>2</sup> ) 开方
M02;	程序结束

在固定循环中, 要先对有固定含义的 R 参数赋值。

#### 4.6.2 SIEMENS802D 编程与加工举例

【例 4-36】编制如图 4-52 所示零件的加工程序, 材料为 45 钢, 棒料直径为 45mm, 棒料长度为 120mm。

##### 1. 刀具设置

1 号刀: 93°正偏刀; 2 号刀: 宽 4mm 切槽刀; 3 号刀: 60°外螺纹车刀。

##### 2. 工艺路线

- (1) 工件伸出卡盘外 85mm, 找正后夹紧。
- (2) 用 93°外圆刀车工件右端面, 粗车外圆至  $\Phi 38.5 \times 80$ 。
- (3) 先车出  $\phi 30.5 \times 40$  圆柱, 再车出  $\phi 22.5 \times 20$  圆柱。
- (4) 用车圆法车右端圆弧, 车圆锥, 分别留 0.5mm 精车余量。
- (5) 精车外形轮廓至尺寸。
- (6) 切退刀槽, 并用切槽刀右刀尖倒出 M38\*3 螺纹左端 C2 倒角。



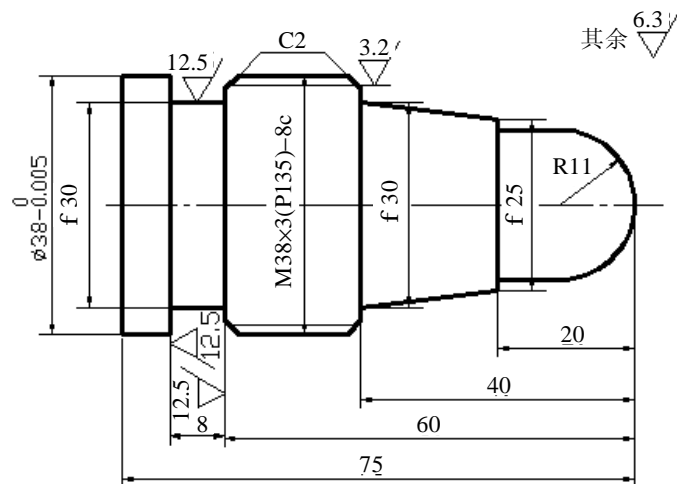


图 4-52 SIEMENS802D 编程与加工实例一

(7) 换螺纹刀车双头螺纹。

(8) 切断工件。

### 3. 相关计算

(1) 计算双头螺纹 M38×3 (P1.5) 的底径:

$$d' = d - 2 \times 0.62P = 38 - 2 \times 0.62 \times 1.5 = 36.14\text{mm}$$

(2) 确定背吃刀量分布:

加工余量为:  $38 - 36.14 = 1.86\text{mm}$ , 按递减规律分布, 分四次进给。进给量分别为: 1mm, 0.5mm, 0.3mm, 0.06mm。

### 4. 参考程序:

% N SL1 MPF;	程序名
;\$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式
G90G94G54;	绝对值编程, 分进给, G54 为工件坐标系
M03S600;	主轴正转, 转速 600r/min
T1D1M08;	换 1 号外圆刀, 加刀补, 切削液开启
G00X45Z0;	刀具快速定位
G01X0F80;	车端面
G00X38.5Z2;	快速退刀
G01Z-80F150;	粗车外圆
G00X42Z2;	快速退刀
X43;	快速进刀
G01Z-40;	粗车外圆
G00X42Z2;	快速退刀
X26;	快速进刀
G01Z-20;	粗车外圆
G00X30Z2;	快速退刀

X22.5;	快速进刀
G01Z-20;	粗车外圆
G00X30Z2;	快速退刀
X0;	快速进刀
G03X26Z-11R=13F100;	车 R13 圆弧
G00Z0.5;	快速退刀
X0;	快速进刀
G03X23Z-11CR=11.5;	车 R11.5 圆弧
G00X25.5Z-18;	快速进刀
G01X25.5Z-20;	慢速进刀
X30.5Z-40;	车圆锥
G00X100Z100;	快速退刀至换刀点
M03S1200;	主轴变速, 转速 1200r/min
G00X2Z2;	快速进刀
G01X0Z0F60;	慢速进刀
G03X22Z-11CR=11;	精车 R11 圆弧
G01Z-20;	精车 $\phi 22$ 的外圆
X25;	精车台阶
X30Z-40;	精车圆锥
X34;	精车台阶
X37.8Z-42;	倒角
Z-60;	精车 M38 螺纹外圆至 37.8
X37.975;	取公差中间值
Z-80;	精车 $\phi 38$ 的外圆
G00X100Z100;	快速退刀至换刀点
T2D1;	换 2 号切槽刀, 加刀补
M03S420;	主轴正转, 转速 420r/min
G00X40Z-64;	快速进刀
G01X30.2F30;	切槽至 $\phi 30.2$
G00X40;	快速径向退刀
Z-68;	快速轴向进刀 4mm
G01X30F30;	切槽 $\phi 30$
Z-64;	向右横切 4mm, 消除切刀接缝线
G00X40;	快速径向退刀
Z-61;	快速轴向进刀
G01X34Z-64F30;	倒角
G00X100;	快速径向退刀
Z100;	快速轴向进刀
T3D1;	换 3 号螺纹刀, 加刀补

M03S600;	主轴正转, 转速 600r/min
G00X37Z-34;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第一条螺纹
G00X36.5;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第一条螺纹
G00X36.2;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第一条螺纹
G00X36.14;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第一条螺纹
G00X37Z-35.5;	快速进刀, 与第一条螺纹的起刀点错开一个螺距
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第二条螺纹
G00X36.5;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第二条螺纹
G00X36.2;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第二条螺纹
G00X36.14;	快速进刀
LWJG;	调车削螺纹子程序, 车第二条螺纹
G00X100Z100;	快速退刀至换刀点
T2D1;	换 2 号切槽刀, 加刀补
M03S420;	主轴变速, 转速 420r/min
G00X42Z-79;	快速进刀
G01X0F30;	切断
G00X100;	快速径向退刀
Z100;	快速轴向退刀
M09;	冷却液关
M05;	主轴停
M02;	主程序结束
%LWJG;	螺纹切削循环
G91G33Z-28K3;	车削螺纹
G00X10;	快速径向退刀
Z28;	快速轴向退刀
G90;	换回绝对坐标编程
M17;	子程序结束

【例 4-37】编制如图 4-53 所示零件的加工程序。材料为 45 钢, 棒料直径为 40mm, 棒料长度为 110mm。

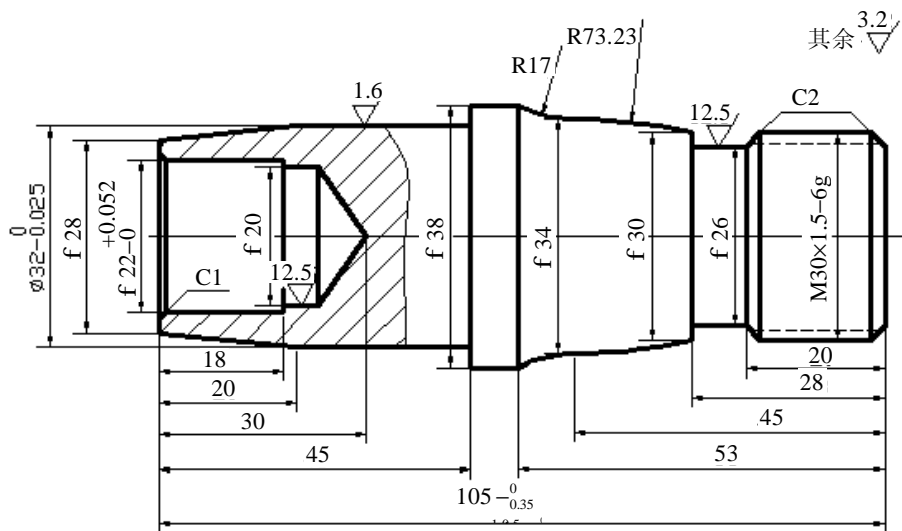


图 4-53 SIEMENS802D 编程与加工实例二

### 1. 刀具设置

1 号刀：93°正偏刀；2 号刀：宽 4mm 切槽刀；3 号刀：60°外螺纹车刀；4 号刀：内孔镗刀。

### 2. 工艺路线

- (1) 夹右端，手动车左端面，用 $\phi 20\text{mm}$ 麻花钻钻 $\phi 20$ 底孔。
- (2) 用 1 号外圆刀，LCYC95 轮廓循环粗精车左端外开轮廓。
- (3) 用 4 号刀镗 $\phi 22$ 内孔。
- (4) 调头夹 $\phi 32$ 外圆，用 1 号外圆刀车右端面，车对总长，用 LCYC95 轮廓循环粗精车右端外开轮廓。
- (5) 用 2 号切槽刀、LCYC93 切槽循环切 $\phi 26$ 螺纹退刀槽，并用切槽刀右刀尖倒出 M30 $\times$ 1.5 螺纹左端 C2 倒角。
- (6) 用 3 号螺纹刀、LCYC97 螺纹车削循环车 M30 $\times$ 1.5 螺纹。

### 3. 参考程序

#### (1) 左端加工主程序

% N ZL12 MPF;	程序名
;\$PATH=/ N MPF DIR;	传输路线
G94 G00;	绝对值编程，分进给
G158 X0 Z62;	采用可编程零点偏移
M03 S600;	主轴正转，转速 600r/min
T1 D1 M08;	用 1 号刀，加刀补，切削液开
G00 X45 Z0;	快速进刀
G01 X18 F30;	车端面
G00 X45 Z5;	快速退刀
CNAME="ZDWXJG" ;	轮廓循环子程序定义

R105=1;	加工方式：纵向、外圆、粗加工
R106=0.25;	精加工余量 0.25mm（半径值）
R108=1.5;	粗加工背吃刀量 1.5mm（半径值）
R109=7;	粗加工切入角 7°
R110=2;	粗加工退刀量 2mm（半径值）
R111=100;	粗加工进给率 100mm/min
LCYC95;	调用轮廓粗加工循环
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S1200;	主轴变速，转速 1200r/min
T1 D1 F50;	用 1 号刀，加刀补
ZDWXJG;	调用左端外形轮廓精加工子程序
G00 X100 Z100;	快速退刀至换刀点
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S600;	主轴变速，转速 600r/min
T4 D1;	换 4 号内孔镗刀，加刀补
G00 X21.5 Z2;	快速进刀
G01 Z-18 F100;	镗内孔至 $\phi 21.5$
X19;	径向退刀
G00 Z100;	轴向快速退刀
X100;	径向快速退刀至换刀点
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S1200;	主轴变速，转速 1200r/min
G00 X22.026 Z2;	快速进刀
G01 Z-18 F50;	以公差中间值镗 $\phi 22$ 内孔
X19;	径向退刀
G00 Z2;	轴向快速退刀
X26 Z1;	快速进刀
G01 X22 Z-1 F30;	倒孔口 C1 倒角
X19;	径向退刀
G00 Z100;	轴向快速退刀
X100;	径向快速退刀至换刀点
M05 M09;	主轴停，冷却液关
M02;	主程序结束
% N ZDWXJG MPF;	左端外形轮廓加工子程序名
;\$PATH=/ N MPF DIR;	传输路线
G01 X28 Z0;	刀具慢速移动到切削起点

X31.9875 Z-20;	车外圆锥
Z-45;	车外圆
X38;	车端面
Z-55;	车外圆
RET;	子程序结束
(2) 右端加工主程序 (调头装夹)	
% N YS12 MPF;	右端加工主程序名
;\$PATH=/ N MPF DIR;	传输路线
G94 G90;	绝对值编程, 分进给
G158 X0 Z60;	采用可编程零点偏移
M03 S600;	主轴正转, 转速 600r/min
T1 D1 M08;	用 1 号刀, 加刀补, 冷却液开
G00 X45 Z0;	快速进刀
G01 X0 F80;	车外圆
G00 X45 Z5;	快速进刀
CNAME= "YDWXJG";	右端轮廓循环子程序定义
R105=1;	加工方式: 纵向、粗车、外圆
R106=0.25;	精加工余量 0.25mm (半径值)
R108=1.5;	粗加工背吃刀量 1.5mm (半径值)
R109=7;	粗加工切入角 7°
R110=2;	粗加工退刀量 2mm (半径值)
R111=100;	粗加工进给率 100mm/min
LCYC95;	调用轮廓粗加工循环
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S1200;	主轴变速, 转速 1200r/min
T1 D1 F50;	用 1 号刀, 加刀补
YDWXJG;	调用右端轮廓循环子程序
G00 X100 Z100;	快速退刀至换刀点
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S420 F30;	主轴变速, 转速 600r/min
T2 D1;	用 1 号切刀, 加刀补
G00 Z-24;	轴向快速进刀
X33;	径向快速进刀
R100=30;	切槽起始点直径 30mm
R101=-24;	切槽起始点 Z 值为-24mm
R105=5;	切槽方式: 纵向、外部、从右往左切
R106=0.1;	精加工余量 0.1mm (半径值)

R107=4;	切槽刀宽 4mm
R108=1;	每次切入深度 1mm
R114=8;	槽宽 8mm
R115=2;	槽深 2mm
R116=0;	切槽斜角 0°
R117=0;	槽沿倒角 0°
R118=0;	槽底倒角 0°
R119=0;	槽底停留时间 0 秒
LCYC93;	切槽循环
G00 X32;	径向快速退刀
Z-21;	轴向快速进刀
G01 X26 Z-24;	倒 C2 倒角
G00 X100;	径向快速退刀
Z100;	轴向快速退刀
/M05;	主轴停
/M00;	程序暂停
M03 S600;	主轴变速, 转速 600r/min
T3 D1;	换 3 号螺纹刀, 加刀补
R100=30;	螺纹起点直径 30mm
R101=0;	螺纹轴向起点坐标
R102=30;	螺纹终点直径 30mm
R103= -20;	螺纹轴向终点坐标
R104=1.5;	螺纹导程 1.5mm
R105=1;	螺纹加工类型: 外螺纹
R106=0.05;	螺纹精加工余量 0.05mm (半径值)
R109=4;	空刀导入量 4mm
R110=3;	空刀导出量 3mm
R111=0.93;	螺纹牙深度 0.93mm (半径值)
R112=0;	螺纹起始点偏移
R113=8;	螺纹粗切次数 8 次
R114=1;	螺纹线数
LCYC97;	调用螺纹切削循环
G00 X100 Z100;	刀具快速退至换刀点
M05 M09;	主轴停, 冷却液关
M02;	主程序结束
% N YDWXJG MPF;	右端轮廓循环子程序名
;\$PATH=/ N MPF DIR;	传输路线
G01 X26 Z0;	刀具工进至切削起点
X29.8 Z-2;	倒角

Z-28;	车外圆
G03 X34 Z-45 CR=73.25;	车 R73.25 的圆弧
G02 X38 Z-53 CR=17;	车 R17 的圆弧
G01 X41;	慢速退刀
RET;	子程序结束

## 4.7 典型车削零件的编程与加工

【例 4-38】编制如图 4-54 所示的轴类零件的加工程序。毛坯为直径 60mm，长 280mm 的棒料，右端面已加工并钻有中心孔，材料为 45 钢。

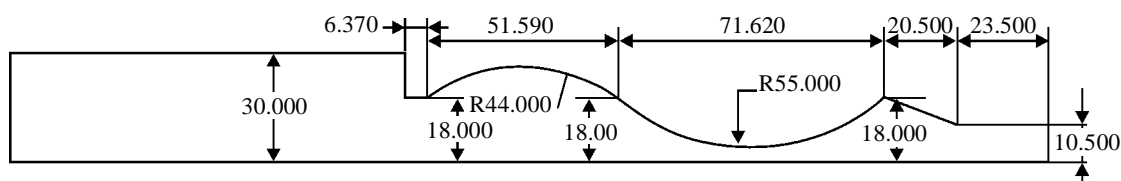


图 4-54 典型零件的编程与加工实例一

### 1. 刀具设置

根据加工要求，考虑加工时刀具与工件不发生干涉，可用一把尖头外圆车刀（或可转位机夹外圆车刀）完成外轮廓的粗精加工（T01）。另外用（T02）宽 4mm 的切断刀切断工件。

### 2. 夹具设置

用三爪自定心卡盘夹持毛坯外圆，工件伸出卡盘外 200mm，工件右端用顶尖。一次装夹完成粗精加工。

### 3. 工艺路线

根据零件的外形，采用有凹槽粗车复合循环进行加工。采用工件右端面中心点为工件坐标系原点。用 G54 作为工件坐标系。

### 4. 参考程序

%3380	
T0101;	用 1 号外圆刀，确定工件坐标系，带刀偏值
M03S400;	主轴正转，转速 400r/min
G00X62Z1;	刀具快速定位
G71U1R1P100Q200E0.3F100;	有凹槽粗车复合循环
N100 G00X21Z1;	精加工开始，刀具快速到达切削起点
G01G42W-25D01;	右刀补，车 $\phi$ 54mm 外圆
U15W-20.5;	精车圆锥
G02U0Z-116.62R55.0;	精车 R55 的顺圆
G03U0W-51.59R44.0;	精车 R44 的逆圆
G01W-6.37;	精车 $\phi$ 36mm 的外圆
U14.0;	精车端面
N200G40G00X62;	精加工结束，取消刀补



G00X80Z100;	刀具快速退到换刀点
T0202;	用 2 号切断刀，带刀偏值
G00X62Z-180;	刀具快速定位
G01X00F30;	切断
G00X62;	径向快速退刀
Z100;	轴向快速退刀
M05;	主轴停
M30;	程序结束并复位

【例 4-39】编制如图 4-55 所示零件的加工程序。材料为 45 钢，棒料直径  $\Phi 54\text{mm}$ ，长 200mm。

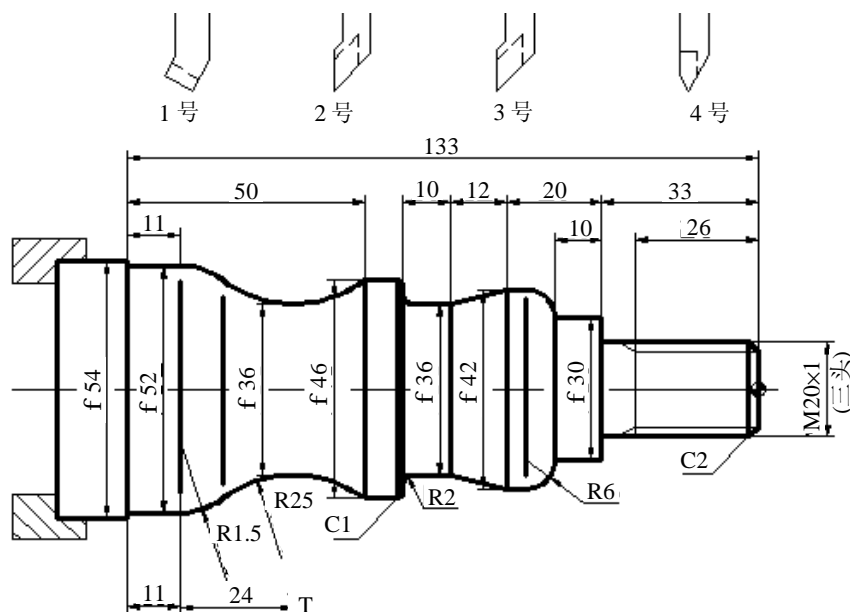


图 4-55 典型零件的编程与加工实例二

#### 1. 刀具设置

1 号刀为端面车刀，2 号刀为外圆粗加工刀，3 号刀为外圆精加工刀，4 号刀为螺纹刀。

#### 2. 夹具设置

用三爪自定心卡盘夹持毛坯外圆，工件伸出卡盘外 150mm，找正后夹紧。

#### 3. 工艺路线

- (1) 选择 1 号端面刀，用 G81 指令，进行端面循环加工。
- (2) 选择 2 号外圆刀，用 G80 指令，进行外圆粗车循环加工。
- (3) 用 G71 指令，进行有凹槽粗车复合循环加工工件轮廓，留精车余量。
- (4) 换 3 号外圆刀精加工工件轮廓至尺寸。
- (5) 换 4 号螺纹刀，用 G82 螺纹循环加工三线螺纹。

#### 4. 相关计算

$d' = d - 2 \times 0.62P = 20 - 2 \times 0.62 \times 1 = 18.76\text{mm}$ 。背吃刀量为 1.24mm，分三次加工。分别

为：0.7mm，0.4mm，0.14mm。

### 5. 参考程序

%3390	
T0101;	换一号端面刀，确定其坐标系，带刀偏值
M03 S500;	主轴以 400r/min 正转
G00 X100 Z80;	到程序起点或换刀点位置
G00 X60 Z5;	到简单端面循环起点位置
G81 X0 Z1.5 F100;	简单端面循环，加工过长毛坯
G81 X0 Z0;	简单端面循环加工，加工过长毛坯
G00 X100 Z80;	到程序起点或换刀点位置
T0202;	换二号外圆粗加工刀，确定其坐标系，带刀偏值
G00 X60 Z3;	到简单外圆循环起点位置
G80 X52.6 Z-133 F100;	简单外圆循环，加工过大毛坯直径
G01 X54;	到复合循环起点位置
G71 U1 R1 P16 Q32 E0.3;	有凹槽外径粗切复合循环加工
G00 X100 Z80;	粗加工后，到换刀点位置
T0303;	换三号外圆精加工刀，确定其坐标系
N16G00 G42 X70 Z3;	到精加工始点，加入刀尖圆弧半径补偿
G01 X10 F100;	精加工轮廓开始，到倒角延长线处
X19.95 Z-2;	精加工倒 2×45°角
Z-33;	精加工螺纹外径
G01 X30;	精加工 Z33 处端面
Z-43;	精加工φ30 外圆
G03 X42 Z-49 R6;	精加工 R6 圆弧
G01 Z-53;	精加工φ42 外圆
X36 Z-65;	精加工下切锥面
Z-73;	精加工φ36 槽径
G02 X40 Z-75 R2;	精加工 R2 过渡圆弧
G01 X44;	精加工 Z75 处端面
X46 Z-76;	精加工倒 1×45°角
Z-84;	精加工φ46 槽径
G02 Z-113 R25;	精加工 R25 圆弧凹槽
G03 X52 Z-122 R15;	精加工 R15 圆弧
G01 Z-133;	精加工φ52 外圆
N32 G01 X54;	退出已加工表面，精加工轮廓结束
G00 G40 X100 Z80;	取消半径补偿，返回换刀点位置
M05;	主轴停
T0404;	换四号螺纹刀，确定其坐标系
M03 S200;	主轴以 200r/min 正转
G00 X30 Z5;	到简单螺纹循环起点位置

G82X19.3Z-20R-3E1C2P120F3;	加工两头螺纹, 吃刀深 0.7
G82X18.9Z-20R-3E1C2P120F3;	加工两头螺纹, 吃刀深 0.4
G82X18.76Z-20R-3E1C2P120F3;	加工两头螺纹, 吃刀深 0.14
G82X18.76Z-20R-3E1C2P120F3;	光整加工螺纹
G76C2R-3E1A60X18.76Z-20 K0.65U0.1V0.1Q0.6P240F3;	加工第三头螺纹
G00 X100 Z80;	返回程序起点位置
M30;	主轴停、主程序结束并复位

【例 4-40】编制如图 4-56 所示零件的加工程序。零件外径为  $\Phi 60\text{mm}$ , 已经加工。零件长 60mm, 孔径为  $\Phi 36\text{mm}$ , 材料 45 钢。

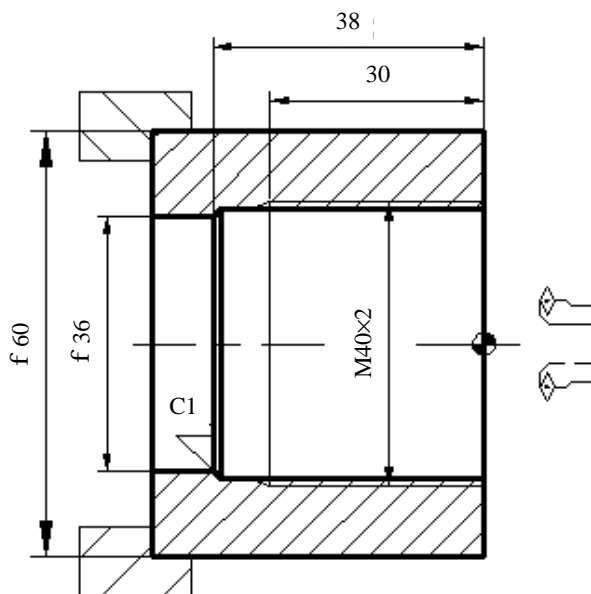


图 4-56 典型车削零件实例三

#### 1. 刀具设置

1 号刀为内圆车刀, 2 号刀为  $60^\circ$  内螺纹车刀。

#### 2. 夹具设置

用三爪自定心卡盘夹持零件外圆, 零件伸出卡盘外 45mm, 找正后夹紧。

#### 3. 工艺路线

- (1) 车右端面。
- (2) 加工螺纹。

#### 4. 相关计算

内螺纹小径  $d' = d - 2 \times 0.62P = 40 - 2 \times 0.62 \times 2 = 37.52$ , 加工余量为 2.48mm, 分五次切削, 其背吃刀量分布为: 0.9mm, 0.6mm, 0.6mm, 0.3mm, 0.08mm。

#### 5. 参考程序

%3400

T0101;

M03 S300;

换一号内孔车刀, 确定其坐标系

主轴以 400r/min 正转

G00 X100 Z100;	到程序起点或换刀点位置
X34 Z4;	到简单外圆循环起点位置
G80 X37.52 Z-38 F80;	加工到螺纹小径
G00 X100 Z100;	到换刀点位置
T0202;	换二号内螺纹车刀，确定其坐标系
G00 X34 Z4;	到螺纹简单循环起点位置
G82 X38.42 Z-30 R-4 E1.3 F2;	加工螺纹，吃刀深 0.9
G82 X39.02 Z-30 R-4 E1.3 F2;	加工螺纹，吃刀深 0.6
G82 X39.62 Z-30 R-4 E1.3 F2;	加工螺纹，吃刀深 0.6
G82 X39.92 Z-30 R-4 E1.3 F2;	加工螺纹，吃刀深 0.3
G82 X40 Z-30 R-4 E1.3 F2;	加工螺纹，吃刀深 0.08
G00 X100 Z100;	到程序起点或换刀点位置
M05 M30;	主轴停、主程序结束并复位

## 本章小结

本章主要介绍了数控车削编程中的基础知识，包括控制车床功能的基本指令、控制车削的基本指令、刀具补偿功能。着重讲解了华中世纪星、FANUC 0i 和 SIEMENS 802D 系统数控车床的编程与加工方法。本章是本教材的重点章节之一，读者可以根据自己的需要从上述三种常用数控系统车床编程与加工方法中有选择地学习。

## 4.8 数控车床的编程与加工实训

### 实训课题一 车削对刀与 MDI 加工

#### 实训目的

1. 熟悉车床数控系统的操作面板；
2. 练习手动启停主轴，手工驱动各坐标轴；
3. 熟悉车床数控系统的界面，掌握 MDI 的基本操作。

#### 二、实训内容

1. 开机与停机；
2. 手动启停主轴；
3. 手工驱动各坐标轴；
4. 熟悉车床数控系统的界面，练习 MDI 的基本操作；
5. 安装工件，手工对刀；
6. 练习用 G54 工件坐标系对刀。

#### 三、实训要求

1. 注意安全，文明生产；

2. 按实训内容写出实训操作步骤;
3. 注意记录实训操作内容和步骤;
4. 对 MDI 的各项操作做详细记录;
5. 任何时候都只能一个人操作机床。

#### 四、实训时间

每人两学时。

#### 五、实训报告要求

1. 写出各机床的开机步骤;
2. 写出手工驱动各坐标轴到指定位置的步骤;
3. 绘制车床数控系统的主菜单;
4. 记录 MDI 的操作内容和步骤。

### 实训课题二 简单轴类零件加工

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统指令的应用;
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法;
3. 练习数控车床的基本操作;
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中;
5. 学习对数控加工零件进行检验。

#### 二、实训内容

编制如图 4-57 所示零件的加工程序。毛坯为  $\phi 45 \times 120\text{mm}$  的尼龙棒料，数控车削端面、外圆。

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 对刀;
6. 自动加工;
7. 检验加工零件。

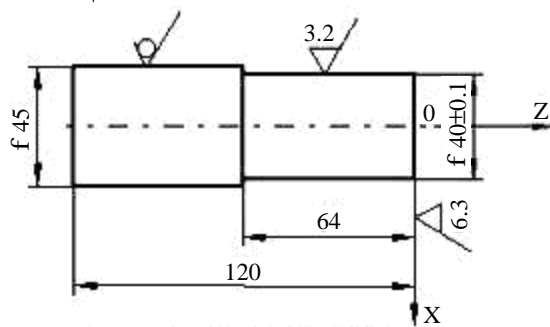


图 4-57 简单轴类零件加工

#### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求;
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序;
3. 输入程序要细心;
4. 对刀要精确到 0.001mm;
5. 自动加工之前要仔细校验程序;
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机两小时。

#### 五、实训报告参考格式

班级		课题		学时数	共 页
姓名					第 页
零件图					
工 艺 分 析	1			程序:	
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
批阅老师			日期		

### 实训课题三 多刀轴类零件加工

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统指令的应用;
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法;
3. 练习数控车床的基本操作;
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中;
5. 学习对数控加工零件进行检验。

#### 二、实训内容

编制如图 4-58 所示零件的加工程序。毛坯为 $\phi 34 \times 100\text{mm}$ 的棒料，材料为 45 钢。

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 校验程序;
6. 对刀;
7. 自动加工;
8. 检验加工零件。

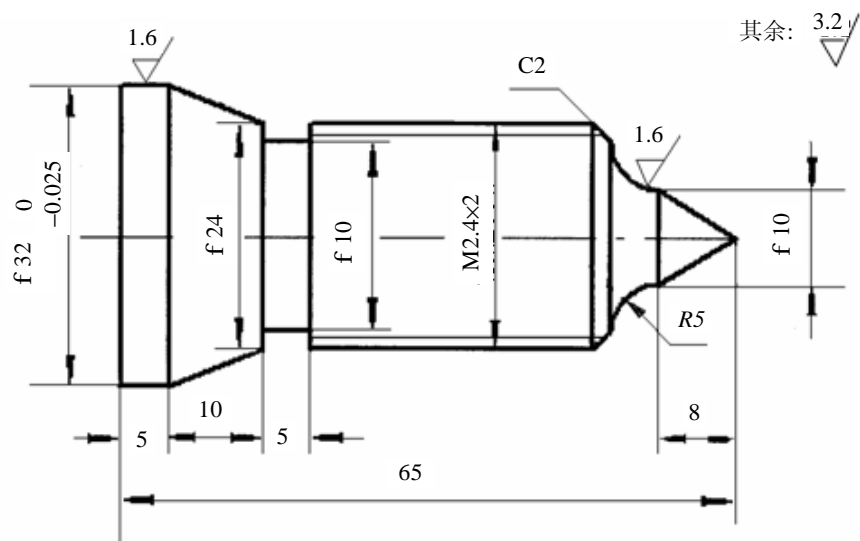


图 4-58 多刀轴类零件加工

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求；
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序；
3. 输入程序要细心；
4. 对刀要精确到 0.001mm；
5. 自动加工之前要仔细校验程序；
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

### 四、实训时间

每人上机两小时。

### 五、实训报告（同上）

## 实训课题四 综合车削加工

### 一、实训目的

1. 学习数控系统指令的应用；
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法；
3. 练习数控车床的基本操作；
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中；
5. 学习对数控加工零件进行检验。

### 二、实训内容

编制如图 4-59 所示零件的加工程序。毛坯为 $\phi 62 \times 240\text{mm}$ 的棒料，材料为 45 钢。

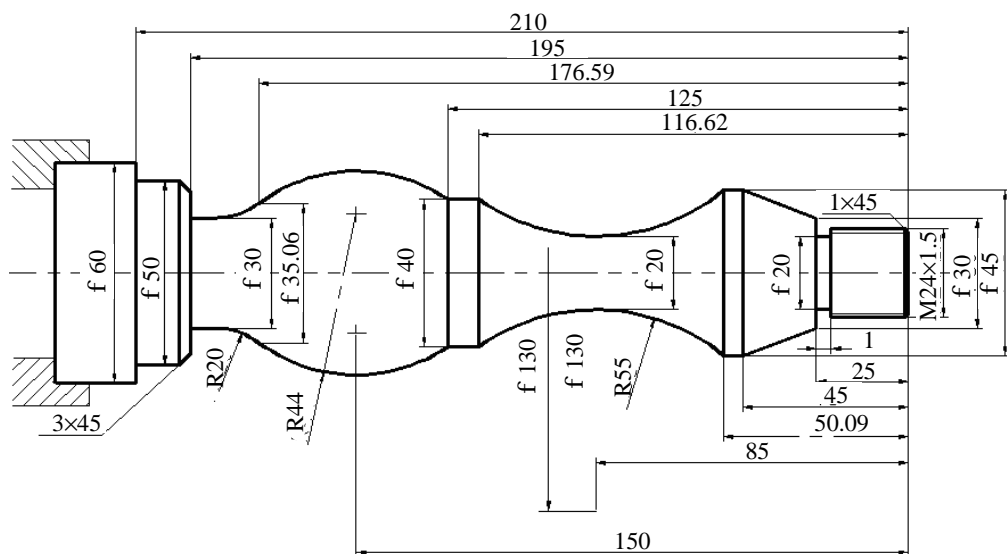


图 4-59 综合车削加工

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 校验程序;
6. 对刀;
7. 自动加工;
8. 检验加工零件。

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求;
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序;
3. 输入程序要细心;
4. 对刀要精确到 0.001mm;
5. 自动加工之前要仔细校验程序;
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

### 四、实训时间

每人上机两小时。

### 五、实训报告（同上）

## 练 习 题

### 一、填空题

1. 控制主轴正转的 M 代码是（ ）。



2. 模态指令一旦在程序段中使用，便一直（ ）。
3. T0202 的含义是（ ）。
4. 程序暂停后需要继续执行程序，需要按（ ）按钮。
5. 选择暂停指令 M01 起作用的条件是（ ）。
6. 执行指令 G92X30Z0，对刀点在工件坐标系中的坐标值是（ ）。
7. 执行指令 G92X60Z100，工件坐标系原点离对刀点的距离是（ ）。
8. 执行指令 G92X0Z10 时，刀具（ ）动。
9. 执行指令 G54 时，刀具（ ）动。
10. G54 指令的坐标原点（ ）由程序指定。
11. G54 指令的坐标原点与刀具当前的位置（ ）。
12. 执行指令 G90G00X0Z10 后，刀具的位置是（ ）。
13. 执行指令 G91G00X0Z10 后，刀具的位置沿 X 方向（ ），沿 Z 方向（ ）。
14. 执行指令 G00X0Z10 时，刀具移动的速度是（ ）。
15. 执行指令 G90G01X20Z10F100 后，刀具的位置是（ ），刀具移动的速度是（ ）。
16. 圆弧切削方向的判别方法是（ ）。
17. 上位刀的车削程序与下位刀的车削程序是（ ）。
18. 用 I、K 指令圆弧的圆心时，I、K 始终是（ ）。
19. 对小于 180°的圆弧，半径 R 用（ ）表示。
20. 必须用 I、K 指令（ ）。
21. 螺纹切削指令 G32 中的 P 值为（ ），在加工多线螺纹时 P 值为（ ）。
22. G91G80X Z F 指令中的 X、Z 值是（ ）。
23. G90G80X Z I F 指令中的 I 值是（ ）。

## 二、判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. 模态指令仅在其使用的程序段中有效。（ ）
2. G20 指令的功能是：编程时使用的单位为英制单位。（ ）
3. 指令 G94 的功能是：刀具每分钟的进给速度。（ ）
4. 使用恒线速度功能时，主轴必须能自动变速。（ ）
5. G92 指令的功能就是建立工件坐标系的原点到刀具的对刀点之间的联系。（ ）
6. 用 G54 建立工件坐标系时，程序与工件的位置无关，也与刀具的位置无关。（ ）
7. G00 指令着眼于刀具快速移动后的刀具定位位置。（ ）
8. 执行 G00 指令时，刀具移动的轨迹可以是直线，也可以是折线。（ ）
9. 在 G28 的程序段中不仅产生坐标轴的移动指令，而且记忆了中间点的坐标值。（ ）
10. 螺纹车削加工为成型车削，一般要求分数次进行。（ ）
11. 用 G32 车螺纹时，刀具作循环运动。（ ）
12. 外圆柱面车削循环，刀具有四个方向的运动。（ ）

## 三、简答题

1. S 指令两种格式的使用有何区别？
2. 用 T 指令还要工件坐标系指令吗？

3. F 指令有几种指令格式?
4. 在什么条件下 M01 指令不起作用?
5. 机床操作面板上的进给倍率开关调整哪条指令的进给速度?
6. 什么是恒线速度切削?
7. 怎样设定工件坐标系指令 G92 后的坐标值?
8. 简述对刀点的选择原则。
9. G54 的坐标原点是怎样确定的?
10. 指令 G90 后面的坐标值代表什么含义?
11. 指令 G91 后面的坐标值代表什么含义?
12. 为什么车削编程总是用直径值?
13. 快速定位指令 G00 的着眼点是在刀具运动之前还是在刀具运动之后?
14. 简述主、子程序调用关系。
15. 怎样知道主程序调用了几次子程序?
16. 直线切削指令 G01 是着眼于直线还是着眼于终点?
17. 怎样确定圆弧的切削方向?
18. 能用半径 R 指令整圆的圆心吗?
19. 怎样计算圆心坐标的 I 值?
20. 怎样确定直线后倒角指令中的交点坐标?
21. 螺纹切削为什么要分多次进刀?
22. 怎样按经验公式计算螺纹的背吃刀量?
23. 外圆柱面车削循环能用于内孔切削吗?
24. 怎样确定外圆锥面车削循环中的 I 值?
25. 平端面车削循环中刀具是怎样运动的?
26. 圆柱螺纹切削循环指令 G82 中的 P 是什么含义?
27. 怎样理解复合循环切削?
28. 无凹槽与有凹槽外圆粗车复合循环有什么区别?
29. 闭环粗车复合循环指令 G73 常用于什么情况?
30. 螺纹切削复合循环的刀具是怎样运动的?
31. 什么是左刀补? 什么是右刀补?
32. 简述 FANUC 0i 数控车床系统的机床回零操作。
33. 简述 FANUC 0i 数控车床的试切对刀操作。
34. 简述 FANUC 0i 数控车床的 MDI 操作。
35. 简述 SIEMENS 802D 数控车床系统的机床回零操作。
36. 简述 SIEMENS 802D 数控车床的试切对刀操作
37. 简述 SIEMENS 802D 数控车床的 MDA 操作。
38. 简述华中世纪星数控车床系统的机床回零操作。
39. 简述华中世纪星数控车床的试切对刀操作。
40. 简述华中世纪星数控车床的 MDI 操作。

四、编写图 4-60 所示各零件的数控车削程序。

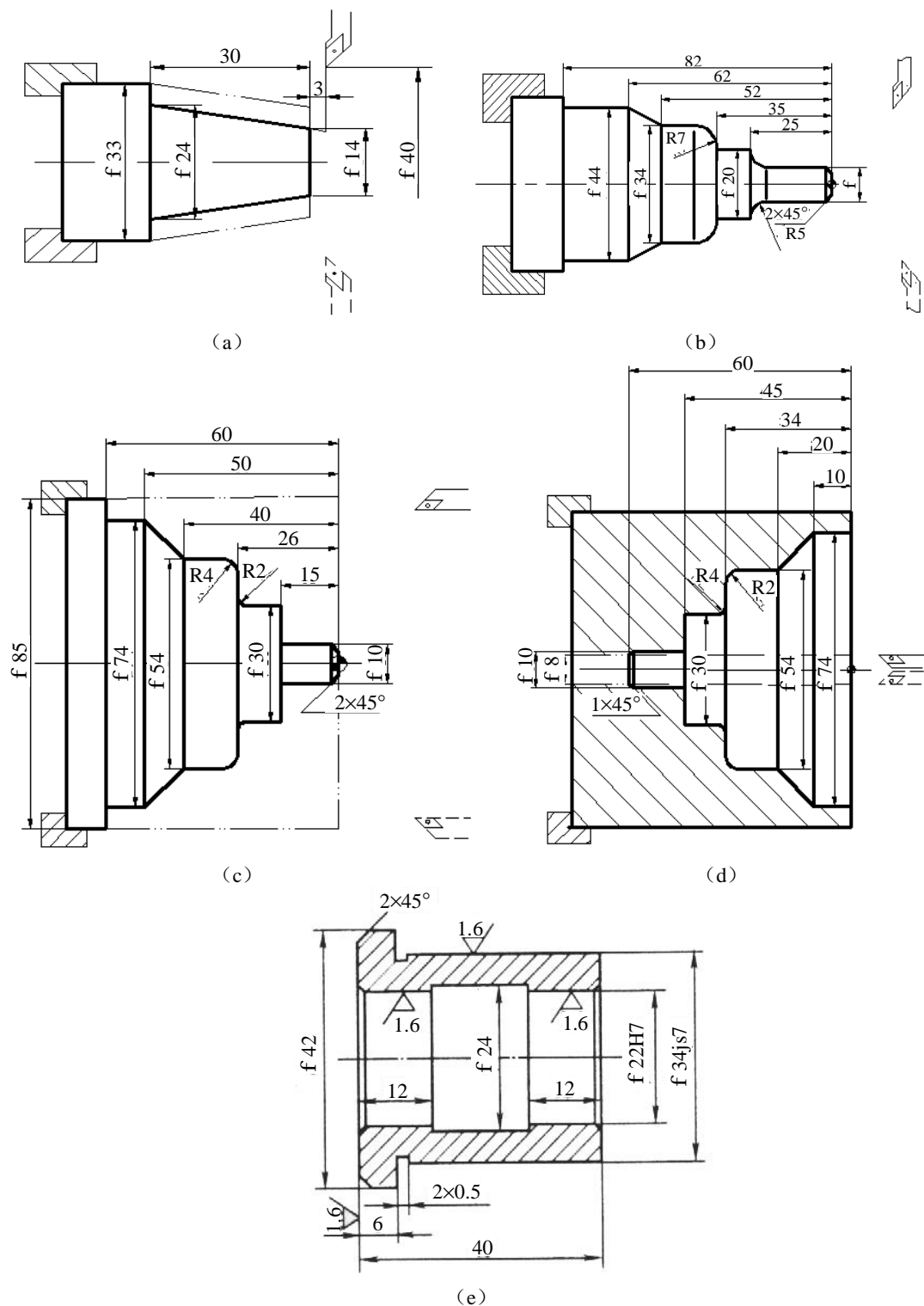


图 4-60 数控车编程实例

## 第五章 数控铣床的编程与加工

### 【学习目标】

- (1) 了解数控铣削加工过程。
- (2) 理解控制铣床功能的基本指令、控制铣削的基本指令和刀具补偿功能
- (3) 掌握华中世纪星系统、FANUC 0i、SIEMENS 802D 系统数控铣床编程与加工方法。

### 5.1 控制铣床功能的基本指令

#### 5.1.1 控制铣床硬件的基本指令

##### 1. 控制主轴旋转的 M 代码

这一组 M 代码有：M03、M04、M05。M03 启动主轴正转；M04 启动主轴反转；M05 停止主轴转动。主轴正转的方向，从主轴前端看过去为逆时针方向。不论主轴是在正转还是在反转，执行 M05 都能使主轴停止转动。

##### 2. 控制冷却液开/关的 M 代码

这一组 M 代码有：M07、M08、M09。M07 开 2 号冷却液；M08 开 1 号冷却液；M09 关闭冷却液。不论 1 号冷却液开，还是 2 号冷却液开，执行 M09，都能使冷却液关闭。

##### 3. S 指令

S 指令为主轴转速控制指令。有两种指令格式：一种是 S\*\*；用 S 和其后的两位数选择主轴速度。这个两位数是主轴转速级的编码，表示主轴的不同的转速级。如 S12 为主轴第十二级转速。此时，机床主传动为有级变速。另一种是 S\*\*\*\*；用 S 和其后的四位数直接指令主轴的转速。如 S2000 为指令主轴转速为 2000r/min，此时，机床主传动为无级变速。指令了 S 代码后，主轴转与不转，是正转还是反转，转后是否停止由 M 代码决定。

在刀具旋转的机床中，主轴旋转单位一般采用 r/min。

S 是模态指令，S 指令只有在主轴速度可调时有效。

S 所编程的主轴转速可以借助机床控制面板上的主轴倍率开关进行修调。

##### 4. F 指令

F 指令表示工件被加工时，刀具相对于工件的合成进给速度。有两种指令格式：一种是 F\*\*，用 F 及后面的两位数表示，用指令 G95（主轴每转一转刀具的进给量 mm/r）。另一种是 F\*\*\*\*，用 F 及后面的四位数表示，用指令 G94（每分钟进给量 mm/min）。

#### 5.1.2 控制铣床软件的基本指令

##### 1. 程序结束指令 M02

M02 为程序结束指令。一般放在主程序的最后一个程序段中。执行 M02 指令时，机床的主轴、进给、冷却液全部停止，加工结束。

##### 2. 程序结束并返回到程序起点指令 M30

M30 与 M02 功能基本相同，只是 M30 指令还兼有使数控系统返回到程序源头的作用。

使用 M30 结束程序后，若要重新执行该程序，只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

### 3. 程序暂停指令 M00

当数控系统执行到 M00 指令时，停止自动运行，把前面的模态信息全部保存起来，用以使操作人员手工停止主轴、停止冷却液，并作进一步的处理。

暂停时，可以方便操作者进行刀具和工件的测量、工件调头、手动变速等。按“循环启动”按钮，数控系统自动运行后续程序。

### 4. 选择暂停指令 M01

M01 与 M00 功能基本相同。只是 M01 功能是否执行，由机床操作面板上的“选择暂停”开关控制。当选择暂停开关处于 ON 状态时，则 M01 起作用，程序暂停；若选择暂停开关处于 OFF 状态时，则 M01 不起作用。

## 5.2 控制铣削的基本指令

### 5.2.1 单位设定 G 指令

#### 1. 尺寸单位选择 G20、G21、G22

指令格式：G20

G21

G22

G20：编程时使用的单位为英制单位。G21：编程时使用的单位为米制单位米（m）。G22：编程时使用的单位为脉冲当量。数控系统的默认单位为米制米（m），即为 G21。这三个 G 代码必须在程序的开头坐标系设定之前用单独的程序段指令，不能在程序的中途切换。

#### 2. 进给速度单位设定 G94、G95

指令格式：G94[F ]；

G95[F ]；

使用每分钟进给速度指令 G94 时，F 代码后面的数值直接指令刀具每分钟的进给量。使用每转进给速度指令 G95 时，F 代码后面的数值直接指令主轴每转的进给量。此时，主轴上必须安装位置编码器。

每分钟进给速度（G94）的倍率，可以用机床操作面板上的倍率开关调整。

#### 3. 程序段间过渡方式指令 G09、G61、G64、G04

所谓程序段间过渡，是指从前一段程序向后一段程序过渡，即程序段的转接。由于机床的实际运动滞后于数控系统的运行，当数控系统的下段程序已经启动时，机床的上一段程序的实际运动并未结束，所以在程序段转接时，会产生两个运动的叠加，当上段程序为沿一个坐标轴的移动，下段程序为沿另一个坐标轴的移动时，两轴相交处不能形成尖角，如图 5-1 所示。

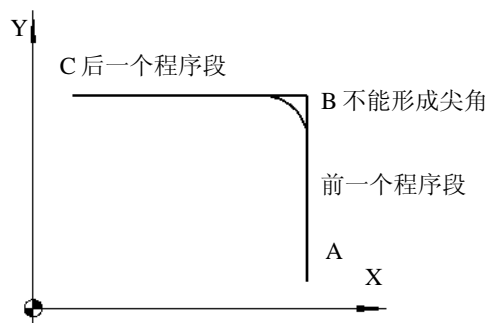


图 5-1 不能尖角过渡

当程序段间过渡有严格要求时，可用过渡方式控制指令。

#### (1) 准停指令 G09

指令格式：G09

有准停指令 G09 的程序段结束时，数控系统待指令进给速度减速到零并进行到位检查，当检查到达指令指定的位置后，系统才进入下个程序段。这样，避免了两个程序段的重叠，从而保证在工件拐角处能切出尖角棱边。

#### (2) 精确停止指令 G61

指令格式：G61

如果程序使用了精确停止指令 G61，则在 G61 后的各个程序段的移动指令都要准确停止在本程序段的终点，然后再继续执行下个程序段。在 G61 后面的每个切削进给程序段都执行到位检查。

#### (3) 连续切削方式指令 G64

指令格式：G64

如果程序段使用了连续切削方式指令 G64，则在该程序段及后面的切削进给程序段中，其终点不再进行减速和到位检查，而是在插补完成后直接进入下一个程序段。但在下列情况下，进给速度减速到零，并执行到位检查：

- 1) 下个程序段为定位指令 G00 或单方向定位指令 G60。
- 2) 下个程序段含有准停指令 G09。
- 3) 下个程序段没有移动指令。

#### (4) 暂停指令 G04

指令格式：G04 P

G04 X

如果程序段使用了暂停指令 G04，则在该程序段的进给速度降到零时开始暂停动作，使刀具作短暂停留，以获得圆整而光滑的表面。暂停时间由 P 或 X 后面的数值确定。P 的单位为 ms，X 的单位为 s。

G04 仅在其被规定的程序段中有效。

### 5.2.2 坐标系设定 G 指令

加工零件的编程是在工件坐标系内进行的。因此，设定工件坐标系对编程有着极其重要的作用。工件坐标系可用下述两种方法设定。

#### 1. 工件坐标系设定指令 G92

指令格式：G92 X Y Z

式中，X、Y、Z 后面的值为刀具所在的位置到工件坐标系原点的有向距离。由于工件坐标系的原点一旦选定后是不变的，因此，在执行 G92 指令时，刀具应移到 G92 指令后面的 X 值、Y 值和 Z 值所规定的位置，即刀具应在对刀点上。若刀具当前点不在对刀点上，则加工原点与程序原点不重合，加工出的产品就有误差或报废，甚至出现危险。

例如，如图 5-2 所示工件坐标系的设定，程序段为 G92X40Y80Z100；执行此程序段只是在工件坐标系中确定了刀具起点相对于程序原点的位置，刀具并不产生运动。执行此程序段之前必须保证刀具在对刀点上。

G92 指令需要后续坐标值指定刀具当前点在工件坐标系中的位置，因此必须用一个单独的程序段。G92 指令段一般放在一个零件程序的首段。

## 2. 工件坐标系选择指令 G54~G59

指令格式: G54

G55

G56

G57

G58

G59

G54~G59 为六个工件坐标系，如图 5-3 所示。

这六个工件坐标系的原点值，是机床原点到各个坐标系原点的有向距离。这六个工件坐标系的原点在机床坐标系中的坐标值可用 MDI 方式输入，数控系统自动记忆。例如：选择 G54 作为工件坐标系，编程时用指令 G54，而 G54 坐标系原点的值可通过对刀时用 MDI 方式输入到数控系统中。

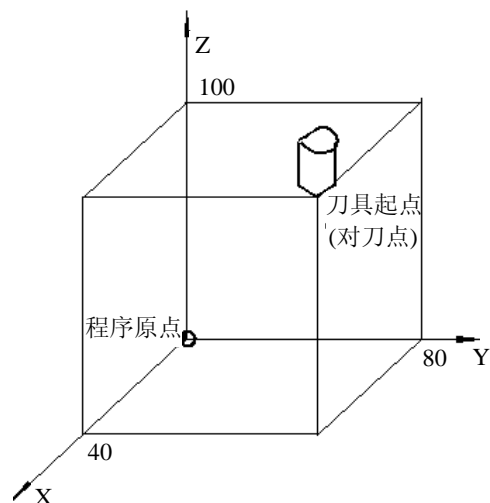


图 5-2 工件坐标系的设定

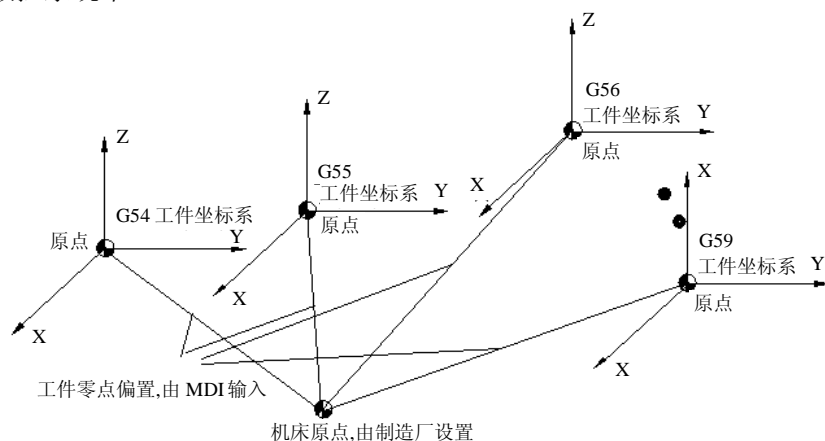


图 5-3 G54~G59 工件坐标系

在 G54~G59 中，工件坐标系一旦选定，工件上各点的值均通过工件坐标系原点与机床坐标系建立起联系，零件程序与工件的位置无关，也与刀具的位置无关。更换工件时可省去重复对刀，也不需要修改程序。

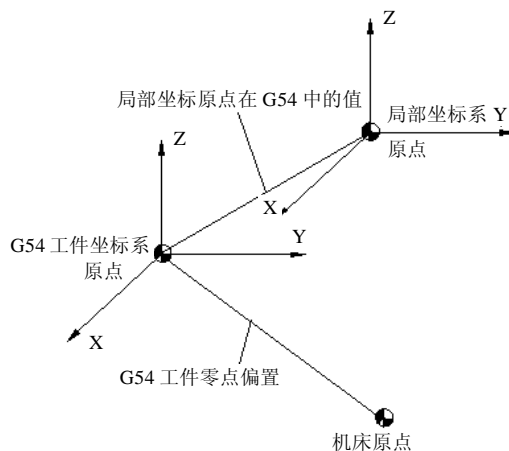


图 5-4 局部坐标系

### 3. 局部坐标系设定指令 G52

指令格式: G52 X Y Z

G52 后面的坐标值为局部坐标系的原点在工件坐标系中的坐标值。如图 5-4 所示。

编程时，若对某部分图形再用一个坐标系来描述更简单，即可用局部坐标系设定指令 G52。

G52 指令能在所有的工件坐标系（G54～G59）内形成子坐标系。含有 G52 指令的程序段中，绝对值编程（G90）时的移动指令就是在该局部坐标系中的坐标值。G52 指令仅在其被规定的程序段中有效。

在工件坐标系内若要变更局部坐标系，可用 G52 指令在工件坐标系中设定新的局部坐标系原点。

在缩放及坐标系旋转状态下，不能使用 G52 指令，但在 G52 指令后能进行缩放及坐标系旋转。

### 4. 直接机床坐标系编程指令 G53

指令格式: G53

G53 是机床坐标系编程，在含有 G53 的程序段中，绝对值编程时的指令值是工件在机床坐标系中的坐标值。也就是把工件各点的值取为机床坐标系中的坐标值。只用一个机床坐标系来编程和加工。

#### 5.2.3 坐标值编程 G 指令

##### 1. 绝对值编程 G90

指令格式: G90X Y Z

##### 2. 相对值编程 G91

指令格式: G91X Y Z

绝对值编程指令 G90 后面的编程坐标值，都是相对于工件坐标系原点的编程坐标轴上的坐标值。用该坐标轴和其后的坐标值表示。如：G90X30Y30Z40 等，如图 5-5 所示。

相对值编程指令 G91 后面的编程值，都是当前编程点相对于前一个编程点的编程坐标轴上的增量值。也可用 U 表示 X 轴方向的增量值；用 V 表示 Y 轴方向的增量值；用 W 表



