

21世纪新编规划教材·机电一体化

# 数控机床 编程与操作

何亚飞 主 编  
王振华 副主编  
金福吉 周维泉 审 校

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House  
[www.cfph.com.cn](http://www.cfph.com.cn)



北京希望电子出版社  
Beijing Hope Electronic Press  
[www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn)

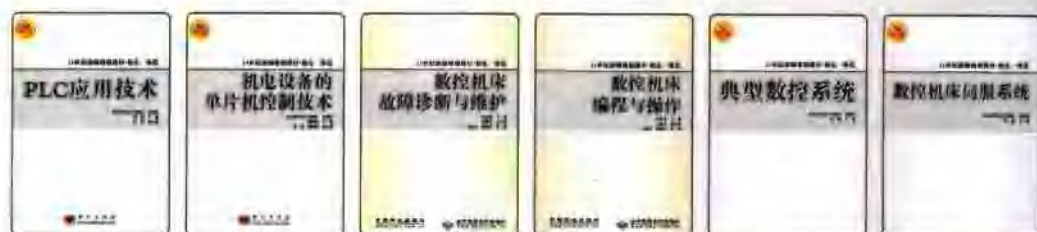
总策划：北京希望电子出版社  
责任编辑：王玉玲 刘开运 何 蕊  
封面设计：梁运丽

## 本书特点

语言简洁  
实例典型  
通俗易懂

## 本书适用于

高等院校、高等职业技术学校相关专业师生  
相关工程技术人员



需要本书或技术支持的读者，请与北京清河6号信箱（邮编100085）发行部联系

市场部电话：010-82702660, 62978181

传真：010-82702698

技术支持电话：010-82978181转528

E-mail: tbd@bhp.com.cn

010-82978181转503(教材编室)

投稿: textbook@bhp.com.cn

北京希望电子出版社网址: www.bhp.com.cn

ISBN 7-5038-4099-4



9 787503 840999 >

ISBN 7-5038-4099-4

定价：22.00元

21世纪新编规划教材·机电一体化

# 数控机床 编程与操作

何亚飞 主 编  
王振华 副主编  
金福吉 周维泉 审 校

中国林业出版社  
China Forestry Publishing House  
[www.cfph.com.cn](http://www.cfph.com.cn)



北京希望电子出版社  
Beijing Hope Electronic Press  
[www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn)

## 内 容 简 介

本书内容包括数控机床的编程规则、数控机床加工工艺基础、数控车床的加工程序编制、数控铣床的加工程序编制、加工中心的程序编制、数控车床操作与加工、数控铣床操作与加工、加工中心操作与加工、数控电火花线切割加工、数控电火花加工等。

本书可作为高等院校、高等职业技术学校相关专业师生的参考书，也可作为相关工程技术人员的技术参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程与操作 / 何亚飞主编. —北京: 中国林业出版社;  
北京希望电子出版社, 2006.4

21 世纪新编规划教材·机电一体化

ISBN 7-5038-4099-4

I.数... II.何... III.数控机床—程序设计—教材 IV.TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106617 号

**出版:** 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)

北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)

网址: [www.bhp.com.cn](http://www.bhp.com.cn) 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)

**印刷:** 北京媛明印刷厂

**发行:** 全国新华书店经销

**版次:** 2006 年 4 月第 1 版

**印次:** 2006 年 4 月第 1 次

**开本:** 787mm×1092mm 1/16

**印张:** 15.5

**字数:** 354 千字

**印数:** 0001~3000 册

**定价:** 22.00 元

## 21 世纪新编规划教材·机电一体化

### 编委会成员名单

编委主任：钱 锐 陆卫民

副 主 任：姜斌超

编 委：（按姓氏笔画排序）

张仁杰 李世基 何业飞 陆卫民

罗维甲 姚国强 姜斌超 高 占

钱 锐 徐 锋

# 序

当今，现代科学技术飞速发展，特别是进入 21 世纪，数字化、网络化的革命再一次改变了人类的生产、工作和生活方式，使人类的制造技术在经历了手工、机械化及自动化制造 3 个阶段后进入了第四阶段——敏捷制造阶段，机械工业已经发生了深刻的变化，机械技术与微电子技术的紧密结合，特别是与计算机技术的紧密结合，产生的现代机械所拥有的自动化技术，以及现有的机电一体化技术和机电一体化产品，较以往更为复杂和先进。原来依靠传统技术组织生产的方式，已不能满足社会快速发展的需要。

要发展机电一体化技术，实现机械产品的自动化和智能化，实现机械工业的现代化改造，必须有高层次的科技人才。为了培养机电结合的高层次人才，有关高校都在积极地研究和探索，并做出了一些成绩。

教材建设是一个学校、一个专业最基本的建设之一。本套丛书的编者是工作在教学第一线的在校教师，他们在对机电一体化、数控应用技术有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，总结了自己的教学经验，学习了兄弟院校老师的教学经验，有组织、有计划地编写了本套机电一体化、数控应用技术方面的专业技术教材。

本套教材主要适用于高等院校以及高职高专院校的机电一体化、数控应用技术专业以及相近专业的师生选用。

钱 锐

# 前 言

制造业是国民经济和社会发展的物质基础，是一个国家的综合国力的重要体现。制造业也是我国入世后为数不多的有竞争优势的行业之一。当前世界上正在进行着新一轮的产业调整，一些产品的制造逐渐向发展中国家转移，中国已经成为许多跨国公司的首选之地。中国正在成为世界制造大国，这已经成为无可争议的事实。数控机床作为现代制造业的工作母机，必将在这场产业调整的革命中起到十分重要的作用。本书就是在这样的时代背景下，为了适应数控技术的发展和满足国家经济建设对数控机床编程与操作人才培养的需要而编写的。

数控机床的自动化程度高、加工精度高、加工效率高，使得产品在大量生产情况下又有质量的保证。数控机床的技术含量高，机电一体化技术的集成度高，综合了机械设计与制造、微电子技术、自动控制、计算机与通讯技术等现代高科技于一身。对使用数控机床的人员来说，最大限度地发挥数控机床自身的功能和使之产生最大经济效益将是最终目的。因此，本书的编写，立足于在对数控机床有一个全面而概述性了解的基础上，重点阐述了数控车床、数控铣床、加工中心和数控放电加工机床的加工工艺、程序编制和操作加工等内容。

本书的题材来源于实际，具有一定的先进性和可操作性。编写时突出实用性、综合性、先进性；遵循了深入浅出，循序渐进以及理论联系实际的原则。书中所涉及到的公式、图表数据和所提供的数控程序都经过严密的论证和实践操作而得出，力争做到准确无误。同时，考虑到不同层次和不同专业的人员都能读懂读通本教材，在每一章节的前面都概括性地给出了本章节的知识点；在每一章节的结尾处，也都给出了复习思考题目，便于初学者对每一章节内容的全面掌握。

本书第1章、第2章、第3章、第4章、第5章和第7章由王振华编写；第6章和第9章由高鸣编写；第8章由陆翔宇编写；第10章和第11章由贾立新编写。由何亚飞教授担任主编，并负责制定编写大纲，统一规划、统稿等工作。

在本书编写过程中得到了上海第二工业大学机电工程学院、实训中心和其他社会各方面的大力支持和指导，在此一并深表谢意。

本书可作为高等院校机械类或近机械类专业“数控机床编程与加工操作”等相关课程的教材和参考书，也可作为数控机床操作人员的参考资料。

由于本书编写时间仓促，编写过程中难免出现错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床的基本概念	1
1.1.2 数控机床的组成	2
1.1.3 数控机床的分类	4
1.1.4 数控机床的主要技术参数	6
1.1.5 数控系统的主要功能	8
1.2 数控机床加工概述	9
1.2.1 数控机床加工特点	9
1.2.2 数控机床加工的应用	11
1.2.3 数控机床的发展	11
1.3 思考与练习题	14
第 2 章 数控机床的编程规则	15
2.1 数控机床的坐标系	15
2.1.1 标准坐标系及其运动方向	15
2.1.2 数控机床两种坐标系	18
2.2 数控机床编程基础	20
2.2.1 数控机床编程概述	20
2.2.2 程序代码	21
2.2.3 程序格式	21
2.2.4 常用程序字	23
2.2.5 常用编程指令	30
2.3 思考与练习题	36
第 3 章 数控机床加工工艺基础	37
3.1 数控机床加工工艺设计内容	37
3.1.1 数控机床加工的工艺性分析	37
3.1.2 数控机床加工的工艺路线设计	39
3.1.3 数控机床加工的工序设计	40
3.1.4 数控机床加工专用技术文件的编写	50
3.2 数控车削加工工艺基础	51
3.2.1 数控车削的主要加工对象	51
3.2.2 加工顺序的确定	52
3.2.3 走刀路线的确定	53
3.2.4 夹具的选择	55
3.2.5 车削刀具的选择	55
3.2.6 切削用量的选择	58
3.3 数控铣削加工工艺基础	61
3.3.1 数控铣削的主要加工对象	61
3.3.2 走刀路线的确定	61
3.3.3 铣削刀具的选择	64
3.3.4 切削用量的选择	66
3.4 思考与练习题	68
第 4 章 数控车床的加工程序编制	69
4.1 数控车床程序编制的基础	69
4.1.1 数控车床的主要功能	69
4.1.2 数控车床编程特点	70
4.2 数控车床的程序编制	70
4.2.1 F 功能	70
4.2.2 S 功能	71
4.2.3 T 功能	71
4.2.4 M 功能	71
4.2.5 G 功能	72
4.3 典型零件的程序编制	90
4.4 思考与练习题	93
第 5 章 数控铣床的加工程序编制	97
5.1 数控铣床程序编制的基础	97
5.2 数控铣床程序编制	98
5.2.1 基本编程指令的应用	98
5.2.2 固定循环功能	106
5.3 典型零件的程序编制	112
5.4 思考与练习题	114
第 6 章 加工中心的程序编制	117
6.1 加工中心程序编制的基础	117
6.1.1 加工中心的主要功能	117
6.1.2 加工中心的工艺及工艺装备	118
6.2 加工中心的程序编制	118
6.2.1 机床坐标系与工件坐标系	119



6.2.2 几种基本程序的编制.....	119	9.1 FADAL VMC-15 加工中心简介.....	173
6.3 加工中心编制实例.....	122	9.2 操作面板及功能介绍.....	174
6.4 思考与练习题.....	126	9.2.1 操作面板.....	174
<b>第7章 数控车床操作与加工</b> .....	<b>128</b>	9.2.2 功能键介绍.....	175
7.1 KND 系统数控车床简介.....	128	9.3 基本操作方法.....	176
7.2 操作面板及功能介绍.....	129	9.3.1 开/关机及回零操作.....	176
7.2.1 操作面板介绍.....	129	9.3.2 机床手动操作.....	177
7.2.2 功能选择.....	133	9.3.3 加工程序的建立和编辑.....	177
7.3 基本操作方法.....	133	9.3.4 程序模拟和自动加工.....	182
7.3.1 开机、关机与安全操作.....	133	9.3.5 传输程序.....	182
7.3.2 回零操作.....	134	9.3.6 对刀操作.....	184
7.3.3 机床手动控制.....	135	9.4 加工操作实例.....	191
7.3.4 机床自动运行.....	139	9.4.1 零件及加工要求.....	191
7.3.5 加工程序编辑.....	141	9.4.2 工艺分析及处理.....	192
7.3.6 零件图形模拟加工.....	145	9.4.3 程序编制.....	192
7.3.7 KND-100T 数控车床数据的 显示和设定.....	145	9.4.4 程序检验和试切削.....	194
7.3.8 KND-100T 数控车床的安全操作.....	146	9.5 加工中心的安全操作规程.....	194
7.4 加工操作实例.....	146	9.6 思考与练习题.....	194
7.4.1 零件及加工要求.....	146	<b>第10章 数控电火花线切割加工</b> .....	<b>196</b>
7.4.2 操作步骤及内容.....	147	10.1 数控电火花线切割机床的组成.....	196
7.4.3 常见故障的处理.....	149	10.1.1 数控电火花线切割机床的 组成部分及其作用.....	196
7.5 数控车床的安全操作规程.....	150	10.1.2 数控电火花线切割机床的 主要技术参数.....	199
7.6 数控车床日常维护与保养.....	151	10.2 数控电火花线切割机床的编程指令.....	200
7.6.1 每日检查要点.....	151	10.2.1 ISO 格式编程.....	200
7.6.2 月检查要点.....	152	10.2.2 3B/4B 格式编程.....	203
7.6.3 六个月检查要点.....	152	10.3 数控电火花线切割机床的操作.....	205
7.7 思考与练习题.....	153	10.3.1 线切割加工工艺分析.....	205
<b>第8章 数控铣床操作与加工</b> .....	<b>155</b>	10.3.2 机床的调整.....	207
8.1 XKJ-5025 数控铣床简介.....	155	10.3.3 基本操作.....	207
结构布局.....	155	10.3.4 数控电火花线切割机床安全 操作规程.....	208
8.2 操作面板及各个功能键介绍.....	158	10.4 加工操作实例.....	208
8.3 基本操作.....	162	10.5 数控电火花线切割机床日常维护及保养.....	216
8.4 数控铣床的对刀操作.....	165	10.6 常见故障排除.....	217
8.5 零件加工操作实例.....	169	10.7 思考与练习题.....	217
8.6 思考与练习题.....	171		
<b>第9章 加工中心操作与加工</b> .....	<b>173</b>		

第 11 章 数控电火花加工 .....	219	11.2.2 指令代码 .....	228
11.1 数控电火花机床的组成 .....	219	11.3 数控电火花机床的操作 .....	229
11.1.1 数控电火花机床的结构形式 .....	219	11.3.1 数控电火花机床加工工艺分析 .....	229
11.1.2 数控电火花机床的组成部分及其作用 .....	221	11.3.2 基本操作 .....	232
11.1.3 数控电火花机床的主要技术参数 .....	225	11.3.3 数控电火花机床安全操作规程 .....	234
11.2 编程指令介绍 .....	227	11.4 加工操作实例 .....	235
11.2.1 编程格式 .....	227	11.5 数控电火花机床日常维护及保养 .....	235
		11.6 常见故障排除 .....	236
		11.7 思考与练习题 .....	238

# 第 1 章 绪 论

## 本章知识

- 数控机床的基本概念
- 数控机床的组成及分类
- 数控机床的加工特点
- 数控系统的主要功能

随着社会生产和科学技术的飞速发展，机械制造技术发生了巨大的变化，机械产品日趋精密复杂，且改型频繁，尤其是在宇航、军事、造船等领域所需的零件，精度要求高，形状复杂，批量又小。传统的普通加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求。为了满足上述要求，以数字控制技术为核心的新型数字程序控制机床应运而生。

1948 年，美国帕森斯公司（Parsons Co）受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所（Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology）合作进行数控机床的研制工作。1952 年，第一台三坐标立式数控铣床试制成功，但第一台工业用数控机床直到 1954 年 11 月才生产出来。

我国数控机床的研制是从 1958 年起步的，由清华大学研制出了最早的样机。

早期的数控机床控制系统采用电子管，其体积大、功耗高，只在军事部门应用。直到在微处理机用于数控机床后，才使数控机床得到了普及。

## 1.1 数控机床概述

### 1.1.1 数控机床的基本概念

#### 1. 数控

数字控制（Numerical Control，简称 NC）是一种自动控制技术，是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

#### 2. 数控机床

数控机床（NC Machine）就是采用了数控技术的机床，或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟（International Federation of Information Processing，简称 IFIP）第五技术委员会对数控机床作了如下定义：数控机床是装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有特定编码和其他符号编码指令规定的程序。

#### 3. 数控系统

数控系统（NC System）就是上述定义中所指的那种程序控制系统，它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序，并将其译码，从而使机床运动并加工零件。

采用普通机床进行加工时，是操作人员操纵手轮使刀具沿着工件表面移动而进行零件的加工；采用数控机床进行加工时，凡是以前需要操作人员操纵机床手轮的工作，都可以

由数控系统在程序控制下自动完成。

自研制出世界上第一台三坐标数控铣床后，数控系统在制造工业，特别是航空航天工业中被广泛应用。数控系统的发展到现在已经有了两个阶段。第一阶段为 NC 阶段，即逻辑数字控制阶段，其特点是数控系统的所有功能均由硬件（数控装置）来实现，故又称硬件数控。这个阶段数控系统的发展经历了 3 个时代，即电子管时代、晶体管时代和小规模集成电路时代。

自 1970 年小型计算机开始用于数控系统，数控系统的发展进入第二阶段，即计算机数字控制（CNC）阶段，这是第四代数控系统。从 1974 年微处理器开始用于数控系统，数控系统发展到第五代。经过几年的发展，数控系统从性能到可靠性均得到了很大的提高。自 20 世纪 70 年代末到 80 年代，数控技术在全世界得到了大规模的发展和应用。从 20 世纪 90 年代开始，PC 机的发展日新月异，基于 PC 平台的数控系统应运而生，数控系统发展进入第六代。

### 4. 数控程序

输入数控系统中的、使数控机床执行一个确定的加工任务的、具有特定代码和其他符号编码的一系列指令，称为数控程序（NC Program）。

### 5. 数控编程

生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程，称为数控编程（NC Program）。

### 1.1.2 数控机床的组成

数控机床加工零件的工作过程可分几个步骤实现：①根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序格式编写加工程序。②将所编程序指令输入机床数控装置。③数控装置将程序（代码）进行译码、运算之后，向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号，以驱动机床的各运动部件，并控制所需要的辅助动作，最后加工出合格的零件。

由此可知，数控机床的基本组成包括加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统和辅助控制装置、反馈系统以及机床本体，如图 1.1 所示。

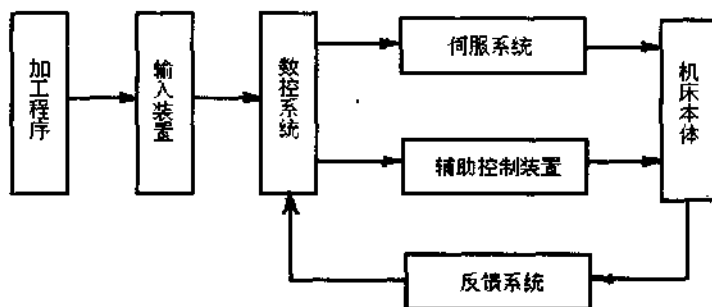


图 1.1 数控机床组成框图

### 1. 加工程序

数控机床加工时，操作人员不是直接去操作机床，而是对数控机床进行控制，所以必须编制加工程序。加工程序上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移

信息等。加工程序可存储在控制介质上。在数控机床中，常用的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡片、磁带和磁盘等。

## 2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质上的数控代码变成相应的电脉冲信号，传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同，相应有不同的输入装置。例如，对于穿孔纸带，配用光电阅读机；对于盒式磁带，配用录放机；对于软磁盘，配用软盘驱动器和驱动卡等。有时为了用户方便，数控机床可以同时具备几种输入装置。

现代数控机床，还可以通过手动方式（MDI 方式），用数控系统的操作面板上的按键将工件加工程序直接键入数控系统，或者用与上级通信方式直接将加工程序传输到数控系统中。

## 3. 数控系统

数控系统是数控机床的中枢，它由输入/输出接口线路、控制器、运算器和存储器 4 大部分组成。这种由专用电路组成的专用计算机数控系统俗称硬件数控（NC）。现在一般采用通用小型计算机或微型计算机作为数控装置，这种数控系统称计算机数控系统（CNC），又称软件数控。

数控系统接受输入装置送来的脉冲信息，经过逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信息和指令，控制机床的各个部分，进行规定的有序的动作。这些控制信息中最基本的信息是经插补运算确定的各坐标轴（即作进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量指令。其他还有主运动部件的变速、换向和启停指令；刀具的选择和交换指令；冷却、润滑装置的启停；工件和机床部件的松开、夹紧；分度工作台转位等辅助指令等。

## 4. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分，用于完成坐标轴的驱动。它接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件，完成指令规定的运动。伺服系统由伺服电动机和驱动控制单元组成。它与数控机床的进给机械部件构成进给伺服系统。对数控机床的伺服系统，要求有好的快速响应性能和灵敏、准确的跟踪指令功能。

## 5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接受数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换，以及其他辅助装置动作等指令信号，经过必要的编译、逻辑判别和运算，经功率放大后直接驱动相应的电器执行元件，带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外，机床上的限位开关等开关信号经它的处理后送数控装置进行处理。

由于可编程序控制器（PLC）具有响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改，并可直接驱动机床电器，现已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

## 6. 机床本体

数控机床本体除了主运动系统、进给系统以及辅助部分，如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外，尚有些特殊部件，如储备刀具的刀库、自动换刀装置（ATC）、自动托

盘交换装置等。

与普通机床相比较，数控机床的传动系统比较简单，但机床的静态和动态刚度要求高，传动装置的间隙要求尽可能小，滑动面的摩擦系数要小，并要有适度的阻尼，以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

近年来，在新型精密数控机床上为减少热变形对机床加工精度的影响，部分数控机床制造商使用热伸长系数较小的非金属混合材料（如人造花岗岩）制造数控机床的床身。这项技术使机床基础件的制造难度降低，机床使用中不均匀热变形的影响减小，同时也提高了机床的抗震性。

### 1.1.3 数控机床的分类

#### 1. 按工艺用途分

##### （1）金属切削类数控机床。

这类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床以及各类加工中心等。

装有刀库和自动换刀机械手，在一次装夹后，可以进行多种工序加工的数控机床，称为加工中心。加工中心目前主要有两类：一类是在镗、铣床基础上发展起来的，称为铣削加工中心；另一类是在车床基础上发展起来的，称为车削加工中心。加工中心的刀库可容纳 10 至 100 多把各种刀具或检具，在加工过程中由程序自动选用和更换，这是它与普通数控机床的主要区别之一。

##### （2）金属成型类数控机床。

这类数控机床包括数控折弯机、数控弯管机、数控冲床、数控压力机等。

##### （3）特种加工及其他类型数控机床。

这类数控机床包括数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控激光板材成型机床、数控等离子切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

#### 2. 按控制系统的特点分

##### （1）点位控制数控机床。

这类数控机床的数控装置只要求精确地控制刀具相对于工件从一个坐标点到另一个坐标点的定位精度，而与轨迹运动无关。点位控制的特点是严格控制用最小位移量（即脉冲当量）表示的两点间的距离。为了精确定位和提高生产率，首先让刀具（或工作台）高速运行，然后进行 1~3 级减速，使之慢速趋近定位点，减小定位误差。这一类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

##### （2）点位直线控制数控机床。

这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能，而且要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工。其路线一般由和各轴线平行的直线段组成。运动时的速度是可以控制的，对于不同的刀具和工件，可以选择不同的切削用量。这一类数控机床主要有数控车床、数控镗铣床、加工中心等。一般情况下，这些机床有 2~3 个可控轴，但同时控制轴只有一个。

##### （3）轮廓切削控制数控机床。

这类数控机床能够对两个或两个以上坐标轴同时进行切削加工控制，它不仅能控制机

床移动部件的起点与终点坐标，而且能按需要严格控制刀具移动轨迹，以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面。

轮廓切削控制必须同时精确地控制两个以上的坐标轴运动，而最小设定单位又小，因此轮廓切削控制系统处理数据的速度比点位控制系统要高出上千倍，由于计算机技术的发展，这样的处理速度数控系统是能够达到的，现有数控机床都具备轮廓切削控制系统的功能。

### 3. 按伺服系统的类型分

#### (1) 开环控制数控机床。

这类数控机床不带位置检测反馈装置，通常使用功率步进电动机作为伺服驱动元件。当插补结果需要某个轴运动一个单位长度（即一个脉冲当量）时，向该轴伺服电路输出一个脉冲，经环形分配和功率放大后驱动步进电动机转动一步，通过丝杠转动使机床运动部件运动一个单位长度，如图 1.2 所示。

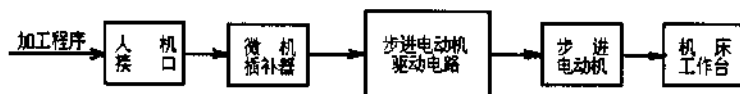


图 1.2 开环数控系统结构

开环数控系统对机械部件的传动误差没有补偿和校正，工作台的位移精度完全取决于步进电动机的步距角精度、机械传动机构的传动精度，所以控制精度较低。同时受步进电动机性能的影响，其速度也受到一定的限制。但这种系统具有工作稳定、调试方便、维修简单等优点，因此适用于经济型数控机床或旧机床的数控改造。

#### (2) 闭环控制数控机床。

这类数控机床的特点是装有位置测量反馈装置。加工中，直接安装在机床移动部件上的位移测量装置会随时、不断地测量机床移动部件的实际位移，并将测量得到的实际位移值反馈到数控系统中。比较装置把插补得出的指令位移与反馈的实际位移相比较，根据其差值控制电动机的转速，进行误差修正，直到位移误差消除为止，如图 1.3 所示。

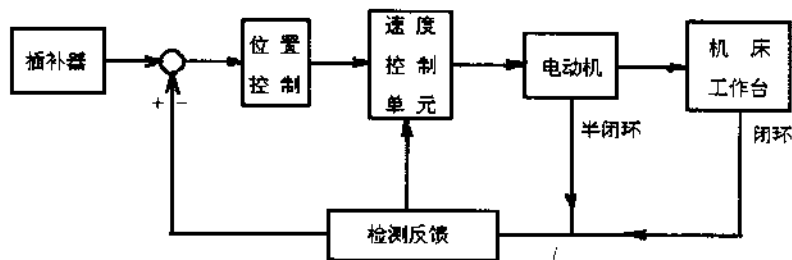


图 1.3 闭环系统结构

采用闭环系统可以消除由于机械传动部件的精度误差给加工精度带来的影响，所以可以获得很高的精度。由于系统增加了检测、比较和反馈装置，所以结构比较复杂，调试维修比较困难。

#### (3) 半闭环控制数控机床。

由于机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，它们包含在闭环控制的位置环内，故很容易造成系统的不稳定，给闭环系统的调整造成困难。为了排除机械传动环节的非线性对系统稳定性的影响，半闭环数控系统的位置测量装置安装在伺服电动机转动轴上或丝杆的端部，也就是说反馈信号取自电动机轴或丝杠上，而不是机床的最终运动部件，如图 1.3 所示。

这种系统闭环环路内不包括机械传动环节，机械传动的精度误差将反映到被加工工件的精度中去。但由于半闭环控制系统可获得稳定的控制，而机械传动环节带来的误差可用补偿的办法消除，仍可获得满意的精度。因此，大多数数控机床采用半闭环系统。

### 4. 按数控机床的功能水平分

按数控机床的功能可分为高、中、低（经济型）3 档。

#### (1) 主轴功能。

主轴不能自动变速的为低档；可以自动无级变速的，甚至具有 C 轴功能的数控机床为中、高档。

#### (2) 分辨率和进给速度。

分辨率为  $10\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $8\sim 15\text{m}/\text{min}$  为低档；分辨率为  $1\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $15\sim 24\text{m}/\text{min}$  为中档；分辨率为  $0.1\ \mu\text{m}$ 、进给速度在  $15\sim 100\text{m}/\text{min}$  为高档。

#### (3) 伺服进给类型。

采用开环、步进电动机进给系统为低档；采用半闭环的直流伺服系统为中档；采用闭环控制的直流或交流伺服系统为高档。

#### (4) 联动轴数。

低档数控机床联动轴数为 2~3 轴；中、高档的则为 3~5 轴以上。

#### (5) 通信功能。

低档数控机床一般无通信功能；中档有 RS232C、RS485 等通信接口；高档的还有制造自动化协议（Manufacturing Automation Protocol，简称 MAP）通信接口，具有联网功能。

#### (6) 主 CPU。

低档数控一般采用 8 位 CPU；中、高档的数控已由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡；国外最新的数控已有选用 64 位 CPU，以提高运算速度。

#### (7) 显示功能。

低档数控一般只有简单的数码显示或简单的 CRT 字符显示；中档数控则有较齐全的 CRT 显示，不仅有字符，而且有图形、人一机对话、自诊断功能；高档数控还可以有三维图形显示。

#### (8) 内装 PLC。

低档数控无内装 PLC；中、高档数控都有内装 PLC，高档数控内装 PLC 功能很强，并具有轴控制的扩展功能。

### 1.1.4 数控机床的主要技术参数

#### 1. 主要规格尺寸

数控车床主要有床身及刀架上的最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等；数



控铣床主要有工作台尺寸、工作台 T 形槽、工作台行程等规格尺寸。

## 2. 运动参数

### (1) 主轴转速。

数控机床主轴采用直流或交流伺服电动机驱动, 选用高速精密轴承支承, 保证主轴具有较宽调速范围和较高回转精度, 以及较高的刚度和抗震性。现代数控机床的主轴普遍达到 5000~10000r/min, 甚至更高, 这对提高加工质量和小孔加工极为有利。

### (2) 进给速度。

进给速度是影响加工质量、生产效率、刀具寿命的主要因素。目前, 数控机床的进给速度可达到 10~30m/min, 其中最大快进速度为不加工时移动的最大速度, 最大进给速度为加工时的最大速度。

## 3. 精度参数

### (1) 脉冲当量(分辨率)。

脉冲当量是影响数控机床的加工精度和表面质量的主要因素。简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01mm, 普通数控机床的脉冲当量为 0.001mm, 精密或超精密数控机床的脉冲当量为 0.0001mm。

### (2) 定位精度。

指数控机床工作台等移动部件所达到的实际位置的精度。实际位置与指令位置的差值为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差, 以及运动部件的几何误差。定位误差将直接影响零件加工的尺寸精度, 一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

### (3) 重复定位精度。

指在相同条件下, 采用相同的操作方法, 重复进行同一动作时, 得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差, 它会影响批量加工零件的一致性。一般数控机床的重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$ 。

## 4. 刀具系统

数控车床包括刀架工位数、刀具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间等内容。

加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率。通常中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把, 大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间一般为 5~20s。

## 5. 其他技术参数

### (1) 冷却系统。

有冷却箱容量、冷却泵输出量等。

### (2) 尾座。

对数控车床有尾座套筒直径、行程等。

### (3) 外形尺寸。

表示长 $\times$ 宽 $\times$ 高。

### (4) 质量。

### (5) 电气。

有主电动机、伺服电动机功率等。

### 1.1.5 数控系统的主要功能

#### 1. 控制轴数和联动轴数

控制轴数是指数控系统可控制的、按加工要求运动的坐标轴数量。联动轴数是指数控系统可同时控制的、按加工要求运动的坐标轴数量。如某数控机床，机床本身具有 X、Y、Z 三个方向运动坐标轴，但数控系统仅可同时控制两个坐标（XY、YZ 或 XZ），则该机床的控制轴数为三轴，而联动轴数为两轴。

数控机床按联动轴数可分为以下 4 类。

##### (1) 两坐标数控机床。

如数控车床，加工曲面回转体；某些数控铣床，两联动铣斜面。

##### (2) 三坐标数控机床。

如一般的数控铣床、加工中心，三轴联动可加工曲面零件。

##### (3) $2\frac{1}{2}$ 坐标数控机床。

又称二轴半。实为二坐标联动，第三轴作周期性等距运动。

##### (4) 多坐标数控机床。

四轴及四轴以上联动称为多轴联动。

#### 2. 插补功能

数控系统中插补功能可分为粗插补和精插补，软件每次插补一个小线段称为粗插补；根据插补的结果，将小线段分为单个脉冲输出称为精插补。

进行加工的零件轮廓，大部分是由直线和圆弧构成；有的由更复杂的曲线构成，因此有直线、圆弧、螺旋线、抛物线和正弦曲线等插补功能。

#### 3. 进给功能

数控系统的进给功能包括快速进给、切削进给、手动连续进给、点动进给、进给率修调（倍率）、自动加减速功能。

#### 4. 主轴功能

数控系统的主轴功能包括恒转速控制、恒线速控制、主轴定向停止及主轴转速修调（倍率）等。恒线速控制即主轴自动变速，使刀具对工件切削点的线速度保持不变。主轴定向停止即换刀、精镗后退刀前，主轴在其周向准确定位。

#### 5. 刀具功能

此功能包括能选取刀具的数量和种类、刀具的编码方式、自动换刀方式。

#### 6. 刀具补偿

加工过程中由于刀具磨损或更换刀具，以及机械传动中的丝杠螺距误差和反向间隙，会导致实际加工尺寸与程序规定的尺寸不一致，造成加工误差。数控系统采用补偿功能，可以把刀具长度或直径的相应补偿量、丝杠螺距误差和反向间隙误差的补偿量输入数控系统的存储器，按补偿量重新计算刀具运动轨迹和坐标尺寸，从而加工出符合要求的零件。

### 7. 机械误差补偿

指系统可自动补偿机械传动部件因间隙产生的误差。

### 8. 操作功能

数控机床通常有单段执行、跳段执行、试运行、图形模拟、机床锁住、暂停和急停功能，有的还有软件操作功能。

### 9. 程序管理功能

指对加工程序的检索、编制、修改、插入、删除、更名、锁住、在线编辑即后台编辑（在执行自动加工的同时进行编辑）以及程序的存储通信等。

### 10. 字符图形显示功能

数控系统可配置 9 英寸单色或 14 英寸彩色 CRT，通过软件和接口实现字符和图形显示，可以显示程序、参数、各种补偿量、坐标显示、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形、刀具轨迹仿真等。

### 11. 辅助编程功能

除基本的编程功能外，数控系统通常还具有固定循环、镜像、图形缩放、子程序、宏程序、坐标系旋转、极坐标等功能，可减少手工编程的工作量和难度，尤为适合三维复杂零件和大余量零件。

### 12. 自诊断报警功能

现代数控系统具有人工智能功能的故障诊断系统，可用来实现对整个加工过程的监视，诊断数控系统及机床的故障，并及时报警。这种系统是以专家们所掌握的对于各种故障原因及处理方法为依据开发的应用软件。操作者只要回答显示器中提出的简单问题，就能和专家一样诊断出机床的故障原因并找到排除故障的方法。

### 13. 通信功能

数控系统一般都配有 RS232C 或 RS422 远距离串行接口，可以按照用户的格式要求，与同一级计算机进行多种数据交换。现代数控系统有的还具有制造自动化协议（MAP）接口，并采用光缆通信，提高数据传送速度和可靠性。

## 1.2 数控机床加工概述

### 1.2.1 数控机床加工特点

#### 1. 加工精度高

数控机床是高度综合的机电一体化产品。它由精密机械和自动化控制系统组成。所以数控机床的传动系统与机床结构都有较高的精度、刚度、热稳定性及动态敏感度。此外，目前数控机床的刀具或工作台最小移动量（脉冲当量）普遍达到了 0.001mm，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控系统进行补偿，因此，数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床，定位精度普遍可达 0.03mm，重复定位精度可达

0.01mm。

此外，数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，制造精度高，数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素，同一批工件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

近年来，数控技术的高速发展，在数控机床开发了许多提高加工精度的技术。如刀具磨损控制技术、高阶曲线插补加工控制技术等，这些加工技术极大地改善了数控加工的表面质量，提高了复杂零件曲面加工效率和轮廓的加工精度。

## 2. 生产效率高

工件加工所需时间主要包括（机动）切削时间和辅助时间两部分。由于数控机床的刚性好，允许进行大切削量的强力切削；数控机床主轴转速和进给量的变化范围比普通机床大，因此每一道工序都可选用最佳的切削用量，这就提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件在空行程运动速度快（一般在 15m/min 以上，有些甚至达到 240m/min），工件装夹时间短，对刀、换刀快，更换被加工工件时几乎不需要重新调整机床，这样大大地缩短了生产准备周期，减少了测量和检测时间。在加工中心上加工时，一台机床能实现多道工序的连续加工，生产效率的提高更加明显。所以数控机床比普通机床的生产效率高得多，一般能提高 2~3 倍，有些可提高几十倍。

## 3. 对加工对象的适应性强

在同一台机床上可适应不同品种及尺寸规格工件的自动加工，改变加工工件时，只需更换加工程序和工艺装备及刀具，就可改变加工工件的品种，这就为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。特别是对那些普通机床很难加工或无法加工的精密复杂表面（如螺旋表面），数控机床也能实现自动加工。

## 4. 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个工件上的设备折旧费较高，但在单件、小批量生产情况下，使用数控机床加工，可节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，节省直接生产费用；同时还节省了工艺装备费用；数控机床加工精度稳定、减少了废品，使生产成本进一步下降。此外，数控机床可实现一机多用，节省厂房面积、节省建厂投资。因此，使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

## 5. 自动化程度高

可大大减轻工人的劳动强度，减少操作人员的人数。同时数控机床使用数字信号与标准代码作为输入信号，适用于与计算机网络连接，通过计算机远程控制，为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础，实现了生产管理的现代化。

## 6. 便于生产管理的现代化

数控系统的核心是计算机，目前随着计算机功能的迅速发展，数控系统的功能也越来越强大，除能够完成常规的数控功能外，还能够完成零件加工时间的准确计算及零件半成品的管理工作，根据需要还可将统计结果通过数控系统的网络接口向更高级管理计算机发送，便于管理层能随时准确地获得生产第一线资讯。

### 1.2.2 数控机床加工的应用

数控机床是一种高度自动化的机床，其独特的优点是一般机床所不具备的，所以数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替普通机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件：

- (1) 多品种、小批量生产零件。
- (2) 结构较复杂、精度要求较高或必须用数字方法决定的复杂曲线、曲面轮廓的零件。
- (3) 需要频繁改型的零件或试制的零件。
- (4) 价格昂贵，不允许报废的关键零件。
- (5) 需要最小生产周期的急需零件。
- (6) 批量较大、精度要求高的零件。

由于机械加工劳动力费用的不断增加，数控机床的自动化加工又可减少操作工人（中小型数控机床可实现一人看管多台），因此，大批量生产的零件采用数控机床（特别是经济型数控机床）加工，在经济上也是可行的。

广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大。由于系统本身的复杂性，又增加了维修的技术难度和维修费用。

考虑上述种种原因，在决定选用数控机床加工时，需要进行科学的技术经济分析，使数控机床能发挥它的最大经济效益。

### 1.2.3 数控机床的发展

#### 1. 数控系统的发展

数控系统的发展主要是提高计算机的运算速度。自1952年以来，数控系统的发展已经历了5代。

- 发展初期所用的电子器件为电子管。
- 1959年以后，数控系统发展进入第二代，采用晶体管和印刷电路板。
- 1965年以后，发展到第三代，采用小规模集成电路，数控系统的可靠性得到进一步提高。
- 第四代是1970年以后采用的小型计算机，许多功能可以通过软件实现，称为计算机数控系统（CNC）。
- 第五代系统是采用微处理机技术的计算机数控系统（MNC）。

由于数控技术的迅速发展，现代的数控系统更进一步向高精度、高速和多功能方向发展。不仅控制的轴数大为增加，而且其功能也远远超出控制刀具轨迹与机床动作的范畴，并能实现自动编程、自动测量、自诊断与通信联络等功能。数控系统与可编程控制器的结合，进一步提高了系统的可靠性，并使机床的强电控制逻辑柔性化。

#### 2. 伺服系统的发展

最早的数控系统采用液电脉冲马达驱动数控机床，后来被步进电机所取代。到了20世纪60年代，欧美一些国家采用了液压伺服系统。20世纪70年代，美国首先研制了大惯量伺服电机，该电机调速范围为0.1~2000r/min。20世纪80年代初期美国通用电气公司研制成功交流伺服系统。近年来，微机处理器已开始应用于伺服系统的驱动装置中，1986年

日本厂商已推出了采用数字伺服系统的数控机床。当前伺服系统的发展趋势是直流伺服系统将被交流数字伺服系统所代替。伺服系统的速度环、位置环及电流环都已实现了数字化。并采用了新的控制理论,实现了不受机械负荷变动影响的高速响应系统。

(1) 前馈控制技术。

过去的伺服系统将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令,去控制电动机的转速。这种方式总是存在位置跟踪滞后误差,使得在加工拐角及圆弧时加工情况恶化,所谓前馈控制,就是在原来的控制系统上加上速度指令的控制,这样使得跟踪滞后误差大大减小。

(2) 机械静、动摩擦的非线性控制技术。

机床的动、静摩擦的非线性会导致爬行现象。除采取措施降低静摩擦外,新型的数控伺服系统还具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性的控制功能。

(3) 伺服系统的速度环和位置环均采用软件控制。

采用软件控制,更具有柔性、能适应不同类型的机床,并能实现复杂的算法,以适应高性能的要求。

(4) 采用高分辨率的位置检测装置。

采用高分辨率的脉冲编码器,内装微处理器组成的细分电路,使分辨率大大提高。

(5) 补偿技术得到发展和广泛应用。

现代数控机床利用 CNC 数控系统的补偿功能,对伺服系统进行了多种补偿,如轴向运动误差补偿、丝杆螺距误差补偿、齿轮间隙补偿、热补偿和空间误差补偿等。

### 3. 数控机床的发展趋势

为了进一步提高劳动生产率,降低生产成本,缩短产品的研制和生产周期,加速产品的更新换代,以适应社会对产品多样化的需求,近年来,人们把自动化生产技术的发展重点转移到中、小批量生产领域中,这就要求加速数控机床的发展速度,使其成为一种高效率、高柔性和低成本的制造设备,以满足市场的需求。

目前数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度、以及方便使用、提高可靠性。

(1) 工序集中。

加工中心机床使工序集中在一台机床上完成,减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差,提高了加工精度,同时也减少了机床的台数与占地面积,压缩了工序间的辅助时间,有效地提高了数控机床的生产率和数控加工的经济效益。因此,实现工序高度集中是数控机床当今的发展趋势。

(2) 高速。

提高切削速度可以减少机动时间。目前数控机床的主轴转速已达 6000r/min 以上,有的达 40000r/min,切削速度达到 2000m/min,加工铝材时的金属切除率已达 1000cm<sup>3</sup>/min。传统的砂轮线速度为 30~60m/s,目前数控磨床的砂轮线速度已达到 140~150m/s,甚至高达 500m/s,磨削进给线速度可达 5~10m/min。

(3) 高效。

为了减少机床辅助时间,提高机床效率,采取了一系列措施。如①缩短换刀时间;②

采用新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机动时间重合,且快速可靠;③采用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台交换时间;④广泛采用脱机编程、图形模拟等技术,实现后台输入修改编辑程序、前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间;⑤采用快换夹具、刀具装置以及实现对工件原点快速确定等措施,缩短机床调整时间。

#### (4) 高精度。

工件加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前新型数控机床具有很高的分辨率。为了提高机床精度,采用了各种措施和技术来提高机床的动态、静态刚度;减少热变形,提高其热稳定性;克服爬行和提高传动精度。如采用丙烯酸树脂“混凝土”代替铸铁来制造机床床身等支承件,动刚度比铸铁可提高6倍;陶瓷新材料和人造花岗岩也开始用于机床支承件的制造等。

#### (5) 方便使用、提高可靠性。

① 加工编程方便。在手工编程方面开发了多种插补功能。近年来发展起来的图形交互式编程系统(WOP 又称面向车间编程),很受用户欢迎。这种编程方式不使用G、M代码,而是借助图形菜单,输入整个图形块以及相应参数作为加工指令,形成加工程序,与传统加工时的思维方式类似。

② 使用方便。可进行人机对话、图形显示和模拟等。有的数控机床还可显示使用说明书、编程指南、润滑指南等信息。

③ 诊断功能不断发展完善。一般数控系统开机时有“起始诊断”功能,以确认数控系统各部分能否正常工作;运行时又有“在线诊断”功能。现代数控机床制造厂家已开发出“离线诊断”和“通信诊断”功能,通过通信传递诊断程序,使系统做某种测试运行并将测试的信息通过通信传回信息中心进行分析,再将处理方法告知用户。计算机图形技术引入诊断系统,可使诊断技术更形象、直观。

④ 可靠性不断提高。为了得到可靠性高的数控机床,生产厂家注意把可靠性贯穿于设计、生产、调试、包装出厂等全过程。目前数控系统平均无故障时间已达30000~36000h。

### 4. 柔性制造技术的发展

为满足现代化生产日益提高的要求,具有多功能和一定柔性的现代化生产系统相继出现,使数控加工技术向更高层次发展。所谓柔性,就是通过编程或稍加调整就可同时加工几种不同的工件。

#### (1) 柔性制造单元(FMC)。

一台数控机床或加工中心装上自动装卸工件的装置,即可构成柔性制造单元。FMC的结构型式根据不同的加工对象,CNC机床的类型与数量(几台数控机床也可构成FMC)以及工件更换与存储的方式不同,可以有多种多样。但主要有托盘搬运和机器人搬运两大类。

#### (2) 柔性制造系统(FMS)。

若干个FMC可组成一个FMS。它是由中央计算机控制的一组数控机床组成的自动化制造系统,能随机地加工一组具有不同加工顺序及加工循环的工件。实行自动运送材料及计算机控制。FMS必须包含3个基本部分,即加工系统、传输系统和控制系统,其区别仅

在于各个子系统的功能和规模。

(3) 计算机集成制造系统 (CIMS)。

计算机集成制造系统可以认为是在柔性制造技术、计算机技术、信息技术、自动化技术和现代管理科学的基础上将制造工厂的全部生产、经营活动所需的各种分布的自动化子系统,通过新的生产管理模式、工艺理论和计算机网络有机地集成起来,以获得适应于多品种、中小批量生产的高效益、高柔性和高质量的智能制造系统。CIMS 包括制造工厂的生产、经营的全部活动,具有经营管理、工程设计和加工制造等主要功能。因此,CIMS 可由管理信息系统与工程设计自动化系统、制造自动化系统、质量保证系统以及计算机网络和数据库系统等 6 个分系统组成。

### 1.3 思考与练习题

1. 数控机床由哪些部分组成?各组成部分有什么功用?
2. 什么叫开环、闭环、半闭环系统?它们之间有什么区别?
3. 什么叫点位控制、点位直线控制和轮廓切削控制?它们的主要特点与区别是什么?
4. 数控机床的加工特点是什么?
5. 加工中心与其他数控机床相比有什么特点?
6. 数控机床适合加工什么样的零件?