示 Z 轴方向的增量值。如：G91U30V30W50 等，如图 5-6 所示。注意：此程序段执行时，与刀具是否移动无关。

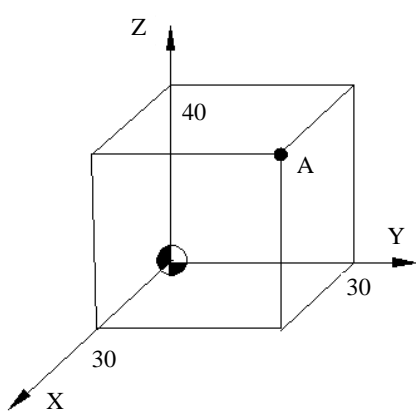


图 5-5 绝对值编程 G90

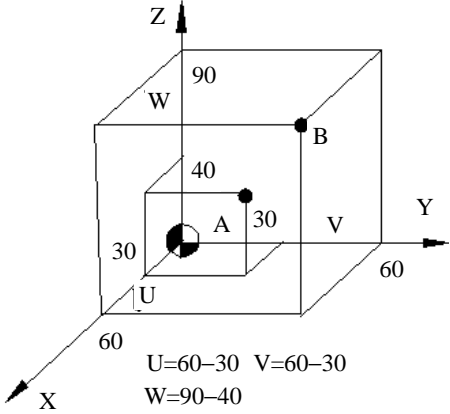


图 5-6 相对值编程 G91

### 5.2.4 坐标平面选择 G 指令

数控系统的圆弧插补和刀具半径补偿都是在坐标平面中进行的，因此，在加工前，必须选择坐标平面。

指令格式：G17

G18

G19

G17 选择 XY 平面；G18 选择 XZ 平面；G19 选择 YZ 平面；如图 5-7 所示。

坐标平面选择指令只是决定了程序段中的坐标轴的地址，不影响移动指令的执行。例如在规定了 G17 G01Z 时，Z 轴不在 XY 平面上，Z 轴照样会移动，移动指令的执行与坐标平面的选择无关。

机床通电时为 G17 状态，G17、G18、G19 可相互注销。

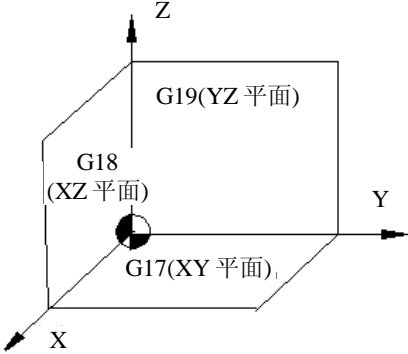


图 5-7 坐标平面选择指令 G17、G18、G19

### 5.2.5 定位 G 指令

#### 1. 快速定位指令 G00

指令格式：G00 X (U) Y (V) Z (W)

G00 指令用于刀具的快速定位。执行 G00 指令，刀具以快速进给的速度移动到指令中 X (U)、Y (V)、Z (W) 值指定的位置。由于是快速，故只用于空行程。它的移动轨迹可以是直线，也可以是按各轴各自的快速进给速度移动，这时合成的轨迹通常为折线。

G00 指令着眼于刀具快速移动后的刀具位置，对于刀具在快速移动前的位置没有要求，因此，在使用 G00 指令时，要防止刀具在移动过程中与工件发生碰撞。

G00 指令中的快速移动速度由机床参数对各轴分别设定，不能用 F 规定。

G00 指令一般用于加工前的快速定位或加工后的快速退刀。

【例 5-1】G00 指令应用于快速定位，如图 5-8 所示。

在图 5-8 中，设 A 点坐标为 (30, 30, 20)，B 点坐标为 (60, 60, 50)，C 点坐标为 (90, 90, 80)，A 点为刀具的快速定位点。

当刀具在 B 点时，执行程序段 G90G00X30Y30Z20，刀具由 B 点快速到达 A 点。执行程序段 G91G00U-30V-30W-30，刀具同样由 B 点快速到达 A 点。

当刀具在 C 点时，执行程序段 G90G00X30Y30Z20，刀具由 C 点快速到达 A 点。执行程序段 G91G00U-60V-60W-60，刀具同样由 C 点快速到达 A 点。

【例 5-2】G00 指令应用于快速退刀，如图 5-9 所示。

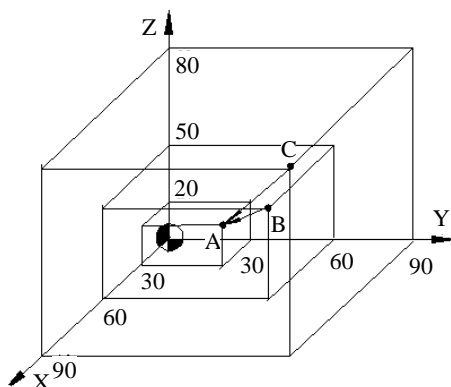


图 5-8 快速定位 G00

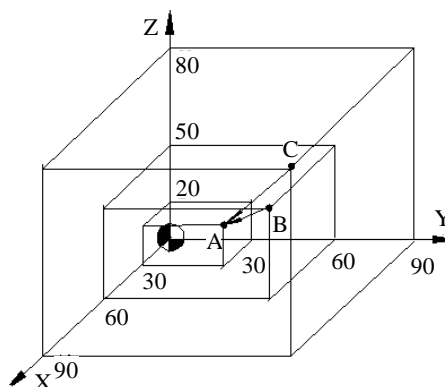


图 5-9 快速退刀 G00

在图 5-9 中，设 A 点坐标为 (30, 30, 20)，B 点坐标为 (60, 60, 50)，C 点坐标为 (90, 90, 80)。

当刀具在 A 点，B 点为快速退刀点时，执行程序段 G90G00X60Y60Z50，刀具由 A 点快速到达 B 点。执行程序段 G91G00U30V30W30，刀具同样由 A 点快速到达 B 点。

当刀具在 A 点，C 点为快速退刀点时，执行程序段 G90G00X90Y90Z80，刀具由 A 点快速到达 C 点。执行程序段 G91G00U60V60W60，刀具同样由 A 点快速到达 C 点。

## 2. 单方向定位指令 G60

指令格式：G60 X (U) Y (V) Z (W)

指令中的坐标值为单方向定位终点的坐标值。在 G90 时的 X、Y、Z 为定位终点在工件坐标系中的坐标值。在 G91 时的 U、V、W 为定位终点相对于刀具当前点的位移量。

在单方向定位时，每一轴的定位方向是由机床参数确定的。执行 G60 指令时，刀具先以 G00 的速度快速定位到一个中间点，然后以一个固定速度移动到定位终点。中间点与定位终点的距离是一常量，由机床参数决定，且从中间点到定位终点的方向即为单方向定位指令 G60 的定位方向。

G60 指令仅在其被规定的程序段中有效。

## 3. 自动返回到参考点指令 G28

指令格式：G28 X (U) Y (V) Z (W)

使用 G28 指令时，先要选定中间点。G28 指令中的 X (U)、Y (V)、Z (W) 值是选定

的中间点在工件坐标系中的值，不是机床参考点的值。G28 指令可以用绝对值指令或增量值指令编程，被指令的中间点坐标值储存在存储器中。编程时一般选换刀点作为中间点。

G28 指令的动作如图 5-10 所示。G28 指令的轴，从 A 点以快速进给速度定位到中间点 B，即动作①，然后再以快速进给速度定位到参考点 C，即动作②。如果没有机械锁紧，该轴的参考点返回指示灯亮。未径指令的轴不执行返回参考点的操作。

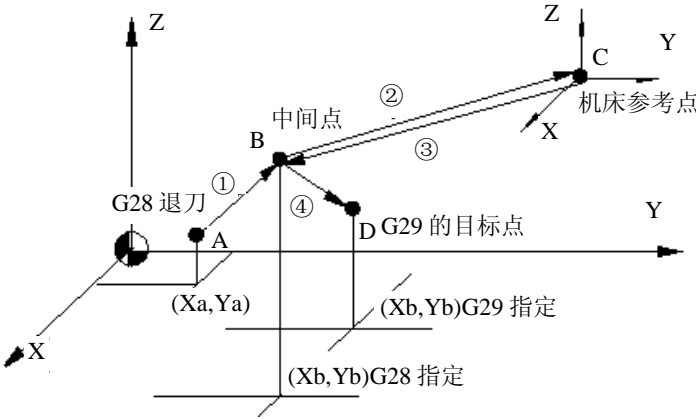


图 5-10 G28、G29 指令的动作

这个指令一般在换刀时使用，在执行该指令之前应取消刀具半径补偿。

在 G28 的程序段中不仅产生坐标轴的移动指令，而且记忆了中间点的坐标值，以供 G29 指令使用。

电源接通后，在没有手动返回参考点的状态下，指定 G28 时，从中间点自动返回到参考点，与手动返回参考点相同。这时从中间点到参考点的方向就是机床参数“回参考点方向”设定的方向。G28 指令仅在其规定的程序段中有效。

#### 4. 自动从参考点返回指令 G29

指令格式：G29 X (U) Y (V) Z (W)

使用 G29 指令时，要先选定目标点。G29 指令中的 X (U)、Y (V)、Z (W) 值是选定的目标点在工件坐标系中的值。可以用绝对值指令或增量值指令，通常该指令紧跟在 G28 指令之后。G29 指令中的目标点一般是下段程序的切削起点。

G29 指令执行时，刀具从参考点 C 出发，快速到达 G28 指令的中间点 B 定位，如图 5-10 中的动作③，然后到达 G29 指令的目标点 D，即动作④。

目标点若为增量值指令时，其值为从中间点到目标点的增量值。由于中间点到参考点的有向距离被系统储存在存储器中，故在程序中不必指令从中间点到参考点的移动量。

#### 5.2.6 子程序调用指令 M98、M99

数控铣床程序的编写也可采用主、子程序的形式。数控系统按主程序的指令运行，但在主程序中遇见调用子程序的指令时，数控系统将开始按子程序的指令运行；在子程序中遇见调用结束指令时，自动返回到调用该子程序的主程序，并重新按主程序的指令运行。

编程时，对程序中有一些顺序固定或反复出现的加工图形，可将其写成子程序，然后由主程序来调用，这样可以极大地简化整个程序的编写。

### 1. 子程序调用指令 M98

指令格式: M98 P      L

M98 指令中的 P 后面跟的是被调用的子程序号, 而 L 后面跟的是调用该子程序的次数。(默认值为 1)。主、子程序的调用关系见图 5-11。

在编写程序时, 主、子程序必须写在同一个文件中, 并且都是以字母“O”开头, 以“O\*\*\*\*”单独作为程序的一个行书写。子程序中还可以再调用其他子程序, 即可多重嵌套调用。

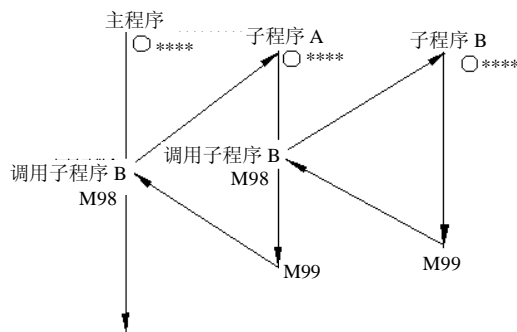


图 5-11 主、子程序的调用关系

### 2. 子程序结束指令 M99

M99 的功能就是在子程序中结束子程序的运行并使数控系统返回到调用该子程序的主程序中, 重新按主程序的指令运行。每个子程序的最后一条指令必须是 M99 作程序的结束行, 一个子程序可被主程序多次调用。

需要注意的是: 在 MDI 方式下, 使用子程序调用指令是无效的。

#### 5.2.7 铣削 G 指令的编程与加工

##### 1. 直线切削指令 G01

指令格式: G01 X (U)    Y (V)    Z (W)    F

G01 指令中的 X (U)、Y (V)、Z (W) 值是直线切削终点的值。用绝对值编程时是切削终点在工件坐标系中的坐标值; 用增量值编程时是切削终点相对于切削起点的增量值。F 为合成进给速度。

G01 指令刀具以联动的方式, 按 F 规定的合成进给速度, 从当前位置按直线路径切削到程序段指令值所指定的终点。如果没有指令进给速度, 就认为进给速度为零。

【例 5-3】G01 绝对值编程, 如图 5-12 所示。

在图 5-12 中, 设 A 点坐标为 (30, 30, 20), B 点坐标为 (60, 60, 50), C 点坐标为 (90, 90, 80), D 点坐标为 (40, 55, 70), E 点坐标为 (55, 10, 60)。

A 点为直线切削终点, 是 G01 编程的目标点。

当刀具在 B 点时, 执行程序段 G90G01X30Y30Z20, 刀具由 B 点到达 A 点。

当刀具在 C 点时, 执行程序段 G90G01X30Y30Z20, 刀具由 C 点到达 A 点。

当刀具在 D 点时, 执行程序段 G90G01X30Y30Z20, 刀具由 D 点到达 A 点。

当刀具在 E 点时, 执行程序段 G90G01X30Y30Z20, 刀具由 E 点到达 A 点。

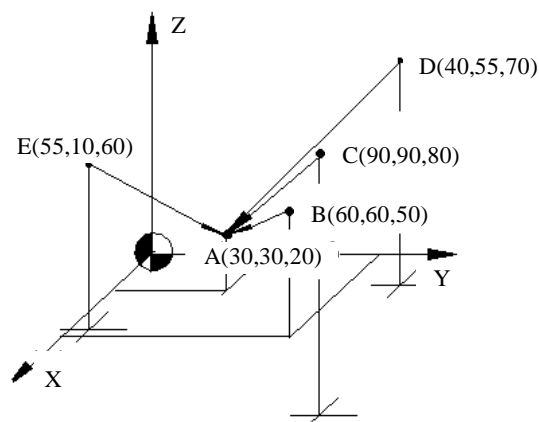


图 5-12 G01 编程

#### 【例 5-4】G01 增量值编程。

在图 5-12 中，设已知 A、B、C、D、E 点的坐标。A 点为直线切削终点，是 G01 编程的目标点。

当刀具在 B 点时，执行程序段 G91G01U-30V-30W-30，刀具由 B 点到达 A 点。

当刀具在 C 点时，执行程序段 G91G01U-60V-60W-60，刀具由 C 点到达 A 点。

当刀具在 D 点时，执行程序段 G91G01U-10V-25W-50，刀具由 D 点到达 A 点。

当刀具在 E 点时，执行程序段 G91G01U-25V20W-40，刀具由 E 点到达 A 点。

#### 【例 5-5】G01 混合值编程。

在图 5-12 中，设已知 A、B、C、D、E 点的坐标。A 点为直线切削终点，是 G01 编程的目标点。

当刀具在 B 点时，执行程序段 G90G01X30Y30Z20，刀具由 B 点到达 A 点。

当刀具在 B 点时，执行程序段 G91G01X-30Y-30Z-30，刀具同样由 B 点到达 A 点。

当刀具在 C 点时，执行程序段 G90G01X30Y30Z20，刀具由 C 点到达 A 点。

当刀具在 C 点时，执行程序段 G91G01X-60Y-60Z-60，刀具同样由 C 点到达 A 点。

当刀具在 D 点时，执行程序段 G90G01X30Y30Z20，刀具由 D 点到达 A 点。

当刀具在 D 点时，执行程序段 G91G01X-10Y-15Z-50，刀具同样由 D 点到达 A 点。

当刀具在 E 点时，执行程序段 G90G01X30Y30Z20，刀具由 E 点到达 A 点。

当刀具在 E 点时，执行程序段 G91G01X-25Y200Z-40，刀具同样由 E 点到达 A 点。

### 2. 圆弧切削指令 G02 或 G03

指令格式：

在 XY 平面内的圆弧：G17G02X (U) Y (V) I J F

G17G02X (U) Y (V) R F

G17G03X (U) Y (V) I J F

G17G03X (U) Y (V) R F

在 XZ 平面内的圆弧：G18G02X (U) Z (W) I K F

G18G02X (U) Z (W) R F

G18G03X (U) Z (W) I K F  
 G18G03X (U) Z (W) R F  
 在 YZ 平面内的圆弧: G19G02 Y (V) Z (W) J K F  
 G19G02 Y (V) Z (W) R F  
 G19G03 Y (V) Z (W) J K F  
 G19G03 Y (V) Z (W) R F

### (1) 切削方向

G02 为顺时针圆弧切削方向;

G03 为逆时针圆弧切削方向。

切削方向的判别方法是: 从坐标平面垂直轴的正方向往负方向看, 坐标平面上的圆弧从起点到终点的移动方向是顺时针方向用 G02 编程; 是逆时针方向, 用 G03 编程, 如图 5-13 所示。

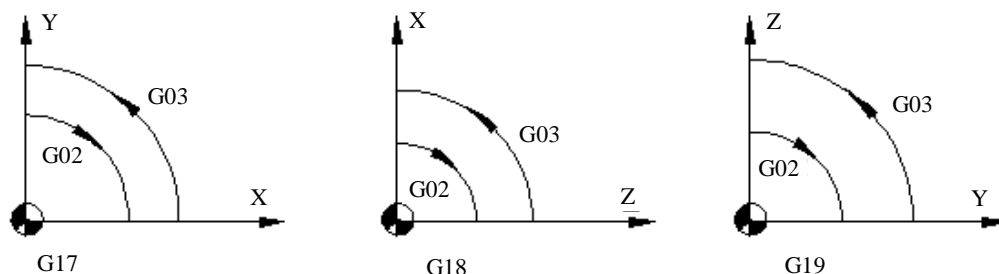


图 5-13 G02/G03 的圆弧切削方向

### (2) 终点位置

X (U)、Y (V)、Z (W) 中的两轴, G17 时为 X、Y, G18 时为 X、Z, G19 时为 Y、Z, 其值是圆弧切削终点的值。用绝对值指令是圆弧终点在工件坐标系中的坐标值; 用增量值指令是圆弧终点相对于圆弧起点的增量值。当圆弧终点和起点的一个坐标值相同时, 在指令中可以省略这个相同的坐标值, 当圆弧终点和起点的两个坐标值相同, 即整圆时, 两个坐标值都可以省略。

### (3) 圆弧的圆心

#### ①用 I、J、K 指令圆弧的圆心

如图 5-14 所示, G17 时为 I、J, G18 时为 I、K, G19 时为 J、K, 其值为增量值, 即是圆心相对于圆弧的起点的坐标增量值。I、J、K 始终为增量值, 与 X、Y、Z 值是否是增量值无关。

#### ②用半径 R 指令圆弧的圆心

过起点和终点的圆弧可以有两个, 即小于  $180^\circ$  的圆弧和大于  $180^\circ$  的圆弧。如图 5-15 所示, 为了区分是指令哪个圆弧, 对小于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用正值表示; 对大于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用负值表示; 对等于  $180^\circ$  的圆弧, 半径 R 用正值或负值均可。

**【例 5-6】** 半径 R 指令圆弧的圆心编程。

在图 5-15 中, 对于圆心为 O 的圆弧, 用 G90 编程时, G90G02X0Y30R30F100。

用 G91 编程时, G91G02X30Y30R30F100。

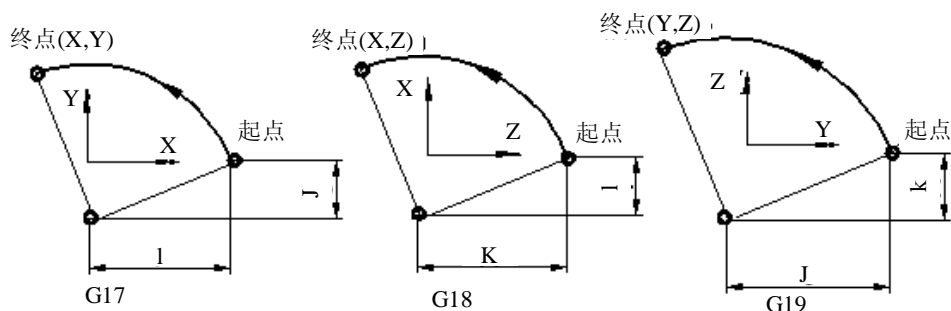


图 5-14 I、J、K 指令圆弧的圆心

对于圆心为 O1 的圆弧，用 G90 编程时，G90G02X0Y30R-30F100。

用 G91 编程时，G91G02X30Y30R-30F100。

### ③整圆的圆心

切削整圆时，由于整圆的终点坐标与起点坐标重合，若用半径 R 指令圆心，则刀具不移动，即零度的圆弧。此时，必须用 I、J 或 K 指令整圆的圆心，如图 5-16 所示。

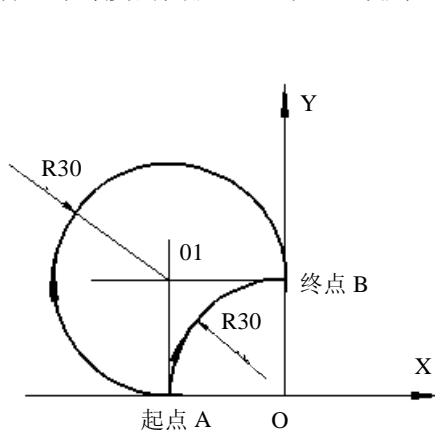


图 5-15 半径 R 指令圆弧的圆心

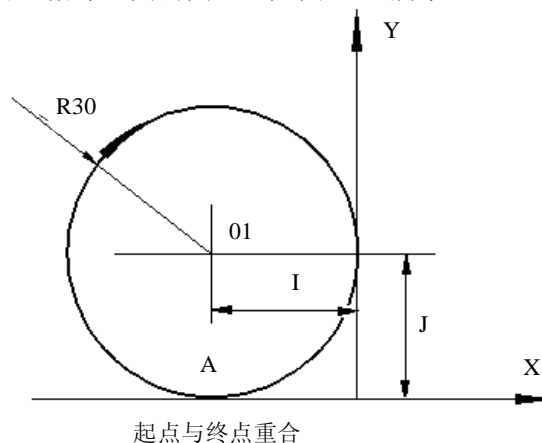


图 5-16 整圆的圆心

【例 5-7】整圆编程。在图 5-16 中，整圆 O1 的圆心为 (-30, 30)，以 A 点为整圆的切削起点和切削终点，按顺时针方向切削，则：I=0, J=-30。

用 G90 编程有：G90G02X-30Y0I0J-30F100 或 G90G02J-30F100。

用 G91 编程有：G91G02X0Y0I0J-30F100 或 G91G02J-30F100。

若 I、J 或 K 与 R 同时指令圆心时，R 有效，I、J 或 K 无效。

F 为被编程的两个坐标轴的合成进给速度。它是沿圆弧切线方向的速度。单位为 mm/min。

### 3. 圆弧切削指令编程举例

【例 5-8】圆弧加工综合编程，如图 5-17 所示。

在图 5-17 中，AB、BC、CD、DA 四段圆弧半

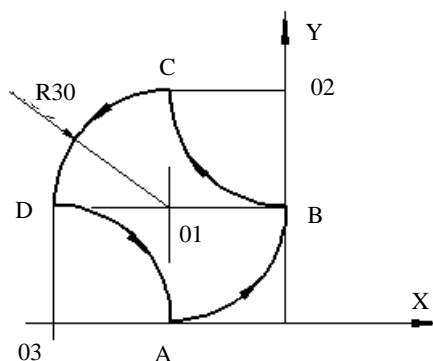


图 5-17 圆弧加工综合编程

径均为 30。按 A-B-C-D-A 方向切削，绝对坐标编程时的参考程序如下：

O4080;	程序名
%4080;	程序号
G17G54;	选平面，定工件坐标系
M03S1000;	启动主轴，1000r/min
G00X-60Y0Z10;	快速移动刀具到 O3 点
G90G01X-30F100;	绝对坐标编程。以切削速度移动到 A 点
Z-3;	Z 向切削工件深 3mm
G03X0Y30R30F100;	切削 AB 弧
G02X-30Y60R30F100;	切削 BC 弧
G03X-60Y30R30F100;	切削 CD 弧
G02X-30Y0R30F100;	切削 DA 弧
G01Y-10;	切线切出 A 点
G00Z100;	抬刀
X-60Y0;	刀具移动到 O3 点
M05;	停主轴
M30;	结束程序并返回到程序起点

按 A-B-C-D-A 方向切削，相对坐标编程时的参考程序如下：

O4081;	程序名
%4081;	程序号
G17G54;	选平面，定工件坐标系
M03S1000;	启动主轴，1000r/min
G00X-60Y0Z10;	快速移动刀具到 O3 点
G91G01X30F100;	绝对坐标编程。以切削速度移动到 A 点
Z-13;	Z 向切削工件深 3mm
G03X30Y30R30F100;	切削 AB 弧
G02X-30Y30R30F100;	切削 BC 弧
G03X-30Y-30R30F100;	切削 CD 弧
G02X30Y-30R30F100;	切削 DA 弧
G01Y-10;	切线切出 A 点
G00Z13;	抬刀
M05;	停主轴
M30;	结束程序并返回到程序起点

【例 5-9】平面轮廓零件编程。如图 5-18 所示。

在图 5-18 中，按 A-B-C-D-E-A 方向切削，绝对坐标编程时的参考程序如下：

O4090;	程序名
%4090;	程序号
G17G54;	选 XY 平面，定 G54 为工件坐标系
M03S1000;	启动主轴，1000r/min



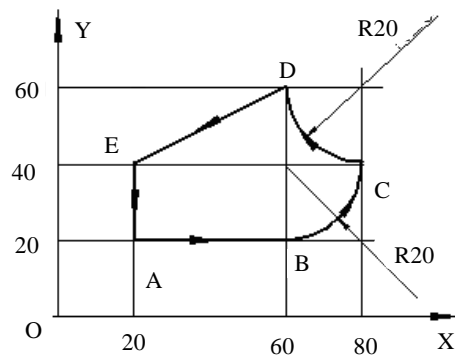


图 5-18 平面轮廓零件编程

G90G00X20Y20Z100;	绝对坐标编程，快速移动刀具到 A 点
Z10;	刀具靠近 A 点
G01Z-5F100;	切深 5mm
X60;	切削直线 AB
G03X80Y40I0J20F100;	切削圆弧 BC
G02X60Y60I0J20F100;	切削圆弧 CD
G01X20Y40;	切削直线 DE
Y20;	切削直线 EA
Z10;	抬刀
G00Z100;	快速抬刀
X0Y0;	刀具回到工件坐标系原点
M05;	主轴停
M30;	结束程序并返回到程序起点

在图 5-18 中，按 A-B-C-D-E-A 方向切削，相对坐标编程时的参考程序如下：

O4091;	程序名
%4091;	程序号
G17G54;	选 XY 平面，定 G54 为工件坐标系
M03S1000;	启动主轴，1000r/min
G90G00X20Y20Z100;	用绝对坐标移动刀具到 A 点上方
Z0;	刀具快速靠近 A 点
G91G01Z-5F100;	相对坐标编程，切深 5mm
X40;	切削直线 AB
G03X20Y20I0J20F100;	切削圆弧 BC
G02X-20Y20I0J20F100;	切削圆弧 CD
G01X-20Y-20;	切削直线 DE
Y-20;	切削直线 EA
Z15;	抬刀
G90G00Z100;	用绝对坐标快速移动刀具

X0Y0;	刀具回到工件坐标系原点
M05;	主轴停
M30;	结束程序并返回到程序起点

#### 4. 螺旋线切削指令 G02 或 G03

指令格式: G17{G02/G03}X Y {R /I J }Z F  
 G18{G02/G03}X Z {R /I K }Y F  
 G19{G02/G03}Y Z {R /J K }X F

在圆弧插补的同时,指令垂直于插补平面的轴移动一个距离,即是螺旋线插补。垂直轴的值是垂直轴作直线移动的终点坐标。

【例 5-10】螺旋线切削编程。如图 5-19 所示。

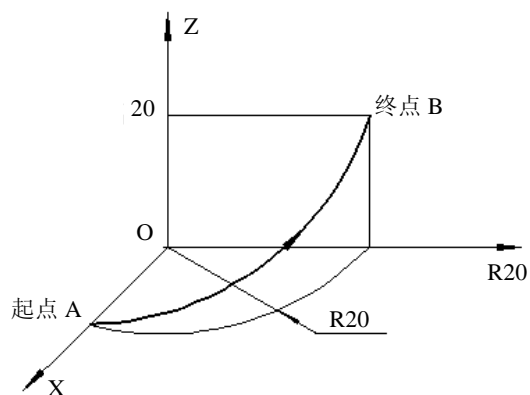


图 5-19 螺旋线切削编程

在图 5-19 中,按 A-B 方向切削,绝对坐标编程时的参考程序如下:

```
O4100
%4100
G17G54
M03S1000
G90G00X30Y0Z100
Z0
G03X0Y30R30Z20F100;           切削螺旋线 AB
G00Z100
M05M30
```

在图 5-19 中,按 A-B 方向切削,相对坐标编程时的参考程序如下:

```
O4101
%4101
G17G54
M03S1000
G90G00X30Y0Z100
Z0
```

G91G03X-30Y30R30Z20F100;                      切削螺旋线 AB

G00Z100

M05M30

## 5. 倒角加工指令

### (1) 直线后倒角指令

指令格式举例: G17G01X (U)    Y (V)    C

该指令用于加工两条相邻直线间的倒角, 如图 5-20 所示。

指令中的 X (U)、Y (V) 值, 在绝对值编程时为没倒角前两条相邻直线的交点 G 的坐标值。在增量值编程时为交点 G 到先期加工的直线的起点 A 的增量值。

指令中的 C 值为倒角终点相对于两条相邻直线的交点 G 的距离。实际上, C 就是倒角的边长。

【例 5-11】直线后倒角加工绝对坐标编程。在图 5-20 中, 按 A-B-D-E-A 方向切削, 绝对坐标编程时的参考程序如下:

O4110

%4110

G17G54

M03S1000

G90G00X20Y20Z100;

Z0;

G01Z-5F100;

X85Y20C5;

X85Y65C5;

X15Y65C5;

X15Y20C5;

G00Z100;

M05M30

快速移动刀具到 A 点上方

快速移动刀具到 A 点

切深 5mm

切直线 AB 并在 B 处倒角

切直线 BD 并在 D 处倒角

切直线 DE 并在 E 处倒角

切直线 EA 并在 A 处倒角

快速抬刀

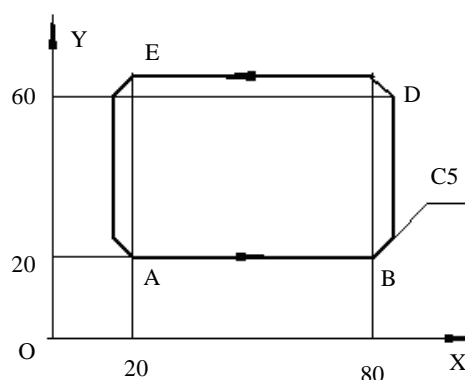


图 5-20 直线后倒角加工

【例 5-12】直线后倒角加工相对坐标编程。在图 5-20 中, 按 A-B-D-E-A 方向切削, 相对坐标编程时的参考程序如下:

O4120

%4120

G17G54

M03S1000

G90G00X20Y20Z100;

Z0;

G91G01Z-5F100;

快速移动刀具到 A 点上方

快速移动刀具到 A 点

相对坐标编程, 切深 5mm

X65Y0C5;	切直线 AB 并在 B 处倒角
X0Y40C5;	切直线 BD 并在 D 处倒角
X-65Y0C5;	切直线 DE 并在 E 处倒角
X0Y-40C5;	切直线 EA 并在 A 处倒角
G90G00Z100;	快速抬刀
M05M30	

## （2）直线后倒圆（角）指令

指令格式举例：G17G01X (U) Y (V) R

该指令用于加工两条相邻直线间倒圆（角），如图 5-21 所示。指令中的 X (U)、Y (V) 值，在绝对值编程时为没倒角前两条相邻直线的交点 G 的坐标值。在增量值编程时为交点 G 到先期加工的直线的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为倒圆角的半径值。

【例 5-13】直线后倒圆加工绝对值编程。在图 5-21 中，按 A-B-D-E-A 方向切削，绝对坐标编程时的参考程序如下：

O4130	
%4130	
G17G54	
M03S1000	
G90G00X20Y20Z100;	快速移动刀具到 A 点上方
G01Z-5F100;	切深 5mm
X85Y20R5;	切削直线 AB 并在 B 处倒圆
X85Y65R5;	切削直线 BD 并在 D 处倒圆
X15Y65R5;	切削直线 DE 并在 E 处倒圆
X15Y20R5;	切削直线 EA 并在 A 处倒圆
G00Z100;	快速抬刀
M05M30	

【例 5-14】直线后倒圆加工增量值编程。在图 5-21 中，按 A-B-D-E-A 方向切削，相对坐标编程时的参考程序如下：

O4140	
%4140	
G17G54	
M03S1000	
G90G00X20Y20Z100;	快速移动刀具到 A 点上方
Z0;	快速移动刀具到 A 点
G91G01Z-5F100;	相对坐标编程，切深 5mm
X65Y0R5;	切削直线 AB 并在 B 处倒圆
X0Y40R5;	切削直线 BD 并在 D 处倒圆
X-65Y0R5;	切削直线 DE 并在 E 处倒圆
X0Y-40R5;	切削直线 EA 并在 A 处倒圆

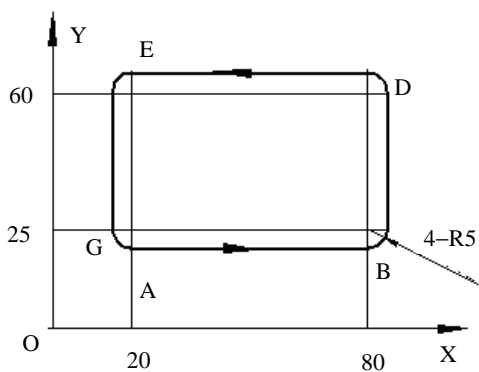


图 5-21 直线后倒圆加工

G90G00Z100;

快速抬刀

M05M30

### (3) 圆弧后倒(直线)角指令

指令格式举例: G17G02X(U) Y(V) R RL

G17G03X(U) Y(V) R RL

若圆弧与直线相交, 交点在 G 点, 加工时先加工圆弧, 后加工直线, 用该指令在圆弧和直线之间插入倒角加工, 如图 5-22 所示。指令中的 X(U)、Y(V) 值, 在绝对值编程时为先加工的圆弧和后加工的直线的交点 G 的坐标值。在增量值编程时为交点 G 到先期加工的圆弧的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为先加工圆弧的半径值。指令中的 RL 值为倒角终点 D 到圆弧与直线的交点 G 的距离, 实际上是直线倒角的边长。

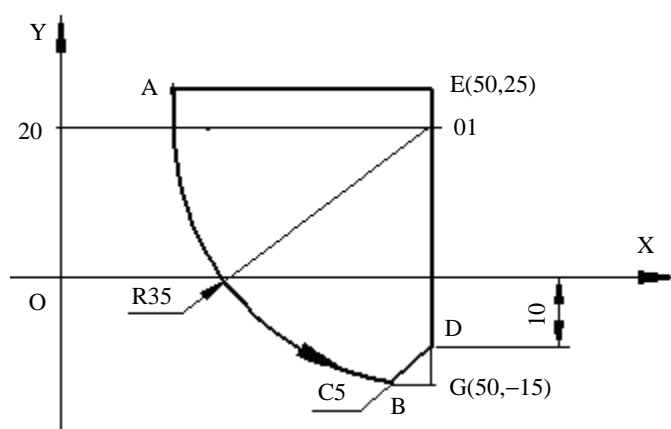


图 5-22 圆弧后倒角加工

【例 5-15】圆弧后倒角加工绝对值编程。在图 5-22 中, 按 A-B-D-E-A 方向切削, 绝对坐标编程时的参考程序如下:

O4150

%4150

G17G54

M03S1000

G90G00X15Y25Z100

G01Z-5F100

X15Y20

G03X50Y-15R35RL5;

切削 AB 圆弧并在 B 处倒角

G01Y25

X15

G00Z100

M05M30

【例 5-16】圆弧后倒角加工增量值编程。在图 5-22 中, 按 A-B-D-E-A 方向切削, 相对坐标编程时的参考程序如下:

O4160

```

%4160
G17G54
M03S1000
G90G00X15Y25Z100
Z2
G91G01Z-7F100
X0Y-5
G03X35Y-35R35RL5;
G01Y35
X-35
G90G00Z100
M05M30

```

切削 AB 圆弧并在 B 处倒角

#### (4) 圆弧后倒圆角指令

指令格式举例: G17G02X (U) Y (V) R RC  
G17G03X (U) Y (V) R RC

若圆弧与直线相交，交点在 G 点，加工时先加工圆弧，后加工直线，用该指令在圆弧和直线之间插入倒圆角加工。如图 5-23 所示。指令中的 X (U)、Y (V) 值，在绝对值编程时为先加工的圆弧和后加工的直线的交点 G 的坐标值。在增量值编程时为交点 G 到先期加工的圆弧的起点 A 的增量值。指令中的 R 值为先加工圆弧的半径值。指令中的 RC 值为倒圆角的半径值。

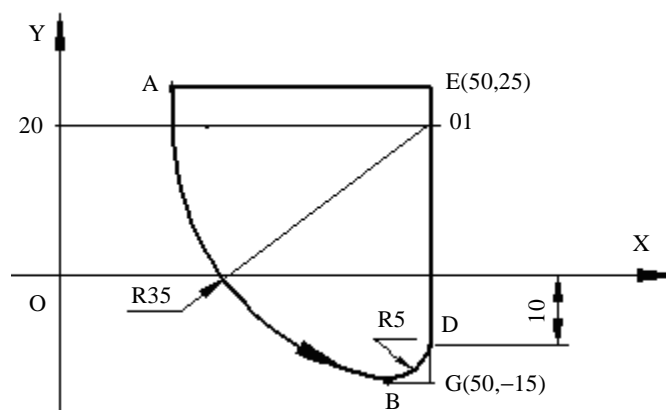


图 5-23 圆弧后倒圆加工

【例 5-17】圆弧后倒圆加工绝对值编程。在图 5-23 中，按 A-B-D-E-A 方向切削，绝对坐标编程时的参考程序如下：

```

O4170
%4170
G17G54
M03S1000
G90G00X15Y25Z100

```

G01Z-5F100

X15Y20

G03X50Y-15R35RC5;

切削 AB 圆弧并在 B 处倒圆

G01Y25

X15

G00Z100

M05M30

【例 5-18】圆弧后倒圆加工增量值编程。在图 5-23 中，按 A-B-D-E-A 方向切削，相对坐标编程时的参考程序如下：

O4180

%4180

G17G54

M03S1000

G90G00X15Y25Z100

Z2

G91G01Z-7F100

X0Y-5

G03X35Y-35R35RC5;

切削 AB 圆弧并在 B 处倒圆

G01Y35

X-35

G90G00Z100

M05M30

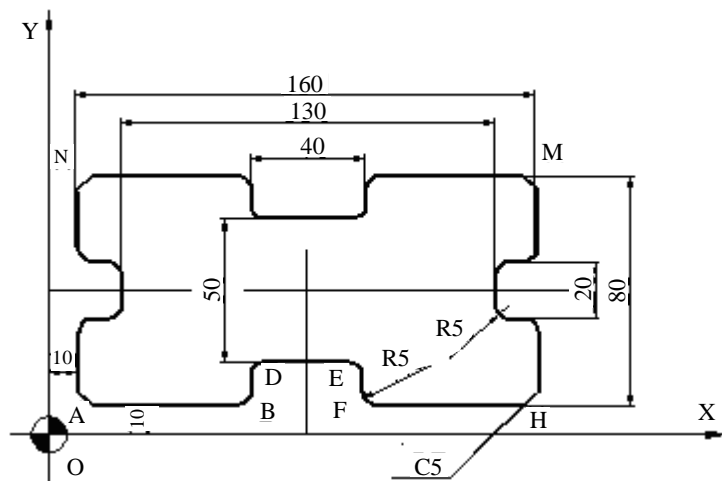


图 5-24 倒角加工综合举例

【例 5-19】倒角加工绝对编程综合举例。在图 5-24 中，按 A-B-D-E-F-H-M-N-A 方向切削，绝对坐标编程时的参考程序如下：

%4190

G17G54	
M03S1000	
G90G00X10Y10Z10	
G90G01Z-5F100	
X70Y10R5;	切削直线 AB 并在 B 处倒圆
Y25R5;	切削直线 BD 并在 D 处倒圆
X110R5;	切削直线 DE 并在 E 处倒圆
Y10R5;	切削直线 EF 并在 F 处倒圆
X170C5;	切削直线 FH 并在 H 处倒角
Y40R5;	切削直线并在终点处倒圆
X165R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y60R5;	切削直线并在终点处倒圆
X170R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y90C5;	切削直线并在 M 处倒角
X110R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y75R5;	切削直线并在终点处倒圆
X70R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y90R5;	切削直线并在终点处倒圆
X10C5;	切削直线并在 N 处倒角
Y60R5;	切削直线并在终点处倒圆
X25R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y45R5;	切削直线并在终点处倒圆
X10R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y10C5;	切削直线并在 A 处倒角
G00Z100	
M05M30	

【例 5-20】倒角加工相对编程综合举例。在图 5-24 中，按 A-B-D-E-F-H-M-N-A 方向切削，相对坐标编程时的参考程序如下：

%4200	
G17G54	
M03S1000	
G90G00X10Y10Z10	
G91G01Z-15F100	
X60R5;	切削直线 AB 并在 B 处倒圆
Y15R5;	切削直线 BD 并在 D 处倒圆
X400R5;	切削直线 DE 并在 E 处倒圆
Y-15R5;	切削直线 EF 并在 F 处倒圆
X60C5;	切削直线 FH 并在 H 处倒角
Y30R5;	切削直线并在终点处倒圆



X-15R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y20R5;	切削直线并在终点处倒圆
X15R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y30C5;	切削直线并在 M 处倒角
X-60R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y-15R5;	切削直线并在终点处倒圆
X-40R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y15R5;	切削直线并在终点处倒圆
X-60C5;	切削直线并在 N 处倒角
Y-30R5;	切削直线并在终点处倒圆
X15R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y-20R5;	切削直线并在终点处倒圆
X-15R5;	切削直线并在终点处倒圆
Y-30C5;	切削直线并在 A 处倒角
G00Z5	
Z100	
M05M30	

### 5.2.8 刀具补偿功能指令的编程与加工

#### 1. 刀具长度补偿指令 G43、G44、G49

刀具基准点是用标准长度的刀具对刀时的刀位点。工件坐标系设定是以刀具基准点为依据的，零件加工程序中的指令值是刀位点的值。由于各个刀具的长度不一致，其刀位点与基准点不一定重合，故要用刀具长度补偿。用了刀具长度补偿后，改变刀具，只需改变刀具长度补偿值，而不必变更零件加工程序。

##### (1) 刀具长度补偿

在 G17 指令后的刀具长度补偿，只能将刀具长度的补偿值补偿到 Z 轴。在 G18 指令后的刀具长度补偿，只能将刀具长度的补偿值补偿到 Y 轴。在 G19 指令后的刀具长度补偿，只能将刀具长度的补偿值补偿到 X 轴。

刀具长度补偿分正向偏置和负向偏置。正向偏置用指令 G43H；负向偏置用指令 G44H，如图 5-25 所示。所谓正向偏置，就是实际使用的刀具长度比编程时的标准刀具长，用 G43 指令，使刀具朝 Z 轴正方向移动一个偏置量；所谓负向偏置，就是实际使用的刀具长度比编程时的标准刀具短，用 G44 指令，使刀具朝 Z 轴负方向移动一个偏置量。各个刀具的偏置量存放在偏置存储器中，用 H00~H99 来指定偏置号。

刀具长度补偿指令通常用在下刀及提刀的直线段程序 G00 或 G01 中，使用多把刀具时，通常是每一把刀具对应一个刀长补偿号，下刀时使用 G43 或 G44，该刀具加工结束后提刀时使用 G49 取消刀长补偿。

在实际使用时，鉴于习惯，一般仅使用 G43 指令，而 G44 指令使用的较少。正或负方向的移动，靠变换 H 代码的正负值来实现。

##### (2) 取消刀具长度补偿

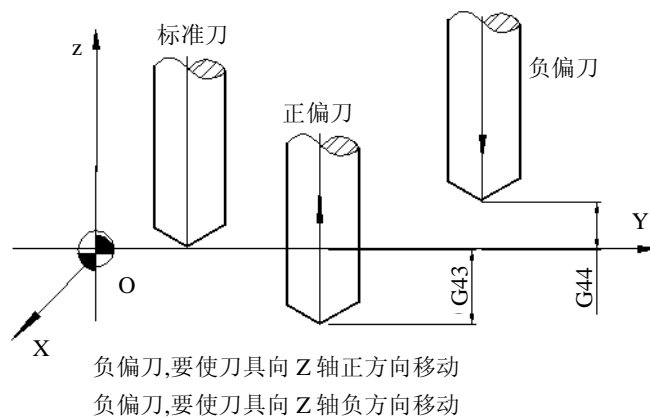


图 5-25 刀具长度补偿

取消刀具长度补偿用指令 G49。补偿一旦取消，以后的程序段便没有补偿。同样地，也可采用 G43H00 或 G44H00 来替代 G49 的取消刀具长度补偿功能。

(3) 编程举例：

【例 5-21】刀具长度偏置补偿编程，如图 5-26 所示。

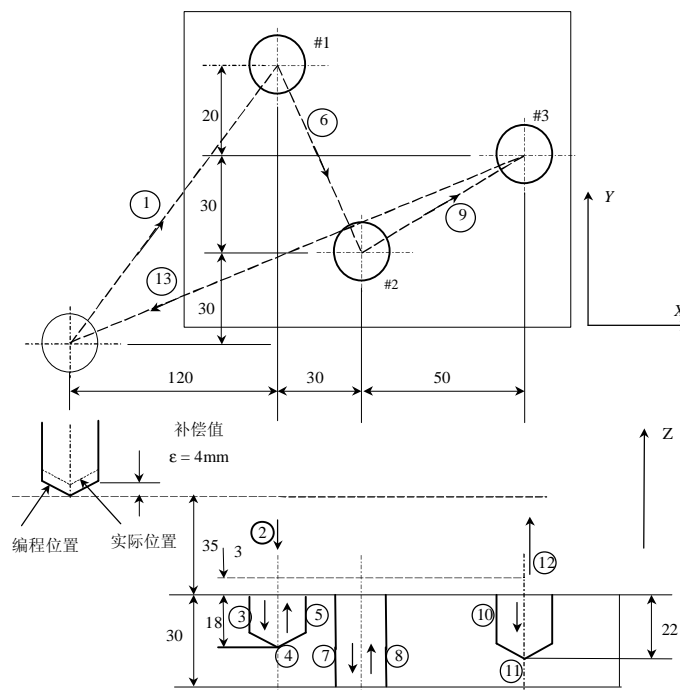


图 5-26 刀具长度偏置补偿

在图 5-26 中，H01= -4.0mm。其参考程序如下：

```
%4021
G92X0Y0Z0
G91 G00 X120.0 Y80.0 M03 S500
```

G43 Z-32.0 H01  
G01 Z-21.0 F300  
G04 P2.0  
G00 Z21.0  
X30.0 Y-50.0  
G01 Z-41.0  
G00 Z41.0  
X50.0 Y30.0  
G01 Z-25.0  
G04 P2.0  
G00G49Z57.0  
X-200.0 Y-60.0  
M05  
M30

## 2. 刀尖圆弧半径补偿指令 G40、G41、G42

### (1) 刀尖半径补偿功能

铣削刀具的基准点和刀位点都在刀具的中心线上，实际加工中生成的零件轮廓是由刀刃的切削点形成的。以端铣刀为例：刀位点位于刀具底部中心，切削点位于刀具的外圆，两者相差一个刀具半径值。

为了加工出符合要求的零件轮廓，其加工程序要么偏离零件轮廓一个刀具半径值来编程，要么按零件轮廓编程，而让数控系统自动偏离零件轮廓一个刀具半径，后者就是刀具半径补偿功能。刀具所偏移的这段距离称为偏置。使用刀具半径补偿功能，系统可以自动计算出偏置后的刀具轨迹，这样既简化了编程，又能很容易地调整加工轮廓的尺寸。

### (2) 刀具半径补偿指令 G41、G42

在 G17 指令后的刀具半径补偿，补偿偏置量在 XY 平面上；在 G18 指令后的刀具半径补偿，补偿偏置量在 XZ 平面上；在 G19 指令后的刀具半径补偿，补偿偏置量在 YZ 平面上。刀具半径补偿平面与偏置平面相同。

指令格式：G41D

G42D

G41 是刀具半径左补偿指令，顺着刀具直线前进的方向看，刀具在左边，工件在右边，此时刀心在工件的左边，离工件的轮廓相差一个刀具半径，需对刀具进行左补偿；其补偿值用 D 及后面的号码确定。G42 为刀具半径右补偿指令，顺着刀具直线前进的方向看，刀具在右边，工件在左边，此时刀心在工件的右边，离工件的轮廓相差一个刀具半径，需对刀具进行右补偿。其补偿值用 D 及后面的号码确定。如图 5-27 所示。

各个刀具的偏置量存放在偏置存储器中，用 D00~D99 来指定偏置号。如 D01 就是调用在刀具偏置表中第一号刀具的半径补偿值。

在多轴联动控制中，投影到补偿平面上的刀具轨迹受到补偿，补偿平面的切换必须在取消补偿的状态下进行，否则报警。

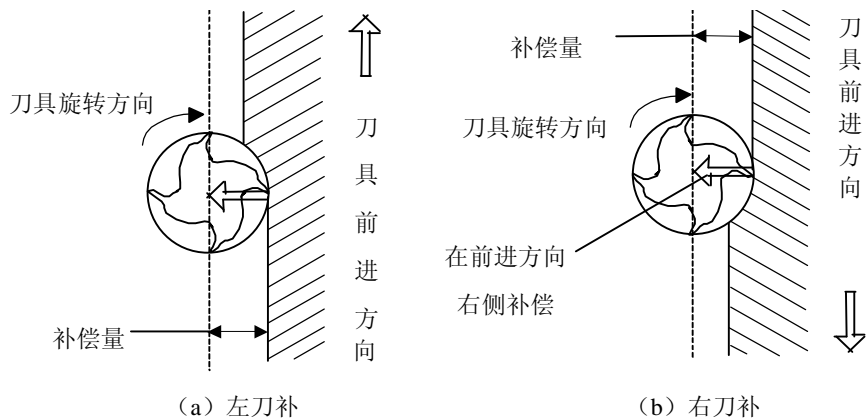


图 5-27 刀具半径左补偿、右补偿

### (3) 取消刀具半径补偿功能

**G40** 为取消刀具半径补偿指令，取消刀具半径补偿功能后，刀具中心轨迹与编程轨迹重合。在一个程序结束之前，必须取消刀具半径补偿，否则，刀具在终点定位将偏离一个刀具半径值。

### (4) 编程举例

**【例 5-22】**刀具半径左补偿编程。如图 5-28 所示用 $\phi 8$  的刀具，加工距离工件上表面 3mm 深凸模。

```
%4022
N1 G92 X-40 Y50 Z50
N2 M03 S500
N4 G01 Z-3 F400
N5 G01 G41 X5 Y30 D01 F40
N6 X30
N7 G02 X38.66 Y25 R10
(N7 G02 X38.66 Y25 J-10)
N8 G01 X47.32 Y10
N9 G02 X30 Y0 R20
(N9 G02 X30 Y0 I-17.32 J-10)
N10 G01 X0
N11 G02 X0 Y20 R10
(N11 G02 X0 Y20 J20)
N12 G03 Y40 R10
(N12 G03 Y40 J10)
N13 G00 G90 G40 X-40 Y50
N14 G00 Z50
N15 M30
```

从上例可知：加入刀补后，均按图形轮廓尺寸编程。

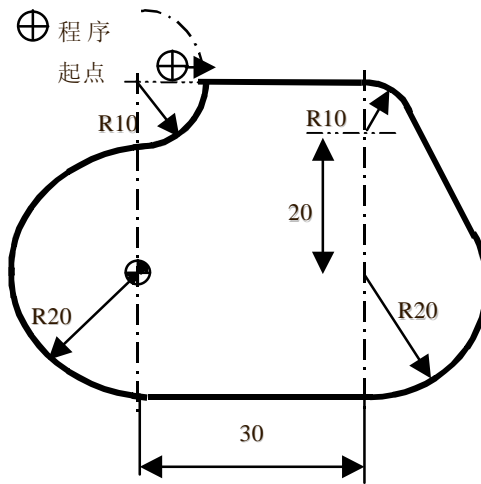


图 5-28 刀具半径左补偿编程

### 5.2.9 简化编程指令的编程与加工

#### 1. 镜像指令 G24、G25

##### (1) 镜像功能

当零件轮廓相对于某一个坐标轴具有对称形状时,可以用子程序先对零件轮廓的一部分编程,再利用镜像功能和子程序,加工出零件的对称部分,这就是镜像功能。在镜像功能中,当某一个坐标轴的镜像有效时,该坐标轴执行与编程方向相反的切削运动。

##### (2) 镜像指令 G24、G25

指令格式: G24X Y Z

M98P

G25

在 G17 指令后的镜像指令,只能在 XY 平面上镜像;在 G18 指令后的镜像指令,只能在 XZ 平面上镜像;在 G19 指令后的镜像指令,只能在 YZ 平面上镜像。

G24 指令的功能是建立镜像,其镜像位置就是该指令坐标轴后的坐标值。如 G24X0,其镜像位置就是 Y 轴。

用 G24 指令建立镜像后,要用 M98 指令调用对称轮廓的子程序,才能实现镜像加工。镜像加工完成后,要用指令 G25 来取消这一次的镜像。如果还需要镜像加工,则要重复使用 G24、M98、G25 指令。

##### (3) 镜像指令编程与加工举例

【例 5-23】镜像指令编程。如图 5-29 所示,设切削深度为 5mm, D01=5mm,其参考程序如下:

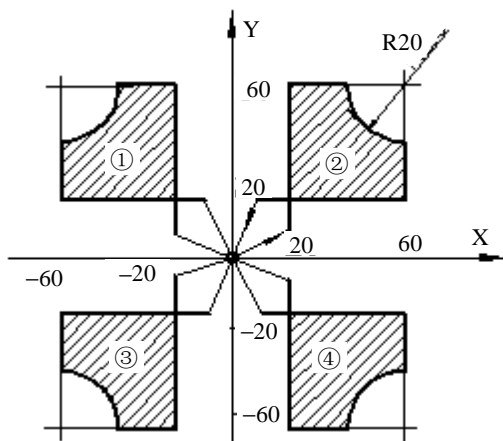


图 5-29 镜像指令编程与加工

%4230

G92X0Y0Z50;

G00X0Y0Z50;

G91G17M03;

M98P100;

G24X0;

选 G92 作为工件坐标系

将刀具快速移至工件坐标系原点

选 XY 平面, 相对坐标编程

调用子程序号为 100 的子程序

以 Y 轴为镜像轴

M98P100;	调用子程序号为 100 的子程序
G25X0;	取消镜像轴 Y 轴
G24X0Y0;	以原点为镜像点
M98P100;	调用子程序号为 100 的子程序
G25X0Y0;	取消原点为镜像点
G24Y0;	以 X 轴为镜像轴
M98P100;	调用子程序号为 100 的子程序
G25Y0;	取消镜像轴 X 轴
M05	
M30	
%100;	子程序号; 加工图形①的子程序
G41G00X20Y10D01;	加右刀补, 将刀具快速移至切削起点
Z-48;	刀具下降
G01Z-7F100;	切深 5mm
Y50;	铣图形①的底边
X20;	铣图形①的右边
G03X20Y-20I20;	铣图形①的圆弧
G01Y-20;	铣图形①的上边
X-50;	铣图形①的左边
G00Z55;	快速抬刀
G40X-10Y-20;	取消刀补, 刀具回到工件坐标系原点
M99;	子程序结束并返回到主程序

在使用镜像加工时, 要注意镜像图形的走刀路线、抬刀和进刀动作, 以确保安全。

## 2. 缩放指令 G50、G51

### (1) 缩放功能

对编程零件的图形进行缩放, 可以用缩放功能指令。

### (2) 缩放指令

指令格式一: G51X Y Z P

M98P

G50

G51 指令后面的坐标值指定的是图形缩放中心点的坐标值, 用绝对值指定。G51 指令后面的 P 值为缩放倍数。当 P 值小于 1 时, 意味着零件的图形要缩小; 当 P 值大于 1 时, 意味着零件的图形要放大。在 G51 指令后面的移动指令将按缩放倍数移动。G51 指令既可指定平面缩放, 也可指定空间缩放。

没有缩放之前的零件图形用子程序编写, 由 M98 调用。完成缩放图形后, 用指令 G50 取消缩放功能。使用 G51 指令格式一, 可用一个程序加工出形状相同、尺寸不同的工件。

指令格式二: G51X Y Z I J K

M98P

G50

G51 指令后面的坐标值指定的是图形缩放中心点的坐标值，用绝对值指定。指令中的 I 值为 X 轴的缩放倍数；指令中的 J 值为 Y 轴的缩放倍数；指令中的 K 值为 Z 轴的缩放倍数。在 G51 指令后面的移动指令将按各轴的缩放倍数移动。使用 G51 指令格式二，可用一个程序加工出形状类似、尺寸不同的工件。

没有缩放之前的零件图形用子程序编写，由 M98 调用。完成缩放图形后，用指令 G50 取消缩放功能。

缩放不能用于补偿量。

### (3) 缩放指令编程与加工举例：

【例 5-24】使用缩放功能编制如图 5-30 所示轮廓的加工程序：已知三角形 ABC 的顶点为 A (10, 30)，B (90, 30)，C (50, 110)，三角形 A'B'C' 是缩放后的图形，其中，缩放中心为 D (50, 50)，缩放系数为 0.5 倍，设刀具起点距工件上表面 50mm。其参考程序如下：

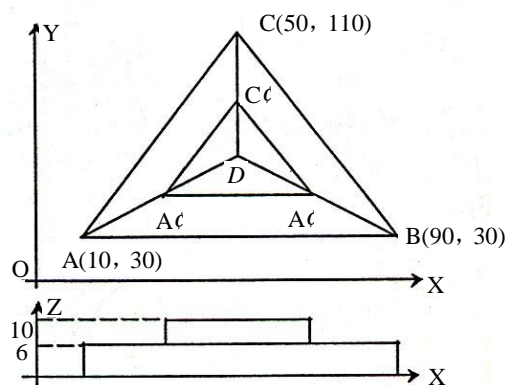


图 5-30 缩放图形

%5024; 主程序

G92X0Y0Z60;

G17M03S600F300;

G43G00Z14H01;

X110Y0;

Z0;

M98P100;

G00Z6;

G51X50Y50P0.5;

M98P100;

G50;

G49Z60;

G00X0Y0;

M05M30;

%100;

N100G41G00Y30D01

N150G01X10

N160X50Y110

N170X90Y30

N200G90G40G00X110Y0

N210M99

### 3. 旋转变换指令 G68、G69

#### (1) 旋转变换功能

使用旋转变换功能，可以将一个编程的图形进行旋转，相当于图形的实际加工位置相对于图形的编程位置旋转了某一个角度。当一个零件由若干个形状相同的图形组成，且各个图

加工三角形 ABC

缩放中心 (50, 50)，缩放系数 0.5

加工三角形 A'B'C'

取消缩放

子程序 (三角形 ABC 的加工程序)

形分布在由一个图形旋转便可得到的位置上时，则在编程位置编写出一个图形的程序（可以是子程序，也可以是主程序的一部分），再利用旋转变换功能。是子程序时，用 M98 指令调用一次子程序，便可得到一个旋转变换了的图形，多次调用子程序，便可得到这个零件。

## （2）旋转变换指令 G68、G69

指令格式：G68  $\alpha$   $\beta$  P

M98P

G69

G68 指令后面的坐标值  $\alpha$ 、 $\beta$  指定的是旋转中心点的坐标值，用绝对值指定。旋转中心的两个坐标轴与指令 G17、G18、G19 的坐标平面一致。G17 平面为 X、Y 轴；G18 平面为 X、Z 轴；G19 平面为 Y、Z 轴。G68 指令后面的 P 值为图形旋转的角度，单位为 ( $^{\circ}$ )。角度为正值时，表示逆时针方向旋转。旋转角度可以为绝对值，也可以为增量值，当为增量值时，旋转角度在前一个角度的基础上再增加一个旋转角度。

指令 G69 为取消旋转变换功能。

在有刀具补偿的情况下，先进行旋转，然后才进行刀具补偿。在有缩放功能的情况下，先缩放后旋转。

## （3）旋转变换指令编程与加工举例

【例 5-26】旋转变换指令编程，如图 5-31 所示。

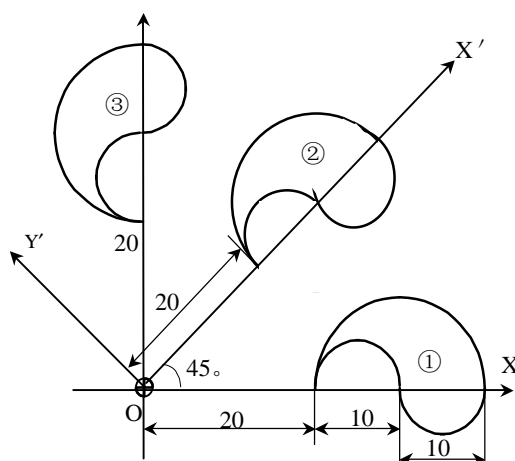


图 5-31 旋转变换指令编程

%4260

G92X0Y0Z10;

G90G17M03;

G00X0Y0Z10;

M98P100;

G68X0Y0P45;

M98P100;

G69;

G68X0Y0P90;

选 G92 作为工件坐标系

选 XY 平面，绝对坐标编程

将刀具快速移动至切削起点

调用程序号为 100 的子程序

以 X0Y0 为旋转中心，旋转角度为  $45^{\circ}$

调用程序号为 100 的子程序

取消旋转变换功能

以 X0Y0 为旋转中心，旋转角度为  $90^{\circ}$



M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
M05M30;	
%100;	加工图形①的子程序
G00X20Y-5;	将刀具快速移动至切削起点
G01Z-3F100;	切深 3mm
Y0;	沿切向切入
G02X30Y0I5;	加工 R5 的顺圆
G03X40Y0I5;	加工 R5 的逆圆
G03X20Y0I-10;	加工 R10 的逆圆
Y-5;	沿切向切出
G00Z10;	快速抬刀
X0Y0;	回到工件坐标系原点
M99;	子程序结束并返回到主程序

#### 5.2.10 孔加工循环指令的编程与加工

数控加工中的孔加工，其动作循环已经典型化。例如，钻孔、镗孔的循环通常由六个顺序动作组成，如图 5-32 所示。

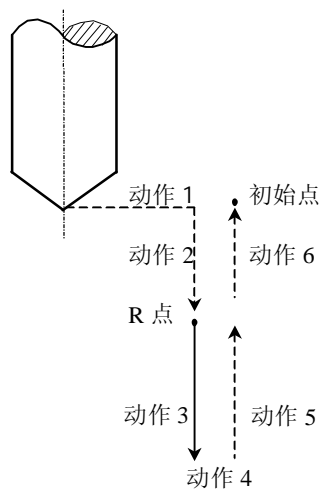


图 5-32 实线——切削进给；虚线——快速进给

动作 1：孔中心定位。刀具快速进给到孔中心定位。

动作 2：刀具快速进给到转换点 R。R 点一般离工件表面有一个距离，这个距离叫引入距离。在已加工表面上加工孔，引入距离为 2~5mm；在毛坯面上加工孔，引入距离为 5~10mm。

动作 3：刀具慢速切削到孔底。根据孔的深度，可以一次加工到孔底，也可以分段加工到孔底，分段加工到孔底又称为间歇进给。

动作 4：刀具在孔底的动作。根据孔的不同，刀具在孔底的动作也不同。有的不需要孔底动作；有的需要刀具在孔底短暂停留；有的需要主轴反转；有的需要主轴停止。

动作 5：刀具返回到转换点 R。刀具从孔中退出，可以是快速退出、慢速退出、手动退出等。

动作 6：快速返回到初始平面。初始平面是开始执行孔加工时，刀位点所在的平面。

不同的孔加工动作可能不同，有的没有孔底动作，有的不返回到初始平面，但是这样一系列典型的加工动作已经预先编好程序，存储在内存中，可用包含 G 代码的一个程序段调用，从而简化编程工作。这种包含了典型动作循环的 G 代码称为循环指令。又称为固定循环指令。

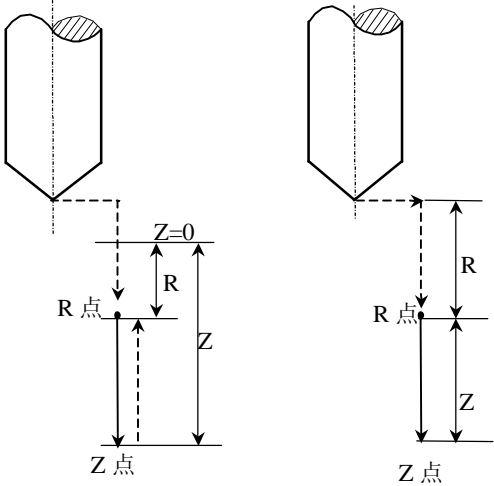
固定循环指令的数据表达形式可以用绝对坐标 G90 和相对坐标 G91 表示。固定循环的程序格式如下：

G98G\*\*X Y Z R Q P I J K F L

G99G\*\*X Y Z R Q P I J K F L

G98 指令的功能是使刀具退回时直接返回到初始平面。

G99 指令的功能是使刀具退回时只返回到转换点 R 所在的平面如图 5-33。



(a) G90 编程 (b) G91 编程  
图 5-33 固定循环的数据形式

程序格式中的第二个 G 代码为孔加工方式，即孔加工循环指令 G73、G74、G76 和 G81～G89 中的任一条指令。

程序格式中的 X、Y 为 G17 指定平面上的孔的中心点的坐标值（如果是 G18，孔的中心点的坐标值则为 X、Z；如果是 G19，孔的中心点的坐标值则为 Y、Z。）。

程序格式中的 Z 值是 Z 轴为钻孔轴时转换点 R 到孔底的距离（G91 时）或孔底的坐标（G90 时）。

程序格式中的 R 值为刀位点到 R 点的距离（G91 时）或 R 点的坐标（G90 时）。

程序格式中的 Q 值为刀具每次的进给深度（G73 或 G81 时），是增量值，Q 值小于零，Z 轴才向下进给。

程序格式中的 K 值为刀具每次进给后的退刀量（G73 或 G81 时），是增量值，K 值大于零，Z 轴才上升，刀具才抬起。

程序格式中的 I 值、J 值为刀具向刀尖反方向的移动量（分别在 X 轴、Y 轴的方向上）。

P 值指定刀具在孔底的停留时间（单位为 ms）。

F 为切削进给速度。

L 为固定循环中从动作 1~动作 6 的重复次数。

该指令与参数为模态指令，一经指令，一直保持有效。当换位加工相同规格孔时，只需改变孔的中心点坐标值 X、Y。

取消固定循环用指令 G80，同时也取消 R 点和 Z 点。用指令 G01、G02、G03 也可以取消固定循环。

以下叙述中以 Z 轴为钻孔轴。固定循环指令介绍如下：

### 1. 断屑式深孔加工循环指令 G73

#### （1）指令格式

{G98/G99} G73X Y Z R Q K F L

G73 的循环动作如图 5-34 所示。

刀具每次的切削深度由 Q 值指定，Q 值为负值，刀具进给；刀具每次的退刀量由 K 值指定，K 值为正值，刀具退回。在数值上 K 值小于 Q 值。用 G73 指令时，刀具在 Z 轴方向间歇进给，便于断屑、排屑。

#### （2）编程举例

【例 5-27】断屑式深孔加工循环编程。在图 5-34 中，设孔中心的坐标值为（30，40），孔深为 30mm，R=20mm。孔径为 14mm，选用 $\phi 14$  的钻头。其参考程序如下：

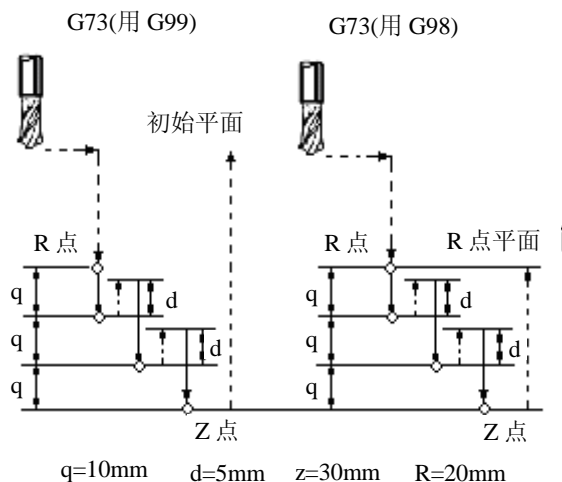


图 5-34 断屑式深孔加工循环

%4270

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G99G73X30Y40Z-30R-20Q-10K5F80;

切深 10mm，退 5mm，断屑

G80;

取消钻孔循环

M05

M30

## 2. 攻左旋螺纹循环指令 G74

### (1) 指令格式

{G98/G99} G74X Y Z R P F L

G74 的循环动作如图 5-35 所示。

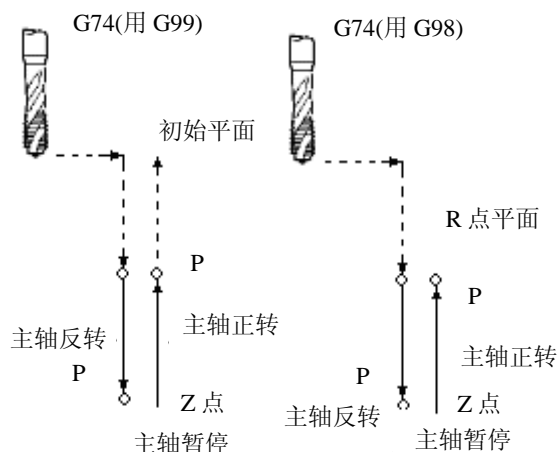


图 5-35 攻左旋螺纹循环

攻左旋螺纹进给时，主轴反转，加工到孔底时，主轴暂停后由反转变为正转，然后按进给速度退回。在攻螺纹循环动作中，进给速度倍率无效。即使使用了进给暂停，刀具也必须在返回动作结束之后才停止。

### (2) 编程举例

【例 5-28】攻左旋螺纹循环编程。在图 5-35 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，R=20mm。底孔直径为 14mm，选用 M16 的丝锥。攻三遍丝。其参考程序如下：

```
%4280
```

```
G54G90;
```

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

```
M03S600
```

```
G99G74X30Y40Z-30R-20P2000F1.5L3;
```

攻 1.5 左螺距三遍，停 2 秒

```
G80;
```

取消攻左旋螺纹循环

```
M05
```

```
M30
```

## 3. 精镗循环指令 G76

### (1) 指令格式

{G98/G99} G76 X Y Z R Q P I J K F L

G76 的循环动作如图 5-36 所示。

精镗时，主轴按进给速度加工到孔底定向停止后，向刀尖的反方向移动，然后快速退刀。这种带有让刀的退刀不会划伤已加工表面，保证了镗孔精度。主轴向刀尖的反方向的移动量用 q 值指定，q 值只能为正值，位移方向由 MDI 决定，可为±X、±Y 中的任一个。

## (2) 编程举例

【例 5-29】精镗循环编程。在图 5-36 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm， $R=20\text{mm}$ 。底孔直径为 40mm，选用  $\Phi 14$  的镗刀，镗三遍，刀具在孔底的反方向移动为 -I 方向，移动距离为 5mm。其参考程序如下：

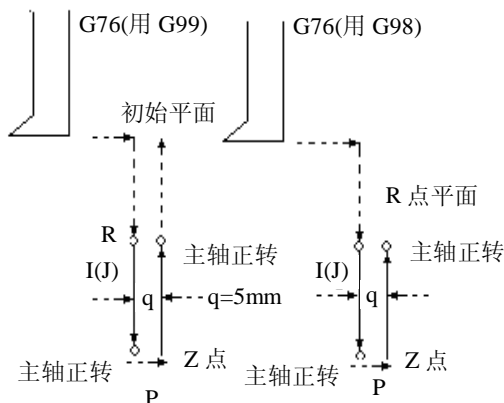


图 5-36 精镗循环

%4290

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G99G76X30Y40Z-30R-20Q-10P2000I-5K5F80L3; 镗深 10mm，停 2 秒，定向移动 5mm，抬刀 5mm，  
加工三遍

G80;

取精镗孔循环

M05

M30

## 4. 钻孔、点钻循环指令 G81

### (1) 指令格式

{G98/G99} G81X Y Z R F

G81 的循环动作如图 5-37 所示。

该指令用于钻浅孔，钻薄板上的孔。

### (2) 编程举例

【例 5-30】钻孔循环编程。在图 5-38 中，设 A 孔中心的坐标值为 (30, 40)，设 B 孔中心的坐标值为 (30, 80)，设 C 孔中心的坐标值为 (60, 80)，设 D 孔中心的坐标值为 (60, 40)，孔深为 5mm， $R=3\text{mm}$ 。孔径  $\Phi 10\text{mm}$ ，选用  $\Phi 10$  的钻头加工，其参考程序如下：

%4300

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

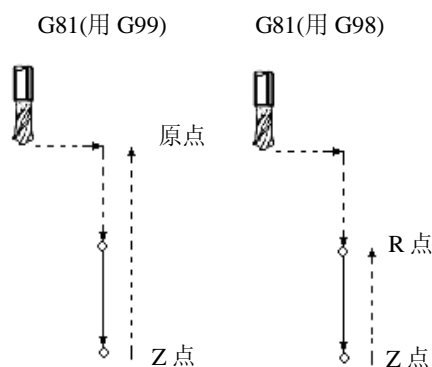


图 5-37 钻孔、点钻循环

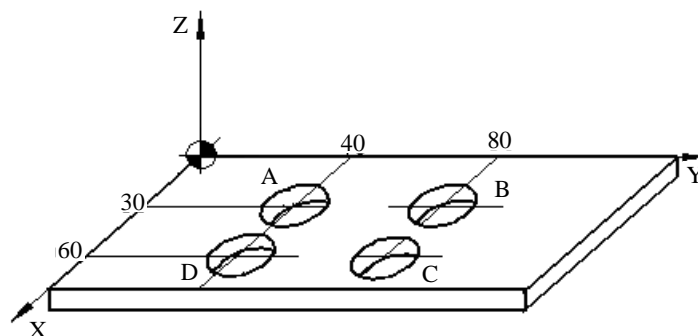


图 5-38 钻孔、点钻循环编程

M03S600

G00X0Y0Z20;

将钻头快速移到工件坐标系原点

G99G81X30Y40Z-5R3F80;

钻 A 孔

X30Y80;

钻 B 孔

X60;

钻 C 孔

G00X0Y0Z20;

将钻头快速移到工件坐标系原点

G99G81X60Y40Z5R3F80;

钻 D 孔

G00X0Y0Z20;

将钻头快速移到工件坐标系原点

G80;

取消钻孔循环

M05M30

## 5. 带停顿的钻孔循环指令 G82

### (1) 指令格式

{G98/G99} G82X Y Z R P F

G82 的循环动作如图 5-39 所示。

G82 指令用于钻盲孔。钻盲孔时，可使钻头在孔底暂停，暂停时间由 P 指定。

### (2) 编程举例

【例 5-31】带停顿的钻孔循环编程。在图 5-40 中，设 A 孔中心的坐标值为 (30, 40)，设 B 孔中心的坐标值为 (30, 80)，设 C 孔中心的坐标值为 (60, 80)，设 D 孔中心的坐标值为 (60, 40)，孔深为 5mm，R=3mm。孔径  $\Phi 10\text{mm}$ ，选用  $\Phi 10$  的钻头加工，其参考程序如下：

%4310

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G00X0Y0Z20;

将钻头快速移到工件坐标系原点

G99G82X30Y40Z-5R-30P2000F80;

钻 A 孔，钻深 5mm

X30Y80;

钻 B 孔，钻深 5mm

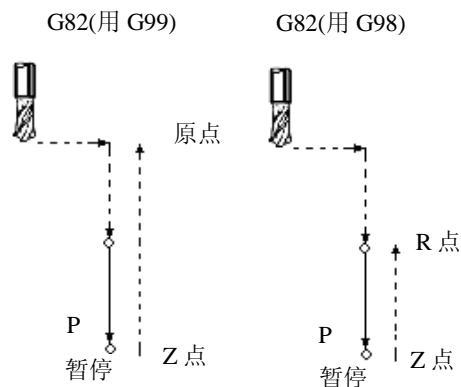


图 5-39 带停顿的钻孔循环

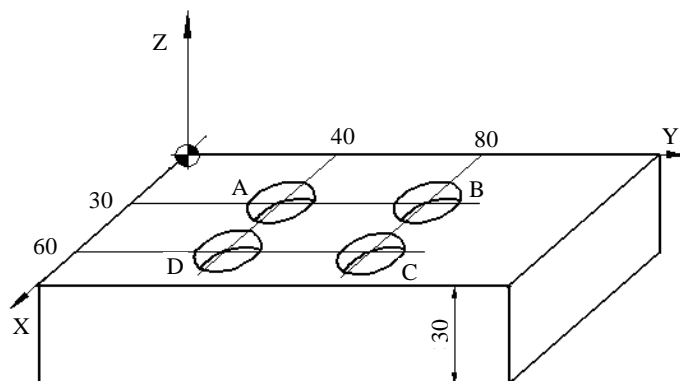


图 5-40 带停顿的钻孔循环编程

X60;	钻 C 孔, 钻深 5mm
G00X0Y0Z20;	将钻头快速移到工件坐标系原点
G99G82X60Y40Z-5R-3 P2000F80;	钻 D 孔, 钻深 5mm
G00X0Y0Z20;	将钻头快速移到工件坐标系原点
M05M30	

## 6. 排屑式深孔加工循环指令 G83

### (1) 指令格式

{G98/G99} G83 X Y Z R Q P K F L

G83 的循环动作如图 5-41 所示。

用 G83 指令时, 刀具每次的切削深度由  $q$  值指定,  $q$  值是负值, 刀具进给; 第一次刀具切入  $q$  值后, 以快速退回到 R 平面; 从第二次以后切入时, 先以快速进给到距上次切入位置 K 值后, 变为切削进给, 再切入  $q$  值后, 以快速退回到 R 平面, 如此重复直到加工到孔底。G83 指令每次切入后回到 R 平面, 就是排屑。G83 指令实际上是将深孔加工转换为多次的浅孔加工。

### (2) 编程举例

**【例 5-32】**排屑式深孔加工循环编程。  
在图 5-41 中, 设孔中心的坐标值为 (30, 40), 孔深为 30mm,  $R=3$ mm。孔径为 14mm, 选用  $\Phi 14$  的钻头。其参考程序如下:

%4320	
G54G90;	选 G54 为工件坐标系, 绝对值编程
M03S600	
G00X0Y0Z20;	将钻头快速移到工件坐标系原点
G99G83X30Y40Z-30R-3Q-10K5F80;	切深 10mm, 快速退回到 R 平面, 再快速下降到距上次切入位置 5mm, 转入进给速度切削

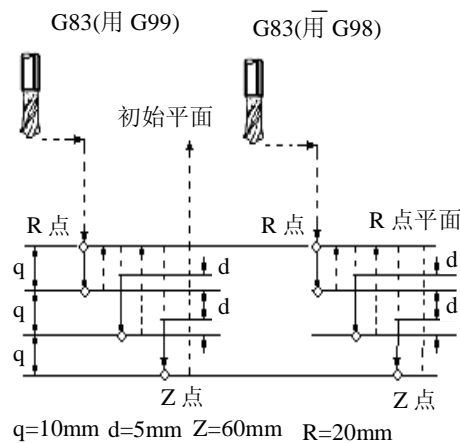


图 5-41 排屑式深孔加工循环

G00Z20;

将钻头快速移到工件坐标系原点

X0Y0

M05

M30

## 7. 攻右旋螺纹循环指令 G84

### (1) 指令格式

{G98/G99} G84X Y Z R F L

G84 的循环动作如图 5-42 所示。

用 G84 攻右旋螺纹时，从 R 点到 Z 点，刀具正向进给，主轴正转，加工到孔底部时，主轴暂停后反转，刀具以进给速度反向退出。主轴退到 R 点平面后，再次暂停，再次变换旋转方向。所有这些，都是由系统自动完成的。

### (2) 编程举例

【例 5-33】攻右旋螺纹循环编程。在图 5-42 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，R=3mm。底孔直径为 14mm，选用 M16 的丝锥。攻三遍丝。其参考程序如下：

%4330

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G00Z20

X0Y0

G99G84X30Y40Z30R3P2000F1.5L3;

攻 1.5 右螺距三遍，停 2 秒

G00Z20

X0Y0;

将刀具快速移到工件坐标系原点

M05

M30

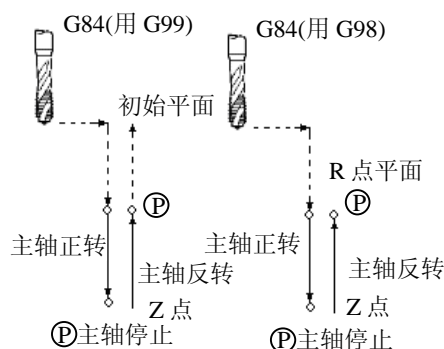


图 5-42 攻右旋螺纹循环

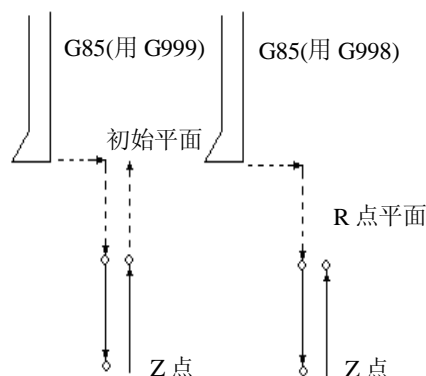


图 5-43 粗镗循环

## 8. 镗孔循环指令 G85、G86、G87、G88、G89

### (1) 粗镗循环指令 G85

#### ①指令格式

{G98/G99} G85X Y Z R F L

G85 的循环动作如图 5-43 所示。

用 G85 粗镗时，从 R 点到 Z 点主轴正转，刀具正向进给到孔底部，然后主轴以快速退出。

#### ②编程举例

【例 5-34】粗镗循环编程。在图 5-43 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，



R=3mm。底孔直径为 40mm，选用  $\Phi 14$  的镗刀，镗三遍。其参考程序如下：

```
%4340
G54G90;                      选 G54 为工件坐标系，绝对值编程
M03S600
G00Z20
X0Y0
G99G85X30Y40Z-30R-3F80L3;    粗镗三遍
G00Z20
X0Y0;                          将镗刀快速移到工件坐标系原点
M05
M30
```

## （2）半精镗循环指令 G86

### ①指令格式

{G98/G99} G86X Y Z R F

G86 的循环动作如图 5-44 所示。

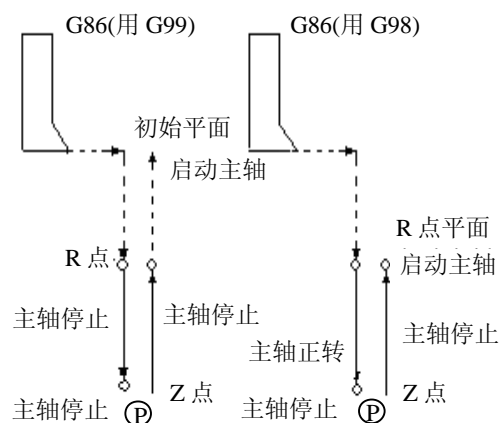


图 5-44 半精镗循环

用 G86 半精镗时，从 R 点到 Z 点主轴正转，刀具正向进给到孔底部，主轴停止。然后刀具以快速退出，并重新启动主轴。

### ②编程举例

【例 5-35】半精镗循环编程。在图 5-44 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，R=3mm。底孔直径为 40mm，选用  $\phi 14$  的镗刀，镗三遍。其参考程序如下：

```
%4350
G54G90;                      选 G54 为工件坐标系，绝对值编程
M03S600
G00Z20
X0Y0
G99G86X30Y40Z-30RF80L3;      半精镗三遍
```

G00Z20

X0Y0;

将镗刀快速移到工件坐标系原点

M05

M30

### (3) 反镗循环指令 G87

#### ①指令格式

G99 G87X Y Z R I J F

G87 的循环动作如图 5-45 所示。

用 G87 反镗时, 刀具在 X、Y 轴定位后, 主轴定向停止, 然后向刀尖相反方向移动  $q$  值, 再从孔中快速进给到孔底定位点 R 处。在此位置, 刀具向刀尖的反方向移动  $q$  值。启动主轴正转后, 刀具沿 Z 轴正方向加工到孔顶面上的 Z 点。在此位置, 主轴再次定向停止, 刀具再次向刀尖的反方向移动  $q$  值, 然后退出。返回到初始平面后, 沿初始平面回退一个位移量  $q$  值, 并重新启动主轴正转, 进行下一个程序段的动作。

#### ②编程举例

【例 5-36】反镗循环编程。在图 5-45 中, 设孔中心的坐标值为 (30, 40), 孔深为 30mm,  $R=60\text{mm}$ 。底孔直径为 40mm, 选用  $\phi 14$  的镗刀, 镗三遍, 其参考程序如下:

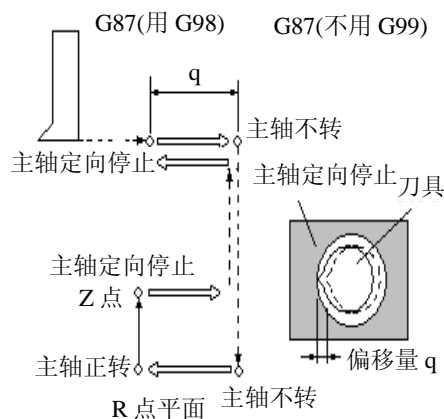


图 5-45 反镗循环

刀具在孔底的反方向移动量为+I 方向, 移动距离为 5mm。

%4360

G54G90;

选 G54 为工件坐标系, 绝对值编程

M03S600

G00Z20

X0Y0

G99G87X30Y40Z-30R-60I5F80L3;

R 在孔底, Z 在孔表面, 从下往上镗三遍

G00Z20

X0Y0;

将镗刀快速移到工件坐标系原点

M05

M30

#### (4) 手动退刀镗孔循环指令 G88

##### ①指令格式

{G98/G99} G88X Y Z R P F

G88 的循环动作如图 5-46 所示。

用 G88 指令镗孔时，刀具运行到孔底时暂停，主轴停止转动，系统转换为手动状态，此时可用手动使刀尖离开孔表面，再手动将刀具从孔中退出。退回到指令位置后，主轴自动正转，进行下一个程序段的动作。数控铣床可用此功能实现半精镗或精镗。

##### ②编程举例

【例 5-37】手动退刀镗孔循环编程。在图 5-46 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，R=3mm。底孔直径为 40mm，选用 $\phi 14$  的镗刀，镗三遍。其参考程序如下：

%4370

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G00Z20

X0Y0

G99G88X30Y40Z-30R-3F80L3;

每次镗到孔底，手动退刀。镗三遍

G00Z20

X0Y0;

将镗刀快速移到工件坐标系原点

M05

M30

#### (5) 镗阶梯孔循环指令 G89

##### ①指令格式

{G98/G99} G89X Y Z R P F L

G89 的循环动作如图 5-47 所示。

用 G89 指令镗孔时，从 R 点到 Z 点主轴正转，刀具正向进给到孔底部，暂停一段时间，主轴停止。然后重新启动主轴，并且刀具以快速退回到指令位置。

##### ②编程举例

【例 5-38】镗阶梯孔循环编程。在图 5-47 中，设孔中心的坐标值为 (30, 40)，孔深为 30mm，R=3mm。底孔直径为 40mm，选用 $\phi 14$  的镗刀，镗三遍。其参考程序如下：

%4380

G54G90;

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

M03S600

G00Z20

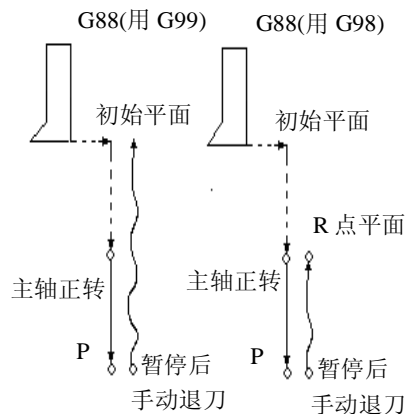


图 5-46 手动退刀镗孔循环

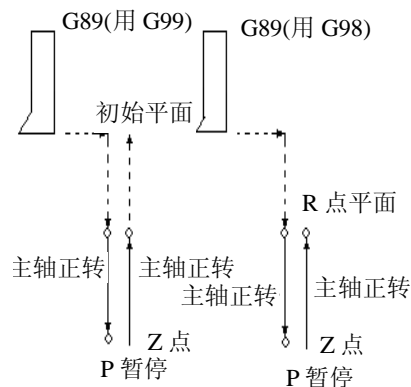


图 5-47 镗阶梯孔循环

X0Y0

G99G89X30Y40Z-30R-3P1000F80L3

镗到孔底，停 1 秒，刀具快速至初始平面，镗三遍

G00Z20

X0Y0;

将镗刀快速移到工件坐标系原点

M05

M30

#### 9. 固定循环指令使用时的注意点:

- (1) 在固定循环中，定位速度由前面的指令决定。
- (2) 各个固定循环指令均为非模态值，因此每句指令的各项参数应写全。
- (3) 固定循环指令中的定位方式取决于上次是 G00 还是 G01，因此如果希望快速定位，则应在上一程序段或本程序段开头用指令 G00。

(4) 在使用固定循环指令前应使用 M03（主轴正转）或 M04（主轴反转）启动主轴，使主轴回转在孔加工循环程序段中，X、Y、Z、R 的数据应至少有一个值不为零，指令才能执行。

(5) 孔加工在使用控制主轴回转的固定循环（G74、G84、G86）中，如果连续加工一些孔间距比较小，或者初始平面到 R 点平面的距离比较短的孔时，会出现在开始孔的切削动作时，主轴还没有达到正常转速的情况，这时可在各孔的加工动作之间插入 G04 指令，以获得时间。

(6) 当用 G00~G03 指令之一取消固定循环时，若 G00~G03 指令之一和固定循环出现在同一程序段，则有如下两种格式：

① (G00~G03) G\*\* X Y Z R Q P K F L ，此时按固定循环运行；

② G\*\* (G00~G03) X Y Z R Q P K F L ，此时按 G00~G03 指令之一运行在固定循环程序中。

(7) 如果在固定循环程序段中指定了辅助功能 M，则在循环的最初定位时送出 M 信号，等待 M 信号完成，才能进行孔加工循环。

#### 10. 固定循环功能应用举例

【例 5-39】编写如图 5-48 所示零件的钻孔循环程序。

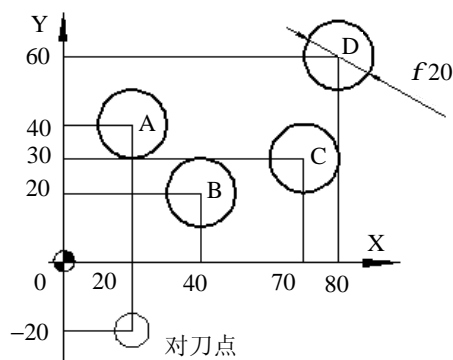


图 5-48 钻孔循环编程

在图 5-48 中，设 Z 轴开始点距工件表面 20mm 处，切削深度为 20mm。先用  $\Phi 10$  的钻头钻孔，再用  $\phi 16$  的钻头扩孔，最后用  $\phi 20$  的钻头扩孔。其参考程序如下：

%4390	
G54G90;	选 G54 为工件坐标系，绝对值编程
M03S600	
G00Z20	
X20Y-20;	将刀具到对刀点
G98G81X20Y40Z-20R3F150;	钻 A 孔
X40Y20;	钻 B 孔
X70Y30;	钻 C 孔
X80Y60;	钻 D 孔
G80;	取消钻孔循环
G00Z20	
X0Y0;	将钻头快速移到工件坐标系原点
M05M30	

【例 5-40】编写如图 5-49 所示零件的螺纹加工程序。

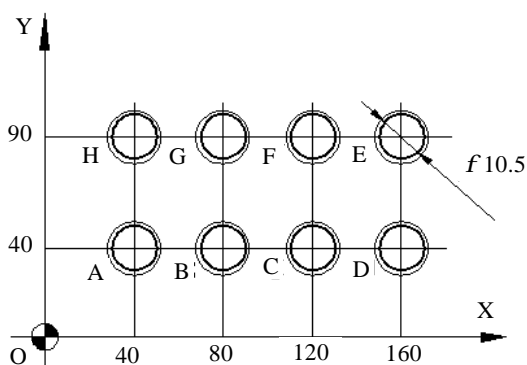


图 5-49 螺纹加工编程

在图 5-49 中，设 Z 轴开始点距工件表面 50mm 处，切削深度为 10mm。先用  $\Phi 10.5$  的钻头钻孔，再用 M12 的丝锥攻丝。其参考程序如下：

%4400（用 G81 钻孔）	
G54G90;	选 G54 为工件坐标系，绝对值编程
M03S600	
G00Z50	
X0Y0;	将钻头快速移到工件坐标系原点
G98G81X40Y40Z-10R3F100;	钻 A 孔
X80;	钻 B 孔
X120;	钻 C 孔
X160;	钻 D 孔
X40Y90Z-12R-50F100;	钻 H 孔
X80;	钻 G 孔
X120;	钻 F 孔
X160;	钻 E 孔
G80;	取消钻孔循环
G00Z50	
X0Y0;	将钻头快速移到工件坐标系原点
M05M30	
%4421（用 G84 攻丝）	
G54G90;	选 G54 为工件坐标系，绝对值编程
M03S600	
G00Z50	
X0Y0;	将丝锥快速移到工件坐标系原点
G98G84X40Y40Z-10R3F100;	A 孔攻丝
X80;	B 孔攻丝
X120;	C 孔攻丝
X160;	D 孔攻丝
X40Y90;	H 孔攻丝
X80;	G 孔攻丝
X120;	F 孔攻丝
X160;	E 孔攻丝
G80;	取消攻丝循环
G00Z50	
X0Y0;	将丝锥快速移到工件坐标系原点
M05M30	

## 5.3 华中世纪星系统编程与加工举例

### 5.3.1 华中世纪星系统数控指令

华中世纪星系统数控指令如表 5-1、表 5-2 所示。

表 5-1 华中世纪星数控铣床 G 指令

G 代码	分组	功能
G00	01	快速定位
▲G01		直线插补
G02		顺圆插补
G03		逆圆插补
G04	00	暂停
G07	16	虚轴指定
G09	00	准停校验
▲G17	02	XY 平面选择
G18		ZX 平面选择
G19		YZ 平面选择
G20	08	英寸输入
▲G21		毫米输入
G22		脉冲当量
G24	03	镜像开
▲G25		镜像关
G28	00	返回到参考点
G29		由参考点返回
▲G40	09	刀具半径补偿取消
G41		左刀补
G42		右刀补
G43	10	刀具长度正向补偿
G44		刀具长度负向补偿
▲G49		刀具长度补偿取消
▲G50	04	缩放关
G51		缩放开
G52	00	局部坐标系设定
G53		直接机床坐标系编辑
▲G54	11	工件坐标系 1 选择
G55		工件坐标系 2 选择
G56		工件坐标系 3 选择
G57		工件坐标系 4 选择
G58		工件坐标系 5 选择
G59		工件坐标系 6 选择
G60	00	单方向定位
▲G61	12	精确停止校验方式
G64		连续方式
G65	00	子程序调用
G68	05	旋转变换
▲G69		旋转取消

(续表)

G 代码	分组	功能
G73	06	深孔钻削循环
G74		反攻丝循环
G76		精镗循环
▲G80		固定循环取消
G81		定心钻循环
G82		钻孔循环
G83		深孔钻循环
G84		攻丝循环
G85		镗孔循环
G86		镗孔循环
G87		反镗循环
G88		镗孔循环
G89		镗孔循环
▲G90	13	绝对值编程
G91		增量值编程
G92	00	工件坐标系设定
▲G94	14	每分钟进给
G95		每转进给
▲G98	15	固定循环返回起始点
G99		固定循环返回到 R 点

注：1. 00 组中的 G 代码是非模态的，其他组的 G 代码模态的。

2. ▲标记者为缺少值。

表 5-2 华中世纪星数控铣床 G 指令

G 代码	分组	功能
G00	01	快速定位
▲G01		直线插补
G02		顺圆插补
G03		逆圆插补
G04	00	暂停
G20	08	英寸输入
▲G21		毫米输入
G22		脉冲当量
G28	00	返回到参考点
G29		由参考点返回



(续表)

G 代码	分组	功能
G32	01	螺纹切削
▲G36	17	直径编程
G37		半径编程
▲G40	09	刀尖半径补偿取消
G41		左刀补
G42		右刀补
▲G54	11	工件坐标系 1 选择
G55		工件坐标系 2 选择
G56		工件坐标系 3 选择
G57		工件坐标系 4 选择
G58		工件坐标系 5 选择
G59		工件坐标系 6 选择
G71	06	外径/内径车削复合循环
G71		端面车削复合循环
G73		闭环车削复合循环
G76		螺纹切削复合循环
G80		外径/内径车削固定循环
G81		端面车削固定循环
G82		螺纹切削固定循环
▲G90	13	绝对值编程
G91		增量值编程
G92	00	工件坐标系设定
▲G94	14	每分钟进给
G95		每转进给
▲G96	16	恒线速切削
G97		恒线速切削取消

注：1. 00 组中的 G 代码是非模态的，其他组的 G 代码模态的。

2. ▲标记者为缺少值。

### 5.3.2 编程与加工举例

【例 5-41】编写如图 5-50 所示的槽形零件的加工程序，其毛坯为四周已加工的铝锭（厚为 20mm），槽宽 6mm，槽深 2mm。

#### 1. 工艺和操作清单

该槽形零件除了槽的加工外，还有螺纹孔的加工。其工艺安排为“钻孔→扩孔→攻螺纹→铣槽”，工艺和操作清单见表 5-3 所示。

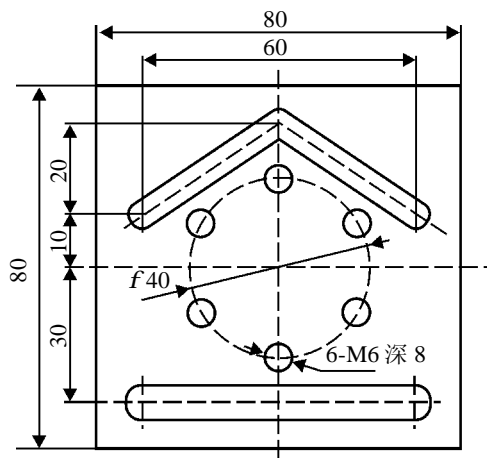


图 5-50 槽形零件加工程序

表 5-3 槽形零件的工艺清单

材料	铝	零件号	001		程序号	0030
操作序号	内容	主轴转速 (r/min)	进给速度 (r/min)	刀具		
				号数	类型	直径/（mm）
1	中心钻	1500	80	1	4mm 钻头	4

2. 该工件在数控铣钻床 ZJK7532A-3 上进行加工。

其参考程序如下：

%4450

N10 G21;

设定单位为 mm

N20 G40 G49 G80 H00;

取消刀补和循环加工

N30 G28 X0 Y0 Z50;

回参考点

N40 M00;

暂停

N50 M03 S1500;

开始φ5mm 钻孔

N60 G90 G43 H01 G00 X0 Y20.0 Z10.0;

绝对值编程。刀长补偿。刀具定位

N70 G81 G99 X0 Y20.0 Z-7.0 R2.0 F80;

钻第一个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回 R 点

N80 G99 X17.32 Y10.0;

钻第二个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回 R 点

N90 G99 Y-10.0;

钻第三个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回 R 点

N100 G99 X0 Y-20.0;

钻第四个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回 R 点

N110 G99 X-17.32 Y-10.0;

钻第五个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回 R 点

N120 G98 Y10.0;

钻第六个孔。G81 循环钻孔，孔深 7mm，返回初始平面

N130 G80 M05;

取消循环钻孔指令、主轴停

N140 G28 X0 Y0 Z50;

回参考点

N150 G49 M00;

取消刀长补偿。主轴停

N160 M03 S2000;

N170 G90 G43 H02 G00 X0 Y20.0 Z10.0;

开始扩孔

N180 G83 G99 X0 Y20.0 Z-12.0 R2.0 Q-7.0 K2 F100;	扩第一个孔, G83 循环, 返回 R 点
N190 G99 X17.32 Y10.0;	扩第二个孔, G83 循环, 返回 R 点
N200 G99 Y-10.0;	扩第三个孔, G83 循环, 返回 R 点
N210 G99 X0 Y-20.0;	扩第四个孔, G83 循环, 返回 R 点
N220 G99 X-17.32 Y-10.0;	扩第五个孔, G83 循环, 返回 R 点
N230 G98 Y10.0;	扩第六个孔, G83 循环, 返回初始平面
N240 G80 M05;	取消循环扩孔指令、主轴停
N250 G28 X0 Y0 Z50;	回参考点
N260 G49 M00;	取消刀长补偿。主轴停
N270 M03 S200	
N280 G90 G43 H03 G00 X0 Y20.0 Z10.0;	开始攻螺纹
N290 G84 G99 X0 Y20.0 Z-8.0 R7 F1.5;	攻第一个孔螺纹, G84 循环, 返回 R 点
N300 G99 X17.32 Y10.0;	攻第二个孔螺纹, G84 循环, 返回 R 点
N305 G99 Y-10.0;	攻第三个孔螺纹, G84 循环, 返回 R 点
N310 G99 X0 Y-20.0;	攻第四个孔螺纹, G84 循环, 返回 R 点
N320 G99 X-17.32 Y-10.0;	攻第五个孔螺纹, G84 循环, 返回 R 点
N330 G98 Y10.0;	攻第六个孔螺纹, G84 循环, 返回初始平面
N340 G80 M05;	取消循环攻螺纹指令、主轴停
N350 G28 X0 Y0 Z50;	回参考点
N360 G49 M00;	取消刀长补偿。主轴停
N370 M03 S2300	
N380 G90 G43 G00 X-30.0 Y10.0 Z10.0 H04;	开始铣槽
N390 Z2.0;	刀具快速定位
N400 G01 Z0 F180;	刀具慢速下降
N410 X0 Y40.0 Z-2.0;	铣左斜槽, 槽深 2mm
N420 X30.0 Y10.0 Z0;	铣右斜槽
N430 G00 Z2.0;	快速抬刀
N440 X-30.0 Y-30.0;	刀具快速定位
N450 G01 Z-2.0 F100;	刀具慢速下降
N460 X30.0;	铣底槽, 槽深 2mm
N470 G00 Z10.0 M05;	快速抬刀。主轴停
N480 G28 X0 Y0 Z50;	回参考点
N490 M30;	程序结束

【例 5-46】试采用固定循环方式加工图 5-51 所示各孔。工件材料为 HT300。

#### 1. 刀具选择

使用刀具 T01 为镗孔刀, T02 为 $\phi 13$ 钻头, T03 为 $\phi 22$ 铰钻。

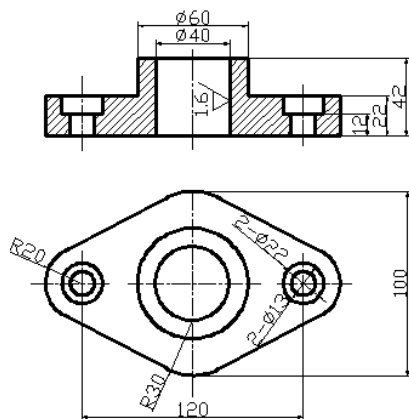


图 5-51 孔加工循环

## 2. 工艺安排

镗孔—钻孔—铰孔。

### 3) 参考程序

%4460;	程序号
T01;	开始镗孔
G54;	选 G54 为工件坐标系，工件上表面中心为工件坐标系原点
M03 S500	
G90 G00 Z20	
X0 Y0;	刀具快速定位
G01 G43 Z3 H01 F30;	加刀长补偿，刀具慢速下降
G98 G85 X0 Y0 R3 Z-45;	G85 粗镗循环，返回 R 点平面
G80 G28 G49 Z0 M00;	取消粗镗循环。取消刀长补偿返回参考点。程序暂停
T02;	开始钻孔
G00 Z20	
X-60 Y0;	刀具快速到第一个孔中心定位
M03 S600	
G01 G43 H02 Z3;	加刀长补偿，刀具慢速下降
G98 G73 G90 X-60 Y0 R-15 Z-48 Q-4 K1 F40;	G73 钻孔循环，返回 R 点平面
	G73 钻孔循环，返回 R 点平面
G80 G28 G49 Z0 M00;	取消粗镗循环。取消刀长补偿。返回参考点。程序暂停
T03;	开始铰孔
M03 S350	
G00 Z20	
X-60 Y0;	刀具快速到第一个孔中心定位
G01 G43 H03 Z3;	加刀长补偿，刀具慢速下降
G98 G82 X-60 Y0 R-15 Z-32 P100 F25;	G82 铰孔循环，返回 R 点平面
	G82 铰孔循环，返回 R 点平面

G80 G28 G49 Z0.M05;取消镗孔循环。取消刀长补偿。返回参考点。主轴停

M30程序结束

5.4 FANUC0i 系统数控铣床编程与加工

5.4.1 FANUC 0i 数控铣床指令

FANOC 0i 数控铣床指令如表 5-4 所示。

表 5-4 FANUC 0i 数控铣床指令

代码	分组	意义	格式
G00	01	快速进给、定位	G00 X-- Y-- Z--
G01		直线插补	G01 X-- Y-- Z--
G02		圆弧插补 CW(顺时针)	XY 平面内的圆弧： G17 {G02}{G03}X-----Y----- { R----- I-----J-----}  ZX 平面内的圆弧： G18 {G02}{G03}X-----Z----- { R----- I-----K-----}  YZ 平面内的圆弧： G19 {G02}{G03}Y-----Z----- { R----- J-----K-----}
G03		圆弧插补 CCW（逆时针）	
G04	00	暂停	G04 [P]X单位：s，增量状态单位：ms，无参数状态表示停止
G15	17	取消极坐标指令	G15 取消极坐标方式
G16		极坐标指令	Gxx Gyy G16 开始极坐标指令 G00 IP_ 极坐标指令 Gxx：极坐标指令的平面选择（G17，G18，G19） Gyy：G90 指定工件坐标系的零点为极坐标的原点 G91 指定当前位置作为极坐标的原点 IP：指定极坐标系选择平面的轴地址及其值 第 1 轴：极坐标半径 第 2 轴：极角
G17	02	XY 平面	G17 选择 XY 平面；
G18		ZX 平面	G18 选择 XZ 平面；
G19		YZ 平面	G19 选择 YZ 平面。
G20	06	英制输入	
G21		米制输入	
G28	00	回归参考点	G28 X-- Y-- Z--

(续表)

代码	分组	意义	格式
G29		由参考点回归	G29 X-- Y-- Z--
G40	07	刀具半径补偿取消	G40
G41		左半径补偿	$\begin{Bmatrix} G41 \\ G42 \end{Bmatrix}$ Dnn
G42		右半径补偿	
G43	08	刀具长度补偿+	$\begin{Bmatrix} G43 \\ G44 \end{Bmatrix}$ Hnn
G44		刀具长度补偿—	
G49		刀具长度补偿取消	G49
G50		取消缩放	G50 缩放取消
G51		比例缩放	G51 X_Y_Z_P_: 缩放开始 X_Y_Z_: 比例缩放中心坐标的绝对值指令 P_: 缩放比例 G51 X_Y_Z_I_J_K_: 缩放开始 X_Y_Z_: 比例缩放中心坐标值的绝对值指令 I_J_K_: X, Y, Z 各轴对应的缩放比例
G52	00	设定局部坐标系	G52 IP_: 设定局部坐标系 G52 IP0: 取消局部坐标系 IP: 局部坐标系原点
G53		机械坐标系选择	G53 X-- Y-- Z--
G54	14	选择工作坐标系 1	GXX
G55		选择工作坐标系 2	
G56		选择工作坐标系 3	
G57		选择工作坐标系 4	
G58		选择工作坐标系 5	
G59		选择工作坐标系 6	
G68	16	坐标系旋转	(G17/G18/G19) G68 a_b_R_: 坐标系开始旋转 G17/G18/G19: 平面选择, 在其上包含旋转的形状 a_b_: 与指令坐标平面相应的 X, Y, Z 中的两个轴的绝对指令, 在 G68 后面指定旋转中心 R_: 角度位移, 正值表示逆时针旋转。根据指令的 G 代码 (G90 或 G91) 确定绝对值或增量值 最小输入增量单位: 0.001deg 有效数据范围: -360.000 到 360.000
G69		取消坐标轴旋转	G69: 坐标轴旋转取消指令

(续表)

代码	分组	意义	格式
G73	09	深孔钻削固定循环	G73 X-- Y-- Z-- R-- Q-- F--
G74		左螺纹攻螺纹固定循环	G74 X-- Y-- Z-- R-- P-- F--
G76		精镗固定循环	G76 X-- Y-- Z-- R-- Q-- F--
G90	03	绝对方式指定	GXX
G91		相对方式指定	
G92	00	工作坐标系的变更	G92 X-- Y-- Z--
G98	10	返回固定循环初始点	GXX
G99		返回固定循环 R 点	
G80	09	固定循环取消	
G81		钻削固定循环、钻中心孔	G81 X-- Y-- Z-- R-- F--
G82		钻削固定循环、铰孔	G82 X-- Y-- Z -- R-- P-- F--
G83		深孔钻削固定循环	G83 X-- Y-- Z -- R-- Q-- F--
G84		攻螺纹固定循环	G84 X-- Y-- Z-- R-- F--
G85		镗削固定循环	G85 X-- Y-- Z-- R-- F--
G86		退刀形镗削固定循环	G86 X-- Y-- Z -- R-- P-- F--
G88		镗削固定循环	G88 X-- Y-- Z -- R-- P-- F--
G89		镗削固定循环	G89 X-- Y-- Z -- R-- P-- F--

#### 5.4.2 编程与加工举例

【例 5-47】编写如图 5-52 所示槽形零件的加工程序。

##### 1. 加工准备

选取直径为 8mm 的平底刀，选择高为 14mm，边长为 240mm 的正方形毛坯。采用 G54 定位坐标系。

##### 2. 加工步骤

选择机床；机床回零；安装零件；导入 NC 程序；检查运行轨迹；装刀具，对刀；设置参数；自动加工。

##### 3. 槽形零件参考程序

```
%4410
```

```
G90G54; .
```

选 G54 为工件坐标系，绝对值编程

```
S1500 M03
```

```
G00 X0.Y0.Z100;
```

将刀具快速移动到对刀点

```
Z2.
```

```
X20. Y-44; .
```

将刀具快速移动到外圆切削起点

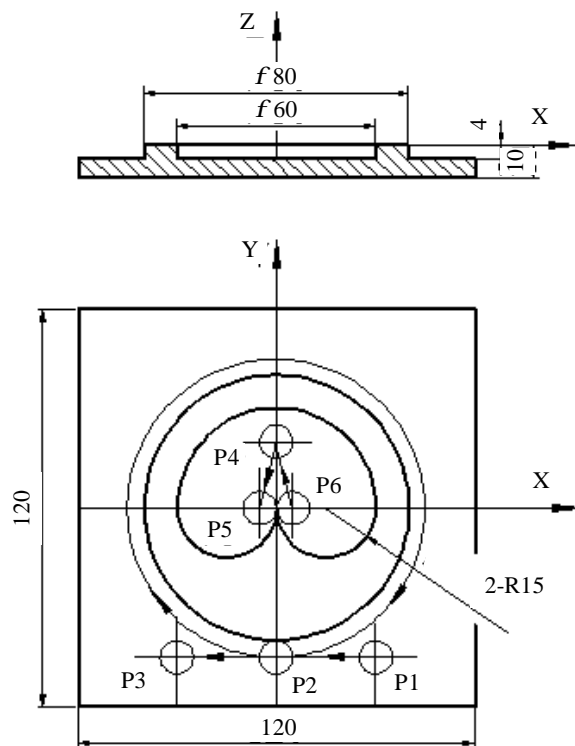


图 5-52 槽形零件编程

G01 Z-4. F100;	铣外圆, 切深 4mm
G41 X0. Y-40. D01;	左刀补, D01=4mm
G02 X0. Y-40. I0. J40.;	铣外圆整圆
G40 G01 X-20. Y-44; .	切线切出, 取消刀补
G00 Z2; .	快速抬刀
X0. Y15; .	将刀具快速移动到内槽切削起点
G01 Z-4; .	铣内槽, 切深 4mm
G42 X0. Y0. D01;	右刀补, D01=4mm
G02 X-30. Y0. I-15. J0;	铣内槽左边顺时针小圆弧
X30. Y0. I30. J0;	铣内槽大圆弧.
X0. Y0. I-15. J0;	铣内槽右边小圆弧
G40 G01 X0. Y15; .	切线切出, 取消刀补
G00 Z100;	快速抬刀
X0. Y0; .	将刀具快速移动到对刀点
M05	
M30	