## 第 2 章 数控机床的编程规则

### 本章知识

- 数控机床的坐标系及其运动方向
- 数控机床程序编制的内容及步骤
- 数控机床程序组成及程序段格式
- 数控机床程序编制常用的程序字

数控装置所用的计算机属于专用计算机，它使用的自动控制语言与通用计算机使用的 BASIC、FORTRAN 等高级语言属于不同的范畴。尽管这种自动控制语言也像高级语言那样有严格的规则和格式，但它没有类似高级语言那样的语法。

数控系统的种类繁多，它们使用的数控语言规则和格式也不尽相同，编制数控加工程序时，应严格按照机床编程手册中的规定进行程序的编制。

### 2.1 数控机床的坐标系

#### 2.1.1 标准坐标系及其运动方向

为了保证数控机床的正确运动，避免工作时的不一致性，简化编程和便于培训编程人员，我国根据 ISO841 国际标准制定的 JB3051—82 数控标准，统一规定了数控机床坐标轴的代码及其运动的正、负方向，这给数控系统和机床的设计、使用和维修带来了极大的方便。

##### 1. 规定原则

##### (1) 右手直角坐标系。

标准的坐标系为右手直角坐标系，如图 2.1 所示。它规定了 X、Y、Z 三坐标轴的关系：用右手的拇指、食指和中指分别代表 X、Y、Z 三轴，3 个手指互相垂直，所指方向分别为 X、Y、Z 轴的正方向。围绕 X、Y、Z 各轴的回转运动分别用 A、B、C 表示，其正向用右手螺旋定则确定。与 +X、+Y、+Z、……，+C 相反的方向用带“-”的 -X、-Y、-Z、……，-C 表示。

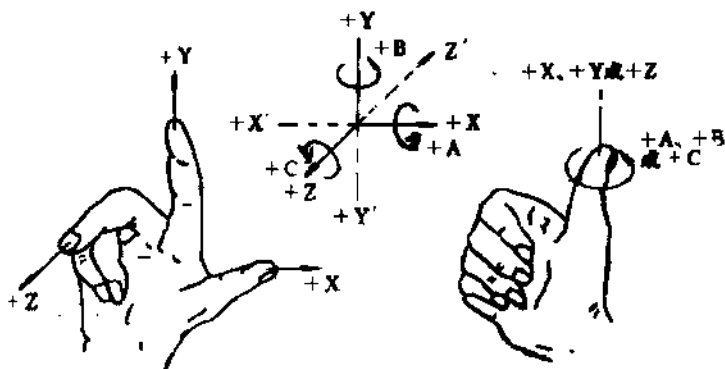


图 2.1 右手直角坐标系

(2) 刀具运动坐标系与工件运动坐标系。

数控机床的坐标系是机床运动部件进给运动的坐标系。由于进给运动可以是刀具相对工件的运动（车床），也可以是工件相对刀具的运动（铣床），所以统一规定：用字母不带“+”的坐标表示刀具相对“静止”工件而运动的刀具运动坐标；带“+”的坐标表示工件相对“静止”刀具而运动的工件运动坐标。

(3) 运动的正方向。

是使刀具与工件之间距离增大的方向。

2. 坐标轴确定的方法及步骤

(1) Z轴。

一般取产生切削力的主轴轴线为Z轴，刀具远离工件方向为正向，图2.2所示为车床坐标轴，图2.3所示为铣床坐标轴。

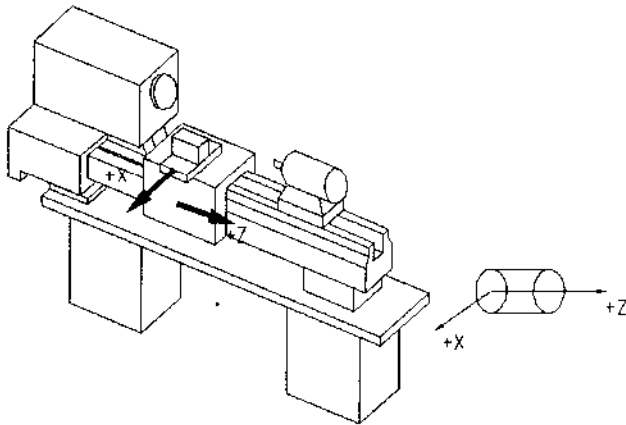


图 2.2 车床坐标轴

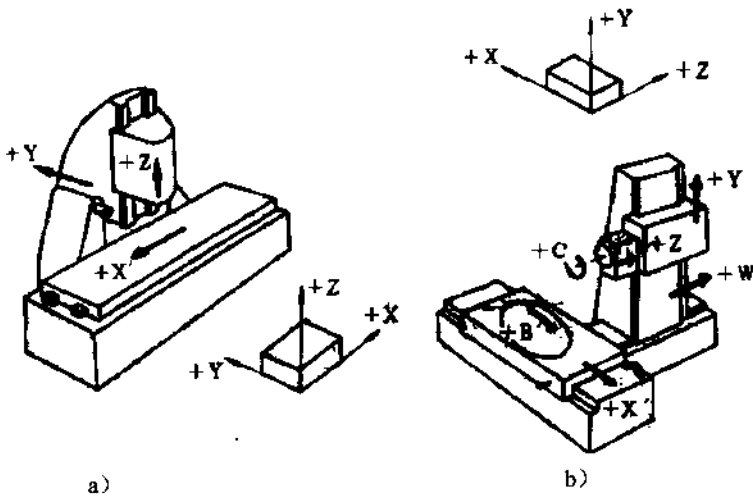


图 2.3 铣床坐标系

a) 立式 b) 卧式

当机床有几个主轴时，选一个垂直工件装卡面的主轴为 Z 轴，如图 2.4 所示为龙门轮廓铣床坐标轴。当机床无主轴时，以与装卡工件的工作台面相垂直的直线为 Z 轴，如图 2.5 所示为刨床坐标系。

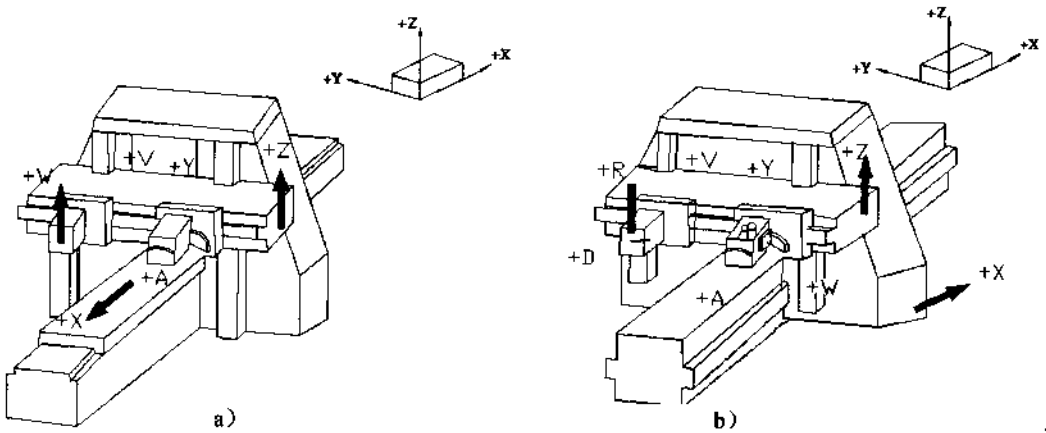


图 2.4 龙门轮廓铣床坐标轴

a) 工作台移动式铣床 b) 框架移动式铣床

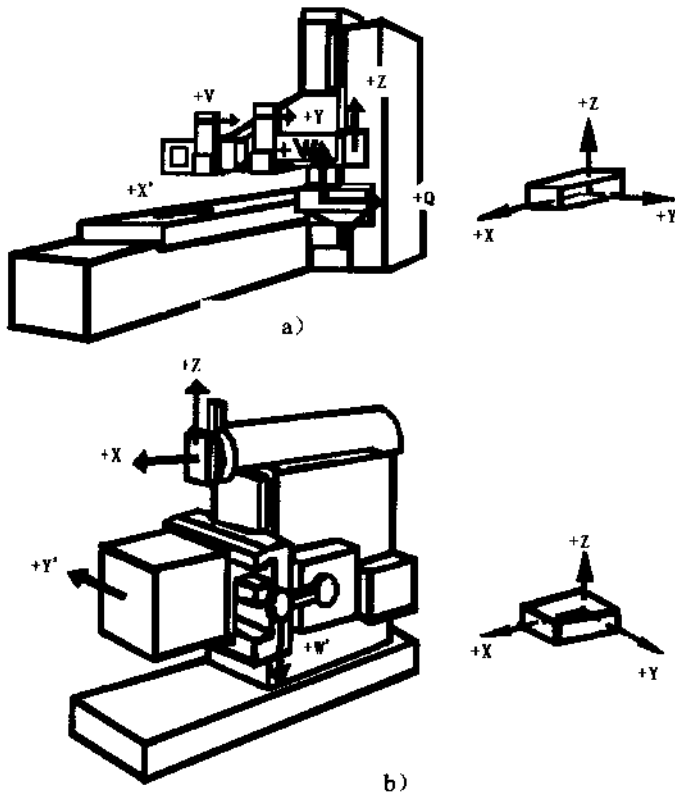


图 2.5 刨床坐标系

a) 龙门刨 b) 牛头刨

若 Z 轴方向进给运动部件为工件（工作台），则用 Z' 表示，其正向与 Z 轴相反，如图 2.6a 所示。

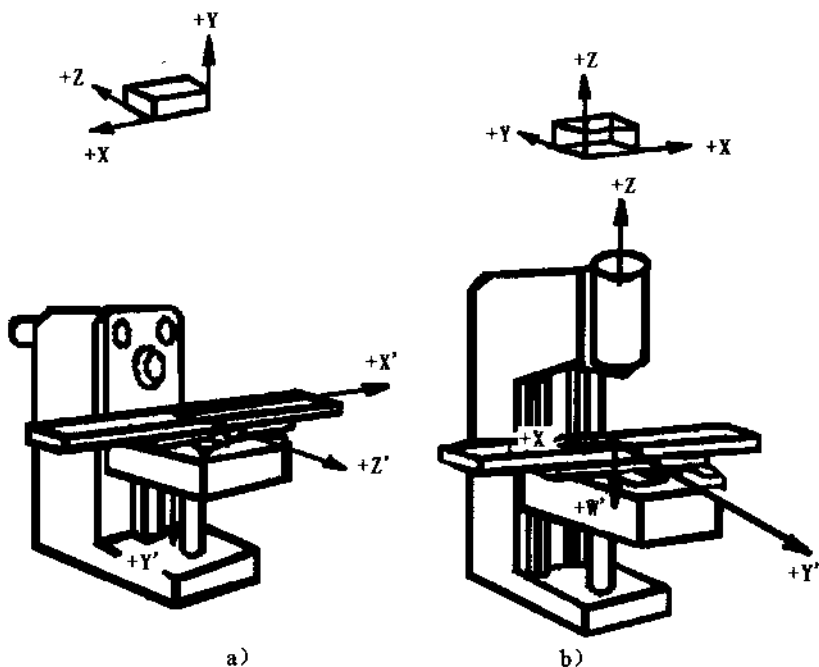


图 2.6 升降台铣床  
a) 卧式 b) 立式

### (2) X 轴。

一般位于平行工件装卡面的水平面内。对工件作回转切削运动的机床（车床、磨床），在水平面内取垂直工件回转轴线（Z 轴）的方向为 X 轴，刀具远离工件方向为正向，如图 2.2 所示。

对刀具作回转切削运动的机床（铣床、镗床），当 Z 轴竖直（立式）时，人面对主轴，向右为正 X 方向，如图 2.3a 所示；当 Z 轴水平（卧式）时，则向左为正 X 方向，如图 2.3b 所示。

对于无主轴的机床（刨床），则以切削方向为正 X 方向，如图 2.5 所示。

若 X 方向进给运动部件是工作台，则用 X' 表示，其正向与 X 正向相反，如图 2.6 所示。

### (3) Y 轴。

根据已确定的 X、Z 轴，按右手直角坐标系确定。同样，Y' 与 Y 正向相反，如图 2.6 所示。

### (4) A、B、C 轴。

此三轴为回转进给运动坐标。根据已确定的 X、Y、Z 轴，用右手螺旋法则来确定，如图 2.3 和图 2.4 所示。

### (5) 附加坐标。

若机床除有 X、Y、Z（第一组）主要直线运动外，还有平行于它们的坐标运动，则分别命名为 U、V、W（第二组）；若还有第三组运动，则命名为 P、Q、R。

若除了 A、B、C（第一组）回转运动外，还有其他回转运动，则命名为 D、E 等。

## 2.1.2 数控机床两种坐标系

数控机床坐标系包括机床坐标系和编程坐标系两种。

### 1. 机床坐标系

机床坐标系又称机械坐标系，是机床运动部件的进给运动坐标系，其坐标轴及方向按标准规定，其坐标原点的位置则由各机床生产厂设定。

数控车床的机床坐标系（XOZ）的原点O一般位于卡盘端面，如图2.7所示。

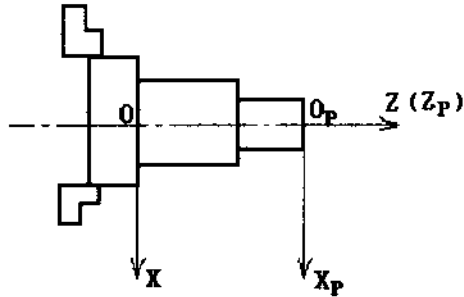


图 2.7 车床的两种坐标系

数控铣床的机床坐标系（XYZO）的原点O一般位于机床零点，即机床移动部件沿其坐标轴正向的极限位置，如图2.8所示。

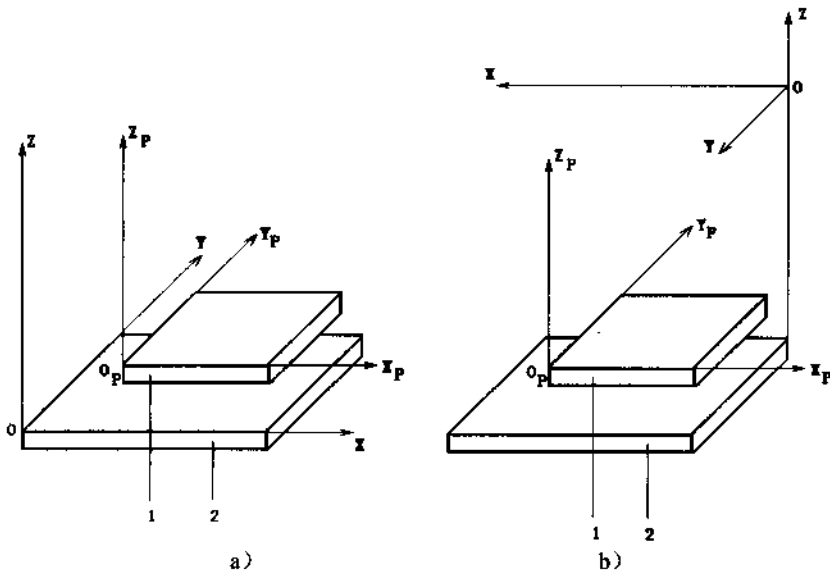


图 2.8 铣床的两种坐标系

1—工件 2—工作台

### 2. 工件坐标系

工作坐标系又称编程坐标系，供编程使用。为使编程人员在不知道是“刀具移近工件”，还是“工件移近刀具”的情况下，就可根据图纸确定机床加工过程，所以规定工件坐标系是“刀具相对工件而运动”的刀具运动坐标系。如图2.7中的 $X_pO_pZ_p$ 及图2.8中 $X_pY_pZ_pO_p$ 。

工件坐标系的原点 $O_p$ ，也称工件零点或编程零点，其位置由编程者设定，一般设在工件的设计、工艺基准处，便于尺寸计算。

## 2.2 数控机床编程基础

### 2.2.1 数控机床编程概述

#### 1. 程序编制的内容及一般步骤

##### (1) 确定工艺过程及工艺路线。

既要按照一般的工艺原则确定加工方法,划分加工阶段,选择机床、夹紧定位方法、加工路线(如对刀点、换刀点、进给路线)刀具、切削用量等工艺参数(如进给速度、主轴转速、切削宽度和切削深度等),又要根据数控机床加工特点,做到工序集中、换刀次数少、空行程路线短等。

##### (2) 计算刀具轨迹的坐标值。

根据零件的形状、尺寸、走刀路线,计算出零件轮廓线上各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标。若数控系统无刀具补偿功能,则应计算刀心位置。当用直线、圆弧来逼近非圆曲线时,应计算曲线上各节点的坐标值。

##### (3) 编写零件加工程序。

根据所计算出的刀具运动轨迹坐标值和已确定的切削用量以及辅助动作,结合数控系统规定使用的指令及程序格式,编写零件加工程序。

##### (4) 程序输入数控系统。

程序编写好之后,可通过键盘直接将程序输入数控系统,也可制作成控制介质(穿孔纸带、磁盘、磁带等),再将控制介质上的程序输入数控系统。

##### (5) 程序检验和零件试切。

编制好的程序必须经过检验和试切才能正式使用。检验的方法是直接将控制介质上的信息输入到数控系统中,检查刀具的运动轨迹是否正确。在有 CRT 图形显示的数控机床上,可以用模拟工件切削过程的方法进行检验。对无此功能的数控机床可进行空运转检验。

以上工作只能检验刀具运动轨迹的正确性,验不出对刀误差和某些计算误差引起的加工误差以及加工精度。所以,还要进行首件试切。试切可用铝、塑料、石蜡等易切材料。试切后若发现零件不符合要求,则应对程序作修改,以及采用误差补偿方法,直到加工出合格的零件为止。

#### 2. 数控程序的编制方法

数控加工程序的编制方法有以下两种。

##### (1) 手工编程。

从零件图分析、工艺处理、轨迹计算、编写程序、制作控制介质直到程序检验等各个阶段均由人工完成的编程方法,称为手工编程。

对于几何形状不太复杂的零件,轨迹计算较为简单,所需的程序段不多,程序编制容易实现,比较适于手工编程。因此,手工编程被广泛用于点位加工和形状简单的轮廓加工中。

以下情况不适合用手工编程:

- ① 形状较复杂的零件,特别是由非圆曲线、空间曲线等几何元素组成的零件。

② 几何元素并不复杂但程序量很大的零件。

③ 当铣削轮廓时,数控系统不具备刀具半径补偿功能,而且只能以刀具中心的运动轨迹进行编程的情况。

在以上这些情况下,编程中的轨迹计算相当繁琐且程序量大,所费时间多且易出错。而且,有时手工编程难以完成。为缩短生产周期,提高数控机床的利用率,有效地解决各种复杂零件的编程问题,必须采用自动编程。

## (2) 自动编程。

由计算机完成程序编制中的大部分或全部工作的编程方法,称为自动编程。

目前,由世界各国研制的自动编程系统已有上百种。按照加工信息输入方式的不同,自动编程系统可分为语言式系统和图形交互式系统两类。

早期的自动编程系统均为语言式系统。编程人员需将全部加工内容用数控语言编写好零件源程序,输入计算机,计算机处理完毕后再输出可以直接用于数控机床的数控加工程序。由美国麻省理工大学在1995年研制成功的APT系统属于语言式系统。

随着微型计算机技术和数控编程技术的发展,出现了可以直接将零件的几何图形转化为数控加工程序的图形交互式系统,如美国CNC Software公司开发的MasterCAM系统,美国PTC(Parametric Technology Corporation)公司开发的Pro/ENGINEER系统等。编程人员可利用自动编程系统本身的CAD功能,以人一机对话的方式,很方便地在显示器上画出复杂的零件图形,从而完成编程信息的输入。这种自动编程方法实现了CAM与CAD的高度结合,因此,被纳入CAD/CAM技术。

自动编程可以大大减轻编程人员的劳动强度,将编程效率提高几十倍甚至上百倍。同时解决了手工编程无法解决的复杂零件的编程难度。但是手工编程是自动编程的基础,对于数控编程的初学者来说,仍应从学习手工编程开始。

### 2.2.2 程序代码

数控加工程序是根据数控机床规定的语言规则及程序格式来编制的。因此,程序编制人员应熟悉编程中用到的各种代码、加工指令和程序格式。

目前,国际上有两种通用的数控标准,即国际标准化组织的ISO(International Standardization Organization)标准和美国电子工业协会的EIA(Electronic Industries Association)标准。我国根据ISO标准制定了JB3208—83标准。这些标准是数控加工编程的基本准则。

把组成加工程序的每种字符与一个相应的字节对应,就可把各种字符以及整个程序记录在信息载体上。这个能表示某个字符的字节,即为此字符的代码。代码是数控系统传递信息的语言。国际上通用的代码有EIA代码和ISO代码两种。现在的数控系统基本上都用ISO代码。不管用哪种信息载体,加工程序总是以代码的形式记载。对于允许采用多种输入方式的数控装置来说,各种信息载体上的代码形式是一样的。

### 2.2.3 程序格式

#### 1. 程序组成

一个完整的数控加工程序由程序名(号)、程序内容和程序结束指令3部分组成。例如:

```

程序号:           O0001

程序内容:  { N10 G00 X0 Y0 Z2 T01 S1500 M03
             N20 G01 Z-2 F200
             N30 G91 X20 Y20
             |
             N100 G00 Z100
程序结束指令:  N110 M02
  
```

上述例子表示一个完整的加工程序，由 11 个程序段组成。程序号位于程序主体之前，是程序的开始部分，一般独占一行。程序号一般由规定的字母 O 打头，后面紧跟若干位数字组成。常用 2 位或 4 位两种，前零可省略。

程序内容是程序的核心，它由若干个程序段组成。在书写时，一个程序段一般占一行。程序段是数控加工程序中的一句，用来指令机床执行某一个动作或一组动作。每个程序段由若干个程序字组成。

程序字简称字，字则由地址字（字母）和数值字（数字及符号）组成。如上述程序的第一个程序段，由 8 个字组成，其中 N、G、X、Y、Z、T、S、M 为地址字符，后面跟相应的数值字。字的功能类别由它的地址决定。根据功能的不同，程序字可分为顺序号字、准备功能字符、辅助功能字、尺寸字、进给功能字、主轴转速功能字和刀具功能字。常用程序字的含义如表 2.1 所示。

表 2.1 常用程序字

功 能	地 址 字	含 义	
顺序号字	N	表示程序段的代号	
准备功能字	G	指令机床的工作方式	
辅助功能字	M	指令机床的开/关等辅助动作	
尺寸字	X、Y、Z 等	指令 X、Y、Z 等轴的坐标值	
	A、B、C	指令绕 X、Y、Z 轴的旋转坐标值	
	I、J、K	指令圆弧中心相对于圆弧起点的坐标值	
	R	指令圆弧半径值	
进给功能字	F	指令刀具的进给速度	
主轴转速功能字	S	指令主轴的转速	
刀具功能字	T	指令刀具的刀具号和补偿值	
其他字	偏移号	H 或 D	指令刀具补偿值
	重复次数	L	指令固定循环和子程序的执行次数
	参数值	R、Q	指令固定循环中的设定距离
	暂停时间	X (U)、P	指令暂停时间

程序结束指令位于程序内容的后面，用 M02（程序结束）或 M30（纸带结束，光标返回）。在使用中，用 M02 结束程序时，自动运行结束后光标停在程序结束处；而用 M30 来结束程序时，自动运行结束后光标和屏幕显示能自动返回到程序开头处，一按启动按钮就



可以再一次运行程序。

## 2. 程序段格式

程序段的格式是指一个程序段中“字”的排列方式和顺序，以及每个“字”和整个段的长度规定。不同数控系统的格式各异，须按说明书编程，否则会报警出错。目前使用的程序段格式称为字地址程序段，这种程序段格式的主要特点如下：

(1) 程序字的排列顺序不严格要求。

(2) 程序段的长度可变。不需要的或与上一程序段中相同的续效字可省略不写，故每个程序段长度会有变化，这种格式又称为可变程序段格式。这种格式的程序段简单而又直观，应用最广。

(3) 具体的数控系统对各类字的允许字长都有规定，一般情况下，它用以下格式表达：

N4 G2 X±5.3 Y±5.3 Z±5.3 F±4.3 S4 T4 M2

该格式的含义为N字最多能用不含小数点的4位数，X字最多能用小数点前5位、小数点后3位的数字，而且可带正负号，其余类推。数字前的零和正号可省略。

### 2.2.4 常用程序字

#### 1. 顺序号字

顺序号字又称程序段号，用来识别不同的程序段。顺序号字位于程序段的开始，它由地址字N和随后的2~4位数字组成，如N30或N0030。

程序段在存储器内是以输入的先后顺序排列的，数控系统严格按存储器内程序段的排列顺序一段一段地执行。因此，顺序号只是程序段的名称，与程序的执行顺序无关。

顺序号的使用规则：一般不用N0作顺序号；数字部分应用整数；N与数字之间、数字与数字之间不能有空格；顺序号的数字并不非要从小到大使用。

顺序号不是程序段的必用字，对于整个程序，可以每个程序段都设顺序号，也可以部分程序段设顺序号，甚至可以都不设顺序号。建议以N10开始设顺序号，以间隔10递增，以便调试时可插入新的程序段。

#### 2. 准备功能字

准备功能字的地址字是G，所以又称为G功能、G指令或G代码。它的定义是建立数控机床或控制系统工作方式的一种命令。为数控系统的插补运算、刀补运算、固定循环等作好准备。

G指令中的后续数字大多数为两位正整数（包括00）。不少机床此处的前置“0”允许省略，所以见到的数字是一位时，实际是两位的简写，如G2，实际是G02。

从G00~G99，共100种。随着数控机床功能的增加，G00~G99已不够用，所以有些数控系统的G指令中的后续数字已经使用三位数字。依据ISO1056—1975(E)国际标准，国内制订了JB3208—83部颁标准，其中规定了G指令的功能含义。我国现有的中、高档数控系统大部分是从日本、德国、美国等国进口的，它们的G指令功能相差甚大，即使国内生产的数控系统，也没完全按照这个部颁标准来规定。现将日本FANUC、德国SIEMENS和美国A-B公司产的数控系统的G指令功能含义与JB3208—83对比成表，如表2.2所示。

表 2.2 G 功能字含义对照表

G 功能字	中国颁布标准 JB3208—83 规定	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统
G00	点定位	点定位	点定位	点定位
G01	直线插补	直线插补	直线插补	直线插补
G02	顺时针方向圆弧 插补	顺时针方向圆弧插补	顺时针方向圆弧插补	顺时针方向圆弧插补
G03	逆时针方向圆弧 插补	逆时针方向圆弧插补	逆时针方向圆弧插补	逆时针方向圆弧插补
G04	暂停	暂停	暂停	暂停
G05	不指定	—	—	圆弧相切
G06	抛物线插补	主轴插补	—	—
G07	不指定	—	—	—
G08	加速	—	—	—
G09	减速	准停, 减速停	—	—
G10	不指定	设定偏置值	同步	刀具寿命内
G11~G16	不指定	—	—	刀具寿命外等
G17	XY 平面选择	XY 平面选择	—	XY 平面选择
G18	ZX 平面选择	ZX 平面选择	—	ZX 平面选择
G19	YZ 平面选择	YZ 平面选择	—	YZ 平面选择
G20	不指定	英制输入	—	直径指定
G21	不指定	米制输入	—	半径指定
G22~G26	不指定	—	—	螺旋线插补等
G27	不指定	参考点返回检验	—	外腔铣削
G28	不指定	自动返回参考点	—	—
G29	不指定	从参考点移出	—	执行最后自动循环
G30~G31	不指定	—	—	镜象设置/注销
G32	不指定	—	—	—
G33	螺纹切削, 等螺距	—	铣等螺距螺纹	单边螺纹切削
G34	螺纹切削, 增螺距	—	铣增螺距螺纹	增螺距螺纹切削
G35	螺纹切削, 减螺距	—	铣减节距螺纹	减节距螺纹切削
G36~G39	永不指定	—	—	自动螺纹加工等
G40	刀具补偿偏置注销	刀具半径补偿注销	刀具半径补偿注销	刀具补偿注销
G41	刀具补偿—左	刀具半径补偿—左	刀具半径补偿—左	刀具左补偿
G42	刀具补偿—右	刀具半径补偿—右	刀具半径补偿—右	刀具右补偿
G43	刀具偏置—正	正向长度补偿	—	—
G44	刀具偏置—负	反向长度补偿	—	—

(续表)

G 功能字	中国部颁布标准 JB3208—83 规定	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统
G45	刀具偏置+/-	—	—	夹具偏移
G46	刀具偏置+/-	—	—	双正轴暂停
G47	刀具偏置-/-	—	—	动态 Z 轴 DRO 方式
G48	刀具偏置-/+	—	—	—
G49	刀具偏置 0/+	取消长度补偿	—	—
G50	刀具偏置 0/-	—	—	M 码定义输入
G51	刀具偏置+ /0	—	—	—
G52	刀具偏置- /0	—	—	—
G53	直线偏移, 注销	—	附加零点偏置	—
G54	直线偏移 X	—	零点偏置 1	—
G55	直线偏移 Y	—	零点偏置 2	探测限制
G56	直线偏移 Z	—	零点偏置 3	零件探测
G57	直线偏移 XY	—	零点偏置 4	圆孔探测
G58	直线偏移 XZ	—	—	刀具探测
G59	直线偏移 YZ	—	—	PAL 变量赋值
G60	准确定位 1 (精)	—	准停	软件限位区域
G61	准确定位 2 (精)	—	—	软件限位无效
G62	快速定位 (粗)	—	—	进给速率修调禁止
G63	攻丝	—	—	—
G64	不指定	—	—	—
G65	不指定	用户宏指令命令	—	—
G66~G67	不指定	—	—	—
G68	刀具偏置, 内角	—	—	—
G69	刀具偏置, 外角	—	—	—
G70	不指定	—	英制	英制
G71	不指定	—	米制	米制
G72	不指定	—	—	零件程序放大/缩小
G73	不指定	分级进给钻削循环	—	点到点插补
G74	不指定	反攻螺纹循环	—	工件旋转
G75~G79	不指定	—	—	型腔循环等
G80	固定循环注销	固定循环注销	固定循环注销	自动循环中止
G81~G89	固定循环	钻、攻螺纹、镗固定 循环	钻、攻螺纹、镗固定 循环	自动循环
G90	绝对尺寸	绝对值编程	绝对尺寸	绝对值编程

(续表)

G 功能字	中国部颁标准 JB3208—B3 规定	日本 FANUC 3MC 系统	德国 SIEMENS 810 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统
G91	增量尺寸	增量值编程	增量尺寸	增量值编程
G92	预置寄存	工件坐标系设定	主轴转速极限	设置编程零点
G93	时间倒数, 进给率	—	—	—
G94	每分钟进给	每分钟进给	每分钟进给	设置旋转轴速率
G95	主轴每转进给	—	每转进给	IPR/MMPN 进给
G96	恒线速度	—	恒线速度	CCS
G97	每分钟转速	—	注销 G96	RPM 编程
G98	不指定	固定循环中退到起点	—	ACC/DEC 禁止
G99	不指定	固定循环中退到 R 点	—	取消预量寄存

从表中可看出, 目前国际上使用的 G 功能字, 其标准化程度较低, 只有 G01~G04、G17~G19、G40~G42 的含义在各系统中基本相同; G90~G92、G94~G97 的含义在多数系统内相同。有些数控系统规定可使用几套 G 指令。这说明, 在编程时必须遵照机床数控系统使用说明书来编制程序。

### 3. 辅助功能字

辅助功能字的地址字是 M, 所以又称 M 功能、M 指令或 M 代码。它主要用来指令数控机床辅助装置的接通和断开 (即开关动作), 表示机床各种辅助动作及其状态。M 指令中的后续数字为 1~3 位 (多为 2 位), 从 M00~M99 共 100 种。

与 G 指令一样, M 指令在实际使用中的标准化程度也不高。现将我国根据 ISO1056—1975 (E) 制订的部颁标准 JB3208—83 中 M 指令的含义与几种国外数控系统中实际使用的 M 指令含义进行对照列表, 如表 2.3 所示。

表 2.3 M 功能字含义对照表

M 功能字	中国部颁标准 JB3208—83 规定	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T—B 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统
M00	程序停止	程序停止	程序停止	程序停止
M01	计划停止	计划停止	选择停止	选择停止
M02	程序结束	程序结束	程序结束	程序结束
M03	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向	主轴顺时针方向
M04	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向	主轴逆时针方向
M05	主轴停止	主轴停止	主轴停止	主轴停止
M06	换刀	换刀	—	换刀
M07	2 号冷却液开	2 号冷却液开	—	雾冷
M08	1 号冷却液开	1 号冷却液开	冷却液开	液冷

(续表)

M 功能字	中国部颁布标准 JB3208—83 规定	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T—B 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统	
M09	冷却液关	冷却液关	冷却液关	冷却停	
M10	夹紧	—	—	夹紧	
M11	松开			松开	
M12	不指定			用户选通脉冲输出	
M13	主轴正转, 冷却液开	主轴正转, 冷却液开	—	主轴正转, 冷却液开	
M14	主轴逆转, 冷却液开	主轴逆转, 冷却液开		主轴逆转, 冷却液开	
M15	正(方向)运动	—		主轴制动开	
M16	负(方向)运动			主轴制动关	
M17	不指定	主轴正转, 2号冷却液开	排削器起动	标准主轴	
M18	不指定	主轴正转, 2号冷却液开	排削器停止	主轴作为C轴	
M19	主轴定向停止	—	—	主轴定向停止	
M20	不指定			夹 紧 松	
M21	不指定			夹 紧 紧	
M22	不指定			刀套缩起	
M23	永不指定			刀套出	
M24	永不指定			主轴正转, 主轴孔冷却	—
M25	永不指定			主轴逆转, 主轴孔冷却	
M26~27	永不指定	—	—	—	
M28	永不指定				低速齿轮
M29	永不指定				第三冷却液开
M30	纸带结束	子程序结束	穿孔带结束	程序结束	
M31	互锁解除	—	进给修调取消	—	
M32	不指定	当前子程序结束	进给修调恢复		
M33~M34	不指定	—	—	用户选通脉冲输出	
M35	不指定				
M36	进给范围 1				
M37	进给范围 2				
M38	主轴速度范围 1				
M39	主轴速度范围 2			用户选存信号输出	
M40	可作齿轮换挡				
M41	可作齿轮换挡				
M42	可作齿轮换挡				
M43	可作齿轮换挡				

(续表)

M 功能字	中国部颁布标准 JB3208—83 规定	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T—B 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统			
M44	可作齿轮换挡			齿轮 4 驱动			
M45	可作齿轮换挡			用户选存信号输出			
M46	不指定			计数复位			
M47	不指定			向上定时			
M48	注销 M49			向下计量			
M49	进给率修正旁路			条件分开			
M50	3 号冷却液开			—	—		
M51	4 号冷却液开						
M52~M54	不指定						
M55	刀具直线位移, 位置 1						
M56	刀具直线位移, 位置 2						
M57	不指定					卡盘闭	
M58	不指定					卡盘开	终止 M59
M59	不指定					—	经由 CSS 修改
M60	更换工件						普通响应标志
M61	工件直线位移, 位置 1						
M62	工件直线位移, 位置 2			—	—		
M63	不指定						
M64	不指定						
M65	不指定					刀头确认	
M66	不指定	刀台回转禁止	普通长响应标志				
M67	不指定	刀台回转允许					
M68~M69	不指定	—					
M70	不指定	刀检空气吹扫	普通选通标志				
M71	工件角度位移, 位置 1	—	—				
M72	工件角度位移, 位置 2						
M73~M79	不指定	选择 M 功能	—	普通锁存标志			
M80	不指定			第一刀具组跳读			
M81	不指定			第二刀具组跳读			
M82	不指定			第三刀具组跳读			
M83	不指定			第四刀具组跳读			
M84	不指定			第五刀具组跳读			
M85	不指定			—			
M86	不指定			机外计测: 内径			

(续表)

M 功能字	中国部颁布标准 JB3208—83 规定	美国辛辛那提 850 系统	日本 FANUC 6T—B 系统	美国 A—B 公司 8400MP 系统
M87	不指定	—	机外计测：外径	—
M88~M89	不指定		—	
M90~M91	永不指定	—	外部输入刀具补偿	—
M92	永不指定		外部输入刀具补偿	
M93	永不指定	—	—	—
M94~M97	永不指定		子程序调出	
M98	永不指定	—	返回主程序	—
M99	永不指定		—	

从表中可看出，各种系统 M 指令含义的差别很大，但 M00~M05 及 M30 的含义是一致的，M06~M11 以及 M13、M14 的含义基本一致。随着机床数控技术的发展，两位数 M 指令已不够用，所以当代数控机床已有不少使用三位数的 M 指令。

#### 4. 尺寸字

尺寸字也叫尺寸指令。尺寸字在程序段中主要用来指令机床上刀具运动达到的坐标位置。常用的地址字符有 3 组：第一组是 X、Y、Z、U、V、W，主要用于指令到达点的直线坐标；第二组是 A、B、C，主要用于指令到达点的角度坐标；第三组是 I、J、K 和 R，主要用于指令零件圆弧轮廓圆心点的坐标和圆弧半径。

坐标尺寸是使用国际单位制还是英制，多数系统用 G 指令来选择，如 FANUC 系统用 G21/G22、美国 A—B 公司系统用 G71/G72 切换，另一些系统用参数来设定。尺寸字中数值的具体单位，采用米制单位时现在一般用  $1\mu\text{m}$  和  $1\text{mm}$  两种；在采用英制时常用  $0.0001\text{lin}$  和  $0.001\text{lin}$  两种。现在一般数控系统已经允许在尺寸字使用小数点。如果尺寸字中使用了小数点，那么在使用米制时小数点处的单位必定是  $\text{mm}$ 、在使用英制时小数点处的单位必定是  $\text{lin}$ ，而不论选择何种单位，通常用参数设定，并不是每类系统都能设定上述两种单位。

#### 5. 进给功能字

进给功能字的地址符用 F，所以又称 F 功能或 F 指令，由地址符 F 与其后的若干位数字组成。它的功能是指令切削的进给速度。现在一般都能使用直接指定方式（也叫直接指定码），即可用 F 后续的数字直接指令进给速度。对于车床，可分为每分钟进给和主轴每转进给两种，一般分别用 G94 ( $\text{mm}/\text{min}$ )、G95 ( $\text{mm}/\text{r}$ ) 规定；对于车削之外的控制，一般只用每分钟进给。F 地址字在螺纹切削程序段中还常用来指定导程。

#### 6. 主轴转速功能字

主轴转速功能字的地址符用 S，所以又称 S 功能或 S 指令，由地址符 S 与其后的若干位数字组成。它的功能是指令机床主轴的转速。中档以上的数控机床，其主轴驱动已采用主轴控制单元，它们的转速可以直接指令，即用 S 后续的数字直接表示每分钟主轴转速，单位

为  $r/min$  (G97 方式)。在数控车床上,有时使用恒线速方式,单位为  $m/min$  (G96 方式)。

主轴的实际转速可用机床操作面板上的“主轴转速倍率”开关调整。编程时总是假定此倍率开关指在 100% 的位置。S 后面的数字有时代表实际转速值,有时表示某种转速的代码。

### 7. 刀具功能字

刀具功能字的地址符用 T, 所以又称 T 功能或 T 指令, 由地址符 T 与其后的若干位数字组成。它的功能含义主要用来指令加工时使用的刀具号。对于车床, 其后的数字还兼作指定刀具长度 (含 X、Z 两个方向) 补偿和刀尖半径补偿用。

在车床上, T 之后的数字分 2 位、4 位和 6 位 3 种。对于 4 位数字来说, 一般前 2 位数字代表刀具 (位) 号, 后 2 位数字代表刀具长度补偿号和刀尖半径补偿号。

铣床 (含加工中心) 的刀具功能比车床要复杂些, 而且各系统的差别也较大。加工中心的共同点是刀具号用 T~指定, T 后的数字一般 1~4 位, 它在多数系统内只表示刀具号, 只有在少数系统内也指令 X、Z 向的刀具长度补偿号。多数系统换刀使用 M06T~指令, 如 M06T02 表示将原来的刀具换成 2 号刀。

## 2.2.5 常用编程指令

### 1. 绝对坐标方式与增量坐标方式

指令: G90、G91

G90 状态下, 程序段中的尺寸数字为绝对坐标值, 即刀具所有轨迹点的坐标值, 均以工件零点为基准而得; G91 状态下, 程序段中的尺寸数字为增量坐标值, 即刀具当前点的坐标值是以刀具前一点为基准而得。

例: 如图 2.9 所示, 分别写出 A、B 两点的绝对坐标方式和增量坐标方式。

绝对坐标方式: A (30, 30)、B (10, 12)

增量坐标方式: A (20, 18)、B (10, 12)

对于 FANUC 用于车床的数控系统, 如选用标准组 (A 组) G 代码, 那么其内没有 G90/G91 指令。这时程序内用 X~、Z~ 为绝对坐标方式, 用 U~、W~ 为增量坐标方式。这种表达方式的特点是不但在同一程序中, 而且在同一程序段中, 绝对坐标与增量坐标可以混用; 另外, 两种坐标指令属于哪一种将一目了然, 无须看前面的是 G90 还是 G91, 这样可减少错误。

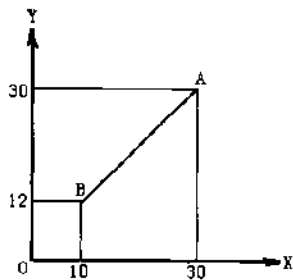


图 2.9 G90 G91 指令应用

### 2. 预置寄存

指令: G92

该指令的作用是按照程序规定的尺寸字设置或修改坐标位置, 不产生机床运动。通过该指令设定起刀点即程序开始运动的起点, 从而建立加工坐标系。注意, 该指令只是设定坐标系, 机床 (刀具或工作台) 并未产生任何运动。

程序格式: G92 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

其中: X、Y、Z 指定起刀点相对于加工原点的位置。

例: 若加工坐标系如图 2.10a 所示, 加工坐标系原点在 O, 刀具起点在 A, 则设定该加工坐标系的程序段为



G92 X30 Y30

应注意的是,用这种方式设置的加工原点是随刀具起始点位置的变化而变化的,这一点在重复加工中应注意。

若仍以图 2.10a 为例,当刀具起刀点在 B 点,要建立图示的加工坐标系时,则设定该加工坐标系的程序段为

G92 X10 Y12

这时,若仍用程序段 G92 X30 Y30 来设置坐标系,则所设置的加工坐标系如图 2.10b 所示。

对于 FANUC 用于车床的数控系统,如选用标准组(A组)G 代码,那么上述 G92 用 G50 代替。

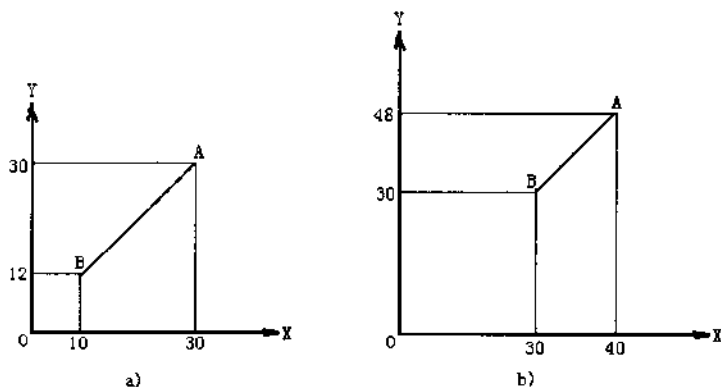


图 2.10 设置加工坐标系

现代数控机床一般既可用预置寄存的方法来设定坐标系,也可用 CRT/MDI(Cathode-ray tube/manual data input) 手工输入方法设置加工坐标系,即使开始执行程序时刀具不在起始位置,也不会产生坐标系的混乱。

### 3. 坐标平面选择

坐标平面选择指令是用来选择圆弧插补的平面和刀具补偿平面的。

指令: G17、G18、G19

如图 2.11 所示, G17 为选择 XY 平面; G18 为选择 ZX 平面; G19 为选择 YZ 平面。在数控车床上一般默认为在 ZX 平面内加工;在数控铣床上一般默认为在 XY 平面内加工。若要在其他平面上加工则应使用坐标平面选择指令。

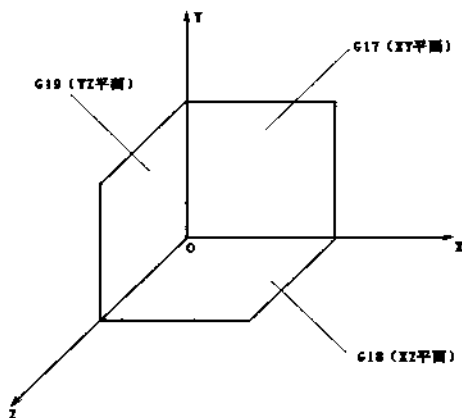


图 2.11 坐标平面选择

程序格式: G17/G18/G19

移动指令与平面选择无关,例 G17 Z\_\_, 这条指令可使机床在 Z 轴方向上产生移动。

### 4. 快速点定位

指令: G00

该指令命令刀具以点位控制方式从刀具所在点快速移动到下一个目标位置，它只是快速定位，对中间空行程无轨迹要求。在机床上，G00 的具体速度一般是用参数来设定的。G00 的速度一经设定后不宜常作改变。指令执行开始后，刀具沿着各个坐标方向同时按参数设定的速度移动，最后减速到达终点，如图 2.12a 所示。注意：在各坐标方向上有可能不是同时达到终点。刀具移动轨迹是几条线段的组合，不是一条直线。例如，在 FANUC 系统中，运动总是先沿与坐标轴成 45° 的直线移动，最后再在某一轴单向移动至目标点位置，如图 2.12b 所示。编程人员应了解所使用的数控系统的刀具移动轨迹情况，以避免加工中可能出现的碰撞。

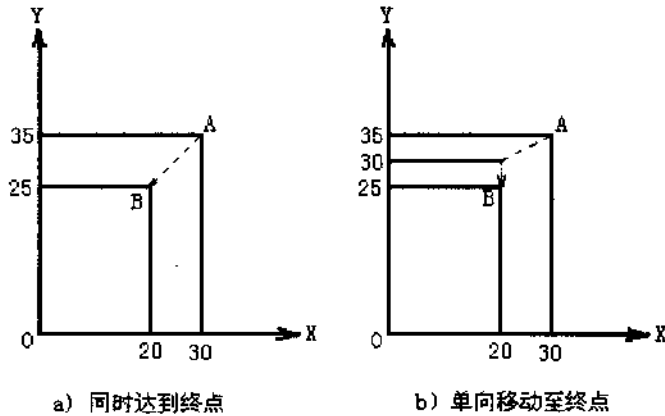


图 2.12 快速点定位

程序格式：G00 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

其中：X、Y、Z——指目标位置的坐标值。

例：如上图所示，从 A 点到 B 点快速移动的程序段为

G00 X20 Y25

### 5. 直线插补

指令：G01

该指令使刀具以一定的进给速度，从所在点出发，直线移动到目标点。可使机床沿 X、Y、Z 方向执行单轴运动或在各坐标平面内执行具有任意斜率的直线运动，也可使机床三轴联动，沿指定空间直线运动。

程序格式：G01 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ F\_\_

其中：X、Y、Z——指目标位置的坐标值。

F——指进给速度。有 3 种方式表示：①每分钟进给量 (mm/min)；②每转进给量 (mm/r，一般用于车床)；③代码表示法。F 后面的数值不直接表示进给量的大小，只是进给量的代号，如某机床将进给速度分为 20 级，用 F00~F19 表示。

例：如图 2.13 所示，从 A 点到 B 点的直线插补运动，其程序段为

G01 X20 Y25 F100

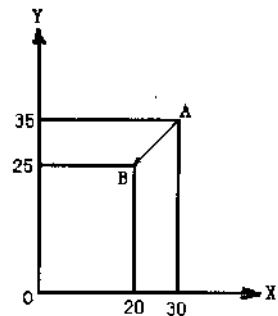


图 2.13 直线插补运动

## 6. 圆弧插补

指令: G02、G03

G02 表示按指定进给速度的顺时针圆弧插补, G03 表示按指定进给速度的逆时针圆弧插补, 对于各类数控系统都是一样的。圆弧顺、逆时针的判别方法是沿着圆弧所在平面(如 XOZ) 相垂直的另一坐标轴的负方向(如 -Y) 看去, 顺时针方向为 G02, 逆时针方向为 G03, 如图 2.14 所示。

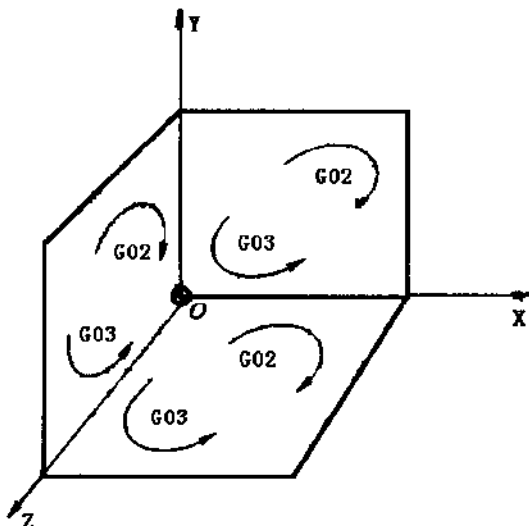


图 2.14 G02、G03 判别方法

程序格式:

XY 平面:

G17 G02 X\_\_ Y\_\_ I\_\_ J\_\_ (R\_\_) F\_\_

G17 G03 X\_\_ Y\_\_ I\_\_ J\_\_ (R\_\_) F\_\_

ZX 平面:

G18 G02 X\_\_ Z\_\_ I\_\_ K\_\_ (R\_\_) F\_\_

G18 G03 X\_\_ Z\_\_ I\_\_ K\_\_ (R\_\_) F\_\_

YZ 平面:

G19 G02 Y\_\_ Z\_\_ J\_\_ K\_\_ (R\_\_) F\_\_

G19 G03 Y\_\_ Z\_\_ J\_\_ K\_\_ (R\_\_) F\_\_

其中: X、Y、Z——指定圆弧终点的位置;

I、J、K——指定圆弧的圆心位置, 多数系统规定, I、J、K 在任何情况下都是圆弧坐标相对于圆弧起点坐标的增量尺寸, 与 G90、G91 无关。

现在不少数控系统已能用圆弧半径直接编程, 即在 G02/G03 指令的程序段中, 可直接指令圆弧半径, 而不必再指令 I、J、K 字, 一般指令半径的尺寸字地址是 R。当圆弧的圆心角小于等于  $180^\circ$  时, R 为正值。当圆弧的圆心角大于  $180^\circ$  时, R 值为负。当圆弧的圆心角为  $360^\circ$  时, 只能用 I、J、K 字编程。

例: 如图 2.15 所示, 所有圆弧的起点为 A, 终点为 B, 试分别写出它们的程序段。

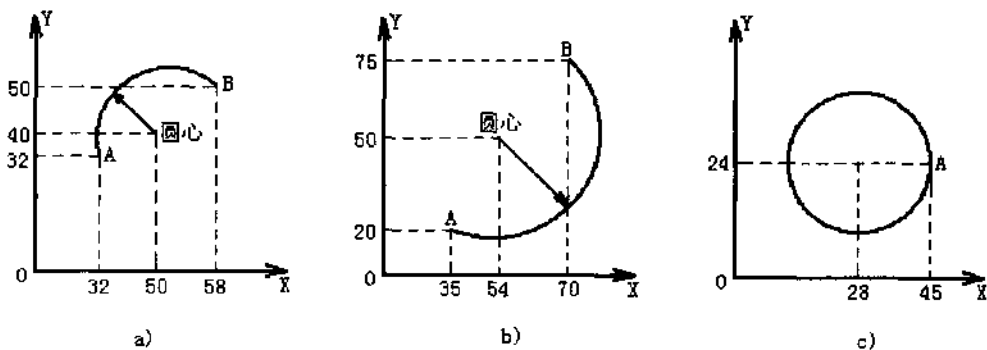


图 2.15 圆弧编程举例

在图 2.15a 中：

```
G90 G02 X58 Y50 I18 J8 F100
```

```
G91 G02 X26 Y18 I18 J8 F100
```

在图 2.15b 中：

```
G90 G03 X70 Y75 I19 J30 F100
```

```
G91 G03 X35 Y55 I19 J30 F100
```

在图 2.15c 中：

```
G90 G02/G03 X45 Y24 I-17 J0 F100
```

```
G91 G02/G03 X0 Y0 I-17 J0 F100
```

上述 J0 字可以省略。

## 7. 刀具补偿

### (1) 刀具半径补偿。

在零件轮廓铣削加工时，由于刀具半径尺寸影响，刀具的中心轨迹与零件轮廓往往不一致。为了避免计算刀具中心轨迹、直接按零件图样上的轮廓尺寸编程，可使用数控系统提供的刀具半径补偿功能。

指令：G41/G42、G40

G41 是左偏刀具半径补偿：指沿着刀具运动方向向前看（假设工件不动），刀具位于零件左侧的刀具半径补偿；G42 是右偏刀具半径补偿：指沿着刀具运动方向向前看（假设工件不动），刀具位于零件右侧的刀具半径补偿；G40 是刀具半径补偿撤销，如图 2.16 所示。

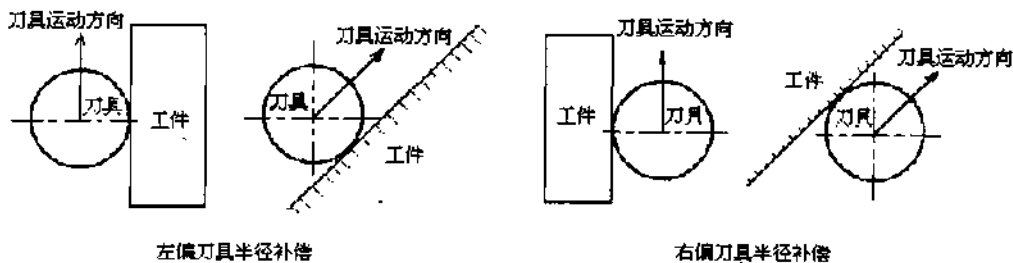


图 2.16 刀具半径补偿

刀具半径补偿功能的作用：首先，当用圆头刀具（如圆头铣刀、圆头车刀）加工时，只需按照零件轮廓编程，不必按刀具中心轨迹编程，大大简化了程序的编制。其次，可通过刀具半径补偿功能很方便地留出加工余量，先进行粗加工，再进行精加工。再次，可以补偿由于刀具磨损等因素造成的误差，提高零件的加工精度。

```
程序格式：G00/G01 G41/G42 X__ Y__ Z__ H(D) __
           ↓
           G00/G01 G40 X__ Y__ Z__
```

上段中：X、Y、Z——指建立刀具补偿直线段的终点坐标值；

H(D)——指刀具偏置代号的地址字，后面一般用两位数字表示代号；H(D)代码中存放刀具半径值作为偏置量，用于数控系统计算刀具中心的运动轨迹，偏置量可用CRT/MDI方式输入。

刀具补偿过程的运动轨迹分为3个组成部分：形成刀具补偿的建立补偿程序段、零件轮廓切削程序段和补偿撤销程序段。数控系统一启动，总是处在补偿撤销状态，这时刀具的偏移向量为0，刀具中心轨迹与编程路线一致。在补偿撤销状态下，若一个满足以下3个条件的程序段被执行，系统就进入偏置状态，即建立了补偿：

- ①G41或G42被指定，系统即进入G41或G42状态；
- ②刀具补偿的偏置量不是H(D)00；
- ③在偏置平面内指定了不为0的任意一轴上的移动。

在建立补偿的程序段中，不能使用圆弧指令产生移动。当建立起正确的偏移向量后，系统就将按程序要求实现刀具中心的运动。要注意的是：在补偿状态中不得变换补偿平面，否则将出现系统报警。

当加工处在偏置状态时，如果一个有下列任一条件的程序段被执行，那么系统就进入补偿撤销状态，这一程序段的功能就是补偿撤销：

- ①指定了G40；
- ②指定了H(D)00为刀具补偿的偏置号。

刀具半径补偿的终点应放在刀具切出工件以后，否则会发生碰撞。

#### (2) 刀具长度补偿。

使用刀具长度补偿指令，在编程时就不必考虑刀具的实际长度和各把刀具不同的长度尺寸。加工时，用MDI方式输入刀具的长度尺寸，即可正确加工。

指令：G43、G44、G49

G43是刀具长度正补偿；G44是刀具长度负补偿；G49是撤销刀具长度补偿。刀具长度补偿指令，一般用于刀具轴向(Z方向)的补偿。当所选用的刀具长度不同或者需进行刀具轴向进刀补偿时，可使用该指令；当刀具磨损、更换新刀或刀具安装有误差时，也可使用该指令。它可以使刀具在Z方向上的实际位移量大于或小于程序给定值，即实际位移量=程序给定值+补偿值。

```
程序格式：G43/G44 Z__ H(D) __
           ↓
           G01 G49
```

其中：H(D)同上述刀具半径补偿时含义相同，不过偏置号中放入刀具的长度补偿值

作为偏置量。

无论采用 G90/G91 方式编程，在程序执行时，都是将存放在偏置地址 H (D) 中的偏置量与 Z 坐标的尺寸字进行运算后，按其结果进行 Z 轴的移动。使用 G43 指令时，是将 H (D) 中的值加到 Z 尺寸字上；使用 G44 指令时，是从 Z 向尺寸字中减去 H (D) 中的数值。

## 2.3 思考与练习题

1. 数控车床与数控铣床坐标系的区别是什么？各坐标轴如何确定？
2. 数控机床加工程序的编程主要包括哪些内容？
3. 数控编程中常用的程序字有哪些？尺寸字的单位如何确定？

## 第3章 数控机床加工工艺基础

### 本章知识

- 数控机床加工工艺设计
- 数控车削加工工艺分析
- 数控铣削加工工艺分析

数控加工工艺设计是对工件进行数控加工的前期工艺准备工作，它必须在程序编制之前完成。因为只有当工艺方案确定以后，程序编制才有依据。工艺设计合理与否，对程序的编制、机床的使用效率和零件的加工精度都有重要影响。工艺设计不好，往往会使编程工作量成倍增加，有时甚至要重新再来。工艺方面考虑不周是造成加工差错的主要原因之一。因此，编程人员一定要先做好工艺设计后，才能开始编程。