【例 5-48】编写如图 5-53 所示平面凸轮零件的加工程序, 工件的上、下底面及内孔、端面已加工。



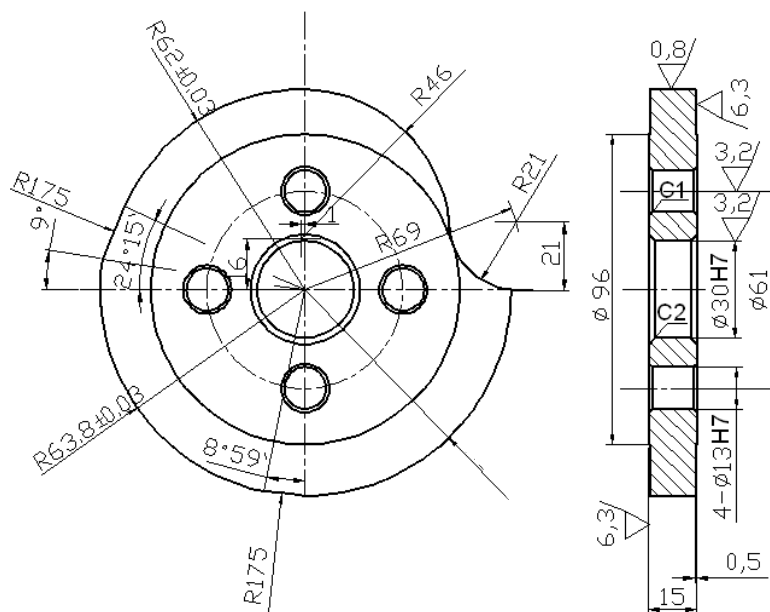


图 5-53 平面凸轮零件编程

### 1. 工艺分析

从图 5-53 的要求可以看出，凸轮曲线分别由几段圆弧组成，内孔为设计基准，其余表面包括 4- $\Phi 13H7$  孔均已加工。故取内孔和一个端面为主要定位面，在连接孔  $\Phi 13$  的一个孔内增加削边销，在端面上用螺母垫圈压紧。

因为孔是设计和定位的基准，所以对刀点选在孔中心线与端面的交点上，这样很容易确定刀具中心与零件的相对位置。

### 2. 加工调整

零件加工坐标系 X、Y 位于工作台中间，在 G54 坐标系中取  $X=-400$ ， $Y=-100$ 。Z 坐标可以按刀具长度和夹具、零件高度决定，如选用  $\phi 20$  的立铣刀，零件上端面为 Z 向坐标零点，该点在 G54 坐标系中的位置为  $Z=-80$  处，将上述三个数值设置到 G54 加工坐标系中，即 G54:  $X=-400$ ， $Y=-100$ ， $Z=-80$ 。

### 3. 加工工序卡

凸轮轮廓加工工序卡见表 5-5。

表 5-5 铣凸轮轮廓加工工序卡

材料	45	零件号	812	程序号	4420	
操作序号	内容	主轴转速 (r/min)	进给速度 (r/min)	刀具		
			号数	类型	直径(mm)	
1	铣凸轮轮廓	2000	80、200	1	20mm 立铣刀	20

### 4. 数字处理

该凸轮加工的轮廓均为圆弧组成，因而要计算出基点坐标，才可编制程序。在加工坐标

系中，各点的坐标计算如下：

(1) 弧 BC 的中心 O 1 点：

$$X_1 = -(175+63.8) \sin 8^\circ 59' = -37.28$$

$$Y_1 = -(175+63.8) \cos 8^\circ 59' = -235.86$$

(2) 弧 EF 的中心 O 2 点：

$$X_2 + Y_2 = 692$$

$$(X_2 - 64)^2 + Y_2^2 = 212$$

$$X_2 = 65.75 \quad Y_2 = 20.93$$

(3) 弧 HI 的中心 O 4 点：

$$X_4 = -(175+61) \cos 24^\circ 15' = -215.18$$

$$Y_4 = (175+61) \sin 24^\circ 15' = 96.93$$

(4) 弧 DE 的中心 O 5 点：

$$X_5 + Y_5 = 63.72$$

$$(X_5 - 65.75)^2 + (Y_5 - 20.93)^2 = 21.302$$

$$X_5 = 63.70 \quad Y_5 = -0.27$$

(5) B 点

$$X_B = -63.8 \sin 8^\circ 59' = -9.96$$

$$Y_B = -63.8 \cos 8^\circ 59' = -63.02$$

(6) C 点：

$$X_C + Y_C = 642$$

$$(X_C + 37.28)^2 + (Y_C + 235.86)^2 = 1752$$

$$X_C = -5.57 \quad Y_C = -63.76$$

(7) D 点：

$$(X_D - 63.70)^2 + (Y_D + 0.27)^2 = 0.32$$

$$X_D + Y_D = 642$$

$$X_D = 63.99 \quad Y_D = -0.28$$

(8) E 点：

$$(X_E - 63.7)^2 + (Y_E + 0.27)^2 = 0.32$$

$$(X_E - 65.75)^2 + (Y_E - 20.93)^2 = 212$$

$$X = 63.72 \quad Y = -0.03$$

(9) F 点：

$$2(X_F + 1.07) + 2(Y_F - 16) = 462$$

$$2(X_F - 65.75) + 2(Y_F - 20.93) = 212$$

$$X_F = 44.79 \quad Y_F = -19.6$$

(10) G 点：

$$(X_G + 1.07)^2 + (Y_G - 16)^2 = 462$$

$$X_G + Y_G = 612$$

$$X_G = 14.79 \quad Y_G = 59.18$$

(11) H 点：

$$XH = -61\cos 24^{\circ}15' = -55.62$$

$$YH = 61\sin 24^{\circ}15' = 25.05$$

(12) I 点:

$$XI + YI = 63.802$$

$$2(XI + 215.18) + 2(YI - 96.93) = 1752$$

$$XI = -63.02 \quad YI = 9.97$$

根据上面的数值计算, 可画出凸轮加工走刀路线, 如图 5-54 所示。

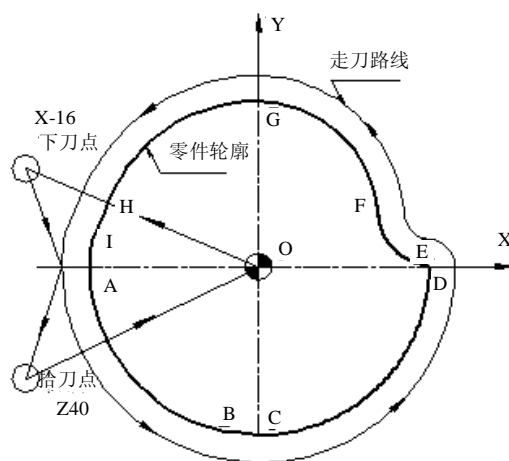


图 5-54 凸轮加工走刀路线

## 5. 编写加工程序

参数设置: H01=10; G54: X=-400, Y=-100, Z=-80。

凸轮加工的参考程序如下:

%4420

N10 G54 G17;

选 XY 平面, G54 为工件坐标系

N20 G90 G00 Z40

X-73.8 Y20;

绝对值编程, 刀具快速移到切削起点

N30 M03 S1000

N40 G00 Z0;

快速下刀

N50 G01 Z-16 F200;

Z 向切深 16mm

N60 G42 G01 X-63.8 Y10 F80 H01;

右刀补, 直线切削到凸轮加工起点

N70 G01 X-63.8 Y0;

切向切入

N80 G03 X-9.96 Y-63.02 R63.8;

铣 AB 弧

N90 G02 X-5.57 Y-63.76 R175;

铣 BC 弧

N100 G03 X63.99 Y-0.28 R64;

铣 CD 弧

N110 G03 X63.72 Y0.03 R0.3;

铣 DE 弧

N120 G02 X44.79 Y19.6 R21;

铣 EF 弧

N130 G03 X14.79 Y59.18 R46;

铣 FG 弧

N140 G03 X-55.26 Y25.05 R61;	铣 GH 弧
N150 G02 X-63.02 Y9.97 R175;	铣 HI 弧
N160 G03 X-63.80 Y0 R63.8;	铣 IA 弧
N170 G01 X-63.80 Y-10;	切向切出
N180 G01 G40 X-73.8 Y-20;	取消刀补
N190 G00 Z40;	快速抬刀
N200 G00 X0 Y0;	刀具回到工件坐标原点
M05	
N210 M30	

## 5.5 SIEMENS 802D 系统编程与加工举例

### 5.5.1 Siemens802D 系统数控铣床指令

1. 基本指令见表 5-6。

表 5-6 Siemens 系统数控铣床基本指令

分类	分组	代码	意 义	格 式
插补	1	G0	快速插补（笛卡儿坐标）	G0 X...Y...Z...
		G1	直线插补（笛卡儿坐标）	G1 X...Y...Z...
		G2	顺时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+圆心）	G2 X...Y...Z...I...J...K...
			顺时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+半径）	G2 X...Y...Z...CR=...
			顺时针圆弧（笛卡儿坐标，圆心+圆心角）	G2 AR=...I...J...K...
			顺时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+圆心角）	G2 AR=...X...Y...Z...
		G3	逆时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+圆心）	G3 X...Y...Z...I...J...K...
			逆时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+半径）	G3 X...Y...Z...CR=...
			逆时针圆弧（笛卡儿坐标，圆心+圆心角）	G3 AR=...I...J...K...
			逆时针圆弧（笛卡儿坐标，终点+圆心角）	G3 AR=...X...Y...Z...
平面	6	CIP	圆弧插补（笛卡儿坐标，三点圆弧）	CIP...Y...Z...I1=...J1=...K1=
		G17*	指定 XY 平面	G17
		G18	指定 ZX 平面	G18
		G19	指定 YZ 平面	G19
增量 设置	14	G90*	绝对量编程	G90
		G91	增量编程	G91
单位	13	G70	英制单位输入	G70
		G71*	公制单位输入	G71
	9	G53	取消工件坐标设定	G53

(续表)

分类	分组	代码	意 义	格 式
工件坐标	8	G54	工件坐标 1	G54
		G55	工件坐标 2	G55
		G56	工件坐标 3	G56
		G57	工件坐标 4	G57
复位	2	G74	回参考点（原点）	G74 X1=...Y1=...
刀具补偿	7	G40*	取消刀补	G40
		G41	左侧刀补	G41
		G42	右侧刀补	G42
	17	NORM*	设置刀补开始和结束为正常方法	
		KONT	设置刀补开始和结束为其他方法	
	18	G450*	刀补时拐角走圆角	G450 DISC=...
		G451	刀补时到交点时再拐角	

2. 其他指令见表 5-7

表 5-7 Siemens 系统数控铣床其他指令

指令	意义	格式
IF	有条件程序跳跃	<p>LABEL:</p> <p>IF expression GOTOB LABEL</p> <p>或</p> <p>IF expression GOTOF LABEL</p> <p>LABEL:</p> <p>IF            条件关键字</p> <p>GOTOB    带向后跳跃目的的跳跃指令（朝程序开头）</p> <p>GOTOF    带向前跳跃目的的跳跃指令（朝程序结尾）</p> <p>LABEL    目的（程序内标号）</p> <p>LABEL:    跳跃目的；冒号后面的跳跃目的名</p> <p>= =            等于</p> <p>&lt; &gt;    不等于； &gt; 大于； &lt; 小于</p> <p>&gt; =    大于或等于； &lt; =    小于或等于</p>
COS	余弦	Sin (x)
SIN	正弦	Cos (x)
SQRT	开方	SQRT (x)

(续表)

指令	意义	格式
GOTOB	无条件程序跳跃	标号: GOTOB LABEL 参数意义同 IF
GOTOF	无条件程序跳跃	GOTOF LABEL 标号: 参数意义同 IF
MCALL	调用子程序	
CYCLE81	中心钻孔固定循环	CYCLE81 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR) RTP: 回退平面 (绝对坐标) RFP: 参考平面 (绝对坐标) SDIS: 安全距离 DP: 最终孔深 (绝对坐标) DPR: 相对于参考平面的最终钻孔深度 例: N10 G0 G90 F200 S300 N20 D3 T3 Z110 N30 X40 Y120 N40 CYCLE81 (110, 100, 2, 35) N50 Y30 N60 CYCLE81 (110, 102, , 35) N70 G0 G90 F180 S300 M03 N80 X90 N90 CYCLE81 (110, 100, 2, , 65) N100 M30
CYCLE82	平底扩孔固定循环	CYCLE82 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB) DTB: 在最终深度处停留的时间 其余参数的意义同 CYCLE81 例: N10 G0 G90 F200 S300 M3 N20 D3 T3 Z110 N30 X24 Y15 N40 CYCLE82 (110, 102, 4, 75, , 2) N50 M30

(续表)

指令	意义	格式
CYCLE83	深孔钻削固定循环	<p>CYCLE83 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, FDEP, FDPR, DAM, DTB, DTS, FRF, VART, _AXN, _MDEP, _VRT, _DTD, _DIS1)</p> <p>FDEP: 首钻深度 (绝对坐标)</p> <p>FDPR: 首钻相对于参考平面的深度</p> <p>DAM: 递减量 (&gt;0, 按参数值递减; &lt;0, 递减速率; =0, 不做递减)</p> <p>DTB: 在此深度停留的时间 (&gt;0, 停留秒数; &lt;0, 停留转数)</p> <p>DTS: 在起点和排屑时的停留时间 (&gt;0, 停留秒数; &lt;0, 停留转数)</p> <p>FRF: 首钻进给率</p> <p>VART: 加工方式 (0, 切削; 1, 排屑)</p> <p>_AXN: 工具坐标轴 (1 表示第一坐标轴; 2 表示第二坐标轴; 其他的表示第三坐标轴)</p> <p>_MDEP: 最小钻孔深度</p> <p>_VRT: 可变的切削回退距离 (&gt;0, 回退距离; 0 表示设置为 1mm)</p> <p>_DTD: 在最终深度处的停留时间 (&gt;0, 停留秒数; &lt;0, 停留转数; =0, 停留时间同 DTB)</p> <p>_DIS1: 可编程的重新插入孔中的极限距离</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p>
CYCLE84	攻螺纹固定循环	<p>CYCLE84 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDAC, MPIT, PIT, POSS, SST, SST1)</p> <p>SDAC: 循环结束后的旋转方向 (可取值为: 3, 4, 5)</p> <p>MPIT: 螺纹尺寸的斜度</p> <p>PIT: 斜度值</p> <p>POSS: 循环结束时, 主轴所在位置</p> <p>SST: 攻螺纹速度</p> <p>SST1: 回退速度</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p>
CYCLE85	钻孔循环 1	<p>CYCLE85 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, FFR, RFF)</p> <p>FFR: 进给速率</p> <p>RFF: 回退速率</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p> <p>例:</p> <p>N10 FFR=300 RFF=1.5*FFR S500 M4</p> <p>N20 G18 Z70 X50 Y105</p> <p>N30 CYCLE85 (105, 102, 2, 25,, 300, 450)</p> <p>N40 M30</p>

(续表)

指令	意义	格式
CYCLR86	钻孔循环 2	<p>CYCLE86 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDIR, RPA, RPO, RPAP, POSS)</p> <p>SDIR: 旋转方向 (可取值为 3, 4)</p> <p>RPA: 在活动平面上横坐标的回退方式</p> <p>RPO: 在活动平面上纵坐标的回退方式</p> <p>RPAP: 在活动平面上钻孔的轴的回退方式</p> <p>POSS: 循环停止时主轴的位置</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p> <p>例:</p> <p>N10 G0 G17 G90 F200 S300</p> <p>N20 D3 T3 Z112</p> <p>N30 X70 Y50</p> <p>N40 CYCLE86 (112, 110,, 77,, 2, 3, -1, -1, +1, 45)</p> <p>N50 M30</p>
CYCLE87	钻孔循环 3	<p>CYCLE87 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, SDIR)</p> <p>参数意义同 CYCLE86</p> <p>例:</p> <p>N10 G0 G17 G90 F200 S300</p> <p>N20 D3 T3 Z113</p> <p>N30 X70 Y50</p> <p>N40 CYCLE87 (113, 110, 2, 77,, 3)</p> <p>N50 M30</p>
CYCLE88	钻孔循环 4	<p>CYCLE88 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB, SDIR)</p> <p>DTB: 在最终孔深处的停留时间</p> <p>SDIR: 旋转方向 (可取值为 3, 4)</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p> <p>例:</p> <p>N10 G17 G90 F100 S450</p> <p>N20 G0 X80 Y90 Z105</p> <p>N30 CYCLE88 (105, 102, 3,, 72, 3, 4)</p> <p>N40 M30</p>
CYCLE89	钻孔循环 5	<p>CYCLE89 (RTP, RFP, SDIS, DP, DPR, DTB)</p> <p>DTB: 在最终孔深处的停留时间</p> <p>其余参数的意义同 CYCLE81</p>



(续表)

指令	意义	格式
CYCLE93	切槽循环	CYCLE93 (SPD, SPL, WIDG, DIAG, STA1, ANG1, ANG2, RCO1, RCO2, RCI1, RCI2, FAL1, FAL2, IDEP, DTB, VARI) 例: N10 G0 G90 Z65 X50 T1 D1 S400 M3 N20 G95 F0.2 N30 CYCLE93 (35, 60, 30, 25, 5, 10, 20, 0, 0, -2, -2, 1, 1, 10, 1, 5) N40 G0 G90 X50 Z65 N50 M02
CYCLE95	毛坯切削循环	CYCLE95 (NPP, MID, FALZ, FALX, FAL, FF1, FF2, FF3, VARI, DT, DAM, _VRT)

3. Siemens 系统支持的 M 代码见表 5-8

表 5-8 Siemens 系统数控铣床支持的 M 代码

代码	意义	格式	功能
M0	编程停止		
M1	选择性暂停		
M2	主程序结束返回程序开头		
M3	主轴正转		
M4	主轴反转		
M5	主轴停转		
M6	换刀 (缺省设置)		选择第 x 号刀, x 范围: 0~32000, T0 取消刀具
		M6	T 生效且对应补偿 D 生效
M17	子程序结束		若单独执行子程序则此功能同 M2 和 M30 相同
M30	主程序结束且返回		

5.5.2 编程与加工举例

【例 5-49】编写如图 5-55 所示平面轮廓零件的加工程序。该零件的毛坯是一块 180mm×90mm×12mm 板料, 要求铣削成图中粗实线所示的外形。

1. 工艺分析

由图可知, 各孔已加工完, 各边都留有 5mm 的铣削余量。铣削时以其底面和 2-Φ10H8 的孔定位, 从 Φ60mm 孔对工件进行压紧。在编程时, 工件坐标系原点定在工件左下角 A 点 (如图 5-96 所示), 现以 Φ10mm 立铣刀进行轮廓加工, 对刀点在工件坐标系中的位置为(-25,

10, 40), 刀具的切入点为 B 点, 刀具中心的走刀路线为:

对刀点 1—下刀点 2—b—c—c'—下刀点 2—对刀点 1, 见图 5-56。

## 2. 节点计算

该零件的特点是形状比较简单, 数值计算比较方便。现按轮廓编程, 根据零件图计算各基点及圆心点坐标如下:

A (0, 0); B (0, 40); C (14.96, 70); D (43.54, 70); E (102, 64); F (150, 40); G (170, 40); H (170, 0); 对刀点 (70, 40); 下刀点 (150, 100)。

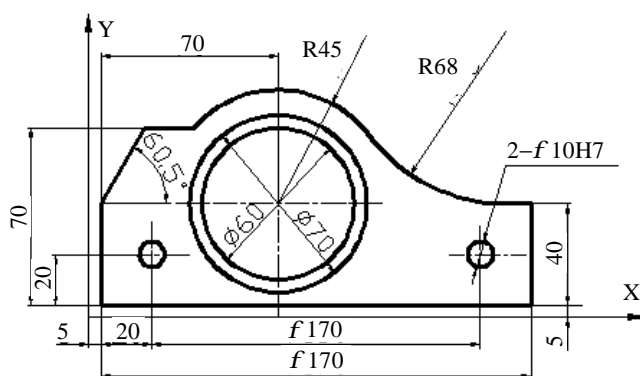


图 5-55 平面轮廓零件

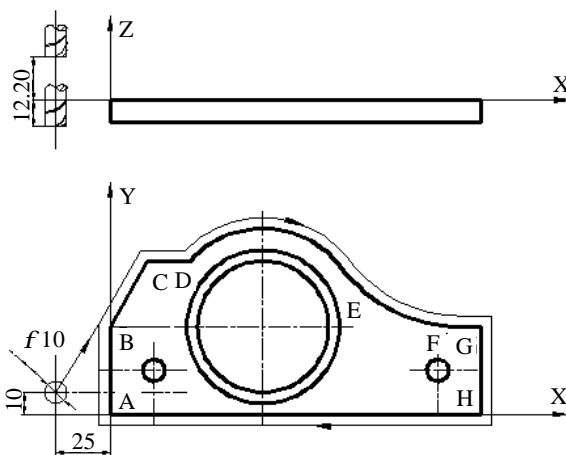


图 5-56 平面轮廓零件的走刀路线

## 3. 编程

(1) 按绝对坐标编程, 其参考程序如下:

% N PP MPF;	程序名
; \$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式
N01 G54 G90;	选 G54 为工件坐标系。绝对值编程
N02 S300 M3	
G0 X-25.0 Y10.0 Z40.0;	将刀具快速移到对刀点
Z-16.0;	刀具快速下降

N03 G41 G1 X0 Y40.0 F100 D01 M08;	左刀补, D01=5mm。启动冷却液
N04 X14.96 Y70.0;	铣直线 BC
N05 X43.54;	铣直线 CD
N06 G2 X102.0 Y64.0 I26.46 J-30.0;	铣圆弧 DE
N07 G3 X150.0 Y40.0 I48.0 J36.0;	铣圆弧 EF
N08 G1 X170.0;	铣直线 FG
N09 Y0;	铣直线 GH
N10 X0;	铣直线 HA
N11 Y40.0;	铣直线 AB
N12 G0 G40 X-25.0 Y10.0 Z 40.0 M09;	取消刀补, 关冷却液
M5	
N13 M30	

(2) 按增量坐标编程, 其参考程序如下:

% N PP MPF;	程序名
; \$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式
N01 G54;	选 G54 为工件坐标系
N02 S300 M3	
G0 X-25.0 Y10.0 Z40.0;	将刀具快速移到对刀点
Z-16.0;	刀具快速下降
N03 G91 G1 G41 D01 X25.0 Y30.0 F100 M08;	左刀补。增量编程。冷却液开
N04 X14.96 Y30.0;	铣直线 BC
N05 X28.58 Y0;	铣直线 CD
N06 G2 X58.46 Y-6.0 I26.46 J-30.0;	铣圆弧 DE
N07 G3 X48.0 Y-24.0 I48.0 J36.0;	铣圆弧 EF
N08 G1 X20.0;	铣直线 FG
N09 Y-40.0;	铣直线 GH
N10 X-170.0;	铣直线 HA
N11 Y40.0;	铣直线 AB
N12 G40 G0 X-25.0 Y-30.0 Z56.0 M09;	取消刀补, 关冷却液
M5	
N13 M30	

【例 5-50】编写如图 5-57 所示零件的加工程序。加工内外两槽。内槽深 4mm, 外槽深 6mm, 槽宽 8mm。要求每次切深 2mm。

1. 选用  $\Phi 8$  平铣刀

2. 工艺方案

将内外槽分别编成两个子程序, 内槽循环两次, 外槽循环三次。

3. 绝对坐标编程参考程序如下:

% N PP MPF;	程序名
; \$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式

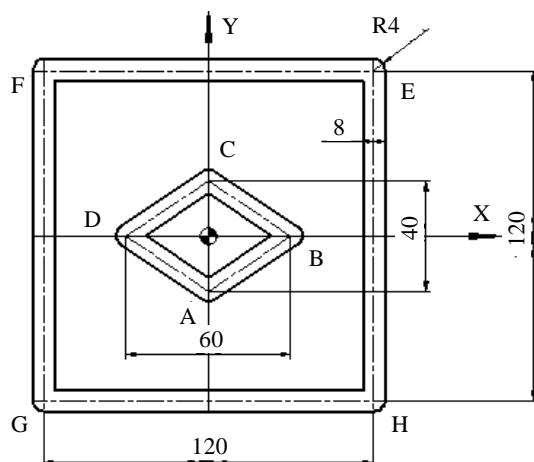


图 5-57 内外轮廓编程

G54 M03 S1500;	选 G54 为工件坐标系
G0 X30 Y0 Z2;	刀具快速定位到 B 点
G1 Z0 F100;	刀具以切削速度下降
MCALL LZ;	调用内槽子程序
MCALL LZ;	调用内槽子程序
G0 Z2;	快速抬刀
X60 Y60;	刀具快速定位到 E 点
G1 Z0;	刀具以切削速度下降
MCALL WZ;	调用外槽子程序
MCALL WZ;	调用外槽子程序
MCALL WZ;	调用外槽子程序
G0 Z100;	快速抬刀
X0 Y0;	刀具回到工件坐标系原点
M30	
% N LZ MPF;	子程序名
; \$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式
G91 G1 Z-2 F100;	相对值编程, 每次进刀 2mm
G90 X0 Y20;	绝对值编程, 铣 BC 直线
X-30 Y0;	铣 CD 直线
X0 Y-20;	铣 DA 直线
X30 Y0;	铣 AB 直线
RET;	子程序结束
% N WZ MPF;	子程序名
; \$PATH=/ N MPF DIR;	传输格式

G91 G1 Z-2 F100;	相对值编程, 每次进刀 2mm
G90 X-60;	铣 EF 直线
Y-60;	铣 FG 直线
X60;	铣 GH 直线
Y60;	铣 HE 直线
RET;	子程序结束

## 5.6 典型铣削零件的编程与加工综合举例

【例 5-51】编写如图 5-58 所示零件的轮廓加工程序。毛坯为 120mm×60mm×10mm 板材, 5 mm 深的外轮廓已粗加工过, 周边留 2mm 余量, 要求加工出外轮廓及 $\phi 20$  mm 的孔。工件材料为铝。

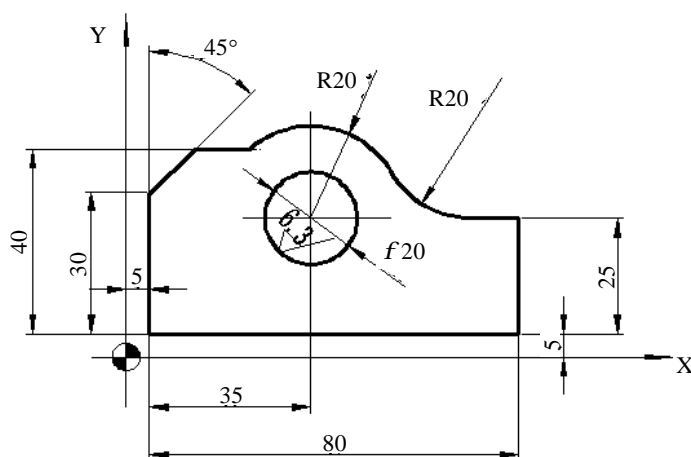


图 5-58 轮廓加工

1. 根据图样要求、毛坯及前道工序加工情况, 确定工艺方案及加工路线

(1) 以底面为定位基准, 两侧用压板压紧, 固定于铣床工作台上

(2) 工步顺序

①钻孔 $\phi 20$ mm。

②按 O'ABCDEFGF 线路铣削轮廓。

2. 选择机床设备

根据零件图样要求, 选用经济型数控铣床即可达到要求。故选用华中 I 型 (ZJK7532A 型) 数控钻铣床。

3. 选择刀具

现采用 $\phi 20$ mm 的钻头, 定义为 T02,  $\phi 5$ mm 的平底立铣刀, 定义为 T01, 并把该刀具的直径输入刀具参数表中。

由于华中 I 型数控钻铣床没有自动换刀功能, 按照零件加工要求, 只能手动换刀。

4. 确定切削用量

切削用量的具体数值应根据该机床性能、相关的手册并结合实际经验确定, 详见加工程

序。

### 5. 确定工件坐标系和对刀点

在 XOY 平面内确定以 O 点为工件原点, Z 方向以工件表面为工件原点, 建立工件坐标系, 如图 5-58 所示。

采用手动对刀方法把 O 点作为对刀点。

### 6. 编写程序 (用于华中 I 型铣床)

按该机床规定的指令代码和程序段格式, 把加工零件的全部工艺过程编写成程序清单。该工件的参考程序如下:

#### (1) 加工 $\phi 20\text{mm}$ 孔程序 (手工安装好 $\phi 20\text{mm}$ 钻头)

```
%4470
N0010 G92 X5 Y5 Z5;           设置对刀点
N0020 G90;                     绝对坐标编程
N0030 G17 G00 X30 Y30;         在 XOY 平面内加工
N0040 G98 G81 X40 Y30 Z-5 R3 F150;  钻孔循环
N0050 G00 X5 Y5 Z50;          取消循环, 快速退刀
N0060 M05
N0070 M02
```

#### (2) 铣轮廓程序 (手工安装好 $\phi 5\text{mm}$ 立铣刀, 不考虑刀具长度补偿)

```
%4471
N0010 G92 X5 Y5 Z50;           设置对刀点
N0020 G90 G41 G00 X-20 Y-10 Z-5 D01;  刀具半径补偿, 刀具快速定位
N0030 G01 X5 Y-10 F150;         刀具慢速切削到起刀点
N0040 G01 Y35 F150;             铣直线 O`A
N0050 G91;                     相对坐标编程
N0060 G01 X10 Y10 F150;         铣直线 AB
N0070 G01 X11.8 Y0;             铣直线 BC
N0080 G02 X30.5 Y-5 R20;        铣圆弧 CD
N0090 G03 X17.3 Y-10 R20;       铣圆弧 DE
N0100 G01 X10.4 Y0;             铣直线 EF
N0110 G01 X0 Y-25;              铣直线 FG
N0120 G01 X-90 Y0;              铣直线 GO`
N0130 G90 G00 Z10;             快速抬刀
N0135 X5 Y5;
N0140 G40;                     取消刀补
N0150 M05
N0160 M30
```

【例 5-52】毛坯为  $100\text{mm}\times 80\text{mm}\times 25\text{mm}$  的长方体零件, 要求数控铣出如图 5-59 所示的槽, 工件材料为 45 钢。

### 1. 工艺分析及处理

根据零件图分析，要加工的部位是一个环形槽，中间的凸台作为槽的岛屿，外轮廓转角处的半径是  $R4$ ，槽较窄处的宽度是  $10\text{mm}$ ，所以选用直径  $\phi 6\text{mm}$  的直柄键槽铣刀较合适。工件安装时可直接用机用虎钳装夹。

切削用量选择主轴转速  $S$  为  $750\text{ r/min}$ ，切削用量  $f$  设为  $Z$  方向  $20\text{mm/min}$ ， $X$ 、 $Y$  方向  $40\text{mm/min}$ 。

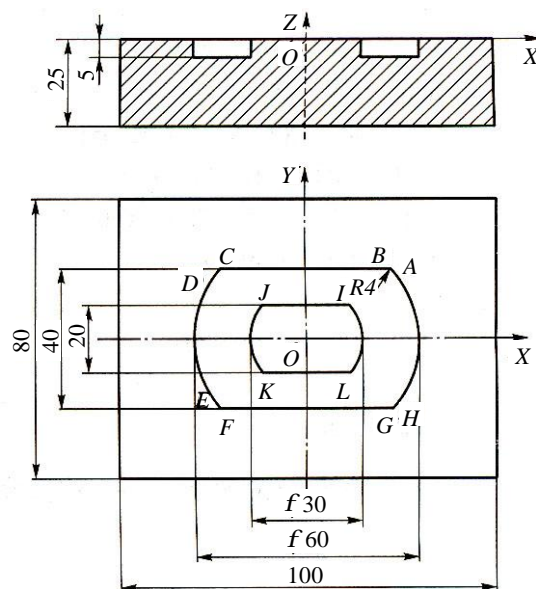


图 5-59 槽铣削

## 2. 程序编制

本例中的槽呈前后、左右对称状，故工件坐标系的原点设在工件中心的表面上，这可使轮廓上节点的坐标计算比较方便，根据计算，轮廓上有关点的坐标如下：

A (23.647, 18.642) ; B (20.494, 20) ; C (-20.494, 20) ; D (-23.647, 18.642) ;

E (-23.647, -18.642) ; F (-20.494, -20) ; G (20.494, -20) ; H (23.647, -18.642) ;

I (11.18, 10) ; J (-11.18, 10) ; K (-11.18, -10) ; L (11.18, -10) 。

由于加工的区域是一个封闭的环形槽，所以刀具下刀时应选择在槽的上方往下切入，切入到槽底后使用刀具半径补偿按环形铣削的方式分别切槽的外轮廓，再将槽中间左右两处没有铣削的余量铣掉，然后退回刀具。参考程序如下：

%5048

N10G40G49G90 ;

安全保护指令

N20G92X150Y100Z100;

刀具定位到下刀点上方

N30G00X22Y10 ;

刀具定位到下刀点上方

N40G43H01Z5;

N50S750M03;

N60G01Z-5F20 ;

在槽中间切入到槽底

N70G41X23.647Y18.462D02F40;

切向外轮廓 A 点，建立刀具半径补偿

N80G03X20.494Y20R4;

切削 AB 弧

N90G01X-20.494;	切削 BC 线
N100G03X-23.647Y18.642R4;	切削 CD 弧
N110Y-18.462R30	切削 DE 弧
N120X-20.494Y-20R4	切削 EF 弧
N130G01X20.494	切削 FG 线
N140G03X23.647Y-18.642R4	切削 GH 弧
N150Y18.462R30	切削 HA 弧
N160G01G40X17Y15	切向槽内点, 取消外轮廓刀具半径补偿
N170G01G42X11.180Y10D02	切向内轮廓 I 点, 建立刀具半径补偿
N180X-11.180	切削 IJ 线
N190G03Y-10R15	切削 JK 弧
N200G01X11.180	切削 KL 线
N210G03Y10R15	切削 LI 弧
N220G01G40X17Y15	取消刀具半径补偿
N230G02Y-15R22.5	铣槽右侧的剩余余量
N240G00Z1	退刀到参考平面
N250X-7Y-15	定位到左侧槽上方
N260G01Z-5F20	切入
N270G02Y15R22.5F40	铣槽左侧的剩余余量
N280G00G49Z30	退刀
N290M05	
N300G91G28Z0	返回机床零点
N310G28x0Y0	
N320G90	
N330M30	

对于封闭的槽, 如果因为槽的形状和尺寸等因素使刀具难于在下刀到槽底后再使用刀具半径补偿的方式切向槽的外轮廓或内轮廓, 可先在槽的上方使用刀具半径补偿使刀具定位到加工的轮廓, 然后再垂直下刀到槽底进行切削。需要注意的是, 不能在刀具进行 Z 方向移动时建立或取消刀具半径补偿, 并且在建立刀具半径补偿的程序段的后面, 含有不在 XY 平面内的移动指令的程序段不能超过两个。

**【例 5-53】**编写如图 5-60 所示零件的加工程序。设中间 $\phi 28$ 的圆孔和外圆 $\phi 130$ 已经加工完成, 现需要在数控机床上铣出直径 $\phi 120 \sim \phi 40$ 、深 5mm 的圆环槽和七个腰形通孔。

#### 1. 工艺方案

根据工件的形状、尺寸特点, 确定以中心内孔和外形装夹定位, 先加工圆环槽, 再铣七个腰形通孔。

铣圆环槽方法: 采用 $\phi 10\text{mm}$ 的铣刀, 按 $\phi 120$ 的圆形轨迹编程, 采用逐步加大刀具补偿半径的办法一直到铣出 $\phi 40$ 的圆为止。

铣腰形通孔方法: 采用 $\phi 8 \sim \phi 10$ 左右的铣刀, 以正右方的腰形槽为基本图形编程, 并且在深度方向上分三次进刀切削, 其余六个槽孔则通过旋转变换功能铣出。由于腰形槽孔宽度



与刀具尺寸的关系,只需沿槽形周围切削一周即可全部完成,不需要改变径向刀补重复进行。

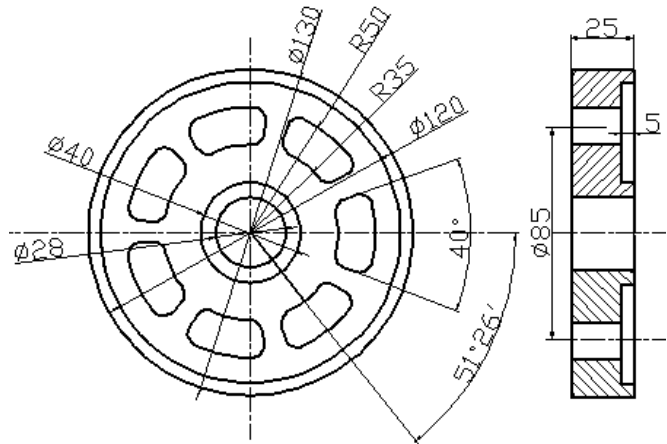


图 5-60 旋转变换铣槽

2. 节点计算

通过分析,正右方腰形槽的主要节点的坐标分别为: A (34.128, 7.766) , B (37.293, 13.574) , C (42.024, 15.297) , D (48.594, 11.775) , 如图 5-61 所示。

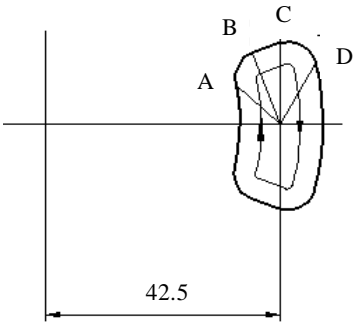


图 5-61 节点坐标图

3. 编写程序

以工件上表面中心点为对刀点。其参考程序如下:

%4490	
G92X0Y0Z0;	选 G92 为工件坐标系,对刀点为工件坐标系原点
G90G17G00X0Y0Z5;	绝对坐标编程,刀具快速定位
M03S1000	
G43G00X25H01;	刀长补偿,刀具快速移到圆环槽内
G01Z-5F150;	切深 5mm
G41G01X60D01;	D01=5。在圆环槽内直线切削
G03I-60;	加工外径<math>\phi 120</math>、内径<math>\phi 100</math>的圆环槽
G01G40X25;	取消刀补
G41G01X60D02;	D02=15。在圆环槽内直线切削

G03I-60;	加工外径 $\phi 120$ 、内径 $\phi 80$ 的圆环槽
G01G40X25;	取消刀补
G41G01X60D03;	D03=25, 在圆环槽内直线切削
G03I-60;	加工外径 $\phi 120$ 、内径 $\phi 60$ 的圆环槽
G01G40X25;	取消刀补
G41G01X60D04;	D04=35, 在圆环槽内直线切削
G03I-60;	加工外径 $\phi 120$ 、内径 $\phi 40$ 的圆环槽
G01G40X25;	取消刀补
G49G00Z5;	取消刀长补偿
G28Z25M05;	返回参考点。主轴停
G28X0Y0	
M00;	程序暂停。换刀
G29X0Y0;	从参考点返回
G00G43Z5H02;	刀长补偿
M03	
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G68X0Y0P51.43;	旋转变换, 原点为 X0Y0, 角度为 $51.43^{\circ}$
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
G68X0Y0P102.86;	旋转变换, 原点为 X0Y0, 角度为 $102.86^{\circ}$
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
G68X0Y0P205.72;	旋转变换, 原点为 X0Y0, 角度为 $205.72^{\circ}$
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
G68X0Y0P257.15;	旋转变换, 原点为 X0Y0, 角度为 $257.15^{\circ}$
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
G68X0Y0P308.57;	旋转变换, 原点为 X0Y0, 角度为 $308.57^{\circ}$
M98P100;	调用程序号为 100 的子程序
G69;	取消旋转变换功能
G00Z25;	快速拾刀
M05M30;	主程序结束
%100;	程序号为 100 的子程序
G00X42.5;	刀具快速定位
G01Z-12F100;	切深 12mm
M98P110;	调用程序号为 110 的子程序
G01Z-20F100;	切深 20mm
M98P100;	调用程序号为 110 的子程序

G01Z-28F100;	切深 28mm
M98P100;	调用程序号为 110 的子程序
G00Z5;	快速抬刀
X0Y0;	刀具定位
M99;	子程序返回
%110;	程序号为 110 的子程序
G01G42X34.128Y7.766D04;	D04=4, 直线切削到 A 点
G02X37.293Y13.574R5;	铣 AB 圆弧
G01X42.024Y15.296;	铣 BC 直线
G02X48.594Y11.775R5;	铣 CD 圆弧
G02Y-11.775R50;	铣腰形槽外圆弧
G02X42.024Y-15.296R5;	铣 R5 圆弧
G01X37.293Y-13.574;	铣直线
G03X34.128Y-7.766R5;	铣 R5 圆弧
G02X34.128Y7.766R35;	铣腰形槽内圆弧
G40G01X42.5Y0;	取消刀补, 刀具定位
M99;	子程序返回

## 本章小结

本章主要介绍了数控铣削编程中的基础知识, 包括控制铣床功能的基本指令、控制铣削的基本指令、刀具补偿功能。着重讲解了华中世纪星、FANUC 0i 和 SIEMENS 802D 系统数控铣床的编程与加工方法。本章是本教材的重点章节之一, 读者可以根据自己的需要从上述三种常用数控系统铣床编程与加工方法中有选择地学习。

## 5.7 数控铣削加工实训

### 实训课题一 铣削对刀与 MDI 加工

#### 一、实训目的

1. 熟悉铣床数控系统的操作面板;
2. 练习手动启停主轴, 手工驱动各坐标轴;
3. 熟悉铣床数控系统的界面, 掌握 MDI 的基本操作。

#### 二、实训内容

1. 开机与停机;
2. 手动启停主轴;
3. 手工驱动各坐标轴;

4. 熟悉铣床数控系统的界面，练习 MDI 的基本操作；
5. 安装工件，手工对刀；
6. 练习用 G54 工件坐标系对刀。

### 三、实训要求

1. 注意安全，文明生产；
2. 按实训内容写出实训操作步骤；
3. 注意记录实训操作内容和步骤；
4. 对 MDI 的各项操作做详细记录；
5. 任何时候都只能一个人操作机床。

### 四、实训时间

每人两学时。

### 五、实训报告

## 实训课题二 平面曲线铣削

### 一、实训目的

1. 学习数控系统指令的应用；
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法；
3. 练习数控铣床的基本操作；
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中；
5. 学习对数控加工零件进行检验。

### 二、实训内容

编制如图 5-62 所示零件的加工程序。毛坯为 160mm×120mm×10mm 的板材，数控铣削零件的外轮廓，深 5mm。

1. 选择刀具；
2. 选择夹具；
3. 确定加工顺序；
4. 编写加工程序；
5. 对刀；
6. 自动加工；
7. 检验加工零件；

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求；
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序；
3. 输入程序要细心；

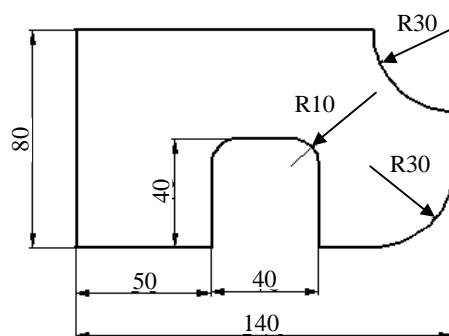


图 5-62 轮廓零件铣削

4. 对刀要精确到 0.001mm;
5. 自动加工之前要仔细校验程序;
6. 仔细分析零件的加工质量, 对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机两小时。

#### 五、实训报告

### 实训课题三 带刀补的平面轮廓加工

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统指令的应用;
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法;
3. 练习数控铣床的基本操作;
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中;
5. 学习对数控加工零件进行检验。

#### 二、实训内容

编制如图 5-63 所示零件的加工程序。毛坯为 100mm×100mm×10mm 的板料, 带刀补铣削凸轮外轮廓。

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 对刀;
6. 自动加工;
7. 检验加工零件。

#### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸, 明确图纸的加工要求;
2. 仔细分析切削用量, 确定加工顺序;
3. 输入程序要细心;
4. 对刀要精确到 0.001mm;
5. 自动加工之前要仔细校验程序;
6. 仔细分析零件的加工质量, 对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机三小时。

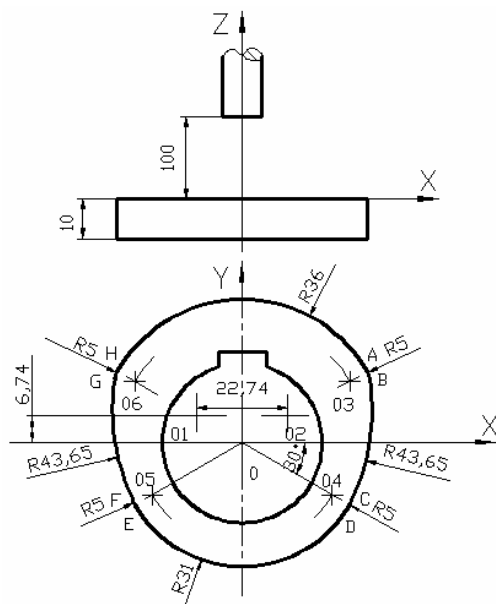


图 5-63 带刀补的轮廓零件铣削

## 五、实训报告

### 实训课题四 简化编程指令应用

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统简化编程指令的应用;
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法;
3. 练习数控铣床的基本操作;
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中;
5. 学习对数控加工零件进行检验。

#### 二、实训内容

编制如图 5-64 所示图形的加工程序。毛坯为  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$  的板料。

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 对刀;
6. 自动加工;
7. 检验加工零件。

#### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸,明确图纸的加工要求;

2. 仔细分析切削用量,确定加工顺序;

3. 输入程序要细心;

4. 对刀要精确到  $0.001\text{mm}$ ;

5. 自动加工之前要仔细校验程序;

6. 仔细分析零件的加工质量,对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机三小时。

#### 五、实训报告

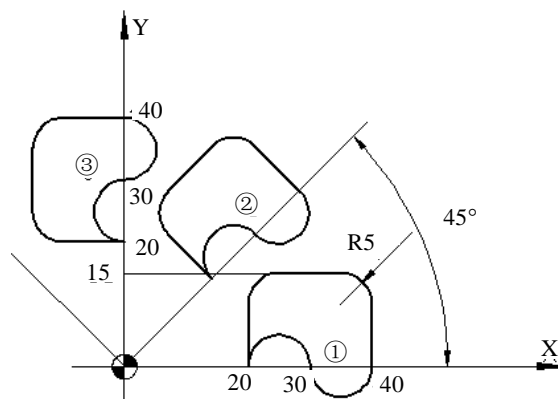


图 5-64 简化指令编程

### 实训课题五 孔加工

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统孔加工编程指令的应用;

2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法;
3. 练习数控铣床的基本操作;
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中;
5. 学习对数控加工零件进行检验。
6. 实训内容。
7. 编制如图 5-65 所示零件的加工程序。设中间 $\phi 28$  的圆孔和外圆 $\phi 130$  已经加工完成。

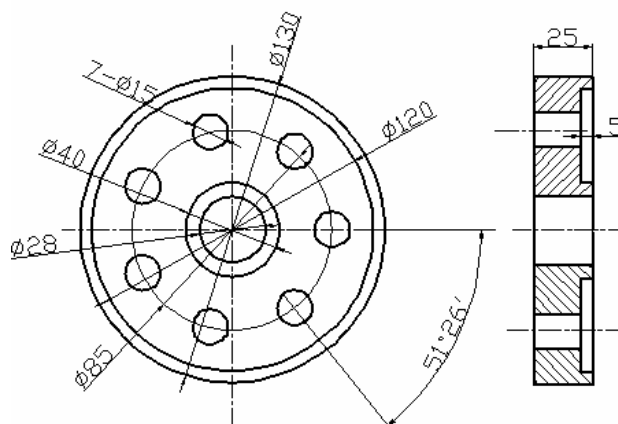


图 5-65 孔加工指令编程

现需要在数控机床上铣出直径 $\phi 120 \sim \phi 40$ 、深 5mm 的圆环槽和七个通孔。

1. 选择刀具;
2. 选择夹具;
3. 确定加工顺序;
4. 编写加工程序;
5. 对刀;
6. 自动加工;
7. 检验加工零件。

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸, 明确图纸的加工要求;
2. 仔细分析切削用量, 确定加工顺序;
3. 输入程序要细心;
4. 对刀要精确到 0.001mm;
5. 自动加工之前要仔细校验程序;
6. 仔细分析零件的加工质量, 对不足之处提出改进意见。

### 四、实训时间

每人上机四小时。

## 五、实训报告

### 实训课题六 综合应用

#### 一、实训目的

1. 学习数控系统编程指令的应用；
2. 掌握通过对刀建立工件坐标系的方法；
3. 练习数控铣床的基本操作；
4. 练习把数控加工工艺贯穿于数控编程之中；
5. 学习对数控加工零件进行检验。

#### 二、实训内容

编制如图 5-66 所示零件的加工程序。刀具直径 $\phi 16$ ，每次 Z 向切深不大于 5mm。材料 45 钢。

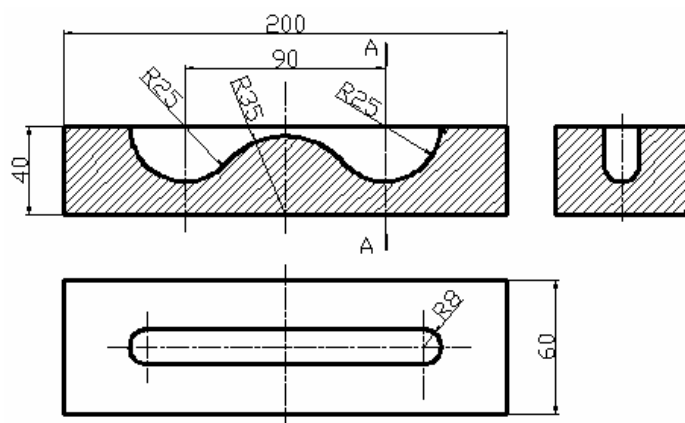


图 5-66 综合举例

1. 选择刀具；
2. 选择夹具；
3. 确定加工顺序；
4. 编写加工程序；
5. 对刀；
6. 自动加工；
7. 检验加工零件。

#### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求；
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序；
3. 输入程序要细心；
4. 对刀要精确到 0.001mm；



5. 自动加工之前要仔细校验程序；
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机四小时。

#### 五、实训报告

## 练 习 题

### 一、填空题

1. G22: 编程时使用的单位为 ( )。
2. 使用指令 G94 时, F 代码后面的数值直接指令刀具 ( ) 的进给量。
3. 所谓程序段间过渡, 是指从 ( ) 过渡。
4. 有准停指令 G09 的程序段结束时, 数控系统待指令进给速度 ( )。
5. 在 G61 后面的每个切削进给程序段都执行 ( )。
6. G04 指令仅在其被规定的程序段中 ( )。
7. G92 指令需要后续坐标值指定刀具 ( ) 在工件坐标系中的位置。
8. 使用 G92 指令, 需要先选定对刀点和 ( )。
9. 使用 G92 指令, 每次更换工件后都要重新 ( )。
10. 编程时用指令 G54, 在程序中不指定工件坐标系的 ( )。
11. 使用 G54 指令, 每次更换工件后不需要重新 ( ), 也不需要 ( )。
12. G52 后面的坐标值为局部坐标系的原点在 ( ) 的坐标值。
13. 直接机床坐标系编程指令是 ( )。
14. 执行程序段 G90G00X30Y30Z40 后, 刀具在工件坐标系中的位置是 ( )。
15. 执行程序段 G91G00X30Y30Z40 后, 刀具在工件坐标系中的移动量是 ( )。
16. 坐标平面选择指令只是决定了程序段中的坐标轴的地址, 不影响 ( ) 指令的执行。
17. 使用 G28 指令所选定的中间点一般是 ( )。
18. 使用 G29 指令所选定的目标点一般是 ( )。
19. 一个子程序可被 ( ) 多次调用。
20. G01 指令后的坐标值是 ( ) 终点的值。
21. G01 指令后的坐标值是编程时目标点 ( )。
22. 使用 G02 指令, 表明圆弧的切削方向是 ( )。
23. 使用 G03 指令, 表明圆弧的切削方向是 ( )。
24. 使用 G43 指令, 表明刀具的长度补偿是 ( )。
25. 使用 G44 指令, 表明刀具的长度补偿是 ( )。
26. 使用 G41 指令, 表明刀具的半径补偿是 ( )。
27. 使用 G42 指令, 表明刀具的半径补偿是 ( )。

28. 使用了刀具半径，在编程时均按（ ）编程。
29. G24X0 指定的镜像轴是（ ）。
30. G24Y0 指定的镜像轴是（ ）。
31. G24X0Y0 指定的镜像轴是（ ）。
32. 在 G51 指令后面的移动指令将按（ ）移动。
33. 执行程序段 G51X35Y35P（ ），图形放大 1 倍。
34. 执行程序段 G51X35Y35P（ ），图形缩小 1 倍。
35. 执行程序段 G68X0Y0P（ ），图形旋转 45°。
36. 执行程序段 G68X0Y0P（ ），图形旋转 90°。
37. 执行程序段 G68X0Y0P（ ），图形旋转 135°。
38. 孔加工循环通常由（ ）顺序动作组成。
39. 用 G73 指令时，刀具在 Z 轴方向（ ）进给。
40. 用 G74 指令时，刀具在孔底的转向由（ ）。
41. 用 G76 指令时，主轴按进给速度加工到孔底定向停止后，向（ ）移动，然后快速退刀。
42. G76 指令用于（ ）。
43. G82 指令用于（ ）。
44. G83 指令每次切入后退回到（ ）。
45. G84 指令用于（ ）。
46. G87 指令用于（ ）。
47. G88 指令用于（ ）。

## 二、判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. M30 与 M02 功能相同。（ ）
2. M01 与 M00 功能基本相同。（ ）
3. 机床操作面板上的“选择暂停”开关控制指令 M01 的执行。（ ）
4. 用 G21 编程时使用的单位为米制单位。（ ）
5. 指令 G95[F ]时，F 代码后面的数值直接指令主轴每转的进给量。（ ）
6. 在 G61 后的各个程序段的移动指令都要准确停止在本程序段的终点。（ ）
7. 在执行 G92 指令时，刀具应在对刀点上。（ ）
8. 在执行 G92 指令时，刀具并不产生运动。（ ）
9. G92 坐标系原点的值可通过对刀时用 MDI 方式输入到数控系统中。（ ）
10. 工件坐标系内可以变更局部坐标系。（ ）
11. 直接机床坐标系编程指令是 G53。（ ）
12. 执行程序段 G90X30Y30Z40 时，刀具移动到（30，30，40）。（ ）
13. 执行程序段 G91X30Y30Z40 时，刀具移动到（30，30，40）。（ ）
14. 执行程序段 G17 G01Z10 时，Z 轴不在 XY 平面上，Z 轴照样会移动。（ ）
15. 执行 G00 指令，刀具以快速进给的速度移动到指令中坐标值指定的位置。（ ）
16. G00 指令只用于空行程。（ ）

17. G00 指令的移动轨迹是直线。( )
18. G00 指令着眼于刀具快速移动后的刀具位置。( )
19. G00 指令中的快速移动速度由机床参数对各轴分别设定。( )
20. 执行程序段 G90G00X60Y60Z50, 刀具快速移动了 X60Y60Z50。( )
21. 执行程序段 G91G00X60Y60Z50, 刀具快速移动了 X60Y60Z50。( )
22. G28 指令一般在换刀时使用。( )
23. 用 G28 指令编程时一般选换刀点作为中间点。( )
24. G29 指令中的目标点一般是下段程序的切削起点。( )
25. 在编写程序时, 主、子程序必须写在同一个文件中。( )
26. M99 的功能就是在子程序中结束子程序的运行并使数控系统返回到调用该子程序的主程序中, 重新按主程序的指令运行。( )
27. G01 指令刀具以联动的方式, 按 F 规定的合成进给速度, 从当前位置按直线路径切削到程序段指令值所指定的终点。( )
28. 用 G01 指令编程时, 如果没有指令进给速度, 就认为进给速度为零。( )
29. 用 G02 指令编程时, I、J、K 是圆心相对于圆弧的起点的坐标增量值。( )
30. 用 G02 指令编程时, 对等于 180°的圆弧, 半径 R 用正值或负值均可。( )
31. 在圆弧插补的同时, 指令垂直于插补平面的轴移动一个距离, 即是螺旋线插补。( )
32. 工件坐标系的设定是以刀具基准点为依据的。( )
33. 零件加工程序中的指令值是刀位点的值。( )
34. 刀具基准点是用标准长度的刀具对刀时的刀位点。( )
35. 刀具长度补偿分正向偏置和负向偏置。( )
36. 刀具的正向偏置, 就是实际使用的刀具长度比编程时的标准刀具长。( )
- 37 刀具的负向偏置, 就是实际使用的刀具长度比编程时的标准刀具长。( )
38. 刀具长度补偿指令通常用在下刀及提刀的直线段程序中。( )
39. 按零件轮廓编程, 而让数控系统自动偏离零件轮廓一个刀具半径, 就是刀具半径补偿功能。( )
40. 顺着刀具直线前进的方向看, 刀具在左边, 工件在右边, 需对刀具进行左补偿。( )
41. 某一个坐标轴的镜像有效时, 该坐标轴执行与编程方向相反的切削运动。( )
42. G51 指令后面的坐标值指定的是图形缩放中心点的坐标值。( )
43. G51 指令后面的 P 值为缩放倍数。( )
44. G68 指令后面的坐标值  $\alpha$ 、 $\beta$  指定的是旋转中心点的坐标值。( )
45. G68 指令后面的 P 值为图形旋转的角度。( )
46. G68 指令后面的 P 值为正值时, 表示图形逆时针方向旋转。( )
47. 在有缩放功能的情况下编写旋转程序时, 要先缩放后旋转。( )
48. 初始平面是开始执行孔加工时, 刀位点所在的平面。( )
49. R 点平面是孔加工刀具由快进转为慢进时转换平面。( )
50. 反镗循环时的 R 点平面在孔的底部。( )