### 3.1 数控机床加工工艺设计内容

#### 3.1.1 数控机床加工的工艺性分析

##### 1. 选择并决定进行数控加工的内容

对于某个零件而言，并非全部加工工艺过程都适合在数控机床上完成。而往往只是其中的一部分适合于数控加工。这就需要对零件图样进行仔细的工艺分析，选择那些最合适、最需要进行数控加工的内容和工序。选择时，一般可按下列顺序来考虑：

(1) 通用机床无法加工的内容应作为优选内容。

(2) 通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。

(3) 通用机床效率低、工人手工操作劳动强度大的内容，也可考虑在数控机床上进行选择。

一般而言，上述这些加工内容采用数控加工后，在产品质量、生产效率与综合效益等方面都会得到明显提高。相比之下，下列一些内容则不宜选择数控加工：

(1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准，要用专用工装协调的加工内容。

(2) 加工部分分散，要多次安装、设置原点。这时，采用数控加工较麻烦，效果不明显，可安排通用机床补加工。

(3) 按某些特定的制造依据（如样板、样件等）加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难，易与检验依据发生矛盾，增加编程难度。

此外，在选择和决定加工内容时，也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之，要尽量做到合理，达到多、快、好、省的目的。

##### 2. 零件图样上尺寸标注

对图样的工艺性分析与审查，一般是在零件图样设计和毛坯设计以后进行的，零件设计已经定型，我们再要求根据数控加工工艺的特点，对图样或毛坯进行较大的更改是比较

困难的。所以，一定要把重点放在零件图样或毛坯图样初步设计定型之间的工艺性审查与分析上。因此，程序员要与设计人员密切合作，参与零件图样审查，提出恰当的修改意见，在不损害零件使用特性的许可范围内，更多地满足数控加工工艺的各种要求。

· (1) 尺寸标注应符合数控加工的特点。

在数控编程中，所有点、线、面的尺寸和位置都是以编程原点为基准的。因此，零件图中最好直接给出坐标尺寸，或尽量以同一基准标注尺寸。这种标注法既便于编程，也便于尺寸间的相互协调，在保持设计、工艺、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员往往在尺寸标注中较多地考虑装配等使用特性方面，而不得不采取局部分散的标注方法，这样会给工序安排与数控加工带来诸多不便。事实上，由于数控加工精度及重复定位精度都很高，不会因产生较大的累积误差而破坏使用性能，因而改动局部的分散标注法为同基准标注或坐标式尺寸是完全可以的。

(2) 构成零件轮廓的几何要素的条件应完整、准确。

在编制程序中，程序员必须充分掌握构成零件轮廓的几何要素、参数及各几何要素间的关系。因为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，手工编程时要计算出每一基点的坐标，无论哪一点不明确或不确定，编程都无法进行。所以，在审查与分析图样时，一定要仔细认真，发现问题应及时找零件设计人员纠正。

(3) 审查与分析定位基准的可靠性。

在数控加工中，加工工序往往较集中，可对零件进行双面、多面的顺序加工，以同一基准定位十分必要，否则很难保证两次安装加工后两个面上的轮廓位置及尺寸协调。

### 3. 零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点

(1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸，这样可以减少刀具规格和换刀次数，使编程方便，效益提高。

(2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小，因而内槽圆角半径不应过小，如图 3.1 所示。零件工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转换圆弧半径的大小等有关。图 3.1b 与图 3.1a 相比，转接圆弧半径大，可以采用较大直径的铣刀来加工。加工平面时，进给次数也相应减少，表面加工质量也会好些，所以工艺性较好。通常  $R < 0.2H$  ( $H$  为被加工零件轮廓面的最大高度) 时，可以判定零件的该部位工艺性不好。

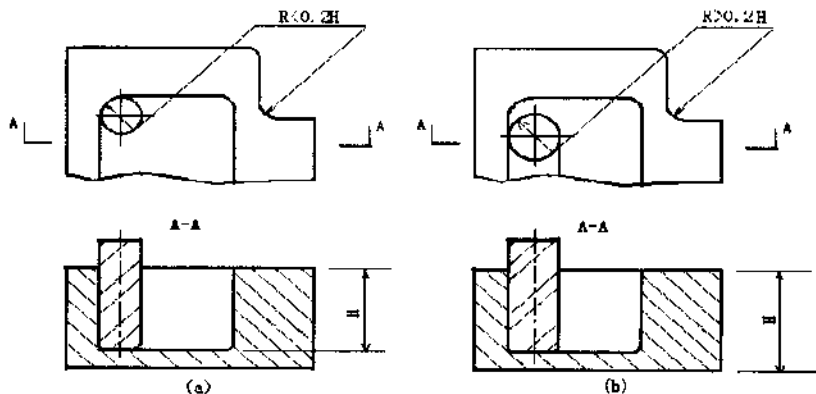


图 3.1 数控加工工艺性对比



(3) 铣削零件底面时, 槽底圆角半径  $r$  不应过大, 如图 3.2 所示。圆角  $r$  越大, 铣刀端刃铣平面的能力越差, 效率也越低。当  $r$  大到一定程度时, 甚至必须用球头刀加工, 应尽量避免。因为铣刀与铣削平面接触的最大直径  $d = D - 2r$  ( $D$  为铣刀直径)。当  $D$  一定时,  $r$  越大, 铣刀端刃铣削平面的面积越小, 加工表面的能力越差, 工艺性也越差。

此外, 还应分析零件要求的加工精度、尺寸公差等是否能得到保证, 是否有引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

### 3.1.2 数控机床加工的工艺路线设计

数控工艺路线设计是下一步工序设计的基础, 其设计的质量会直接影响零件的加工质量与生产效率。设计工艺路线时应应对零件图、毛坯图认真分析, 结合数控加工的特点灵活运用普通加工工艺的一般原则, 尽量把数控加工工艺路线设计得合理一些。因此, 在工艺路线设计中一定要注意, 由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中, 因而要与其他加工工艺衔接好, 常见的工艺流程如图 3.3 所示。

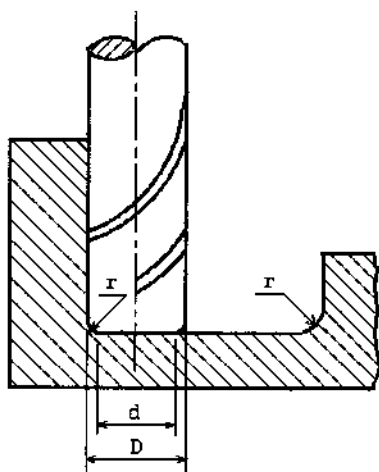


图 3.2 零件底面圆弧的影响



图 3.3 工艺流程

#### 1. 工序的划分

在数控机床上加工零件, 工序应比较集中, 在一次装夹中应尽可能完成大部分工序。首先应根据零件图样, 考虑被加工零件能否在一台数控机床上完成全部的加工内容。若不能, 则应选择哪一部分零件表面需用数控机床加工, 即对零件进行工序划分, 一般有以下几种方式:

(1) 以一次安装、加工作为一道工序。

这种方法适合于加工内容较少的零件, 加工完后能达到待检状态。

(2) 以同一把刀具加工的内容划分工序。

有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面, 但考虑到程序太长, 会受到某些限制, 如控制系统的限制 (主要是内存容量), 机床连续工作时间的限制 (如一道工序在一个工作班内不能结束) 等。此外, 程序太长会增加出错与检索的困难。因此程序不能太长, 一道工序的内容不能太多。

(3) 以加工部位划分工序。

对于加工内容很多的工件, 可按其结构特点将加工部位分成几个部分, 如内腔、外形、曲面或平面, 并将每一部分的加工作为一道工序。

(4) 以粗、精加工划分工序。

对于经加工后易发生变形的工件，由于对粗加工后可能发生的变形需要进行校形，故一般来说，凡要进行粗、精加工的过程，都要将工序分开。

总之，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少及安装次数来灵活掌握。什么零件宜采用工序集中的原则还是采用工序分散的原则，也应根据实际情况合理确定。

## 2. 工步的划分

工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。在一个工序内往往要采用不同刀具和切削用量对不同表面进行加工。为了便于分析，在工序内又细分为工步，工步划分的原则如下：

(1) 同一表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成——“先粗后精”；

(2) 对于既有铣面又有镗孔的零件，可先铣面后镗孔。这样可以提高孔的加工精度——“先面后孔”；

(3) 某些机床工作台回转时间比换刀时间短，可采用按刀具划分工步，以减少换刀次数，提高加工效率——“刀具集中”。

## 3. 顺序的安排

顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，以及定位安装与夹紧的需要来考虑，重点是工件的刚性不被破坏。顺序安排一般按以下原则进行：

(1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位和夹紧，中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑；

(2) 先进行内形内腔加工工序，后进行外形加工工序；

(3) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序，最好连续进行，以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数；

(4) 在同一次安装中进行的多道工序，应先安排对工件刚性破坏较小的工序。

## 4. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通加工工序，如衔接得不好就容易产生矛盾，因此，在熟悉整个加工工艺内容的同时，要清楚数控加工工序与普通加工工序各自的技术要求、加工目的、加工特点，如是否留有加工余量，留多少；定位面与孔的精度要求及形位公差；对校形工序的技术要求；对毛坯的热处理状态等，这样才能使各工序达到相互能满足加工需要，且质量目标及技术要求明确，交接验收有依据。

### 3.1.3 数控机床加工的工序设计

当数控加工工艺路线设计完后，各道数控加工工序的内容已经基本确定，接下来便可以着手数控加工工序的设计。数控加工工序设计的主要任务是进一步把本工序的加工内容、加工用量、工艺装备、定位夹紧方式以及刀具的运动轨迹都确定下来，为编制加工程序作好准备。

#### 1. 走刀路线的确定

走刀路线是刀具在整个加工工序中的运动轨迹，即刀具从对刀点（或机床原点）开始

运动,直至返回该点并结束程序所经过的路径,包括切削加工的路径以及刀具切入、切出等非切削空行程。它不但反映了工步的内容,也反映出工步的顺序。工步的划分与安排一般随走刀路线来进行。

走刀路线是编写程序的依据之一,因此,在确定走刀路线时,最好画一张工序简图,将本道工序中的走刀路线画上去(包括进刀、退刀路线),这样就可给编程带来方便。

确定走刀路线时应注意以下几点:

#### (1) 寻求最短走刀路线。

在保证加工质量的前提下,应寻求最短走刀路线,以减少整个加工过程中的空行程时间,提高加工效率。

#### (2) 最终轮廓一次走刀完成。

为保证零件轮廓表面粗糙度要求,当零件的加工余量较大时,可采用多次进给逐渐切削的方法,最后留少量的精加工余量,安排在最后一次走刀时连续加工出来。

#### (3) 选择切入、切出方向。

考虑刀具的进、退刀(切入、切出)路线时,刀具的切入及切出点应在沿零件轮廓的切线上,以保证工件轮廓光滑;应避免在工件轮廓面上垂直上、下刀而划伤工件表面;尽量减少加工切削过程中的停顿,避免因切削力突然变化而造成弹性变形,致使在零件轮廓上留下刀具的刻痕。

#### (4) 选择使工件在加工后变形小的路线。

对横截面积小的细长零件或薄板零件应采用分几次走刀加工到最后尺寸或对称去除余量法安排走刀路线。安排工步时,应先安排对工件刚性破坏较小的工步。

### 2. 零件装夹及夹具选择

在数控加工过程中,既要保证加工质量,又要减少辅助操作时间,提高加工效率。因此,应选用能准确和迅速定位并夹紧零件的装夹方案和夹具。

#### (1) 零件安装。

被加工零件在数控机床上的安装方法与一般机床一样,也要合理地选择定位基准和夹紧方案。在确定定位基准和夹紧方案时,应力求工艺基准与设计基准重合,减少定位误差。

在安装工件前,一般要考虑以下两个原则:

① 尽量减少装夹次数,力争做到在一次装夹后能加工出全部待加工表面,以充分发挥数控机床的效能。

② 定位基准要预先加工完毕。当有些零件需要二次装夹时,要尽可能利用同一基准面来加工另一些待加工表面,以减少加工误差。

#### (2) 夹具选择。

这里所讲的夹具是指数控机床上完成工件夹紧、定位的工具。编程人员一般不进行数控加工的夹具设计,而是选用夹具或参与夹具设计方案的讨论。

数控加工对夹具的要求:一是要保证夹具本身在机床上安装准确;二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。在选择夹具时,一般应注意以下几点:

① 夹具结构力求简单,优先采用组合夹具、可调试夹具和其他通用夹具,避免采用专用夹具,以缩短生产周期。

- ② 装卸零件要快速方便，多采用气动、液压夹具，以减少数控机床停机时间。
- ③ 要使加工部位敞开，夹具机构上的各部件不得妨碍加工中的走刀。
- ④ 夹具在机床上安装要准确可靠，以保证在正确位置上加工工件。
- ⑤ 夹具要有足够的刚度和强度，以保证零件的加工精度。

### (3) 夹具类型。

① 数控车床轴类零件夹具：在数控车床上加工轴类零件时，毛坯装在主轴顶尖和尾架顶尖之间，工件通过主轴上的拨动卡盘转动旋转。这时，拨动卡盘应满足在粗加工时能传递最大转矩；能在高速转动时进行加工；能用顶尖使毛坯定位；能将用顶尖加工快速调整为用卡盘加工。

主轴上拨动卡盘的结构形式主要有三爪拨动卡盘、自动夹紧拨动卡盘、复合卡盘和快速可调万能卡盘等。

② 数控车床盘类零件夹具：盘类零件在数控车床上可用带可调卡爪的卡盘、液压驱动卡盘、快速可调卡盘等进行装夹，其中快速可调卡盘还可以用于夹紧法兰、套、杯形、杆类等零件。

③ 数控铣床夹具：数控铣床可以加工形状复杂的零件，在数控铣床上工件装夹方法与普通铣床一样，所使用的夹具往往并不复杂，只要求有简单的定位、夹紧机构就可以将工件装夹在工作台上。但是要加工部位敞开，不能因为装夹工件而影响进给和切削加工。

箱体零件在工作台上安装，通常用一个导向面、两个支承面的三面安装法或采用一个平面和两个销孔的安装方法，如加工箱体零件用万能拼合夹具、压板压紧等。

必要时，还可以在数控铣床的工作台上安装不同形式的各种夹具，如数控分度工作台等。

### 3. 对刀点和换刀点的确定

所谓对刀是指将刀具移向对刀点，并使刀具的刀位点和对刀点重合的操作。

#### (1) 对刀点的确定。

对刀点是指在数控加工时刀具相对于工件运动的起点，也是程序的起点。编制程序时，应首先确定对刀点的位置。

选择对刀点具体的原则有以下几点：

① 对刀点可设在被加工零件上，也可设在零件外的某一点（如夹具上），但是，应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上，或者与零件定位基准有一定尺寸联系的位置。如以孔定位的零件，应将孔的中心作为对刀点，这样可以提高零件的加工精度。

② 应尽量选择在机床上查找容易，在加工过程中便于检查的位置上。

③ 为便于坐标值的计算，最好选在坐标系的原点上，或选在已知坐标值的点上。

#### (2) 换刀点的确定。

加工中心、数控车床等多刀加工的机床，常需要在加工过程中自动换刀，故编程时还要设置换刀点。为防止换刀时碰伤工件或夹具，换刀点常常设置在被加工零件外面，并要留有一定的安全距离。

### 4. 刀具及其选择

数控机床刀具除了数控磨床和数控电加工机床之外，其他的数控机床都必须采用数控刀具。随着数控机床结构、功能的发展，现在数控机床的刀具已不是普通机床所采用的“一

机一刀”的模式，而是多种不同类型的刀具同时在数控机床的刀盘上（或主轴上）轮换使用，可以达到自动换刀的目的。

（1）数控加工对刀具的要求。

- ① 刚性好（尤其是粗加工刀具），精度高，抗振及热变形小；
- ② 良好的互换性，便于快速换刀，降低辅助时间，提高加工效率；
- ③ 切削性能稳定、可靠，寿命高，耐热冲击性好；
- ④ 刀具的尺寸、结构便于调整，以减少换刀调整时间；
- ⑤ 刀具应能可靠地断屑或卷屑，以利于切屑的排出；
- ⑥ 系列化、标准化、模块化，以利于减少刀具数量，提高刀具利用率，便于编程和对刀具的管理。

（2）数控机床刀具的特点。

- ① 刀片和刀具几何参数、切削参数的规范化、典型化；
- ② 刀片或刀具材料及切削参数与被加工工件的材料之间匹配的选用原则；
- ③ 刀片或刀具的耐用度及其经济寿命指标的合理化；
- ④ 刀片、刀柄的定位基准的优化及对刀具柄的转位、装拆和重复精度的要求；
- ⑤ 刀片及刀柄对机床主轴的相对位置的要求高；
- ⑥ 对刀柄的强度、刚性及耐磨性的要求高；
- ⑦ 刀柄或工具系统的装机重量限制的要求；
- ⑧ 刀片及刀柄切入的位置和方向的要求；
- ⑨ 刀片和刀柄高度的通用化、规则化和系列化；
- ⑩ 整个数控工具系统和自动换刀系统的优化。

（3）数控机床刀具技术的发展。

- ① 具有较高的硬度和耐磨性；
- ② 具有较高的强度和韧性；
- ③ 具有良好的耐热性和导热性；
- ④ 应具有较好的抗粘结性；
- ⑤ 应具有较好的工艺性。

（4）刀具材料。

数控机床刀具从制造所采用的材料上可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具、立方氮化硼刀具、聚晶金刚石刀具。目前用得最普遍是硬质合金刀具。

① 高速钢。高速钢是含钨（W）、钼（Mo）、铬（Cr）、钒（V）、钴（Co）等元素的高合金钢。它具有较好的韧性，可以承受冲击载荷，其化学稳定性、制造工艺性、刃磨性较好，红硬性仅次于硬质合金。一般应用在机械加工的低速切削中。近年来有刀具材料生产厂家研制出新型高速钢，提高了其耐磨、耐热性能，也可以用来进行中速切削和对不锈钢等难加工材料的加工。

随着材料科学的发展，高速钢刀具材料的品种已从单纯的W系列发展到WMo系列、WMoAl系列、WMoCo系列。其中WMoAl系列是我国特有的品种。

目前国内外应用得比较普遍的高速钢刀具材料是以WMo系列、WMoAl系列、WMoCo系列为主。国内生产高速钢刀具材料的企业主要有上海第五钢铁厂、大连钢厂、大冶钢厂、

本溪钢厂等。国内生产高速钢刀具的企业主要有上海工具厂、哈尔滨量具刃具厂、哈尔滨第一工具厂、成都量具刃具厂、上海量具刃具厂、上海刃具厂等。

② 硬质合金。随着机床刚性、主轴转速及切削力的提高，硬质合金刀具得到广泛应用。

硬质合金是采用高硬度的金属碳化物（WC、TiC、NbC 等）与金属粘结剂（Co、Ni 等）通过粉末冶金的方法制造的烧结体。它具有较高的硬度、良好的耐磨性和耐热性，是数控机床刀具应用最为广泛的材料，适合于数控加工的中速和高速切削。

ISO 标准中把硬质合金分为 P、M、K 三类，其中 P 类主要用于长切屑黑色金属加工，如钢、不锈钢、可锻铸铁等；M 类主要用于长切屑或短切屑黑色金属和有色金属加工，如钢、锰钢、奥氏体不锈钢等；K 类主要用于短切屑黑色金属、有色金属和非金属材料的加工，如铸铁、有色金属等。

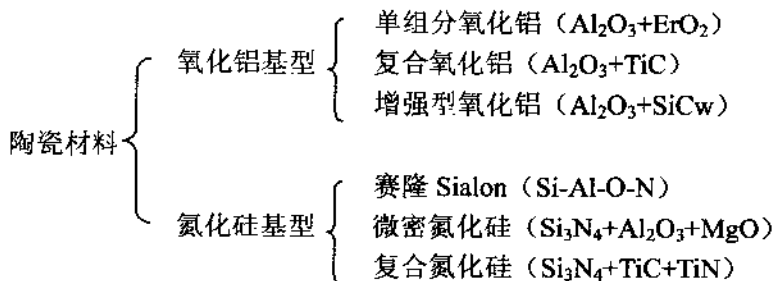
国产硬质合金刀具材料的品种基本分为 3 大类：一类以 WC 为主的加上钴粘结剂的钨钴类，牌号为“YG”；第二类是以 WC+TiC 为主的加上钴粘结剂的钨钴钛类，牌号为“YT”；第三类是在 WC+TiC 的基础上，加入少量的 NbC、TaC 等碳化物，形成一种和所谓“万能型”的硬质合金，牌号为“YW”。

国内生产硬质合金刀具材料的企业主要有湖南株洲硬质合金厂、四川自贡硬质合金厂、天津硬质合金厂、上海硬质合金厂、辽宁旅顺硬质合金厂、成都工具研究所、上海材料研究所等。

按硬质合金刀片的使用方法，可分为焊接式刀片和可转位机夹式刀片两类。目前数控机床大多采用机夹式刀片，仅有少部分仍采用焊接式刀片。

③ 陶瓷。陶瓷材料是在氧化铝（ $Al_2O_3$ ）基体内加入氧化物、碳化物或氮化物的无机非金属材料。早期的陶瓷刀片由于脆性、不均匀性和强度低，其应用效果较差。通过对陶瓷材料的粒子细微化和高密度化等方面的改进，现在有了强度高、材质均匀、质量稳定的各类陶瓷刀片，配合功率更高、刚性更好的高速数控机床，其应用已经取得了重大进展。

陶瓷刀具材料目前主要分为如下两大系列：



陶瓷材料的硬度高达 91~95HRA，耐磨性好；在 1200℃ 高温下仍能保持良好的切削性能；具有良好的化学稳定性，较低的摩擦系数，较强的抗粘结磨损与抗扩散磨损能力。这种材料的主要缺点是抗弯强度低、耐冲击性能差。因此目前主要用于高速精车、精铣与半精车、半精铣等。部分韧性较高的陶瓷刀具材料也可用于粗车或粗铣。

国产的氧化铝基型有 AG2、AT6 等，氧化硅基型有  $Si_2N_2-MA-ZrO_2$  系等。生产陶瓷刀片的企业主要有成都工具研究所、郑州磨料磨具研究所、山东工业陶瓷研究设计院等。

④ 立方氮化硼。立方氮化硼（CBN）刀具材料是 1957 年由美国通用电气公司首先合成的。我国于 1967 年首次合成，1973 年四川省立方氮化硼协作组研制出第一代立方氮化

硼刀片, 1980年成都工具研究所试制成功FD系列立方氮化硼复合刀片, 1982年又研制出新的换代产品LDP-J-CFⅡ型复合刀片。

立方氮化硼是氮化硼(BN)的同素异形体, 其结晶结构与金刚石相似。在分子结构构成上主要有单晶体和聚晶体两大类。单晶体主要用于制造砂轮, 聚晶体用作制造切削刀具。CBN具有良好的耐热性, 能够在1300℃的高温下保持其硬度, 因而也具有良好的耐磨性, 可在高速下切削高温合金, 其切削速度比硬质合金高4~6倍。另外它还具有良好的化学稳定性, 所以CBN刀具在加工钢铁材料的应用方面, 具有比其他超硬刀具材料(如金刚石刀具)更广泛的用途。

国内所生产的CBN刀片都是以硬质合金为基底的复合刀片, 这种刀片既有硬质合金的韧性又有CBN材料的耐磨性。国产CBN刀片的形状有圆形、正方形、三角形和菱形等, 对于机夹式刀片用圆形刀片为佳。

目前国内生产CBN刀片的企业有成都工具研究所、贵阳第六砂轮厂、郑州磨料磨具研究所、桂林矿产地质研究院、首都机械厂、哈尔滨砂轮厂等。

在使用CBN刀片时应选择刚性好、功率足够的机床。刀杆的伸出量尽可能小, 避免让刀和振动。在任何切削情况下都要采用负前角, 要选择最大可能的负偏角( $>15^\circ$ )。一般情况下推荐采用冷却液, 刃口可以倒钝, 特别是间断切削。要在刀片开始变钝时立即换刀, 可采用比硬质合金大得多的切削速度和进给量, 听到颤声时要立刻停止切削。

⑤ 聚晶金刚石。聚晶金刚石刀片绝大多数是将聚晶金刚石与硬质合金基材一起烧结而成的。聚晶金刚石的硬度很高, 耐磨性好, 有锋利的刀刃, 可以把切屑从零件的表面上很干净地剪下来, 而保持零件表面的完整和光洁, 由此而降低切屑与刀刃的摩擦力, 提高切削效率。

瑞典SANDVIK公司的聚晶金刚石刀片的牌号为CD10, 主要将聚晶金刚石颗粒烧结在刀片刃口的顶端部分, 其形状有四边形、菱形、正方形、三角形等。美国通用电气公司的聚晶金刚石刀片的牌号为COMPAX, 它是将聚晶金刚石颗粒烧结在刀片的整个刃口平面上(厚度有0.5mm), 其开头有圆形、扇形和矩形。

使用聚晶金刚石刀片时应遵循的原则是只用于加工有色金属和非有色金属材料, 选用足够刚性和功率的机床, 采用刚性好的刀柄和紧固装置, 可采用较大的前角加大切削深度和进给量, 一般可用冷却液, 不要在刀具失去锋利的刃口后再继续使用。

总之, 上述5大类刀具材料, 从总体上分析, 材料的硬度、耐磨性, 金刚石最高, 依次降低, 直到高速钢。而材料的韧性则是高速钢最高, 金刚石最低。在数控机床、车削中心、加工中心等现代机床中, 采用最广泛的是硬质合金钢和高锰钢这两类。因为这两类材料从经济性、成熟性、适应性、多样性、工艺等方面, 目前综合效果都优于其他材料。但在以车代磨加工淬火钢时, 陶瓷、立方氮化硼刀具具有很大的优势, 聚晶金刚石刀片则用于加工有色金属和非有色金属, 砂轮修磨等。

#### (5) 数控机床刀具的选择。

与传统加工方法相比, 数控加工对刀具的要求更高。尤其在刀具的刚性及耐用度方面较传统加工更为严格。因为刀具若刚性不好, 会影响生产效率的提高, 在加工中极易出现打刀的事故, 也会降低加工精度。若刀具耐用度差, 则需要经常换刀、对刀, 从而增加服务时间, 并且容易在工件轮廓上留下接刀痕迹, 影响工件表面质量。此外, 还要求刀具精

度高,尺寸稳定,安装调整方便。所以刀具的选择是数控加工工艺中重要内容之一,要注意对工件的结构及工艺性认真分析,结合机床加工能力、工件材料及工序内容等综合考虑。在确定好刀具之后,要把刀具名称、规格、代号和该刀所要加工的部位记录下来,并填入有关工艺卡片,供编程时使用。

数控机床刀具的装夹、转换主要分为两大系统,一种是车削系统,另一种是镗铣削系统。车削系统由刀片(刀具)、刀体、刀柄、刀盘组成。镗铣削系统由刀片(刀具)、刀杆(或柄体)、主轴或刀片(刀具)、工作头、连接杆、手柄、主轴所组成。前种方式为整体式工具系统,后种方式为模块式工具系统。手动换刀或自动换刀的区别主要在于柄体(或手柄)有否机械手槽口而定。

① 选择刀片(刀具)应考虑的因素。

- a) 被加工工件材料的类别:有色金属、黑色金属、复合材料、塑料类等;
- b) 被加工工件材料性能的状况:包括硬度、韧性、组织状态等;
- c) 切削工艺的类别:分车、钻、铣、镗,粗加工、精加工、内孔、外圆等;
- d) 要求刀片(刀具)能承受的切削容量(切削深度、切削速度、进给量);
- e) 生产现场的条件(操作间断时间、振动、电磁波动等);
- f) 被加工工件的生产批量,影响到刀片(刀具)的经济寿命。

② 选择镗孔(内孔)刀具的考虑因素。

- a) 尽可能选择大的刀杆直径,接近镗孔直径;
- b) 尽可能选择短的刀臂(工作长度),当工作长度小于4倍刀杆直径时可用钢制刀杆,加工要求高的孔时最好采用硬质合金制刀杆。当工作长度为4~7倍的刀杆直径时,小孔用硬质合金制刀杆,大孔用减震刀杆。当工作长度为7~10倍的刀杆直径时,要采用减震刀杆;
- c) 选择主偏角,大于 $75^\circ$ ,接近 $90^\circ$ ;
- d) 选择无涂层的刀片品种(刀刃圆弧小)和小的刀尖半径( $r_s = 0.2$ );
- e) 精加工采用正切削刃(正前角)刀片和刀具,粗加工采用负一正切削刃刀片的负刀具;
- f) 镗较深的盲孔时,采用压缩空气(气冷)或冷却液(排屑和冷却);
- g) 选择正确的、快速的镗刀柄夹具。

在选择刀具时,要注意对工件的结构及工艺性认真分析,结合工件材料,毛坯余量及刀具加工部位综合考虑。在确定好以后,要把刀具规格、专用刀具代号和该刀所要加工的内容列表记录下来,供编程时使用。

### 5. 切削用量选择

当编制数控加工程序时,程序员必须确定每道工序的切削用量。确定时一定要根据机床说明书中规定的要求,以及刀具的耐用度去选择,也可结合实践经验采用类比的方法来确定切削用量。

切削用量包括主轴转速 $n$ (切削速度 $v_c$ )、背吃刀量 $a_p$ 、进给量 $f$ (或进给速度 $v_f$ )。

合理选择切削用量的原则是: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。在选择切削用量时要保证刀具能加工完一个零件,最好刀具的耐用度不低于一个工作班或半个班的时间。



## (1) 确定背吃刀量。

主要依据机床、夹具、刀具和工件的刚度来决定。在刚度允许的情况下， $a_p$  相当于加工余量，应以最少的进给次数切除这一加工余量，最好一次切净余量，以提高生产效率。为了保证加工精度和表面粗糙度，一般都要留一点余量最后精加工。在数控机床上，精加工余量可小于普通机床。

## (2) 确定主轴转速。

主要根据允许的切削速度  $v_c$  (m/min) 选取

$$n = 1000v_c / \pi D \quad (3.1)$$

式中： $v_c$ ——切削速度；

$D$ ——工件或刀具的直径 (mm)。

切削速度高能提高生产率，但是应先考虑尽可能采用大的背吃刀量来提高生产率。因为切削速度  $v_c$  与刀具耐用度关系比较密切，随着  $v_c$  的加大，刀具耐用度将急剧降低，所以  $v_c$  的选择主要取决于刀具耐用度。

主轴转速  $n$  要根据计算值在编程中给予规定。在实际加工中，有的数控机床控制面板上备有转速倍率开关，由操作者随时调整具体的主轴的实际转速。

(3) 进给量  $f$  (或进给速度  $v_f$ ) 的选择。

$f$  是数控机床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具和工件材料来选择。当加工精度要求高、表面粗糙度值要求低时，进给量数值应选择小些。最大进给量则受机床刚度和进给系统性能限制，并与脉冲当量有关。一般数控机床进给量是连续变化的，各档进给量可在一定范围内进行无级调整，也可在加工过程中根据控制面板上的进给速度倍率开关由操作者设定。

在选择进给速度时，还要注意零件加工中的某些特殊因素。例如，在轮廓加工中，应考虑由于惯性或工艺系统的变形而造成零件轮廓拐角处的“超程”或“欠程”现象，从而导致加工误差，如图 3.4 所示。

铣刀由 A 向 B 运动，当进给速度较高时，由于惯性作用，在拐角 B 处可能出现“超程过切”现象，即将拐角处的金属多切去一些，若为向外凸起的表面，B 处会有部分金属未被切除，使轮廓表面产生误差。解决的办法是选择变化的进给速度。编程时，在接近拐角前适当地降低进给速度，过拐角后再逐渐增加速度。即将 AB 分成两段，在 AA' 段使用正常的进给速度，到 A' 处开始减速，过 B' 后再逐步恢复到正常进给速度，从而减少超程量。

目前一些完善的自动编程系统中有超程检验功能，一旦检测出超程误差超过允许值，便可设置适当的“减速”或“暂停”程序段予以控制。

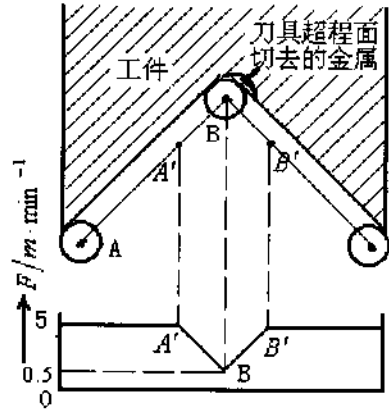


图 3.4 超程误差与控制

编程人员在确定切削用量时,要根据被加工工件材料、硬度、切削状态、背吃刀量、进给量以及刀具耐用度,最后选择合适的切削速度。表 3.1 为车削加工时的选择切削条件的参考数据。表 3.2 为数控车床切削条件参数表。表 3.3 为数控铣床铣刀的切削速度。表 3.4 为数控铣床铣刀进给量。表 3.5 所示为高速钢钻头的切削用量。

表 3.1 车削加工的切削速度

被切削材料名称		轻切削	一般切削	重切削
		切深 0.5~10mm 进给量 0.05~0.3mm/r	切深 1~4mm 进给量 0.2~0.5mm/r	切深 5~12mm 进给量 0.4~0.8mm/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	$\sigma_b \leq 750MP_a$	100~220	100~230	70~220
	$\sigma_b > 750MP_a$	70~220	80~220	80~200

表 3.2 数控车床切削条件参数

工件材料	加工方法	背吃刀量(mm)	切削速度 (m/min)	进给量(mm/r)	刀具材料
碳钢 $\sigma_b=588MP_a$	粗车	2~3	60~100	0.2~0.4	P10~P20
		0.5~2	80~120	0.15~0.3	P10~P20
	精车	0.1~0.15	120~150	0.1~0.2	P01~P10
	车螺纹		70~100	导程	P10~P20 焊接车刀
	钻中心孔		500~800r/min	0.1~0.2	SKH2
	钻孔		~25	0.05~0.2	SKH9
	切断 (<5mm)		70~100	0.1~0.2	P20
合金钢 $\sigma_b=1470MP_a$	粗车	2~3	50~80	0.2~0.4	P10~P20
	精车	0.1~0.15	60~100	0.1~0.2	P01~P10
	切断 (<5mm)		40~70	0.1~0.2	P20
铸铁 160HBS	粗车	2~3	50~70	0.2~0.4	K10~K20
	精车	0.1~0.15	70~100	0.1~0.2	K01~K10
	切断 (<5mm)		50~70	0.1~0.2	K20

(续表)

工件材料	加工方法	背吃刀量(mm)	切削速度 (m/min)	进给量(mm/r)	刀具材料
铝	粗车	2~3	600~1000	0.2~0.3	K10
	精车	0.2~0.3	800~1200	0.1~0.2	K10
	切断 (<5mm)		600~1000	~0.1	K10
黄铜	粗车	2~4	400~500	0.2~0.3	K10
	精车	0.1~0.15	450~600	0.1~0.2	K10
	切断 (<5mm)		400~500	~0.1	K10

表 3.3 数控铣床铣刀的切削速度

工件材料	铣刀材料					
	碳素钢	高速钢	超高速钢	Stellite	YT	YG
铝	75~150	150~300		240~460		300~600
黄铜(软)	12~25	20~50		45~75		100~180
黄铜(硬)	10~20	20~40		30~50		60~130
青铜(最硬)		10~15	15~20			40~60
铸铁(软)	10~12	15~25	18~35	28~40		75~100
铸铁(硬)		10~15	10~20	18~28		45~60
铸铁(冷硬)			10~15	12~18		30~60
可锻铸铁	10~15	20~30	25~40	35~45		75~110
铜(软)	10~14	18~28	20~30		45~75	
铜(中)	10~15	15~25	18~28		40~60	
铜(硬)		10~15	12~20		30~45	

表 3.4 数控铣床铣刀进给量 (mm/每齿)

工件材料	圆柱铣刀	面铣刀	立铣刀	杆铣刀	成形铣刀	高速钢嵌 齿铣刀	硬质合金 嵌齿铣刀
铸铁	0.2	0.2	0.07	0.05	0.04	0.3	0.1
软(中硬)钢	0.2	0.2	0.07	0.05	0.04	0.3	0.09
硬钢	0.15	0.15	0.06	0.04	0.03	0.2	0.08
镍铬钢	0.1	0.1	0.05	0.02	0.02	0.15	0.06
高镍铬钢	0.1	0.1	0.04	0.02	0.02	0.1	0.05
可锻铸铁	0.2	0.15	0.07	0.05	0.04	0.3	0.09

(续表)

工件材料	圆柱铣刀	面铣刀	立铣刀	杆铣刀	成形铣刀	高速钢嵌齿铣刀	硬质合金嵌齿铣刀
铸铁	0.15	0.1	0.07	0.05	0.04	0.2	0.08
青铜	0.15	0.15	0.07	0.05	0.04	0.3	0.1
黄铜	0.2	0.2	0.07	0.05	0.04	0.3	0.21
铝	0.1	0.1	0.07	0.05	0.04	0.2	0.1
Al-Si 合金	0.1	0.1	0.07	0.05	0.04	0.18	0.08
Mg-Al-Zn 合金	0.1	0.1	0.07	0.04	0.03	0.15	0.08
Al-Cu-Mg 合金 Al-Cu-Si	0.15	0.1	0.07	0.05	0.04	0.2	0.1

表 3.5 高速钢钻头的切削用量 ( $v$ : m/min,  $f$ : mm/r)

工件材料	$\sigma_b$ (MPa)	钻头直径									
		2~5		6~11		12~18		19~25		26~50	
		$v$	$f$	$v$	$f$	$v$	$f$	$v$	$f$	$v$	$f$
铜	490 以下	20~25	0.1	20~25	0.2	30~35	0.2	30~35	0.3	25~30	0.4
	490~686	20~25	0.1	20~25	0.2	20~25	0.2	25~30	0.2	25	0.2
	686~882	15~18	0.05	15~18	0.1	15~18	0.2	18~22	0.3	15~20	0.35
	686~1078	10~14	0.05	10~14	0.1	12~18	0.15	16~20	0.2	14~16	0.3
铸铁	118~176	25~30	0.1	30~40	0.2	25~30	0.35	20	0.6	20	1.0
	176~294	15~18	0.1	14~18	0.15	16~20	0.2	16~	0.3	16~18	0.4
黄铜	软	50 以下	0.05	50 以下	0.15	50 以下	0.3	50 以下	0.45	50 以下	—
青铜	软	35 以下	0.05	35 以下	0.1	35 以下	0.2	35 以下	0.35	35 以下	—

### 3.1.4 数控机床加工专用技术文件的编写

编写数控加工专用技术文件是数控加工工艺设计的重要内容之一。这些专用技术文件既是数控加工和产品验收的依据，也是需要操作者遵守、执行的规程，有的则是加工程序的具体说明或附加说明，目的是让操作者更加明确程序的内容、工件的安装与定位方式、各个加工部位所选用的刀具及其他说明。

目前，数控加工专用技术文件还没有做到标准化和规范化，只是各部门和企业的局部统一。下面介绍几种常用的数控加工专用技术文件。

#### 1. 数控加工工序卡

数控加工工序卡与普通加工工序卡有许多相似之处，所不同的是：工序草图中应注明编程原点与对刀点，要进行编程的简要说明（如所用数控系统型号、程序介质、程序编号、刀具半径补偿值等），以及切削参数（主轴转速、进给速度、最大切削深度或宽度等）的选择。

在工序内容不十分复杂的情况下,用数控加工工序卡比较好,可以把零件草图、尺寸、技术要求、工序内容以及对程序的说明等内容集中反映在同一张卡片上,做到一目了然。

### 2. 数控加工程序说明卡

为使操作者对编程人员的意图有足够的理解,很有必要对加工程序进行比较详细的说明。特别是对于那些需要长时间保存和使用的程序尤为重要。

对加工程序的说明一般有如下内容:

- (1) 所用数控设备型号以及控制系统型号。
- (2) 对刀点、程序原点及允许的对刀误差。
- (3) 工件相对于机床的坐标方向及设置(用简图表示)。
- (4) 镜像加工使用的对称轴。
- (5) 所用刀具规格及其在程序中对应的刀具号,须按实际刀具半径或长度加大和缩小补偿值的特殊要求(如用同一程序做粗加工是利用加大刀具补偿值进行的),更换该刀具的程序段号等。
- (6) 程序加工内容的顺序安排(相当于工步内容说明与工步顺序)。
- (7) 程序中编入的子程序内容的必要说明,使操作者明白子程序的作用。
- (8) 其他需要说明的内容,如在加工中更换夹紧点(挪动压板)的计划停车程序段号、中间测量用的计划停车程序段号、允许的最大刀具半径和长度补偿值等。

### 3. 数控加工走刀路线图

在数控加工中,为了防止刀具在运动中与夹具、工件发生意外的碰撞,操作者必须了解编程中的刀具运动路线,以便在加工前计划好夹紧位置以及夹紧的高度。此外,由于工艺性的问题,有些零件需要在加工过程中挪动压板的夹紧位置,这也需要事先告诉操作者,如在哪个程序段前挪动、挪动前后的夹紧点位置等。如果这些内容用工序说明卡和程序说明卡难以说明或表达清楚,可以用走刀路线来加以附加说明。

### 4. 编写要求

数控加工专用工艺文件在生产中通常可指导操作者按程序正确加工,同时可对产品的质量起保证作用,有的甚至是产品制造的依据。所以,对数控专用工艺文件的编写,也应该像编写工艺规程和加工程序单一样认真对待。编写的基本要求如下:

- (1) 字迹工整、文字表达准确无误。
- (2) 草图清晰、尺寸标注准确无误。
- (3) 文图相符,不互相矛盾。
- (4) 所要说明的问题要完整、准确。
- (5) 当程序更改时,相应文件要同时更改。
- (6) 程序和文件要统一编号,及时存档。

## 3.2 数控车削加工工艺基础

### 3.2.1 数控车削的主要加工对象

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。由于数控车床具有加工精度高、能

作直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点,因此其工艺范围较普通机床广得多。凡是能在数控车床上装夹的回转体零件都能在数控车床上加工。针对数控车床的特点,最合适数控车削加工的零件有以下几种。

### 1. 精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好,制造和对刀要求高,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仿形车床要高得多。

### 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,所以可以车削出任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。当然,轮廓的非圆曲线在编程时要用直线段或圆弧段来作拟合。

### 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。

## 3.2.2 加工顺序的确定

在分析了零件图样和确定了工序、装夹方式之后,接下来就要确定零件的加工顺序。制订零件车削加工顺序一般遵循下列原则:

### 1. 先粗后精

所谓先粗后精,就是按照粗车—半精车—精车的顺序进行,逐步提高加工精度。粗车将在较短的时间内将工件表面上的大部分加工余量切除。一方面提高金属切除率,另一方面满足精车的余量均匀性要求。若粗车后所留余量的均匀性满足不了精加工的要求时,则要安排半精车,以此为精车做准备。精车要保证加工精度,按图样尺寸一刀切出零件轮廓。

## 2. 先近后远

这里所指的远与近，是按加工部位相对于对刀点的距离大小而言的。在一般情况下，离对刀点远的部位后加工，以便缩短刀具移动距离，减少空行程时间。对于车削而言，先近后远还有利于保持坯件或半成品的刚性，改善其切削条件。

## 3. 内外交叉

对既有内表面（内型、腔），又有外表面需加工的零件，安排加工顺序时，应先进行内外表面粗加工，后进行内外表面精加工。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）。

### 3.2.3 走刀路线的确定

确定走刀路线的工作重点，主要在于确定粗加工及空行程的走刀路线，因为精加工切削过程的走刀路线基本上是沿其零件轮廓顺序进行的。

在保证加工质量的前提下，使加工程序具有最短的走刀路线，不仅可以节省整个加工过程的执行时间，还能减少一些不必要的刀具消耗及机床进给机构滑动部件的磨损等。

实现最短的进给路线，除了依靠大量的实践经验外，还应善于分析，必要时可辅以一些简单的计算。

#### 1. 最短的空行程路线

##### (1) 巧用起刀点。

图 3.5a 所示为采用矩形循环方式进行粗车的一般情况，其对刀点 A 设置在较远的位置，是考虑到精车等加工过程中需方便换刀，同时将起刀点与其对刀点重合在一起。按三刀粗车的走刀路线安排如下：

第一刀：A→B→C→D→A；

第二刀：A→E→F→G→A；

第三刀：A→H→I→J→A；

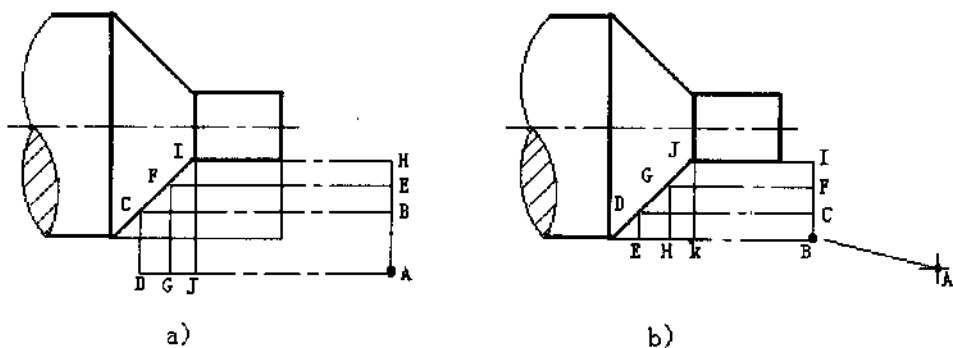


图 3.5 巧用起刀点

图 3.5b 则是将起刀点与对刀点分离，并设于 B 点位置，仍按相同的切削量进行三刀粗车，其走刀路线安排如下：

对刀点 A 到起刀点 B 的空行程为 A→B；

第一刀:  $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B$ ;

第二刀:  $B \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow B$ ;

第三刀:  $B \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow B$ ;

起刀点  $B$  到对刀点  $A$  的空行程为  $B \rightarrow A$ 。

显然, 图 3.5b 所示的进给路线短。该方法也可用在其他循环(如螺纹车削)切削的加工中。

### (2) 巧设换(转)刀点。

为了考虑换(转)刀的安全, 有时将换(转)刀点也设置在离坯件较远的位置处(如图 3.5 所示的  $A$  点), 那么, 当换第二把刀后, 进行精车时的空行程路线必然也较长; 如果第二把刀的  $X$  和  $Z$  向都比第一把刀短, 那么可将换刀点设置在图 3.5b 中的  $B$  位置上, 则可缩短空行程距离。

### (3) 合理安排“回零”路线。

在手工编制较为复杂轮廓的加工程序时, 为使其计算过程尽量简化, 既不出错, 又便于校核, 编程人员有时将每一刀加工完后的刀具终点通过执行“回零”(即返回对刀点)指令, 使其返回到对刀点位置, 然后再执行后续程序。这样会增加走刀路线的长度, 从而大大降低生产效率。因此, 在合理安排“回零”路线时, 应使其前一刀终点与后一刀起点间的距离尽量减短, 或者为零, 即可满足走刀路线为最短的要求。另外, 在选择返回对刀点指令时, 在不发生加工干涉的前提下, 亦尽量采用  $X$ 、 $Z$  坐标轴双向同时“回零”指令, 该指令功能的“回零”路线将是最短的。

## 2. 最短的切削路线

缩短切削路线可提高生产效率, 降低刀具的损耗等。在安排粗加工或半精加工的切削路线时, 应同时兼顾到被加工零件的刚性及加工的工艺性等要求, 不要顾此失彼。

### 3. 大余量毛坯的阶梯切削路线

图 3.6 所示为车削大余量工件两种加工路线。图 3.6a 所示是错误的阶梯切削路线, 图 3.6b 所示按 1~5 的顺序切削, 每次切削所留余量相等, 是正确的阶梯切削路线。因为在同样背吃刀量的条件下, 按图 3.6a 所示的方式加工所剩的余量过多。

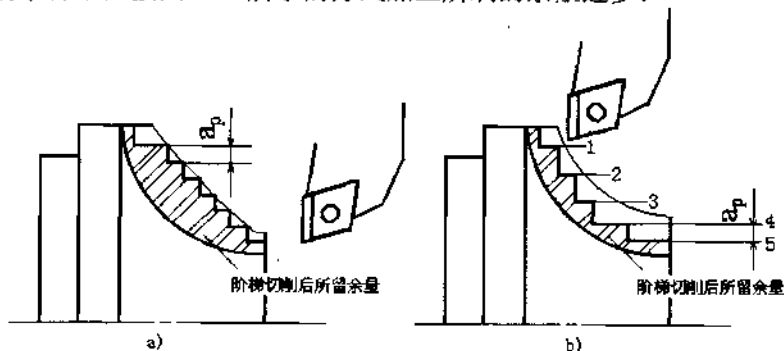


图 3.6 大余量毛坯的阶梯切削路线

根据数控车床加工的特点, 还可以放弃常用的阶梯车削法, 改用依次从轴向和径向进刀, 顺工件毛坯轮廓进给的路线, 如图 3.7 所示。



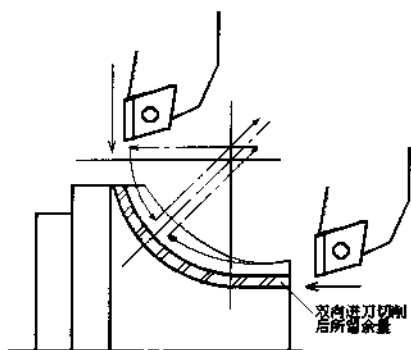


图 3.7 顺毛坯轮廓车削法

#### 4. 最终轮廓的连续切削路线

在安排可以一刀或多刀进行的精加工工序时，其零件的最终轮廓应由最后一刀连续加工而成，这时，加工刀具的进、退刀位置要考虑妥当，尽量不要在连续的轮廓中安排切入和切出或换刀及停顿，以免因切削力突然变化而造成弹性变形，致使光滑连接轮廓上产生表面划伤、形状突变或滞留刀痕等缺陷。

### 3.2.4 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。数控车床夹具除了使用通用的三爪自定心卡盘、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，即用于轴类零件的夹具和用于盘类零件的夹具。

#### 1. 用于轴类零件的夹具

数控车床加工轴类零件时，坯件装卡在主轴顶尖和尾座顶尖之间，由主轴上的拨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。图 3.8 所示为实心轴加工所用的拨齿顶尖夹具。

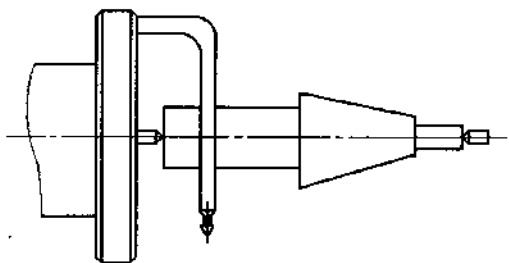


图 3.8 实心轴加工所用夹具

#### 2. 用于盘类零件的夹具

用于盘类零件的夹具主要有可调卡爪式卡盘和快速可调卡盘。这类夹具适用在无尾座的卡盘式数控车床上。

### 3.2.5 车削刀具的选择

刀具的选择是数控加工工艺设计中的重要内容之一。刀具选择合理与否不仅影响机床的加工效率，而且还直接影响到加工的质量。选择刀具通常要考虑机床的加工能力、工序内容、工件材料等因素。

与传统的车削方法相比，数控车削对刀具的要求更高。不仅要求精度高、刚度好、耐用度高、而且要求尺寸稳定、安装调整方便。这就要求采用新型优质材料制造数控加工刀具，并优选刀具参数。

### 1. 车刀和刀片的种类

由于工件材料、生产批量、加工精度以及机床类型、工艺方案的不同，车刀的种类也异常繁多。根据与刀体的联接固定方式的不同，车刀主要可分为焊接式与机械夹固式两大类。

#### (1) 焊接式车刀。

将硬质合金刀片用焊接的方法固定在刀体上称为焊接式车刀。这种车刀的优点是结构简单、制造方便、刚性较好。缺点是由于存在焊接应力，使刀具材料的使用性能受到影响，甚至出现裂纹。另外，刀杆不能重复使用，硬质合金刀片不能充分回收利用，造成刀具材料的浪费。