### 三、简答题

1. 如何判断主轴的正转和反转?
2. S10 表示什么含义?
3. 哪种形式的 F 代码可以用倍率开关进行修调?
4. 什么是程序段间过渡?
5. 什么是到位检查?
6. G04 X 后面的时间是什么单位?
7. 简述工件坐标原点和对刀点的选择原则。
8. 运行程序时 G54 的原点是怎样确定的?
9. 局部坐标系的原点可以改变吗?
10. G91 指令后可以用 X、Y、Z 表示增量吗?
11. 执行 G17G01Z20 指令时, Z 轴能移动吗?
12. G00 指令是着眼于移动的起点还是着眼于移动的终点?
13. 简述主、子程序的调用关系。
14. G01 指令中的终点与起点有什么关系?
15. 如何判断圆弧的切削方向?
16. I、J、K 与 R 同时指定圆心时, 哪个有效?
17. 什么是螺旋线切削?
18. 怎样确定直线后倒角的直线切削的起点?
19. 怎样确定圆弧后倒角的圆弧切削的起点?
20. 简述刀具的长度补偿。
21. 简述刀具的半径补偿。
22. 绘图说明刀具长度的正、负偏置补偿。
23. 绘图说明刀具半径的左、右偏置补偿。
24. 已知铣刀直径为 10mm, 绘制图 5-67 所示零件的刀具轨迹。
25. 什么是镜像功能?
26. 什么是缩放功能?
27. 什么是旋转变换功能?
28. 绘图说明孔加工的六个循环顺序动作。
29. 绘图说明断屑式深孔加工的循环过程。
30. 绘图说明反镗加工的循环过程。

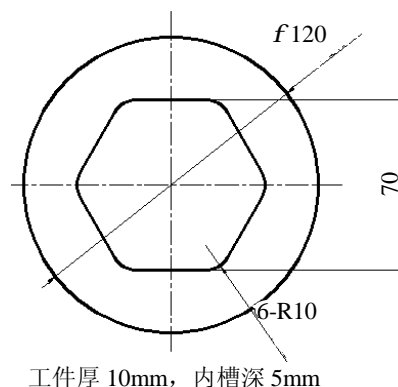


图 5-67 绘制刀补轨迹

### 四、编程题

编写图 5-68 所示各零件的数控铣加工程序。

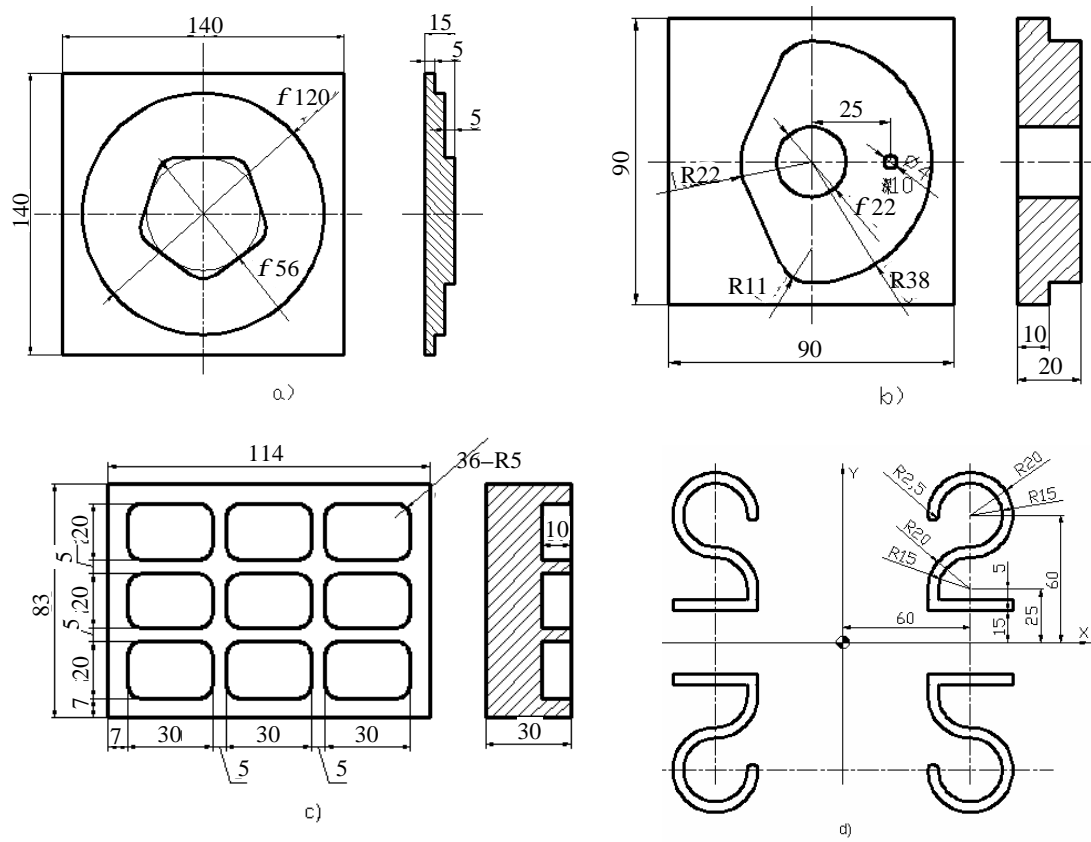


图 5-68 数控铣编程图例

## 第六章 加工中心的编程与加工

### 【学习目标】

- (1) 了解加工中心的基本概念、分类及组成。
- (2) 理解加工中心工艺分析方法。
- (3) 掌握华中世纪星系统、FANUC 0i、SIEMENS 802D 系统数控加工中心的编程与加工方法。

### 6.1 数控加工中心概述

#### 6.1.1 加工中心的基本概念

加工中心是数控机床发展到一定阶段的产物,至今人们对加工中心还没有一个确切的定义,一般认为带有自动刀具交换装置(ATC)的数控镗铣床,叫做加工中心,实际上可以概括为“具有自动刀具交换装置,并能够进行多种工序加工的数控机床”。加工中心是一种功能较全的数控加工机床,一般它把几种机床的功能集中在一台设备上,使其具有多种工艺手段。加工中心配置有刀库和回转工作台,在加工过程中由程序控制选用或更换刀具,也由程序控制工作台的回转或分度。它能在一次装夹中完成铣、镗、钻、扩、铰、铰和攻螺纹等工序。加工中心与其他数控机床相比结构复杂,控制系统功能较全。加工中心至少可控制三个坐标轴,其控制功能最少可实现两轴联动控制,多的可实现五轴、六轴联动,从而保证刀具能进行复杂表面的加工。加工中心除具有直线插补和圆弧插补功能外,还具有各种固定加工循环、刀具半径自动补偿、刀具长度自动补偿、在线监测、刀具寿命管理、故障自动诊断、加工过程图形显示、人机对话、离线编程等功能。

#### 6.1.2 加工中心的类型

##### 1. 按工艺特征分类

##### (1) 车削加工中心

在数控车床基础上增加附设主轴,可进行回转零件的车削、铣削、钻镗孔的加工。

##### (2) 镗铣加工中心

主轴轴线一般为水平的,也称为卧式加工中心。以镗、铣为主,适用于加工箱体、壳体、以及各种复杂零件的特殊曲线轮廓的多工序加工。这种加工中心一般具有回转工作台,一次装夹,可对箱体的四个表面进行加工。

##### (3) 钻削加工中心

以钻削为主,刀库形式以转塔头形式为主。适用于中、小零件的钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹及连续轮廓铣削等多工序加工。

##### (4) 复合加工中心

复合加工中心主要指能进行五面复合加工,可自动回转主轴头,进行立卧加工。主轴自动回转后,在水平和垂直面实现刀具自动交换。

## 2. 按结构特征分类

按工作台种类可把加工中心分成单工作台、双工作台和多工作台的加工中心等几种。设置工作台的目的是为了缩短零件的辅助准备时间,提高生产效率和机床自动化程度。工作台可自动分度或回转,便于加工和工件的装卸。最常见的加工中心是单工作台和双工作台的加工中心两种形式。

## 3. 按主轴种类分类

按主轴结构特征可分为单轴、双轴、三轴及可换主轴的加工中心。

## 4. 按自动换刀装置分类

### (1) 转塔头加工中心

有立式和卧式两种。主轴数一般为 6~12 个,换刀时间短,数量少,主轴转塔头刚性和承载能力较弱,定位精度要求较高。因此,只能用于小型加工中心。

### (2) 带刀库的加工中心

这种加工中心的换刀方式有无机械手式主轴换刀和机械手式主轴换刀等。无机械手式主轴换刀方式的特点是利用工作台运动及刀库相对转动,由主轴箱上下运动进行选刀和换刀。而用机械手式主轴换刀的加工中心结构多种多样,由于机械手卡爪可同时分别抓住刀库上所选的刀和主轴上的刀,换刀时间短。并且选用时间可与机械加工时间重合,因此得到广泛的应用。还有机械手式双主轴转塔头换刀,这种加工中心在主轴上刀具进行切削时,通过机械手将下一步所用的刀具换在转塔的非切削主轴上。当主轴上的刀具切削完毕后,转塔头即回转,完成换刀工作,节省了换刀时间。

## 6.1.3 加工中心的组成

加工中心主要由以下几部分组成:自动换刀装置(ATC)、数控系统、操作面板、床身、主轴伺服系统、进给伺服系统、冷却系统和气动装置等,如图 6-1 和图 6-2 所示。

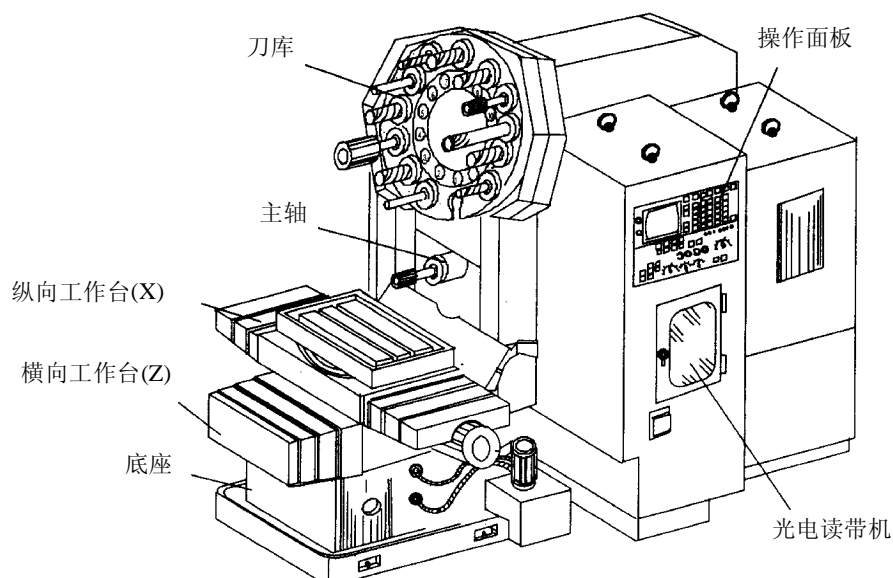


图 6-1 卧式数控加工中心

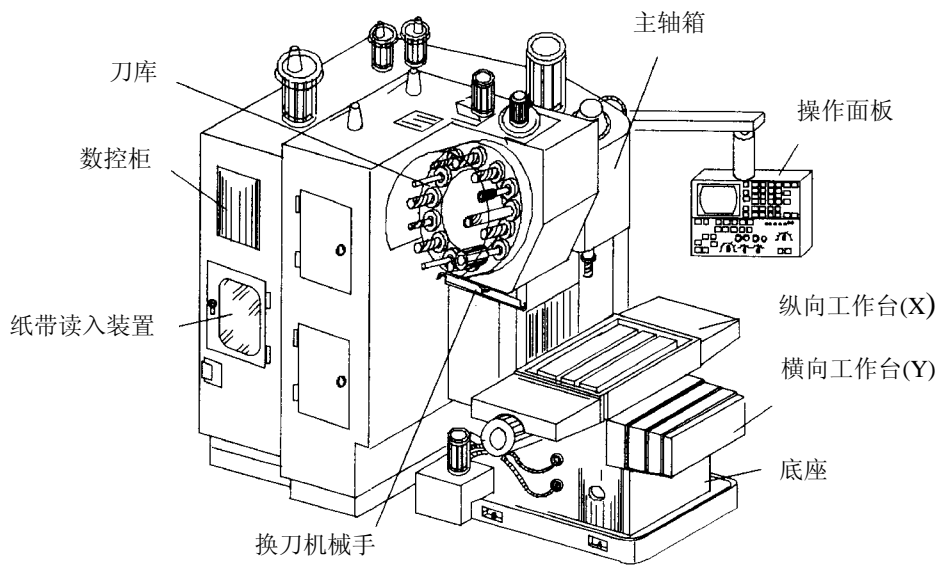


图 6-2 立式数控加工中心

#### 6.1.4 加工中心的工艺分析

加工中心是一种工艺范围较大的数控加工机床，能进行铣削、镗削、钻削和螺纹加工等多项工作。加工中心特别适合于箱体类零件和孔系的加工。

##### 1. 工艺特点

• 由于加工中心配置了自动换刀系统和回转工作台，与传统制造工艺相比，具有以下显著特点：

- (1) 在工件成形过程中，没有中间时效处理环节，内应力难以消除。
- (2) 由于加工中心工序集中，使用很多刀具，此时既要考虑粗加工时的大切削力，又要考虑精加工时的定位精度，因此机床的强度和刚度要满足这两方面的要求。
- (3) 由于机床加工经常处于粗、精加工交替的情况，所以要保证机床有良好的抗振性和精度保持性。
- (4) 多工序集中加工，切屑多，切屑的堆积对已加工表面产生影响，加工中应引起注意。
- (5) 零件每道工序的内容、切削用量和工艺参数可以随时改变，有很大的加工柔性。适应现代化制造的要求。

• 根据加工中心工艺特点，要充分发挥加工中心的特长，提高产品质量，必须注意以下几点：

- (1) 工件须经过高温时效处理，消除内应力。
- (2) 安排其他设备完成准备工序。
- (3) 选择合适的刀具及夹具，使用优化的切削用量。
- (4) 选用复合刀具，尽量采用刀具机外预调，提高精度和机床利用率。
- (5) 合理安排加工工序。



## 2. 加工中心加工零件的工艺性分析

### (1) 零件图样的工艺性分析

#### ①选择加工内容

加工中心最适合加工形状复杂、工序较多、要求较高，需使用多种类型的通用机床、刀具和夹具，经多次装夹和调整才能完成加工的零件。

#### ②检查零件图样

零件图样应表达正确，标注齐全。同时要特别注意，图样上应尽量采用统一的设计基准，从而简化编程，保证零件的精度要求。

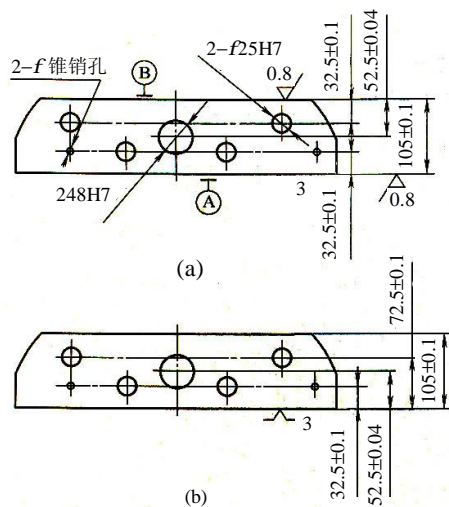


图 6-3 零件加工的基准统一

例如图 6-3 中所示零件图样。在图 6-3 (a) 中，A、B 两面均已在前面工序中加工完毕，在加工中心上只进行所有孔的加工。以 A、B 两面定位时，由于高度方向没有统一的设计基准， $\phi 48H7$  孔和上方两个  $\phi 25H7$  孔与 B 面的尺寸是间接保证的，欲保证  $32.5\pm 0.1$  和  $52.5\pm 0.04$  尺寸，须在上道工序中对  $105\pm 0.1$  尺寸公差进行压缩。若改为图 6-3 (b) 所示标注尺寸，各孔位置尺寸都以 A 面为基准，基准统一，且工艺基准与设计基准重合，各尺寸都容易保证。

#### ③分析零件的技术要求

根据零件在产品中的功能，分析各项几何精度和技术要求是否合理；考虑在加工中心加工，能否保证其精度和技术要求；选择哪一种加工中心最为合理。

#### ④审查零件的结构工艺性

分析零件的结构刚度是否足够，各加工部位的结构工艺性是否合理等。

### (2) 工艺过程设计

工艺设计时，主要考虑精度和效率两个方面，一般遵循先面后孔、先基准后其他、先粗后精的原则。加工中心在一次装夹中，尽可能完成所有能够加工表面的加工。对位置精度要求较高的孔系加工，要特别注意安排孔的加工顺序，安排不当，就有可能将传动副的反向间隙带入，直接影响位置精度。例如，安排图 6-4 (a) 所示零件的孔系加工顺序时，若按如图 6-4 (b) 所示的路线加工，由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔在 Y 向的定位方向相反，Y 向反向间隙会使误差增加，从而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。按图 6-4 (c) 所示路

线，可避免反向间隙的引入。

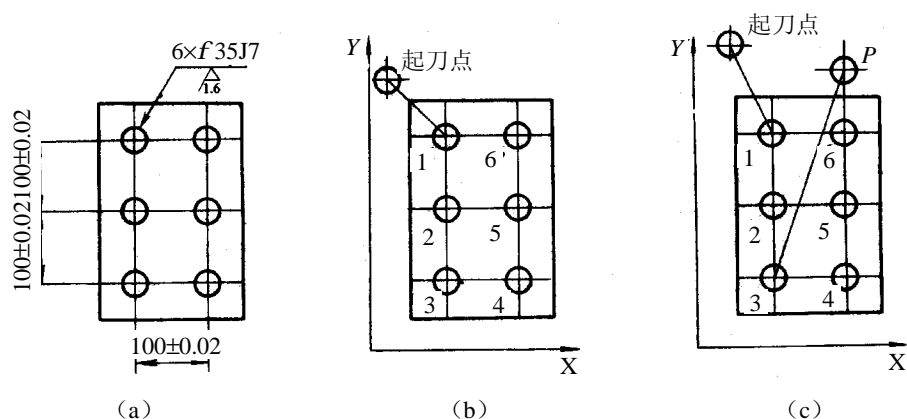


图 6-4 镗孔加工路线

加工过程中，为了减少换刀次数，可采用刀具集中工序，即用同一把刀具把零件上相应的部位都加工完，再换第二把刀具继续加工。但是，对于精度要求很高的孔系，若零件是通过工作台回转确定相应的加工部位时，因存在重复定位误差，不能采取这种方法。

### (3) 零件的装夹

#### 1) 定位基准的选择

在加工中心加工时，零件的定位仍应遵循六点定位原则。同时，还应特别注意以下几点：

① 进行多工位加工时，定位基准的选择应考虑能完成尽可能多的加工内容，即便于各个表面都能被加工的定位方式。例如，对于箱体零件，尽可能采用一面两销的组合定位方式。

② 当零件的定位基准与设计基准难以重合时，应认真分析装配图样，明确该零件设计基准的设计功能，通过尺寸链的计算，严格规定定位基准与设计基准间的尺寸位置精度要求，确保加工精度。

③ 编程原点与零件定位基准可以不重合，但两者之间必须要有确定的几何关系。编程原点的选择主要考虑便于编程和测量。例如，图 6-5 中的零件在加工中心上加工  $\phi 80H7$  孔和 4- $\phi 25H7$  孔，其中 4- $\phi 25H7$  都以  $\phi 80H7$  孔为基准，编程原点应选择在  $\phi 80H7$  孔的中心线上。当零件定位基准为 A、B 两面时，定位基准与编程原点不重合，但同样能保证加工精度。

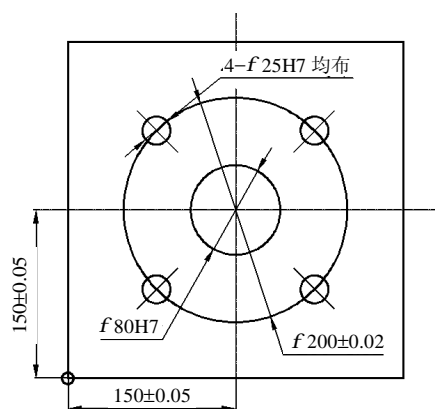


图 6-5 编程原点与定位基准

## 2) 零件的夹紧

在考虑夹紧方案时,应尽量减小夹紧变形。零件在粗加工时,切削力大,需要的夹紧力大,因此必须慎重选择定位基准和确定夹紧力。夹紧力应作用在主要支承范围内,并尽量靠近切削部位及刚性好的部位。如采用这些措施仍不能控制零件的变形,只能将粗、精加工工序分开,或者在粗加工程序后编入一段选择停止指令,粗加工后松开工件,使零件变形消除后,再重新夹紧零件继续进行精加工。

## 3) 夹具的选用

在加工中心上,夹具的任务不仅仅是装夹零件,而且要以定位基准为参考基准,确定零件的加工原点。加工中心的自动换刀功能又决定了在加工中不能使用钟套、钻套及对刀块等元件。因此,在选用夹具结构形式时要综合考虑各种因素,尽量做到经济、合理。在加工中心台面上有基准 T 形槽、转台中心定位孔、工作台侧面基准定位元件。

夹具的安装必须利用这些定位件,夹具底面表面粗糙度值不低于  $Ra3.2\mu m$  和平面度误差为  $0.01\sim0.02mm$  的要求。夹具选择必须注意以下几点:

① 定位夹具必须有高的切削刚性。由于零件在一次装夹中要同时完成粗加工和精加工,夹具既要满足零件的定位要求,又要承受大的切削力。

② 夹紧零件后必须为刀具运动留有足够的空间。由于钻夹头、弹簧夹头、镗刀杆很容易与夹具发生干涉,尤其是零件外轮廓的加工,很难安排定位夹紧元件的位置,箱体零件可利用零件内部空间来安排夹紧方式。

③ 夹具必须保证零件最小变形。由于零件在粗加工时切削力较大,当粗加工后松开压板零件可能产生变形,夹具必须谨慎地选择支承点、定位点和夹紧点。夹紧点尽量接近支承点,避免夹紧力作用在零件中间空的区域。如果上述方法仍不能控制零件变形,就只能分开零件的精加工程序,或者在编制精加工前使用机床暂停指令,让操作者放松夹具调节夹紧力,消除零件后变形再进行精加工。

④ 对于批量不大又经常换品种的零件来说,可优先使用组合或成组夹具。但是组合夹具的精度必须满足零件加工的要求。

⑤ 对小型、宽度小的工件可考虑在工作台上装夹几个零件同时加工。

常用的夹具有组合夹具、成组夹具、可调整夹具、拼装夹具和专用夹具。

夹具在机床上的安装误差和零件在夹具中的装夹误差对加工精度都将产生直接的影响。即使在编程原点与定位基准重合的情况,也要求对零件在机床坐标系中的位置进行准确的调整。夹具中零件定位支承的磨损及污垢都会引起加工误差,因此,操作者在装夹零件时一定要将污物去除干净。

## 3. 刀具的选择

加工中心上使用的刀具分刀具部分和连接刀柄部分。刀具部分包括钻头、铣刀、铰刀、丝锥等。加工中心有自动换刀装置。连接刀柄要满足机床主轴自动松开和拉紧、定位准确、安装方便、适应机械手的夹持和搬运、适应在自动化刀库中的储存和识别的要求,通常用 ISO40、45、50 锥孔数据。

### (1) 刀柄的选择

标准刀柄与机床主轴联接结合面的锥度是  $7:24$ ,国际标准(ISO)有 30, 35, 40, 45, 50 等型号。刀柄尺寸的选择需考虑机械手夹持尺寸和机床主轴夹紧刀柄的尾拉钉尺寸的要

求。TSG 工具系统中有一部分刀柄不带刀具，必须配置相应的刀具如铣刀、钻头、镗刀头、丝锥和附件，如钻夹头、弹套、丝锥转矩保护套等。用户可根据典型零件的工艺分析，编制刀具卡片，考虑易损的备件。刀柄的选择直接影响机床效能的发挥，刀柄数量少，不能充分发挥机床的功能；刀柄数量多，又会影响投资。如何恰当地选择，只有根据典型零件和批量情况而定。如果刀库容量大，刀具更换频繁，可选用模块式刀柄。对批量大又反复生产的典型零件，可选用复合刀柄。对特殊刀柄的选用，可扩大加工范围，如把增速刀柄用于小孔加工，则转速比主轴转速增高几倍；多轴加工动力头刀柄可同时加工小孔；万能铣头刀柄可改变刀具与主轴轴线夹角，扩大工艺范围；内冷却刀具刀柄冷却液通过刀柄，经过刀具内通孔，直接在切削刃区冲击，可得到很好的冷却效果，适用于深孔加工；高速磨头刀柄适于在加工中心磨削淬火加工面或抛光模具面等。特殊刀柄的选用必须考虑对机床主轴端面安装位置要求，并考虑可否实现。

## （2）对刀具的要求

加工中心用刀具必须具有能够承受高速切削和强力切削的性能，并且性能稳定。在选刀具材料时，一般应尽可能选用硬质合金涂层刀片，精密镗孔等还可选用性能好、耐磨的立方氮化硼和金刚石刀具。加工中心的 ATC 功能要求能快速、准确地完成自动换刀，同时加工的零件日益复杂和精密，这就要求刀具必须具备较高的形状精度。例如，加工中心上不能使用钻模板等辅助装置，钻孔精度除受机床结构因素影响外，主要取决于钻头本身，这就要求钻头的两切削刃必须有较高的对称度精度（一般为依靠钻模板加工时钻头对称度值的一半）。同时，对刀具装夹装置也应提出较高要求，必须保证刀具同心地夹持在刀具装夹装置内。

近年来发展起来的模块式工具系统是配备完善的工具系统，能更好地适应多品种零件的加工要求，且有利于工具的生产、使用和管理，能有效地减少使用厂家的工具储备。配备完善的、先进的工具系统，是用好加工中心的重要一环。

另外，在根据工艺卡片确定所用的刀具及刀柄、编制刀具卡片时，还应注意下列因素：

- （1）机床允许的最大直径和质量。
- （2）注意刀具与夹具及零件发生涉及的可能性，零件形状越复杂，此项检验越重要。
- （3）零件精度要求高、材料硬度高时，要注意刀具寿命的控制和备用刀具的准备。
- （4）采用通用还是专用夹具，要根据生产批量、零件精度及刀库容量等因素决定。

## 6.2 加工中心的编程

加工中心的编程和数控铣床编程的不同之处，主要在于增加了用 M06、M19 和 T 指令进行自动换刀的功能外，其他与数控铣床基本相同。

### 6.2.1 编程要点

#### 1. 进行合理的工艺分析，安排加工工序

由于零件加工工序多，使用的刀具种类多，甚至在一次装夹下，要完成粗、半精、精加工，周密合理地安排各工序加工顺序，有利于提高精度和生产率。加工顺序按铣大平面、粗镗孔、半粗镗孔、立铣刀加工、打中心孔、钻孔、攻螺纹、精加工、铰镗精铣等的加工次序。

#### 2. 根据批量等情况，决定采用自动换刀还是手动换刀

一般对批量在 10 件以上，而刀具更换频繁时，以采用自动换刀为宜。但当加工批量很

小而使用的刀具种类又不多时，把自动换刀安排到程序中，反而会增加机床的调整时间，当然，这时就相当于把加工中心当数控铣床来使用了。

### 3. 自动换刀要留出足够的换刀空间

有些刀具直径较大或尺寸较长，自动换刀时要注意避免发生撞刀事故。为安全起见，有的机床要求换刀前必须先回到参考点（或 Z 轴回到参考点高度）后进行换刀。如 XHK716 型立式加工中心机床，若没有回参考点的信号，则机械手将不能动作。

4. 为提高机床利用率，尽量采用刀具机外预调，并将测量尺寸填写到刀具卡片中，以便操作者在运行程序前，及时修改刀具补偿参数。

### 5. 对于编好的程序，应认真检查，并于加工前安排好试运行。

从编程的出错率来看，采用手工编程出错率高，特别是在生产现场，为临时加工而编程时，出错率更高，认真检查程序并安排好试运行就更为必要。

6. 尽量把不同工序内容的程序，分别安排到不同的子程序中，或按工序顺序添加程序段号标记。

当零件加工程序较多时，为便于程序调试，一般将各工序内容分别安排到不同的子程序中。主程序内容主要是完成换刀及子程序调用的指令。这样安排便于按每一工序独立地调试程序，也便于因加工顺序不合理而作出重新调整。对需要多次重复调用的子程序，可考虑采用 G91 增量编程方式处理其中的关键程序段，以便于在主程序中用 M98P×××L××方式调用，这样可简化程序量。

7. 尽可能地利用机床数控系统本身所提供的镜像、旋转、固定循环和宏指令编程处理的功能，以简化程序量。

8. 对加工时所要用到的第一把刀具，可以把它直接安装在主轴上，并将这把刀的刀号输入设置到某地址号中。

这样，在加工程序的开头就可以不进行换刀操作。但在程序结束前必须要有换刀程序段，以便使加工最后用的刀具换为加工开始时用的刀具，使这个程序还能继续进行下一个零件的加工。若在调整时，主轴上先不装刀，所要用的几把刀具个装在刀库上。那么，在程序的一开头，就要是换刀的程序段，以便使主轴装上刀具。当然，这次换刀时，主轴上是空的，只是把刀库上的刀具装上主轴，再以后的程序则与前述相同以后再要重复使用这个程序加工时，这种最前面安排的装刀程序段就没有用了。这样可以使系统提供的选择跳跃功能，即在程序段前增加“/”，按下操作面板上的“选择跳跃”键至灯亮（有效），则以后这些带“/”的程序段就跳过不执行。当需要运行这些程序段时，可在重复运行这些程序前，再按下“选择跳跃”键至灯灭（无效）。这些程序段可按下述形式编制：

/ T01 选 01 号刀具

/ M06T02 换刀，再预选好 02 号刀具备用

如果刀库参考点位置的刀座上安装的是 T01 号刀具，则前一段程序可省去。

## 6.2.2 编程指令

加工中心配备的数控系统，其功能指令都比较齐全，上章数控铣床的所用的功能指令基本上都适用于加工中心，对这些指令就不再重复说明。在此主要介绍一些前面没有进行说明的程序指令。

## 1. FANUC 系统的极坐标编程指令

G70~G72 指令仅限于孔加工，且必须与孔加工循环指令配合使用。G70 用于圆周上分布孔的加工；G71 用于圆弧上分布孔的加工；G72 用于任意角度直线上分布孔的加工，如图 6-6 所示。

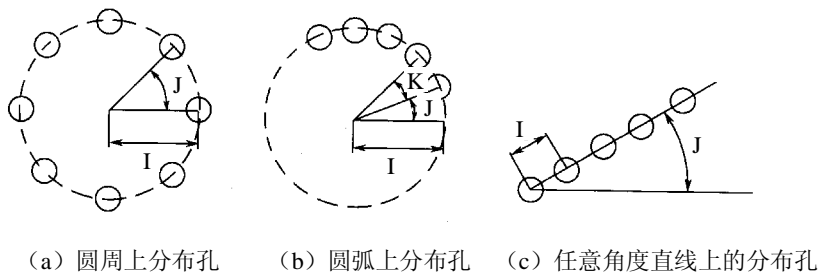


图 6-6 极坐标编程示意图

指令格式为：

(1) G70 I J I ;

式中：I 为极坐标半径；

J 为极坐标起始角（与 X 轴）；

L 为圆周均匀分布的孔数。

(2) G71 I J K L ;

式中：I 为极坐标半径；

J 为极坐标起始角（与 X 轴）；

K 为角度量；

L 为孔数。

(3) G72 I J L ;

式中：I 为孔间距；

J 为直线与 x 轴的夹角；

L 为孔数。

【例 6-1】如图 6-7 所示孔加工中，采用极坐标指令加工各孔时，程序如下：

G17 G90

G70 I100 J30 L3

钻孔循环。

## 2. FANUC 系统的型腔加工循环指令

G150 是一个非模态通用型腔加工循环指令，可以加工包含岛屿的复杂型腔，对于平底型腔的加工具有典型性。应用该指令编程，需要一个包含技术参数的主程序和一个定义轮廓的子程序。

指令格式为：G150 X Y Z R Q I/J K P G41 / G42 D F ;

式中：X Y 为加工型腔起始下刀位置；

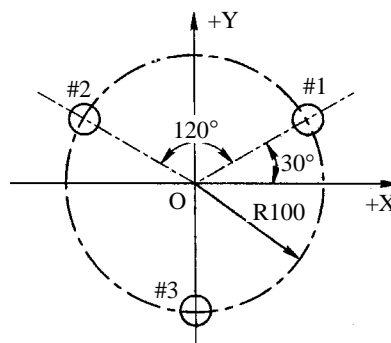


图 6-7 极坐标编程图例

Z 为型腔的深度;  
 R 为安全平面高度 (与钻孔循环相同);  
 Q 每次在 z 方向的背吃刀量;  
 I / J 为 x / y 轴方向背吃刀量。I 或 J 必须且只能指定一个;  
 K 为精加工余量;  
 P 为定义轮廓的子程序号;  
 G41 / G42 表示刀具半径左右补偿;  
 D 为刀具半径补偿号;  
 F 切削进给速度。

型腔的轮廓由子程序来定义, 用 G01, G02, G03 定义一个封闭的区域, 子程序中的第 1 段位移是从 G150 程序段中的起点 X Y 开始, 运动到型腔的起点, 最后返回到 X Y 起点。子程序结束必须用 M99 指令返回。

【例 6-2】加工如图 6-8 所示的方形型腔, 下刀点在 (0, 0) 位置, 子程序中型腔的起点在 (0, 30), 选用直径小于等于  $\phi 10\text{mm}$  的键槽立铣刀, 其程序介绍如下:

主程序:

```

O001
T01 M06;
G90 G54 G00 X0 Y0 S1000 M03;
G43 H01 Z10 M08;
G01 Z0 F100;
G150 X0 Y0 Z-20 R1 Q5 I5 K0.5
P101 G41 D01 F50;
G00 Z5 M09;
G40 Z100;
M30;
  
```

型腔子程序为:

```

O101
G01 Y30 X-25;
G03 X-30 Y25 R5;
G01 Y-25;
G03 X-25 Y30 R5;
G01 X25;
G03 X30 Y-25 R5;
G01 Y25;
G03 X25 Y30;
G01 X25 Y30;
G01 X0;
M99;
  
```

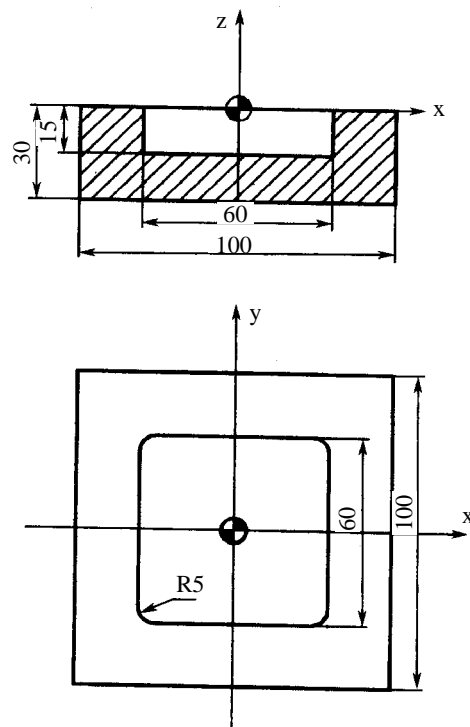


图 6-8 方型型腔的铣削加工

### 3. SIEMENS 系统孔加工固定循环指令

#### (1) 主要参数

SIEMENS 系统固定循环中使用的主要参数见表 6-1。参数赋值方式：若钻底停留时间为 2 秒，则 R105=2。

表 6-1 主要参数

参数	含义
R101	起始平面
R102	安全间隙
R103	参考平面
R104	最后钻深（绝对值）
R105	钻底停留时间
R106	螺距
R107	钻削进给量
R108	退刀进给量

（2）钻削循环

调用格式 LCYC82

功能：刀具以编程的主轴转速和进给速度钻孔，到达最后钻深后，可实现孔底停留，退刀时以快速退刀。循环过程如图 6-9 所示。

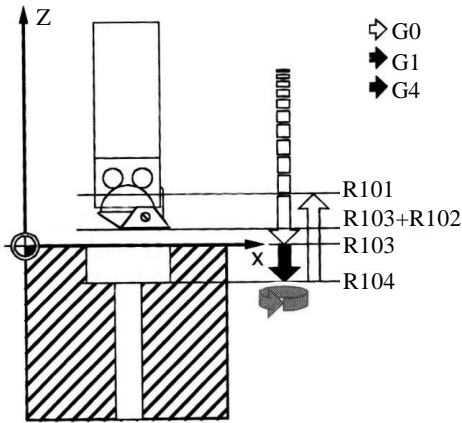


图 6-9 钻削循环过程及参数

参数：R101, R102, R103, R104, R105

【例 6-3】用钻削循环 LCYC82 加工图 6-10 所示孔，孔底停留时间 2 秒，安全间隙 4mm。试编制程序。

```

N10 G0 G17 G90 F100 T2 D2 S500 M3
N20 X24 Y15
N30 R101=110 R102=4 R103=102 R104=75 R105=2
N40 LCYC82
N50 M2

```

（3）镗削循环

调用格式 LCYC85



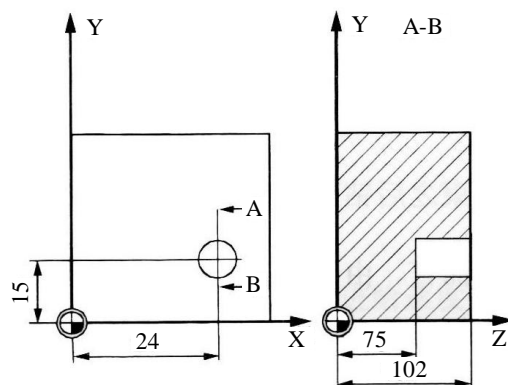


图 6-10 钻削循环应用例

功能：刀具以编程的主轴转速和进给速度镗孔，到达最后镗深后，可实现孔底停留，进刀及退刀时分别以参数指定速度退刀，如图 6-11 所示。

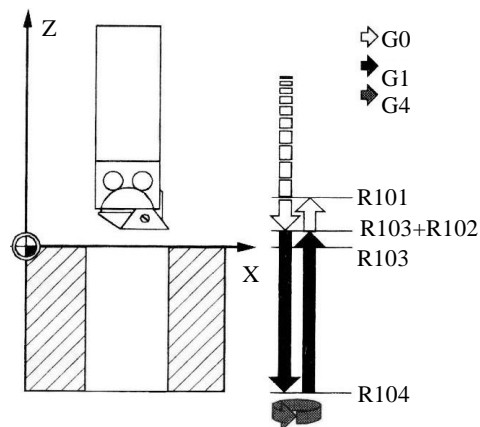


图 6-11 镗削循环过程及参数

参数：R101，R102，R103，R104，R105，R107，R108

【例 6-4】用镗削循环 LCYC85 加工如图 6-12 所示的孔，无孔底停留时间，安全间隙 2mm。试编写程序。

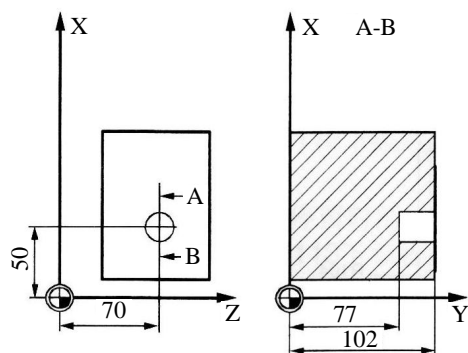


图 6-12 镗削循环应用例

N10 G0 G18 G90 F1000 T2 D2 S500 M3  
 N20 X50 Y105 Z70  
 N30 R101=105 R102=2 R103=102 R104=77 R105=0 R107=200 R108=100  
 N40 LCYC85  
 N50 M2

（4）线性孔排列钻削

调用格式：LCYC60

功能：加工线性排列孔如图 6-13 所示，孔加工循环类型用参数 R115 指定，如表 6-2 所示。表中各参数使用如图 6-14 所示。

表 6-2 线性孔排列钻削循环中使用参数表

参数	含义
R115	孔加工循环号：如 82（LCYC82）
R116	横坐标参考点
R117	纵坐标参考点
R118	第一个孔到参考点的距离
R119	钻孔的个数
R120	平面中孔排列直线的角度
R121	孔间距

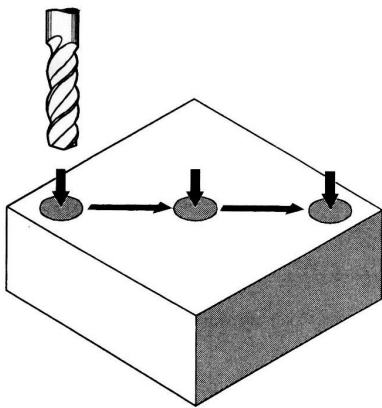


图 6-13 线性孔排列钻削

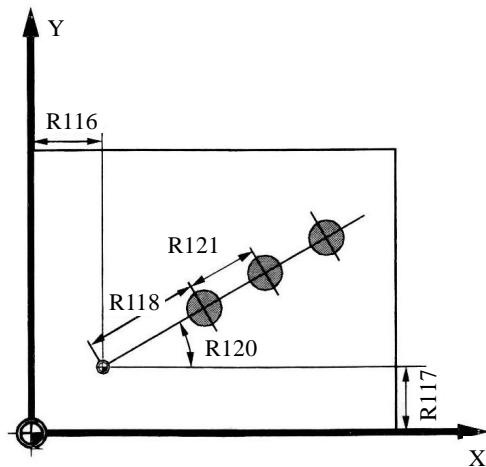


图 6-14 参数的使用功能

【例 6-5】用钻削循环 LCYC82 加工图 6-15 所示孔，孔底停留时间 2 秒，安全间隙 4mm。

N10 G0 G18 G90 F100 T2 D2 S500 M3  
 N20 X50 Y110 Z50  
 N30 R101=105 R102=4 R103=102 R104=22 R105=2  
 N40 R115=82 R116=30 R117=20 R118=20 R119=0 R120=0 R121=20  
 N50 LCYC60  
 N60 M2

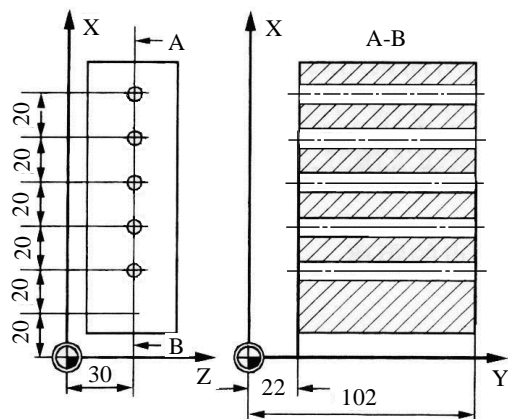


图 6-15 线性孔排列钻削循环应用

### (5) 矩形槽、键槽和圆形凹槽的铣削循环

#### 1) 循环功能

通过设定相应的参数，利用此循环可以铣削矩形槽、键槽及圆形凹槽，循环加工可分为粗加工和精加工，见图 6-16。循环参数见表 6-3，表中参数使用情况见图 6-17。

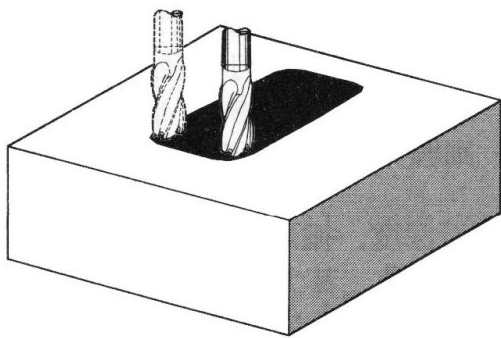


图 6-16 铣削循环

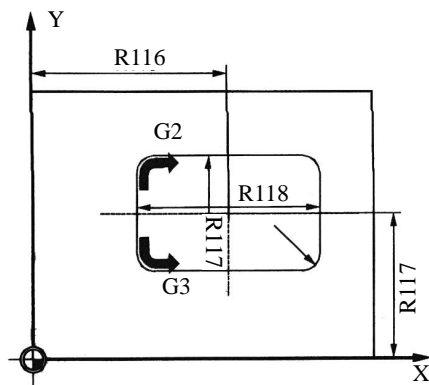


图 6-17 参数使用

表 6-3 循环参数表

参数	含义、数值范围
R101	起始平面
R102	安全间隙
R103	参考平面（绝对坐标）
R104	凹槽深度（绝对坐标）
R116	凹槽圆心 X 坐标
R117	凹槽圆心 Y 坐标
R118	凹槽长度
R119	凹槽宽度
R120	圆角半径
R121	最大进刀深度

(续表)

参数	含义、数值范围
R122	Z 向进刀进给量
R123	铣削进给量
R124	平面精加工余量：粗加工（R127=1）时留出的精加工余量 在精加工时（R127=2），根据参数 R124 和 R125 选择“仅加工轮廓”或者“同时加工轮廓和深度”
R125	Z 向深度精加工余量：粗加工（R127=1）时留出的精加工深度余量 精加工时（R127=2）利用参数 R124 和 R125 选择“仅加工轮廓”或“同时加工轮廓和深度”
R126	铣削方向（G2 或 G3） 数值范围：2（G2），3（G3）
R127	加工方式： 粗加工：按照给定参数加工凹槽至精加工余量。精加工余量应小于刀具直径 精加工：进行精加工的前提条件是凹槽的粗加工过程已经结束，接下去对精加工余量进行加工

#### 调用格式 LCYC75

加工矩形槽时通过参数设置长度、宽度、深度；如果凹槽宽度等同于两倍的圆角半径，则铣削一个键槽；通过参数设定凹槽长度=凹槽宽度=两倍的圆角半径，可以铣削一个直径为凹槽长度或凹槽宽度的圆形凹槽。加工时，一般在槽中心处已预先加工出导向底孔，铣刀从垂直于凹槽深度方向的槽中心处开始进刀。如果没有钻底孔，则该循环要求使用带端面齿得铣刀，从而可以铣削中心孔。在调用程序中应设定主轴的转速和方向，在调用循环之前必须先建立刀具补偿。

#### 2) 加工过程

出发点：位置任意，但需保证从该位置出发可以无碰撞地回到平面的凹槽中心点。

##### ① 粗加工 R127=1

用 G0 到起始平面的凹槽中心点，然后再同样以 G0 到安全间隙的参考平面处。凹槽的加工分为以下几个步骤：

- 以 R122 确定的进给量和调用循环之前的主轴转速进刀到下一次加工的凹槽中心点处。
- 按照 R123 确定的进给量和调用循环之前的主轴转速在轮廓和深度方向进行铣削，直至最后精加工余量。
- 加工方向由 R126 参数给定的值确定。
- 在凹槽加工结束之后，刀具回到起始平面凹槽中心，循环过程结束。

##### ② 精加工 R127=2

- 如果要求分多次进刀，则只有最后一次进刀到达最后深度凹槽中心点（R122）。为了缩短返回的空行程，在此之前的所有进刀均快速返回，并根据凹槽和键槽的大小无需回到凹槽中心点才开始加工。通过参数 R124 和 R125 选择“仅进行轮廓加工”或者“同时加工轮廓和深度”。

廓和工件”。

仅加工轮廓:  $R124 > 0$ ,  $R125 = 0$

轮廓和深度:  $R124 > 0$ ,  $R125 > 0$

$R124 = 0$ ,  $R125 = 0$

$R124 = 0$ ,  $R125 > 0$

平面加工以参数  $R123$  设定的值进行, 深度进给则以  $R122$  设定的参数值运行。

b. 加工方向由参数  $R126$  设定的参数值确定。

c. 凹槽加工结束以后刀具运行退回到起始平面的凹槽中心点处, 循环结束。

### 3) 应用举例

【例 6-6】凹槽铣削。在图 6-18 中, 用下面的程序, 可以加工一个长度为 60mm, 宽度为 40mm, 圆角, 半径 8mm, 深度为 17.5mm 的凹槽。使用的铣刀不能切削中心, 因此要求与加工凹槽中心 (LCY82)。凹槽边的精加工的余量为 0.75mm, 深度为 0.5mm, Z 轴上到参考平面的安全间隙为 0.5mm。凹槽的中心点坐标为 X60Y40, 最大进刀深度为 4mm, 加工分为粗加工和细加工。

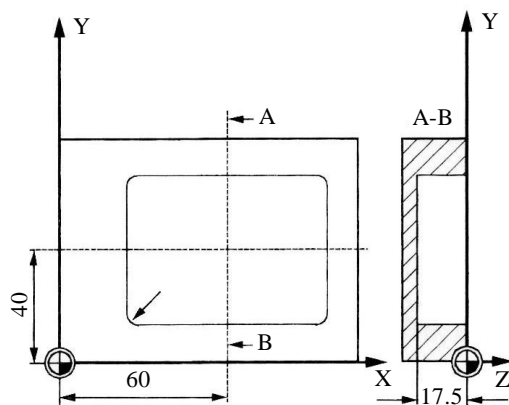


图 6-18 凹槽铣削

N10 G0 G17 G90 F200 S300 M3 T4 D1;

N20 X60 Y40 Z5;

N30 R101=5 R102=2 R103=9 R104=-17.5 R105=2;

N40 LCYC82;

N50.....

N60 R116=60 R117=40 R118=60 R119=40 R120=8;

N70 R121=4 R122=120 R123=300 R124=0.75 R125=0.5;

N80 R126=2 R127=1

N90 LCYC75;

N100.....

N110 R127=2;

N120 LCYC75;

确定工艺参数

回到钻孔位置

设定钻孔循环参数

调用钻孔循环

更换刀具

凹槽铣削循环粗加工设定参数

与钻孔循环相比较 R101-R104 参数不变

调用粗加工循环

更换刀具

凹槽铣削循环精加工设定参数 (其他参数不变)

调用精加工循环

N130 M2;

程序结束

【例 6-7】圆形槽铣削。在图 6-19 中，使用此程序可以在 YZ 平面上加工一个圆形凹槽，中心点坐标为 Z50X50，凹槽深 20mm，深度方向进给轴为 X 轴，没有给出精加工余量，也就是说使用粗加工加工此凹槽。使用的铣刀带端面齿，可以切削中心。

N10 G0 G19 G90 S200 M3 T1 D1;

规定工艺参数

N20 Z60 X40 Y5;

回到起始位

N30 R101=4 R102=2 R103=0 R104=-20 R116=50 R117=50;

凹槽铣削循环设定参数

N40 R118=50 R119=50 R120=50 R121=4 R122=100;

凹槽铣削循环设定参数

N50 R123=200 R124=0 R125=0 R126=0 R127=1;

凹槽铣削循环设定参数

N60 LCYC75;

调用循环

N70 M2;

循环结束

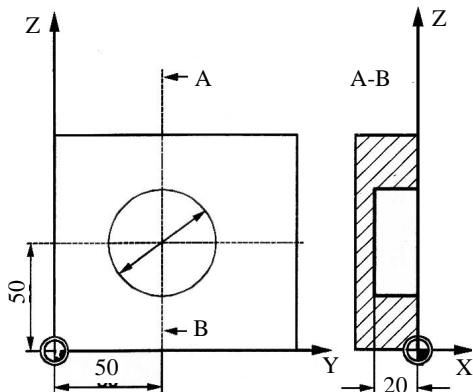


图 6-19 圆形槽铣削

【例 6-8】键槽铣削。在图 6-20 中，使用此程序加工 YZ 平面上一个圆上的 4 个槽，相互间成 90°角，起始角为 45°。在调用程序中，坐标系已经作了旋转和移动。键槽的尺寸如下：长度为 30mm，宽度为 15mm，深度为 23mm。安全间隙 1mm，铣削方向 G2，深度进给最大 6mm。键槽用粗加工（精加工余量为零）加工，铣刀带端面齿，可以加工中心。

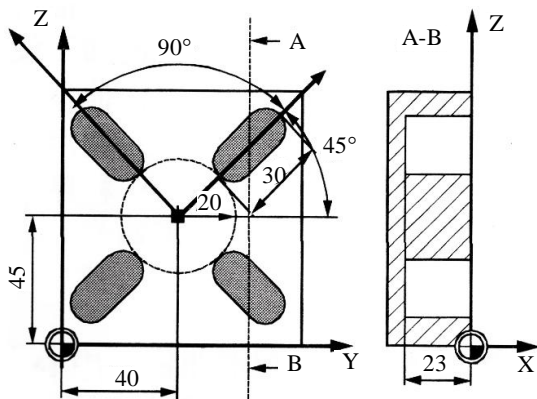


图 6-20 键槽铣削

N10 G0 G19 G90 T10 D1 S400 M3;	规定工艺参数
N20 Y20 Z50 X5;	回到起始位
N30 R101=5 R102=1 R103=0 R104=-23 R116=35 R117=0;	铣削循环设定参数
N40 R118=30 R119=15 R120=15 R121=6 R122=200;	铣削循环设定参数
N50 R123=300 R124=0 R125=0 R126=2 R127=1;	铣削循环设定参数
N60 G158 Y40 Z45;	建立坐标系 Z1-Y1, 移动到 Z45Y40
N70 G259 RPL45;	旋转坐标系 45°
N80 LCYC7;	调用循环, 铣削第一个槽
N90 G259 RPL90;	继续旋转 Z1-Y1 坐标系 90°, 铣削第二个槽
N100 LCYC75;	调用循环, 铣削第二个槽
N110 G259 RPL90;	继续旋转 Z1-Y1 坐标系 90°, 铣削第三个槽
N120 LCYC75;	铣削第三个槽
N130 G259 RPL90;	继续旋转 Z1-Y1 坐标系 90°, 铣削第四个槽
N140 LCYC75;	铣削第四个槽
N150 G259 RPL45;	恢复到原坐标系, 角度为 0°
N160 G158 Y-40 Z-45;	返回移动部分
N170 Y20 Z50 X5;	回到出发位置
M2;	程序结束

### 6.2.3 加工中心换刀程序的编写

不同数控系统的加工中心, 其换刀程序是不同的, 通常选刀和换刀分开进行。选刀指令由 T 功能指令完成, 换刀指令由 M06 实现, M19 实现主轴定向停止, 确保主轴停止的方位和装刀标记方位一致。换刀完毕启动主轴后, 方可进行下面程序段的加工。选刀可与机床加工重合起来, 即利用切削时间进行选刀。多数加工中心都规定了换刀点位置, 即定距换刀。主轴只有走到这个位置, 机械手才能松开, 执行换刀动作。一般立式加工中心规定换刀点的位置在机床 Z0 (即机床坐标系 Z 轴零点处), 卧式加工中心规定在机床 Y0 (即机床坐标系 Y 轴零点处)。

对于不采用机械手换刀的立、卧式加工中心而言, 它们在进行换刀动作之时, 是先取下主轴上的刀具, 再进行刀库转位的选刀动作; 然后, 再换上新的刀具。其选刀动作和换刀动作无法分开进行, 故编程上一般用 “T×× M06” 的形式。而对于采用机械手换刀的加工中心来说, 合理地安排选刀和换刀的指令, 是其加工编程的要点。因此, 对这类机床有必要首先来领会一下 “T01M06” 和 “M06T01” 的本质区别。

南通的 XH713A 立式加工中心是将换刀所需要执行的各个动作代码做成一个子程序 “O9000”, 自动换刀时就采用 “T××M98P9000” 的指令格式来调用, M19、M06 指令在子程序中。加工中心装备有盘形刀库, 通过主轴与刀库的相互运动, 实现换刀。换刀子程序如下:

O9000	
N10 G90;	选择绝对方式
N20 G53 Z-124.8;	主轴 Z 向移动到换刀点位置 (即与刀库在 Z 方向上相应)

N30 M06;	刀库旋转至其上空刀位对准主轴，主轴准停
N40 M28;	刀库前移，使空刀位上刀夹夹住主轴上刀柄
N50 M11;	主轴放松刀柄
N60 G53 Z-9.3;	主轴 Z 向向上，回设定的安全位置（主轴与刀柄分离）
N70 M32;	刀库旋转，选择将要换上的刀具
N80 G53 Z-124.8;	主轴 Z 向向下至换刀点位置（刀柄插入主轴孔）
N90 M10;	主轴夹紧刀柄
N100 M29;	刀库向后退回
N110 M99;	换刀子程序结束，返回主程序。

“T01M06”是先执行选刀指令 T01，再执行换刀指令 M06。它是先由刀库转动将 T01 号刀具送到换刀位置上后，再由机械手实施换刀动作。换刀以后，主轴上装夹的就是 T01 号刀具，而刀库中目前换刀位置上安放的则是刚换下的旧刀具。执行完“T01M06”后，刀库即保持当前刀具安放位置不动。

“M06T01”是先执行换刀指令 M06，再执行选刀指令 T01。它是先由机械手实施换刀动作，将主轴上原有的刀具和目前刀库中当前换刀位置上已有的刀具（上一次选刀 T××指令所选好的刀具）进行互换；然后，再由刀库转动将 T01 号刀具送到换刀位置上，为下次换刀作准备。换刀前后，主轴上装夹的都不是 T01 号刀具。执行完“M06 T01”后，刀库中目前换刀位置上安放的则是 T01 号刀具，它是为下一个 M06 换刀指令预先选好的刀具。

在对加工中心进行换刀动作的编程安排时，应考虑如下问题：

（1）换刀动作必须在主轴停转的条件下进行，且必须实现主轴准停即定向停止（用 M19 指令）。

（2）换刀点的位置应根据所用机床的要求安排，有的机床要求必须将换刀位置安排在参考点处或至少应让 Z 轴方向返回参考点，这时就要使用 G28 指令。有的机床则允许用 U 参数设定第二参考点作为换刀位置，这时就可在换刀程序前安排 G30 指令。无论如何，换刀点的位置应远离工件及夹具，应保证有足够的换刀空间。

（3）为了节省自动换刀时间，提高加工效率，应将选刀动作与机床加工动作在时间上重合起来。比如，可将选刀动作指令安排在换刀前的回参考点移动过程中，如果返回参考点所用的时间小于选刀动作时间，则应将选刀动作安排在换刀前的耗时较长的加工程序段中。

（4）若换刀位置在参考点处，换刀完成后，可使用 G29 指令返回到下一道工序的加工起始位置。

（5）换刀完毕后，不要忘记安排重新启动主轴的指令；否则加工将无法持续。

#### 6.2.4 换刀程序实例

【例 6-9】零件图如图 6-21 所示。分别用 $\phi 40$  的端面铣刀铣上表面，用 $\phi 20$  的立铣刀铣四侧面和 A、B 面，用 $\phi 6$  的钻头钻 6 个小孔， $\phi 14$  的钻头钻中间的两个大孔。

程序如下：

```
%1000;
G92 X0 Y0 Z100.0;      设定工件坐标系，设 T01 已经装好。
```



G90 G00 G43 Z20.0 H01;	Z 向下刀到离毛坯上表面一定距离处
S300 M03;	启动主轴
G00 X60.0 Y15.0;	移刀到毛坯右侧外部
G01 Z15.0 F100;	工进下刀到欲加工上表面高度处
X-60.0;	加工到左侧（左右移动）
Y-15.0;	移到 Y=-15 上
X60.0 T02;	往回加工到右侧，同时预先选刀 T02

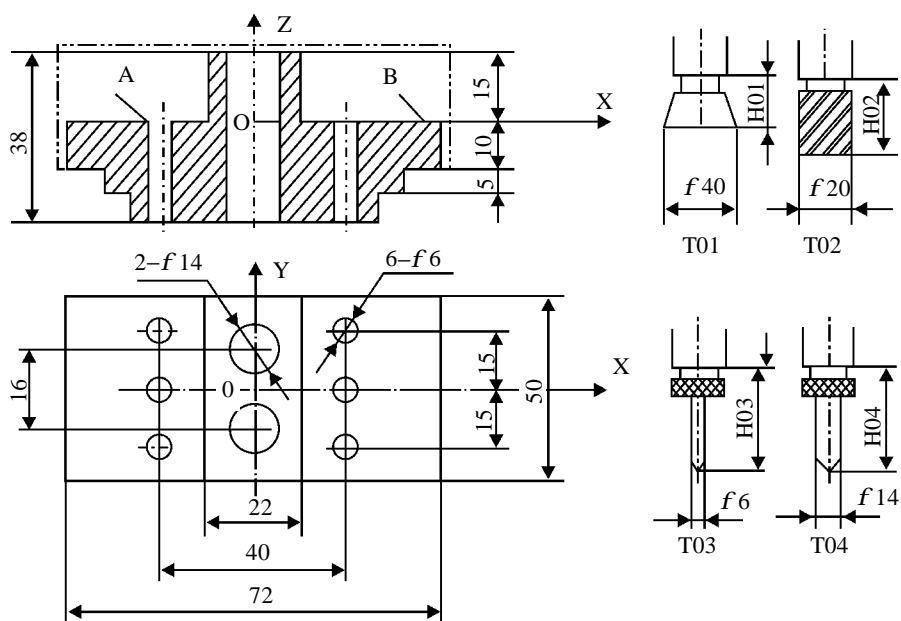


图 6-21 换刀程序零件加工实例

G49 Z20.0 M19 ;	上表面加工完成，抬刀，主轴准停
G28 Z100.0;	返回参考点，自动换刀。
G28 X0 Y0 M06;	
G29 X60.0 Y25.0 Z100.0;	从参考点回到铣四侧的起始位置
S200 M03;	启动主轴
G00 G43 Z-12.0 H02;	下刀到 Z=-12 高度处，
G01 G42 X36.0 D02 F8;	刀径补偿引入，铣四侧开始
X-36.0 T03;	铣后侧面，同时选刀 T03
Y-25.0;	铣左侧面
X36.0;	铣前侧面
Y30.0;	铣右侧面
G00G40Y40.0;	刀补取消，引出
Z0;	抬刀至 A、B 面高度。
G01Y-40.0 F80;	工进铣削 B 面开始（前后移动）。
X21.0;	.....

Y40.0;	.....
X-21.0;	移到左侧
Y-40.0;	铣削 A 面开始
X-36.0;	.....
Y40.0;	.....
G49 Z20.0 M19;	A 面铣削完成, 抬刀, 主轴准停
G28 Z100.0;	Z 向返回参考点
G91 G28 X0 Y0 M06;	X、Y 向返回参考点。自动换刀
G90 G29X20.0Y30.0 Z100.0;	从参考点返回到右侧三 f6 小孔处
G00 G43 Z3.0 H03 S630 M03;	下刀到离 B 面 3mm 处, 启动主轴
M98 P120 L3;	调用子程序, 钻 3-f6 孔
G00 Z20.0;	抬刀至上表面的上方高度
X-20.0 Y30.0;	移到左侧 3-f6 小孔钻削起始处
Z3.0;	下刀至离 A 面 3mm 处, 启动主轴
M98 P120 L3;	调用子程序, 钻 3-f6 孔
G49 Z20.0 M19;	抬刀至上表面的上方高度
G28 Z100.0 T04;	Z 向返回参考点, 同时选刀 T04
G91 G28 X0 Y0 M06;	X、Y 向返回参考点。自动换刀
G90 G29 X0 Y24.0 Z100.0;	从参考点返回到中间 2-f14 起始处
G00 G43 Z20.0 H04 S450M03;	下刀到离上表面 5mm 处, 启动主轴
M98 P130 L2;	调用子程序, 钻 2-f14 孔
G49 G28 Z0.0 T01 M19;	抬刀并返回参考点, 主轴准停, 同时选刀 T01
G91 G28 X0 Y0 M06;	X、Y 向返回参考点, 自动换刀, 为重复加工作准备。
G90 G00 X0 Y0 Z100.0;	移到起始位置
M30;	程序结束。
%120;	子程序 (钻φ6 小孔)
G91 G00 Y-15.0;	
G01 Z-25.0 F10;	
G00 Z25.0;	
G90 M99;	
%130;	子程序 (钻φ14 小孔)
G91 G00 Y-16.0;	
G01 Z-48.0 F15;	
G00 Z48.0;	
M99;	

### 6.3 加工中心编程与加工综合应用举例

#### 6.3.1 采用华中数控系统的加工中心编程实例

ZH7640 立式加工中心由北京第三机床厂生产，采用华中铣床、加工中心数控系统；加工范围 600mm×400mm×500mm；刀库可容纳 20 把刀；可用于镗、铣、钻、铰、攻丝等各种加工。

【例 6-10】在预先处理好的 100mm×100mm×100mm 合金铝锭毛坯上加工图 6-22 所示的零件，其中正五边形外接圆直径为 80mm。

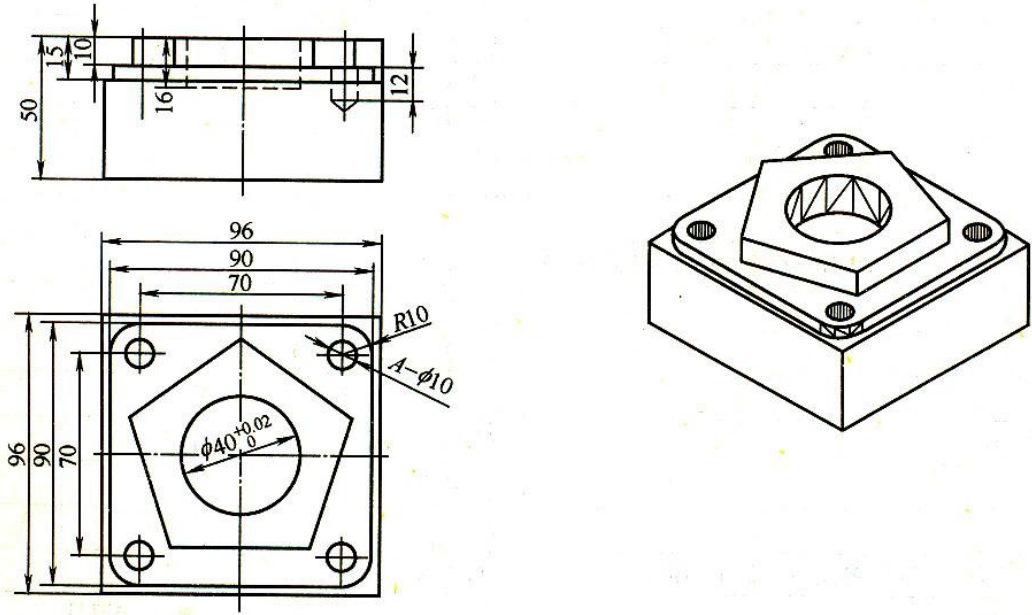


图 6-22 华中数控系统加工实例

#### 1. 工艺分析

本例中毛坯较为规则，采用平口钳装夹即可，选择以下 3 种刀具进行加工：1 号刀为  $\Phi 20\text{mm}$  两刃立铣刀，用于粗精加工；2 号刀为  $\Phi 10\text{mm}$  中心钻，用于打定孔位；3 号刀为  $\Phi 10\text{mm}$  钻头，用于加工孔。通过测量刀具，设定补偿值用于刀具补偿。

该零件的加工工艺为：粗加工 90mm×90mm×15mm 的四边形→粗加工外接圆为  $\phi 80$  的五边形→粗加工  $\phi 40\text{mm}$  的内圆→精加工四边形、五边形、 $\phi 40\text{mm}$  的内圆→加工 4 个  $\phi 10\text{mm}$  的孔。

#### 2. 编程说明

手工编程时应根据加工工艺编制加工的主程序，零件的局部形状由子程序加工。该零件由 1 个主程序和 3 个子程序组成，其中，P1001 为四边形加工子程序，P1002 为五边形加工子程序，P1003 为圆形槽加工子程序。

%9944;	主程序号
G49 G40;	清除长度补偿、半径补偿

G92 X0 Y0 Z50;	建立工件坐标系
T01 M06;	调用 1 号刀并换刀
T02;	刀库选 2 号刀
S796 M03 M08;	主轴正转, 切削液打开
G00 G43 Z10 H01;	1 号刀加入长度补偿 H01
X-65 Y-45;	定位到四边形粗加工起点
G42 X-60 D01;	加入粗加工半径补偿 D01, D01=10.1, 精加工余量 0.1mm
G01 Z-5 F100;	刀具下沉到第一层加工深度
M98 P1001;	调用四边形加工子程序
G01 Z-10 F100;	刀具下沉到第二层加工工深度
M98 P1001;	调用四边形加工子程序
G01 Z-15 F100;	刀具下沉到第三层加工工深度
M98 P1001;	调用四边形加工子程序
G00 Z10;	抬刀
G40 X0 Y0;	取消半径补偿, 回原点
X-65 Y-32.361;	定位到五边形粗加工起点
G01 Z0 F100;	刀具下沉到工件上表面
G42 X-60 D01;	加入粗加工半径补偿 D01, D01=10.1, 精加工余量 0.1 mm
M98 P1002 L2;	调用五边形加工子程序两次
G00 Z10;	抬刀
G40 X0 Y0;	取消半径补偿, 回原点
G01 Z0 F100;	刀具下沉到工件上表面
G41 X10 Y-10 D01;	定位到圆形槽加工起点, 加入粗加工半径补偿 D01, D01=10.1, 精加工余量 0.1mm
M98 P1003 L4;	调用圆形槽加工子程序四次
G49 G00 Z10;	抬刀
G40 X0 Y0;	取消半径补偿, 回原点
S1500;	提高主轴转速
X-65 Y-45;	定位到四边形精加工起点
G01 Z-15 F50;	刀具下降到精加工深度
G42 X-60 D02;	加入精加工半径补偿 D02, D02=10
M98 P1001;	调用四边形加工子程序
G00 Z10;	抬刀
G40 X0 Y0;	取消半径补偿, 回原点
X-65 Y-32.361;	定位到五边形精加工起点
G01 Z0 F100;	刀具下沉到工件上表面
G42 X-60 D02;	加入精加工半径补偿 D02, D02=10
M98 P1002 L2;	调用五边形加工子程序两次
G00 Z10;	抬刀

G40 X0 Y0;	取消半径补偿，回原点
G01 Z0 F100;	刀具下沉到工件上表面
G41 X10 Y-10 D02;	定位到圆形槽精加工起点，加入粗加工半径补偿 D02，D02=10
M98 P1003 L4;	调用圆形槽加工子程序四次
G49 G00 Z10;	抬刀，取消 T01 刀具长度补偿
G40 X0 Y0;	取消半径补偿，回原点
M05;	主轴停
G28 Z10;	回参考点
M06T03;	主轴换 2 号刀，刀库选 3 号刀
M03 S800;	主轴转速 800
G00 G43 Z10 H02;	2 号刀加入长补偿
G98 G81 X-35 Y35 Z-5 R3 F50;	钻四个中心孔
X35 Y35;	
X35 Y-35;	
X-35 Y-35;	
G28 Z10;	回参考点
M05;	主轴停转
M06;	主轴换 3 号刀
M03 S600;	主轴转速 600
G00 G43 Z10 H03;	3 号刀加入长补偿
G98 G81 X-35 Y35 Z-25 R3 F50;	钻四个孔
X35 Y35;	
X35 Y-35;	
X-35 Y-35;	
G00 G49 Z50;	抬刀，取消长度补偿
X0 Y0;	回原点
M30;	程序结束

%1001 四边形加工子程序

```

G01 X35 Y-45 F100;
G03 X45 Y-35 R10;
G01 X45 Y35;
G03 X35 Y45 R10;
G01 X-35 Y45;
G03 X-45 Y35 R10;
G01 X-45 Y-35;
G03 X-35 Y-45 R10
G01 X-60;
M99;

```

```

%1002 五边形加工子程序
G01 X23.511 Y-32.361 F100;
X38.042 Y12.361;
X0 Y40;
X-38.042 Y12.361;
X-23.511 Y-32.361;
X-60;
M99;

```

```

%1003 圆形槽加工子程序
G03 X20 Y0 R10; 圆弧方式切入
G03 I-20; 加工  $\Phi 40$  圆形槽
G03 X10 Y10 R10; 圆弧方式切出
G00 Y-10; 回到圆弧切入起点
M99;

```

### 6.3.2 采用 FANUC 数控系统的加工中心编程实例

孔加工是加工中心最为重要的应用,上一章我们详细介绍了华中数控系统的孔加工固定循环指令, FANUC 系统与其基本相似前面。

【例 6-11】使用刀具长度补偿功能和固定循环功能加工如图 6-23 所示零件上的 12 个孔。

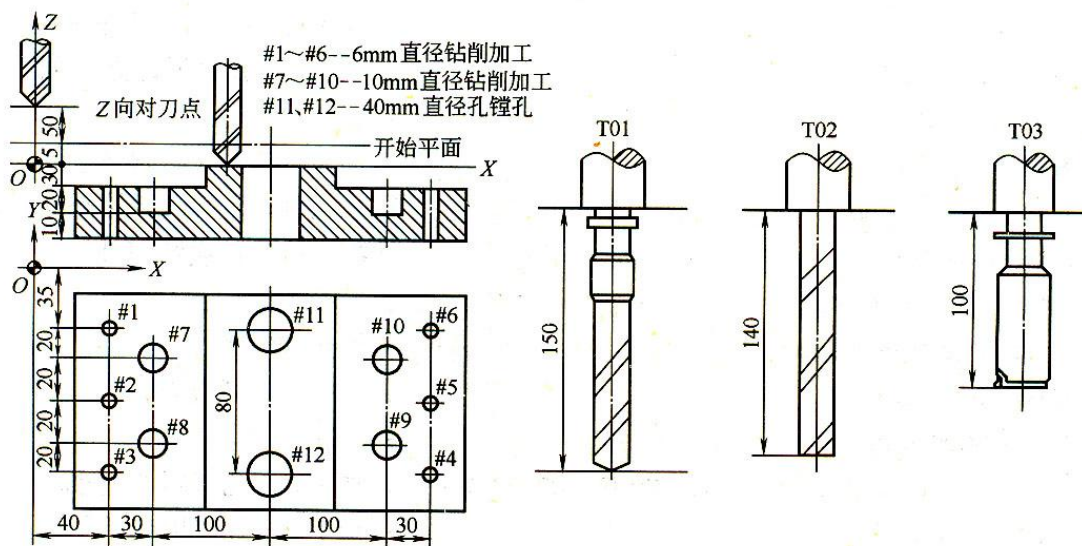


图 6-23 点位加工实例

#### 1. 分析零件图样, 进行工艺处理

该零件孔加工中, 有通孔、盲孔, 需钻、扩和镗加工, 故选择钻头 T01、扩孔刀 T02 和镗刀 T03, 加工坐标系 Z 向原点在零件上表面处。由于有三种孔径尺寸的加工, 按照先小

孔后大孔加工的原则，确定加工路线为：从编程原点开始，先加工 6 个  $\Phi 6$  的孔，再加工 4 个  $\Phi 10$  的孔，最后加工 2 个  $\Phi 40$  的孔。

T01、T02 的主轴转数  $S=600\text{r/min}$ ，进给速度  $F=120\text{mm/min}$ ；

T03 主轴转数  $S=300\text{r/min}$ ，进给速度  $F=50\text{mm/min}$ 。

## 2. 加工调整

T01、T02 和 T03 的刀具补偿号分别为 H01、H02 和 H03。对刀时，以 T01 刀为基准，按图中方法确定零件上表面为 Z 向零点，则 H01 中刀具长度补偿值设置为零，该点在 G53 坐标系中的位置为 Z-35。对 T02，因其刀具长度与 T01 相比为  $140-150=-10\text{mm}$ ，即缩短了 10mm，所以将 H02 的补偿值设为 -10。对 T03 同样计算，H03 的补偿值设置为 -50，如图 6-32 所示。换刀时，采用 O9000 子程序实现换刀。

根据零件的装夹尺寸，设置加工原点 G54：X= -600，Y= -80，Z= -35。

## 3. 数学处理

在多孔加工时，为了简化程序，采用固定循环指令。这时的数学处理主要是按固定循环指令格式的要求，确定孔位坐标、快进尺寸和工作进给尺寸值等。固定循环中的开始平面为 Z=5，R 点平面定为零件孔口表面+Z 向 3mm 处。

## 4. 编写零件加工程序

N10 G54 G90 G00 X0 Y0 Z30;	进入加工坐标系
N20 T01 M98 P9000;	换用 T01 号刀具
N30 G43 G00 Z5 H01;	T01 号刀具长度补偿
N40 S600 M03;	主轴启动
N50 G99 G81 X40 Y-35 Z-63 R-27 F120;	加工#1 孔（回 R 平面）
N60 Y-75;	加工#2 孔（回 R 平面）
N70 G98 Y-115;	加工#3 孔（回起始平面）
N80 G99 X300;	加工#4 孔（回 R 平面）
N90 Y-75;	加工#5 孔（回 R 平面）
N100 G98 Y-35;	加工#6 孔（回起始平面）
N110 G49 Z20;	Z 向抬刀，撤销刀补
N120 G00 X500 Y0;	回换刀点，
N130 T02 M98 P9000;	换用 T02 号刀
N140 G43 Z5 H02;	T02 刀具长度补偿
N150 S600 M03;	主轴启动
N160 G99 G81 X70 Y-55 Z-50 R-27 F120;	加工#7 孔（回 R 平面）
N170 G98 Y-95;	加工#8 孔（回起始平面）
N180 G99 X270;	加工#9 孔（回 R 平面）
N190 G98 Y-55;	加工#10 孔（回起始平面）
N200 G49 Z20;	Z 向抬刀，撤销刀补
N210 G00 X500 Y0;	回换刀点
T220 T03 M98 P9000;	换用 T03 号刀具
N230 G43 Z5 H03;	T03 号刀具长度补偿

N240 S300 M03;

主轴启动

N250 G76 G99 X170 Y-35 Z-65 R3 F50;

加工#11 孔（回 R 平面）

N260 G98 Y-115;

加工#12 孔（回起始平面）

N270 G49 Z30;

撤销刀补

N280 M30;

程序停

参数设置: H01=0, H02=-10, H03=-50; G54: X=-600, Y=-80, Z=-35。

### 5. 综合应用实例

【例 6-12】加工如图 6-24 所示零件，毛坯为 170mm×110mm×30mm 合金铝锭。在立式加工中心上加工此零件。

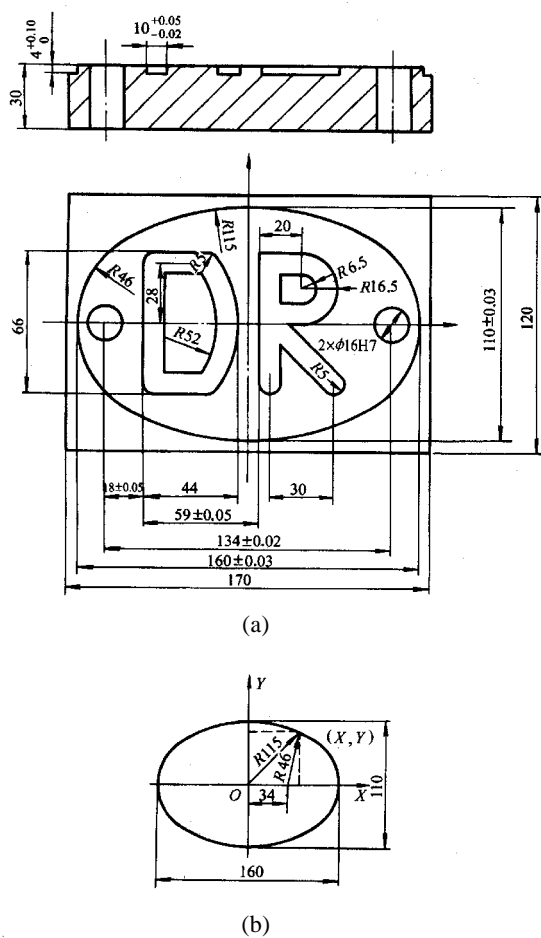


图 6-24 FANUC0i 系统编程实例

#### (1) 工艺处理

加工前用平虎钳夹紧并找平。

1) 工艺步骤如下:

①加工  $\phi 16 H7$  孔（钻-镗-铰）

②加工椭圆外形



③加工阴文字体（粗-精）

2) 选用刀具和切削用量:

T01:  $\phi 10$  中心钻, S1000, F50.

T02:  $\phi 15$  钻花, S220, F25.

T03:  $\phi 15.8$  镗刀, S550, F25

T04:  $\phi 16H7$  铰刀, S70, F45.

T05  $\phi 20$  立铣刀, S200, F50.

T06  $\phi 8$  键槽铣刀, S400, F20.

T07  $\phi 10$  键槽铣刀, S450, F20.

(2) 数值计算:

$$X^2 + (Y - 60)^2 = 115^2$$

$$(X - 34)^2 + Y^2 = 46^2$$

求得节点  $X=56.696$ ,  $Y=40.053$

(3) 程序清单:

O0022

T01

M06

M42

G54 G90 G00 X-100.0 Y0 M03 S1000

G44 Z20.0 H01

G98 G81 R5.0 Z-2.0 F50;

中心钻定位

X-67.01

X67.01

G80 G91 G28 Z0 M05;

撤销循环, 返回初始平面

M41

M06

G90 X-100.0

T02

M06

G54 G90 G00 G44 Z20.0 H02 M03 S220;

零点偏置, 2 号刀长度补偿

G98 G81 R5.0 Z30.0 F25 L0;

钻孔 ( $\phi 16$ ) 循环

X-67.01

X67.01

G80 G91 G28 Z0 M05;

撤销循环, 返回初始平面

M06

G90 X-100.0

T03

M06

M42

G54 G90 G00 G44 Z20.0 H03 M03 S550  
 G98 G86 R5 Z-30 F25; 镗孔 (  $\phi 16$  ) 循环  
 X-67.01  
 X67.01  
 G80 G91 G28 Z0 M05; 撤销循环, 返回初始平面  
 M41  
 M06  
 G90 X-100.0  
 T04  
 M06  
 G54 G90 G00 G44 Z20.0 H04 M03 S70 零点偏置, 4 号刀长度补偿  
 G98  
 G81 R5 Z-30.0 F45 L0; 铰孔 (  $\phi 16$  ) 循环  
 X-67.01  
 X67.01  
 G80 G91 G28 Z0 M05; 撤销循环, 返回初始平面  
 M06  
 G90 X-100.0  
 T05  
 M06  
 G54 G90 G00 X-150.0 Y95.0 M03 S200; 零点偏置, 5 号刀长度补偿  
 G44 Z20.0 H04  
 G01 Z5.0 F500  
 Z-4.05  
 G41 D50 X-80.0 F50  
 G01 Y0  
 G02 X-56.696 Y40.053 R46.036; 加工椭圆  
 X56.696 Y40.053 R115  
 X56.696 Y-40.053 R46.036  
 X-56.696 Y-40.053 R115  
 X-80 Y0 R46.036  
 G01 Y95 退刀  
 G40 X-150 F200; 撤销刀具半径补偿  
 C00 Z20  
 G91 G28 Z0 M05; 返回初始平面  
 G90 Y-28  
 M00  
 T06  
 M06

G54 G90 G00 G44 Z20 H06 M03 S400;      零点偏置，6 号刀长度补偿

G01 X-44 F500

Z5

Z-4 F20

G01 X-44 Y28 F40

X-17.351

G02 X-17.351 Y-28 R57;      粗加工 D 字

G01 X-44

G00 Z20

G01 X7.5 F500

Z5

Z-4 F20

G01 X7.5 Y28 F40;      粗加工 R 字

X30

G02 X30 Y5 R11.5

G01 X15

X42.5 Y-28

G00 Z20

G91 G28 Z0 M05

G90 X0 Y-50

M06

T07

M06

G54 G90 G00 X-30 Y0 M03 S450

G44 Z20 H07

G01 Z5 F500

G42 G01 D51 Y-28

X-44

G01 Z-40 F20;      精加工 D 字

Y28 F60

X-17.351

G02 X-17.351 Y28 R57.0

G01 X-44.0

G00 Z20.0

Y0

G40 G01 X25.0 F500

G01 Z5.0

G42 G01 D51 Y-28.0

X15

Z-40.0 F20;      精加工 R 字

Y28.0 F60

X30.0

G02 X30.0 Y5.0 R11.5

G01 X15.1

X19.454 Y0

X45.0 Y28.0

G00 Z50.0

Y-50.0

G40 G00 X0 Y0;

撤消刀补

G91 G28 Z0 M05;

Z 向返回初平面

M00

M06

G91 G28 Y0;

Y 向返回初平面

M30;

程序结束

## 6. 壳体零件加工

【例 6-13】壳体零件如图 6-25 所示，材料为铸铁。

加工要求是：铣削上平面，保证尺寸  $60^{+0.2}_0$  mm；槽深要求为  $6^{+0.1}_0$  mm；加工 4-M10mm 螺纹，孔口须倒角。试进行工艺分析和数控程序编制。

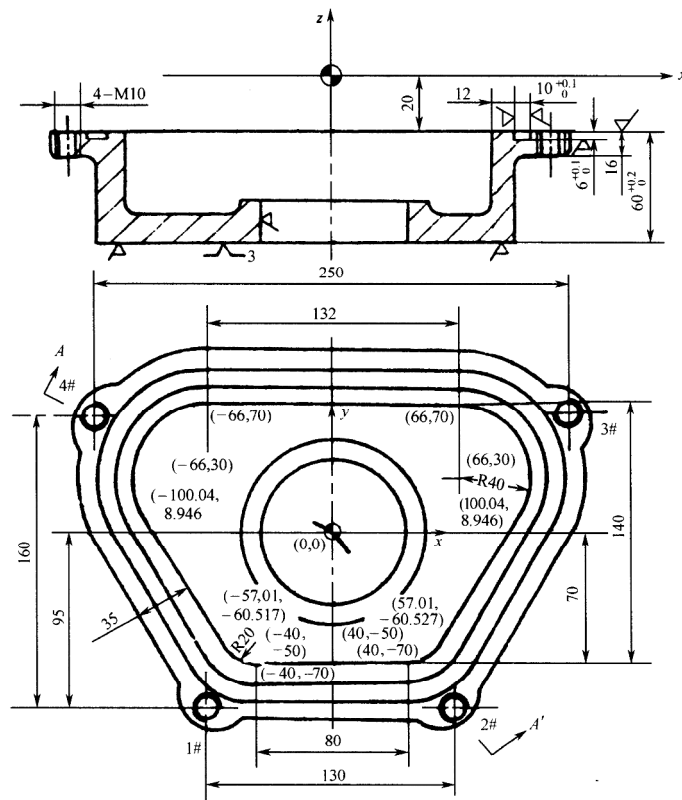


图 6-25 壳体零件

### (1) 工艺分析

该零件毛坯是铸件。底面、圆孔及孔止口面已在前面工序中加工完成，本工序要加工的内容由顶面的铣削（保证尺寸 60mm），铣槽 10mm（保证槽深为 6mm），钻、攻 4-M10mm 螺纹孔及螺纹孔口倒角等，由于加工内容较多，换刀频繁，所以该工件在加工中心上加工比较经济，效率较高。通过一次装夹，能完成全部内容，并且能达到各加工表面的尺寸要求。

#### 1) 确定工序

- ① 精铣顶面，保证尺寸 60；
- ② 钻 4-M10mm 螺纹预钻孔；
- ③ 定 10mm 槽上端中心位置（预打槽中心工艺孔）；
- ④ 钻 4-M40mm 螺纹底孔；
- ⑤ 螺纹孔口倒角；
- ⑥ 攻 4-M10mm 螺纹孔；
- ⑦ 铣 10mm 槽。

#### 2) 确定安装定位方案

选择底面和已加工圆孔为定位面，圆孔止口面为夹紧平面。采用短圆柱销和支撑块为主定位元件。

#### 3) 所选刀具和工艺参数

具体参数见表 6-6 所示。

表 6-6 刀具和工艺参数

工序内容	刀具种类	刀具编号	长度补偿	半径补偿	主轴转速	进给量
铣上平面	φ80 硬质合金盘铣刀	T01	H01	D01=0	S400	F50
钻 4-M10 中心孔	φ3 中心孔	T02	H02		S1000	F50
钻 4-M10 螺纹底孔及槽中心打定位孔	φ8.5 钻头	T03	H03		S800	F50
螺纹口倒角	顶角为 90°的 φ18 钻头	T04	H04		S800	F30
攻丝 4-M10 螺纹螺距为 1.5	M10×1.5 的丝锥	T05	H05		S60	F90
铣 10mm 槽	φ10 立铣刀	T06	H06	D26=17	S300	F30

### (2) 程序编制

#### 1) 程序原点的设置

考虑到各尺寸的设计基准，程序原点设置在离工件底面上方 60+20=80（mm）的中心处，使程序原点与每一尺寸的设计基准有一定的几何尺寸关系，使对刀和编程皆方便，且能保证图纸上的尺寸要求。

#### 2) 数值计算

计算过程省略，将坐标点标注在零件图上，以便编程。另外，为保证加工要求，以下尺

寸必须换算成对称公差：

槽深： $6_0^{+0.1}$  改为  $6.05 \pm 0.05$ ；工件高度： $60_0^{+0.1}$  改为  $60 \pm 0.05$ 。

### 3) 编制程序

本程序编制两个子程序，即以轮廓编制的铣槽子程序和钻孔子程序。T01 号盘铣刀调用铣槽子程序，采用刀具半径补偿 D01=0 则可实现上平面的铣削，铣槽时，选用 T06 号刀同样调用该子程序，刀具半径设置为 D21=0，D26=17，则又可实现槽的铣削。钻孔、攻丝、孔口倒角皆可调用钻孔子程序，简化了编程。

走刀路线可作如下安排：铣平面和铣槽可沿外轮廓按顺时针方向走刀；孔加工顺序按如图成示 1#，2#，3#，4#孔位进行。

程序如下：

```
%8000
N10 T01 M06 LF
N20 G90 G54 G00 X0 Y0 T02 LF
N40 D01 Z0 LF
N50 S400 M03 LF
N60 G01 Z-20 F50 LF
N70 L100 P1 LF
N80 G40 Y0 LF
N90 G53 D0 Z0 M06 LF
N100 G54 G00 X-65.0 Y-95.0 T03 LF
N110 D02 Z0 LF
N120 F100 S1000 M03 LF
N130 G81 R02=-17.0 R03=-24.0 R10=-17.0 LF
N140 L200 P1 LF
N150 M05 LF
N160 G54 D03 Z0 LF
N165 G00 X0 Y87.0 T04 LF
N170 F50 S800 M03 LF
N180 G81 R02=-17.0 R03=-25.0 R10=-17.0 LF
N190 X-65.0 Y-95.0 Z-40.0 LF
N200 L200 P1 LF
N205 M05 LF
N210 G53 G80 D0 Z0 M06 LF
N220 G54 D04 Z0 LF
N225 G00 X-65.0 Y-95.0 T05 LF
N226 S800 M03 LF
N230 G82 R02=-17.0 R03=-26.0 R04=0.5 R10=-17.0 LF
N240 L200 P1 LF
N245 M05 LF
```

N250 G53 G80 D0 Z0 M06 LF  
 N260 G54 D05 Z0 LF  
 N265 G00 X-65.0 Y-95.0 T06 LF  
 N270 F90 S60 M03 LF  
 N280 G84 R02=-10.0 R03=-40.0 R04=0 R06=4 R07=3 R08=0 R10=10.0 LF  
 N290 L200 P1 LF  
 N295 M05 LF  
 N300 G53 G80 D0 Z0 M06 LF  
 N310 G54 X-0.5 Y150.0 T00 LF  
 N320 G41 D26 Y70.0 LF  
 N330 D06 Z0 LF  
 N340 S300 M03 LF  
 N350 X0 LF  
 N360 G01 Z-26.05 F30 LF  
 N370 L100 P1 LF  
 N380 G53 G40 D0 Z0 M06 LF  
 N390 X0 Y0 LF  
 N400 M30 LF

铣槽子程序:

L100 LF  
 N05 G01 Y70.0 G41 D21 F56 LF  
 N10 X66.0 Y70.0 LF  
 N20 G02 X100.011 Y8.947 U40.0 LF  
 N30 G01 X57.010 Y-60.527 LF  
 N40 G02 X40.0 Y-70.0 U20 LF  
 N50 G01 X-40.0 LF  
 N60 G02 X-57.006 Y-60.527 LF  
 N70 G01 X-100.011 Y8.947 LF  
 N80 G02 X-66.0 Y70.0 U40 LF  
 N90 G01 X0.5 LF  
 N100 M17 LF

2#、3#、4#孔定位子程序:

L200 LF  
 N1 X65.0 LF  
 N2 X125.0 Y65.0 LF  
 N3 X-125.0 LF  
 N4 M17 LF

## 本章小结

本章介绍了加工中心的基本概念、分类及组成，加工中心工艺分析方法，并着重讲解了华中世纪星、FANUC 0i 和 SIEMENS 802D 系统数控铣床的编程与加工方法。本章是本教材的重点章节之一，读者可以根据自己的需要从上述三种常用数控系统铣床编程与加工方法中有选择地学习。

### 6.4 加工中心编程与加工实训

#### 实训课题一 加工中心的基本操作

##### 一、实训目的

1. 了解加工中心的结构特点与功能特性。
2. 熟悉加工中心数控系统的操作面板。
3. 练习手动启停主轴，手工驱动各坐标轴。
4. 熟悉加工中心的数控系统的界面，掌握 MDI 的基本操作。

##### 二、实训内容

1. 开机与停机；
2. 手动启停主轴；
3. 手工驱动各坐标轴；
4. 熟悉加工中心的数控系统界面，练习 MDI 的基本操作；
5. 调用系统程序进行图形仿真运行。

##### 三、实训要求

1. 注意安全，文明生产；
2. 按实训内容写出实训操作步骤；
3. 注意记录实训操作内容和步骤；
4. 对 MDI 的各项操作做详细记录；
5. 任何时候都只能一个人操作机床。

##### 四、实训时间

每人两学时。

##### 五、实训报告

#### 实训课题二 加工中心的对刀与换刀操作

##### 一、实验目的：

1. 通过换刀操作，进一步认识换刀程序。



2. 通过演示，掌握对刀操作的方法。

## 二、实验设备：

XH754 卧式加工中心。

## 三、实验内容与步骤：

零件如图 6-26 所示。

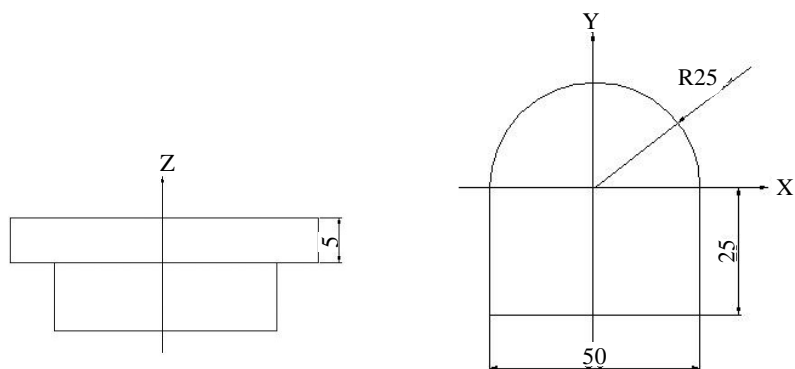


图 6-26 对刀操作零件

### 1. 实验前预习加工零件与程序

O0001;

N1 (EM-20);

G90 G54 G40 G00X40Y-35;

G43 Z20 H01 M13S800;

Z-7;

G42X25D01;

G01Y0F100;

G03X-25Y0I-25F80;

G01Y-25F100;

Z30;

G00 G40 Z20 M09 M05

G91 G28 Z0;

M30;

N1: 刀号

EM-20: 直径  $\phi 20$  的固定铣刀 (ENDMILL)

G54—G59: 设定工作坐标系。

M13: 主轴正转：切削液 ON。

M09: 切削液关

G91G28Z0: 回归原点

2. 手动原点复归：(1) 模式转至原点复归；(2) 按下“+”“-”进给按钮。

3. 把工作夹持在工作台上，并测量工件的长、宽尺寸。

4. 手动操作把  $\phi 20$  立铣刀夹持在主轴上。
5. 用手动模式换刀，把主轴上的  $\phi 20$  立铣刀换到储刀仓刀套内。
  - (1) 主轴在拉刀状态。
  - (2) Z 轴在第二原点位置，手动输入 (MDI) G91G30Z0 移动。
  - (3) ATC 手臂在复归位置，刀具定位 (ATC HP) 灯亮。
  - (4) 模式转至手动，按刀具交换按钮，执行换刀动作。
6. 设定刀长补正值。
  - (1) 模式选择按钮至“微调操作”。
  - (2) 主轴正转启动。
  - (3) 慢慢多动 Z 轴，使刀具轻轻接触工件顶面。
  - (4) 按 POS 坐标键。
  - (5) 按银幕下方的功能键[总合]。
  - (6) 用笔将机械坐标中 Z 轴的值抄下来。
  - (7) 按 OFFSET 补正设定键。
  - (8) 按银幕下方的[补正]，出现工具补正画面。
  - (9) 按 CURSOR  $\uparrow$   $\downarrow$  游标键，使游标停在要补正的号码上。
  - (10) 将抄下来的机械坐标 Z 值键入，操作方法：数值 INPUT。

【注】：若键入负值则在写程式时补正用 G43。  
若键入正值则在写程式时补正用 G44。
7. 设定刀径补正值。
  - (1) 按 OFFSET 补正键。
  - (2) 按银幕下方的[补正]。
  - (3) 按 CURSOR  $\uparrow$   $\downarrow$  游标键，使游标停在要补正的号码上。
  - (4) 将刀具半径值键入，操作方法：半径值 INPUT。
8. 工作坐标系设定
  - (1) 模式转至“手动”，按下主轴正转按钮。
  - (2) 模式转至“快速进给”再转至“微调操作”，使刀具轻轻接触到工件的右侧面（前侧面、顶面）。
  - (3) 按 POS 坐标键。
  - (4) 按[总合]。
  - (5) 将银幕上的机械坐标的 X 值（Y 值、Z 值）用笔记下来。
  - (6) 计算： $X - \text{工件长度尺寸}/2 - \text{刀具半径} = X \text{ 输入值}$ ，  
 $Y + \text{工件宽度尺寸}/2 + \text{刀具半径} = Y \text{ 输入值}$ 。
  - (7) 按 OFFSET 补正键。
  - (8) 按银幕下面的[坐标系]，出现工作坐标系设定画面。
  - (9) 按 CURSOR  $\uparrow$   $\downarrow$  游标键，使游标停“01”的位置上。
  - (10) 将 X 输入值、Y 输入值、Z 值键入坐标系内：X 输入值 INPUT、Y 输入值 INPUT、Z 值 INPUT
9. 加工：

- (1) 按程序号调出加工程序。
- (2) 模式转至自动操作。
- (3) 按下“启动按钮”。

### 实训课题三 简单零件的加工

#### 一、实训目的

1. 初步掌握加工中心的编程与加工特点。
2. 进一步熟悉加工中心数控系统的操作面板。
3. 能进行基本的操作。

#### 二、实训内容

1. 编写如图 6-27 所示零件钻孔、扩孔和铣右端平面的加工中心加工程序；材料合金铝。
2. 输入到数控系统中，并进行图形仿真。
3. 装刀与对刀操作。
4. 进行自动加工。
5. 检验零件是否合格。

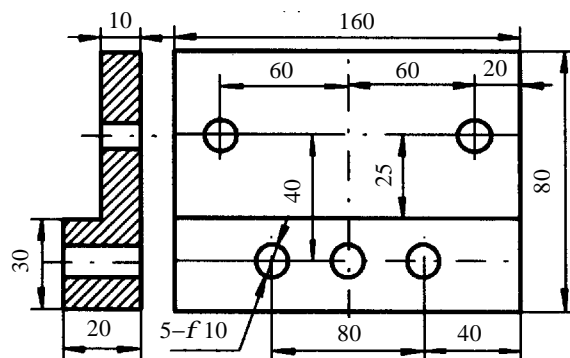


图 6-27

#### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求。
2. 切削用量选择一定要合理，确定加工顺序。
3. 输入程序要细心。
4. 对刀要精确到 0.001mm。
5. 自动加工之前要仔细校验程序；
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人两学时。

#### 五、实训报告

## 实训课题四 综合应用

### 一、实训目的

1. 掌握加工中心的编程与加工特点。
2. 练习加工中心的基本操作。
3. 将数控加工工艺贯穿于数控编程与加工之中。
4. 掌握加工出合格零件的完整步骤。

### 二、实训内容

如图 6-28 所示零件的加工。加工要求：铣外轮廓、内轮廓以及钻孔。材料为铝块。

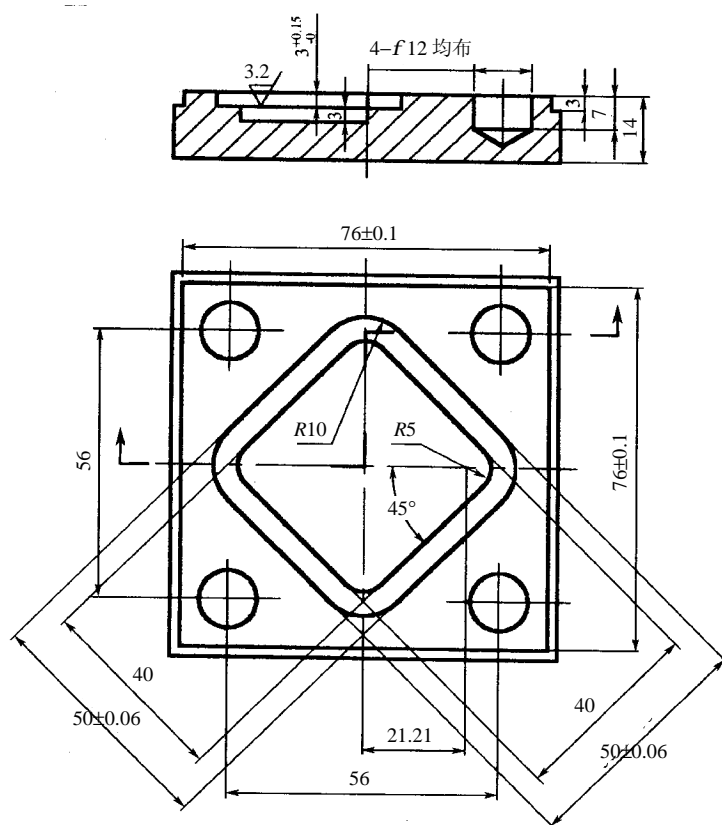


图 6-28

1. 对零件进行工艺分析：确定加工方案、选择刀具、选择夹具、确定加工顺序、选择工艺参数。
2. 编写加工程序，并输入到数控系统中，对其进行图形仿真校验。
3. 安装工件。
4. 向刀库中装入刀具，对刀并进参数设置。
5. 自动加工。
6. 检验加工零件。

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求；
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序；
3. 输入程序要细心；
4. 对刀要精确到 0.001mm；
5. 自动加工之前要仔细校验程序；
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

### 四、实训时间

每人上机四小时。

### 五、实训报告

## 练 习 题

### 一、填空题

1. 加工中心是具有自动刀具交换装置，并能够（ ）的数控机床。
2. 加工中心能在一次装夹中完成（ ）等工序。
3. 车削加工中心是在数控车床基础上增加（ ），可进行回转零件的（ ）的加工。
4. 镗铣加工中心一般具有回转工作台，一次装夹，可对箱体的（ ）进行加工。
5. 复合加工中心主要指能进行（ ）加工。
6. 最常见的加工中心是单工作台和（ ）。
7. 加工中心主要由（ ）等部分组成。

### 二、判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. 固定循环功能中的 K 指重复加工次数，一般在增量方式下使用。（ ）
2. 固定循环只能由 G80 撤销。（ ）
3. 加工中心与数控铣床相比具有高精度的特点。（ ）
4. 具有自动刀具交换装置，并能够进行多种工序加工的数控机床是加工中心。（ ）
5. 立式加工中心与卧式加工中心相比，加工范围较宽。（ ）

### 三、选择题

1. 加工中心用刀具与数控铣床用刀具的区别是\_\_\_\_\_。  
A. 刀柄            B. 刀具材料            C. 刀具角度            D. 拉钉
2. 加工中心编程与数控铣床编程的主要区别是\_\_\_\_\_。  
A. 指令格式        B. 换刀程序            C. 宏程序            D. 指令功能
3. 下列字符中，\_\_\_\_\_不适合用于 B 类宏程序中文字变量。  
A. F                B. G                C. J                D. Q
4. Z 轴方向尺寸相对较小的零件加工，最适合用\_\_\_\_\_加工。  
A. 立式加工中心    B. 卧式加工中心    C. 卧式数控铣床    D. 车削加工中心
5. FANUC 系统极坐标用于圆周上分布孔的加工指令是\_\_\_\_\_。  
A. G71            B. G72            C. G73            D. G70

#### 四、简答题

1. 加工中心可分为哪几类？其主要特点有哪些？
2. 请总结加工中心刀具的选用方法。
3. 加工中心的编程与数控铣床的编程主要有何区别？
4. 试说明在使用机械手换刀的加工中心上，执行程序“T02 M06”和“M06 T02”有什么不同？
5. 与数控铣床相比，加工中心的对刀有什么特色？
6. 试叙述加工中心操作的基本步骤与内容。
7. 编程练习。加工中心加工如图 6-29~图 6-32 所示各平面曲线零件，加工内容：各孔，深 5mm；外轮廓表面，深 5mm。试编写加工程序。
8. 编程练习。采用 XH714 加工中心加工如图 6-33、图 6-34 所示的各平面型腔零件，加工内容：各型腔，深 5mm；440×340mm 外轮廓表面，深 5mm。试编写加工程序。

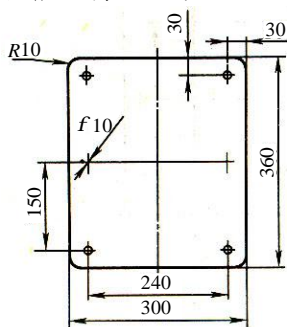


图 6-29

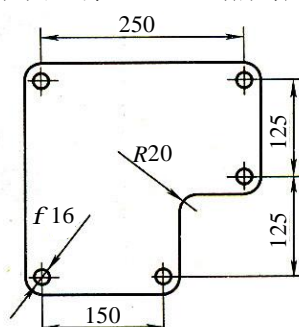


图 6-30

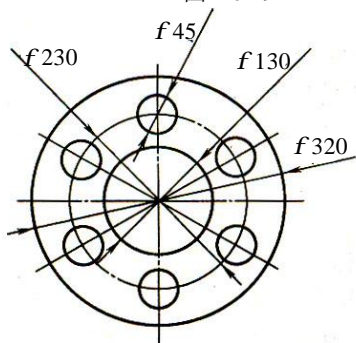


图 6-31

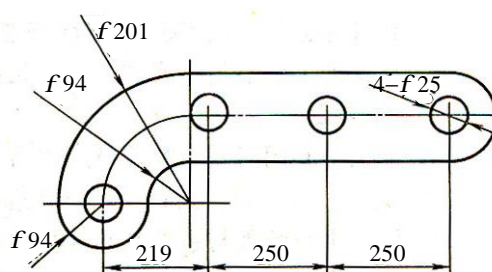


图 6-32

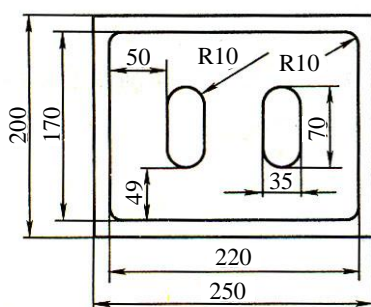


图 6-33

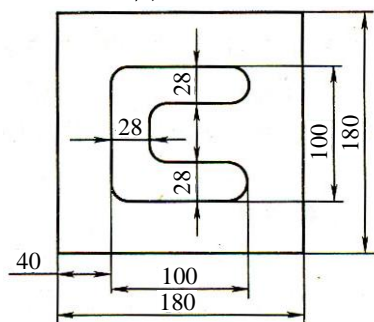


图 6-34

9. 在如图 6-35 所示的零件图样中, 材料为 45 号钢, 技术要求见图。试完成以下工作:

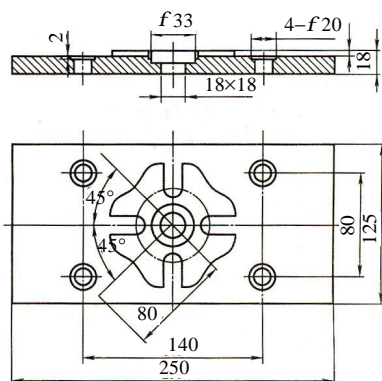


图 6-35

- (1) 分析零件加工要求及工装要求;
- (2) 编制工艺卡片;
- (3) 编制刀具卡片;
- (4) 编制加工程序, 并请提供尽可能多的程序方案。

10. 编写如图 6-36 所示零件加工中心的加工程序, 加工要求: 铣外轮廓、内轮廓经及钻孔。材料为合金铝。

全部 3.2/

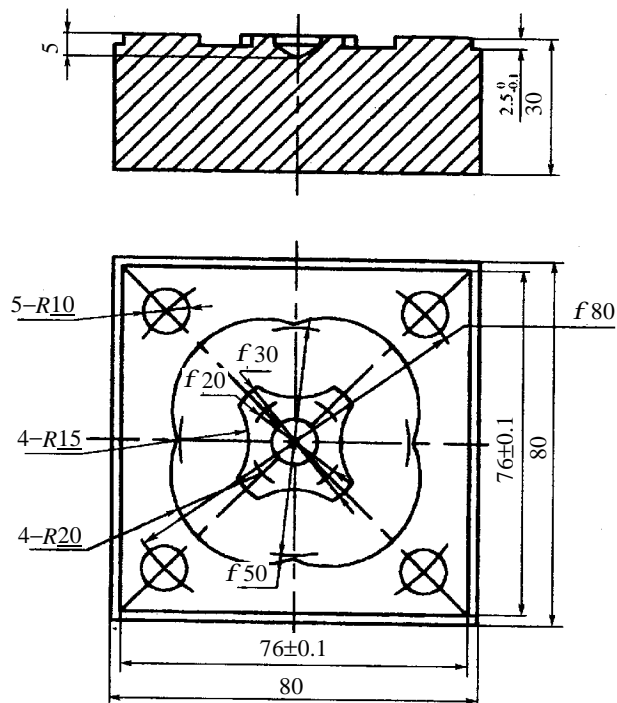


图 6-36

## 第七章 用户宏程序

### 【学习目标】

- (1) 了解宏程序的类别及特点。
- (2) 理解各类宏程序的运行模式。
- (3) 掌握 FANUC 系统、华中数控系统、SIEMENS 系统的宏程序编制方法。

### 7.1 FANUC 系统宏指令编程

#### 7.1.1 A 类宏功能应用

用户宏功能是提高数控机床性能的一种特殊功能。使用中，通常把能完成某一功能的一系列指令像子程序一样存入存储器，然后用一个总指令代表它们，使用时只需给出这个总指令就能执行其功能。

用户宏功能主体是一系列指令，相当于子程序体。既可以由机床生产厂提供，也可以由机床用户自己编制。

宏指令是代表一系列指令的总指令，相当于子程序调用指令。

用户宏功能的最大特点是，可以对变量进行运算，使程序应用更加灵活、方便。

用户宏功能有 A、B 两类。

##### 1. 变量

在常规的主程序和子程序内，总是将一个具体的数值赋给一个地址。为了使程序更具通用性、更加灵活，在宏程序中设置了变量，即将变量赋给一个地址。

##### (1) 变量的表示

变量可以用“#”号和跟随其后的变量序号来表示：#i (i=1, 2, 3…)

例：#5, #109, #501。

##### (2) 变量的引用

将跟随在一个地址后的数值用一个变量来代替，即引入了变量。

例：对于 F#103，若#103=50 时，则为 F50；

对于 Z-#110，若#110=100 时，则 Z 为-100；

对于 G#130，若#130=3 时，则为 G03。

##### (3) 变量的类型

OMC 系统的变量分为公共变量和系统变量两类。

##### 1) 公共变量

公共变量是在主程序和主程序调用的各用户宏程序内公用的变量。也就是说，在一个宏指令中的#i 与在另一个宏指令中的#i 是相同的。

公共变量的序号为：#100~#131；#500~#531。其中#100~#131 公共变量在电源断电后即清零，重新开机时被设置为“0”；#500~#531 公共变量即使断电后，它们的值也保持不变，因此也称为保持型变量。



2) 系统变量

系统变量定义为：有固定用途的变量，它的值决定系统的状态。系统变量包括刀具偏置变量、接口的输入/输出信号变量、位置信息变量等。

系统变量的序号与系统的某种状态有严格的对应关系。例如，刀具偏置变量序号为#01～#99，这些值可以用变量替换的方法加以改变，在序号 1～99 中，不用作刀偏量的变量可用作保持型公共变量#500～#531。

接口输入信号#1000～#1015，#1032。通过阅读这些系统变量，可以知道各输入口的情况。当变量值为“1”时，说明接点闭合；当变量值为“0”时，表明接点断开。这些变量的数值不能被替换。阅读变量#1032，所有输入信号一次读入。