根据工件加工表面以及用途不同，焊接式车刀又可分为切断刀、外圆车刀、端面车刀、内孔车刀、螺纹车刀以及成型车刀等，如图 3.9 所示。

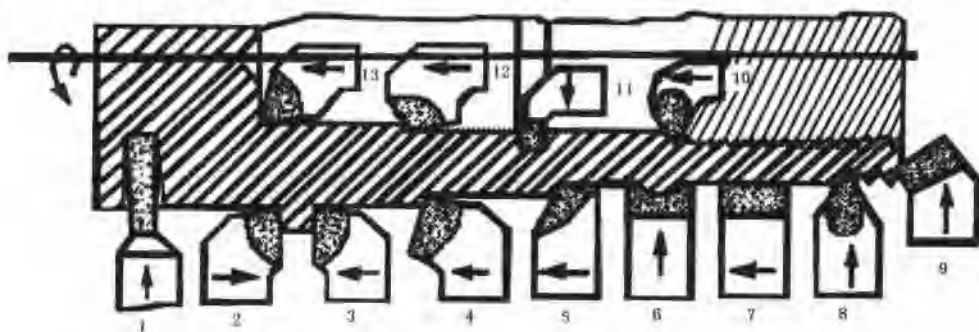


图 3.9 焊接式车刀的种类

1—切断刀 2—90°左偏刀 3—90°右偏刀 4—弯头车刀 5—直头车刀 6—成型车刀 7—宽刃精车刀 8—外螺纹车刀 9—端面车刀 10—内螺纹车刀 11—内槽车刀 12—通孔车刀 13—盲孔车刀

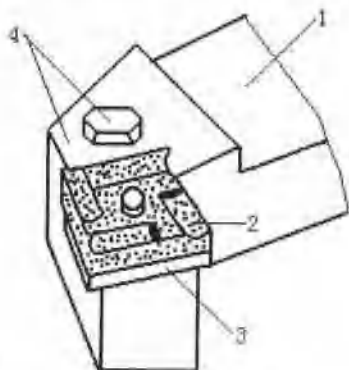


图 3.10 机械夹固式可转位车刀的组成

1—刀杆 2—刀片 3—刀垫 4—夹紧元件

#### (2) 机夹可转位车刀。

如图 3.10 所示，机械夹固式可转位车刀由刀杆、刀片、刀垫以及夹紧元件组成。夹固方式有杠杆式、上压式、楔块式和螺钉式等。刀片每边都有切削刃，当某切削刃磨损钝化后，只需松开夹紧元件，将刀片转一个位置便可继续使用。

刀片是机夹可转位车刀的一个重要组成元件。按照国家标准 (GB2076—87)，大致可分为带圆孔、带深孔以及无孔 3 大类。形状有三角形、正方形、五边形、六边形、圆形以及菱形等共 17 种。图 3.11 所示为常见可转位车刀刀片形状及角度。

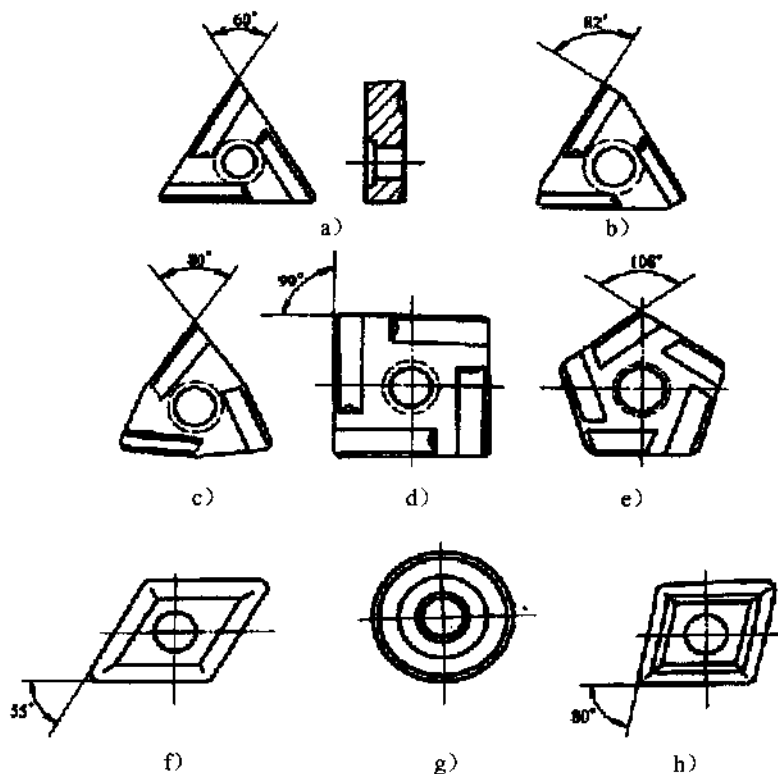


图 3.11 常见可转位车刀刀片形状及角度

a) T型 b) F型 c) W型 d) S型 e) P型 f) D型 g) R型 h) C型

## 2. 车刀类型和刀片的选择

### (1) 数控车削常用刀具的类型。

数控车削常用的车刀一般分为3类，即尖形车刀、圆弧车刀和成型车刀。

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（同时也为其刀位点）由直线形的主、副切削刃构成，如 $90^\circ$ 内、外圆车刀，左、右端面车刀，切槽（断）车刀及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。

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时所得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，如图3.12所示。

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。

圆弧车刀可以用于车削内、外表面，特别适宜于车削各种光滑连接（凹形）的成型面。

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。

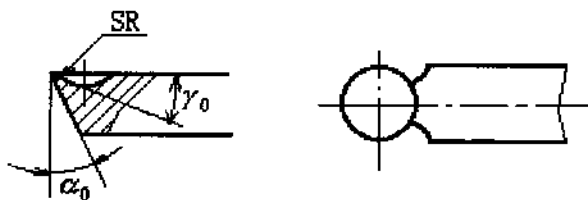


图 3.12 圆弧形车刀

### (2) 机夹可转位车刀的选用。

为了减少换刀时间和方便对刀，便于实现机械加工的标准化，数控车削加工时应尽量采用机夹刀和机夹刀片。

#### ① 刀片材质的选择 车刀刀片的材料主要有高速钢、硬质合金、涂层硬质合金、陶瓷、立方氮化硼和金刚石等。其中应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。选择刀片材质，主要依据被加工工件的材料、被加工表面的精度、表面质量要求、切削载荷的大小以及切削过程中有无冲击和振动等。

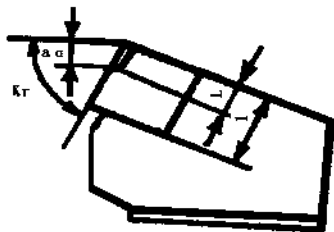


图 3.13 切削刃长度、背吃刀量与主偏角关系

$l$ —切削刃长度  $L$ —有效切削刃长度

大小取决于必要的有效切削刃长度  $L$ ，有效切削刃长度与背吃刀量  $a_p$  和车刀的主偏角  $k_r$  有关（如图 3.13 所示），使用时可查阅有关刀具手册选取。

#### ② 刀片尺寸的选择 刀片尺寸的大小取决于必要的有效切削刃长度 $L$ ，有效切削刃长度与背吃刀量 $a_p$ 和车刀的主偏角 $k_r$ 有关（如图 3.13 所示），使用时可查阅有关刀具

手册选取。

#### ③ 刀片形状的选择 刀片形状主要依据被加工工件的表面形状、切削方法、刀具寿命和刀片的转位次数等因素选择。

### 3.2.6 切削用量的选择

数控车床加工中的切削用量包括：背吃刀量、主轴转速或切削速度（用于恒线速度切削）、进给速度或进给量。

#### 1. 背吃刀量 $a_p$ 的确定

在工艺系统刚性和机床功率允许的情况下，尽可能选取较大的背吃刀量，以减少进给次数。当零件精度要求较高时，则应考虑留出精车余量，其所留的精车余量一般比普通车削时所留的余量少，常取 0.1~0.5mm。

#### 2. 进给速度 $v_f$ 的确定

进给速度  $v_f$  的选取应该与背吃刀量和主轴转速相适应。在保证工件加工质量的前提下，可以选择较高的进给速度（2000mm/min 以下）。在切断、车削深孔或精车时，应选择

较低的进给速度。当刀具空行程特别是远距离“回零”时，可以设定尽量高的进给速度。

有些数控机床规定可以选用进给量  $f$  表示进给速度。

表 3.6 为硬质合金车刀粗车外圆、端面的进给量参考值。表 3.7 为按表面粗糙度选择的半精车、精车的进给量参考值。粗车时，一般取  $f=0.3\sim 0.8\text{mm/r}$ ，精车时常取  $f=0.1\sim 0.3\text{mm/r}$ ，切断时取  $f=0.05\sim 0.2\text{mm/r}$ 。

表 3.6 硬质合金车刀粗车外圆、端面的进给量参考值

工件材料	车刀刀杆尺寸 (B×H) / (mm×mm)	工件直径 ( $d_w/\text{mm}$ )	背吃刀量 $a_p/\text{mm}$				
			≤3	(3,5]	(5,8]	(8,12]	>12
			进给量 $f/(\text{mm} \cdot \text{r}^{-1})$				
碳素结构钢、合金结构钢及耐热钢	16×25	20	0.3~0.4	—	—	—	—
		40	0.4~0.5	0.3~0.4	—	—	—
		60	0.5~0.7	0.4~0.6	0.3~0.5	—	—
		100	0.6~0.9	0.5~0.7	0.5~0.6	0.4~0.5	—
		400	0.8~1.2	0.7~1.0	0.6~0.8	0.5~0.6	—
	20×30 25×25	20	0.3~0.4	—	—	—	—
		40	0.4~0.5	0.3~0.4	—	—	—
		60	0.5~0.7	0.5~0.7	0.4~0.6	—	—
		100	0.8~1.0	0.7~0.9	0.5~0.7	0.4~0.7	—
		400	1.2~1.4	1.0~1.2	0.8~1.0	0.6~0.9	0.4~0.6
铸铁及铜合金	16×25	40	0.4~0.5	—	—	—	—
		60	0.5~0.8	0.5~0.8	0.4~0.6	—	—
		100	0.8~1.2	0.7~1.0	0.6~0.8	0.5~0.7	—
		400	1.0~1.4	1.0~1.2	0.8~1.0	0.6~0.8	—
	20×30 25×25	40	0.4~0.5	—	—	—	—
		60	0.5~0.9	0.5~0.8	0.4~0.7	—	—
		100	0.9~1.3	0.8~1.2	0.7~1.0	0.5~0.8	—
		400	1.2~1.8	1.2~1.6	1.0~1.3	0.9~1.1	0.7~0.9

注：① 加工断续表面及有冲击的工件时，表内进给量应乘系数  $k=0.75\sim 0.85$ 。

② 在无外皮加工时，表内进给量乘系数  $k=1.1$ 。

③ 加工耐热钢及其合金时，进给两不大于  $1\text{mm/r}$ 。

④ 加工淬硬钢时，进给量应减小。当钢的硬度为  $44\sim 56\text{HRC}$  时，乘系数  $k=0.8$ ；当钢的硬度为  $57\sim 62\text{HRC}$  时，乘系数  $k=0.5$ 。

表 3.7 按表面粗糙度选择的半精车、精车的进给量参考值

工件材料	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	切削速度范围 $v_c/(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	刀尖圆弧半径 $r_t/\text{mm}$		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 $f/(\text{mm} \cdot \text{r}^{-1})$		
铸铁、青铜、 铝合金	5~10	不限	0.25~0.40	0.40~0.50	0.50~0.60
	2.5~5		0.15~0.25	0.25~0.40	0.40~0.60
	1.25~2.5		0.10~0.15	0.15~0.20	0.20~0.35

(续表)

工件材料	表面粗糙度 Ra/ $\mu\text{m}$	切削速度范围 $v_c$ ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	刀尖圆弧半径 $r_t$ /mm		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 $f$ / ( $\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$ )		
碳钢及合金钢	5~10	<50	0.30~0.50	0.45~0.60	0.55~0.70
		>50	0.40~0.55	0.55~0.65	0.65~0.70
	2.5~5	<50	0.18~0.25	0.25~0.30	0.30~0.40
		>50	0.25~0.30	0.30~0.35	0.30~0.50
	1.25~2.5	<50	0.10	0.11~0.15	0.15~0.22
		50~100	0.11~0.16	0.16~0.25	0.25~0.35
		>100	0.16~0.20	0.20~0.25	0.25~0.35

注:  $r_t=0.5\text{mm}$  (用于  $12\text{mm} \times 12\text{mm}$  以下刀杆),  $r_t=1.0\text{mm}$  (用于  $30\text{mm} \times 30\text{mm}$  以下刀杆),  $r_t=2.0\text{mm}$  (用于  $30\text{mm} \times 45\text{mm}$  及以上刀杆)。

### 3. 主轴转速的确定

#### (1) 精车外圆时主轴转速。

精车外圆时主轴转速应根据零件上被加工部位的直径, 并按零件和刀具材料以及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。

切削速度除了计算和查表选取外, 还可以根据实践经验来确定。需要注意的是, 交流变频调速的数控车床低速输出力矩小, 因而切削速度不能太低。

切削速度确定以后, 用公式 3.1 来计算主轴转速。表 3.8 为硬质合金外圆车刀切削速度的参考值。

表 3.8 硬质合金外圆车刀切削速度的参考值

工件材料	热处理状态	$a_p/\text{mm}$		
		(0.3, 2]	(2, 6]	(6, 10]
		$f$ / ( $\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$ )		
		[0.08, 0.3]	(0.3, 0.6]	(0.6, 1]
		$V_c$ / ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )		
低碳钢、易切钢	热轧	140~180	100~120	70~90
中碳钢	热轧	130~160	90~110	60~80
	调质	100~130	70~90	50~70
合金结构钢	热轧	100~130	70~90	50~70
	调质	80~110	50~70	40~60
工具钢	退火	90~120	60~80	50~70
灰铸铁	HBS<190	90~120	60~80	50~70
	HBS=190~225	80~110	50~70	40~60
高锰钢 ( $W_{Mn}13\%$ )			10~20	
铜及铜合金		200~250	120~180	90~120
铝及铝合金		300~600	200~400	150~200
铸铝合金 ( $W_{Al}13\%$ )		100~180	80~150	60~100

注: 切削钢及灰铸铁时刀具耐用度约为 60min。

### (2) 车螺纹时主轴转速。

在车削螺纹时,车床的主轴转速受到螺纹的螺距  $P$  (或导程) 大小、驱动电机的升降频特性,以及螺纹插补运算速度等多种因素影响,故对于不同的数控系统,推荐不同的主轴转速选择范围。大多数经济型数控车床推荐车螺纹时的主轴转速为  $n \leq 1200/P \cdot k$  ( $k$  为保险系数,一般取 80)。

## 3.3 数控铣削加工工艺基础

### 3.3.1 数控铣削的主要加工对象

数控铣削是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一,它除了能铣削普通铣床所能铣削的各种零件表面外,还能铣削普通铣床不能铣削的需 2~5 轴联动的各种平面轮廓和立体轮廓。根据数控铣床的特点,从铣削加工角度来考虑,适合数控铣削的主要加工对象有以下几类。

#### 1. 平面类零件

加工面平行或垂直于水平面,或加工面与水平面的夹角为定角的零件为平面类零件。目前在数控铣床上加工的绝大多数零件属于平面类零件。平面类零件的特点是各个加工面是平面,或可以展开成平面。

平面类零件是数控铣削加工对象中最简单的一类零件,一般只需用三轴数控铣床的轴标联动(即两轴半坐标联动)就可以把它们加工出来。

#### 2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。这类零件多为飞机零件,如飞机上的整体梁、框、椽条与肋等;此外还有检验夹具与装配型架等也属于变斜角类零件。

变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面,但在加工中,加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条线。最好采用四坐标或五坐标数控铣床摆角加工,在没有上述机床时,可采用三轴数控铣床,进行两轴半坐标近似加工。

#### 3. 曲面零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面零件,如模具、叶片、螺旋桨等。曲面类零件的加工面不能展开为平面,加工时,加工面与铣刀始终为点接触。加工曲面类零件一般采用三轴数控铣床。当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及毗邻表面及需刀具摆动时,要采用四轴或五轴铣床。

### 3.3.2 走刀路线的确定

数控铣削加工中走刀路线对零件的加工精度和表面质量有直接的影响。因此,确定好走刀路线是保证铣削加工精度和表面质量的工艺措施之一。走刀路线的确定与工件表面状况、要求的零件表面质量、机床进给结构的间隙、刀具耐用度以及零件轮廓形状等有关。下面针对铣削方式和常见的几种轮廓形状来讨论刀具走刀路线的确定问题。

### 1. 顺铣和逆铣的选择

铣削有顺铣和逆铣两种方式。当工件表面无硬皮，机床进给机构无间隙时，应选用顺铣，按照顺铣安排走刀路线。因为采用顺铣加工后，零件已加工表面质量较好，刀齿磨损小。精铣时，尤其是零件材料为铝镁合金、钛合金或耐热合金时，应尽量采用顺铣。当工件表面有硬皮，机床的进给机构有间隙时，应选用逆铣，按照逆铣安排走刀路线。因为逆铣时，刀齿是从已加工表面切入，不会崩刃；机床进给机构的间隙不会引起振动和爬行。

### 2. 铣削外轮廓的走刀路线

铣削平面零件外轮廓时，一般是采用立铣刀侧刃切削。刀具切入零件时，应避免沿零件外轮廓的法向切入，以避免在切入处产生刀具的刻痕，而应沿切削起点延伸线（如图 3.14a 所示）或切线方向（如图 3.14b 所示）逐渐切入工件，保证零件曲线的平滑过渡。同样，在切离工件时，也应避免在切削终点处直接抬刀，要沿着切削终点延伸线（如图 3.14a 所示）或切线方向（如图 3.14b 所示）逐渐切离工件。

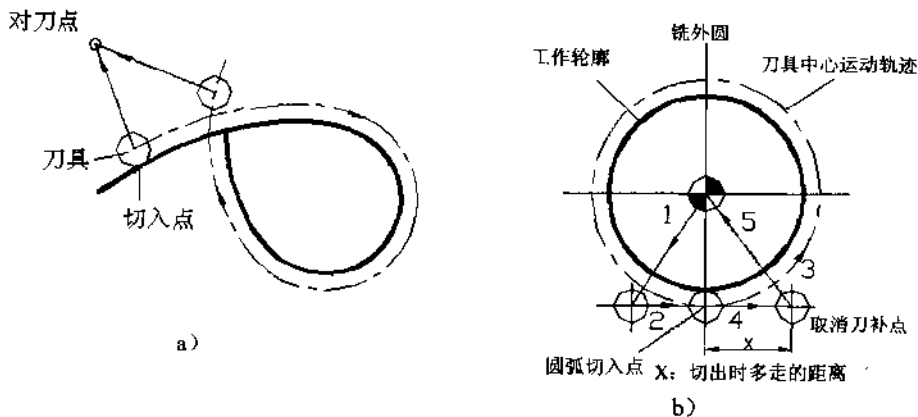


图 3.14 铣削外轮廓时的走刀路线

a) 沿外轮廓曲线延长线方向    b) 沿几何元素的向内交点切线方向

### 3. 铣削内轮廓的走刀路线

图 3.15a 所示为铣削内圆轮廓表面时的走刀路线。为避免刀具沿内圆轮廓的法向切入和切出，通常使用一个切入和切出的过渡圆弧，过渡圆弧半径需小于并接近工件圆弧半径。刀具从工件中心起刀到过渡圆弧起点 A，再沿过渡圆弧铣削到工件圆弧加工起点 B，从 B 点开始铣削整圆后再回到 B 点，然后从 B 点沿过渡圆弧到终点 C，最后回到工件中心点。

在铣削 3.15b 所示的封闭内轮廓时，因轮廓曲线无法外延，刀具只能沿轮廓曲线的法向切入和切出。这时，铣刀应自零件轮廓上的同一点，沿法向切入和切出。此时，刀具切入切出点应尽量选择在零件轮廓曲线上两几何元素的交点处。



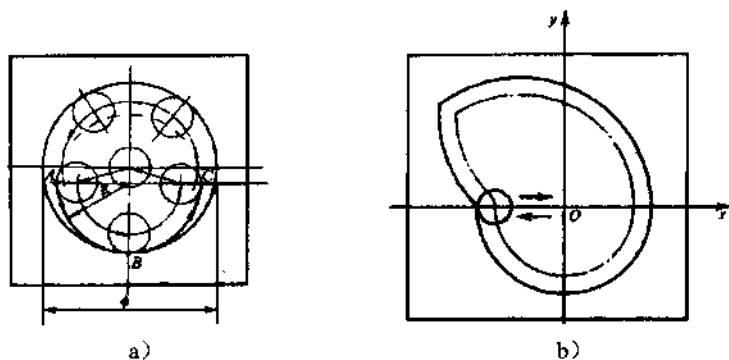


图 3.15 铣削内圆轮廓时的走刀路线

a) 采用过渡圆弧 b) 圆沿几何元素的向内交点法向

#### 4. 铣削内槽的走刀路线

所谓铣削内槽是指以封闭曲线为边界的平底凹槽，需要用平底的立铣刀加工。图 3.16 所示为铣削内槽的几种走刀路线。

图 3.16a 所示为行切法，则可使走刀路线较短，但每两次进给之间会有残留，增加表面粗糙度。如果采用图 3.16b 所示的环切法，可获得较好的表面粗糙度，但是走刀路线较长，刀位点计算也较复杂。图 3.16c 所示为行切法和环切法的综合应用，即先用行切法切掉中间部分，最后用环切法沿内槽轮廓切一周，既使总的走刀路线较短，又能获得较好的表面粗糙度。

在轮廓铣削过程中要避免停顿，否则会因切削力的突然变化而在停顿处的轮廓表面留下刀痕。当零件的加工余量较大时，可采用多次进给逐渐切削的方法，最后留少量的精加工余量（一般为 0.2~0.5mm），安排在最后一次走刀连续加工出来。

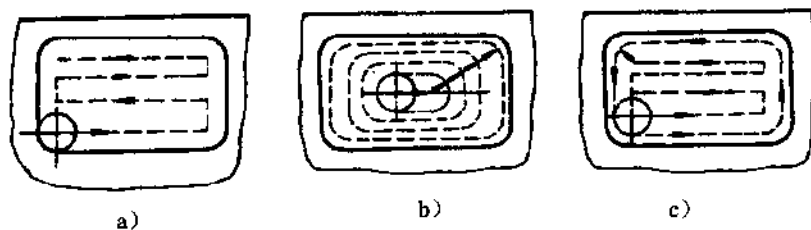


图 3.16 铣削内槽的走刀路线

a) 行切法 b) 环切法 c) 综合法

#### 5. 铣削曲面的走刀路线

对于边界敞开的曲面加工，可采用如图 3.17 所示的两种进给路线。对于发电机大叶片，当采用图 3.17a 所示的加工方案，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 3.17b 所示的加工方案时，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，但程序量较大。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。当边界不敞开时，确定走刀路线要另行处理。

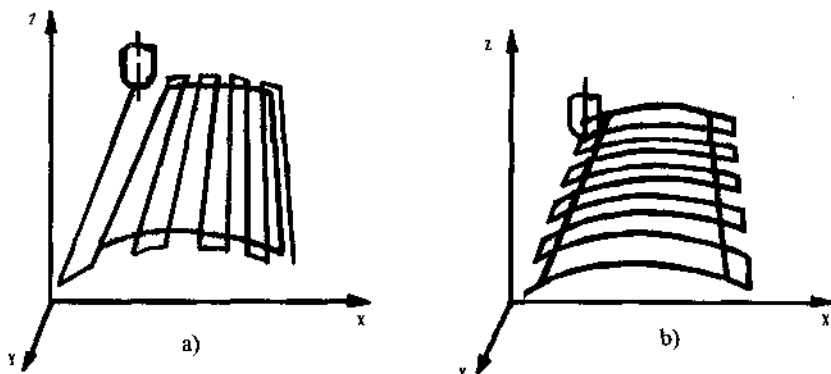


图 3.17 铣曲面的走刀路线

总之，确定走刀路线的原则是在保证零件加工精度和表面粗糙度的条件下，尽量缩短走刀路线，以提高生产率。

### 3.3.3 铣削刀具的选择

铣刀种类有很多，这里只介绍几种在数控铣床上常用的铣刀。

#### 1. 面铣刀

面铣刀主要用于加工较大的平面。如图 3.18 所示，面铣刀的圆周表面和端面上都有切削刃，圆周表面上的切削刃为主切削刃，端面切削刃为副切削刃。面铣刀大多制成套式镶齿结构，刀齿为高速钢或硬质合金钢，刀体为 40Cr。

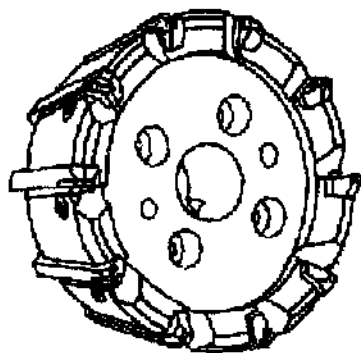


图 3.18 面铣刀

与高速钢面铣刀相比，硬质合金面铣刀的铣削速度较高，可获得较高的加工效率和加工表面质量，并可加工带有硬皮和淬硬层的工件，故得到广泛的应用。按刀片和刀齿的安装方式不同，硬质合金面铣刀可分为整体焊接式、机夹焊接式和可转位式 3 种。由于整体焊接式、机夹焊接式面铣刀难于保证焊接质量，刀具耐用度较低，重磨较费时，现在已逐渐被可转位式面铣刀所取代。

可转位式面铣刀是将可转位刀片通过夹紧元件夹固在刀体上，当刀片的一个切削刃用钝后，直接在机床上将刀片转位或更换新刀片。这种铣刀在提高加工质量和加工效率，降低成本，方便操作使用等方面都表现出明显的优越性，目前已得到广泛的应用。

标准可转位面铣刀的直径为 16~630mm。粗铣时，铣刀直径要小些，因为粗铣切削力大，选小直径铣刀可减小切削扭矩。精铣时，铣刀直径要选大些，尽量包容工件整个加工宽度，以提高加工精度和效率，并减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

## 2. 立铣刀

立铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀，主要用于加工凹槽、较小的台阶面以及平面轮廓。如图 3.19 所示，立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃，它们既可以同时进行切削，也可以单独进行切削。

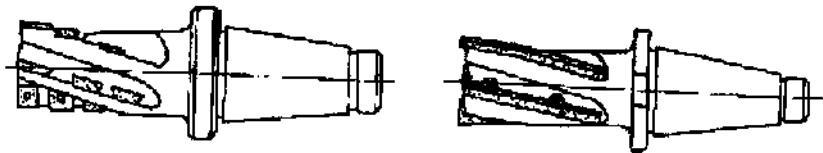


图 3.19 立铣刀

立铣刀圆柱表面的切削刃为主切削刃，端面上的切削刃为副切削刃。主切削刃一般为螺旋槽，这样可增加切削的平稳性，提高加工精度。由于普通立铣床刀的端面中心处无切削刃，所以立铣刀不能做轴向进给，端面刃主要用来加工与侧面垂直的低平面。

为了能加工较深的沟槽，并保证有足够的备磨量，立铣刀的轴向长度一般较长。另外，为改善切屑卷曲情况，增大空屑空间，防止切屑堵塞，立铣刀的刀齿数比较少，容屑槽圆弧半径较大。一般粗齿立铣刀刀齿数  $Z=3\sim 4$ ，细齿立铣刀刀齿数  $Z=5\sim 8$ ，套式结构  $Z=10\sim 20$ ，容屑槽圆弧半径为  $2\sim 5\text{mm}$ 。

直径较小的立铣刀，一般制成带柄结构。 $\phi 2\sim 71\text{mm}$  的立铣刀制成直柄； $\phi 6\sim 63\text{mm}$  的立铣刀制成莫氏锥柄； $\phi 25\sim 80\text{mm}$  的立铣刀制成 7:24 的锥柄，内有螺纹孔用来拉紧刀具。由于数控机床要求铣刀能快速自动装卸，因此立铣刀刀柄部结构有很大不同。一般由专业厂家按照一定的规范制造成统一形式、尺寸的刀柄。直径大于  $\phi 40\sim 160\text{mm}$  立铣刀可做成套式结构。

## 3. 模具铣刀

模具铣刀由立铣刀发展而成，可分为圆锥形立铣刀（圆锥半角  $\frac{\alpha}{2}=3^\circ、5^\circ、7^\circ、10^\circ$ ）、

圆柱形球头立铣刀和圆锥形球头立铣刀 3 种，其柄部有直柄、削平型直柄和莫氏锥柄。它的结构特点是球头或端面上布满了切削刃、圆周刃与球头刃圆弧连接，可以作径向和轴向进给。铣刀工作部分用高速钢或硬质合金制造。国家标准规定直径  $d=4\sim 63\text{mm}$ 。图 3.20 所示为高速钢制造的模具铣刀，图 3.21 所示为用硬质合金制造的模具铣刀。小规格的硬质合金模具铣刀多制成整体结构， $\phi 16\text{mm}$  以上直径的，制成焊接或机夹可转位刀片结构。

## 4. 键槽铣刀

键槽铣刀主要用于加工封闭的键槽。其结构与立铣刀相近，圆柱面和端面都有切削刃，它有两个刀齿，端面刃延至中心，既像立铣刀，又像钻头。加工时先轴向进给达到键槽深度，然后沿键槽方向铣出键槽全长。

按国家标准规定，直柄键槽铣刀直径  $d=2\sim 22\text{mm}$ ，锥柄键槽铣刀直径  $d=14\sim 50\text{mm}$ 。键槽铣刀直径的偏差有  $e8$  和  $d8$  两种。键槽铣刀的圆周切削刃仅在靠近端面的一小段长度内发生磨损，重磨时，只需刃磨端面切削刃，因此重磨后铣刀直径不变。

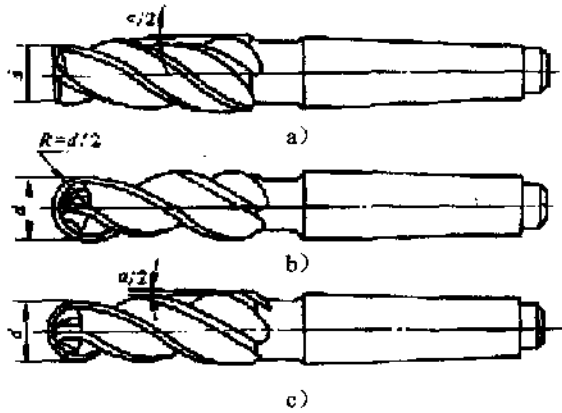


图 3.20 高速钢模具铣刀

a) 圆锥形立铣刀    b) 圆柱形球头立铣刀    c) 圆锥形球头立铣刀

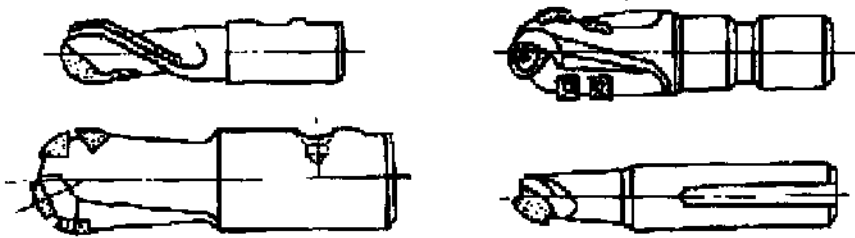


图 3.21 硬质合金模具铣刀

5. 鼓形铣刀

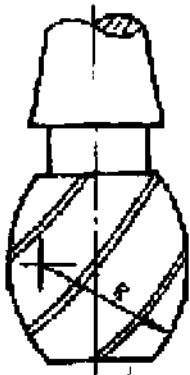


图 3.22 鼓形铣刀

图 3.22 所示是一种典型的鼓形铣刀，它的切削刃分布在半径为  $R$  的圆弧面上，端面无切削刃。加工时控制刀具上下位置，相应改变刀刃的切削部位，可以在工件上切出从负到正的不同斜角。 $R$  越小，鼓形铣刀所能加工的斜角范围越广，但所获得的表面质量也越差。这种刀具的缺点是刃磨困难，切削条件差，而且不适于加工有底的轮廓表面。

6. 成型铣刀

成型铣刀一般是为了特定的工件或加工内容专门设计制造的，如各种直形或圆弧形的凹槽、斜角面、特形孔或台等。

除选择上述几种类型的铣刀外，数控铣床也可以选用各种通用铣刀。但因为不少数控铣床的主轴内有特殊的拉刀装置，或因主轴内锥孔尺寸不同，须配制过渡套和拉钉子。

3.3.4 切削用量的选择

铣削加工的切削用量包括：切削速度、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量，如图 3.23 所示。

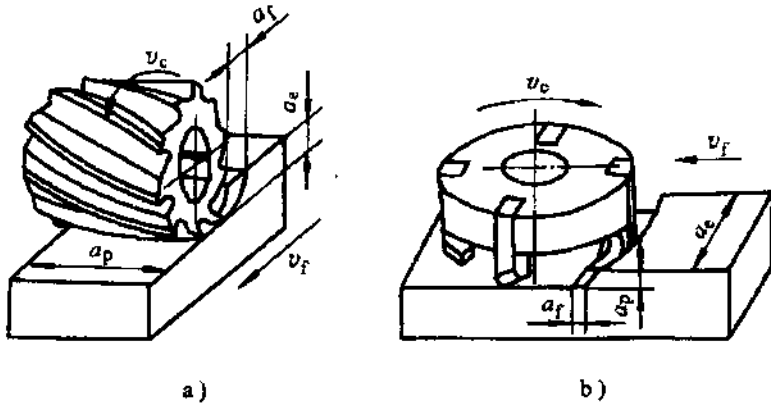


图 3.23 铣削加工的切削用量

a) 圆周铣 b) 端铣

从刀具耐用度出发, 切削用量的选择方法是先选取背吃刀量或侧吃刀量, 其次选取进给速度, 最后确定切削速度。

### 1. 背吃刀量(端铣)或侧吃刀量(圆周铣)

背吃刀量  $a_p$  为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸, 单位为 mm。端铣时,  $a_p$  为切削层深度; 而圆周铣削时,  $a_p$  为被加工表面的宽度。

侧吃刀量  $a_e$  为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸, 单位为 mm。端铣时,  $a_e$  为被加工表面的宽度; 而圆周铣削时,  $a_e$  为切削层深度。

背吃刀量或侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量的要求决定:

(1) 当工件表面粗糙度值要求为  $R_a = 12.5 \sim 25 \mu\text{m}$  时, 如果圆周铣削加工余量小于 5mm, 端面铣削加工余量小于 6mm, 粗铣一次进给就可以达到要求。但是在余量较大, 工艺系统刚性较差或机床动力不足时, 可分为两次进给完成。

(2) 当工件表面粗糙度值要求为  $R_a = 3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$  时, 应分为粗铣和半精铣两步进行。粗铣时背吃刀量或侧吃刀量选取同前。粗铣后留 0.5~1.0mm 余量, 在半精铣时切除。

(3) 当工件表面粗糙度值要求为  $R_a = 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$  时, 应分为粗铣、半精铣和精铣 3 步进行。半精铣时背吃刀量或侧吃刀量取 1.5~2mm; 精铣时, 圆周铣侧吃刀量取 0.3~0.5mm, 面铣刀背吃刀量取 0.5~1mm。

### 2. 进给速度

进给速度  $v_f$  是单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移, 单位是 mm/min。它与铣刀转速  $n$ 、铣刀齿数  $Z$  以及每齿进给量  $f_z$  (单位为 mm/Z) 的关系是:  $v_f = f_z Z n$ 。

每齿进给量  $f_z$  的选取主要依据工件材料的力学性能、刀具材料、工件表面粗糙度等因素。工件材料的强度和硬度越高,  $f_z$  就越小, 反之则越大。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀。工件表面粗糙度要求越高,  $f_z$  就越小。每齿进给量的确定可参考表 3.9 选取。工件刚性差或刀具强度低时, 应取较小值。

表 3.9 铣刀每齿进给量参考值

工件材料	$f_z/\text{mm}$			
	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. 切削速度

铣削的切削速度  $v_c$  与刀具的耐用度、每齿进给量、背吃刀量、侧吃刀量以及铣刀齿数成反比，而与铣刀直径成正比。其原因是当  $f_z$ ， $a_p$ ， $a_e$  和  $Z$  增大时，刀刃负荷增加，而且同时工作的齿数也增多，使切削热增加，刀具磨损加快，从而限制了切削速度的提高。刀具耐用度的提高使允许使用的切削速度降低。但是加大铣刀直径则可改善散热条件，因而可以提高切削速度。

铣削加工的切削速度  $v_c$  可参考表 3.10 选取，也可参考有关切削用量手册来选取。

表 3.10 铣削加工的切削速度参考值

工件材料	硬度 (HBS)	$V_c / (\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$	
		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	6~21	36~75
铸铁	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	260~320	4.5~10	21~30

## 3.4 思考与练习题

1. 数控车削和铣削的主要加工对象是什么？
2. 数控加工刀具有哪些特点？数控机床常用的车刀和铣刀有哪些类型？
3. 数控加工对夹具有什么要求？如何选用数控车床和铣床用夹具？
4. 数控加工切削用量该如何确定？

## 第 4 章 数控车床的加工程序编制

### 本章知识

- 掌握数控车床程序编制的基础
- 掌握数控车床程序编制的指令
- 熟练使用数控车床的指令进行加工程序的编制

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一。数控车床主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行，可自动完成内外圆柱面、圆锥面、成型表面、螺纹和端面等工序的切削加工，并能进行车槽、钻孔、扩孔以及铰孔等加工。车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高加工精度和生产效率，特别适合于复杂形状回转类零件的加工。

### 4.1 数控车床程序编制的基础

#### 4.1.1 数控车床的主要功能

数控车床按其功能分为简易数控车床、经济型数控车床、多功能数控车床、车削中心等，它们在功能上差别较大。

##### 1. 简易数控车床

这是一种低档数控车床，一般用单板机或单片机进行控制。单板机不能存储程序，所以切断一次电源就得重新输入程序，且抗干扰能力差，不便于扩展功能，目前已很少采用。单片机可以存储程序，但没有刀尖圆弧半径自动补偿功能，编程时计算比较复杂。

##### 2. 经济型数控车床

这是一种中档数控车床，一般具有单色显示的 CRT，程序存储和编辑功能。它的缺点是没有恒线速度切削功能。

##### 3. 多功能数控车床

这是较高档次的数控车床，这类机床一般具备刀尖圆弧半径自动补偿、恒线速度切削、倒角、固定循环、螺纹切削、图形显示、用户宏程序等功能，加工能力强。适宜加工精度高、形状复杂、工序多、循环周期长、品种多变的单件或中小批量零件的加工。

##### 4. 车削中心

车削中心的主体是数控车床，配有刀库和机械手，与数控车床单机相比，自动选择和使用的刀具数量大大增加。可实现车、铣复合加工，如高效率车削、铣削凸轮槽和螺旋槽。车削中心具备如下两种功能：一是动力刀具功能，即刀架上部分刀位可使用回转刀具，如铣刀和钻头；另一种是 C 轴位置控制功能，该功能能达到很高的角度定位分辨率，还能使主轴和卡盘按进给脉冲作任意低速的回转，这样车床就具有 X、Z 和 C 三坐标，可实现三坐标两联动控制。例如，圆柱铣刀轴向安装，X-C 坐标联动就可以铣削零件端面；圆柱铣

刀径向安装, Z-C 坐标联动, 就可以在工件外径上铣削。可见车削中心能铣削凸轮槽和螺旋槽。近年出现的双轴车削中心, 在一个主轴进行加工结束后, 无须停机, 零件被自动转移装卡至另一主轴加工另一端, 加工完毕后, 零件除了去毛刺以外, 不需要其他的补充加工。

#### 4.1.2 数控车床编程特点

##### 1. 直径、半径编程

数控车床的编程有直径、半径两种方法。所谓直径编程指 X 轴上有关尺寸为直径值, 而半径编程时则为半径值。现在绝大多数数控车床编程时采用直径方式编程。

##### 2. 车削固定循环功能

数控车床一般都具备各种不同形式的固定切削循环功能, 如内(外)圆固定循环、端面固定循环、车槽循环、内(外)螺纹固定循环及组合面固定循环等, 采用这些固定循环指令可以简化编程。

##### 3. 刀具补偿功能

大多数数控装置都具有刀具补偿功能, 利用此功能可以实现刀具磨损补偿、刀尖圆弧半径补偿以及在安装刀具时产生的位置误差的补偿。

## 4.2 数控车床的程序编制

本节着重介绍配置 KND-100T 数控系统进行车削加工的程序编制方法。

### 4.2.1 F 功能

F 功能指令用于控制切削进给量。在程序中, 有两种使用方法。

#### 1. 每转进给量

指令: G95

程序格式: G95 F\_\_

在 G95 指令状态下, F 后面的数值表示的是主轴每转的切削进给量或切螺纹时的螺距, 在数控车床上这种进给量指令方法使用得较多, 单位为 mm/r。

例如: G95 F0.5 表示进给量为 0.5mm/r。

#### 2. 每分钟进给量

指令: G94

程序格式: G94 F\_\_

在 G94 指令状态下, F 后面的数值表示的是每分钟进给量, 单位为 mm/min。

例如: G94 F100 表示进给量为 100mm/min。

### 4.2.2 S 功能

S 功能指令用于控制主轴转速。在具有恒线速功能的机床上, S 功能指令还有以下作用。



### 1. 主轴最高转速限制

指令: G50

程序格式: G50 S\_\_

在 G50 指令状态下, S 后面的数值表示的是最高转速, 单位为 r/min。

例: G50 S2000 表示最高转速限制为 2000r/min。

### 2. 恒线速度控制

指令: G96

程序格式: G96 S\_\_

在 G96 指令状态下, S 后面的数值表示的是恒定的线速度, 单位为 m/min。

例: G96 S150 表示控制主轴转速, 使切削点的线速度始终保持在 150m/min。

由线速度  $v$  可求得主轴转速如式 3.1 所示。

### 3. 恒线速度取消

指令: G97

程序格式: G97 S\_\_

在 G97 指令状态下, S 后面的数值表示恒线速度控制取消后的主轴转速, 单位为 r/min。

当由 G96 转为 G97 时, 应对 S 指令赋值, 若 S 未指定, 将保留 G96 指令的最终值;

当由 G97 转为 G96 时, 若没有 S 指令, 则按前一 G96 所赋 S 值进行恒线速度控制。

例: G97 S2000 表示恒线速度控制取消后主轴转速为 2000r/min。

## 4.2.3 T 功能

T 功能指令用于选择加工所用刀具。

程序格式: T\_\_

T 后面有 4 位数值, 前两位是刀具号, 后两位是刀具长度补偿号兼刀尖圆弧半径补偿号。

例: T0505 表示 5 号刀及 5 号刀具长度补偿值和刀尖圆弧半径补偿值。T0500 表示取消刀具补偿。

## 4.2.4 M 功能

数控车床加工常用的 M 指令有以下几种。

### 1. M00

程序暂停。以便执行某一手动操作, 用以停止主轴旋转、进给和冷却液。以便执行某一手动操作, 如手动变速、换刀等工作。在此以前的模态信息全部被保存下来, 相当于单程序段停止。按下控制面板上的循环启动键 (CYCLE START) 后, 可继续执行下一程序段。

### 2. M01

程序计划停止。与 M00 相似, 不同的是必须在控制面板上预先按下“任选停止 (OPTIONAL STOP)”开关, 当执行完编有 M01 指令的程序段的其他指令后, 程序即停

止。若不按“任选停止”开关，则 M01 不起作用，程序将继续执行。一般用于关键尺寸的抽样检查或临时停车。

3. M02

程序结束。该指令编写在最后一条程序段中，用以表示加工程序全部结束，使主轴、进给、冷却液都停止。数控系统复位。

4. M03、M04、M05

分别命令主轴顺时针旋转、逆时针旋转和主轴旋转停止。

5. M06

换刀指令。用于具有自动换刀装置的机床。

6. M07、M08、M09

M07、M08 分别命令 2 号冷却液（雾状）和 1 号冷却液（液状）开，M09 命令冷却液关。

7. M10、M11

夹紧和松开指令。分别用于机床的滑座、工件、主轴、夹具的夹紧和松开。

8. M19

主轴定向停止，即准停。使主轴停止在预定的位置上。

9. M30

程序结束、数控系统复位，光标返回到程序的第一条语句，准备下一个零件的加工。

#### 4.2.5 G 功能

1. 加工坐标系设定

加工坐标系有两种设定方式。一种是以 G50 方式，另一种是以 G54~G59 的方式，G50 是车削中常用的方式。

指令：G50

程序格式：G50 X\_\_ Z\_\_

其中：X、Z——指起刀点相对于编程原点的位置。在数控车床编程时，所有 X 值均使用直径值。

例：如图 4.1 所示，设置加工坐标系的程序段如下：

G50 X128.7 Z375.1

2. 刀尖圆弧自动补偿功能

编程时，通常都将车刀刀尖作为一点来考虑，即所谓假设刀尖，但实际上刀尖是有圆角的，如图 4.2 所示。

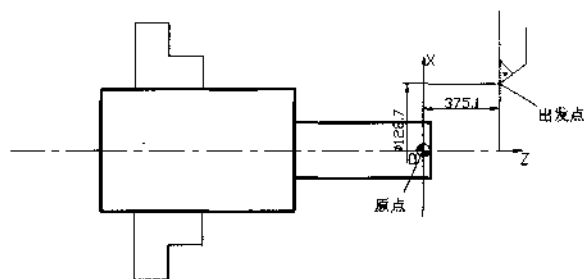


图 4.1 设置加工坐标系

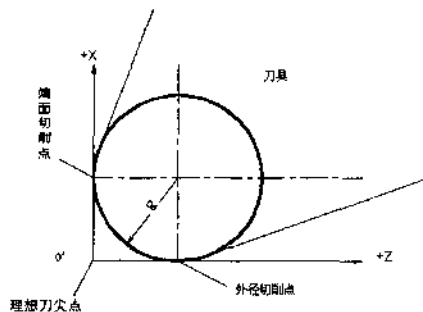


图 4.2 刀尖圆角 R

当用按理论刀尖点编出的程序进行端面、外径、内径等与轴线平行或垂直的表面加工时，是会产生误差的。但在进行倒角、锥面及圆弧切削时，则会产生少切或过切的现象，如图 4.3 所示。具有刀尖圆弧自动补偿功能的数控系统能根据刀尖圆弧半径计算出补偿量，避免少切或过切现象的产生。

为了进行刀尖圆弧半径补偿，需要使用以下指令：

G40——取消刀具半径补偿，按程序路径进给；

G41——左偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向刀具偏在零件左侧进给；

G42——右偏刀具半径补偿，按程序路径前进方向刀具偏在零件右侧进给。

在设置刀尖圆弧自动补偿值时，还要设置刀尖圆弧位置编码，指定编码值的方向如图 4.4 所示。

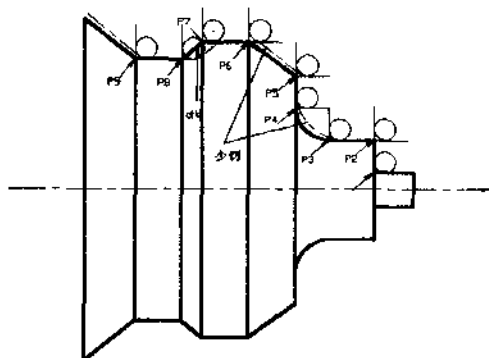


图 4.3 刀尖圆角 R 造成的少切与过切

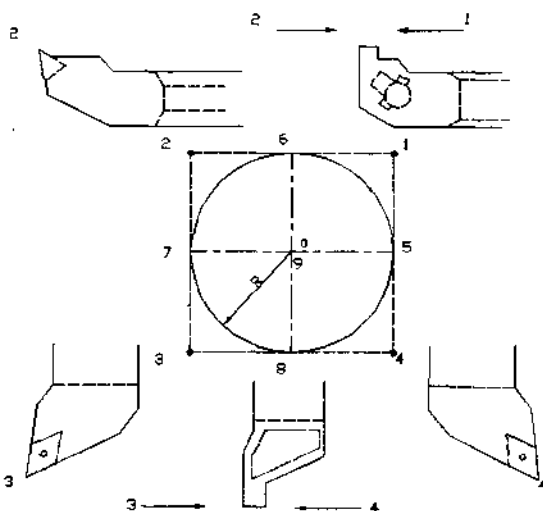


图 4.4 刀尖圆角 R 的确定方法

例：应用刀尖圆弧自动补偿功能加工如图 4.5 所示的零件。

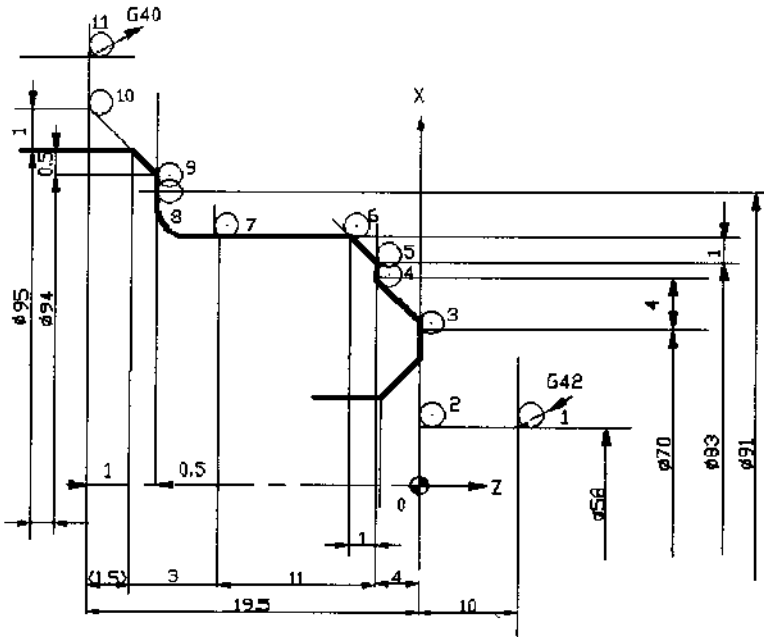


图 4.5 刀具补偿编程

刀尖位置编码：3

```

N10 G50 X200 Z175 T0101
N20 G90 G40 M03 S1500
N30 G00 G42 X58 Z10 M08
N40 G01 Z0 F1.5
N50 X70 F0.2
N60 X78 Z-4
N70 X83
N80 X85 Z-5
N90 Z-15
N100 G02 X91 Z-18 R3 F0.15
N110 G01 X94
N120 X97 Z-19.5
N130 X100
N140 G00 G40 X200 Z175 T0100 M09
N150 M05
N160 M30
    
```

### 3. 单一固定循环

利用单一固定循环可以将一系列连续的动作，如“切入—切削—退刀—返回”，用一个循环指令完成，从而使程序简化。

## (1) 圆柱面或圆锥面切削循环。

圆柱面或圆锥面切削循环是一种单一固定循环，圆柱面单一固定循环如图 4.6 所示，圆锥面单一固定循环如图 4.7 所示。

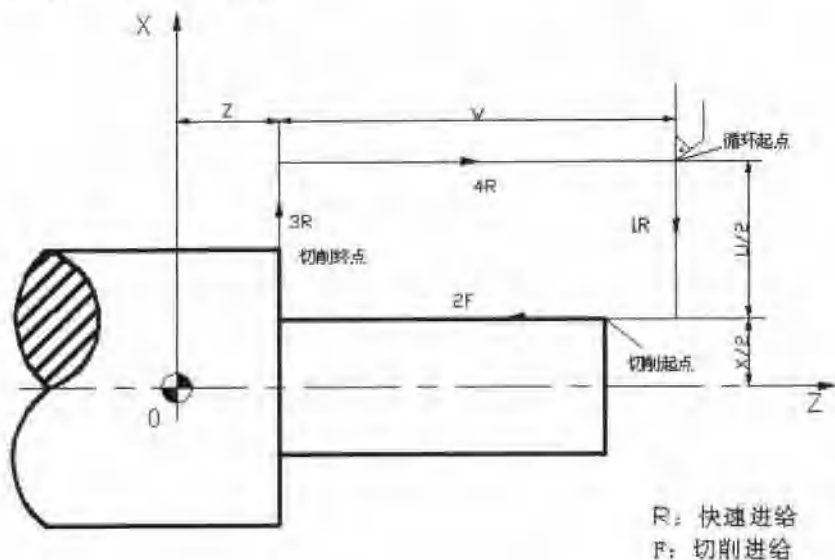


图 4.6 圆柱面切削循环

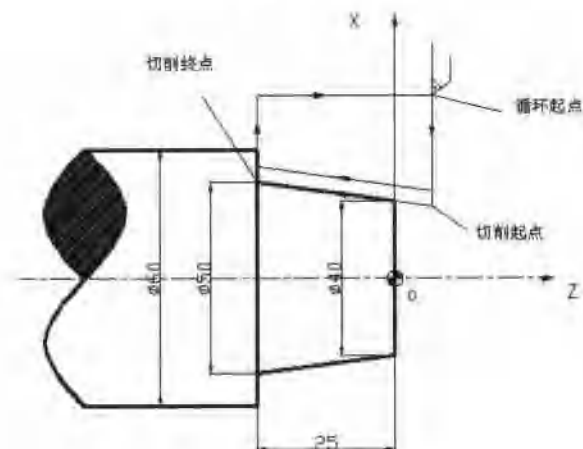


图 4.7 圆锥面切削循环

## ① 圆柱面切削。

指令: G90

程序格式: G90 X(U) \_ Z(W) \_ F\_

其中: X、Z——圆柱面切削终点的坐标值;

U、W——圆柱面切削的终点相对于循环起点的坐标分量。

例: 应用圆柱面切削循环功能加工如图 4.8 所示的零件。

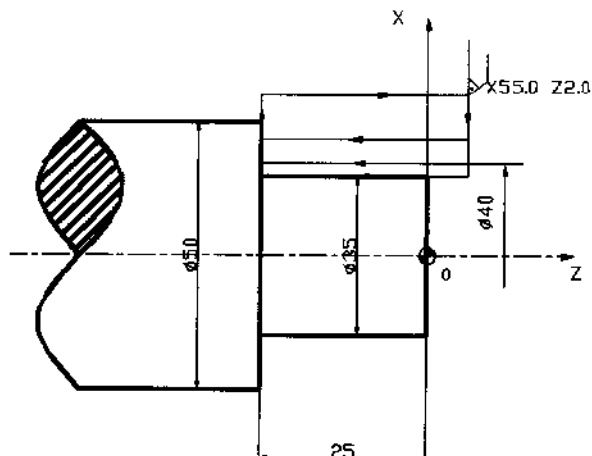


图 4.8 G90 的用法 (圆柱面)

```

N10 G50 X200 Z200
N20 G40 M03 S1000 T0101
N30 G00 X55 Z4 M08
N40 G01 Z2 F2.5
N50 G90 X45 Z-25 F0.2
N60 X40
N70 X35
N80 G00 X200 Z200 T0100 M09
N90 M05
N100 M30

```

## ② 圆锥面切削循环。

指令：G90

程序格式：G90 X(U) \_\_ Z(W) \_\_ I\_\_ F\_\_

其中：X、Z——圆锥面切削的终点坐标值；

U、W——圆锥面切削的终点相对于循环起点的坐标分量；

I——圆锥面切削的起点相对于终点的半径值，如果切削起点的 X 向坐标小于终点的 X 向坐标，I 值为负，反之为正。

例：应用圆锥面切削循环功能加工如图 4.7 所示零件。

```

N10 G50 X200 Z200
N20 M03 S1000 T0101
N30 G00 X65 Z6 M08
N40 G01 Z3.5 F2.5
N50 G90 X60 Z-25 I-5 F0.2
N60 X50
N70 G00 X200 Z200 T0100 M09

```

N80 M05

N90 M30

在 N50 程序段中,  $I = (D-d) / 2 = (50-40) / 2 \text{mm} = 5 \text{mm}$ 。

(2) 端面切削循环。

端面切削循环是一种单一固定循环, 适用于端面切削加工, 如图 4.9 所示。

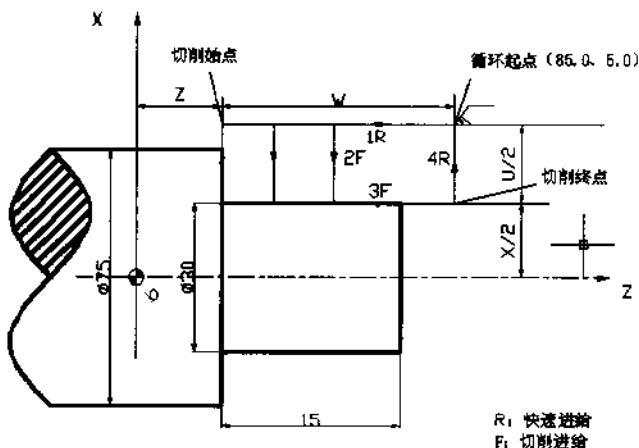


图 4.9 端面切削循环

① 平面端面切削循环。

指令: G94

程序格式: G94 X(U) \_\_\_ Z(W) \_\_\_ F\_\_\_

其中: X、Z——端面切削的终点坐标值;

U、W——端面切削的终点相对于循环起点的坐标分量。

例: 应用端面切削循环功能加工如图 4.9 所示零件。

N10 G50 X200 Z200 T0101

N20 G40 S450 M03

N30 G00 X85 Z10 M08

N40 G01 Z5 F0.2

N50 G94 X30 Z-5 F0.2

N60 Z-10

N70 Z-15

N80 G00 X200 Z200 T0100 M09

N90 M05

N100 M30

② 锥面端面切削循环。

指令: G94

程序格式: G94 X(U) \_\_\_ Z(W) \_\_\_ K\_\_\_ F\_\_\_

其中: X、Z——端面切削的终点坐标值;

U、W——端面切削的终点相对于循环起点的坐标分量；  
 K——端面切削的起点相对于终点在 Z 轴方向上的坐标分量，当起点 Z 向坐标小于终点 Z 向坐标时 K 为负，反之为正，如图 4.10 所示。

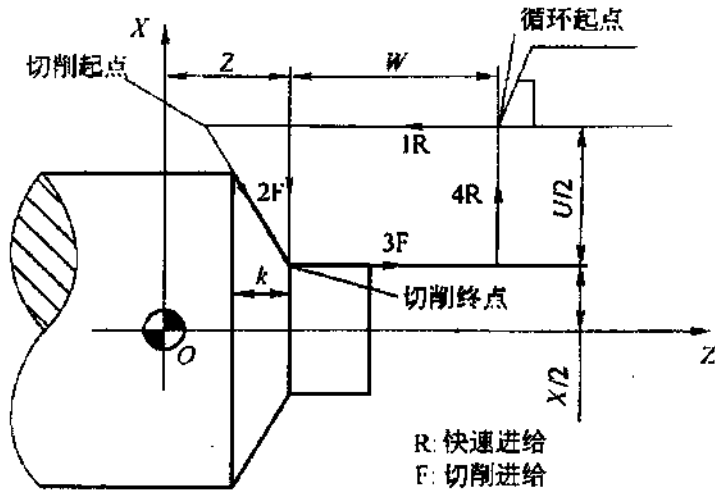


图 4.10 锥面端面切削循环

例：应用端面切削循环功能加工如图 4.11 所示的零件。

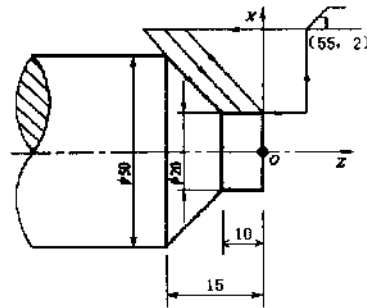


图 4.11 G94 的用法（锥面）

```

N10 G50 X200 Z200 T0101
N20 G40 S450 M03
N30 G00 X55 Z4 M08
N40 G01 Z2 F0.2
N50 G94 X20 Z0 K-5 F0.2
N60 Z-5
N70 Z-10
N80 G00 X200 Z200 T0100 M09
N90 M05
N100 M30
    
```



#### 4. 复合固定循环

在使用 G90、G94 时，已经使程序简化了一些，但还有一类被称为复合固定循环的代码，能使程序进一步得到简化。使用这些复合固定循环时，只需对零件的轮廓定义后，就可以完成从粗加工到精加工的全部过程。

##### (1) 内外圆粗切削循环。

内外圆粗切削循环是一种复合固定循环。适用于内外圆面需多次走刀才能完成的粗加工，如图 4.12 所示。

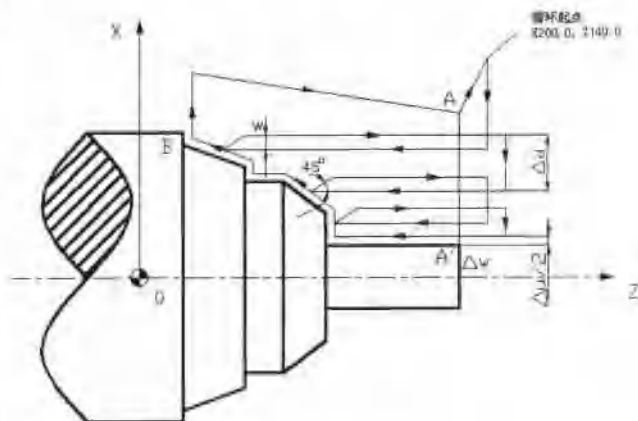


图 4.12 外圆粗加工循环

指令: G71

程序格式: G71 U( $\Delta d$ ) R(e)

G71 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F(f) S(s) T(t)

其中:  $\Delta d$ ——背吃刀量;

e——退刀量;

ns——精加工轮廓程序段中的开始程序段号;

nf——精加工轮廓程序段中的结束程序段号;

$\Delta u$ ——X 轴方向精加工余量;

$\Delta w$ ——Z 轴方向的精加工余量;

f、s、t——F、S、T 指令。

当给出如图 4.12 所示加工形状的路线  $A \rightarrow A' \rightarrow B$  及背吃刀量，就会进行平行于 Z 轴的多次切削，最后再按留有精加工切削余量  $\Delta w$  和  $\Delta u/2$  之后的精加工形状进行加工。

#### ■ 注意:

① 在使用 G71 进行粗加工循环时，只有含在 G71 程序段中的 F、S、T 功能才有效，而包含在 ns → nf 程序段中的 F、S、T 指令对粗车循环无效;

② 零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向都是单调增大或单调减小;

③ 可以进行刀尖半径补偿。

例：按图 4.13 所示尺寸编写外圆粗切削削循环加工程序。

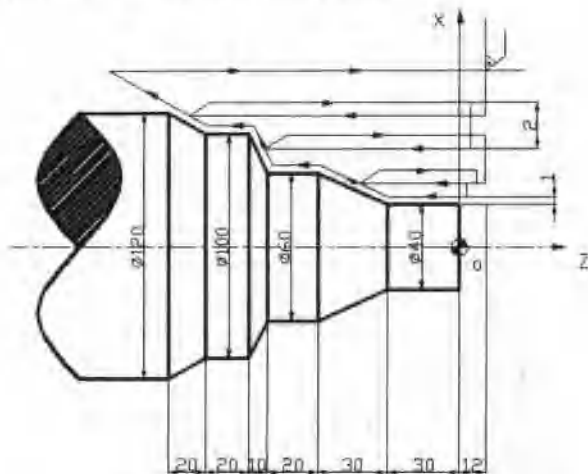


图 4.13 G71 程序例图

```

N10 G50 X200 Z140 T0101
N20 G40 S240 M03
N30 G00 G42 X120 Z10 M08
N40 G71 U2 R0.1
N50 G71 P60 Q120 U2 W0.5 F0.3
N60 G00 X40 (ns)
N70 G01 Z-30 F0.15
N80 X60 Z-60
N90 Z-80
N100 X100 Z-90
N110 Z-110
N120 X120 Z-130
N130 G40 G00 X125 (nf)
N140 X200 Z140 T0100 M09
N150 M05
N160 M30

```

(2) 端面粗加工循环。

端面粗加工循环是一种复合固定循环，如图 4.14 所示。端面粗加工循环适用于 Z 向余量小，X 向余量大的棒料粗加工。

指令：G72

程序格式：G72 U( $\Delta d$ ) R(e)

G72 P(ns) Q(nf) U( $\Delta u$ ) W( $\Delta w$ ) F(f) S(s) T(t)

其中： $\Delta d$ ——背吃刀量；

e ——退刀量；

- $ns$ ——精加工轮廓程序段中的开始程序段号；  
 $nf$ ——精加工轮廓程序段中的结束程序段号；  
 $\Delta u$ ——X轴方向精加工余量；  
 $\Delta w$ ——Z轴方向的精加工余量；  
 $f, s, t$ ——F、S、T指令。

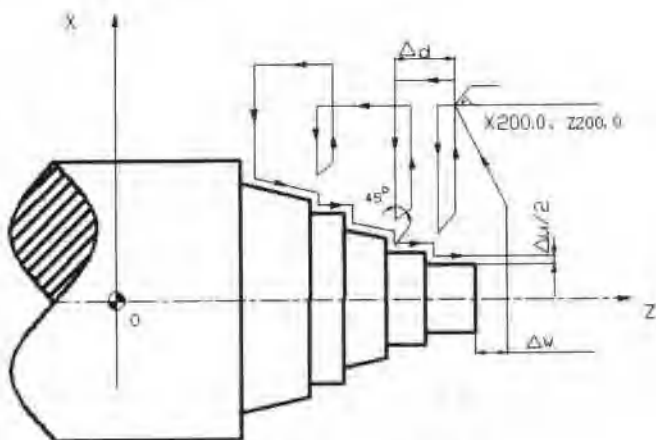


图 4.14 端面粗加工切削循环

**注意:**

- ① 在使用 G72 进行粗加工循环时，只有含在 G72 程序段中的 F、S、T 功能才有效，而包含在  $ns \rightarrow nf$  程序段中的 F、S、T 指令对粗车循环无效；
- ② 零件轮廓必须符合 X 轴、Z 轴方向同时单调增大或单调减小；
- ③ 可以进行刀尖半径补偿。

例：按图 4.15 所示尺寸编写端面粗加工切削循环的加工程序。

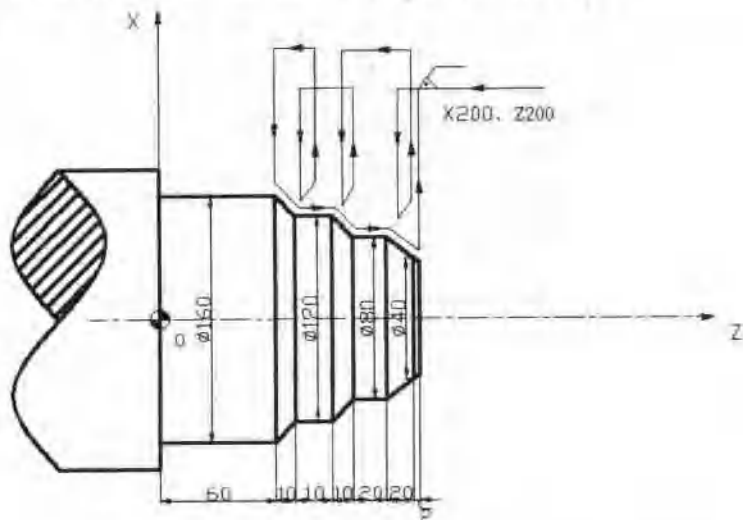


图 4.15 G72 程序例图

```

N10 G50 X220 Z200 T0101
N20 G40 S220 M03
N30 G00 G41 X176 Z2 M08
N40 G72 U3 R0.1
N50 G72 P60 Q110 U2 W0.5 F0.3
N60 G00 X160 Z60 (ns)
N70 G01 X120 Z70 F0.15
N80 Z80
N90 X80 Z90
N100 Z110
N110 X36 Z132 (nf)
N120 G40 G00 X200 Z200 T0100 M09
N130 M05
N140 M30
    
```

(3) 封闭切削循环。

封闭切削循环是一种复合固定循环，如图 4.16 所示。封闭切削循环适合于对铸、锻毛坯切削，对零件轮廓的单调性则没有要求。

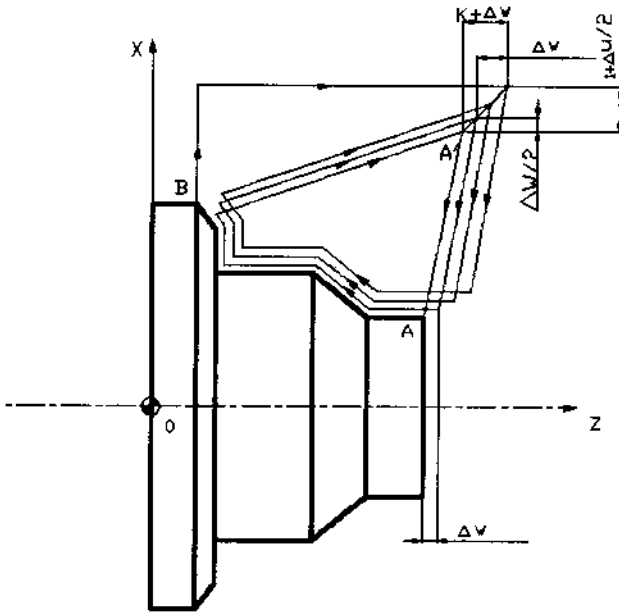


图 4.16 封闭切削循环

指令: G73

程序格式: G73 U(i) W(k) R(d)

G73 P(ns) Q(nf) U(Δu) W(Δw) F(f) S(s) T(t)

其中: i——X 轴上的总退刀量(半径值)及方向;

k——Z轴上的总退刀量及方向；

d——重复加工次数；

ns ——精加工轮廓程序段中的开始程序段号；

nf ——精加工轮廓程序段中的结束程序段号；

$\Delta u$  ——X轴方向精加工余量，直/半径指定从程序。切外径为“+”，切内径为“-”；

$\Delta w$  ——Z轴方向的精加工余量；

f、s、t——F、S、T代码。

例：按图 4.17 所示尺寸编写封闭切削循环加工程序。

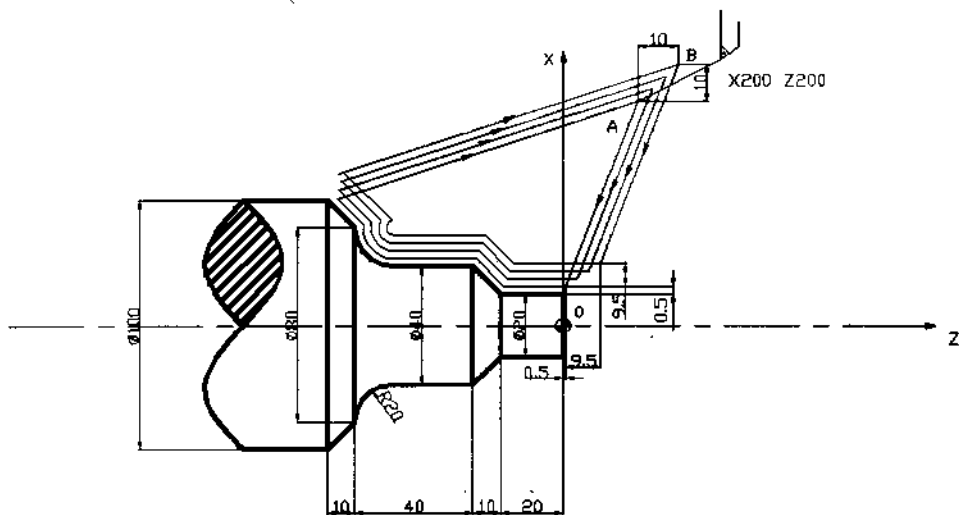


图 4.17 G73 程序例图

```

N10 G50 X200 Z200 T0101
N20 G40 S200 M03
N30 G00 G42 X140 Z40 M08
N40 G73 U9.5 W9.5 R3
N50 G73 P60 Q120 U1.0 W0.5 F0.3
N60 G00 X20 Z0 (ns)
N70 G01 Z-20 F0.15 S150
N80 X40 Z-30
N90 Z-50
N100 G02 X80 Z-70 R20
N110 G01 X100 Z-80
N120 X105 (nf)
N130 G40 G00 X200 Z200 T0100 M09
N140 M05
150 M30

```

(4) 精加工循环。

由 G71、G72、G73 完成粗加工后，可用 G70 进行精加工。精加工时，G71、G72、G73 程序段中的 F、S、T 指令无效，只有在 ns→nf 程序段中的 F、S、T 才有效。

指令：G70

程序格式：G70 P (ns) Q (nf)

其中：ns —— 精加工轮廓程序段中的开始程序段号；

nf —— 精加工轮廓程序段中的结束程序段号。

例：在 G71、G72、G73 程序应用例中的 nf 程序段后再加上“G70 P (ns) Q (nf)”程序段，并在 ns→nf 程序段中加上精加工适用的 F、S、T；以图 4.17 的程序为例，在 N120 程序段之后再加上“N125 G70 P60 Q120”就可以完成从粗加工到精加工的全过程。

### 5. 深孔钻循环

深孔钻循环功能适用于深孔钻削加工，如图 4.18 所示。

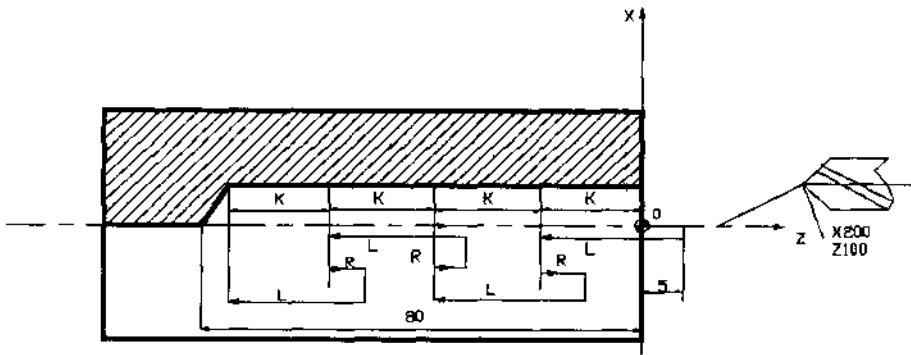


图 4.18 深孔钻削循环

指令：G74

程序格式：G74 R (e)

G74 Z (W) Q ( $\Delta k$ ) F (f)

其中：e —— 退刀量；

Z (W) —— 钻削深度；

$\Delta k$  —— 每次钻削长度（无符号指定）；

f —— F 代码。

例：采用深孔钻削循环功能加工如图 4.18 所示深孔，试编写加工程序。其中  $e=1$ ， $\Delta k=20$ ， $F=0.1$ 。

```

N10 G50 X200 Z100 T0202
N20 S600 M03
N30 G00 G40 X0 Z5 M08
N40 G74 R1
N50 G74 Z-80 Q20 F0.1
N60 G00 X200 Z100 T0200 M09
M70 M05
N80 M30
  
```

### 6. 外径切槽循环

外径切槽循环功能适合于在外圆面上切削沟槽或切断加工。

指令：G75

程序格式：G75 R (e)

G75 X (u) P ( $\Delta i$ ) F (f)

其中：e——退刀量；

X (u) ——槽深；

$\Delta i$  ——每次循环切削量；

f——F 指令。

例：试编写如图 4.19 所示的零件切断加工程序。

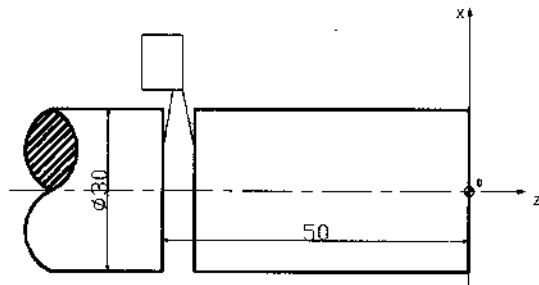


图 4.19 切槽加工

```

N10 G50 X200 Z200 T0505
N20 S600 M03
N30 G00 G40 X35 Z-50 M08
N40 G75 R1
N50 G75 X-1 P5 F0.1
N60 G00 X200 Z200 T0500 M09
N70 M05
N80 M30

```

### 7. 螺纹切削

该指令用于螺纹切削加工。

(1) 基本螺纹切削指令。

基本螺纹切削方法如图 4.20 所示。在进行螺纹切削时需要指出终点坐标值及螺纹导程 F (单位：mm)。

指令：G32

程序格式：G32 X (U) Z (W) F\_\_

其中：X (U)、Z (W) ——螺纹切削终点的坐标值；X (U) 省略时为圆柱螺纹切削，Z (W) 省略时为端面螺纹切削，X (U)、Z (W) 均不省略时为锥螺纹切削；

F——螺纹导程。

螺纹切削时应注意在两端设置足够的升速进刀段  $\delta_1$  和降速退刀段  $\delta_2$ 。

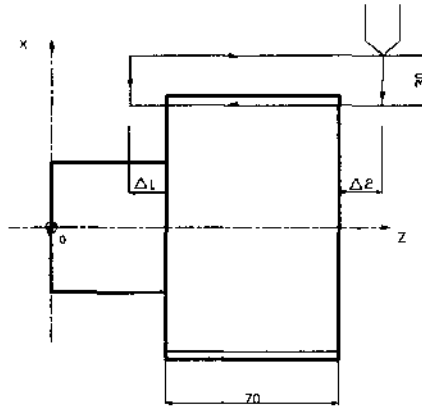


图 4.20 圆柱螺纹切削

例：试编写如图 4.20 所示螺纹的加工程序。（螺纹导程 4mm，升速进刀段  $\delta_1=3\text{mm}$ ，降速退刀段  $\delta_2=1.5\text{mm}$ ，螺纹深度 2.165mm）

.....

```

N100 G00 U-62
N110 G32 W-74.5 F4
N120 G00 U62
N130 W74.5
N140 U-64
N150 G32 W-74.5
N160 G00 U64
N170 W74.5

```

.....

例：试编写如图 4.21 所示圆锥螺纹的加工程序。（螺纹导程 2mm，升速进刀段  $\delta_1=2\text{mm}$ ，降速退刀段  $\delta_2=1\text{mm}$ ，螺纹深度 1.0825mm）

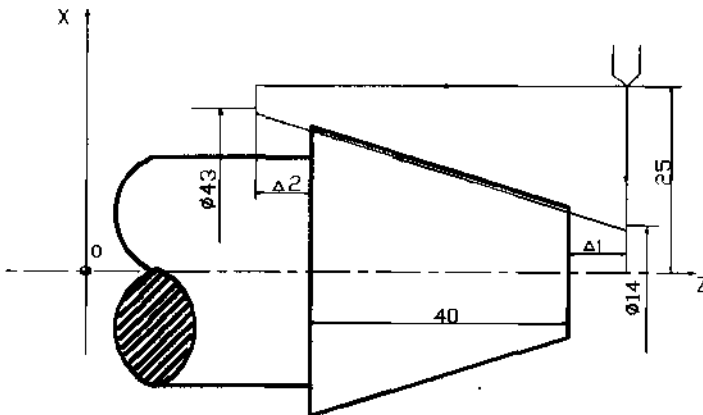


图 4.21 圆锥螺纹切削



```

.....
N100 G00 X12
N110 G32 X41 W-43 F2
N120 G00 X50
N130 W43
N140 X11
N150 G32 X40 W-43
N160 G00 X50
N170 W43
.....

```

### (2) 螺纹切削循环。

螺纹切削循环指令把“切入——螺纹切削——退刀——返回”4个动作作为一个循环，用一个程序段来指令，如图4.22所示。

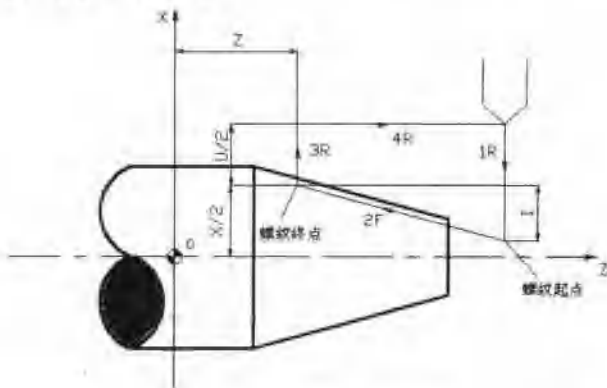


图4.22 螺纹切削循环

指令: G92

程序格式: G92 X(U) Z(W) I\_ F\_

其中: X(U)、Z(W)——为螺纹切削的终点坐标值;

I——螺纹部分半径之差,即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。加工圆柱螺纹时, I=0; 加工圆锥螺纹时,当 X(W)向切削起始点坐标小于切削终点坐标时, I为负,反之为正。

例: 试编写如图4.23所示的圆柱螺纹加工程序。

```

.....
N100 G00 X35 Z104
N110 G92 X29.51 Z56 F1.5
N120 X29.03
N130 X28.54
N140 X28.05
N150 G00 X200 Z200
.....

```

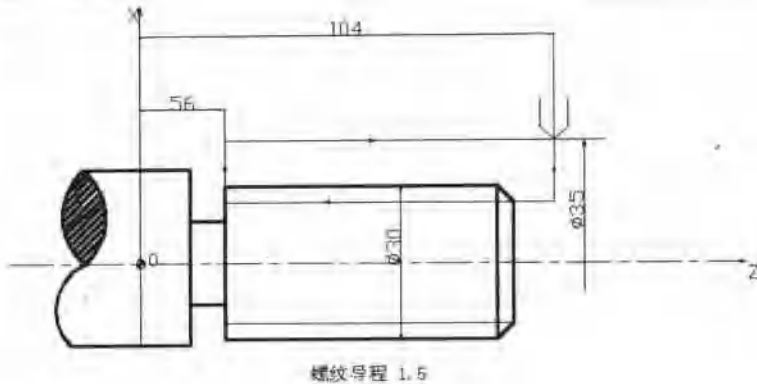


图 4.23 圆柱螺纹切削循环

例：试编写如图 4.24 所示的圆锥螺纹加工程序。

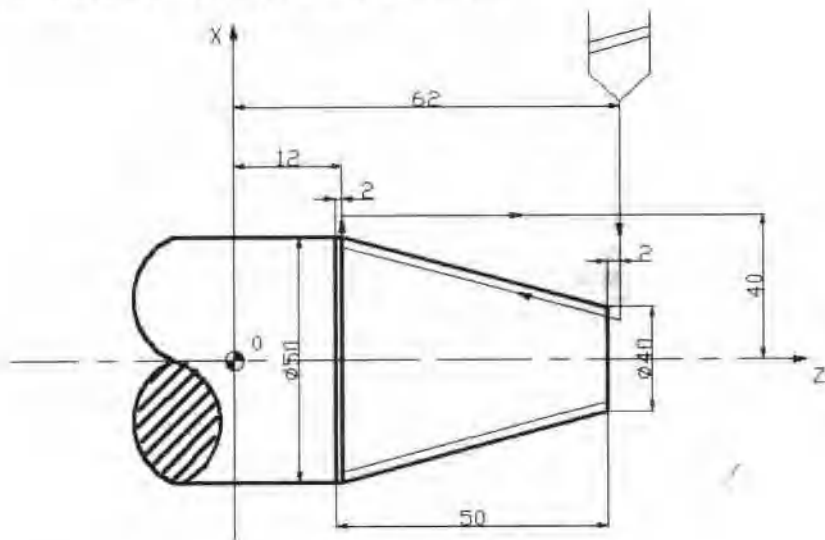


图 4.24 锥螺纹切削循环

.....

```

N100 G00 X80 Z62
N110 G92 X49.35 Z12 I-5 F2
N120 X48.7
N130 X48.05
N140 X47.4
N150 G00 X200 Z200

```

.....

### (3) 复合螺纹切削循环。

复合螺纹切削循环指令可以完成一个螺纹段的全部加工。它的进刀方法有利于改善刀具的切削条件，在编程中应优先考虑应用该指令，如图 4.25 所示。

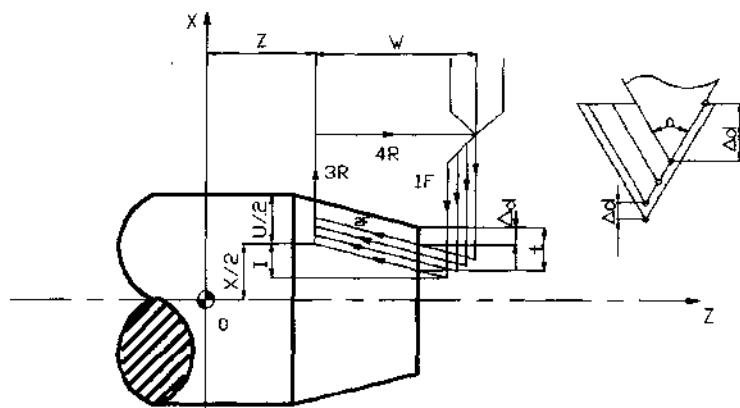


图 4.25 复合螺纹切削循环与进刀方法

指令: G76

程序格式: G76 P (m) (r) ( $\alpha$ ) Q ( $\Delta d_{\min}$ ) R (d)

G76 X (U) Z (W) R (I) P (k) Q ( $\Delta d$ ) F (f)

其中: m——精加工重复次数;

r——倒角量;

$\alpha$ ——刀尖角, 可以选择  $80^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $29^\circ$ ,  $0^\circ$  6种, 其角度数值用 2 位数指定; m、r、 $\alpha$  与地址一次指定, 如  $m=2$ ,  $r=1.2$ ,  $\alpha=60^\circ$  时可写成: P021260;

$\Delta d_{\min}$ ——最小切入量;

d——精加工余量;

X (U)、Z (W) ——终点坐标;

I——螺纹部分半径之差, 即螺纹切削起始点与切削终点的半径差。加工圆柱螺纹时,  $I=0$ 。加工圆锥螺纹时, 当 X (U) 向切削起始点坐标小于切削终点时, I 为负, 反之为正。

k——螺牙的高度 (半径指定);

$\Delta d$ ——第一次切入量 (半径指定);

f——螺纹导程。

例: 试编写如图 4.26 所示圆柱螺纹的加工程序, 螺距为 6mm。

.....

N100 G76 P021260 Q100 R0.1

N110 G76 X60.64 Z25 P3680 Q1800 F6

.....

## 8. 程序延时

指令: G04

程序格式: G04 P\_

其中: P——为暂停时间, 单位为 ms。

该指令可使刀具作短时间的无进给光整加工, 常用于车槽、镗平面、镗孔等场合, 以提高表面光洁度。采用 G04 指令使主轴不停, 刀具进给短暂停留。

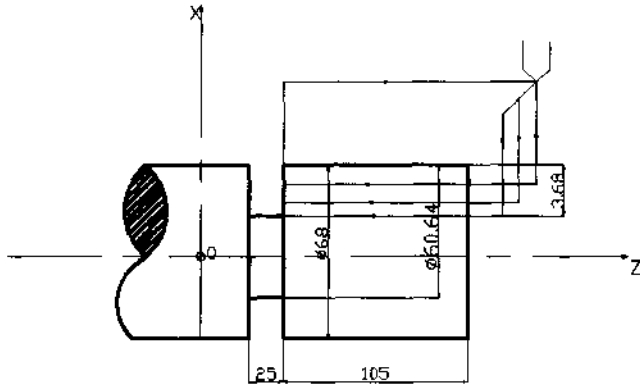


图 4.26 复合螺纹切削循环应用

### 4.3 典型零件的程序编制

例：图 4.27a 中零件  $\phi 85mm$  不加工，要求编制精加工程序。图 4.27b 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，以 T01 号刀为基准刀，螺纹车刀的刀尖相对 T01 号刀尖在 Z 向偏置 10mm。加工程序如下：

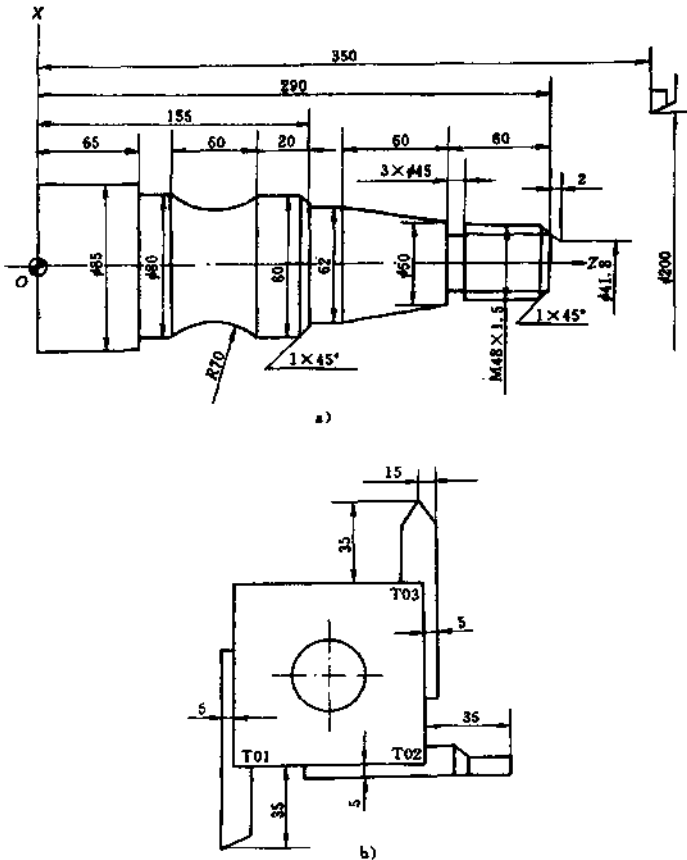


图 4.27 编程实例

O001					程序号	
N10	G50	X200	Z350	T0101	建立工件坐标系	
N20	G97	S650	M03		主轴顺时针旋转, 转速 650r/min	
N30	G00	X41.8	Z292	M08	快进至 X=41.8mm, Z=292mm, 切削液开	
N40	G01	X47.8	Z289	F0.15	工进至 X=47.8mm, Z=289mm, 倒角	
N50	Z230				Z 向工进至 Z=230mm (精车 48.34mm 螺纹大径)	
N60	X50				X 向工进至 X=50mm (退刀)	
N70	X62	W-60			X 向工进至 X=62mm, -Z 向工进 60mm (精车锥面)	
N80	Z155				Z 向工进至 Z=155mm (精车 62mm 外圆)	
N90	X78				X 向工进至 X=78mm (退刀)	
N100	X80	W-1			X 向工进至 X=80mm, -Z 向工进 1mm (倒角)	
N110	W-19				-Z 向工进 19mm (精车 80mm 外圆)	
N120	G02	W-60	I63.25	K-30	顺时针圆弧插补, -Z 向工进 60mm (精车圆弧)	
N130	G01	Z65			Z 向工进至 Z=65mm (精车 80mm 外圆)	
N140	X90				X 向工进至 X=90mm (退刀)	
N150	G00	X200	Z350	T0100	返回起刀点, 取消刀具补偿	
N160	T0202				换刀, 并建立刀具补偿	
N170	S320	M03			主轴顺时针旋转, 转速 320r/min	
N180	G00	X51	Z230		快进至 X=51mm, Z=230mm	
N190	G01	X45	F0.16		X 向工进至 X=45mm (车 45mm 槽)	
N200	G04	P5			程序延时 5 毫秒	
N210	G00	X51			X 向快退至 X=51mm (退刀)	
N220	X200	Z350	T0200		返回起刀点, 取消刀具补偿	
N230	T0303				换刀, 并建立刀具补偿	
N240	S200	M03			主轴顺时针旋转, 转速 200r/min	
N250	G00	X62	Z296		快进至 X=62mm, Z=296mm	
N260	G92	X47.54	Z231.5	F1.5	螺纹切削循环, 螺距 1.5mm	
N270	X47.02					
N280	X46.53					
N290	X46.05					
N300	G00	X200	Z350	T0300	M09	返回起刀点, 取消刀具补偿, 同时关闭切削液
N310	M05				主轴停止	
N320	M30				程序结束	

例: 图 4.28 所示为一缸盖零件简图。该零件用数控车床加工, 要求编制其加工程序。

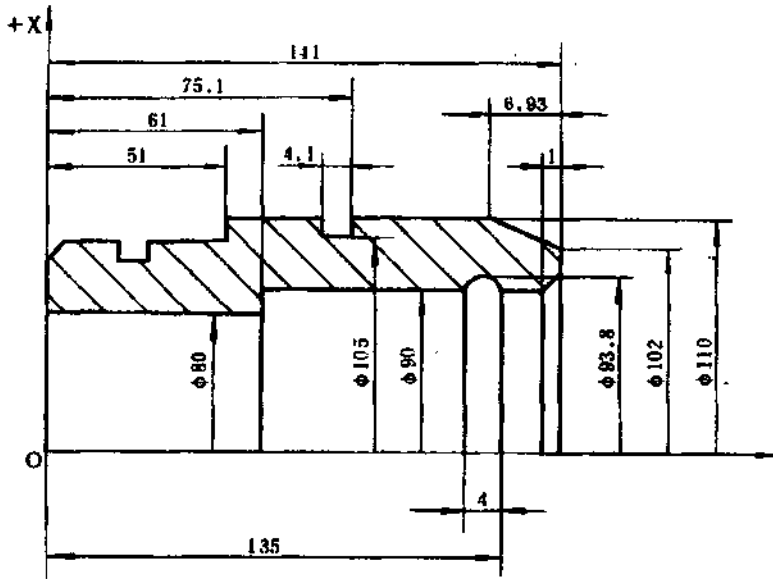


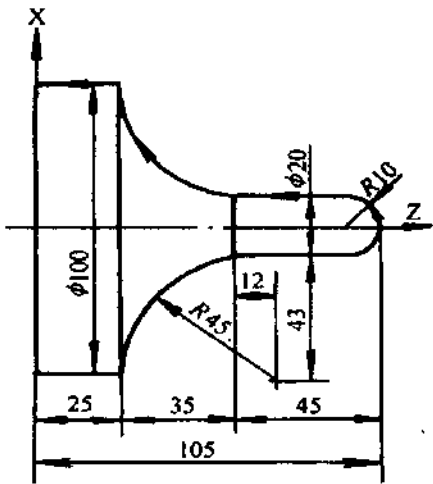
图 4.28 编程实例

程序号	程序内容	说明
O002		
N10	G50 X400 Z400 T0101	建立工件坐标系
N20	S300 M03	主轴顺时针旋转, 转速 300r/min
N30	G00 X118 Z141.5	快进至 X=118mm, Z=141.5mm
N40	G01 X82 F0.3	X 向工进至 X=82mm (粗车端面)
N50	G00 X103	快退至 X=103mm
N60	G01 X110.5 Z135 F0.2	工进至 X=110.5mm, Z=135mm (粗车短锥面)
N70	Z48 F0.3	Z 向工进至 Z=48mm (粗车 $\phi 110$ 外圆)
N80	G00 X400 Z400 T0100	返回起刀点, 取消刀具补偿
N90	M06 T0303	换刀, 并建立刀具补偿
N100	G00 X89.5 Z180	快进至 X=89.5mm, Z=180mm
N110	Z145	Z 向快进至 Z=145mm
N120	G01 Z61.5 F0.3	Z 向工进至 Z=61.5mm (粗车 $\phi 90$ mm 内孔)
N130	X79.5	X 向工进至 X=79.5mm (粗车内孔阶梯面)
N140	Z-5	Z 向工进至 Z=-5mm (粗车 $\phi 80$ mm 孔)
N150	G00 X75	X 向快退至 X=75mm
N160	Z180	Z 向快退至 Z=180mm
N170	G00 X400 Z400 T0300	返回起刀点, 取消刀具补偿
N180	M06 T0505	换刀, 并建立刀具补偿
N190	S600 M03	主轴顺时针旋转, 转速 600r/min
N200	G00 X85 Z145	快进至 X=85mm, Z=145mm
N210	G01 Z141 F0.5	Z 向工进至 Z=141mm

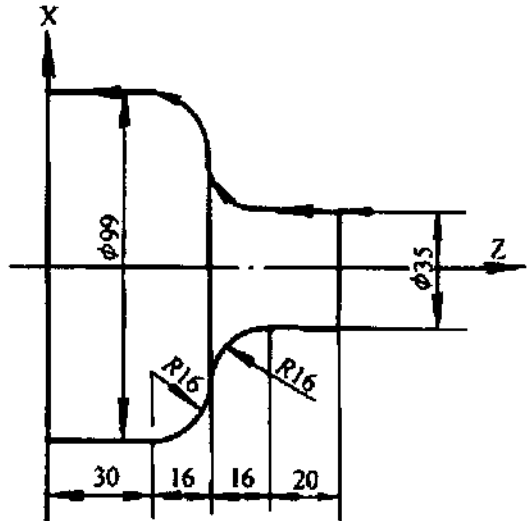
N220	X102	F0.2	X 向工进至 X=102mm (精车端面)		
N230	U8	W-6.93	X 向工进至 U=8mm, -Z 向工进至 W=-6.93mm (精车短锥面)		
N240	Z48	F0.08	Z 向工进至 Z=48mm (精车 $\phi$ 110mm 外圆)		
N250	G00	X112	X 向快退至 X=112mm		
N260	X400	Z400	T0500	返回起刀点, 取消刀具补偿	
N270	M06	T0707		换刀, 并建立刀具补偿	
N280	S200	M03		主轴顺时针旋转, 转速 200r/min	
N290	G00	X85	Z180	快进至 X=85mm, Z=180mm	
N300	Z133	T0707		Z 向快进至 Z=133mm, 刀具补偿	
N310	G01	X93.8	F0.2	X 向工进至 X=93.8mm (车 $\phi$ 93.8mm 槽)	
N320	G00	X85		X 向快退至 X=85mm	
N330	Z180			Z 向快退至 Z=180mm	
N340	X400	Z400	T0700	返回起刀点, 取消刀具补偿	
N350	M06	T0909		换刀, 并建立刀具补偿	
N360	S600	M03		主轴顺时针旋转, 转速 600r/min	
N370	G00	X94	Z180	快进至 X=94mm, Z=180mm	
N380	Z142			Z 向快进至 Z=142mm	
N390	G01	X90	Z140	F0.2	工进至 X=90mm, Z=140mm (内孔倒角)
N400	Z61			Z 向工进至 Z=61mm (精车 $\phi$ 90mm 内孔)	
N410	X80			X 向工进至 X=80mm (精车内孔阶梯面)	
N420	Z-5			Z 向工进至 Z=-5mm (精车 $\phi$ 80mm 内孔)	
N430	G00	X75		X 向快退至 X=75mm	
N440	Z180			Z 向快退至 Z=180mm	
N450	X400	Z400	T0900	返回起刀点, 取消刀具补偿	
N460	M06	T1111		换刀, 并建立刀具补偿	
N470	S240	M03		主轴顺时针旋转, 转速 240r/min	
N480	G00	X115	Z71	快进至 X=115mm, Z=71mm	
N490	G01	X105	F0.1	X 向工进至 X=105mm, 刀具补偿 (车 4.1mm $\times$ 2.5mm 槽)	
N500	G00	X115		X 向退回至 X=115mm	
N510	X400	Z400	T1100	M09	返回起刀点, 取消刀具补偿, 并关闭切削液
N520	M05			主轴停止	
N530	M30			程序结束	

#### 4.4 思考与练习题

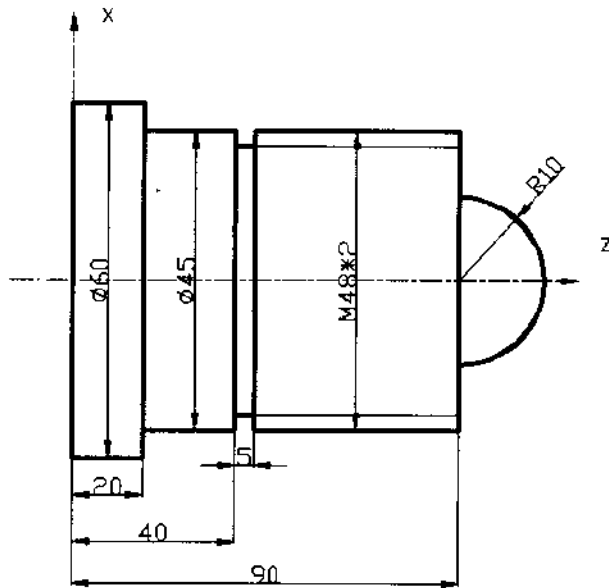
1. 如题图 4.1、4.2、4.3 所示的零件, 编写数控车削加工程序。



题图 4.1



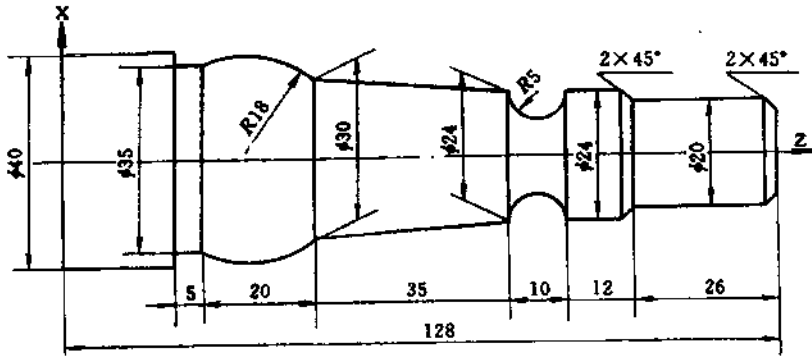
题图 4.2



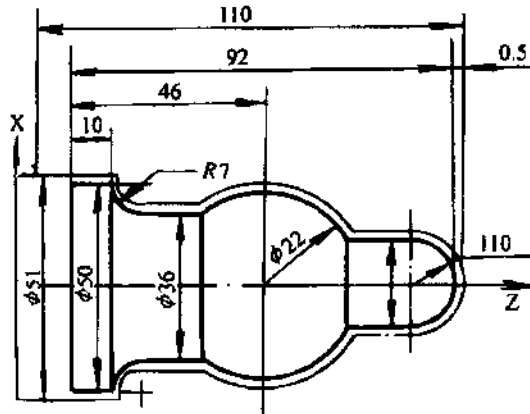
题图 4.3

2. 如题图 4.4、4.5、4.6、4.7 所示的零件，试分别编写数控车削加工程序，要求如下：
- (1) 确定加工方案，并画出走刀路线；
  - (2) 选择合适的刀具；
  - (3) 计算刀尖轨迹坐标值。

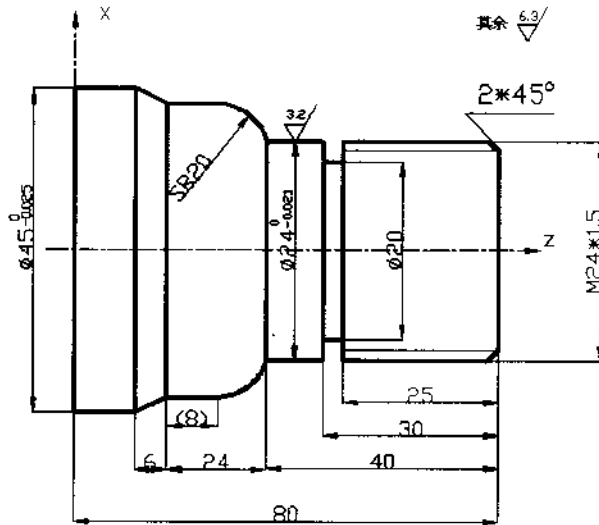




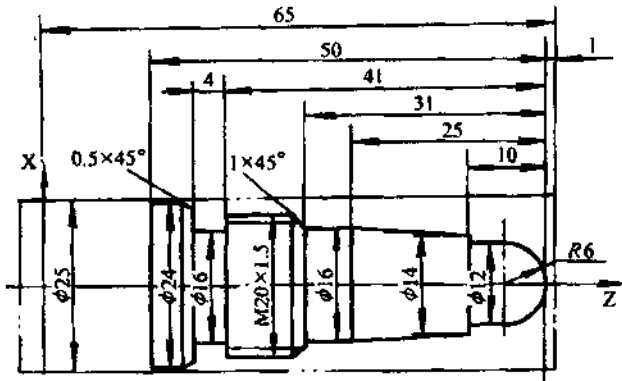
题图 4.4



题图 4.5



题图 4.6



题图 4.7

## 第5章 数控铣床的加工程序编制

### 本章知识

- 掌握数控铣床程序编制的基础
- 掌握数控铣床程序编制的指令
- 熟练使用数控铣床的指令进行加工程序的编制

数控铣床是机床设备中应用非常广泛的加工机床，它可以进行平面铣削、平面型腔铣削、外形轮廓铣削和三维及三维以上复杂型面铣削，还可以进行钻削、镗削、螺纹切削等孔系加工。加工中心、柔性制造单元等都是在数控铣床的基础上产生和发展起来的。