2. 宏指令 G65

宏指令 G65 可以实现丰富的宏功能，包括算术运算、逻辑运算等处理功能。

一般形式：G65 Hm P#i Q#j R#k

式中：

m——宏程序功能，数值范围 01～99；

#i——运算结果存放处的变量名；

#j——被操作的第一个变量，也可以是一个常数；

#k——被操作的第二个变量，也可以是一个常数。

例如，当程序功能为加法运算时：

程序 P#100 Q#101 R#102…… 含义为#100=#101+#102

程序 P#100 Q-#101 R#102…… 含义为#100=-#101+#102

程序 P#100 Q#101 R15…… 含义为#100=#101+15

3. 宏功能指令

(1) 算术运算指令见表 7-1。

表 7-1 算术运算指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H01	定义，替换	#i = #j
G65	H02	加	#i = #j + #k
G65	H03	减	#i = #j - #k
G65	H04	乘	#i = #j × #k
G65	H05	除	#i = #j ÷ #k
G65	H21	平方根	#i = $\sqrt{\#j}$
G65	H22	绝对值	#i =  #j
G65	H23	求余	#i = #j - trunc(#j ÷ #k) × #k Trunc: 丢弃小于 1 的分数部分
G65	H24	BCD 码→二进制码	#i = BIN(#j)
G65	H25	二进制码→BCD 码	#i = BCD(#j)
G65	H26	复合乘/除	#i = (#i × #j) ÷ #k
G65	H27	复合平方根 1	#i = $\sqrt{\#j^2 + \#k^2}$
G65	H28	复合平方根 2	#i = $\sqrt{\#j^2 - \#k^2}$

1) 变量的定义和替换  $\#I=\#j$

编程格式 G65 H01 P#i Q#j

例: G65 H01 P#101 Q1005; ( $\#101=1005$ )

G65 H01 P#101 Q-#112; ( $\#101=-\#112$ )

2) 加法  $\#i=\#j+\#k$

编程格式 G65 H02 P#i Q#j R#k

例: G65 H02 P#101 Q#102 R#103; ( $\#101=\#102+\#103$ )

3) 减法  $\#i=\#j-\#k$

编程格式 G65 H03 P#i Q#j R#k

例: G65 H03 P#101 Q#102 R#103; ( $\#101=\#102-\#103$ )

4) 乘法  $\#i=\#j\times\#k$

编程格式 G65 H04 P#i Q#j R#k

例: G65 H04 P#101 Q#102 R#103; ( $\#101=\#102\times\#103$ )

5) 除法  $\#i=\#j/\#k$

编程格式 G65 H05 P#i Q#j R#k

例: G65 H05 P#101 Q#102 R#103; ( $\#101=\#102/\#103$ )

6) 平方根  $\#i=\sqrt{\#j}$

编程格式 G65 H21 P#i Q#j

例: G65 H21 P#101 Q#102; ( $\#101=\sqrt{\#102}$ )

7) 绝对值  $\#i=|\#j|$

编程格式 G65 H22 P#i Q#j

例: G65 H22 P#101 Q#102; ( $\#101=|\#102|$ )

8) 复合平方根 1  $\#i=\sqrt{\#j^2+\#k^2}$

编程格式 G65 H27 P#i Q#j R#k

例: G65 H27 P#101 Q#102 R#103; ( $\#101=\sqrt{\#102^2+\#103^2}$ )

9) 复合平方根 2  $\#i=\sqrt{\#j^2-\#k^2}$

编程格式 G65 H28 P#i Q#j R#k

例: G65 H28 P#101 Q#102 R#103 ( $\#101=\sqrt{\#102^2-\#103^2}$ )

(2) 逻辑运算指令见表 7-2。

表 7-2 逻辑运算指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H11	逻辑“或”	$\#i=\#j\cdot\text{OR}\cdot\#k$
G65	H12	逻辑“与”	$\#i=\#j\cdot\text{AND}\cdot\#k$
G65	H13	异或	$\#i=\#j\cdot\text{XOR}\cdot\#k$

1) 逻辑或  $\#I=\#j\text{ OR }\#k$

编程格式 G65 H11 P#i Q#j R#k

例 G65 H11 P#101 Q#102 R#103; (#101=#102 OR 103)

2) 逻辑与 #i=#j AND #k

编程格式 G65 H12 P#i Q#j R#k

例 G65 H12 P#101 Q#102 R#103; (#101=#102 AND #103)

(3) 三角函数指令见表 7-3。

表 7-3 三角函数指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H31	正弦	$\#i = \#j \cdot \text{SIN}(\#k)$
G65	H32	余弦	$\#i = \#j \cdot \text{COS}(\#k)$
G65	H33	正切	$\#i = \#j \cdot \text{TAN}(\#k)$
G65	H34	反正切	$\#i = \text{ATAN}(\#j/\#k)$

1) 正弦函数 #i=#j×SIN (#k)

编程格式 G65 H31 P#i Q#j R#k (单位: 度)

例: G65 H31 P#101 Q#102 R#103; (#101=#102×SIN (#103))

2) 余弦函数 #i=#j×COS (#k)

编程格式 G65 H32 P#i Q#j R#k (单位: 度)

例: G65 H32 P#101 Q#102 R#103; (#101=#102×COS (#103))

3) 正切函数 #i=#j×TAN#k

编程格式 G65 H33 P#i Q#j R#k (单位: 度)

例: G65 H33 P#101 Q#102 R#103; (#101=#102×TAN (#103))

4) 反正切 #i=ATAN (#j/#k)

编程格式 G65 H34 P#i Q#j R#k (单位: 度,  $0^\circ \leq \#j \leq 360^\circ$ )

例: G65 H34 P#101 Q#102 R#103; (#101=ATAN (#102/#103))

(4) 控制类指令 (见表 7-4)

表 7-4 控制类指令

G 码	H 码	功 能	定 义
G65	H80	无条件转移	GO TO n
G65	H81	条件转移 1	IF #j=#k, GOTOn
G65	H82	条件转移 2	IF #j≠#k, GOTOn
G65	H83	条件转移 3	IF #j>#k, GOTOn
G65	H84	条件转移 4	IF #j<#k, GOTOn
G65	H85	条件转移 5	IF #j≥#k, GOTOn
G65	H86	条件转移 6	IF #j≤#k, GOTOn
G65	H99	产生 PS 报警	PS 报警号 500+n 出现

1) 无条件转移

编程格式 G65 H80 Pn (n 为程序段号)

例：G65 H80 P120；（转移到 N120）

#### 2) 条件转移 1 #j EQ #k (=)

编程格式 G65 H81 Pn Q#j R#k (n 为程序段号)

例：G65 H81 P1000 Q#101 R#102

当#101=#102，转移到 N1000 程序段；若#101≠#102，执行下一程序段。

#### 3) 条件转移 2 #j NE #k (≠)

编程格式 G65 H82 Pn Q#j R#k (n 为程序段号)

例：G65 H82 P1000 Q#101 R#102

当#101≠#102，转移到 N1000 程序段；若#101=#102，执行下一程序段。

#### 4) 条件转移 3 #j GT #k (>)

编程格式 G65 H83 Pn Q#j R#k (n 为程序段号)

例：G65 H83 P1000 Q#101 R#102

当#101>#102，转移到 N1000 程序段；若#101≤#102，执行下一程序段。

#### 5) 条件转移 4 #j LT #k (<)

编程格式 G65 H84 Pn Q#j R#k (n 为程序段号)

例：G65 H84 P1000 Q#101 R#102

当#101<#102，转移到 N1000；若#101≥#102，执行下一程序段。

#### 6) 条件转移 5 #j GE #k (≥)

编程格式 G65 H85 Pn Q#j R#k (n 为程序段号)

例：G65 H85 P1000 Q#101 R#102

当#101≥#102，转移到 N1000；若#101<#102，执行下一程序段。

#### 7) 条件转移 6 #j LE #k (≤)

编程格式 G65 H86 Pn Q#j Q#k (n 为程序段号)

例：G65 H86 P1000 Q#101 R#102

当#101≤#102，转移到 N1000；若#101>#102，执行下一程序段。

### 4. 使用注意

为保证宏程序的正常运行，在使用用户宏程序的过程中，应注意以下几点：

- (1) 由 G65 规定的 H 码不影响偏移量的任何选择。
- (2) 如果用于各算术运算的 Q 或 R 未被指定，则作为 0 处理。
- (3) 在分支转移目标地址中，如果序号为正值，则检索过程是先向大程序号查找，如果序号为负值，则检索过程是先向小程序号查找。
- (4) 转移目标序号可以是变量。

### 5. 用户宏程序应用举例

【例7-1】用宏程序和子程序功能顺序加工圆周等分孔。设圆心在 O 点，它在机床坐标系中的坐标为 (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>)，在半径为 r 的圆周上均匀地钻几个等分孔，起始角度为 α，孔数为 n。以零件上表面为 Z 向零点，见图 7-1。

使用以下保持型变量：

#502：半径 r；

#503：起始角度 α；

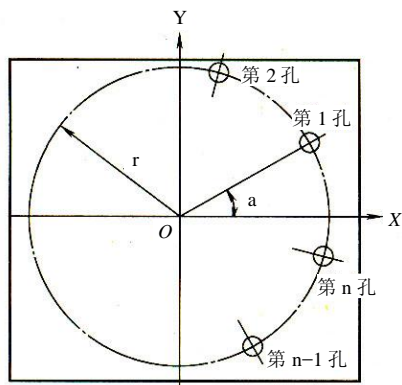


图 7-1 等分孔计算方法

#504: 孔数  $n$ , 当  $n > 0$  时, 按逆时针方向加工, 当  $n < 0$  时, 按顺时针方向加工;

#505: 孔底  $Z$  坐标值;

#506:  $R$  平面  $Z$  坐标值;

#507:  $F$  进给量。

使用以下变量进行操作运算:

#100: 表示第  $i$  步钻第  $i$  孔的计数器;

#101: 计数器的最终值 (为  $n$  的绝对值);

#102: 第  $i$  个孔的角度位置  $\theta_i$  的值;

#103: 第  $i$  个孔的  $X$  坐标值;

#104: 第  $i$  个孔的  $Y$  坐标值;

用用户宏程序编制的钻孔子程序如下:

O9010

N110 G65 H01 P#100 Q0;	#100 = 0
N120 G65 H22 P#101 Q#504;	#101 =  #504
N130 G65 H04 P#102 Q#100 R360;	#102 = #100 $\times$ 360°
N140 G65 H05 P#102 Q#102 R#504;	#102 = #102 / #504
N150 G65 H02 P#102 Q#503 R#102;	#102 = #503 + #102 当前孔角度位置 $\theta_i = \alpha + (360^\circ \times i) / n$
N160 G65 H32 P#103 Q#502 R#102;	#103 = #502 $\times$ COS (#102) 当前孔的 $X$ 坐标
N170 G65 H31 P#104 Q#502 R#102;	#104 = #502 $\times$ SIN (#102) 当前孔的 $Y$ 坐标
N180 G90 G00 X#103 Y#104;	定位到当前孔 (返回开始平面)
N190 G00 Z#506;	快速进到 $R$ 平面
N200 G01 Z#505 F#507;	加工当前孔
N210 G00 Z#506;	快速退到 $R$ 平面
N220 G65 H02 P#100 Q#100 R1;	#100 = #100 + 1 孔计数
N230 G65 H84 P-130 Q#100 R#101;	当 #100 < #101 时, 向上返回到 130 程序段
N240 M99;	子程序结束

调用上述子程序的主程序如下:

O0010

N10 G54 G90 G00 X0 Y0 Z20;	进入加工坐标系
N20 M98 P9010;	调用钻孔子程序, 加工圆周等分孔
N30 Z20;	抬刀
N40 G00 G90 X0 Y0;	返回加工坐标系零点
N50 M30 程序结束	

设置 G54: X= -400, Y= -100, Z= -50。变量#500~#507 可在程序中赋值, 也可由 MDI 方式设定。

【例 7-2】根据以下数据, 用用户宏程序功能加工圆周等分孔。

如图 7-2 所示, 在半径为 50mm 的圆周上均匀地钻 8 个  $\phi 10$  的等分孔, 第一个孔的起始点角度为  $30^\circ$ , 设圆心为 O 点, 以零件的上表面为 Z 向零点。首先在 MDI 方式中, 设定以下变量的值:

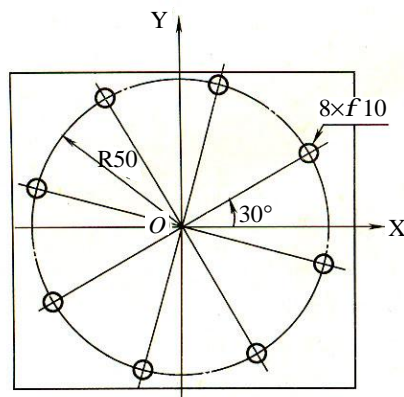


图 7-2 等分孔应用举例

#502: 半径 r 为 50;  
 #503: 起始角度  $\alpha$  为 30;  
 #504: 孔数 n 为 8;  
 #505: 孔底 Z 坐标值为 -20;  
 #506: R 平面 Z 坐标值为 5;  
 #507: F 进给量为 50。

加工程序为:

```

O6100
N10 G54 G90 G00 X0 Y0 Z20
N20 M98 P9010
N30 G00 G90 X0 Y0
N40 Z20
N50 M30

```

设置 G54: X= -400, Y= -100, Z= -50

【例 7-3】应用宏功能指令加工空间曲线

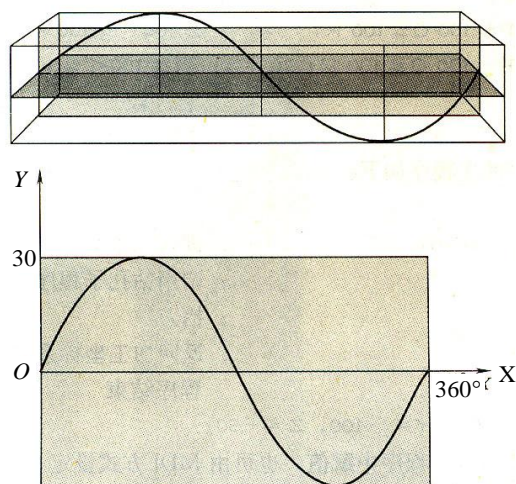


图 7-3 空间曲线

有一空间曲线槽，由两条正弦曲线  $Y=35\sin X$  和  $Z=5\sin X$  迭加而成，刀具中心轨迹如图 7-3 所示。槽底为  $r=5\text{mm}$  的圆弧。为了方便编制程序，采用粗微分方法忽略插补误差来加工。以角度  $X$  为变量，取相邻两点间的  $X$  向距离相等，间距为  $0.5^\circ$ ，然后用正弦曲线方程  $Y=35\sin X$  和  $Z=5\sin X$  分别计算出各点对应的  $Y$  值和  $Z$  值，进行空间直线插补，以空间直线来逼近空间曲线。加工时采用球头铣刀 ( $r=5\text{mm}$ ) 在一平面实体零件上铣削出这一空间曲线槽。加工坐标系设置见图 7-4。

设置保持型变量：

#500:  $Z$  向每次切入量为  $2\text{mm}$ ；设置时输入“2000”；

#501:  $Y=35\sin X$  的幅值为  $35\text{mm}$ ，设置时输入“35000”；

#502:  $Z=5\sin X$  的幅值为  $5\text{mm}$ ，设置时输入“5000”；

#503:  $X$  的步距为  $0.5^\circ$  时的终点值  $360^\circ$ ；设置时输入“360”。

设置操作型变量：

#100:  $X$  当前值，为度 ( $^\circ$ )；

#110:  $Y$  坐标当前值，为  $\text{mm}$ ；

#120:  $Z=5\sin X$  的值，为  $\text{mm}$ ；

#130:  $Z$  向每次进刀后的初始值，为  $\text{mm}$ ；

#140:  $Z$  坐标当前值，为  $\text{mm}$ 。

子程序 O 0004:

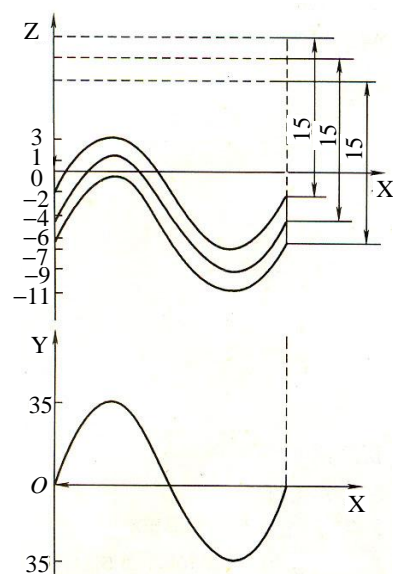


图 7-4 曲线槽的加工坐标系及走刀路线图

N10 G65 H01 P#100 Q0;	X 初始值#100=0
N20 G91 G01 Z-#500 F100;	Z 向切入零件
N30 G65 H02 P#130 Q#130 R-#500;	#130=#130+(-#500)
N100 G65 H02 P#100 Q#100 R0. 5;	X 当前值#100=#100+0.5
N110 G65 H31 P#110 Q#501 R#100;	Y 当前值#110=35sinX
N120 G65 H31 P#120 Q#502 R#100;	Z=5sinX 数值
N130 G65 H02 P#140 Q#130 R#120;	Z 当前值#140=#130+#120
N140 G90 G01 X#100 Y#110 Z#140;	切削空间直线
N150 G65 H84 P100 Q#100 R#503;	终点判别
N160 G91 Z15;	抬刀
N170 G90 X0 Y0;	回加工原点
N180 G91 G01 Z-15 F200;	下刀
N190 M99;	子程序结束
主程序 O0005:	
N10 G54 G90 X0 Y0 Z15;	进入加工坐标系
N20 G00 X-10 Y-10;	到起始位置
N30 G01 X0 Y0 M03 S600 F200;	主轴启动
N40 G65 H01 P#130 Q0;	Z 向初值=0
N50 G01 Z0;	下刀至零件表面
N60 M98 P30004;	调用子程序 O 0004 三次
N70 G00 Z15;	抬刀
N80 M30;	主程序结束

在子程序 O 0004 中, N100~N130 为计算当前点的 X、Y 和 Z 坐标。N140 是按计算出的坐标值切削一段空间直线, 用直线逼近空间曲线。N150 为空间曲线结束的终点判别, 以  $X=360^\circ$  为终点, 若没有到达, 则返回 N100 再计算下一点坐标; 若已到达, 则结束子程序。

在主程序 O 0005 中, N60 为调用三次 O 0004 子程序, 每调用一次, Z 坐标向负方向进 2mm, 分三次切出槽深。加工的走刀路线图见图 7-4 所示。

### 7.1.2 B 类宏程序应用

B 类宏程序的应用, 是提高数控系统使用性能的有效途径。B 类宏程序与 A 类宏程序有许多相似之处, 因而, 下面就在 A 类宏程序的基础上, 介绍 B 类宏程序的应用。

宏程序的定义: 由用户编写的专用程序, 它类似于子程序, 可用规定的指令作为代号, 以便调用。宏程序的代号称为宏指令。

宏程序的特点: 宏程序可使用变量, 可用变量执行相应操作; 实际变量值可由宏程序指令赋给变量。

#### 1. 基本指令

##### (1) 宏程序的简单调用格式

宏程序的简单调用是指在主程序中, 宏程序可以被单个程序段单次调用。

调用指令格式: G65 P (宏程序号) L (重复次数) (变量分配)



其中：G65：宏程序调用指令

P（宏程序号）：被调用的宏程序代号；

L（重复次数）：宏程序重复运行的次数，重复次数为 1 时，可省略不写；

（变量分配）：为宏程序中使用的变量赋值。

宏程序与子程序相同的一点是，一个宏程序可被另一个宏程序调用，最多可调用 4 重。

（2）宏程序的编写格式

宏程序的编写格式与子程序相同。其格式为：

0 ～（0001～8999 为宏程序号）；                      程序名  
N10    .....    指令  
.....  
N～M99；    宏程序结束

上述宏程序内容中，除通常使用的编程指令外，还可使用变量、算术运算指令及其他控制指令。变量值在宏程序调用指令中赋给。

（3）变量

1) 变量的分配类型 I

这类变量中的文字变量与数字序号变量之间有如表 7-5 所示的关系。

表 7-5 文字变量与数字序号变量之间的关系

A    #1	I    #4	T    #20
B    #2	J    #5	U    #21
C    #3	K    #6	V    #22
D    #7	M    #13	W    #23
E    #8	Q    #17	X    #24
F    #9	R    #18	Y    #25
H    #11	S    #19	Z    #26

上表中，文字变量为除 G、L、N、O、P 以外的英文字母，一般可不按字母顺序排列，但 I、J、K 例外；#1～#26 为数字序号变量。

例：G65 P1000 A1.0 B2.0 I3.0

则上述程序段为宏程序的简单调用格式，其含义为：调用宏程序号为 1000 的宏程序运行一次，并为宏程序中的变量赋值，其中：#1 为 1.0，#2 为 2.0，#4 为 3.0。

2) 变量的级别

①本级变量#1～#33

作用于宏程序某一级中的变量称为本级变量，即这一变量在同一程序级中调用时含义相同，若在另一级程序（如子程序）中使用，则意义不同。本级变量主要用于变量间的相互传递，初始状态下未赋值的本级变量即为空白变量。

②通用变量#100～#144，#500～#531

可在各级宏程序中被共同使用的变量称为通用变量，即这一变量在不同程序级中调用时含义相同。因此，一个宏程序中经计算得到的一个通用变量的数值，可以被另一个宏程序应

(4) 算术运算指令

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

变量之间进行运算的通常表达形式是：`#i= (表达式)`

$$\#i = \#j$$

$\#i = \#j + \#k;$                       加

#i=#j-#k;                    减

$\#i = \#j \times \#k;$       乘

#i=#j/#k; 除

#i=SIN [#i];	正弦函数 (单位为度 “°”)
--------------	-----------------

#i=COS [#i ]; 余函数 (单位为度 “°”)

#i=TANN [#i];	正切函数 (单位为度 “°”)
---------------	-----------------

#i=ATANN [#i ]/#k;	反正切函数 (单位为度 “°”)
--------------------	------------------

#i=SQRT [#j ];	平方根
----------------	-----

#i=ABS [#i ];                      取绝对值

以上算术运算和函数运算可以结合在一起使用，运算的先后顺序是：函数运算、乘除运算、加減运算。

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

### 1) 条件转移

编程格式: IF [条件表达式] GOTO n

以上程序段含义为：

- ① 如果条件表达式的条件得以满足, 则转而执行程序中程序号为 **n** 的相应操作, 程序段号 **n** 可以由变量或表达式替代;

- ② 如果表达式中条件未满足, 则顺序执行下一段程序;

- ③ 如果程序作无条件转移, 则条件部分可以被省略。

- ④ 表达式可按如下书写:

#j EQ #k 表示=

#j NE #k 表示≠

#j GT #k      表示>

#j LT #k 表示<

#j GE #k      表示 $\geq$

#j LE #k 表示 $\leq$

## 2) 重复执行

编程格式: WHILE [条件表达式] DO m (m=1, 2, 3)

.....

END m

上述“WHILE...END m”程序含意为:

- ①条件表达式满足时, 程序段 DO m 至 END m 即重复执行;
- ②条件表达式不满足时, 程序转到 END m 后处执行;
- ③如果 WHILE [条件表达式] 部分被省略, 则程序段 DO m 至 END m 之间的部分将一直重复执行。

### 【注意】

- ① WHILE DO m 和 END m 必须成对使用;
- ②DO 语句允许有 3 层嵌套, 即:

DO 1

DO 2

DO 3

END 3

END 2

END 1

- ③DO 语句范围不允许交叉, 即如下语句是错误的:

DO 1

DO 2

END 1

END 2

以上仅介绍了 B 类宏程序应用的基本问题, 有关应用详细说明, 请查阅 FANUC—0i 系统说明书

## 2. 应用举例

【例 7-4】如图 7-5 所示的圆环点阵孔群中各孔的加工, 我们曾经用 A 类宏程序解决过这类问题, 这里再试用 B 类宏程序方法来解决问题:

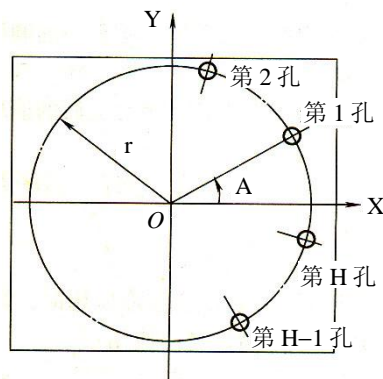


图 7-5 圆环点阵孔群的加工

宏程序中将用到下列变量：

- #1：第一个孔的起始角度 A，在主程序中用对应的文字变量 A 赋值；
- #3：孔加工固定循环中 R 平面值 C，在主程序中用对应的文字变量 C 赋值；
- #9：孔加工的进给量值 F，在主程序中用对应的文字变量 F 赋值；
- #11：要加工孔的孔数 H，在主程序中用对应的文字变量 H 赋值；
- #18：加工孔所处的圆环半径值 R，在主程序中用对应的文字变量 R 赋值；
- #26：孔深坐标值 Z，在主程序中用对应的文字变量 Z 赋值；
- #30：基准点，即圆环形中心的 X 坐标值 X<sub>O</sub>；
- #31：基准点，即圆环形中心的 Y 坐标值 Y<sub>O</sub>；
- #32：当前加工孔的序号 i；
- #33：当前加工第 i 孔的角度；
- #100：已加工孔的数量；
- #101：当前加工孔的 X 坐标值，初值设置为圆环形中心的 X 坐标值 X<sub>O</sub>；
- #102：当前加工孔的 Y 坐标值，初值设置为圆环形中心的 Y 坐标值 Y<sub>O</sub>。

用户宏程序编写如下：

O8000	
N8010 #30=#101;	基准点保存
N8020 #31=#102;	基准点保存
N8030 #32=1;	计数值置 1
N8040 WHILE [#32 LE ABS[#11]] DO1;	进入孔加工循环体
N8050 #33=#1+360×[#32-1]/#11;	计算第 i 孔的角度
N8060 #101=#30+#18×COS[#33];	计算第 i 孔的 X 坐标值
N8070 #102=#31+#18×SIN[#33];	计算第 i 孔的 Y 坐标值
N8080 G90 G81 G98 X#101 Y#102 Z#26 R#3 F#9;	钻削第 i 孔
N8090 #32=#32+1;	计数器对孔序号 i 计数累加
N8100 #100=#100+1;	计算已加工孔数
N8110 END1;	孔加工循环体结束
N8120 #101=#30;	返回 X 坐标初值 X <sub>O</sub>
N8130 #102=#31;	返回 Y 坐标初值 Y <sub>O</sub>
M99;	宏程序结束

在主程序中调用上述宏程序的调用格式为：

G65 P8000 A~ C~ F~ H~ R~ Z~

上述程序段中各文字变量后的值均应按零件图样中给定值来赋值。

## 7.2 华中数控宏指令编程

华中数控系统采用目前广泛应用的 C 类宏程序，其结构与高级语言最为近似。

### 7.2.1 宏变量及常量

#### 1. 宏变量

#0～#49;	当前局部变量
#50～#99;	全局变量
#100～#199;	刀补号 100～199 的补偿值
#200～#249;	0 层局部变量
#250～#299;	1 层局部变量
#300～#349;	2 层局部变量
#350～#399;	3 层局部变量
#400～#449;	4 层局部变量
#450～#499;	5 层局部变量
#500～#549;	6 层局部变量
#550～#599;	7 层局部变量
#600～#699;	刀具长度寄存器 H0～H99
#700～#799;	刀具半径寄存器 D0～D99
#800～#899;	刀具寿命寄存器
#1195～#1199;	为固定循环使用

#### 2. 常量

PI: 圆周率  $\pi$

TRUE: 真

FALSE: 假

### 7.2.2 运算符与表达式

#### (1) 算术运算符

+, -, ×, /

#### (2) 条件运算符

EQ (=), NE ( $\neq$ ), GT (>), GE ( $\geq$ ), LT (<), LE ( $\leq$ )

#### (3) 逻辑运算符

AND, OR, NOT

#### (4) 函数

SIN: 正弦, COS: 余弦, TAN: 正切, ATAN: 反正切, ABS: 求绝对值, INT: 取整, IGN: 取符号, SQRT: 求平方根, EXP: 指数函数

#### (5) 表达式

用运算符连接起来的常数, 宏变量构成表达式。

例如:  $175/\text{SQRT}[2] * \text{COS}[55 * \text{PI}/180]$

#3\*6 GT 14

#### (6) 赋值语句

格式: 宏变量=常数或表达式

把常数或表达式的值送给一个宏变量称为赋值。

例如:  $\#2 = 175/\text{SQRT}[2] * \text{COS}[55 * \text{PI}/180]$

$\#3 = 124.0$

(7) 条件判别语句 IF, ELSE, ENDIF

格式①IF [条件表达式]

.....

ELSE

.....

ENDIF

格式②IF [条件表达式]

.....

ENDIF

(8) 循环语句 WHILE, ENDW

格式: WHILE [条件表达式]

.....

ENDW

### 7.2.3 编程实例

【例 7-5】用 $\phi 8$  球头铣刀加工 R5 的倒圆曲面, 如图 7-6 所示, 程序如下:

```
%0001;          (刀位点为球心)
G92 X-30 Y-30 Z25
#0=5;           (倒圆半径)
#1=4;           (球刀半径)
#2=180;         (步距角  $\gamma$  的初值。单位: 度)
WHILE #2 GT 90
#101=ABS[(#0+#1)*COS[#2*PI/180]]-#0;      (计算半径偏移量  $\Delta D$ )
G01 G41 X-20 D101
Y15
G02 X-15 Y20 R5
G01 X15
G02 X20 Y15 R5
G01 Y-15
G02 X15 Y-20 R5
G01 X-15
G02 X-20 Y-15 R5
G01 X-30
G40 Y-30
#2=#2-10
G01 Z[25+(#0+#1)*SIN[#2*PI/180]];      (计算  $25+\Delta Z$ )
```

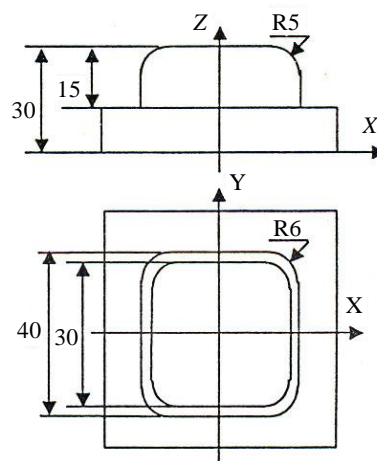


图 7-6 四棱柱倒圆

ENDW

M30

【例 7-6】如图 7-7 所示,编辑椭圆加工程序,椭圆长半轴长为 20mm,短半轴长为 10mm。

椭圆表达式为:  $X=a \times \cos \alpha$ ;  $Y=b \times \sin \alpha$

程序如下:

```
%0001
#0=5;           (定义刀具半径 R 值)
#1=20;          (定义 a 值)
#2=10;          (定义 b 值)
#3=0;           (定义步距角  $\alpha$  的初值,单位:度“°”)
N1 G92 X0 Y0 Z10
N2 G00 X[#0+#1] Y[#0+#2]
N3 G01 Z0
N4 G41 X[#1]
N5 WHILE #3 GE [-360]
N6 G01 X[#1*COS[#3*PI/180]] Y[#2*SIN[#3*PI/180]]
N7 #3=#3-5
ENDW
G01 G91 Y[-#0]
G00 Z10
M30
```

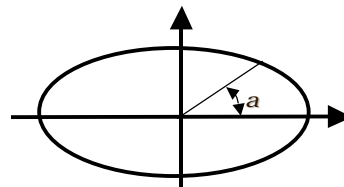


图 7-7 椭圆轮廓加工

## 7.3 SIEMENS 系统宏程序应用

### 7.3.1 计算参数

SIEMENS 系统宏程序应用的计算参数如下:

R0~R99: 可自由使用;

R100~R249: 加工循环传递参数(如程序中没有使用加工循环,这部分参数可自由使用);

R250~R299: 加工循环内部计算参数(如程序中没有使用加工循环,这部分参数可自由使用)。

### 7.3.2 赋值方式

为程序的地址字赋值时,在地址字之后应使用“=”,N、G、L 除外。

例: G00 X=R2

### 7.3.3 控制指令

控制指令主要有:

IF 条件 GOTOF 标号

IF 条件 GOTOB 标号

说明：

IF：如果满足条件，跳转到标号处；如果不满足条件，执行下一条指令；

GOTOF：向前跳转；

GOTOB：向后跳转；

标号：目标程序段的标记符，必须要由 2~8 个字母或数字组成，其中开始两个符号必须是字母或下划线。标记符必须位于程序段首；如果程序段有顺序号字，标记符必须紧跟顺序号字；标记符后面必须为冒号。

条件：计算表达式，通常用比较运算表达式，比较运算符见表 7-6。

表 7-6 比较运算符

比较运算符	意义
==	等于
<>	不等于
>	大于
<	小于
>=	大于或等于
<=	小于或等于

例：N10 IF R1<10 GOTOF LAB1

.....

N100 LAB1: G0 Z80

7.3.4 应用举例

【例 7-7】用镗孔循环 LCYC85 加工图 7-8 所示矩阵排列孔，无孔底停留时间，安全间隙 2mm。

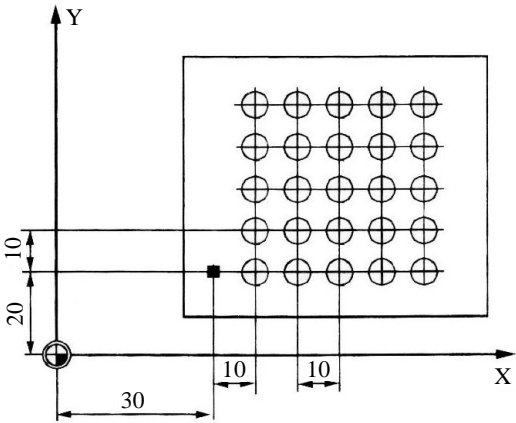


图 7-8 矩阵排列孔加工

N10 G0 G17 G90 F1000 T2 D2 S500 M3

N20 X10 Y10 Z105

N30 R1=0



```

N40 R101=105 R102=2 R103=102 R104=77 R105=0 R107=200 R108=100
N50 R115=85 R116=30 R117=20 R118=10 R119=5 R120=0 R121=10
N60 MARKE1:LCYC60
N70 R1=R1+1 R117=R117+10
N80 IF R1<5 GOTOB MARKE1
N90 G0 G90 X10 Y10 Z105
N100 M2

```

## 本章小结

本章介绍了宏程序的分类及特点,着重讲解了 FANUC 系统、华中数控系统和 SIEMENS 系统宏程序的指令格式,运行方式及编制方法。宏程序运用得当会大大地简化编程,并能够在一定程度上处理各类非圆曲线及轮廓。本章是本教材的重点章节之一,读者可以根据自己的需要从上述三种常用数控系统宏程序编制方法中有选择地学习。

### 7.4 宏指令编程实训

#### 实训课题一 宏指令应用

##### 一、实训目的

1. 掌握宏指令的编程特点;
2. 进一步练习数控铣床的编程与基本操作;
3. 将数控加工工艺贯穿于数控编程与加工之中。

##### 二、实训内容

毛坯 200mm×100mm×30mm 块料,要求铣出如图 7-9 所示的四棱台,工件材料为蜡块。

1. 对零件进行工艺分析:确定加工方案,选择刀具、选择夹具、按图示走刀路线进行加工、选择工艺参数。

- 1) 编写宏指令加工程序,并输入到数控系统中,对其进行图形仿真校验。
- 2) 安装工件。
- 3) 对刀并进行参数设置。
- 4) 自动加工。
- 5) 检验加工零件。

##### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸,明确图纸的加工要求。
2. 仔细分析切削用量,确定加工顺序。
3. 输入程序要细心。
4. 对刀要精确。

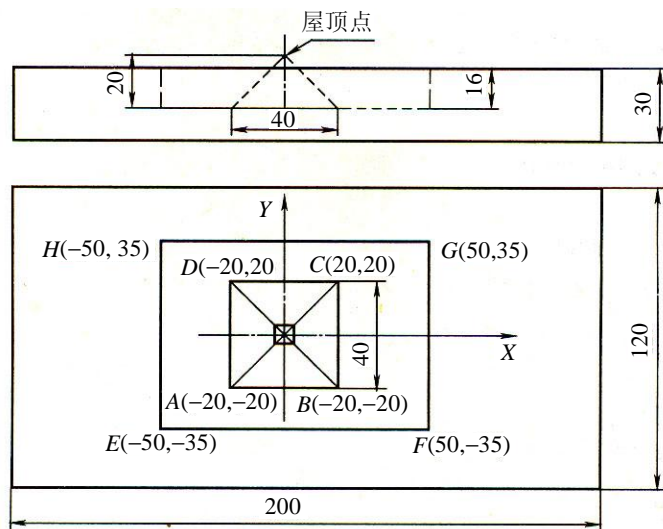


图 7-9 四棱台

5. 自动加工之前要仔细校验程序。
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

#### 四、实训时间

每人上机四小时。

#### 五、实训报告

### 实训课题二 宏指令应用

#### 一、实训目的

1. 掌握宏指令的编程特点；
2. 进一步练习数控铣床的编程与基本操作；
3. 将数控加工工艺贯穿于数控编程与加工之中。

#### 二、实训内容

毛坯 200mm×200mm×50mm 块料，要求铣出如图 7-10 所示的铣圆台和斜方台，工件材料为蜡块。

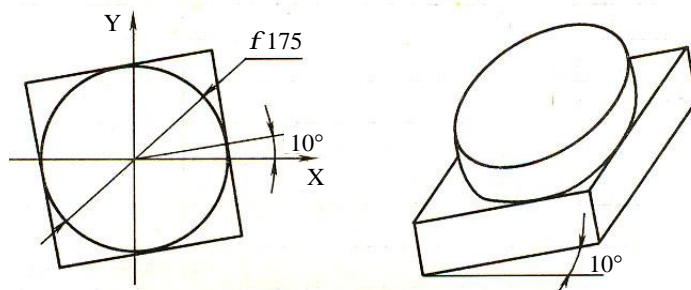


图 7-10 铣圆台和斜方台

1. 对零件进行工艺分析：确定加工方案，选择刀具、选择夹具、按图示走刀路线进行加工、选择工艺参数。

- 1) 编写宏指令加工程序，并输入到数控系统中，对其进行图形仿真校验。
- 2) 安装工件。
- 3) 对刀并进行参数设置。
- 4) 自动加工。
- 5) 检验加工零件。

### 三、实训要求

1. 仔细分析零件的加工图纸，明确图纸的加工要求。
2. 仔细分析切削用量，确定加工顺序。
3. 输入程序要细心。
4. 对刀要精确。
5. 自动加工之前要仔细校验程序。
6. 仔细分析零件的加工质量，对不足之处提出改进意见。

### 四、实训时间

每人上机四小时。

### 五、实训报告

## 练 习 题

### 一、判断题（正确的打“√”，错误的打“×”）

1. 宏程序的特点是可以使用变量，变量之间不能进行运算。（    ）
2. A类宏指令与B类宏指令只是调动格式不一样。（    ）
3. 在“G65 H01 P#100 Q1”中，H01是指01号偏移量。（    ）
4. 一般规定加工中心的宏编程采用A类宏指令，数控铣床编程采用B类宏指令。（    ）
5. SIEMENS宏指令主要应用在钻孔加工循环中。（    ）

### 二、选择题

1. 华中数控系统采用的是（    ）。  
A. A类            B. B类            C. C类            D. D类
2. 宏程序中的#110属于（    ）。  
A. 公共变量    B. 局部变量    C. 系统变量    D. 常数
3. G65 P9201属于        宏程序  
A. A类            B. B类            C. SIEMENS       D. 华中数控
4. 华中数控系统宏指令中SQRT为（    ）。  
A. 取符号       B. 求平方根    C. 求绝对值    D. 取整数
5. HNC-21系统中，下列（    ）变量属于当前局部变量。  
A. #30           B. #140          C. #2000       D. #5201

### 三、简答题

1. 宏程序的功能是什么？宏程序变量有哪些？
2. 写出 A 类宏程序中，宏指令 G65 的一般形式。
3. B 类宏程序中，为何英文字母 G、L、N、O、P 一般不作为文字变量名？
4. B 类宏程序中，有哪些变量类型，其含义如何？
5. SIEMENS 系统宏程序是如何实现的？
6. 用华中数控系统宏程序编制如图 7-11 所示抛物线  $Z=X^2/8$  在区间  $[0, 16]$  内的车床加工程序。
7. 如图 7-12 所示在边长为 100mm 的正方形上钻 8 个孔，正方形的中心作为 O 点，Z 向零点设在工件的上表面，孔深为 35mm，采用用户宏程序编写其加工程序。

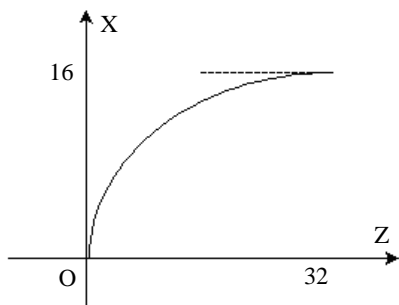


图 7-11 抛物线加工

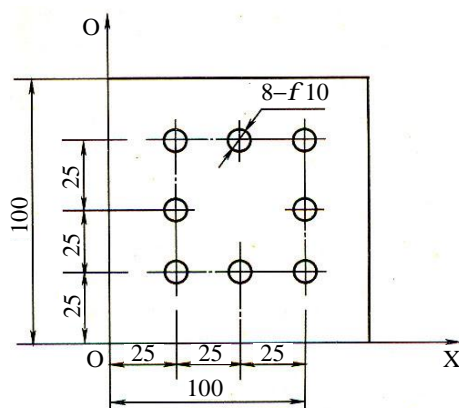


图 7-12 习题图

## 第八章 数控电火花线切割编程

### 【学习目标】

- (1) 了解线切割加工设备的基本结构、型号、参数和工作原理。
- (2) 理解电火花线切割加工的安全技术规程、使用规则及维护保养方法。
- (3) 掌握电火花线切割加工工艺的制定及 3B 格式、4B 格式和 ISO 格式的编程方法。

### 8.1 数控线切割加工概述

电火花线切割加工 (Wire Cut EDM, 简称 WEDM) 是在电火花加工基础上于 20 世纪 50 年代末最早在前苏联发展起来的一种新的工艺形式, 是用线状电极 (钼丝、钨丝或铜丝) 靠火花放电对工件进行切割, 故称为电火花线切割, 有时简称线切割。它已获得广泛的应用, 目前国内外的线切割机床已占电加工机床的 60% 以上。

线切割加工为新产品试制、精密零件加工及模具制造开辟了一条新的工艺途径, 现在它主要应用于加工模具、加工电火花成形加工用的电极以及试制新产品时直接加工零件等几个方面。

#### 8.1.1 线切割加工的特点

电火花线切割加工精度可达  $\pm 0.01\text{mm}$ , 表面粗糙度为  $Ra1.25 \sim 2.5\mu\text{m}$ 。线切割可以加工用一般切割加工方法难以加工或无法加工的硬质合金和淬火钢等一切导电的高硬度、复杂轮廓形状的板状金属工件。数控线切割加工是机械制造中不可缺少的一种先进的加工方法, 具有以下特点:

(1) 由于电极工具采用直径较小的金属丝, 省掉了成型的工具电极, 大大降低了成形工具电极的设计和制造费用, 用简单的工具电极, 靠数控技术实现复杂的切割轨迹, 缩短了生产准备时间, 加工周期短, 这不光对新产品的试制是很有意义, 对大批生产也增加了快速性和柔性。

(2) 由于电极丝比较细, 可以加工微细异形孔、窄缝和复杂形状的工件。由于切缝很窄, 且只对工件材料进行“套料”加工, 实际金属去除量很少, 材料的利用率很高, 这对加工、节约贵重金属有重要意义。

(3) 电极与工件之间存在着“疏松接触”式轻压放电现象。

(4) 采用水或水基工作液, 不会引燃起火, 容易实现安全无入运转。

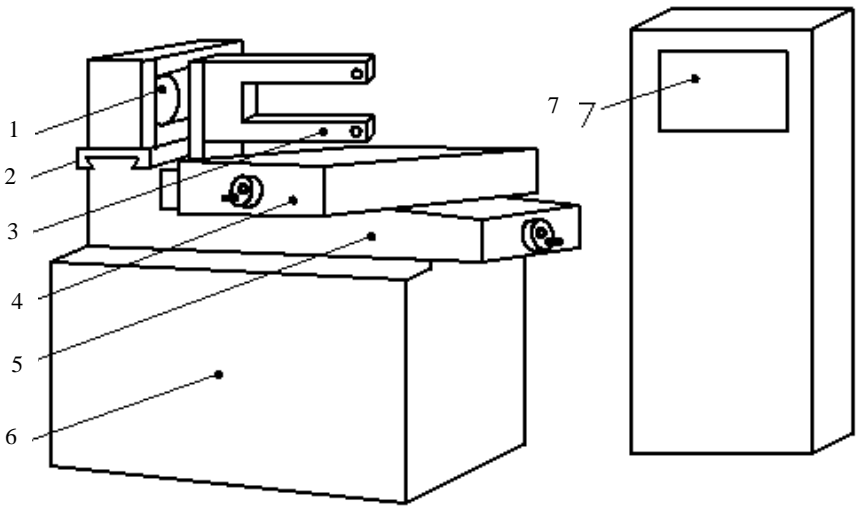
(5) 由于采用移动的长电极丝进行加工, 使单位长度电极丝的损耗较少, 从而对加工精度的影响比较小, 特别在低速走丝线切割加工时, 电极丝一次性使用, 电极丝损耗对加工精度的影响更小。

电火花线切割加工有许多突出的长处, 因而在国内外发展都较快, 以获得广泛的应用。

#### 8.1.2 电火花线切割加工设备

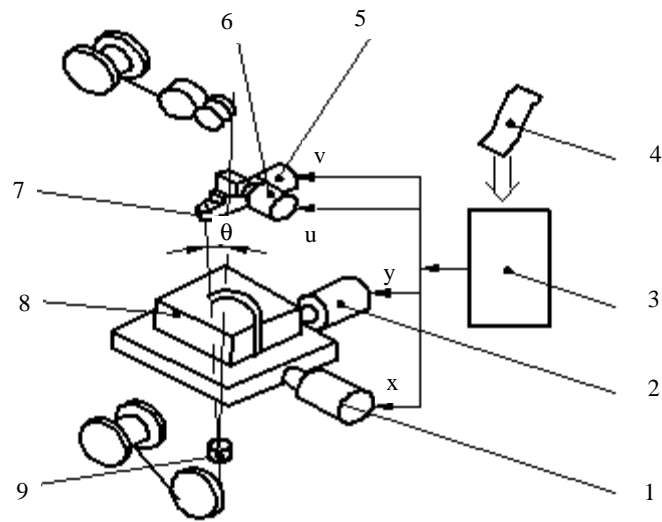
电火花线切割加工设备主要由机床本体、脉冲电源、控制系统、工作液循环系统和机床

附件等几部分组成。图 8-1 和图 8-2 分别为高速和低速走丝电火花线切割加工设备组成图。



1—卷丝筒 2—走丝溜板 3—丝架 4—上滑板 5—下滑板 6—床身 7—电源、控制柜

图 8-1 高速走丝电火花线切割加工设备组成



1—x 轴驱动电动机 2—y 轴驱动电动机 3—控制装置 4—数控纸带  
5—v 轴驱动电动机 6—u 轴驱动电动机 7—上导向器 8—工件 9—下导向器

图 8-2 低速走丝电火花线切割加工设备组成

## 8.2 电火花线切割加工工艺

电火花线切割加工技术已广泛用于国防和民用的生产和科研工作中,用于加工各种难加工材料、复杂表面和有特殊要求的零件、刀具和磨具等。电火花线切割加工时应注意以下的一些工艺问题。

8.2.1 电火花线切割加工的步骤及要求

电火花线切割加工是实现工件尺寸加工的一种技术。在一定设备条件下，合理的制定加工工艺路线是保证工件加工质量的重要环节。

电火花线切割加工模具或零件的过程，一般可分以下几个步骤。

1. 对图样进行分析和审核

分析图样对保证工件加工质量和工件的综合技术指标是有决定意义的第一步。以冲裁模为例、在理解图样时首先要挑出不能或不宜用电火花线切割加工的工件图样，大致有如下几种：

- (1) 表面粗糙度和尺寸精度要求很高，切割后无法进行手工研磨的工件。
- (2) 窄缝小于电极丝直径加放电间隙的工件，或图形内拐角处不允许带有电极丝半径加放电间隙所形成的圆角的工件。
- (3) 非导电材料。
- (4) 厚度超过丝架跨距的零件。
- (5) 加工长度超过 x、y 拖板的有效行程长度，且精度要求较高的工件。

在符合线切割加工工艺的条件下，应着重考虑以下几个方面：

(6) 凹角和尖角的尺寸要符合线切割加工的特点线切割加工是用电极丝作为工具电极来加工的。因为电极丝有一定半径  $R$ ，加工时又有一加工间隙  $\delta$ ，使电极丝中心运动轨迹与给定图线相差距离  $f$ ，如图 8-3 所示， $f=R+\delta$  这样，加工凸模类零件时，电极丝中心轨迹应放大；加工凹模类零件时，电极丝中心轨迹应缩小，如图 8-4 所示。

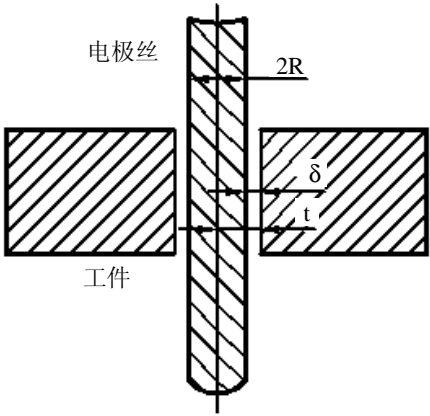
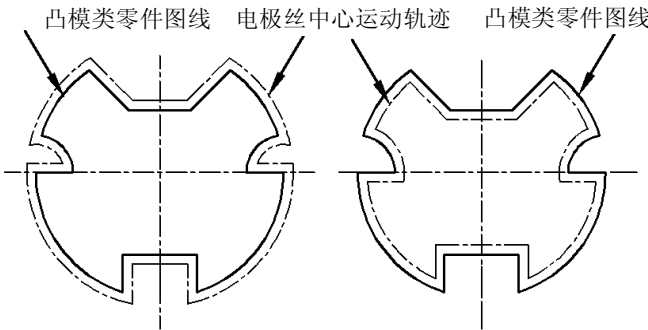


图 8-3 电极丝与工件放电位置关系

线切割加工，在工件的凹角处不能得到“清角”，而是半径等于  $f$  的圆弧。对于形状复杂的精密冲模，在凸凹模设计图样上应注明拐角的过渡圆弧半径  $R'$ 。加工凹角时： $R' \geq \delta + R$ ；加工尖角时： $R' = R - \Delta$ ，其中  $\Delta$  为配合间隙。



(a) 加工凸模类零件图 (b) 加工凹模类零件

图 8-4 电极丝中心轨迹与给定图线的关系

(7) 合理选择表面粗糙度和加工精度线切割加工是由无数的小坑和凸起组成的, 粗细较均匀, 所以在相同的粗细程度下, 耐用度比机械加工的表面好。采用线切割加工时, 工件表面粗糙度的要求可以较机械加工法减低半级到一级; 同时, 线切割加工的表面粗糙度等级提高一级, 加工速度将大幅度地下降。所以, 图样中要合理的给定表面粗糙度。线切割加工所能到达的最好粗糙度是有限的。若无特殊需要, 对表面粗糙度的要求不能太高。同样, 加工精度的给定也要合理, 目前, 绝大多数数控线切割机床的脉冲当量一般为每步 0.001mm, 由于工作台传动精度所限, 加上走丝系统和其他方面的影响, 切割加工精度一般为 6 级左右, 如果加工精度要求很高, 是难于实现的。

(8) 材料的选用和热处理以线切割加工为主要工艺时, 钢的加工路线是: 下料→锻造→退火→机械粗加工→淬火与回火→磨削加工→线切割加工→钳工修整。这种工艺路线的特点之一是工件在加工的全过程中会出现两次较大的变形。经过机械粗加工的整块坯料先经过热处理, 材料在该过程中会产生第一次较大变形, 材料内部的残余应力显著的增加了。热处理后的坯件进行切割加工时, 由于大面积去除金属和切断加工, 会使材料内部残余应力的相对平衡状态受到破坏, 材料又会产生第二次较大变形。如果在加工中发现各处的缝隙变窄了, 原来的电极丝也不能通过, 说明材料内部残存着压应力。这种由残余应力造成的变形有时比机床精度等因素对加工精度的影响还严重, 可使变形达到宏观可见的程度。

## 2. 编制程序

### (1) 冲模间隙和过渡圆半径的确定

1) 合理确定冲模间隙冲模间隙的合理选用, 是关系到模具的寿命及冲制件毛刺大小的关键因素之一。不同材料的冲模间隙一般选择在如下范围:

软的冲裁材料, 如纯铜、软铝、半硬铝、胶木板、红纸板、云母片等, 凸凹模间隙可选为冲裁厚度的 8%~10%。

半硬冲裁材料, 如黄铜、磷铜、青铜、硬铝等, 凸凹模可选为冲材厚度的 10%~15%。

硬质冲裁材料, 如铁皮、钢片、硅钢片等, 凸凹模间隙可选为冲材厚度的 15%~20%。

2) 合理确定过渡圆半径为了提高一般冷冲模具的使用寿命, 在线线、线圆、圆圆相交处, 特别是小角度的拐角上都应加过渡圆。过渡圆的大小可根据冲裁材料厚度、模具形状和要求寿命及冲制件的技术条件考虑, 随着冲制件的增厚, 过渡圆也可相应增大。一般可在 0.1~0.5mm 范围内选用。

对于冲件材料较薄、模具配合间隙很小、冲件又不允许加大的过渡圆, 为了得到良好的凸凹模配合间隙, 一般在凸形拐角处也要加一个过渡圆。因为电极丝加工轨迹会在内拐角处自然加工出半径等于电极丝半径加单面放电间隙的过渡圆。

(2) 计算和编写加工用的程序编程时, 要根据坯料的情况, 选择一个合理的装夹位置, 同时确定一个合理的起割点和切割路线。切割点应取在图形的拐角处, 或在容易将凸尖修去的部位。切割路线主要以防止或减少模具变形为原则, 一般应考虑使靠近装夹这一边的图形最后切割为宜。

(3) 程序输入和试切根据实际情况, 程序可以直接由键盘输入, 或从编程机直接把程序传输到控制器中。对简单有把握的工件可以直接加工, 对尺寸精度要求高、凸凹模配合间隙小的模具, 必须要用薄料试切, 从试切件上可检查其精度和配合间隙。如发现不符合要求, 应及时分析, 找出问题, 修改程序直至合格后才能正式加工模具。这一步骤是避免工件报废



的一个重要环节。

3. 加工前的准备

(1) 机床的检查与调整。加工前，特别是加工精密工件之前，要对机床进行检查与调整。

1) 检查导轮。加工前，应仔细检查导轮 V 形槽是否受损。因导轮与电极丝间的电腐蚀及滑动摩擦等，宜使导轮 V 形槽出现沟槽，这不但会引起电极丝产生抖动，也易被卡断。所以要经常检查和更换。另外应注意去除堆积在 V 形槽内的电蚀产物。

2) 检查保持器。电极丝导向定位采用保持器或辅助导轮时，必须经常检查其工作面是否出现沟槽。如果出现沟槽，应调换保持器工作台面位置或更换辅助导轮。

3) 检查纵、横方向拖板丝杠副间隙。纵、横方向拖板丝杠副的配合间隙，由于频繁往复运动会发生变化，因此在加工微精工件前，要认真检查与调整，符合相应精度标准后，再开始加工。

(2) 选配工作液与检验工作液循环系统。根据线切割机床的类型和加工对象，选择工作液的种类、浓度及电导率等。对于快速走丝系统常用乳化液，浓度为 10% 左右。对于慢速走丝系统，选用去离子水或煤油等。使用去离子水时，应注意调节离子浓度。工作液应保持一定的清洁度，如果发现过脏，应及时更换。然后检查工作液循环系统的工作是否正常，并调节工作液喷流压力。

(3) 电极丝的选择、盘绕和调整。根据加工要求选用一定直径、质量合格的电极丝。盘绕电极丝时应掌握好松紧程度，一般在抗拉强度允许条件下，可绷紧些。采用单丝筒快速走丝机构时，排丝距应大于丝径。采用双机双丝轮结构时，要调整好电极之间的拉力与张力，使之既能将电极丝绷直，又能使电极丝在使用中不被拉断。加工前应校正和调整电极丝对工作台面的垂直度。目前多借助校正工具来调整电极丝对工作台面的垂直度。