### 5.1 数控铣床程序编制的基础

数控铣床可以分为立式、卧式和立卧两用式，各类铣床配置的数控系统不同，其功能也不尽相同。除各有其特点之外，常具有下列主要功能。

#### 1. 点位控制功能

利用这一功能，数控铣床可以进行只需要作点位控制的钻孔、扩孔、铰孔、铰孔和镗孔等加工。

#### 2. 连续轮廓控制功能

数控铣床通过直线与圆弧插补，可以实现对刀具运动轨迹的连续轮廓控制，加工出由直线和圆弧两种几何要素构成的平面轮廓工件。对非圆曲线（椭圆、抛物线、双曲线等二次曲线及对数螺旋线、阿基米德螺旋线和列表曲线等）构成的平面轮廓，在经过直线或圆弧逼近后也可以加工。除此之外，还可以加工一些空间曲面。

#### 3. 刀具半径自动补偿功能

使用这一功能，在编程时可以很方便地按工件实际轮廓形状和尺寸进行编程计算，而加工中可以使刀具自动偏离工件轮廓一个刀具半径，加工出符合要求的轮廓平面。也可以利用该功能，通过改变刀具半径补偿量的方法来弥补铣刀制造的尺寸精度误差，扩大刀具直径选用范围及刀具返修刃磨的允许误差。还可以利用改变刀具半径补偿值的方法，以同一加工程序实现分层铣削和粗、精加工或用于提高加工精度。此外，通过改变刀具补偿值的正负号，还可以用同一加工程序加工某些需要相互配合的工件（如相互配合的凹凸模等）。

#### 4. 刀具长度补偿功能

利用该功能可以自动改变切削平面高度，同时可以降低在制造与返修时对刀具长度尺寸的精度要求，还可以弥补轴向对刀误差。

#### 5. 比例及镜像加工功能

比例功能可将编好的加工程序按指定比例改变坐标值来执行。镜像加工又称轴对称加工，如果一个零件的形状关于坐标轴对称，那么只要编出一个或两个象限的程序，而其余

象限的轮廓就可以通过镜像加工来实现。

#### 6. 旋转功能

该功能可将编好的加工程序在加工平面内旋转任意角度来执行。

#### 7. 子程序调用功能

有些零件需要在不同的位置上重复加工同样的轮廓形状，将这一轮廓形状的加工程序作为子程序，在需要的位置上重复调用，就可以完成对该零件的加工。

#### 8. 宏程序功能

该功能可用一个总指令代表实现某一功能的一系列指令，并能对变量进行运算，使程序更具灵活性和方便性。

#### 9. 特殊功能

有些数控铣床在增加了计算机仿形加工装置后，可以在数控和靠模两种控制方式中任选一种来进行加工，从而扩大了机床使用范围。

具备自适应功能的数控铣床可以在加工过程中感受到切削状况（如切削力、温度等）的变化，通过适应性控制系统及时控制机床改变切削用量，使铣床及刀具始终保持最佳状态，从而可获得较高的切削效率和加工质量，延长刀具使用寿命。

数控铣床在配置了数据采集系统后，就具备了数据采集功能。数据采集系统可以通过传感器（通常为电磁感应式、红外线或激光扫描式）对工件或实物依据（样板、模型等）进行测量和采集所需要的数据。而且，目前已出现既能对实物扫描采集数据，又能对采集到的数据进行自动处理并生成数控加工程序的系统（简称录返系统）。这种功能为那些必须按实物依据生产的工件实现数控加工带来了很大的方便，大大减少了对实物的依赖，为仿制与逆向进行设计、制造一体化工作提供了有效手段。

## 5.2 数控铣床程序编制

本节将以 XKJ-5025 型立式数控铣床所配置的 KND-200M 数控系统为基础，介绍数控铣床程序编制的基本方法。

### 5.2.1 基本编程指令的应用

#### 1. 子程序的调用

指令：M98、M99

分别表示调用子程序和子程序结束并返回到主程序。

编程时，为了简化程序的编制，当一个工件上有相同的加工内容，常用调子程序的方式进行编程。调用子程序的程序叫作主程序。一个子程序可以调用另一个子程序，嵌套为 2 级，一个调用指令可以重复一个子程序达 999 次。

子程序的编写与一般程序基本相同，只是程序结束符为 M99，表示子程序结束并返回到调用子程序的主程序中。

程序格式：M98 P\_\_

其中, P 为调用地址, 后面跟 8 位数字, 前 4 位为调用次数, 后 4 位为子程序号。如 M98 P00071004, 表示调用 1004 号子程序 7 次。调用次数为 1 时, 可省略调用次数。

(1) 当子程序的最后程序段只有 M99 时, 子程序结束, 返回到调用程序段后面的一个程序段。

(2) 一个程序段号在 M99 后由 P 指定时, 系统执行完子程序后, 将返回到由 P 指定的那个程序段号上。

(3) 子程序也可被视为主程序执行, 当直接运行到 M99 时, 系统将返回到主程序起点。

(4) 若在主程序中插入“/M99 Pn”, 那么在执行该程序时, 不是返回主程序的起点, 而是返回到由 P 指定的第“n”号程序段。跳步功能是否执行, 还取决于跳步选择开关的状态。

## 2. 加工坐标系设定

(1) 设置加工坐标系。

指令: G92

程序格式: G92 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

该指令将加工坐标系原点设定在相对于刀具起始点的某一空间点上。这一指令通常出现在程序的第一段, 也可用于程序中重新设定加工坐标系。G92 指令执行后, 所有坐标字指定的坐标都是该加工坐标系中的位置。

例: 如图 5.1 所示, 设置加工坐标系的程序段如下:

```
G92 X20 Y10 Z10
```

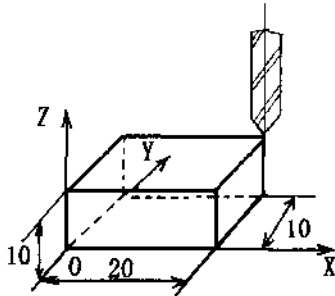


图 5.1 设置加工坐标系

上述程序段则确立了加工原点在距离刀具起点  $X=-20$ ,  $Y=-10$ ,  $Z=-10$  的位置上。

(2) 选择机床坐标系。

指令: G53

程序格式: G53 G90 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

G53 指令使刀具快速定位到机床坐标系中的指定位置上, 其中 X、Y、Z 后的值为机床坐标系中的坐标值, 其尺寸均为负值。

例: 如图 5.2 所示, 选择机床坐标系程序段如下:

```
G53 G90 X-100 Y-100 Z-20
```

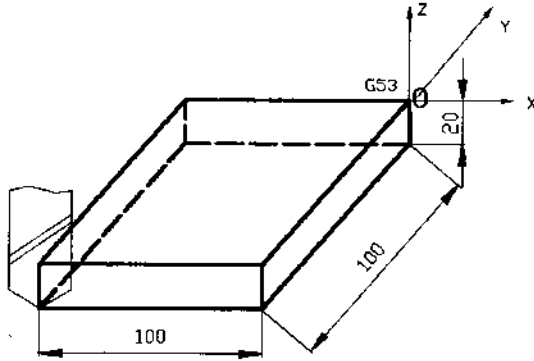


图 5.2 选择机床坐标系

(3) 选择工件坐标系。

指令: G54、G55、G56、G57、G58、G59

这些指令可以分别用来选择相应的工件加工坐标系。

程序格式: G54~G59 G90 G00 (G01) X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

该指令执行后, 所有坐标字指定的尺寸坐标都是选定的工件加工坐标系中的位置。这 6 个工件加工坐标系是通过 CRT/MDI 方式设定的。

例: 如图 5.3 所示, 用 CRT/MDI 在参数设置方式下设置了两个加工坐标系, 程序段如下:

G54: X-50 Y-50 Z-10

G55: X-100 Y-100 Z-20

这时, 建立了原点在  $O'$  的 G54 工件加工坐标系和原点在  $O''$  的 G55 工件加工坐标系。

若执行下列程序段:

N10 G53 G90 X0 Y0 Z0

N20 G54 G90 G01 X50 Y0 Z0 F100

N30 G55 G90 G01 X100 Y0 Z0 F100

则刀尖点的运动轨迹如图 5.3 中 OAB 所示。

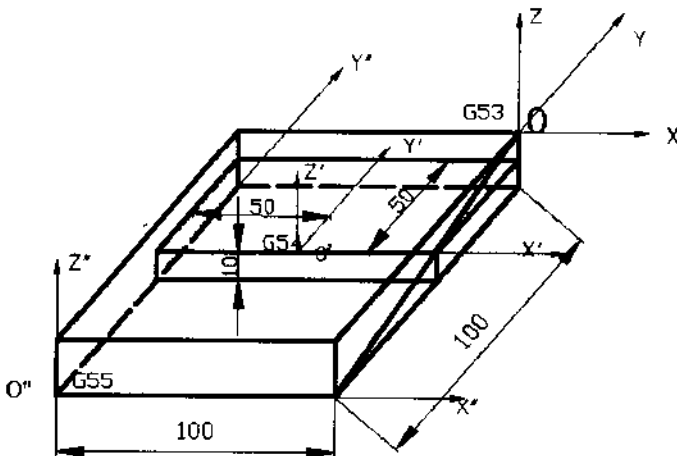


图 5.3 设置加工坐标系

G92 与 G54~G59 指令都是用来设定工件加工坐标系的，但它们在使用中是有区别的：G92 指令是通过程序来设定工件加工坐标系的，G92 所设定的加工坐标原点是与当前刀具所在位置有关的，这一加工原点在机床坐标系中的位置是随当前刀具位置的不同而改变的。G54~G59 指令是通过 CRT/MDI 在设置参数方式下设定工件加工坐标系的，一经设定，加工坐标原点在机床坐标系中的位置是不变的，它与刀具的当前位置无关，除非再通过 CRT/MDI 方式更改。G92 指令程序段只是设定加工坐标系，而不产生任何动作；G54~G59 指令程序段则可以和 G00、G01 指令组合在选定的加工坐标系中进行位移。

另外，在 G54 方式时，通过 G92 指令编程后，也可建立一个新的工件加工坐标系，如图 5.4 所示：在 G54 方式时，当刀具定位于 XOY 坐标平面中的 (200, 160) 点时，执行程序段：

```
G92 X100 Y100
```

就由向量 A 偏移产生了一个新的工件坐标系 X'O'Y' 坐标平面。

### 3. 刀具补偿功能

#### (1) 刀具半径补偿功能。

指令：G41、G42、G40

刀具半径补偿功能在前面已经讨论过，这里不再详细叙述。在针对具体零件编程中，要注意正确选择 G41 和 G42，以保证顺铣和逆铣的加工要求。

例：加工零件如图 5.5 所示。选择零件编程原点在 O 点，刀具直径为  $\phi 12\text{mm}$ ，铣削深度为 5mm，主轴转速为 600r/min，进给速度为 60mm/min，刀具偏移代号为 H03，起刀点在 (0, 0, 10)。程序如下：

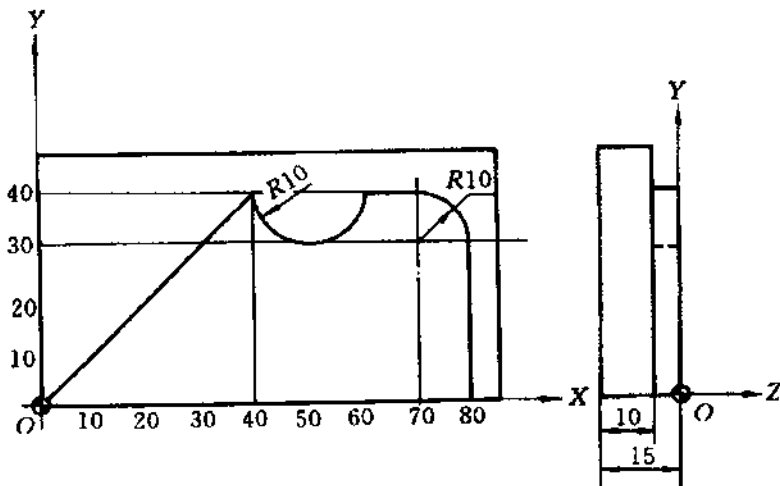


图 5.5 刀具半径补偿指令应用

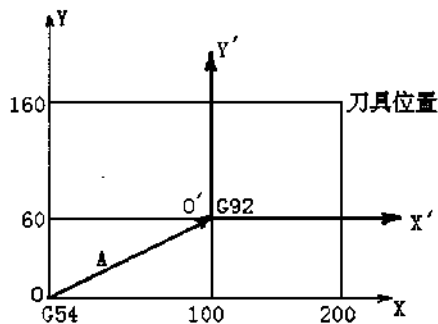


图 5.4 重新设定坐标平面

```

N10 G92 X0 Y0 Z10
N20 M03 S600
N30 G90 G00 X-55 Y-60
N40 G00 Z-5 M08
N50 G41 G01 X0 Y0 H03 F60
N60 G91 G01 X40 Y40
N70 G03 X20 Y0 I10 J0
N80 G01 X10
N90 G02 X10 Y-10 I0 J-10
N100 G01 Y-30
N110 G01 X-90
N120 G90 G40 G01 X-55 Y-60 M09
N130 G00 Z10 M05
N140 G00 X0 Y0
N150 M30
    
```

参数设置: H03=6。

(2) 刀具长度补偿功能。

指令: G43、G44、G49

刀具长度补偿功能在前面已经讨论过, 这里不再详细叙述。

例: 当运行下列程序时, 刀具的运动情况如图 5.6 所示。

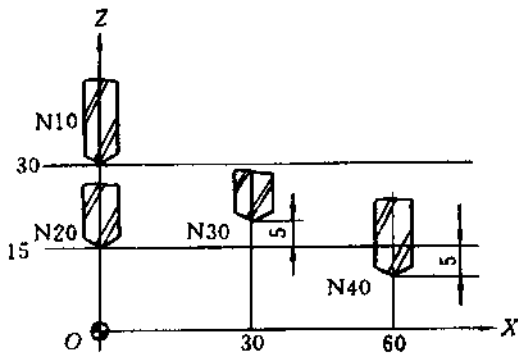


图 5.6 刀具长度补偿

```

N10 G92 X0 Y0 Z30
N20 G90 G01 Z15 F100
N30 G01 X30
N40 G43 G01 Z15 H01
N50 G01 X60
N60 G43 G01 Z15 H02
N70 G49 G01 Z30
N80 M30
    
```

参数设置: H01=5, H02=-5

4. 图形比例及镜像功能指令

指令: G50、G51

G50、G51 指令的使用, 可使原编程尺寸按指定比例进行缩小或放大; 也可让图形按指定规律产生镜像变换。G51 为比例编程指令; G50 为撤销比例编程指令。

(1) 各轴按相同比例编程。

程序格式: G51 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ P\_\_

.....  
G50



其中：X、Y、Z——比例中心的坐标（绝对方式）；

P——比例系数，最小输入量为 0.001，比例系数的范围为 0.001~999.999。该指令以后的移动指令，从比例中心点开始，实际移动量为原数值的 P 倍。  
P 值对偏移量无影响。

例：在图 5.7 中， $P_1 \sim P_4$  为原编程图形； $P'_1 \sim P'_4$  为比例编程的图形； $P_0$  为比例中心。

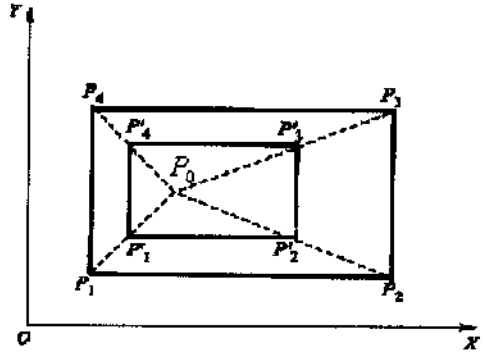


图 5.7 各轴按相同比例编程

(2) 各轴以不同比例编程。

各轴可以按不同比例来缩小或放大，当给定的比例系数为-1 时，可获得镜像加工功能。

程序格式：G51 X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ I\_\_ J\_\_ K\_\_

.....  
G50

其中：X、Y、Z——比例中心坐标；

I、J、K——对应 X、Y、Z 轴的比例系数，在  $\pm 0.001 \sim \pm 9.999$  范围内。

本系统设定 I、J、K 不能带小数点，比例为 1 时，应输入 1000，并在程序中都应输入，不能省略。

比例系数与图形的关系如图 5.8 所示。其中  $b/a$  为 X 轴系数； $d/c$  为 Y 轴系数；O 为比例中心。

(3) 镜像功能。

举例来说明镜像功能的应用。如图 5.9 所示，其中槽深为 2mm，比例系数取+1000 或 -1000。设刀具起始点在 O 点，程序如下：

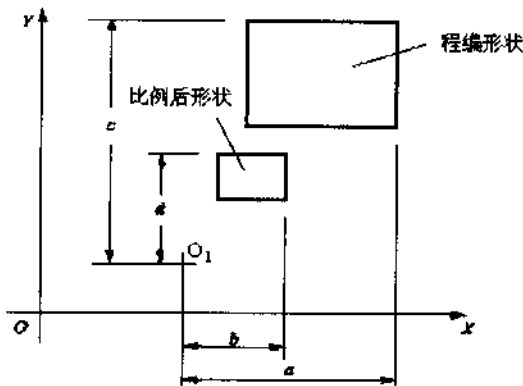


图 5.8 各轴按不同比例编程

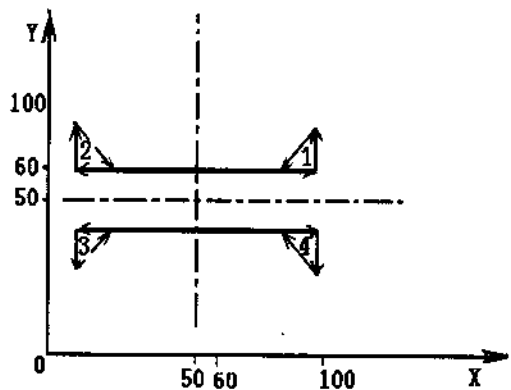


图 5.9 镜像功能

子程序: O9000

N10 G00 X60 Y60

N20 G01 Z-2 F100

N30 G01 X100 Y60

N40 Y100

N50 X60 Y60

N60 G00 Z4

N70 M99

主程序: O100

N10 G92 X0 Y0 Z10

N20 G90

N30 M98 P9000

N40 G51 X50 Y50 I-1000 J1000

N50 M98 P9000

N60 G51 X50 Y50 I-1000 J1000

N70 M98 P9000

N80 G51 X50 Y50 I1000 J-1000

N90 M98 P9000

N100 G50

N110 M30

## 5. 坐标系旋转功能

### (1) 基本编程方法。

指令: G68、G69

G68、G69 可使编程图形按指定旋转中心及旋转方向旋转一定的角度。G68 表示开始坐标旋转, G69 用于撤销旋转功能。

程序格式: G68 X\_\_ Y\_\_ R\_\_

...

G69

其中: X、Y——旋转中心的坐标值(可以是 X、Y、Z 中的任意两个, 它们由当前平面选择指令确定)。当 X、Y 省略时, G68 指令认为当前的位置即为旋转中心;

R——旋转角度, 逆时针旋转为正向, 一般为绝对值。旋转角度范围:  $-360.0 \sim +360.0$ , 单位为  $0.001$  度。当 R 省略时, 按系统参数确定旋转角度。

当程序在绝对方式下时, G68 程序段后的第一个程序段必须使用绝对方式移动指令, 才能确定旋转中心。如果这一程序段为增量方式移动指令, 那么系统将以当前位置为旋转中心, 按 G68 给定的角度旋转坐标。

例: 如图 5.10 所示, 应用旋转指令的程序如下:

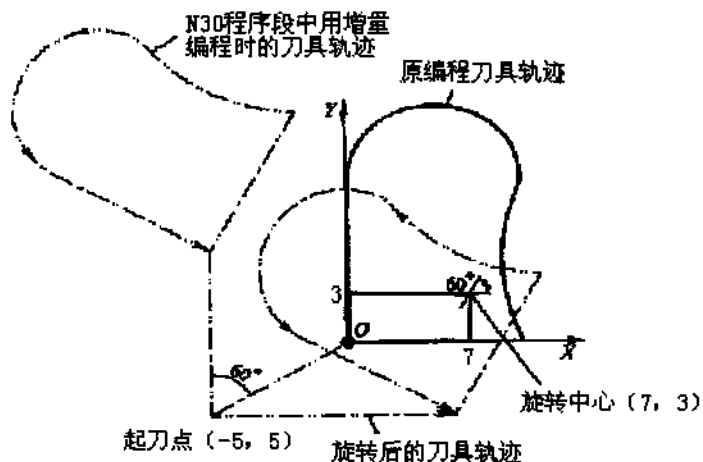


图 5.10 坐标系的旋转

```

N10 G92 X-5 Y-5
N20 G68 G90 X7 Y3 R60
N30 G90 G01 X0 Y0 F200 (G91 X5 Y5)
N40 G91 X10
N50 G02 Y10 R10
N60 G03 X-10 I-5 J-5
N70 G01 Y-10
N80 G69 G90 X-5 Y-5
N90 M30
    
```

(2) 坐标系旋转功能与刀具半径补偿功能的关系。  
 旋转平面一定要包含在刀具半径补偿平面内。  
 例：如图 5.11 所示。

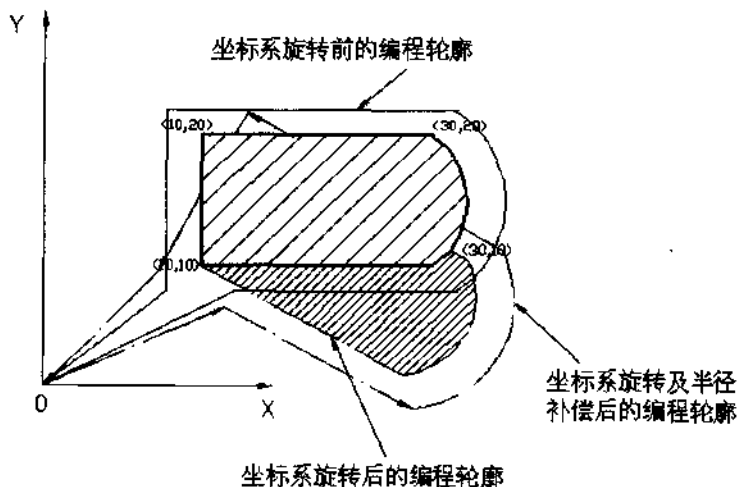


图 5.11 坐标旋转与刀具半径补偿

```

N10 G92 X0 Y0
N20 G68 R-30
N30 G90 G42 G00 X10 Y10 F100 H01
N40 G91 X20
N50 G03 Y10 I-10 J5
N60 G01 X-20
N70 Y-10
N80 G40 X0 Y0
N90 G69 M30
    
```

参数设置: H01=5

(3) 与比例编程方式的关系。

在比例模式时,再执行坐标旋转指令,旋转中心坐标也执行比例操作,但旋转角度不受影响,这时各指令的排列顺序如下:

```

G51.....
G68.....
G41/G42.....
G40.....
G69.....
G50.....
    
```

### 5.2.2 固定循环功能

在前面介绍的加工指令中,每一个G指令一般都对应机床的一个动作,它需要一个程序段来实现。为了进一步提高编程工作效率,本系统对于一些典型孔加工中的固定、连续的动作规定了用一个G指令来完成,即用固定循环指令来选择孔加工的方式。

常用的固定循环指令能完成的工作有镗孔、钻孔和攻螺纹等。这些循环通常包括下面6个基本动作:

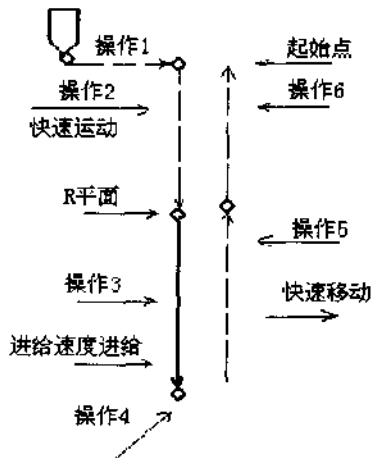


图 5.12 固定循环的基本动作

- (1) 在XY平面快速定位。
- (2) 刀具快速移动到R平面。
- (3) 以切削进给的方式进行孔加工的动作。
- (4) 在孔底相应的动作。
- (5) 返回到R平面。
- (6) 快速返回到起始点。

如图 5.12 所示,实线表示切削进给,虚线表示快速运动。R平面为在孔时,快速运动与进给运动的转换位置。

常用的固定循环有高速深孔钻循环、螺纹切削循环、精镗循环等。

指令: G73~G89

程序格式:

G90/G91 G98/G99 G73~G89 X\_ Y\_ Z\_ R\_ Q\_ P\_ F\_ K\_

其中：G90/G91——数据方式。当在采用 G90 时，Z 值为孔底的坐标值；采用 G91 时，Z 值规定为 R 平面到孔底的距离。

G98/G99——返回点位置。G98 指令返回起始平面，G99 指令返回 R 平面。

G73~G89——孔加工方式。如钻孔加工、高速深孔钻加工、镗孔加工等。

X、Y——孔的位置坐标。

Z——孔底坐标。

R——在 G91 时为起始点到 R 平面的增量距离；在 G90 时为 R 平面的绝对坐标。

Q——在 G73、G83 方式时，或具有偏移值的 G76 与 G87 时，规定每次切削深度，它始终是一个增量值。

P——孔底的暂停时间。

F——切削进给的速度。在图 5.12 中，循环操作 3 的速度由 F 指定，而循环操作 5 的速度则由选定的循环方式确定。

K——规定重复加工次数（1~6）。当 K 没有规定时，默认为 1；当 K=0 时，孔加工数据存入，但不执行加工。当孔加工方式建立后，一直有效，而不需要在执行相同孔加工的每一个程序段中指定，直到被新的孔加工方式所更换或被撤销。

下面用图示方法说明几种常用的孔加工固定循环。

#### 1. 高速深孔钻循环

指令：G73

G73 用于深孔钻削，在钻孔时采取间断进给，有利于断屑和排屑，适合深孔加工。图 5.13 所示为高速深孔钻加工的工作过程。其中 Q 为增量值，指定每次切削深度；d 为排屑退刀量，由系统参数设定。

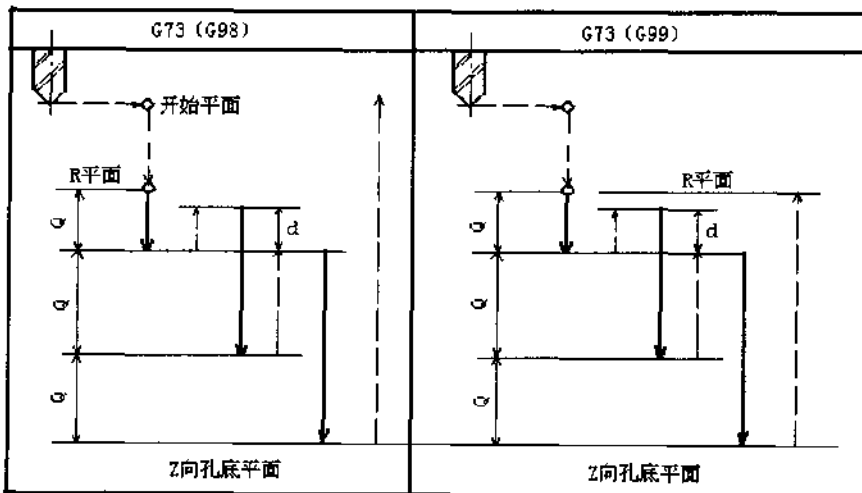


图 5.13 高速深孔钻循环

例：对图 5.14 所示的  $5 \times \Phi 8 \text{mm}$ 、深为 50mm 的孔进行加工。

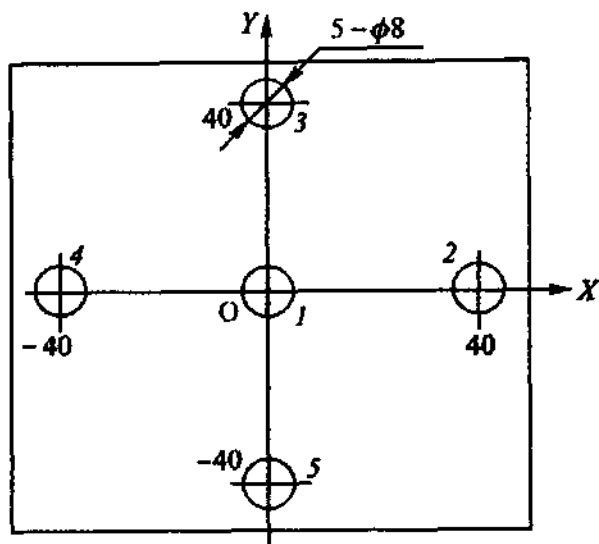


图 5.14 G73 的应用

```

O0001
N10 G56 G90 G01 Z60 F2000
N20 M03 S800
N30 G98 G73 X0 Y0 Z-50 R30 Q5 F50
N40 X40 Y0 Z-50 R30 Q5 F50
N50 X0 Y40 Z-50 R30 Q5 F50
N60 X-40 Y0 Z-50 R30 Q5 F50
N70 X0 Y-40 Z-50 R30 Q5 F50
N80 G01 Z60 F2000
N90 M05
N100 M30

```

工件坐标系设置: G56 X=-400, Y=-150, Z=-50。

上述程序中, 选择高速深孔钻加工方式进行孔加工, 并以 G98 确定每一孔加工完后, 回到 R 平面。设定孔口表面的 Z 向坐标为 0, R 平面的坐标为 30, 每次切削量 Q 为 5, 系统设定退刀排屑量 d 为 2。

## 2. 攻螺纹 (左螺纹) 循环

指令: G74

该指令规定主轴下移至 R 平面时启动, 反转切入零件到孔底后主轴改为正转退出, 在 G74 攻螺纹期间进给速度修正无效, 如图 5.15 所示。

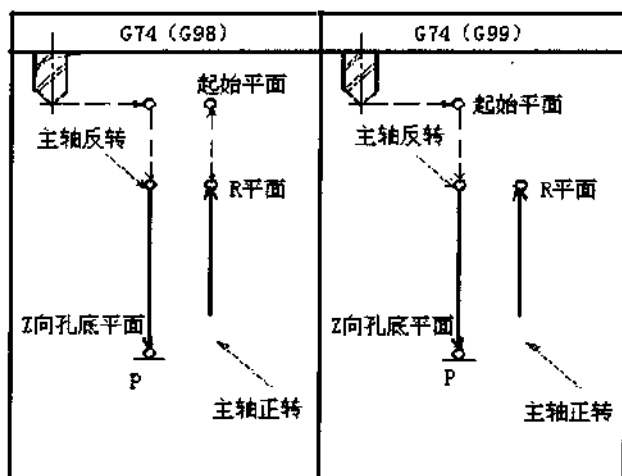


图 5.15 攻螺纹循环

### 3. 精镗循环

指令: G76

该指令使主轴在孔底准停, 主轴沿切入方向的反方向退出执行精镗。这样可以提高精度、高效率地完成孔加工而不损伤工件已加工表面。其中准停偏移量  $Q$  一般总为正值, 偏移方向可以是  $+X$ 、 $-X$ 、 $+Y$  或  $-Y$ , 由系统参数选定, 如图 5.16 所示。

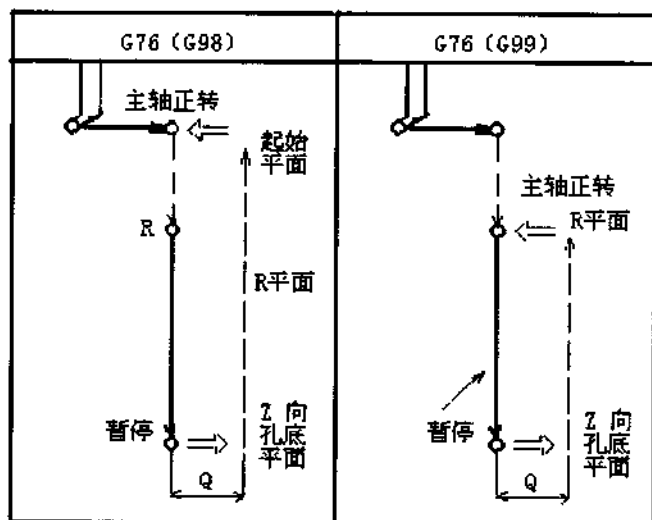


图 5.16 精镗循环

G76 精镗循环的加工过程包括以下几个步骤:

- (1) 在 X、Y 平面内快速定位。
- (2) 快速运动到 R 平面。
- (3) 向下按指定的进给速度精镗孔。
- (4) 孔底主轴准停。

- (5) 镗刀偏移。
- (6) 从孔内快速退刀。

4. 撤销固定循环

指令: G80

使用该指令后, 固定循环被取消, 孔加工数据全部清除。

5. 定点钻孔循环

指令: G81

这是一种常见的钻孔加工方式, 如图 5.17 所示。

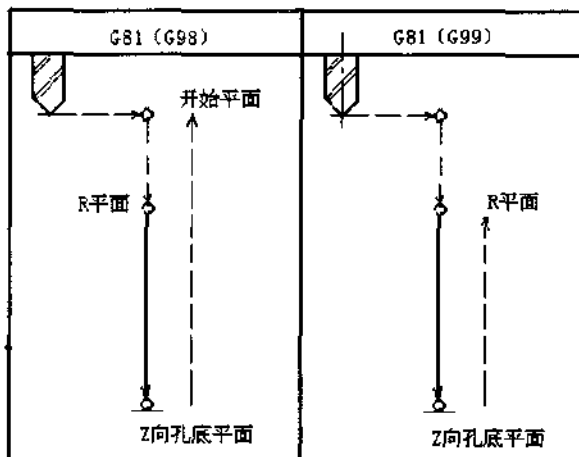


图 5.17 钻孔循环

例: 使用刀具长度补偿功能和固定循环功能加工如图 5.18 所示零件上的 12 个孔。

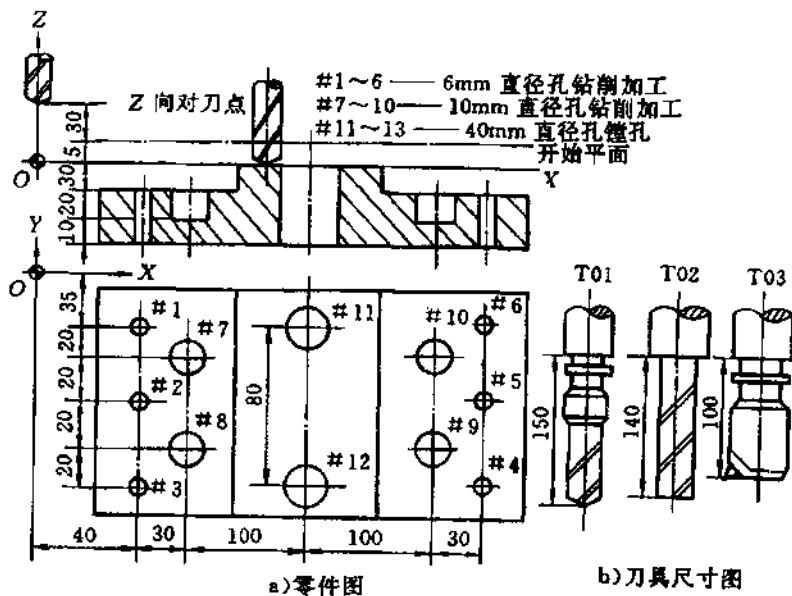


图 5.18 编程举例



(1) 分析零件图样, 进行工艺处理。

该零件孔加工中, 有通孔、不通孔、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 3 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 的主轴转速  $S=600\text{r/min}$ , 进给速度  $F=120\text{mm/min}$ ; T03 主轴转速  $S=300\text{r/min}$ , 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 5.18 所示的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  $140\text{mm}-150\text{mm}=-10\text{mm}$ , 即缩短了 10mm, 所以将 H02 的补偿值设置为 -10。对 T03 同样计算, H03 的补偿设置值为 -50。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。

O0002	程序号
N10 G54 G90 G00 X0 Y0 Z35	进入加工坐标系
N20 G43 G00 Z5 H01	建立 T01 号刀具长度补偿
N30 S600 M03	主轴正转
N40 G99 G81 X40 Y-35 Z-63 R-27 F120	加工#1 孔 (回 R 平面)
N50 Y-75	加工#2 孔 (回 R 平面)
N60 G98 Y-115	加工#3 孔 (回起始平面)
N70 G99 X300	加工#4 孔 (回 R 平面)
N80 Y-75	加工#5 孔 (回 R 平面)
N90 G98 Y-35	加工#6 孔 (回起始平面)
N100 G00 G49 Z20	Z 向抬刀, 撤销刀偏
N110 G00 X500 Y0 M05	回换刀点, 主轴停止
N120 G43 Z5 H02	建立 T02 号刀具长度补偿
N130 S600 M03	主轴正转
N140 G99 G81 X70 Y-55 Z-50 R-27 F120	加工#7 孔 (回 R 平面)
N150 G98 Y-95	加工#8 孔 (回起始平面)
N160 G99 X270	加工#9 孔 (回 R 平面)
N170 G98 Y-55	加工#10 孔 (回起始平面)
N180 G00 G49 Z20	Z 向抬刀, 撤销刀偏
N190 G00 X500 Y0 M05	回换刀点, 主轴停止
N200 G43 Z5 H03	建立 T03 号刀具长度补偿

N210 S300 M03	主轴正转
N220 G76 G99 X170 Y-35 Z-65 R3 F50	加工#11孔(回R平面)
N230 G98 Y-115	加工#12孔(回起始平面)
N240 G00 G49 Z35	Z向抬刀, 撤销刀补
N250 M30	程序结束

参数设置:

H01=0, H02=-10, H03=-50;

G54: X=-600, Y=-80, Z=-35.

### 5.3 典型零件的程序编制

例: 如图 5.19 所示, 立铣刀直径  $\phi 30\text{mm}$ , 试编写其加工程序。

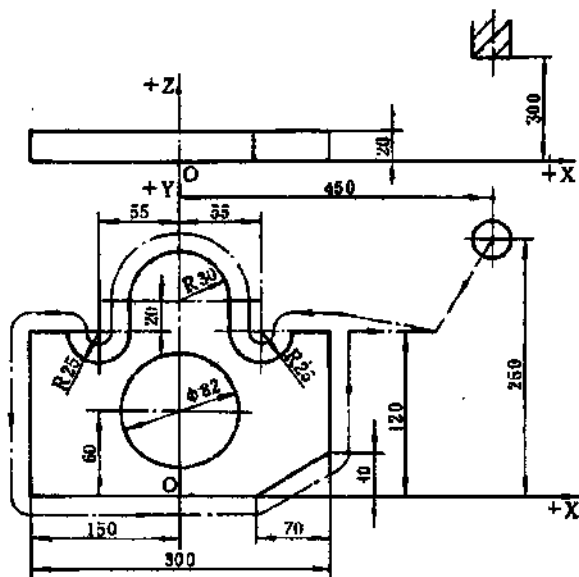


图 5.19 编程实例

O0001	程序号
N10 G92 X450 Y250 Z300	建立工件坐标系
N20 G90 G00 X175 Y120	绝对方式编程, 快速进给至 X=175mm, Y=120mm
N30 S130 M03	主轴正转, 转速 S=130r/min
N40 G00 Z-5	Z 向快移至 Z=-5mm
N50 G01 G42 H10 X150 F80	X 向工进至 X=150mm, 刀具半径右补偿
N60 X80	X 向工进至 X=80mm
N70 G02 X30 R25	顺时针圆弧插补至 X=30mm, Y=120mm, 半径 R=25mm
N80 G01 Y140	Y 向工进至 Y=140mm
N90 G03 X-30 R30	逆时针圆弧插补至 X=-30mm, Y=140mm, 半径 R=30mm
N100 G01 Y120	Y 向工进至 Y=120mm

N110	G02 X-80 R25	顺时针圆弧插补至 X=-80mm, Y=120mm, 半径 R=25mm
N120	G01 X-150	X 向工进至 X=-150mm
N130	Y0	Y 向工进至 Y=0
N140	X80	X 向工进至 X=80mm
N150	X150 Y40	X 向工进至 X=150mm, Y 向工进至 Y=40mm
N160	Y125	Y 向工进至 Y=125mm
N170	G00 G40 X175 Y120	快速进给至 X=175mm, Y=120mm, 取消刀具半径补偿
N180	X0 Y0 Z100	快速进给至 X=0, Y=0, Z=100mm
N190	M05	主轴停止
N200	M30	程序结束

H10=15mm

例：如图 5.20 所示，立铣刀直径  $\phi 20\text{mm}$ ，试编写其加工程序。

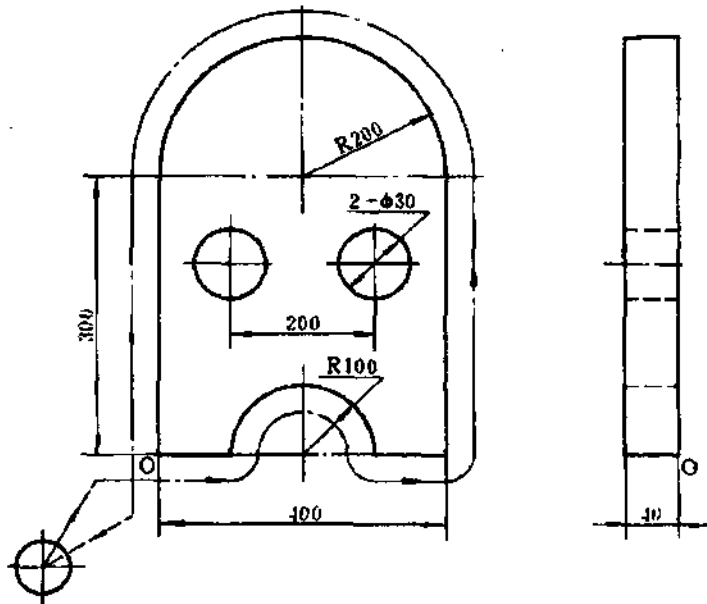


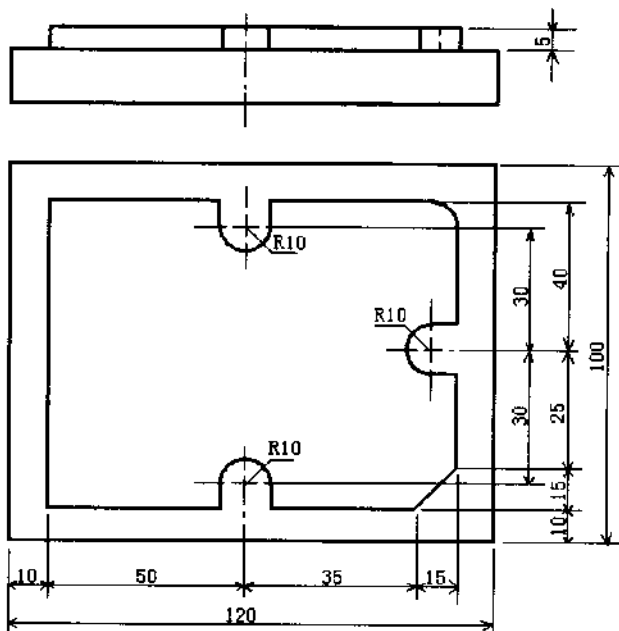
图 5.20 编程实例

O0002	程序号	
N10	建立加工坐标系	
N20	G90 G54 G00 X-50 Y-50	快速进定位给至 X=-50mm, Y=-50mm
N30	S800 M03	主轴正转, 转速 S=800r/min
N40	G00 G43 H12	建立刀具长度补偿
N50	G01 Z-20 F300	Z 向工进至 Z=-20mm
N60	M98 P1010	调用子程序 O1010
N70	G01 Z-45 F300	Z 向工进至 Z=-45mm
N80	M98 P1010	调用子程序 O1010
N90	G49	撤销刀具长度补偿

N100 G00 X0 Y0	快进至 X=0, Y=0
N110 Z300	快进至 Z=300mm
N120 M30	主程序结束
O1010	子程序号
N10 G42 G01 X-30 Y0 F300 H22 M08	刀具半径右补偿, 工进至 X=-30mm, Y=0, 冷却液开
N20 X100	X 向工进至 X=100mm
N30 G02 X300 R100	顺时针圆弧插补至 X=300mm, 圆弧半径 R=100mm
N40 G01 X400	X 向工进至 X=400mm
N50 Y300	Y 向工进至 Y=300mm
N60 G03 X0 R200	逆时针圆弧插补至 X=0, 圆弧半径 R=200mm
N70 G01 Y-30	Y 向工进至 Y=-30mm
N80 G40 G01 X-50 Y-50 M09	取消刀具半径补偿, 工进至 X=-50mm, Y=-50mm, 关闭冷却液
N90 M99	子程序结束并返回主程序
H12=20	

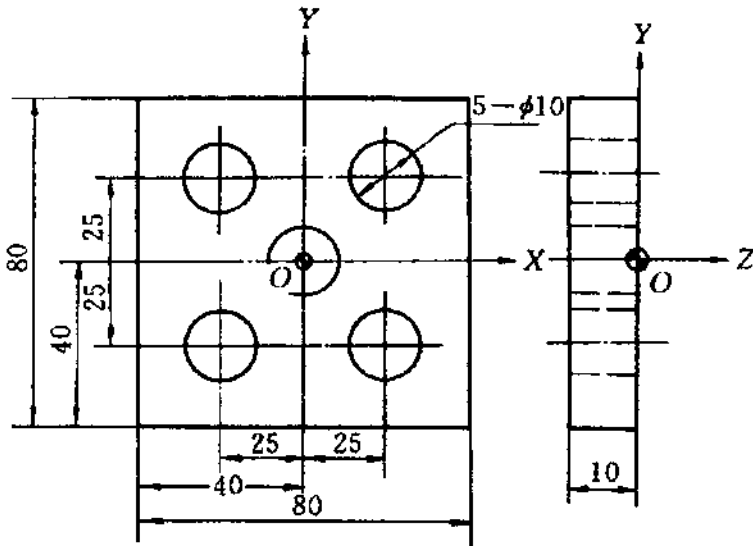
## 5.4 思考与练习题

1. 如题图 5.1 所示的零件, 试编写其数控加工程序。



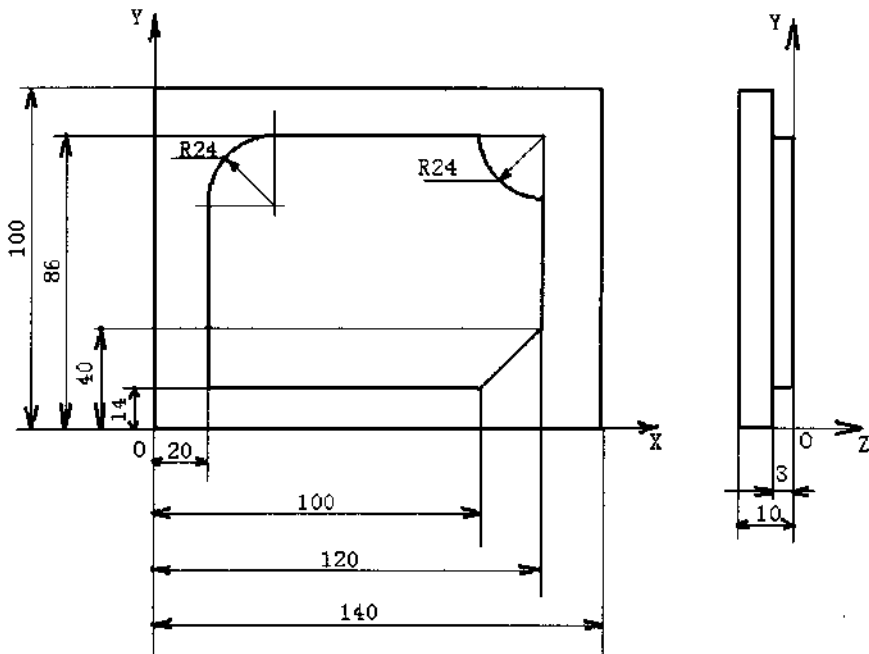
题图 5.1

2. 在题图 5.2 所示的零件上, 钻削 5 个  $\phi 10\text{mm}$  的孔。试编写其数控加工程序。



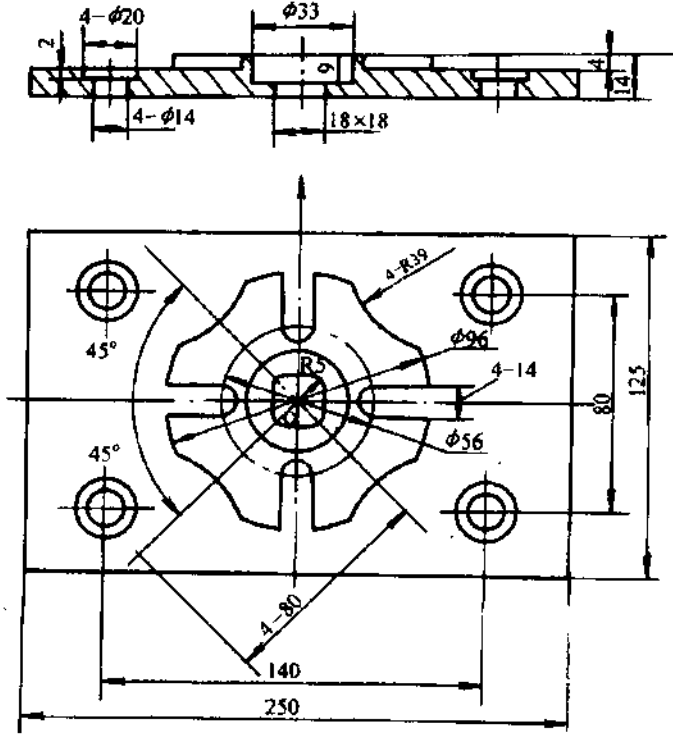
题图 5.2

3. 如题图 5.3 所示的零件, 采用刀具半径补偿指令, 试编写其数控加工程序。



题图 5.3

4. 如题图 5.4 所示的零件, 材料为 CY12, 试采用镜像加工指令编写其数控加工程序。



题图 5.4

## 第6章 加工中心的程序编制

### 本章知识

- 了解加工中心的主要功能
- 掌握加工中心坐标系的确定
- 掌握加工中心的编程指令及典型零件的程序编制

加工中心 (Machining Center, 简称 MC), 是由数控设备与数控系统组成的适用于加工复杂零件的高效率自动化机床。在一次装夹中便可完成多道工序的加工, 同时还备有刀库、自动换刀功能。加工中心所具有的这些功能, 决定了其程序编制的复杂性。

### 6.1 加工中心程序编制的基础

加工中心是将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合起来, 并装有刀库和自动换刀装置的数控镗铣床。

加工中心的加工步骤如图 6.1 所示, 由图可见加工中心加工零件是完全按照指令进行的, 程序是决定加工质量的重要因素。但程序的编制只是加工准备的一部分, 还需要根据所使用机床的功能、零件结构特点、加工零件的材料、装夹方法、刀具及切削用量等因素, 作出周密的加工方案, 才能保证安全可靠地加工出合格的零件。