(4) 加工基准的准备为了便于线切割加工，根据工件外形和加工要求，应准备相应的校正和加工基准。此基准应尽量与图样的设计基准一致。

1) 以外形为校正加工基准。外形是矩形状的工件，一般需要有两个相互垂直的基准面，并垂直于工件的上下平面，如图 8-5 所示。

2) 以外形为校正基准，内孔为加工基准无论外形是矩形还是圆形或其他异形的工件，都应准备一个与工件的上下面保持垂直的校正基准，此时其中一个内孔可作为加工基准，如图 8-6 所示。在大多数情况下，外形基面在线切割加工前的机械加工中就已制备了。工件淬硬后，若基面变形后很小，可稍加打光便可用线切割加工；若变形较大，则基面应当重新修磨。

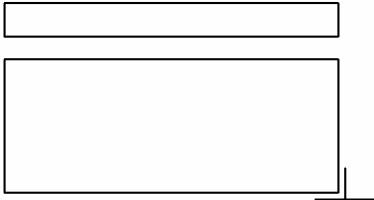


图 8-5 矩形工件的校正与加工基准

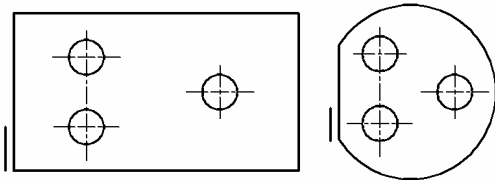


图 8-6 以工件外形为校正基准

#### (5) 加工穿丝孔

1) 切割凸模类零件加工凸模类零件通常由外向内顺序切割。但坯件材料的割断，会在很大程度上破坏材料内部应力平衡状态，使材料变形。因此电极丝最好不由坯件的外部切进去，而是将切割的起始点取在坯件预制的穿丝孔中，如图 8-7 所示。

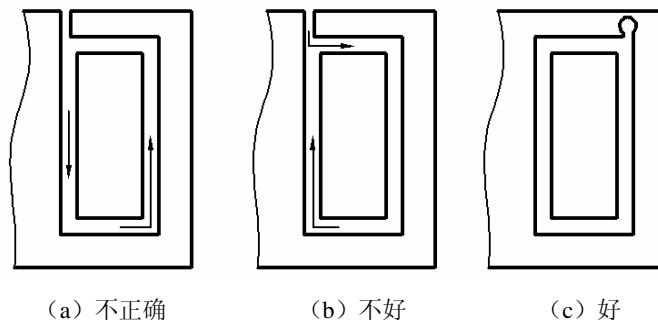


图 8-7 在坯件内部预制穿丝孔

#### 2) 切割孔类工件

① 确定穿丝孔位置。穿丝孔位置选在工件待切割型孔的中心时，操作加工较方便。选在靠近待切割型孔的边角处时，切割无用轨迹最短。选在已知坐标尺寸的交点处时，有利于尺寸的推算。因此，要根据实际情况妥善选取穿丝孔位置。

② 确定穿丝孔的大小。穿丝孔的大小要适宜，一般不宜太小。如果穿丝孔很小，不但增加钻孔困难，而且不便穿丝。太大也会增加工艺上的困难。一般选用直径为 3~10mm 范围内。如预制孔可用车削等方法加工，在允许的范围内可加大直径。

#### 4. 加工

##### (1) 加工时的调整

1) 调整电极丝垂直度。在装夹工件前必须以工作台为基准，先将电极丝垂直度调整好，再根据技术要求装夹坯料。条件许可时最好以角尺刀口再复测一次电极丝对装夹好工件的垂直度。如发现不垂直，说明工件装夹可能有翘起或低头，也可能工件有毛刺或电极丝没挂进导轮，需立即修正。因为模具加工面垂直与否直接影响模具质量。

2) 调整脉冲电源的电参数。脉冲电源的电参数选择是否恰当，对加工模具的表面粗糙度、精度及切割速度起着决定性的作用。电参数与加工工件技术工艺指标的关系是：脉冲宽度增加、脉冲间隔减小、脉冲电压幅值增大（电源电压升高）、峰值电流增大（功率管增多）都会使切割速度提高，但加工的表面粗糙度和精度则会下降；反之则可改善表面粗糙度和提高加工精度。随着峰值电流的增大，脉冲间隔减小，频率提高，脉冲宽度增大，电极丝损耗增大，脉冲波形前沿变陡，电极丝损耗也增大。

3) 调整进给速度。当电参数选好后，再采用第一条程序切割时，要对变频进给速度进行调整，这是保证稳定加工的必要步骤。如果加工不稳，工件表面质量会大大下降，工件的表面粗糙度和精度变差，还会造成断丝。如果电参数选择恰当，同时变频调得比较稳定，才能获得好的加工质量。变频进给跟踪是否处于最佳状态，可用示波器监视工件和电极丝之间的电压波形。

## （2）正式切割加工

经过以上各方面的调整准备工作，可以正式加工模具，一般是先加工固定板、卸料板，后加工凸模，最后加工凹模。凹模加工完毕，先不要放松压板取工件，要把凹模中的废料芯拿开，把切割好的凸模试插入凹模中，看看模具间隙是否符合要求，如过小可再修大一些，如凹模有差错，可根据加工的坐标进行必要的修补。

### 5. 检验

检验内容如下：

#### （1）模具的尺寸精度和配合间隙

落料模：凹模尺寸应是图样零件的基本尺寸；凸模尺寸应是图样零件的基本尺寸减去冲模间隙。

冲孔模：凸模尺寸应是图样零件的基本尺寸；凹模尺寸应是图样零件的基本尺寸加上冲模间隙。

固定板：应与凸模静配合。

卸料板：大于或等于凹模尺寸。

级进模：检查步距尺寸精度。

检验工具：根据不同精度的模具，可选用游标卡尺、内外径千分尺、塞规、投影仪等量具。模具间隙均匀性也可用透光法目测。

#### （2）垂直度检验工具：可采用平板、刀口角尺。

（3）表面粗糙度检验工具：在现场可采用电火花加工表面粗糙度等级比较样板目测或凭手感；在实验室采用轮廓仪检测。

### 8.2.2 合理选择电参数

由于脉冲电源的波形及参数对电火花线切割加工工艺指标的影响是相当大的，所以根据不同的加工对象选择合理的电参数是非常必要的。

（1）要求切割速度高时，当脉冲电源的空载电压高、短路电流大、脉冲宽度大时，则切割速度高。但是切割速度和表面粗糙度的要求是互相矛盾的两个工艺指标，所以，必须在满足表面粗糙度的前提下再追求高的切割速度。而且切割速度还受到间隙消电离的限制，也就是说，脉冲间隔也要适宜。

（2）要求表面粗糙度好时，若切割的工件厚度在 80 mm 以内，则选用分组波的脉冲电源为好。它与同样能量的矩形波脉冲电源相比，在相同的切割速度条件下，可以获得较好的表面粗糙度。

无论是矩形波还是分组波，其单个脉冲能量小，则 Ra 值小。也就是说，脉冲宽度小、脉冲间隔适当、峰值电压低、峰值电流小时，表面粗糙度较小。

（3）要求电极丝损耗小时，多选用前阶梯脉冲波形或脉冲前沿上升缓慢的波形，由于这种波形电流的上升率低，故可以减小丝损。

（4）要求切割厚工件时，选用矩形波、高电压、大电流、大脉冲宽度和大的脉冲间隔，可充分消电离，从而保证加工的稳定性。

若加工模具厚度为 20~60mm，表面粗糙度 Ra 值为 1.6~3.2μm，脉冲电源的电参数可在如下范围内选取：

脉冲宽度 4~20μs  
 脉冲幅值 60~80V  
 功率管数 3~6 个  
 加工电流 0.8~2A  
 切割速度约为 15~40mm<sup>2</sup>/min  
 选择上述的下限参数，表面粗糙度为 Ra=1.6μm，随着参数的增大，表面粗糙度值增至 Ra=3.2μm。

加工薄工件和试切样板时，电参数应取小些，否则会使放电间隙增大。  
 加工厚工件（如凸模）时，电参数应适当取大些，否则会使加工不稳定，模具质量下降。

### 8.3 数控线切割编程方法

数控线切割机床的控制系统是根据人的“命令”控制机床进行加工的。所以必须先将要进行线切割加工工件的图形用线切割控制系统所能接受的“语言”编好“命令”，输入控制系统（控制器），这种“命令”就是线切割程序，编写这种“命令”的工作叫做数控线切割编程，简称编程。

编程方法分为手工编程和微机自动编程。手工编程能使你比较清楚地了解编程所需要进行的各种计算和编程过程。但手工编程的计算工作比较繁杂，费时间。因此，近年来由于微机的飞速发展，线切割目前大都采用微机自动编程。微机有很强的计算功能，大大减轻了编程的劳动强度，并大幅度地减少了编程所需的时间。

线切割程序格式有 3B、4B、5B、ISO 和 EIA 等，使用最多的是 3B 格式，慢走丝多采用 4B 格式，目前也有许多系统直接采用 ISO 代码格式。

#### 8.3.1 3B 代码编程

##### 1. 编程方法介绍

3B 代码编程格式是数控电火花线切割机床上最常用的程序格式，在该程序格式中无间隙补偿，但可通过机床的数控装置或一些自动编程软件，自动实现间隙补偿。具体格式见表 8-3。

表 8-3 3B 程序格式

B	X	B	Y	B	J	G	Z
分隔符号	X 坐标值	分隔符号	Y 坐标值	分隔符号	计数长度	计数方向	加工指令

其中：B——间隔符，它的作用是将 X、Y、J 数码区分开来；  
 X、Y——增量（相对）坐标值；  
 J——加工线段的计数长度；  
 G——加工线段计数方向；  
 Z——加工指令。

当程序输入控制器时，读入第一个 B 后，它使控制器做好接受 X 坐标值的准备，读入第二个 B 后做好接受 Y 坐标值的准备，读入第三个 B 后做好接受 J 值的准备。加工圆弧时，

程序中的 X、Y 必须是圆弧起点对其圆心的坐标值。加工斜线时，程序中的 X、Y 必须是该斜线段终点对其起点的坐标值，斜线段程序中的 X、Y 值允许把它们同时缩小相同的倍数，只要其比值保持不变即可。对于与坐标轴重合的线段，在其程序中的 X 或 Y 值，均不必写出。

#### (1) 坐标系与坐标值 X、Y 的确定

平面坐标系是这样规定的：面对机床操作台，工作台平面为坐标系平面，左右方向为 X 轴，且右方向为正；前后方向为 Y 轴，前方为正。编程时，采用相对坐标系，即坐标系的原点随程序段的不同而变化。加工直线时，以该直线的起点为坐标系的原点，X、Y 取该直线终点的坐标值；加工圆弧时，以该圆弧的圆心为坐标系的原点，X、Y 取该圆弧起点的坐标值，单位为  $\mu\text{m}$ ，坐标值的负号不写。

#### (2) 计数方向 G 的确定

不管是加工直线还是圆弧，计数方向均按终点的位置来确定。加工直线时，终点靠近何轴，则计数方向取该轴，加工与坐标轴成  $45^\circ$  角的线段时，计数方向取 X 轴、Y 轴均可，记作：GX 或 GY，如图 8-8 (a) 所示；加工圆弧时，终点靠近何轴，则计数方向取另一轴，加工圆弧的终点与坐标轴成  $45^\circ$  度时，计数方向取 X 轴、Y 轴均可，记作：GX 或 GY，如图 8-8 (b) 所示。

#### (3) 计数长度 J 的确定

计数长度是在计数方向的基础上确定的。计数长度是被加工的直线或圆弧在计数方向坐标轴上投影的绝对值总和，其单位为  $\mu\text{m}$ 。

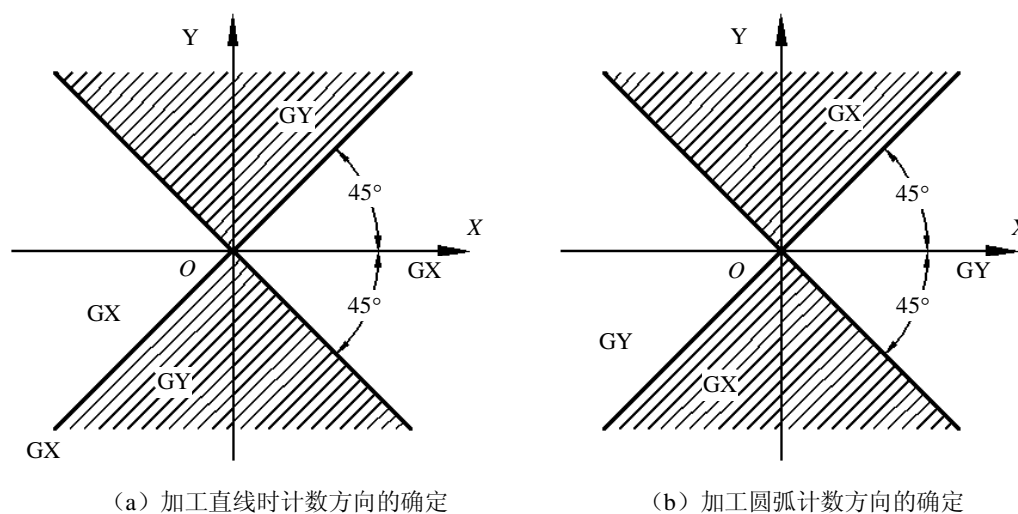


图 8-8 计数方向的确定

例如，在图 8-9 中，加工直线 OA 时计数方向为 X 轴，计数长度为 OB，数值等于 A 点的 X 坐标值；在图 8-10 中加工半径为 500 的圆弧 MN 时，计数方向为 X 轴，计数长度为  $500 \times 3 = 1500$ 。

#### (4) 加工指令 Z 的确定

加工直线时有四种加工指令：L1，L2，L3，L4。如图 8-11 (a) 所示，当直线在第 I 象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴）时，加工指令记作 L1；当处于第 II 象限（包括 Y 轴而不包

括 Y 轴) 时, 记作 L2; L3、I4 以此类推。

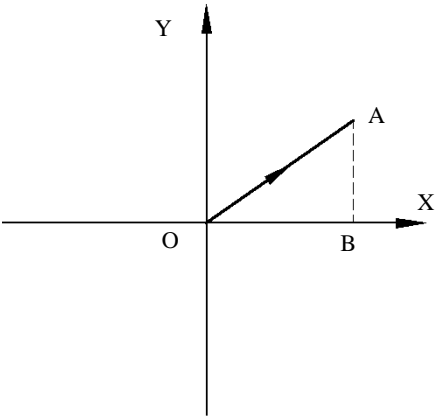


图 8-9 加工直线时计数长度的确定

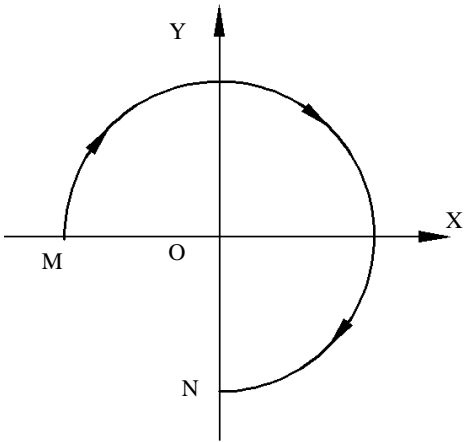
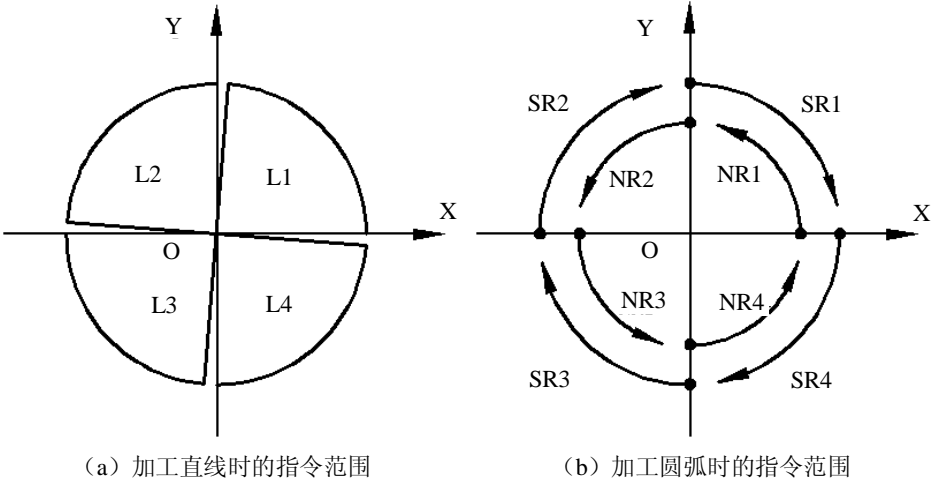


图 8-10 加工圆弧时计数长度的确定

加工顺时针圆弧时有四种加工指令: SR1、SR2、SR3、SR4。如图 8-11 (b) 所示, 当圆弧的起点在第 I 象限 (包括 Y 轴而不包括 X 轴) 时, 加工指令记作 SR1; 当起点在第 II 象限 (包括 X 轴而不包括 Y 轴) 时, 记作 SR2; SR3、SR4 以此类推。

加工逆时针圆弧时有四种加工指令: NR1、NR2、NR3、NR4。如图 8-11 (b) 所示, 当圆弧的起点在第 I 象限 (包括 X 轴而不包括 Y 轴) 时, 加工指令记作 NR1; 当起点在第 II 象限 (包括 Y 轴而不包括 X 轴) 时, 记作 NR2; NR3、NR4 以此类推。



(a) 加工直线时的指令范围 (b) 加工圆弧时的指令范围

图 8-11 加工指令的确定范围

### (5) 编程实例

**【例 8-1】**图 8-12 为典型零件, 用 3B 格式编写该零件的线切割加工程序。

- 1) 确定加工路线起始点为 A, 加工路线按照图中所标的①②…⑧段的顺序进行。①段为切入, ⑧段为切出, ②~⑦段为切割零件轮廓。
- 2) 分别计算各段曲线的坐标值。

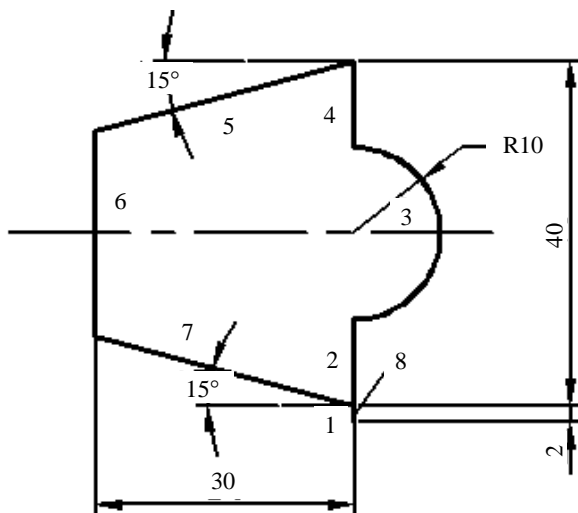


图 8-12 编程零件示例

3) 按 3B 格式编写程序清单, 程序如下:

001.3b; 扩展名为. 3b 的文件名

B0 B2000 B2000 GY L2

B0 B10000 B10000 GY L2

B0 B10000 B20000 GX NR4

B0 B10000 B10000 GY L2

B30000 B8040 B30000 GX L3

B0 B23920 B23920 GY L4

B30000 B8040 B30000 GX L4

B0 B2000 B2000 GY 14

MJ; 结束语句

## 2. 有公差尺寸的编程算法

根据大量的统计表明, 加工后的实际尺寸大部分是在公差带的中值附近。因此, 对标注有公差的尺寸, 应采用中差尺寸编程。中差尺寸的计算公式为:

$$\text{中差尺寸} = \text{基本尺寸} + \frac{\text{上偏差} + \text{下偏差}}{2}$$

【例 8-2】槽  $32_{+0.02}^{+0.04}$  mm 的中间尺寸为:

$$\left[ 32 + \left( \frac{0.04 + 0.02}{2} \right) \right] \text{mm} = 32.03 \text{mm}$$

【例 8-3】半径为  $10_{-0.02}^0$  mm 的中间尺寸为:

$$\left[ 10 + \left( \frac{0 - 0.02}{2} \right) \right] \text{mm} = 9.99 \text{mm}$$

## 8.3.2 4B 程序格式编制

### 1. 编程方法

4B 程序格式是有间隙补偿的程序, 其格式见表 8-4。

表 8-4 4B 程序格式

B	X	B	Y	B	J	B	R	G	D 或 DD	Z
分隔 符号	X 坐 标值	分隔 符号	Y 坐 标值	分隔 符号	计数 长度	分隔 符号	圆弧 半径	计数 方向	曲线 形状	加工 指令

与 3B 程序格式相比, 4B 程序格式多了两项程序字。

(1) 圆弧半径 R, 通常是图形尺寸已知的圆弧半径, 若加工图形中出现尖角时, 取圆弧半径 R 大于间隙补偿量 f 的圆弧过渡。

(2) 曲线形式 D 或 DD, 凸圆弧用 D 表示, 凹圆弧用 DD 表示。与 3B 程序格式相比, 4B 格式, 程序有间隙补偿, 使加工具有很大灵活性。其补偿过程是通过数控装置偏移计算完成的。在补偿过程中: 把圆弧半径减小, 称为负补偿。在图 8-13 中, 当输入凸圆弧 DE 加工程序以后(程序中填入 D), 机床能自动把它变成 D ‘E’ 程序(正补偿)或变成 D “E” 的程序(负补偿)。补偿过程中直线段尺寸不变, 只要改变图形中的圆弧段加工程序, 就可得到不同尺寸零件 D ‘E’ F ‘G’ H ‘I’ 和 D “E” F “G” H “I”。4B 程序格式可满足模具零件的一些配合要求, 在同一加工程序的基础上能完成凸模、凹模、卸料板等加工。

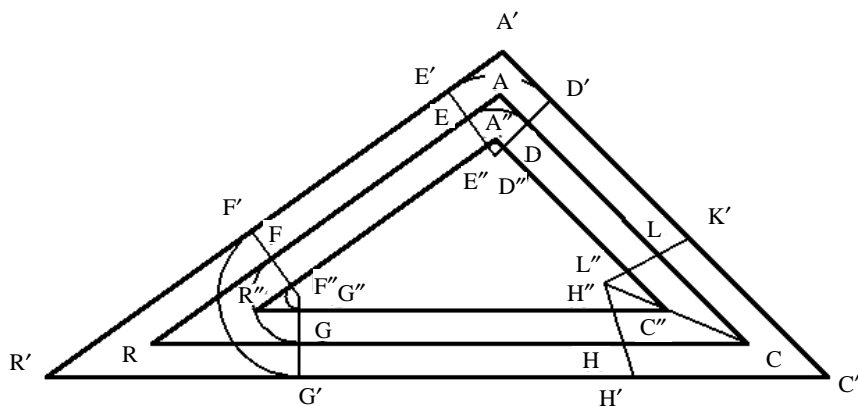


图 8-13 间隙补偿示意图

## 2. 间隙补偿程序的引入、引出程序段

利用间隙补偿功能, 可以用特殊的编程方式来编制不加过渡圆弧的引入、引出程序段。若图形的第一条加工程序加工的是斜线, 引入程序段指定的引入线段必须与该斜线垂直; 若是圆弧, 引入程序段指定的引入线段应沿圆弧的径向进行(如图 8-14 的引入线段 OA)。数控装置将引入、引出程序段的计数长度 J 修改为  $J-f$ , 这样段就能方便地实现引入、引出程序段沿规定方向增加或减少 f 进行自动补偿。编程时, 在引入、引出程序段中可以不考虑偏移量(间隙补偿量 f)。

## 3. 编程实例

【例 8-4】图 8-14 为凸模设计图, 图中的所有尺寸都为名义尺寸, 现要求凹模按凸模配作, 保证双边配合间隙  $Z=0.004\text{mm}$ , 试编制凸模和凹模的电火花线切割加工程序(电极丝直径为  $0.12\text{mm}$  的钼丝, 单边放电间隙为  $0.01\text{mm}$ )。



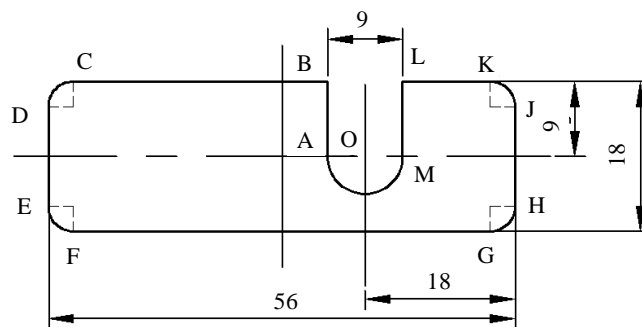


图 8-14 凸模设计图

(1) 编制凸模加工程序建立坐标系并计算出尺寸后, 选取穿丝孔为 O 点, 加工顺序为:

O → A → B → C → D → E → F → G → H → I → ... → G → K → L → M → A → O

确定间隙补偿量:  $f_{凸} = (0.12/2 + 0.01) \text{ mm} = 0.07 \text{ mm}$ 。

加工前将间隙补偿量输入数控装置。图形上 B 点、L 点处需加过渡圆弧, 其半径应大于间隙补偿量 (取  $r = 0.1 \text{ mm}$ ), 凸模加工程序清单见表 8-5。

表 8-5 凸模加工清单

序号	B	X	B	Y	B	J	B	R	G	D (DD)	Z	备注
1	B		B		B	4500	B		GX		L3	引入程序段
2	B		B		B	8900	B		GY		L2	
3	B	100	B		B	100	B	100	GX	D	NR1	过渡圆弧
4	B		B		B	30400	B		GX		L3	
5	B		B		B	30000	B	3000	GY	D	NR2	
6	B		B	3000	B	12000	B		GY		L4	
7	B	3000	B		B	3000	B	3000	GX	D	NR3	
8	B		B		B	50000	B		GX		L1	
9	B		B		B	3000	B	3000	GY	D	NR4	
10	B		B	3000	B	12000	B		GY		L2	
11	B	3000	B		B	3000	B	3000	GX	D	NR1	
12	B		B		B	10400	B		GX		L3	
13	B		B	100	B	100	B	100	GY	D	NR2	过渡圆弧
14	B		B		B	8900	B		GY		L4	
15	B	4500	B		B	900	B	4500	GY	DD	SR4	
16	B		B		B	4500	B		GX		L1	引出程序段

(2) 编制凹模加工程序因为 4B 程序格式有间隙补偿, 所以凹模加工程序只需修改引入、引出程序段, 其他程序段与凸模加工程序段相同。

加工凹模时的间隙补偿量为:

$$f_{凹} = (0.12/2 + 0.01 - 0.04/2) \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$$

8.3.3 ISO 代码数控程序编制

1. 程序段格式和程序格式

(1) 程序段格式程序段是由若干个程序字组成的，其格式如下：

N        G        X        Y

字是组成程序段的基本单元，一般都是由一个英文字母加若干位十进制数字组成（如 X4000），这个英文字母成为地址字符。不同的地址字符表示的功能也不一样（见表 8-6）。

1) 顺序号

位于程序段之首，表示程序的序号，后续数字 2~4 位。如 N03，N0010。

2) 准备功能

G 准备功能，是建立机床或控制系统工作方式的一种指令，其后续有两位正整数，即 G00~G99。

3) 尺寸字

尺寸字在程序段中主要是用来指定电极丝运动到达的坐标位置。电火花线切割加工常用的尺寸字有 X、Y、U、V、A、I、J 等。尺寸字的后续数字在要求代数符号时应加正负号，单位为  $\mu\text{m}$ 。

表 8-6 地址字符表

功能	地址	意义
顺序字	N	程序段号
准备功能	G	指令动作方式
尺寸字	X、Y、Z	坐标轴移动指令
	A、B、C、U、V	附加轴移动指令
	I、J、K	圆弧中心坐标
锥度参数字	W、H、S	锥度参数指令
进给速度	F	进给速度指令
刀具速度	T	刀具编号指令
辅助功能	M	机床开/关及程序调用指令
补偿字	D	间隙及电极丝补偿指令

4) 辅助功能 M

由 M 功能指令及后续的两为数字组成，即 M00~M99，用来指令机床辅助装置的接通或断开。

(2) 程序格式

一个完整的加工程序是由程序名、程序的主体（若干程序段）、程序结束指令组成，如：

W10  
N01 G92 X0 Y0  
N02 G01 X5000 Y5000  
N03 G01 X2500 Y5000

N04 G01 X2500 Y2500

N05 G01 X0 Y0

N06 M02

### 1) 程序名

程序名由文件名和扩展名组成。程序的文件名可以用字母和数字表示，最多可用 8 个字符，如 W10，但文件名不能重复。扩展名最多用 3 个字母表示，如 W10.CUT。

### 2) 程序的主体

程序的主体是由若干程序段组成，在程序的主体中又分为主程序和子程序。一段重复出现的、单独组成的程序，称为子程序。子程序取出命名后单独储存，即可重复调用。子程序常应用在某个工件上有几个相同型面的加工中。调用子程序所用的程序，称为主程序。

### 3) 程序结束指令 M02

M02 指令安排在程序的最后，单列一段。当数控系统执行到 M02 程序段时，就会自动停止进给并使数控系统复位。

## 2. ISO 代码及其编程

如表 8-7 所示是电火花线切割数控机床常用的 ISO 代码。

表 8-7 电火花线切割数控机床常用 ISO 代码

代码	功能	代码	功能
G00	快速定位	G55	加工坐标系 2
G01	直线插补	G56	加工坐标系 3
G02	顺圆插补	G57	加工坐标系 4
G03	逆圆插补	G58	加工坐标系 5
G05	X 轴镜像	G59	加工坐标系 6
G06	Y 轴镜像	G80	解除感知
G07	X、Y 轴交换	G82	半径移动
G08	X 轴镜像、Y 轴镜像	G84	微弱放电找正
G09	X 轴镜像、X、Y 轴交换	G90	绝对尺寸
G10	Y 轴镜像、X、Y 轴交换	G91	增量尺寸
G11	X 轴镜像、Y 轴镜像、X、Y 轴交换	G92	定起点
G12	消除镜像	GM00	程序暂停
G40	取消间隙补偿	M02	程序结束
G41	左偏间隙补偿	M05	接触感知解除
G42	右偏间隙补偿	M96	主程序调用文件程序
G50	消除锥度	M97	主程序调用文件结束
G51	锥度左偏	W	下导轮到工作台面高度
G52	锥度右偏	H	工件厚度
G54	加工坐标系 1	S	工作台面到上导轮高度

#### (1) 快速定位指令 G00

在机床不加工情况下，G00 指令可使指定的某轴以最快速度移动到指定位置，其程序格式为：G00 X Y

注意：程序段中有了 G01 或 G02 指令，则 G00 指令无效。

#### (2) 直线插补指令 G01

该指令可使机床在各个坐标平面内加工任意斜率直线轮廓和用直线段逼近曲线轮廓，其程序段格式为：G01 X Y

目前，可加工锥度的电火花线切割数控机床具有 X、Y 坐标轴及 U、V 附加轴工作台，其程序段格式为：G01 X Y U V

#### (3) 圆弧插补指令 G02/G03

G02 为顺时针插补圆弧指令，G03 为逆时针插补圆弧指令。用圆弧插补指令编写的程序段格式为：G02 X\_Y\_I\_J\_；G03 X\_Y\_I\_J\_

程序段中的 X、Y 分别表示圆弧终点坐标；I、J 分别表示圆心相对圆弧起点的在 X、Y 方向的增量尺寸。

#### (4) 指令 G90、G91、G92

##### 1) G90 为绝对尺寸指令

该指令表示该程序中的编程尺寸是按绝对尺寸给定的，即移动指令终点坐标值 X、Y 都是以工件坐标系原点（程序的零点）为基准来计算的。

##### 2) G91 为增量尺寸指令

该指令表示程序段中的编程尺寸是按增量尺寸给定的，即坐标值均以前一个坐标位置作为起点来计算下一点位置值。3B、4B 程序格式均按此方法计算坐标点。

##### 3) G92 为定起点坐标指令

G92 指令中的坐标值为加工程序的起点的坐标值。其程序格式：G92X Y

【例 8-5】加工图 8-15 中的零件，按图样尺寸编程。

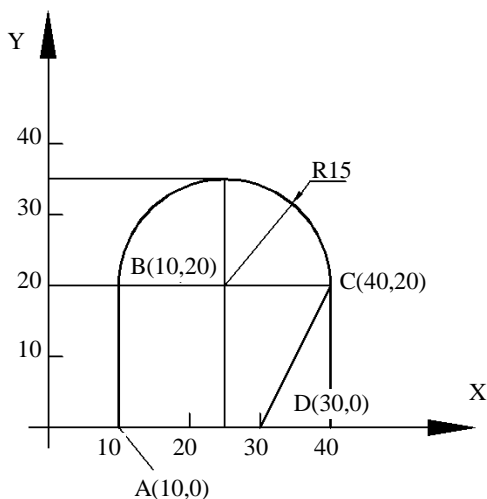


图 8-15 插补

用 G90 指令编程:

```
A1;
N01 G92 X0 Y0;
N02 G01 X10000 Y0;
N03 G01 X1000 Y20000;
N04 G02 X40000 Y20000;
N05 G01 X30000 Y0;
N06 G01 X0 Y0;
N07 M02;
```

用 G91 指令编程:

```
A2;
N01 G92 X0 Y0;
N02 G91;
N03 G01 X10000 Y0;
N04 G02 X0 Y20000;
N05 G01 X30000 Y0 I15000 J0;
N06 G01 X-10000 Y-20000;
N07 G01 X-30000 Y0;
N08 M02;
```

程序名

确定加工程序起点 O 点

O—A

A—B

B—C

C—D

D—O

程序名

确定加工程序起点 O 点

以下为增量尺寸编程

(5) 镜像及交换指令 G05、G06、G07、G08、G10、G11、G12

G05 为 X 轴镜像, 函数关系式:  $X = -X$

G06 为 Y 轴镜像, 函数关系式:  $Y = -Y$

在图 8-16 中, 直线 OA 对 X 轴镜像为 OA', 对 Y 轴镜像为 OA'。在加工模具零件时, 常遇到所加工零件的图形是对称的 (如多孔凹模)。例如, 编制图 8-17 中的 ABC 和 A'B'C' 的加工程序时, 可以先编制其中一个, 然后通过镜像交换指令即可加工。

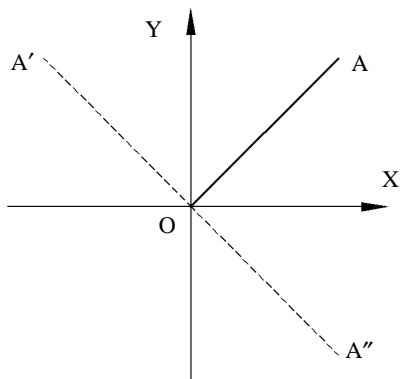


图 8-16 X 轴、Y 轴镜像

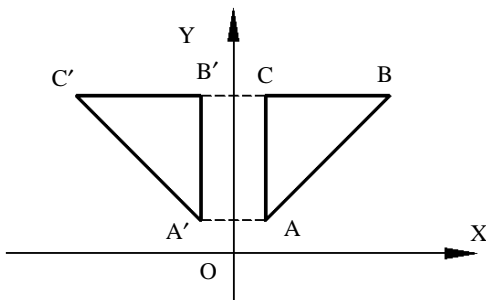


图 8-17 G05 指令

G12 为消除镜像指令。凡有镜像交换指令的程序, 都需用 G12 作为该程序的消除指令。

(6) 间隙补偿指令 G40、G41、G42

G41 为左偏补偿指令, 其程序段格式为: G41 D

G42 为右偏补偿指令，其程序段格式为：G42 D

程序段中的 D 表示间隙补偿量，其计算方法与前面的方法相同。

注意：左偏、右偏是沿加工方向看，电极丝在加工图形左边为左偏；电极丝在右边为右偏，如图 8-18 所示。

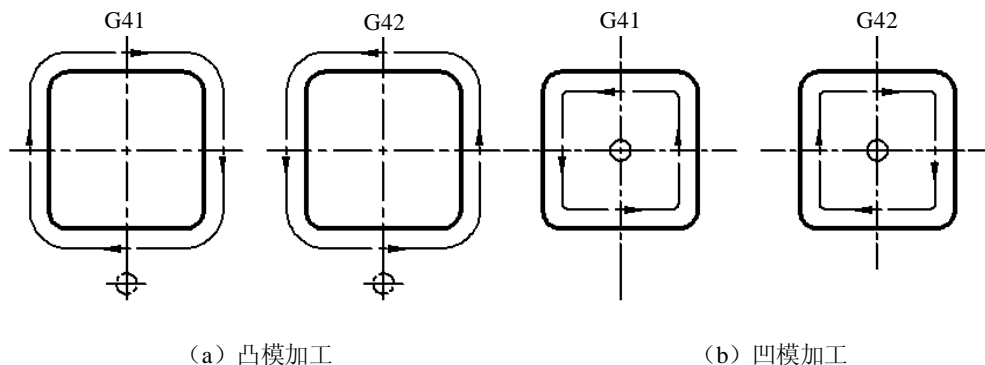


图 8-18 间隙补偿指令

#### (7) 锥度加工指令 G50、G51、G52

在目前的一些电火花线切割数控机床上，锥度加工都是通过装载上导轮部位的 U、V 附加轴工作台实现的。加工时，控制系统驱动 U、V 附加轴工作台，使上导轮相对于 X、Y 坐标轴工作台移动，以获得所要求的锥角。用此方法可以解决凹模的漏料问题。

G51 为锥度左偏指令，即沿走丝方向看，电极丝向左偏离。顺时针加工，锥度左偏加工的工件为上大下小；逆时针加工，左偏时工件上小下大。锥度左偏指令的程序格式为：

G51 A

G52 为锥度右偏指令，用此指令顺时针加工，工件为上小下大；逆时针加工，工件上大下小。锥度右偏指令的程序格式为：

G52 A

程序段中：A 表示锥度值；G50 为取消锥度指令。

例如，图 8-19 中的凹模锥度加工指令的程序格式为“G51 A0.5”。加工前还需输入工件及工作台参数指令 W、H、S。

#### 3. 编程实例

【例 8-6】如图 8-20 的落料凹模的加工中，电极丝直径为 0.18mm，单边放电间隙为 0.01mm，图中的凹模尺度为计算后平均尺寸。试编制其加工程序。

建立坐标系并按图样平均尺寸计算轮廓交点坐标及圆心坐标。间隙补偿量为：

$$f=r+\delta=(0.18/2+0.01)\text{ mm}=0.1\text{ mm}$$

经计算为 (8.456, 23.526)。选 O 点为加工起点，其加工顺序为：

O→A→B→C→D→A→O

加工程序如下：

G92 X0 Y0;

G41 D100;

应放于切入线之前

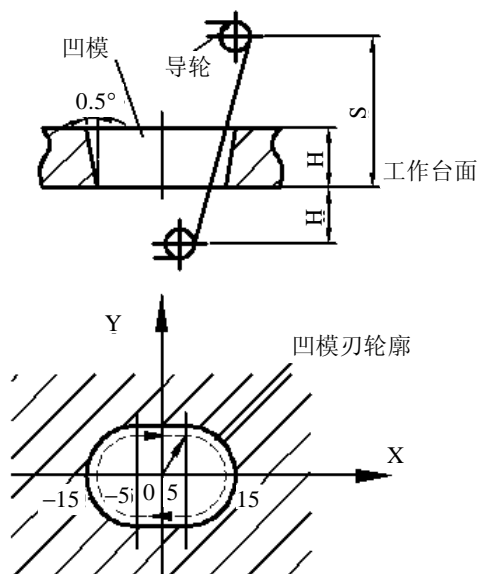


图 8-19 凹模锥度加工

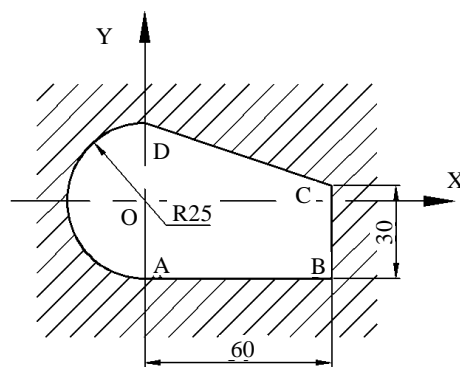


图 8-20 凹模加工

G01 X60000 Y-25000;  
 G01 X60000 Y5000;  
 G01 X8456 Y23526;  
 G03 X0 Y-25000 I-8456 J-23526;  
 G40;  
 G01 X0 Y0;  
 M02;

放于退出线之前

## 8.4 数控线切割加工实例

以下各例题所提供的参考程序清单为采用手工编程方式。

【例 8-7】如图 8-21 所示的某正五角星图形，边长为 40mm，线切割加工时无须考虑电极丝半径及放电间隙。加工坐标原点无需制定。

工艺分析：使用快速走丝线切割加工，穿丝点和推出点均设在 (X0, Y0)，长度尺寸计算时作圆整处理。

程序清单为 (3B 格式编程)

B20000 B0 B20000 GX L1  
 B32500 B23500 B32500 GX L1  
 B32500 B23500 B32500 GX L4  
 B12500 B38000 B38000 GY L2  
 B32500 B23500 B32500 GX L1

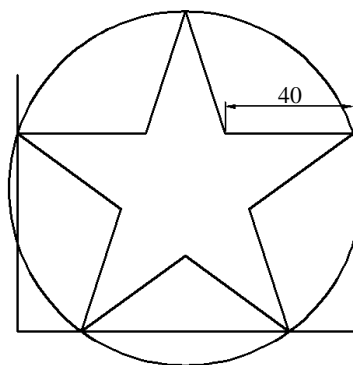


图 8-21 工件图样

```

B40000 B0      B40000 GX L3
B12500 B38000 B38000 GY L2
B12500 B38000 B38000 GY L3
B40000 B0      B40000 GX L3
B32500 B23500 B32500 GX L4
B12500 B38000 B38000 GY L3
B20000 B0      B20000 GX L3

```

DD

注意事项:

3B 格式及待补偿功能的 3B 格式（也称 4B 格式）程序结构简单，使用的控制器功能有限，而且这种格式只能支持快走丝的线切割，从当前的线切割发展来看，已经不是发展的方向，将可能被淘汰。但是部分旧机器还在使用，而部分新机型也可以支持 3B 格式，目前可应用的机床还比较广泛。3B 格式编程，其数值的计算和程序的编写工作量都要比使用 ISO 格式编程大得多。

【例 8-8】如图 8-22 所示的某凹模图形，图形为长方形，4 个角有圆角突出。无需指定加工坐标原点。使用直径为 0.16mm 的钼丝进行加工，单边放电间隙为 0.02 mm，可以得到补偿值为 0.1 mm，穿丝点设在中心位置，即 (0, 0)，顺时针方向切割。

程序清单为（3B 格式编程）:

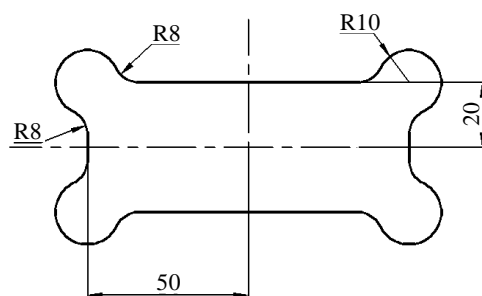


图 8-22 工件图样

```

B0      B19900      B19900 GY L4
B33875 B0          B33875 GX L1
B0      B8100       B4500  GY SR1
B8868  B4400       B24268 GX NR3
B3600  B7256       B7256  GY SR3
B2      B7751       B7751  GY L1
B8100  B0          B4500  GX SR2
B4400  B8868       B24268 GY NR4
B7256  B3600       B7256  GX SR4
B67751 B1          B67751 GX L2
B0      B8100       B4500  GY SR3

```



B8868	B4400	B24268	GX	NR1
B3600	B7256	B7256	GY	SR1
B2	B7751	B7751	GY	L3
B8100	B0	B4500	GX	SR4
B4400	B8868	B24268	GY	NR2
B7256	B3600	B7256	GX	SR2
B33875	B1	B33875	GX	L4
B0	B19900	B19900	GY	L2

MJ

注意事项:

在线切割加工中,一定要记住在大部分情况下要加上补偿值,这个补偿值等于钼丝的半径加上单边放电间隙。对于需要进行补偿的线切割加工,可以使用带补偿的 3B 格式(4B 格式),在 3B 格式程序中加入补偿方向,并在机床上设定补偿值。这样就可以使用图样标注尺寸直接编程。

【例 8-9】如图 8-23 所示的样板,进行数控线切割加工。其加工坐标原点为 X: 左边线; Y: 下边线。

工艺分析: 此工件加工暂不考虑补偿,初始切割长度为 5mm,穿丝点及退出点均设置在(38, 0)。采用 ISO 指令格式编程。

程序清单为:

```

N10 T84 T86 G90 G92 X38.000 Y0.000
N12 G01 X33.000 Y0.000
N14 G01 X5.000 Y0.000
N16 G02 X0.000 Y5.000 I0.000 J5.000
N18 G01 X0.000 Y15.000
N20 G01 X47.500 Y80.000
N22 G01 X55.000 Y80.000
N24 G01 X40.000 Y7.000
N26 G01 X33.000 Y0.000
N28 G01 X38.000 Y0.000
N30 T85 T87 M02

```

注意事项:

线切割的 ISO 指令中没有 F 指令,即在插补指令后不需指定进给 F,其切削的进给速度由加工工件的高度、切割电极丝、切割电流参数等决定。线切割加工工件一般要有预钻孔作为穿丝点。编程时应根据预钻孔的位置设定程序的起始点,同时使穿丝点与起始点的距离不要太长。

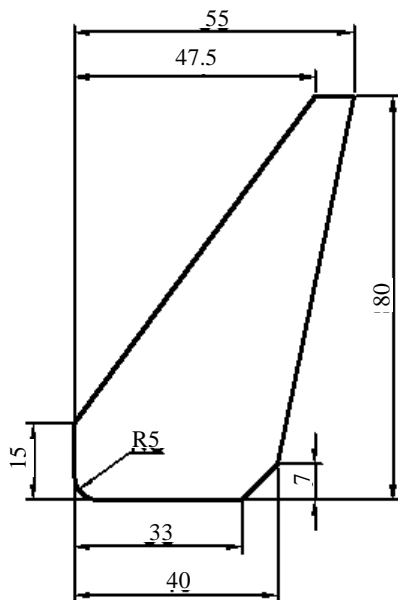


图 8-23 工件图样

## 本章小结

本章主要介绍了电火花线切割加工的设备，工件的装夹及找正，线切割工艺特点，3B 格式、4B 格式和 ISO 格式线切割程序的编制方法。要求读者了解电火花加工的工艺特点，能够正确的进行工作的装夹及工件的找正，选择合适的电极丝及加工参数，并根据零件形状，用 3B 程序及 ISO 程序进行切割程序的编制及零件的加工。

### 8.5 数控线切割实训

#### 实训课题 凸凹模数控线切割加工工艺与程序编制

##### 一、实训目的

1. 练习数控线切割工艺编制方法；
2. 练习数控线切割程序编制方法；
3. 练习线切割机床的基本操作。

##### 二、实训内容

编制加工图 8-24 所示凸凹模（图示尺寸是根据刃口尺寸公差及凸凹模配合间隙计算出的平均尺寸）的数控线切割程序。电极丝直径为  $\phi 0.1\text{mm}$  的钼丝，单面放电间隙为  $0.01\text{mm}$ 。

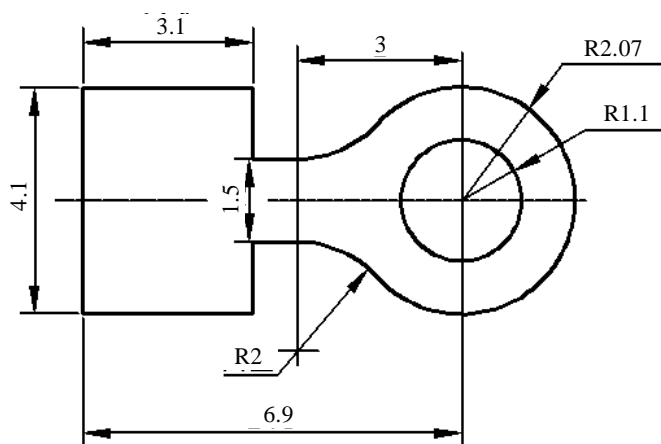


图 8-24 凸凹模

##### 三、实训要求

1. 认识数控线切割机床操作面板与按键功能；
2. 认识显示界面；
3. 零件安装定位；
4. 穿丝；
5. 程序输入；
6. 零件加工。

四、实训时间

每人两小时。

五、实训报告要求

- 1. 工艺分析；
- 1. 确定计算坐标系；
- 2. 确定补偿距离；
- 3. 计算交点坐标，填表 8-8。

表 8-8 凸凹模轨迹图形各段交点及圆心坐标

交点	X	Y	交点	X	Y	圆心	X	Y
B								
C								
D								
E								

4. 编写程序单

- (1) 填写 3B 格式切割程序单，如表 8-9 所示。

表 8-9 凸凹模线切割程序

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	说明
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									

- (2) 编制 ISO 格式切割程序。

## 练习题

### 一、填空题

1. 线切割加工中常用的电极丝有( ), 其中( )和( )应用快速走丝线切割, 而( )应用慢速走丝线切割。
2. 线切割加工时, 工件的装夹方式有( )装夹, ( )装夹, ( )装夹, ( )装夹。

### 二、判断题

1. 脉冲宽度及脉冲能量越大, 则放电间隙越小。( )
2. 目前线切割加工时应用较普遍的工作液是煤油。( )

### 三、选择题

1. 电火花线切割加工的特点有: ( )。  
A. 不必考虑电极损耗                      B. 不能加工精密细小, 形状复杂的工件  
C. 不需要制造电极                      D. 不能加工盲孔类和阶梯形面类工件
2. 电火花线切割加工的对象有: ( )。  
A. 任何硬度, 高熔点包括经热处理的钢和合金                      B. 成形刀, 样板  
C. 阶梯孔, 阶梯轴                      D. 塑料模中的型腔
3. 对于线切割加工, 下列说法正确的有: ( )。  
A. 线切割加工圆弧时, 其运动轨迹是折线  
B. 线切割加工斜线时, 其运动轨迹是斜线  
C. 加工斜线时, 取加工的终点为编程坐标系的原点  
D. 加工圆弧时, 取圆心为编程坐标系的原点
4. 线切割加工数控程序编制时, 下列计数方向的说法正确的有: ( )。  
A. 斜线终点坐标 (Xe, Ye), 当|Ye|>|Xe|时, 计数方向取 GY  
B. 斜线终点坐标 (Xe, Ye), 当|Xe|>|Ye|时, 计数方向取 GX  
C. 圆弧终点坐标 (Xe, Ye), 当|Xe|>|Ye|时, 计数方向取 GX  
D. 圆弧终点坐标 (Xe, Ye) 当|Xe|<|Ye|时, 计数方向取 GY
5. 线切割加工编程时, 计数长度应 ( )。  
A. 以  $\mu\text{m}$  为单位                      B. 以 mm 为单位  
C. 写足四为数                      D. 写足五为数                      E. 写足六位数
6. 加工斜线 OA, 设起点 O 在切割坐标原点, 终点 A 的坐标为  $X_e=17\text{mm}$ ,  $Y_e=5\text{mm}$ , 其加工程序为 ( )。  
A. B17 B5 B17 Gx L1                      B. B17000 B5000 B17000 Gx L1  
C. B17000 B5000 B17000 Gy L1                      D. B17000 B5000 B5000 Gy L1  
E. B17 B5 B17000 Gx L1
7. 加工半圆 AB, 切割方向从 A 到 B, 起点坐标 A (-5, 0), 终点坐标 B (5, 0), 其加工程序为 ( )。

- A. B5000 B0 B10000 Gx SR2                      B. B5000 B0 B10000 Gy SR2  
C. B5000 B0 B1000 Gy SR2                      D. BB5000B01000 Gy SR2  
E. B5 B0 B10000 Gy SR2

#### 四、简答题

1. 电火花切削加工其常用的装夹方法有哪些？
2. 如何选择合适的电极丝？
3. 为什么要调整电极丝的位置？如何正确调整？

#### 五、编程题

1. 若要加工如图 8-25 所示斜线段，终点 A 的坐标为  $X_e=11.41\text{mm}$ ， $Y_e=8.58\text{mm}$ ，试用 3B 格式编制其线切割程序。

2. 加工如图 8-26 所示圆弧，A 为此逆圆弧的起点，B 为终点。试用 3B 格式编制线切割程序。

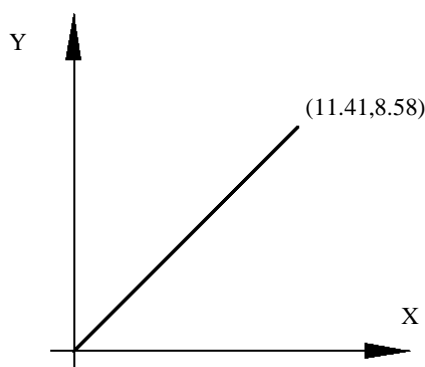


图 8-25

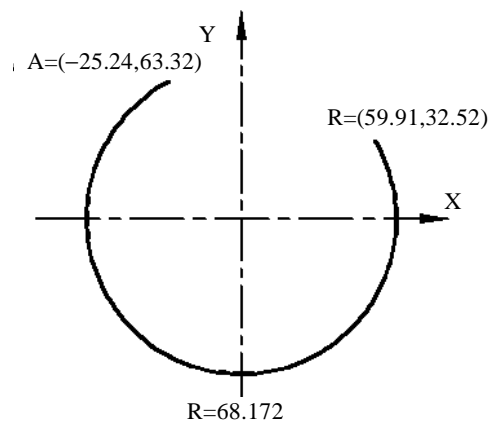


图 8-26

3. 加工如图 8-27 所示凹模零件，电极丝为  $\Phi 0.2$  的钼丝，单边放电间隙为  $0.01\text{mm}$ 。试用 ISO 编写线切割程序。

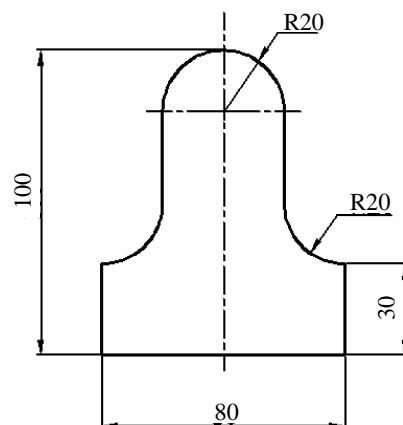


图 8-27

## 参 考 文 献

1. 杨伟群. 数控工艺培训教程. 北京: 清华大学出版社, 2004
2. 周虹. 数控加工工艺与编程. 北京: 人民邮电出版社, 2004
3. 关雄飞. 数控机床与编程. 北京: 清华大学出版社, 2006
4. 袁锋. 数控车床培训教程. 北京: 机械工业出版社, 2005
5. 宋放之. 数控工艺培训教程. 北京: 清华大学出版社, 2003
6. 蒋建强. 数控加工技术与实训. 北京: 电子工业出版社, 2003
7. 张安全主编. 数控加工与编程. 北京: 中国轻工业出版社, 2005
8. 韩鸿鸾, 孙翰英主编. 数控编程. 济南: 山东科学技术出版社, 2005
9. 雷保静主编. 数控加工工艺与编程. 北京: 中国林业出版社、北京希望电子出版社, 2006
10. 詹华西. 加工与编程. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004
11. 王爱玲主编. 数控机床加工工艺. 北京: 机械工业出版社, 2006
12. 黄康美. 数控加工实训教程. 北京: 电子工业出版社, 2004
13. 蔡兰, 王霄主编. 数控加工工艺学. 北京: 化学工业出版社, 2005
14. 顾京. 数控加工编程及操作. 北京: 高等教育出版社, 2003
15. 韩鸿鸾, 李建刚主编. 数控铣床和加工中心编程与操作实例. 北京: 中国电力出版社, 2006
16. 蒋建强. 数控编程技术 200 例. 北京: 科学出版社, 2004
17. 陈洪涛. 数控编程与工艺. 北京: 高等教育出版社, 2003
18. 赵长明, 刘万菊主编程. 数控加工工艺与设备. 北京: 高等教育出版社, 2003
19. 华中数控公司. 华中世纪星车削编程手册
20. 华中数控公司. 华中世纪星铣削编程手册
21. 西门子公司. SINUMERIK 802D 操作编程-车床用户手册
22. 西门子公司. SINUMERIK 802D 操作编程-铣床用户手册
23. FANUC 0i 操作说明书