#### 6.1.1 加工中心的主要功能

加工中心是一种功能齐全的数控加工机床, 它具有铣削、镗削、钻削、攻螺纹、曲线、曲面等多工序加工的功能。加工中心配有刀库, 在加工过程中可以手动换刀也可以由程序控制来选用和更换刀具。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。一般加工中心能控制 3~6 个坐标轴, 2~4 个联动轴。现在一些功能先进的加工中心能控制多达十几个甚至几十个坐标轴, 联动轴也多达 7、8 个。控制轴与联动轴的多少直接影响到加工零件的精度与复杂程度。

加工中心具有直线插补、圆弧插补功能, 还具有固定循环、刀具半径自动补偿、刀具长度自动补偿、自动对刀、刀具寿命管理、故障诊断、加工轨迹显示、人一机对话等功能。

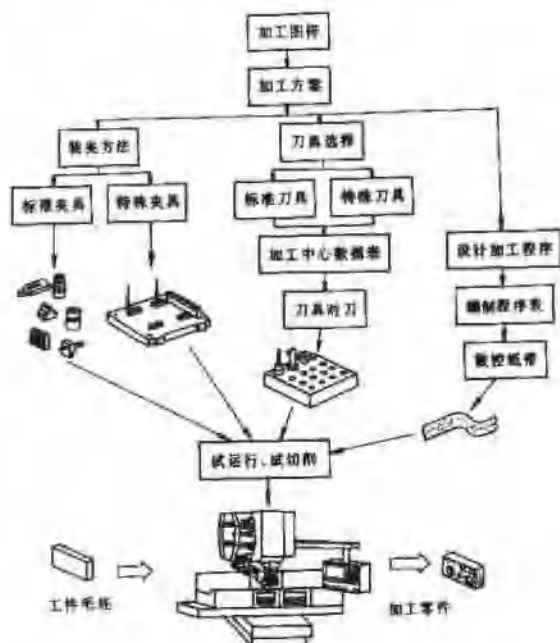


图 6.1 加工中心的加工步骤

加工中心从外观上看可分为立式、卧式、复合和龙门4种。立式加工中心主轴是垂直布置于工作台，主要用于Z轴方向尺寸相对较小的零件加工，如加工板材类、壳体类、模具类零件。卧式加工中心的主轴是水平于工作台，它的工作台大多为可分度的回转台或由伺服电机控制的数控回转台，在一次装夹中能进行多个加工面的加工，如果转台为数控回转台，还可以进行坐标轴联动实现螺旋线加工。卧式加工中心主要适用于加工箱体类零件。复合加工中心主要是指在一台加工中心上有立、卧两个主轴或主轴可进行90°改变角度，即可进行立式和卧式的转换。复合加工中心主要适用于复杂外观、复杂曲线、曲面的小型工件的加工，如加工螺旋桨叶片及各种复杂模具。龙门加工中心，是指在数控龙门铣床基础上加装刀库和自动换刀装置，以实现自动刀具交换，达到比数控龙门铣床更广泛的应用范围。

### 6.1.2 加工中心的工艺及工艺装备

在加工中心上加工的零件，首先要进行数控加工的工艺分析，提出加工该零件的工艺过程，确定在加工中心上的加工内容，然后绘制每道工序的工序图，如图6.2所示，在工序图上应标明加工部位、精度、表面粗糙度及定位夹紧等要求。对简单零件，可以直接在零件图上注明。完成工序图后，就可编制工艺卡片如表6.1所示，明确夹具的类型及要求。

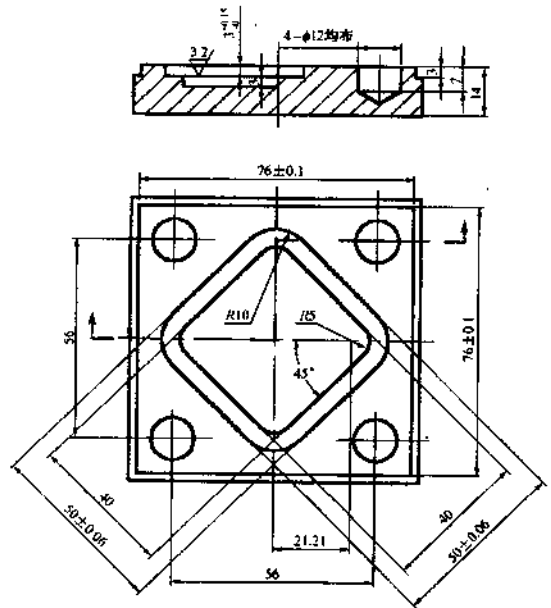


图 6.2 工序图实例

表 6.1 工艺卡片

零件号		零件名称		材料		HT32-52		
程序编号		机床型号		VMC-15		制表		日期
工序内容	工步号	顺序号	刀具号	刀 具		主轴转速	进给速度	备 注
				种类	直径			
铣凸台	1		T8	键槽铣刀	φ 16	S1000	F100	切深 3mm
铣凹槽 1	2		T8	键槽铣刀	φ 16	S1000	F100	切深 3mm
铣凹槽 2	3		T10	键槽铣刀	φ 8	S1000	F100	切深 6mm
定点钻孔	4		T4	中心钻	φ 2	S1000	F100	孔深 1mm
钻孔 φ 12	5		T9	麻花钻	φ 12	S600	F100	孔深 7mm

## 6.2 加工中心的程序编制

生产加工中心的厂家较多但程序编制原理基本相同。在整个程序编制的过程中，首先要搞清楚机床坐标系与工件坐标系。



### 6.2.1 机床坐标系与工件坐标系

坐标系包括机床坐标系和工件坐标系。机床坐标系和工件坐标系如图 6.3 所示。

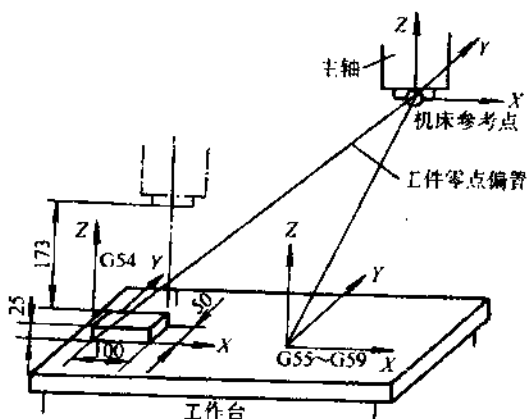


图 6.3 机床坐标系和工件坐标系

#### 1. 机床坐标系

机床坐标系是机床固有的坐标系，也是机床的基本坐标系，只要开机后进行手动返回参考点（零点）的操作就能建立该坐标系。一般数控机床开机后都要回机床的参考点（零点），否则无法执行程序。

#### 2. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编写程序时，在工件上建立的坐标系。工件坐标系的位置在程序编制以前就已经设定好了，零件在机床上装夹好后，这一点也就确定了，但它是随工件装夹位置的不同而改变的。所以，工件坐标系在机床上根据需要是可以改变的，也可以根据编程的需要，同时在一个工件上设立多个工件坐标系。

一般加工中心上使用“G54~G59”6个工件坐标系来编程，6个工件坐标系相对于机床坐标系参考点（零点）位置的偏置，由操作人员在安装刀具、夹具或工件后通过测量并输入偏置量数据完成。系统还允许编程人员使用 G92 指令来设定坐标系或用 G92 指令来移动“G54~G59”工件坐标系。系统可以用 G53 来撤销工件坐标系。有些加工中心机床如 FADAL-VMC15 加工中心用“E1~E48”48个夹具补偿和“H1~H99”99个刀具长度补偿来建立工件坐标系。用 E0 指令撤销夹具补偿和用 H0 撤销刀具长度补偿从而来撤销工件坐标系。

#### 3. 工件坐标系的选用原则

- (1) 应使编程原点与零件的设计基准重合。
- (2) 应使编制程序时的运算最为简单，避免出现尺寸链计算误差。
- (3) 加工误差最小。
- (4) 编程原点应选在容易找正且在加工过程中便于测量的位置。

### 6.2.2 几种基本程序的编制

如使用 FADAL-VMC15 加工中心编程，加工指令如下：

## 1. 定点钻孔循环

指令: G81、G80

程序格式: G81 G98 (G99) R0+\_\_ Z\_\_ F\_\_ X\_\_ Y\_\_  
G80

其中: G81——定点钻孔循环;

G98——钻孔结束后, 刀具回到 I 平面 (起刀平面);

G99——钻孔结束后, 刀具回到 R 平面 (略高于工件平面);

R0+——R 平面在 Z 轴上的坐标值;

Z——钻孔深度;

F——钻孔进给速度;

G80——循环指令结束。

由 G98、G99 决定刀具在返回时达到的平面, 如图 6.4 所示。

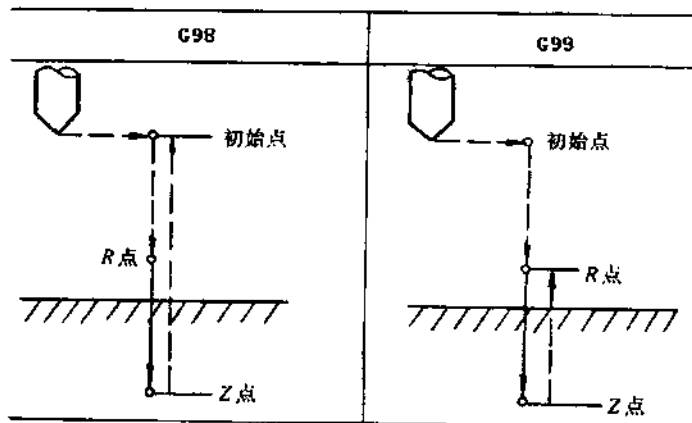


图 6.4 G98、G99 的用法

## 2. 钻深孔循环

指令: G83、G80

程序格式: G83 G98 (G99) R0+\_\_ Z\_\_ F\_\_ Q\_\_ P\_\_  
G80

其中: G83——深孔钻削循环;

G80——循环指令结束;

G98——钻孔结束后, 刀具回到 I 平面 (起刀平面);

G99——钻孔结束后, 刀具回到 R 平面 (略高于工件平面);

R0+——R 平面在 Z 轴上的坐标值;

F——钻孔进给速度;

Q——每次钻孔的切削深度;

P——每次钻孔后退回再次进给到上一次加工深度的快速移动距离。

钻深孔循环加工过程如图 6.5 所示。

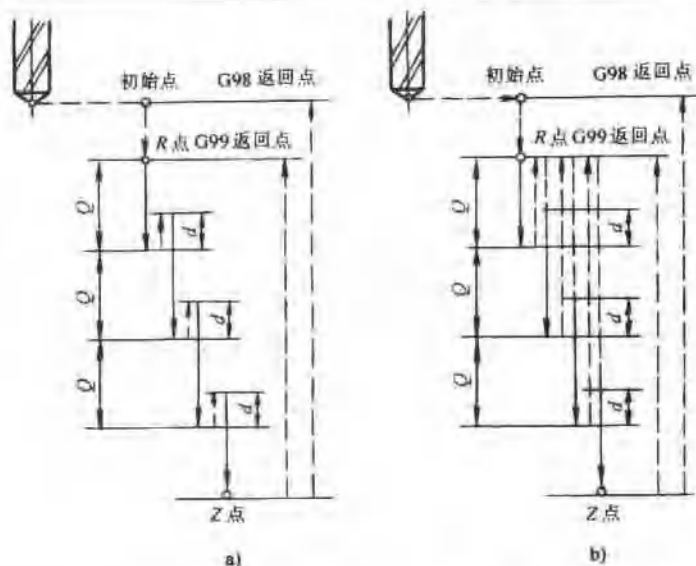


图 6.5 钻深孔循环加工过程

### 3. 机攻螺纹循环（弹性攻丝循环）

指令：G84、G80

程序格式：G84 G98 (G99) R0+ Z F Q X Y  
G80

其中：G84——攻丝循环；

G80——循环指令结束；

G98——钻孔结束后，刀具回到 I 平面（起刀平面）；

G99——钻孔结束后，刀具回到 R 平面（略高于工件平面）；

R0+——R 平面在 Z 轴上的坐标值；

F——每分钟主轴转速（取 150~200 转/分）；

Q——导程。当头数=1 时，导程=螺距。

**注意：**

$Z_{\text{进}} < Z_{\text{退}}$ （孔的深度大于攻丝深度）。

### 4. 矩形槽加工指令

指令：L9601

程序格式：L9601 R0+ R1+ R2+ R3+

其中：R0+——进给速度；

R1+——每次切入倍率（一般取 0.1~3）；

R2+——矩形 X 方向尺寸；

R3+——矩形 Y 方向尺寸。

### 5. 圆形槽加工指令

指令：L9801

程序格式: L9801 R0+\_\_ R1+\_\_ R2+\_\_

其中: R0+——进给速度;

R1+——每次切入倍率 (一般取 0.1~3);

R2+——圆的直径。

#### 6. 刻字加工指令

指令: L9201

程序格式: L9201 R0+\_\_ R1+\_\_ R2+\_\_ R3+\_\_ Z\_\_ F\_\_ (

其中: R0+——Z 平面离刀尖高度;

R1+——字体;

R2+——字体高度;

R3+——字符串倾斜角度;

Z——刻深度 (0.1~0.2mm);

(——内容。

**注意:**

只能到键盘上有的数字、符号和字母。

#### 7. 钻圆周孔循环 (如图 6.6 所示)

指令: L93NN

程序格式: L93NN R0\_\_ R1\_\_ R2\_\_

其中: R0——圆的 I 值, 它代表起始位置到圆心的 X 矢量值;

R1——圆的 J 值, 它代表起始位置到圆心的 Y 矢量值;

R2——相邻孔间的角度, 如果为正值, 则逆时针方向运动, 反之则为顺时针运动;

NN——孔数。

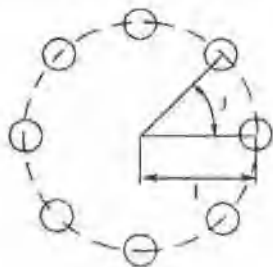


图 6.6 钻圆周孔循环

#### 8. 凸台的铣削加工方法

刀具半径补偿指令的程序格式: G00

(G01) G41 (G42) X\_\_ Y\_\_ Z\_\_

G40

其中: G41——刀具左补偿;

G42——刀具右补偿;

G40——刀具补偿取消。

刀具半径补偿如图 6.7 所示。

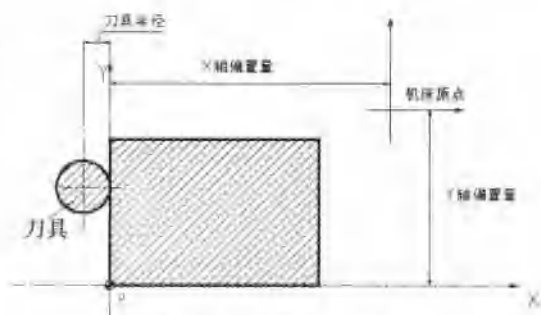


图 6.7 刀具半径补偿

### 6.3 加工中心编制实例

如图 6.8 所示加工零件, 工件为  $80 \times 80 \times 12$  的铝板, 加工后在  $20 \times 10$  位置刻 MADE IN CHINA 刻字深度为 0.2mm。加工刀具为 T1—— $\phi 100$  面铣刀, T2—— $\phi 20$  钻头, T3—— $\phi 10$  立铣刀, T4—— $\phi 2$  中心钻, T5—— $\phi 3$  钻头, T6—— $\phi 5$  钻头, T7——M4 丝攻。

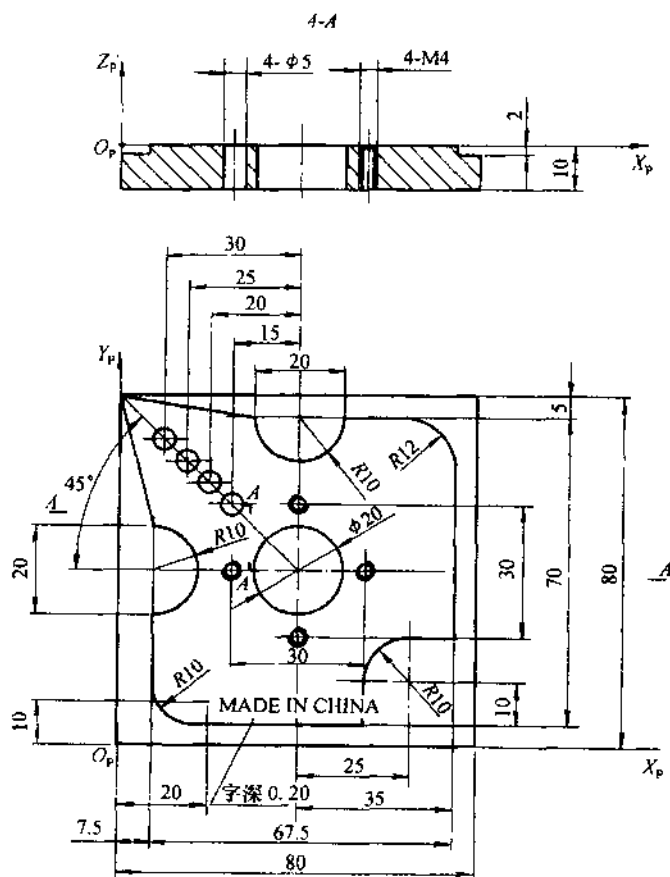


图 6.8 加工中心编程举例

## 1. 加工工艺

首先根据零件图纸编制加工工艺卡片, 如表 6.2 所示。

表 6.2 工艺卡片

零件号			零件名称			材料	HT32-52	
程序编号	00001		机床型号			VMC-15	制表日期	
工序内容	工步号	顺序号	刀具号	刀 具		主轴转速	进给速度	备注
				种类	直径			
铣平面	1	N1~	T1	端铣刀	φ100	S600	F100	切深 2mm
铣凸台	2	N100~	T3	立铣刀	φ10	S1000	F100	切深 2mm
定点钻孔	3	N320~	T4	中心钻	φ2	S1000	F100	孔深 1mm
钻孔 4-φ5	4	N460~	T6	麻花钻	φ5	S1200	F100	孔深 10mm
钻孔 4-φ3	5	N550~	T5	麻花钻	φ3	S1500	F100	孔深 10mm
钻孔 φ20	6	N650~	T2	麻花钻	φ20	S800	F100	孔深 10mm
攻丝	7	N720~	T7	丝攻	M4	S70		刻字深度 10mm
刻字	8	N800~	T4	中心钻	φ2	S1200	F100	刻字深度 0.2mm

## 2. 工件坐标系

## (1) 夹具补偿。

FADAL VMC-15 加工中心可建立 1~48 个夹具补偿。

E1 (1 号夹具补偿)

E2

⋮

E48 (48 号夹具补偿)

E0 (撤销夹具补偿)

夹具补偿的概念类似于 G54~G59。与数控铣床相比加工中心上可装多把刀具，且各刀具长度不一致，因此夹具补偿只考虑 X、Y 方向的位置偏移，不考虑 Z 方向的偏移。

## (2) 刀具长度补偿。

FADAL VMC-15 加工中心可建立 1~99 个刀具长度补偿。

H1 (1 号刀具长度补偿)

H2

⋮

H99 (99 号刀具长度补偿)

H0 (撤销刀具长度补偿)

一般情况下为了编程的方便一般刀具号与刀具长度补偿号相对应，即 1 号刀用 1 号长度补偿。

## 3. 编制加工程序

O0001	程序名
N10 M6 T1 (D=100)	选择 $\phi 100\text{mm}$ 的端铣刀加工平面
N20 G90	
N30 G00 E1 X-30. Y40.	建立夹具补偿
N40 M3 S600	
N50 H1 Z20.	建立刀具 (1#刀) 长度补偿
N60 G01 Z-2. F100	
N70 X150.	
N80 Z2.	
N90 G00 H0 Z0	撤销刀具 (1#刀) 长度补偿
N100 M6 T3 (D=10)	选择 $\phi 10\text{mm}$ 的立铣刀加工凸台
N110 M3 S1000	
N120 G00 H3 Z20.	建立刀具 (3#刀) 长度补偿
N130 X-20. Y-20.	
N140 G01 Z-4. F100	
N150 G41 X7.5 Y-10	建立刀具半径补偿 (左补偿)。因为在建立刀具长度补偿时已经输入了刀具直径，因此建立刀具半径补偿时机床可按该刀具直径偏一个半径，不必写 D $\times\times$ 或 H $\times\times$

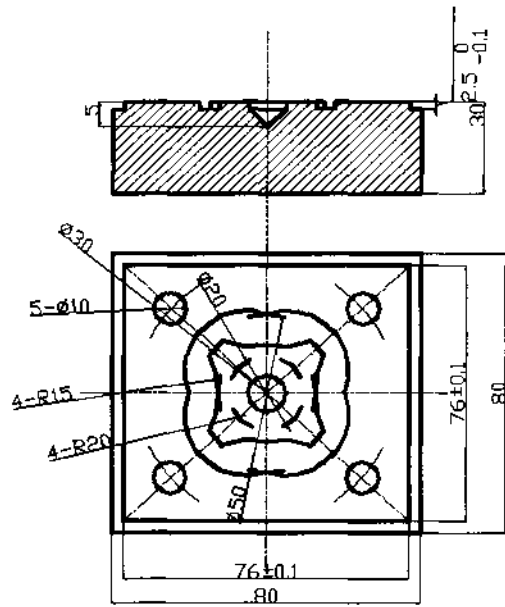
N160 G01 Y30.	
N170 G03 J10.	
N180 G01 Y50.	
N190 X0 Y80.	
N200 X30. Y75.	
N210 G03 I10.	
N220 G01 X63.	
N230 G02 X75. Y63. R0+12.	
N240 G01 Y15.	
N245 G01 X65.	
N250 G03 X55. Y15. R0+10.	
N255 G01 Y5.	
N260 G01 X17.5	
N270 G02 X7.5 Y15. R0+10.	
N280 G01 Y40.	
N290 G00 Z10.	
N300 G40 X-20. Y50.	撤销刀具半径补偿
N310 H0 Z0	撤销刀具(3#刀)长度补偿
N320 M06 T4 (D=2)	选择 $\phi 2\text{mm}$ 的中心钻, 打定点孔
N330 M03 S1000	
N340 H4 Z3.	建立刀具(4#刀)长度补偿
N350 G81 G99 R0+0.5 Z-3. F100 X40. Y40.	点钻孔循环, 定点钻孔
N360 X25.	定点钻孔
N370 X55.	定点钻孔
N380 X40. Y25.	定点钻孔
N390 Y55.	定点钻孔
N400 X25.	定点钻孔
N410 X20. Y60.	定点钻孔
N420 X15. Y65.	定点钻孔
N430 X10. Y70.	定点钻孔
N440 G80	定点钻孔循环结束
N450 G00 H0 Z0	撤销刀具(4#刀)长度补偿
N460 M06 T6 (D=5)	选择 $\phi 5\text{mm}$ 的钻头, 钻孔
N470 M03 S1200	
N480 H6 Z3.	建立刀具(6#刀)长度补偿
N490 G83 G99 R0+0.5 Z-13. F100 Q2. P0.2	钻深孔循环, 钻深孔
N500 X15. Y65.	钻深孔
N510 X20. Y60.	钻深孔
N520 X25. Y55.	钻深孔

N530 G80	钻深孔循环结束
N540 G00 H0 Z0	撤销刀具 (6#刀) 长度补偿
N550 M06 T5 (D=3)	选择 $\phi 3\text{mm}$ 的钻头, 钻孔
N560 M03 S1500	
N570 G00 X40.	
N580 H5 Z3.	建立刀具 (5#刀) 长度补偿
N590 G83 G99 R0+0.5 Z-13. F100 Q2. P0.2	钻深孔循环, 钻深孔
N600 Y25.	钻深孔
N610 X25. Y40.	钻深孔
N620 X55.	钻深孔
N630 G80	钻深孔循环结束
N640 H0 Z0	撤销刀具 (5#刀) 长度补偿
N650 M06 T2 (D=20)	选择 $\phi 20\text{mm}$ 的钻头, 钻孔
N660 M03 S800	
N670 G00 X40. Y40.	
N680 H2 Z5.	建立刀具 (2#刀) 长度补偿
N690 G83 G99 R0+0.5 Z-13. F100 Q2. P0.2	钻深孔循环, 钻深孔
N700 G80	钻深孔循环结束
N710 H0 Z0	撤销刀具 (2#刀) 长度补偿
N720 M06 T7 (M=4)	选择 M4 丝攻
N730 H7 Z10	建立刀具 (7#刀) 长度补偿
N740 G84 G99 R0+0.5 Z-13. F70. Q0.8 X25. Y40.	攻丝循环(其中 F70 是主轴每分钟 70 转)
N750 X55.	攻丝
N760 X40. Y25.	攻丝
N770 Y55.	攻丝
N780 G80	撤销攻丝循环
N790 H0 Z0	撤销刀具 (7#刀) 长度补偿
N800 M06 T4 (D=2)	选择 $\phi 2\text{mm}$ 的中心钻刻字
N810 G00 X20. Y10.	
N820 M03 S1200	
N830 H4 Z3.	建立刀具 (4#刀) 长度补偿
N840 L9201 R0+0.5 R1+0 R2+3. R3+0 Z-2.2 F100	刻字 (MADE IN CHAIN)
N850 H0 Z0	撤销刀具 (4#刀) 长度补偿
N860 M05	主轴停转
N870 E0 X0 Y0	撤销夹具补偿
N880 M30	程序结束

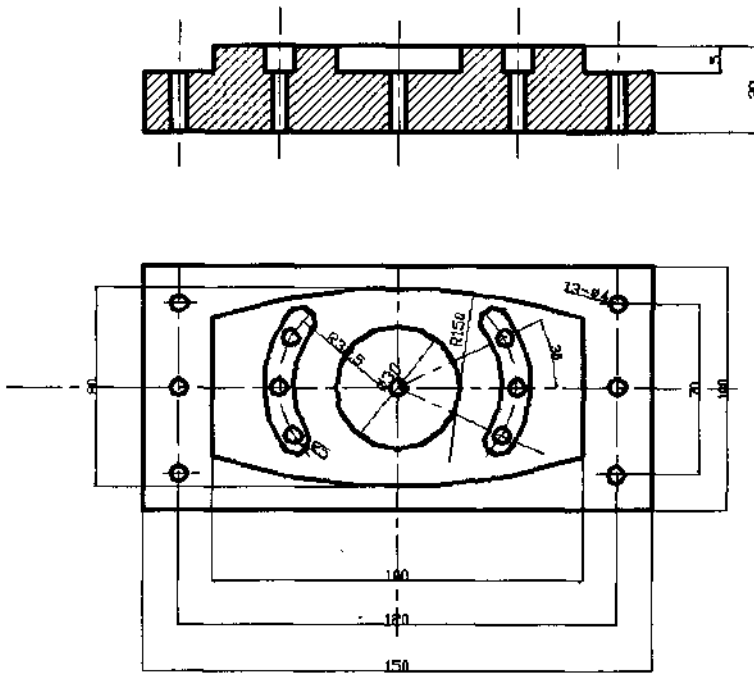
## 6.4 思考与练习题

按题图 6.1、题图 6.2 所示, 进行工艺分析及程序编制。





题图 6.1



题图 6.2

## 第7章 数控车床操作与加工

### 本章知识

- 掌握数控车床的编程指令和基本操作
- 学会使用数控车床编制轴类、盘类零件的加工程序
- 掌握数控车床的对刀方法及操作面板的功能
- 掌握数控车床的操作方法，能对典型零件进行编程及加工

根据被加工零件的图样与工艺方案，用数控车床的编程指令编写加工程序，随后将所编写的程序通过数控车床的操作面板输入机床数控装置中，最后加工出合格的零件。

### 7.1 KND 系统数控车床简介

数控车床是目前使用较广泛的数控机床，主要用于轴类和盘类等回转体零件的加工。本章所涉及的数控车床配置的系统是由北京凯恩帝数控技术公司开发的 KND-100T 伺服数控系统。

KND-100T 是北京凯恩帝数控技术公司针对中国国情开发生产的控制全数字伺服或步进电机的经济型车床或两轴机械控制用数控系统，控制电路采用了高速微处理器，超大规模定制式集成电路芯片，多层印刷电路板，显示器采用了高分辨率的液晶屏，从而使整套系统更为紧凑，体积进一步缩小，同时也使系统的可靠性进一步提高。在控制面板上，将 CNC 操作面板与机床操作面板集成为一体，极大地简化了联机。在控制软件上，将全功能数控系统的机能引入步进电机控制中，并针对步进电机的特点增加了许多适合于步进电机的机能，使其发挥最佳的性能。

该机床能实现横向（X）及纵向（Z）两坐标轴的半闭环控制，自动实现直线插补、圆弧插补及抛物线插补。能自动完成内、外圆柱面、锥面、端面、圆弧面及各种螺纹的加工。如公英制螺纹、锥螺纹和端面螺纹等切削加工，并能进行切槽、切断以及钻、扩、铰孔的加工，特别适宜复杂形状零件的加工。

数控车床适用于机械制造业中的中小批量零件生产，对企业在激烈的市场竞争中不断开发新产品起到了重要作用。

从总体上来看，KND-100T 数控车床没有脱离普通车床的结构形式，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统等部分组成。由于实现了 CNC，进给运动由伺服电机驱动，以控制刀具的纵向（Z）和横向（X）运动。数控车床的进给系统与普通车床的进给系统有质的区别，它没有传统的走刀箱、溜板箱和挂轮箱，而是直接用伺服电机通过滚珠丝杠驱动溜板，以控制刀具的进给运动。

所操作的数控车床是在普通车床的结构基础上配以北京凯恩帝数控技术公司开发的 KND-100T 数控系统，其布局形式为平床身，自动转位四工位立式刀架，为经济型数控车床，图 7.1 所示为其外形图。

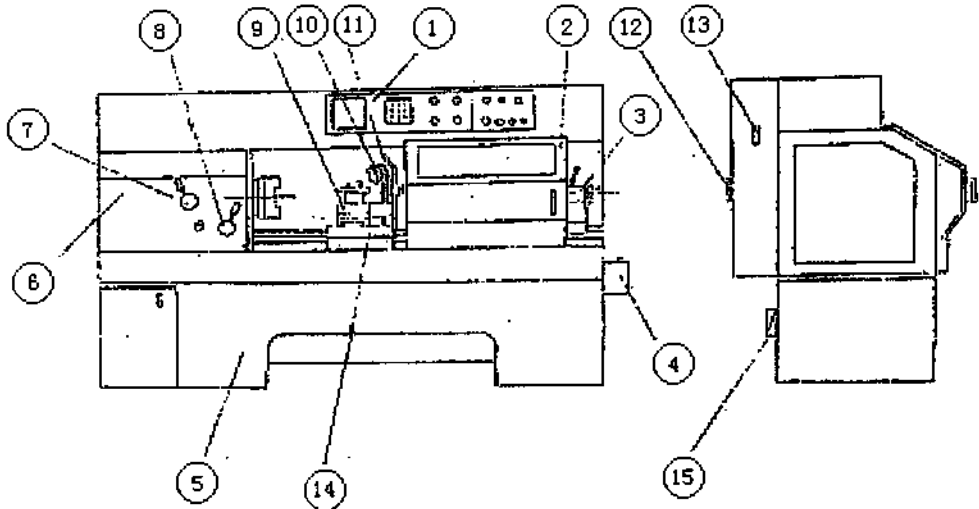


图 7.1 KND-100T 数控车床外形

图中:

- ①操作站——实现机床各部件运动的操作;
- ②移动门——起防护作用;
- ③尾座——在加工轴类零件时,起支撑作用,安装于床身末端;
- ④自动润滑站——定时定量自动给油系统,润滑纵、横导轨;
- ⑤床身部件——包括床身与底座,底座为整台机床的支承,床身和电气箱安装于底座上,主电机和冷却箱均置于底座内部;
- ⑥主轴箱——主轴箱安装于床身的左上方,用于固定主轴。主电机通过三角皮带及齿轮,把运动传给主轴。主轴箱体前有变速手柄 7、8 和玻璃小圆窗(用来观察润滑油的油位);
- ⑦⑧主轴变速手柄——改变主轴箱内齿轮的啮合位置,从而改变主轴转速;
- ⑨电动刀架——四工位立式刀架,通过电机自动转位以改变刀位,安装于滑板(中拖板)上;
- ⑩照明灯——照明切削区域;
- ⑪冷却液喷口——冷却箱位于机床的右床脚,由冷却泵实现冷却液循环;
- ⑫电气箱——用于安装数控系统的控制元件;
- ⑬电源开关——整机电源开关;
- ⑭床鞍与滑板——床鞍(大拖板):安装于床身上,实现纵向(Z向)进给;滑板(中拖板):安装于床鞍上,实现横向进给;
- ⑮电源接线盒——机床总进线与各部分分线的转接盒。

## 7.2 操作面板及功能介绍

### 7.2.1 操作面板介绍

操作面板主要由显示屏和键盘组成。键盘包含以下控制键(按钮、旋钮)。KND-100T

数控车床的操作面板如图 7.2 所示，各键的用途如表 7.1 所示。

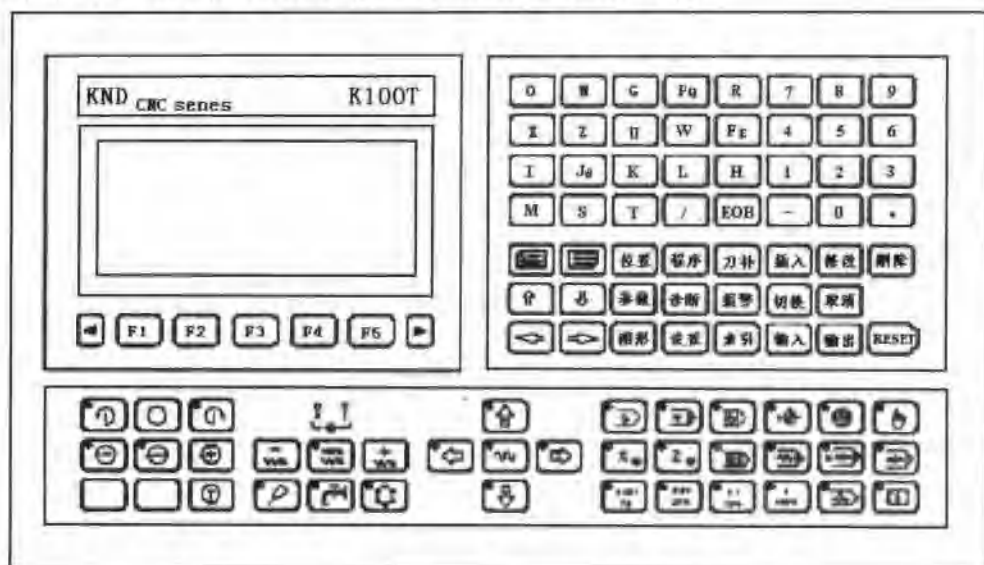


图 7.2 KND—100T 数控车床操作面板

表 7.1 操作面板各键名和功能含义

序号	键名	功能
1	显示器	显示屏幕
2	编辑键	程序编辑 (INST 插入、DEL 删除、ALT 修改等)
	地址/数字键	输入字母、数字等字符
	光标移动键	有四种光标移动
	复位键	RESET 键用于解除报警，CNC 复位
3	电源启动/停止按钮	绿键接通机床电源，红键关闭机床电源
4	限位解除	
5	急停按钮	机床紧急停止
6	手摇脉冲发生器	在手轮方式时移动机床移动件
7	手摇轴选择	选择与手摇脉冲发生器相对应的移动轴
8	方式选择开关	选择操作方式，从左至右依次为： 编辑、自动、录入、手轮、手动
9	循环启动按钮	程序自动运行的启动
10	进给保持按钮	自动运行中刀具减速停止
11	机床锁住	机床锁住不运动
12	手摇进给量选择	选择手摇脉冲发生器时的每格相应移动量
13	快速进给倍率	选择快速进给倍率

(续表)

序号	键名	功能
14	快速进给开关	手动快速进给选择
15	手动轴向运动按钮	X、Y、Z轴的手动连续进给运动
16	回零按钮	手动方式时的回零选择
17	润滑油按钮	润滑油起动(XKJ-5025有自动润滑系统,此键不起作用)
18	换刀按钮	手动换刀选择(XKJ-5025无刀库,此键不起作用)
19	冷却液按钮	冷却液出/停选择
20	主轴倍率	主轴转速倍率选择
21	主轴启动	手动主轴正转、反转、点动、停止
22	进给倍率选择	在手动、自动运行中,对进给速率进行选择
23	机能软体键	用软体键选择各种显示画面

### 1. 显示机能键

[位置]: 切换到位置页面。

[程序]: 切换到程序页面。

[刀补]: 切换到刀补页面。

[参数]: 切换到参数页面。

[诊断]: 切换到诊断页面。

[报警]: 切换到报警页面。

[图形]: 切换到图形页面。

[设置]: 切换到设置页面。

[机床索引]: 机床软操作面板/索引,两种显示画面由此键按键时切换显示。

当按这些显示机能键后,可直接显示对应的画面。软菜单直接进入其子目录。

注:连续两次按同一显示机能键时,回到该显示的第一页。

### 2. 机能软体键

机能软体键如图7.3所示。



图7.3 机能软体键

机能软体键是用于选择各种显示画面的菜单键。每一主菜单下又细分为一些子菜单。软体键对应要显示的内容显示在LCD的最下端。

最左端的软体键“◀”:从子菜单返回到主菜单的初始状态。

最右端的软体键“▶”:选择同级菜单的其他菜单内容。

#### (1) 主菜单。

主菜单有2页,每页有5个菜单画面可选择,由最右边的软菜单键“▶”进行两页切换第一页:

[位置]: 按下其下面的软体键, LED 显示现在位置。

[程序]: 程序的显示、编辑等。

[偏置]: 显示, 设定补偿量和宏变量。

[参数]: 显示, 设定参数。

[诊断]: 显示各种诊断数据。

第二页:

[报警]: 显示报警信息。

[图形]: 显示、设定图形参数, 显示刀具轨迹。

[设置]: 显示、设置各种设置参数, 参数开关及 G54~G59 工件坐标系的零点偏置值。

[机床]: 机床软操作键。

[索引]: 各种操作, 编程信息。

## (2) 子菜单。

同一主菜单软体键连续按两次, 进入该主项的子菜单, 子菜单的外框线比主菜单细, 以示区别。也可以不进入子菜单, 在主项显示画面用页键切换各子画面。

下面列出各主项的子菜单项:

[位置]: 含[相对]、[绝对]、[总和]3个子项, 分别显示相对坐标位置, 绝对(工件坐标系下的)坐标位置及总和(各种坐标)位置。

[程序]: 含[MDI/模]、[程序]、[现/模]、[现/次]、[目录]5个子项。

除程序、目录外, 每画面分左右两部分, 显示不同的内容。依软体键顺序, 各画面依次为①程序段值/模态值; ②程序; ③当前程序段/模态值; ④当前程序段/下一程序段; ⑤程序目录、存储容量使用量等。

### 注意:

①在编辑方式下, 仅可显示程序和目录两个画面, 目录只可通过子菜单软体键选择, 而不能通过页键选择。

②当选择了“工件坐标系”机能后, 在设置页面才有工件零点偏置显示。

[偏置]: 含[偏置]、[测量]、[宏变量]3个子项, 显示偏置量, 易失性宏变量(变量#200~#231)及非易失性宏变量(变量#500~#515)。

[参数]: 含[参数]、[螺补 X]、[螺补 Z]、[求助]子项可直接显示各轴的螺距误差补偿量。[求助]项未使用。

[诊断]: 含[MT↔PC]、[PC↔NC]、[PC]、[状态]、[求助]子项。可分别显示 MT↔PC 及 PC↔NC 数据、PC 参数、NC 状态。[求助]项未用。

[图形]: 含[参数]、[图形]两项。分别显示图形参数和刀具轨迹。

[设置]: 含[设置 1]、[设置 2]、[设置 3]3项。显示设置参数, 参数开关的状态及 G54~G59 工件坐标系的偏置值。

[机床]: 有 3 页画面。第一页为方式及程序调试开关等; 第二页为各种倍率、速率及自动起停、手动轴选及起停等; 第三页为主轴正反转起停、点动、冷却开关及一些机床动作开关。子菜单为对应的机床操作键。

[索引]: 含[操作表]、[报警表]、[G 码表]、[参/诊]、[宏指令]5项。

### 3. 地址数字键

(1) 地址键。

G、M——准备功能、辅助功能指令；

F——进给量 (mm/r, mm/min)；

S——主轴转速 (r/min) 或线速度 (m/min)；

X (U)、Y (V)、Z (W) ——绝对/增量坐标；

A、B、C——回转坐标；

I、J、K——圆弧的圆心坐标；

R——圆弧半径；

T——刀具号 (刀位号)；

N——程序段顺序号。

(2) 数字键——由数字及符号组成，如 1、2、3、+、/等。

### 4. 编辑键

(1) 程序段结束键 (EOB、LF、ENTER)。

(2) 插入键 (INS、INSERT)。

(3) 数据、程序段删除键 (DELETE)。

(4) 修改键 (ALTER)。

### 7.2.2 功能选择

数控机床开机后，必须进行功能选择：首先选择主功能（按主功能键），然后选择子功能（按子功能键），才可进入具体操作状态。

## 7.3 基本操作方法

### 7.3.1 开机、关机与安全操作

#### 1. 开机

- (1) 确认机床电气箱门处于关闭状态。
- (2) 接通机床总电源。
- (3) 打开 CNC 电源开关（位于机床左侧）。
- (4) 释放急停开关。
- (5) 打开操作面板上的电源启动开关，数秒后显示器显示。

#### 2. 关机

- (1) 机床处于非加工状态。
- (2) 运动部件处于停止状态。
- (3) 程序保护开关处于保护状态。
- (4) 按下急停开关。
- (5) 关闭面板上的电源开关。
- (6) 切断 CNC 电源。

(7) 切断机床总电源。

### 3. 安全操作

(1) 急停处理。

当加工过程中出现紧急情况时,可执行紧急停止功能,步骤如下:

- ① 按下急停按钮,此时主轴、进给系统电源切断,主轴停转,机床各轴停止移动。
- ② 释放急停按钮,解除急停状态;旋转急停按钮,按电源启动开关,再按复位键。
- ③ 检查并消除故障。

(2) 超程处理。

在手动、自动加工时,若机床移动部件超出极限范围,则屏幕出现超程报警,机床锁住,处理方法:

- ① 手动将超程部件移至安全行程内。
- ② 按复位键解除报警。

### 7.3.2 回零操作

数控车床开机后,必须进行回零操作。

#### 1. 回零的作用

开机后回零可消除屏幕显示的随机动态坐标,使机床有个绝对的坐标基准。在连续重复加工以后,回零可消除进给运动部件的坐标累计误差。

#### 2. 回零的方法

(1) 操作回零。

- ① 通过面板上的键盘操作,使各轴自动返回机床零点。一般先回 Z 轴,再回 X 轴;
- ② 手动回零。

a) 按下“手动方式”键,如图 7.4 所示。选择手动操作方式,键上的指示灯亮。

b) 按下“参考点开关”键,如图 7.5 所示。进行“开→关→开……”切换,当为‘开’时,指示灯亮,‘关’时指示灯灭。把返回参考点开关置于 ON 位置。



图 7.4 手动方式键



图 7.5 参考点开关键

#### 注意:

此按键仅在手动方式下有效,指示灯亮。在其他方式下,关闭 ZRN 开关及指示灯。

c) 按下“手动轴向运动”开关,如图 7.6 所示。一直到达参考点后,方可松开。机床向选择的轴向运动。

在减速点以前,机床快速移动,碰到减速开关后以 FL 的速度移动到参考点。在快速进给期间,快速进给倍率有效。FL 速度由参数设定。

d) 返回参考点后,返回参考点指示灯亮,如图 7.7 所示。



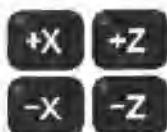


图 7.6 手动轴向运动开关

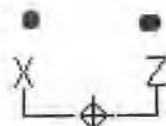


图 7.7 参考点指示灯

**注意:**

(1) 返回参考点操作结束时, 返回参考点结束指示灯亮。此时如果没有把返回参考点开关置于 OFF 的位置, 用 JOG 式不能使机床移动。

(2) 返回参考点结束指示灯亮后, 在下列情况下灭灯:

① 从参考点移出时。

② 按下急停开关。

(3) 返回参考点操作应在刀架离开参考点一定距离状态下进行, 离开多少距离为佳, 请参照机床厂家发行的说明书。

(4) 参考点方向, 请参照机床厂家的说明书。

(2) 指令回零。

通过加工程序中的指令, 实现自动返回机床零点。

### 7.3.3 机床手动控制

数控车床通过面板的手动操作, 可完成机床手动控制。

#### 1. 手动连续进给

(1) 按下“手动方式”键, 如图 7.4 所示。选择手动操作方式, 键上的指示灯亮。

(2) 选择移动轴, 如图 7.6 所示。机床沿着选择轴方向移动。

**注意:**

手动期间只能一个轴运动, 如果同时按下两轴的运动开关, 也只能是先选择的那个轴运动。只有选择 2 轴机能, 方可手动 2 轴同时移动。

(3) 选择 JOG 进给速度。

JOG 进给速度倍率开关如图 7.8 所示。它的进给速度如表 7.2 所示。

(4) 快速进给。

按下“快速进给”键, 如图 7.9 所示。同带自锁的按钮, 进行“开→关→开……”切换, 当为“开”时, 指示灯亮, 手动以快速速度进给。“关”时指示灯灭。

按此开关为 ON 时, 刀具在已选择的轴方向上快速进给。



图 7.8 JOG 进给速度倍率开关



图 7.9 快速进给键

表 7.2 KND—100T 数控车床倍率开关

旋转开关位置	进给速度	
	毫米输入状态 mm/min	英寸输入状态 英寸/min
0	0	0
1	2	0.08
2	3.2	0.12
3	5	0.2
4	7.9	0.3
5	12.6	0.5
6	20	0.8
7	32	1.2
8	50	2
9	79	3
10	126	5
11	200	8
12	320	12
13	500	20
14	790	30
15	1260	50

注:此表约有 3%的误差。

### 注意:

- (1) 快速进给时的速度、时间常数, 加减速方式与用程序指令的快速进给(G00)时相同。
- (2) 在接通电源或解除急停后, 如没有返回参考点, 当快速进给开关为 ON(开)时, 手动进给速度为 JOG 进给速度或快速进给, 由参数(N0012 ISOT)选择。
- (3) 该按键仅在手动方式下有效, 指示灯亮。在自动/录入方式下在空运行开关为 ON 时, 按键有效, 指示灯亮。在编辑/手轮方式下, 按键无效, 指示灯灭。

### 2. 单步进给(STEP)

(1) 按下“单步方式”键, 选择单步操作方式, 键上的指示灯亮(没有选择手轮机能时), 如图 7.10 所示。

(2) 选择移动量: 按下“增量选择”键, 如图 7.11 所示。选择移动增量, 相应键上的指示灯亮。但是此功能在没有选择手摇脉冲发生器时有效。步进进给量如表 7.3 所示。



图 7.10 单步方式键



图 7.11 增量选择键

**注意:**

在手轮/单步方式下, 按键有效, 指示灯亮; 在其他方式下, 按键无效, 指示灯灭。

表 7.3 步进进给量

输入单位制	1	10	100
公制输入 (mm)	0.001	0.01	0.1
英制输入	0.0001	0.001	0.01

(3) 选择移动轴, 如图 7.6 所示。

轴选择键: 按一次轴选择键, 则在此轴方向上移动移动量开关选择的进给量, OFF 后再次 ON 时, 再移动一次。

**注意:**

(1) 移动速度与 JOG 进给速度相同。

(2) 按快速进给按钮后便进行快速进给, 此时快速进给倍率也有效。

## 3. 手轮进给 (选择机能)

转动手摇脉冲发生器, 可以使机床微量进给。

(1) 按“手轮方式”键, 选择手轮操作方式, 键上的指示灯亮。

(2) 选择手轮运动轴: 在手轮方式下, 按下相应的键选择其轴, 相应键上的指示灯亮, 如图 7.12 所示。



图 7.12 手轮运动轴指示灯

**注意:**

在手轮方式下, 按键有效, 指示灯亮; 在其他方式下, 按键无效, 指示灯灭。

(3) 转动手轮。

手摇脉冲发生器如图 7.13 所示。

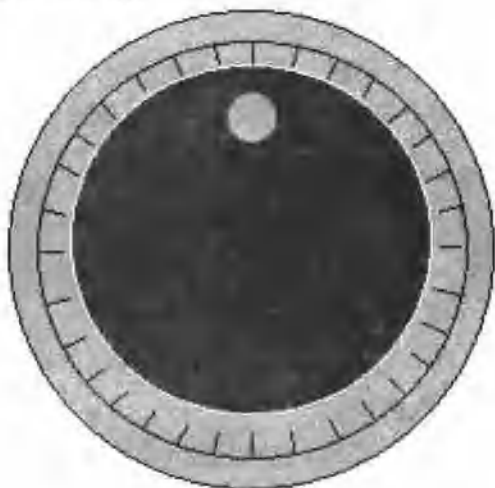


图 7.13 手摇脉冲发生器

右转: +方向

左转: -方向

(4) 选择移动量: 按下“增量选择”键, 如图 7.11 所示。选择移动增量, 相应键上的指示灯亮。移动量选择开关如表 7.4 所示。

**注意:**

(1) 摇动手摇脉冲发生器的速度应低于 5 转/秒。如果超过此速度, 手摇脉冲发生器回转结束时刀架不能立即停止, 会出现刻度和移动量不符。

(2) 在手轮/单步方式下, 按键有效, 指示灯亮。在其他方式下, 按键无效, 指示灯灭。

表 7.4 移动量选择开关

输入单位制	每一刻度的移动量		
	×1	×10	×100
公制输入(毫米)	0.001	0.01	0.1
英制输入	0.0001	0.001	0.01

注: 表中数值根据机械不同而不同。

#### 4. 手动绝对值开关 (MANUAL ABSOLUTE)

此开关用来选择是否把手动移动量加在绝对值上。(本系统恒默认为开关 ON)。

#### 5. 手动辅助机能操作

(1) 手动换刀 (如图 7.14 所示)。

手动/手轮/单步方式下, 按下此键, 刀架旋转换下一刀位, 换刀过程中, 该键上的指示灯亮, 换刀完毕时指示灯灭。

(2) 冷却液开关 (如图 7.15 所示)。

手动/手轮/单步方式下, 按下此键, 同带自锁的按钮, 进行“开→关→开……”切换。键指示灯: 无论是在何种方式下, 只要冷却液开, 键指示灯则亮, 否则指示灯灭。

(3) 润滑开关 (如图 7.16 所示)。

手动/手轮/单步方式下, 按下此键, 同带自锁的按钮, 进行“开→关→开……”切换。键指示灯: 无论是在何种方式下, 只要润滑液开, 键指示灯则亮, 否则指示灯灭。



图 7.14 手动换刀键



图 7.15 冷却液开关



图 7.16 润滑开关

(4) 主轴正转 (如图 7.17 所示)。

手动/手轮/单步方式下, 按下此键, 主轴正向转动起动。

键指示灯: 无论是在何种方式下, 只要主轴正转, 键指示灯则亮, 否则指示灯灭。

(5) 主轴反转 (如图 7.18 所示)。

手动/手轮/单步方式下, 按下此键, 主轴反向转动起动。

键指示灯：无论是在何种方式下，只要主轴反转，键指示灯则亮，否则指示灯灭。

(6) 主轴停止（如图 7.19 所示）。

手动/手轮/单步方式下，按下此键，主轴停止转动。

(7) 主轴点动（如图 7.20 所示）。

一直按着此键，主轴正向转动。松开此键主轴则停止转动，转动时键指示灯亮，否则指示灯灭。



图 7.17 主轴正转键



图 7.18 主轴反转键



图 7.19 主轴停止键



图 7.20 主轴点动键

(8) 主轴倍率增加，减少（选择主轴模拟机能时）。

如图 7.21 所示。



图 7.21 主轴倍率增加、减少键

增加：按一次增加键，主轴倍率从当前倍率以下面的顺序增加一档

如：50%→60%→70%→80%→90%→100%→110%→120%→120%…

减少：按一次减少键，主轴倍率从当前倍率以下面的顺序递减一档

如：120%→110%→100%→90%→80%→70%→60%→50%→50%…

**注意：**


按下键时，灯亮；松开键时，灯灭。

(9) 程序保护开关。

在[机床]页面，当开关为开时，方可编辑程序。

(10) 面板指示灯。

自动运行灯 ：自动运行状态，指示灯亮，否则指示灯灭。

报警灯 ：当系统产生报警时，指示灯亮。

回零完成灯：返回参考点后，已返回参考点轴的指示灯亮，移出零点后灯灭。在投入电源，未作返回参考点操作前，即使刀架处在参考点位置，回零完成灯也不亮。

**注意：**

主轴正、反向、点动启动键、冷却键、润滑键、换刀键仅在手动方式下起作用。

### 7.3.4 机床自动运行

#### 1. 运转方式

(1) 存储器运转。

① 首先把程序存入存储器中。

- ② 选择要运行的程序。
- ③ 把方式选择于 AUTO 的位置(自动方式)。
- ④ 按循环启动按钮 按循环启动按钮后, 开始执行程序, 循环启动指示灯亮。

#### (2) MDI 运转。

从 CRT/MDI 面板上输入一个程序段的指令, 并可以执行该程序段。

### 2. 自动运转的启动

存储器运转:

- (1) 选择 AUTO 方式。
- (2) 选择程序。
- (3) 按操作面板上的循环启动按钮。

### 3. 自动运转的执行

启动自动运转后, 程序执行如下:

- (1) 从指定的程序中, 读取一个程序段指令。
- (2) 译码已读取的程序段指令, 并变成可执行的数据。
- (3) 开始执行此程序段。
- (4) 读取下个程序段指令。
- (5) 译码下个程序段的指令, 变成可执行的数据, 该过程也称缓冲。
- (6) 前一个程序段执行结束后, 由于有缓冲寄存器可以立即开始下个程序段的执行, 光标移至即将执行的程序段。
- (7) 以后便重复以上 (4)、(5)、(6): 执行自动运转, 直至程序结束。

### 4. 自动运转的停止

使自动运转停止的方法有两种: 一是用程序事先在要停止的地方输入停止命令; 二是按操作面板上按钮使它停止。

#### (1) 程序停 (M00)。

含有 M00 的程序段执行后, 停止自动运转, 与单程序段停止相同, 模态信息全部被保存起来。按循环启动按钮能再次开始自动运转。

#### (2) 程序结束 (M30)。

- ① 表示主程序结束。
- ② 停止自动运转, 变成复位状态。
- ③ 返回到程序的起点。

#### (3) 进给保持。

在自动运转中, 按操作面板上的“进给保持”按钮可以使自动运转暂时停止。按进给保持键后, 进给保持指示灯亮 (在键上), 循环启动指示灯灭。

按进给保持按钮后, 机床呈下列状态:

- ① 机床在移动时, 进给减速停止。
- ② 在执行暂停中, 休止暂停。
- ③ 执行 M、S、T 的动作后, 停止。

按自动循环起动键后，程序继续执行。

(4) 复位。

用 CRT/MDI 上的复位键，使自动运转结束，变成复位状态。如果在运动中进行复位，则机械减速后停止。

### 7.3.5 加工程序的编辑

#### 1. 程序存储、编辑操作前的准备

(1) 把程序保护开关置于 OFF 上。

(2) 操作方式设定为 EDIT 方式（即编辑方式）。

(3) 按显示机能键[程序]或[程序]软体键后，显示程序。这时，可编辑程序。

当用 RS232C 进行传递数据时，做如下准备：

(1) 连接好 PC 计算机。

(2) 设定好与 RS232C 有关的设定。

(3) 把程序保护开关置于 OFF 上。

(4) 操作方式设定为 EDIT 方式（即编辑方式）。

(5) 按[程序]软体键后，显示程序。

#### 注意：

为了保护零件程序，在【机床】页面上设有程序保护开关，只有该开关 OFF 时，才可编辑程序。

#### 2. 把程序存入存储器中

(1) 用 MDI 键盘键入。

① 方式选择为编辑方式 (EDIT)。

② 按[程序]软体键。

③ 用键输入地址 O。

④ 用键输入程序号。

⑤ 按 INSRT 键。

通过这个操作，存入程序号，之后把程序中的每个字用键输入，然后按 INSRT 键，便将键入程序存储起来。

(2) 用 PC 计算机输入。

① 选择方式 (EDIT)。

② 按[程序]软体键，显示程序画面。

③ 按地址 O，再用键输入程序号（当磁盘上有程序号且不改变程序号时，不需操作此项）。

④ 按[输入]键，此时画面状态行显示“输入”。

⑤ 运行 KND 通讯软件，编辑或调入程序。

⑥ 在通讯软件中点击[发送]，程序即传入 CNC 系统。传输结束，画面状态行显示的“输入”消失。

#### 3. 程序检索

当存储器存入多个程序时，按[程序]软体键时，总是显示指针指向的一个程序，即使

断电, 该程序指针也不会丢失。可以通过检索的方法调出需要的程序 (改变指针), 并对其编辑或执行, 此操作称为程序检索。

(1) 检索方法。

- ① 选择方式 (EDIT 或 AUTO 方式)。
- ② 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- ③ 按地址 O。
- ④ 键入要检索的程序号。
- ⑤ 按光标 CURSOR ↓。
- ⑥ 检索结束时, 在 CRT 画面显示检索出的程序并在画面的右上部显示已检索的程序号。

(2) 扫描法。

- ① 选择方式 (EDIT 或 AUTO 方式)。
- ② 按[程序]软体键。
- ③ 按地址 O。
- ④ 按光标 CURSOR ↓ 键。EDIT 方式时, 反复按 O、光标 CURSOR ↓ 键, 可逐个显示存入的程序。

**注意:**

当被存入的程序全部显示出来后, 便返回到第一个程序。

#### 4. 程序的删除

删除存储器中的程序:

- (1) 选择 EDIT 方式。
- (2) 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- (3) 按地址 O。
- (4) 用键输入程序号。
- (5) 按 DELET 键, 则对应键入程序号的程序在存储器中被删除。

#### 5. 删除全部程序

删除存储器中的全部程序:

- (1) 选择 EDIT 方式。
- (2) 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- (3) 按地址键 O。
- (4) 输入-9999 并按 DELET 键。

#### 6. 程序的输出

把存储器中的程序输出给 PC 计算机:

- (1) 连接好 PC 计算机。
- (2) 用设置参数设定输出代码 (ISO)。
- (3) 把方式选择开关置于 EDIT 方式。
- (4) 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- (5) 运行 KND 通讯软件, 并使之处于输入等待状态。



- (6) 按地址键 O。
- (7) 用键输入程序号。
- (8) 按 START 键, 把输入号码的程序输出给计算机。

#### 注意:

按 RESET 键, 可中途停止输出。

#### 7. 全部程序的输出

把存储器中存储的全部程序输出至外部计算机。

- (1) 连接好 PC 计算机。
- (2) 用置定参数设定输出代码 (ISO)。
- (3) 把方式选择开关置于 EDIT 方式。
- (4) 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- (5) 按地址键 O。
- (6) 输入-9999, 并按 START 键。

#### 8. 顺序号检索

顺序号检索通常是检索程序内的某一顺序号, 一般用于从这个顺序号开始执行或者编辑。

由于检索而被跳过的程序段中的内容对 CNC 的状态无影响。也就是说, 被跳过的程序段中的坐标值、M、S、T 代码、G 代码等对 CNC 的坐标值、模态值不产生影响。因此, 按照顺序号检索指令, 开始或者再次开始执行的程序段, 要设定必要的 M、S、T 代码及坐标系等。进行顺序号检索的程序段一般是在工序的相接处。

如果必须检索工序中某一程序段并以其开始执行时, 需要查清此时的机床状态、CNC 状态。需要与其对应的 M、S、T 状态和坐标值等, 可用 MDI 方式进行设定。

检索存储器中存入程序顺序号的步骤:

- (1) 把方式选择置于 AUTO 或 EDIT 上。
- (2) 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- (3) 选择要检索顺序号的所在程序。
- (4) 按地址键 N。
- (5) 用键输入要检索的顺序号。
- (6) 按光标 CURSOR ↓ 键。
- (7) 检索结束时, 在 CRT 画面的右上部, 显示出已检索的顺序号。

#### 9. 字的插入、修改、删除

存储器中所显示程序的内容可以改变。

- ① 把方式选择为 EDIT 方式。
- ② 按[程序]软体键, 显示程序画面。
- ③ 选择要编辑的程序。
- ④ 检索要编辑的字, 有以下两种方法。
  - a) 用扫描 (SACN) 的方法。
  - b) 用检索字的方法。

⑤ 进行字的修改、插入、删除等编辑操作。

#### 注意:

光标在某一编辑字的下端,编辑的对象就是该字,在自动方式下程序的执行也是从光标所在的编辑字开始的,将光标移动至要编辑的位置或要执行的位置称之为检索。

#### (1) 字的检索。

用扫描的方法:一个字一个字地扫描。

① 按 CURSOR ↓ 键:此时,在画面上光标一个字一个字地顺方向移动。也就是说,在被选择字的地址下面,显示出光标。

② 按 CURSOR ↑ 键:此时,在画面上光标一个字一个字地反方向移动。也就是说,在被选择字的地址下面,显示出光标。

③ 如果持续按 CURSOR ↓ 键或者 CURSOR ↑ 键,则会连续自动快速移动光标。

④ 按 PAGE ↓ 键,画面翻页,光标移至下页开头的字。

⑤ 按 PAGE ↑ 键,画面翻到前一页,光标移至开头的字。

⑥ 持续按 PAGE ↓ 键或 PAGE ↑ 键,则自动快速连续翻页。

#### (2) 字的插入。

① 检索到要插入的前一个字。

② 用键输入要插入的地址。

③ 用键输入地址字。

④ 按 INSERT 键。

#### (3) 字的变更。

① 检索到要变更的字。

② 输入要变更的地址。

③ 用键输入数据。

④ 按[修改]键,则新键入的字代替了当前光标所指的字。

#### (4) 字的删除。

① 检索或扫描到要删除的字。

② 按 DELETE 键,则当前光标所指的字被删除。

#### (5) 删除到 EOB(;)。

将光标移动到下一个字地址的下面,按 EOB, DELETE 键即可。

#### (6) 多个程序段的删除。

从现在显示的字开始,删除到指定顺序号的程序段。

① 按地址键 N。

② 用键输入顺序号。

③ 按 DELETE 键,至输入的顺序号的程序段被删除。光标移到下一个字的地址下面。

#### (7) 存储程序的个数。

系统标准配置可存储程序 63 个。

### 7.3.6 零件图形模拟加工

有图形模拟加工功能的车床数控系统,在自动加工前,为避免程序错误、刀具碰撞工件或卡盘,可对整个加工过程进行图形模拟加工,检查刀具轨迹是否正确。

车床的图形显示一般为二坐标(XOZ平面)。模拟加工操作主要有先输入毛坯内、外径以及长度尺寸、比例系数,选择刀具,然后进行模拟加工显示。如有错误,进行程序修改,再模拟加工,直到正确为止。

### 7.3.7 KND—100T 数控车床数据的显示和设定

#### 1. 补偿量

刀具补偿量的设定和显示(软体键[偏置]):刀具补偿量的设定方法可分为绝对值输入和增量值输入两种。

##### (1) 绝对值输入。

- ① 按软体键[偏置]。
- ② 因为显示分为多页,按PAGE按钮,可以选择需要的页。
- ③ 把光标移到要输入补偿号的位置。按上、下光标键顺次移动光标。
- ④ 按地址X或Z后,用数据键,输入补偿量(可使用小数点)。
- ⑤ 按INPUT键把补偿量输入,并在CRT上显示出来。

##### (2) 增量值输入。

- ① 把光标移到要变更的补偿号的位置。
- ② 如要改变X轴的值,键入U;如要改变Z轴的值,键入W。
- ③ 用数据键键入增量值。
- ④ 按INPUT键,把现在的补偿量与键入的增量值相加,其结果作为新的补偿量显示出来。

#### 2. 设置参数的设定

##### (1) 设置1:设置参数设定和显示(软体键[设置])。

- ① 选择录入方式(MDI)。
- ② 按主菜单[设置],显示设置参数。
- ③ 按页键或子菜单的[设置1],显示出设置参数页。
- ④ 按光标键,使它移到要变更的项目上。
- ⑤ 输入1或0。
- ⑥ 按INPUT键,各设置参数被设定并显示出来。

##### (2) 设置2:参数开关状态设置。

- ① 按软体键[设置]。
- ② 按页键(或子菜单的[设置2]),显示参数开关状态画面。

按光标←、→键可使参数开关处于关、开的状态。处于开状态时,CNC显示P/S100号报警,此时方可输入参数,输入完毕后,使参数开关处于关的状态,按下复位键(RESET)后可清除100号报警。

##### (3) 设置3:工件零点偏置的显示及输入。

显示：在[设置]软菜单下，第三，四页为工件零点偏置值的显示。也可按此子菜单下的[设置3]直接选择。

输入：按光标↓键使光标依G55，G56，…，G59的顺序移动。按光标↑键以其相反的方向移动。用光标选择了坐标系后，键入地址键(X/Z)后，键入该轴的工件零点偏置值，最后按[INPUT]键，则相应的数据输入。



图 7.22 急停按钮

### 7.3.8 KND-100T 数控车床的安全操作

#### 1. 急停 (EMERGENCY STOP)

按下“急停按钮”(如图 7.22 所示)，使机床移动立即停止，并且所有的输出如主轴的转动，冷却液等也全部关闭。旋转按钮后解除，但所有的输出都需重新启动。一按按钮，机床就能锁住，解除的方法是旋转后解除。

#### 注意：

紧急停时，电机的电源被切断；在解除急停以前，要消除机床异常的因素。

#### 2. 超程

如果刀具进入了由参数规定的禁止区域(存储行程极限)，则显示超程报警，刀具减速后停止。此时手动把刀具向安全方向移动，按复位按钮，解除报警。禁止区域的具体范围请参照机床厂家发行的说明书。

## 7.4 加工操作实例

### 7.4.1 零件及加工要求

在数控车床上加工如图 7.23 所示零件。零件材料为 45 号钢，要求完成粗、精车各表面。

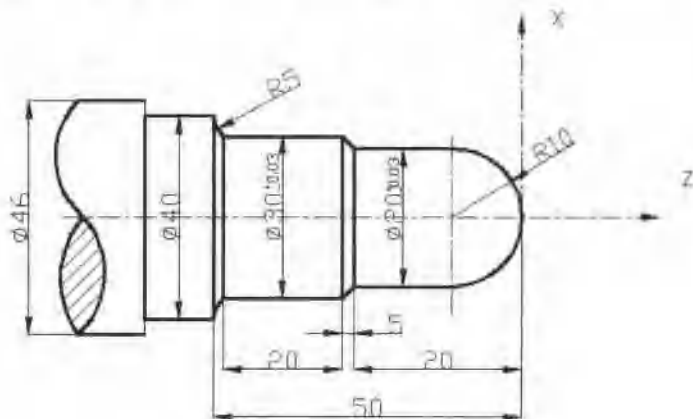


图 7.23 加工实例

加工程序编制：

零件加工程序号设为 O0008，加工程序如下：

O0008	程序代号
N10 G54	建立工件坐标系
N20 T0101	用1号刀, 建立刀具半径补偿
N30 X70 Z100	快进至 X=70mm, Z=100mm
N40 S600 M03	主轴顺时针旋转, 转速 600r/min
N50 X50 Z3	快进至 X=50mm, Z=3
N60 G01 X46 F200	X 向上进至 X=46mm
N70 G71 U2 R0.5	外圆粗加工循环
N80 G71 P90 Q170 U0.5 W0.2 F100	外圆粗加工循环从 90 句开始至 170 句结束
N90 G01 X0	X 向工进至 X=0
N100 Z0	Z 向工进至 Z=0
N110 G03 X20 Z-10 R10	逆时针圆弧加工, X=20mm, Z=-10mm, R=10mm
N120 G01 Z-20	Z 向工进至 Z=-20mm
N130 X30 Z-25	工进至 X=30mm, Z=-25mm
N140 Z-45	Z 向工进至 Z=-45mm
N150 G02 X40 Z-50 R5	顺时针圆弧加工, X=40mm, Z=-50mm, R=5mm
N160 X40	工进至 X=40mm, Z=-60mm
N170 X46	工进至 X=46mm
N180 G70 P90 Q170	精加工循环, 从 90 句开始至 170 句结束
N190 G00 X50 Z100 T0100 M05	快进至 X=50mm, Z=100mm 取消刀具半径补偿 主轴停止
N200 M30	程序结束

## 7.4.2 操作步骤及内容

### 1. 机床的开机

机床在开机前, 应先进行机床开机前检查。一切没有问题后, 按下列步骤开机。

- (1) 打开电源开关。
- (2) 释放急停按钮。
- (3) 打开机床电源启动按钮。

操作完上述步骤后, 检查操作面板上的各指示灯是否正常; 各按钮、开关是否处于正确位置; 显示屏上是否有报警显示等; 若有问题应及时予以处理。一切正常, 则 CRT 显示如图 7.24 所示。

### 2. 回零

依次按“回零”键和控制方向键“+X”、“-X”、“+Z”、“-Z”。此时图 7.24 中的 U 为 41.604, W 为 39.914。

现在位置(相对坐标)	
O004	N0000
U	0.000
W	0.000
手轮增量: 0.001	G功能代码: G00, G98
实际速率: 0	加工件数: 0
进给倍率: 60%	切削时间: 00: 00: 00
快速倍率: 100%	S0000 T0300
手轮方式	
[位置]	[程序] [增量] [参数] [诊断]

图 7.24

### 3. 输入程序

按“程序”键，再按“编辑方式”键，依次输入程序。CRT显示如图7.25所示。

### 4. 模拟轨迹加工

(1) 按“翻页”键，使程序出现在第一页。

(2) 依次按“图形”、“自动方式”、“空转”和“轴锁”键，此时CRT显示如图7.26所示。

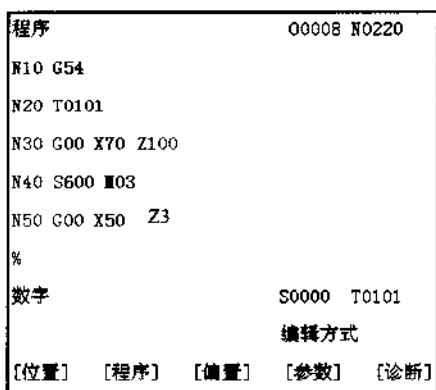


图 7.25

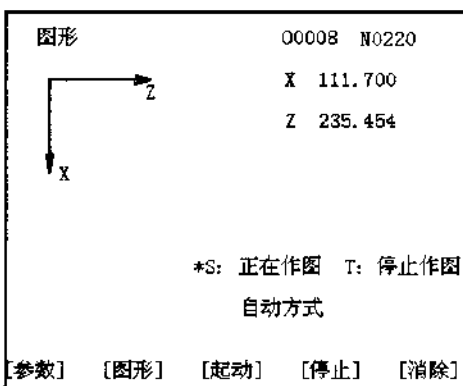


图 7.26

(3) 再锁住“自动方式”、“空转”和“轴锁”键，按控制面板上的“循环启动按钮”键，进行轨迹模拟；若轨迹有错误，数控系统则会提示有报警出错，如图7.27所示。此时，必须回到加工程序编辑状态进行程序的修改。修改后，再进行模拟轨迹加工，直到完全正确为止。

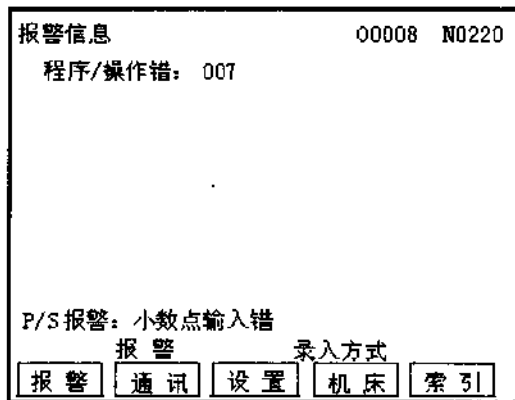


图 7.27

(4) 按下操作面板上主轴停止按钮，进行测量。测得的直径为39.50mm，计算得：

$$X: -72.270 - 39.50 = -111.770\text{mm}$$

$$Z: -301.974\text{mm}$$

此时，再按“设置”键，CRT显示如图7.28所示。(将G55~G57中的X和Z坐标设为0)

### 5. 装夹毛坯

根据零件图所示，装夹直径为50mm，长为100mm的毛坯。

### 6. 对刀

(1) 旋转手摇脉冲发生器到合适位置，并按下操作面板上启动主轴正转按钮。

(2) 旋转手摇脉冲发生器，在Z方向进行切削。记下Z的坐标值为-301.974。

(3) 旋转手摇脉冲发生器，在X方向车外圆。记下X的坐标值为-72.270。

## 7. 加工

(1) 依次按“编辑”、“程序”、“切换”和“自动”键，此时 CRT 显示如图 7.29 所示。

设置	O0008 N0220	
G54 X	-111.770	G55 X 0.000
Z	-301.974	Z 0.000
G56 Y	0.000	G57 X 0.000
Z	0.000	Z 0.000
地址	S0000 T0101	
	录入方式	
[设置]	[参数开关]	[G54-G59] [ ] [ ]

图 7.28

程序	(相对坐标)	(绝对坐标)
U	3435.261	X 39.430
W	-479.849	Z 148.498
O0008:		
N10	G54	
N20	T0101	
N30	G00 X70 Z100	
		S0000 T0100
地址	自动方式	
[MDI/模]	[程序]	[现/模] [现/次] [目录]

图 7.29

(2) 按操作面板上的“循环启动”按钮，进入自动加工循环。加工完毕后，切断电源，取下工件，并清洁机床。

**注意：**

若在自动加工中遇到突发事件，应立即按下急停按钮。

## 7.4.3 常见故障的处理

## 1. 数控系统开启后显示屏无任何画面

- (1) 检查与显示屏有关的电缆及其连接。
- (2) 检查显示屏的输入电压是否正常。
- (3) 若此时还伴有输入单元的报警灯亮，则故障原因往往是+24V 负载有短路现象。
- (4) 若此时显示屏无其他报警而机床不能移动，则其故障是由印刷线路板或控制 ROM 板的问题引起的。
- (5) 如果显示屏虽无显示但机床却正常工作，这种现象说明数控系统的控制部分正常，仅是显示器本身的印刷线路板出了故障。

## 2. 机床不能动作

其原因可能是数控系统的复位按钮被接通，数控系统处于紧急停止状态。如果程序执行时显示屏有位置显示变化，而机床不动，应检查机床是否处于锁住状态，进给速度设定是否有错误，系统是否处于报警状态。

## 3. 不能正常返回零点，且有报警产生

其原因一般是脉冲编码器的一转信号没有输入到主印刷线路板，如脉冲编码器断线或脉冲编码器的连接电缆、抽头断线。

## 4. 面板显示值与机床实际进给值不符

此故障多与位置检测元件有关，快速进给时丢脉冲所致，需要更换位置检测元件。

### 5. 系统开机之后死机

一般是由于机床数据混乱或偶然因素使系统进入死循环。将内存全部清除后,重新输入机床参数或关机,重新启动。

### 6. 刀架连续运转不停或在某规定刀位不能定位

其产生原因:发信盘接地线断路或电源线断路,霍尔元件短路或断路,修理或更换霍尔元件即可。

### 7. 刀架突然停止运转,步进电动机抖动而不运转

检查产生原因:手动转动手轮,若某位置较重或出现卡死现象,则为机械问题,如滚珠丝杠滚道内有异物等;若全长位置均较轻,则判断为切削过深或进给速度太快。

措施:清除机械传动部异物,减少切削深度,调整进给速度以减小加工中的切削力。

### 8. 电动刀架工作不稳定

其原因:切削、油污等进入刀架体内;撞刀后,刀体松动变形;刀具夹紧力过大,使刀具变形;刀杆过长,刚性差。

### 9. 超程处理

在手动、自动加工过程中,若机床移动部件超出其运动的极限位置(软件行程限位或机械限位),则系统出现超程报警,蜂鸣器尖叫或报警灯亮,机床锁住。

处理方法:手动将超程部件移至安全行程内;解除报警。

### 10. 报警处理

数控系统对其软、硬件及故障具有自我诊断能力,该功能用于监视整个加工过程是否正常,并及时报警。报警内容常见的有程序出错、操作出错、超程、各类接口错误、伺服系统出错、数控系统出错、刀具破损等。

处理方法:一般当屏幕有出现显示号时,可查阅维修手册的“错误代码表”,找出产生故障的原因,及时采取相应的措施。

## 7.5 数控车床的安全操作规程

(1) 操作人员必须熟悉机床使用说明书等有关资料,如主要技术参数、传动原理、主要结构、润滑部位及维护保养等一般知识。

(2) 开机前应对机床进行全面细致的检查,确认无误后方可操作。

(3) 机床通电后,检查各开关、按钮和按键是否正常、灵活,机床有无异常现象。

(4) 检查电压、油压是否正常,有手动润滑的部位先要进行手动润滑。

(5) 各坐标轴手动回零(机械原点)。

(6) 程序输入后,应仔细核对。其中包括对代码、地址、数值、正负号、小数点及语法的核对。

(7) 正确测量和计算工件坐标系,并对所得结果进行检查。

(8) 输入工件坐标系,并对坐标、坐标值、正负号及小数点进行认真核对。

(9) 未装工件前,空运行一次程序,看程序能否顺利运行,刀具和夹具安装是否合理,



有无超程现象。

(10) 无论是首次加工的零件, 还是重复加工的零件, 首件都必须对照图纸、工艺规程、加工程序和刀具调整卡, 进行试切。

(11) 试切时快速进给倍率开关必须打到较低档位。

(12) 每把刀首次使用时, 必须先验证它的实际长度与所给刀补值是否相符。

(13) 试切进刀时, 在刀具运行至工件表面 30~50mm 处, 必须在进给保持下, 验证 Z 轴和 X 轴坐标剩余值与加工程序是否一致。

(14) 试切和加工中, 刃磨刀具和更换刀具后, 要重新测量刀具位置并修改刀补值。

(15) 程序修改后, 对修改部分要仔细核对。

(16) 手动进给连续操作前, 必须检查各种开关所选择的位置是否正确, 运动方向是否正确, 然后再进行操作。

(17) 必须在确认工件夹紧后才能启动机床, 严禁工件转动时测量、触摸工件。

(18) 操作中出現工件跳动、打抖、异常声音、夹具松动等异常情况时必须立即停车处理。

(19) 加工完毕后, 要清理机床。

## 7.6 数控车床日常维护与保养

任何一台数控机床经长期工作后都是要损坏的。但是, 延长元器件的使用寿命和机械零部件的磨损周期, 防止故障, 尤其是恶性事故的发生, 从而延长数控机床的使用寿命, 是对数控机床进行维护保养的宗旨。每台数控机床的维护保养要求, 在其《机床使用说明书》上均有规定。这就要求机床的使用者要仔细阅读《机床使用说明书》, 熟悉机械结构、控制系统及附件的维护保养要求。做好这些工作, 有利于大大降低机床的故障率。

### 7.6.1 每日检查要点

#### 1. 接通电源前的检查

- (1) 检查机床的防护门、电柜门等是否关闭。
- (2) 检查冷却液、液压油、润滑油的油量是否充足。
- (3) 检查所选择的液压卡盘的夹持方向是否正确。
- (4) 检查工具、量具等是否已准备好。
- (5) 检查切屑槽内的切屑是否已清理干净。

#### 2. 接通电源后的检查

- (1) 检查操作面板上的指示灯是否正常, 各按钮、开关是否处于正确位置。
- (2) CRT 显示屏上是否有报警显示, 若有问题应及时予以处理。
- (3) 液压装置的压力表是否指示在所要求的范围内。
- (4) 各控制箱的冷却风扇是否正常运转。
- (5) 刀具是否正确夹紧在刀架上, 刀架与回转刀台是否可靠夹紧, 刀具是否有损伤。
- (6) 若机床带有导套、夹簧, 应确认其调整是否合适。

### 3. 机床运转后的检查

- (1) 运转中, 主轴、滑板处是否有异常声音。
- (2) 有无与平常不同的异常现象, 如声音、温度、裂纹、气味等。

#### 7.6.2 月检查要点

- (1) 检查主轴的运转情况。

主轴以最高转速一半左右的转速旋转 30min, 用手触摸壳体部分, 若感觉温和即为正常, 以此了解主轴轴承的工作情况。

- (2) 检查 X、Z 轴的滚珠丝杠。

若有污垢, 应清理干净。若表面干燥, 应涂润滑脂。

- (3) 检查 X、Z 轴行程限位开关、各急停开关动作是否正常。

可用手按压行程开关的滑动轮, 若 CRT 上有超程报警显示, 说明限位开关正常。同时清洁各接近开关。

- (4) 检查刀台的回转头、中心锥齿轮的润滑状态是否良好, 齿面是否有伤痕等。

- (5) 检查导套装置。

①检查导套内孔状况, 看是否有裂纹、毛刺。若有问题, 应予以修整。

②检查并清理导套前面盖帽内的切屑。

- (6) 检查并清理冷却液槽内的切屑。

- (7) 检查液压装置。

①检查压力表的工作状态。通过调整液压泵的压力, 检查压力表的指针是否工作正常。

②检查液压管路是否有损坏, 各管接头是否有松动或漏油现象。

- (8) 检查润滑装置。

①检查润滑泵的排油量是否符合要求。

②检查润滑油管路是否有损坏, 管接头是否有松动、漏油现象。

#### 7.6.3 六个月检查要点

- (1) 检查主轴。

①检查主轴孔的振摆。将千分表探头伸入卡盘套筒的内壁, 然后轻轻地将主轴旋转一周, 指针的摆动量小于出厂时精度检查表的允许值即可。

②检查主轴传动皮带的张力及磨损情况。

③检查编码盘用同步皮带的张力及磨损情况。

- (2) 检查刀架。

主要看换刀时其换位动作的连贯性, 以及刀架夹紧、松开时无冲击为好。

- (3) 检查导套装置。

主轴以最高转速一半左右的转速旋转 30min, 用手触摸壳体部分无异的发热及噪声为好。此外用手沿轴向拉导套, 检查其间隙是否过大。

(4) 加工装置检查内容。

①检查主轴分度用齿轮系的间隙。以规定的分度位置沿回转方向摇动主轴，以检查其间隙。若间隙过大应进行调整。

②检查刀台主轴驱动电动机侧的齿轮润滑状态。若表面干燥应涂润滑脂。

(5) 检查润滑泵装置浮子开关的动作状况。

可用润滑泵装置抽出润滑油，看浮子落至警戒线以下时，是否有报警指示以判断浮子开关的好坏。

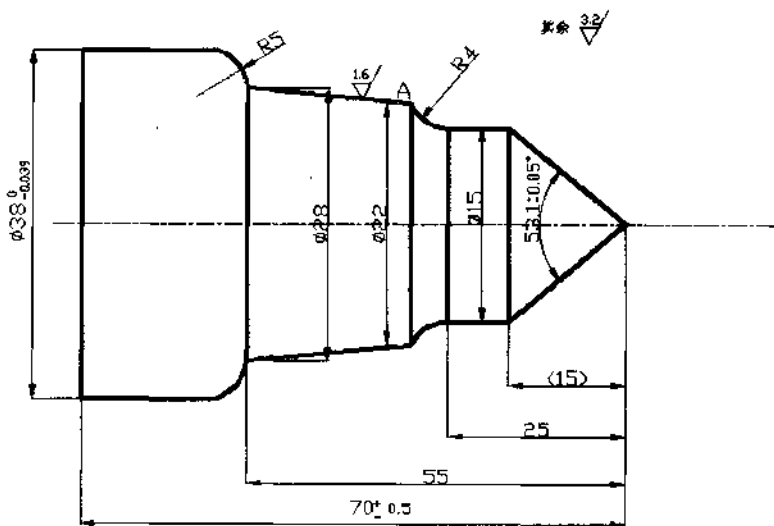
(6) 检查直流伺服系统的直流电动机。若换向器表面脏，应用白布沾酒精清洗；若表面粗糙，用细金相砂纸修整；若电刷长度在 10mm 以下，予以更换。

(7) 检查各插头、插座、电缆、各继电器的触点是否接触良好；检查各印刷电路板是否干净；检查主电源变压器、各电机的绝缘电阻（应在  $1M\Omega$  以上）。

(8) 检查断电后保存机床参数、工作程序用后备电池的电压值，视情况予以更换。

## 7.7 思考与练习题

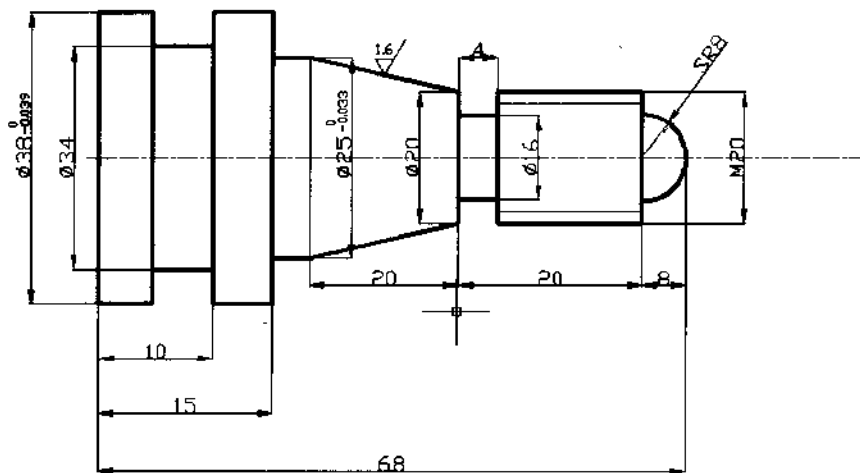
1. 在数控车床上加工如题图 7.1 所示的零件。零件材料为 45 号钢，其中毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm}$ ，试加工该零件。



题图 7.1

2. 在数控车床上加工如题图 7.2 所示的零件。零件材料为 45 号钢，其中毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm}$ 。要求完成：①粗、精车各表面；②切槽；③车螺纹。

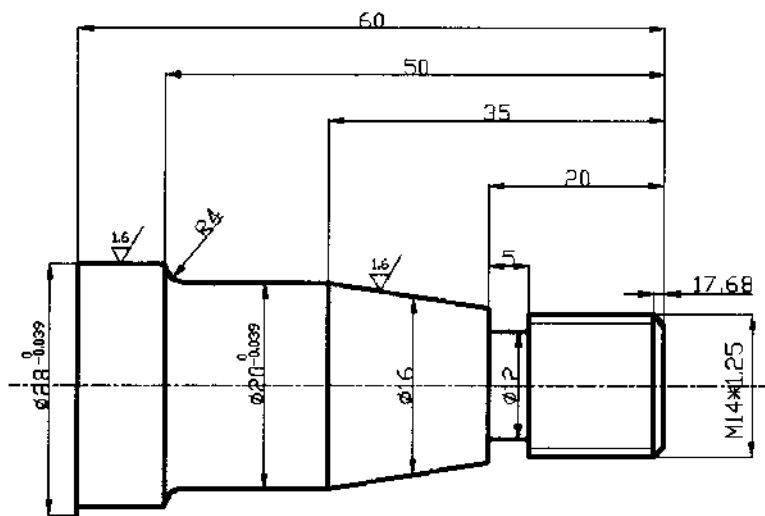
其余  $\nabla 3.2$



题图 7.2

3. 在数控车床上加工如题图 7.3 所示的零件。零件材料为 45 号钢，其中毛坯尺寸为  $\phi 40\text{mm}$ 。要求完成：①粗、精车各表面；②切槽；③车螺纹。

其余  $\nabla 3.2$



题图 7.3

## 第 8 章 数控铣床操作与加工

### 本章知识

- XKJ-5025 数控铣床介绍
- KND-200M 数控系统操作面板布局及各个操作键的功能
- 数控铣床的操作方法及零件的编程与加工
- 数控铣床常用的对刀方法

XKJ-5025 数控铣床是由北京凯恩帝数控系统控制, 变频驱动主轴变速和步进电机驱动工件运动的立式升降台数控铣床, 能够实现三轴联动, 完成各种形状复杂的样板、凸轮及模具的加工。

### 8.1 XKJ-5025 数控铣床简介

#### 8.1.1 结构布局

##### 1. 结构布局

XKJ-5025 是在基于普通立式升降台式铣床的布局上, 进给实行开环控制的普及型数控铣床, 主要由床身、主轴箱、工作台、床鞍、升降台、操作面板、电器控制系统、冷却、润滑等组成。立式升降台铣床是铣床中应用最广泛的一种类型。其结构特征是安装工件的工作台可以在垂直位置上手动调整位置, 既可以保证铣床工作时切削的高低位置不变, 确保加工精度, 也有利于操作者观察加工情况, 并可以扩大加工零件的尺寸范围。

该机床所配置的系统是由北京凯恩帝数控技术公司开发的 KND-200M 操作系统。

XKJ-5025 数控铣床的外形如图 8.1 所示。

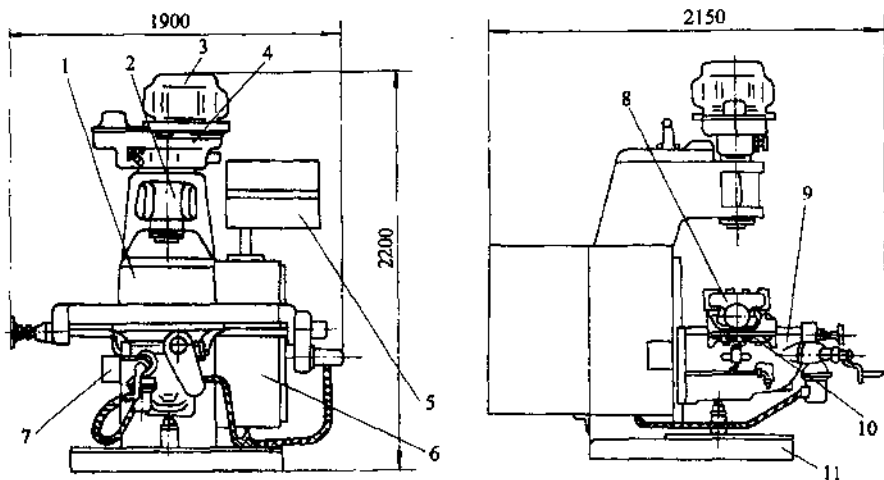


图 8.1 XKJ-5025 数控铣床外形

- 1—床身 2—主轴箱 3—主轴电动机 4—主变速箱 5—数控操作箱 6—电气控制箱  
7—润滑箱 8—工作台 9—升降台 10—床鞍 11—底座

(1) 床身 床身是铣床的基础部件,用于支承并安装升降台、主轴箱、工作台、冷却箱、电器箱、润滑系统的部件。

(2) 主轴箱 用于安装主轴,实现铣床的主运动。主电动机、主轴变速系统均安装在主轴箱内,其上操作手柄分别用于主轴变速、主轴锁住。

(3) 工作台 工作台是实现铣床纵、横向运动的部件,工作台有3条T型槽,中间的T型槽为基准T型槽。

(4) 升降台 升降台是工作台的基础。安装在床身前侧的垂直导轨上,带动工作台沿床身立导轨作垂直升降运动,升降台运动为手动,靠手柄轴传动通过一对锥齿轮传给立丝杠,使升降台上、下运动。另外升降台上的导轨用于支承床鞍。

(5) 床鞍 安装在升降台的水平导轨上,实现与主轴垂直的横向进给。

(6) 冷却箱 冷却箱与冷却泵安置于床身底部,结构紧凑。

(7) 润滑箱 供给滚珠丝杠、导轨及主轴箱等运动部件的润滑。

(8) 电器控制箱 主要用于安装机床各种电器控制元件及数控驱动单元。

## 2. XKJ-5025 数控铣床的主要技术参数

工作台尺寸(宽×长)	250mm×1120mm
工作台行程	X 轴向 680mm; Y 轴向 350mm;
套筒垂直行程(Z)	130mm
升降台垂直行程(手动)	400mm
主轴转速范围	13~5086 r/min
铣削进给速度范围	0~0.35 m/min
快速移动速度	25 m/min
T型槽宽度×槽距	15.87×65
主轴锥孔	30#(7:24)
主电机功率	2.2kW
步进电机最大静转矩	12N·m
工作台允许最大承重	250kg

## 3. 主要部件结构特点

(1) 主运动部件。图 8.2 所示为 XKJ-5025 的传动系统图,其主轴Ⅳ的运动是由变频无级调速电机 1 通过四挡三角带塔形带轮 2,把运动传给Ⅱ轴,再通过同步齿形带轮 3、牙嵌式离合器 4、5 把运动传给主轴Ⅳ。

主轴采用双支承结构,前支承为两个角接触球轴承,承受径向力和轴向力,后轴承为一向心球轴承。主轴头部用安装铣刀,配以通用的铣夹头,铣夹头通过锁紧螺母与主轴相连接。由于主轴电动机没有配备脉冲编码器,因此无法进行螺纹加工。

(2) 进给传动部件。XKJ-5025 数控铣床的进给传动如图 8.2 所示。步进电机 8 通过 1:2 同步带轮,把运动传给滚珠丝杠螺母副实现工作台的纵向(X向)进给。步进电机 9 通过 1:2 同步带轮,把运动传给滚珠丝杠螺母副实现工作台的横向(Y向)进给。步进电机 11 通过 1:2 同步带轮,把运动传给滚珠丝杠螺母副实现主轴套筒垂直(Z向)进给。

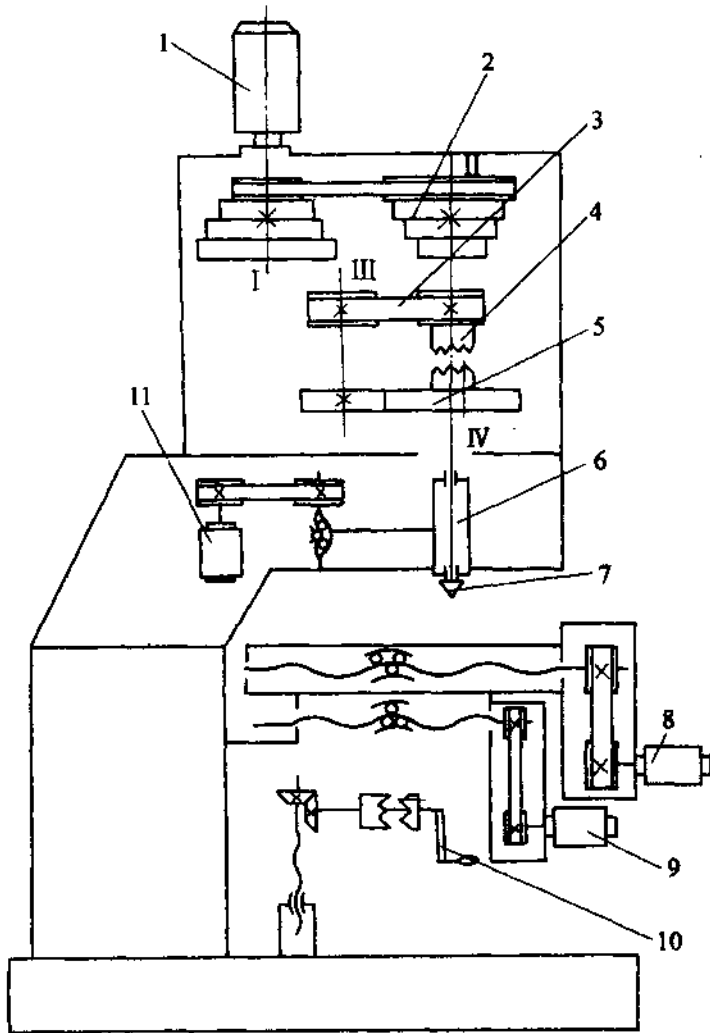


图 8.2 XKJ-5025 的传动系统图

1—主电动机 2—四级塔带轮 3—同步齿形带 4—牙嵌式离合器 5—齿轮 6—主轴套筒  
7—主轴 8—X 向步进电动机 9—Y 向步进电动机 10—升降台移动手柄 11—Z 向步进电动机

床鞍安装在升降台的水平导轨上，工作台安装在床鞍的燕尾导轨上，其导轨副均采用聚四氟乙烯贴塑处理，有效的降低了导轨面的摩擦系数，提高运动的平稳性、精度的保持性和导轨的耐磨性。

(3) 冷却与润滑系统。机床的冷却系统由冷却泵、出水管、回水管、开关及喷嘴等组成。冷却泵将切削液打到出水管，经过管道、喷嘴至切削区，然后流回冷却池，循环往复工作。润滑采用自动润滑与油脂润滑。其主轴套筒、纵横向导轨面以及滚珠丝杠副均由自动滴油润滑站每隔 10min 自动供油一次。各轴承采用油脂润滑。

(4) KND-200M 数控系统是北京凯恩帝数控技术公司针对中国国情开发生产的控制

步进电机的经济型钻、镗、铣床及加工中心用数控系统，控制电路采用了高速微处理器，超大规模定制式集成电路芯片，多层印刷电路板，使该系统具有良好的可靠性。

## 8.2 操作面板及各个功能键介绍

XKJ-5025 数控铣床操作面板位于机床右侧的电器控制箱的上方，分为系统操作面板和机床操作面板两部分。

### 1. 数控系统操作面板

KND-200M 数控系统的操作面板如图 8.3 所示，它由 CRT 显示器和 MDI 键盘两部分组成。各键的功能及含义如表 8.1 所示。



图 8.3 操作面板

表 8.1 操作面板各键名和功能含义

序号	键名	功能
1	显示器	显示屏幕
2	编辑键	程序编辑 (INSRT 插入、DEL 删除、ALT 修改等)
	地址/数字键	输入字母、数字等字符
	光标移动键	有四种光标移动
	复位键	RESET 键用于解除报警，CNC 复位
3	电源启动/停止按钮	绿键接通机床电源，红键关闭机床电源
4	限位解除	
5	循环启动/进给保持按钮	其功能同 10、11



(续表)

序号	键名	功能
6	急停按钮	机床紧急停止
7	手摇脉冲发生器	在手轮方式时移动机床移动件
8	手摇轴选择	选择与手摇脉冲发生器相对应的移动轴
9	方式选择开关	选择操作方式, 从左至右依次为: 编辑、自动、手动数据输入、手轮、手动
10	循环启动按钮	程序自动运行的启动
11	进给保持按钮	自动运行中刀具减速停止
12	机床锁住	机床锁住不运动
13	手摇进给量选择	选择手摇脉冲发生器时的每格相应移动量
14	快速进给倍率	选择快速进给倍率
15	快速进给开关	手动快速进给选择
16	手动轴向运动/按钮	X、Y、Z轴的手动连续进给运动
17	回零按钮	手动方式时的回零选择
18	润滑油按钮	润滑油起动 (XKJ-5025 有自动润滑系统, 此键不起作用)
19	换刀按钮	手动换刀选择 (XKJ-5025 无刀库, 此键不起作用)
20	冷却液按钮	冷却液开关
21	主轴倍率	主轴转速倍率选择
22	主轴启动	手动主轴正转、反转、点动、停止
23	进给倍率选择	在手动、自动运行中, 对进给速率进行选择
24	机能软体键	用软体键选择各种显示画面

(1) CRT 显示器可以显示铣床的各种参数和状态。如显示铣床参考点坐标、刀具起始点坐标, 输入数控系统的指令数据、机床工作状态、刀具补偿量的数值、报警信息、机床参数等。

在 CRT 显示器的下方有软体功能键操作区, 共有 7 个软体功能键, 用于各项操作功能菜单的选择。

左端的软体键 在中间的 5 个软键选择操作菜单后, 用于返回上一级菜单操作界面。

右端的软体键 为选择同级菜单中的其他菜单内容。

中间 5 个软体键 其功能是对应显示器上各个操作菜单, 具体内容如下述:

主菜单:

共两页, 由最右边的软体键进行切换, 有 5 个菜单可选择:

第一页——位置、程序、偏置、参数、诊断;

第二页——报警、图形、设置、机床、索引。

子菜单:

主菜单软体键连续按两次, 进入该项的子菜单, 用最左端的软体键进行切换:

位置——相对、绝对、总和;

程序——MDI/模、程序、现/模、现/次、目录;

偏置——偏置、宏变量、宏变量；  
 参数——参数、螺补 X、螺补 Y、螺补 Z、求助；  
 诊断——MT—→PC、PC←→NC、PC、状态、求助；  
 报警——报警、外部；  
 图形——参数、图形、起动、停止、清除；  
 设置——设置 1、设置 2、设置 3；  
 机床——第一页：方式-、方式+、单程段、回零、空运行；  
           第二页：倍率-、倍率+、轴-动、轴+动、起/停；  
           第三页：主轴正、主轴反、主轴停、主轴点、冷起停；  
 索引——操作表、报警表、G 码表、参数/诊断、宏指令。

#### (2) MDI 键盘。

(3) 程序编辑键区。用于数控加工程序的编辑。

“插入”键 (INSERT)：用于程序的输入。按该键可以在程序中插入新的程序内容或新的程序段，先输入新的程序内容，再按该键，则新的程序内容将被插入到光标所在点的后面；使用该键还可以建立新的程序，先输入新的程序号，再按该键，则在系统中将建立一个新的程序。

“修改”键 (ALTER)：用于程序的修改。

“删除” (DEL)：用于程序的删除。按该键可以删除光标所在处程序的内容，如果要删除整个程序，可以键入该程序名，再按此键。

“输入”键 (INPUT)：按此键，可以输入参数、加工坐标系数值和刀具补偿值等。还可以用于计算机数据传输程序的输入。

“结束”键 (EOB)：用于程序段结束号“;”的输入。

“取消”键 (CAN)：按该键删除最后一个进入输入缓存区的地址字符，还可以用于相对坐标下机床“相对座标”数值的“清零”。

“光标移动”键：在显示器屏幕上，用于光标的移动。

“翻页”键：该键用于将屏幕显示的页面整幅更换，键向后翻页，键向前翻页。

“复位”键 (RESET)：用于解除报警，使数控系统复位。当机床运行时，按此键，则机床停止运动。

#### (4) 机床操作面板。

“进给倍率波段”旋钮：在手动或自动运行期间用于进给速度的选择。在自动运行中，程序中由 F 功能代码指定的进给速度可以用此旋钮调整，调整范围为 0%~150%，每格增量为 10%。

#### (5) 主轴手动操作键区。

图 8.4 所示为“主轴正转”键。在手动操作方式，按此键，按键灯亮，主轴正向旋转。

图 8.5 所示为“主轴反转”键。在手动操作方式下，按此键，按键灯亮，主轴反向旋转。

图 8.6 所示为“主轴停止”键。在手动操作方式下，按此键，按键灯亮，主轴停止旋转。



图 8.4 主轴正转键



图 8.5 主轴反转键



图 8.6 主轴停止键

#### (6) 手动操作键区。

① X 轴回零指示灯 执行 X 轴返回参考点命令后，工作台纵向停在 X 轴参考点位置，此时 X 轴回零指示灯亮。

② Y 轴回零指示灯 执行 Y 轴返回参考点命令后，工作台横向停在 Y 轴参考点位置，此时 Y 轴回零指示灯亮。

③ Z 轴回零指示灯 执行 Z 轴返回参考点命令后，主轴套筒停在 Z 轴参考点位置，此时 Z 轴回零指示灯亮。

④ X 轴正向“手动”键 (+X) 点动方式下，用于工作台纵向沿 X 轴的正向移动。

⑤ X 轴负向“手动”键 (-X) 点动方式下，用于工作台纵向沿 X 轴的负向移动。

⑥ Y 轴正向“手动”键 (+Y) 点动方式下，用于工作台横向沿 Y 轴的正向移动。

⑦ Y 轴负向“手动”键 (-Y) 点动方式下，用于工作台横向沿 Y 轴的负向移动。

⑧ Z 轴正向“手动”键 (+Z) 点动方式下，用于主轴套筒沿 Z 轴的正向移动。

⑨ Z 轴负向“手动”键 (-Z) 点动方式下，用于主轴套筒沿 Z 轴的负向移动。

#### (7) 方式选择键。

根据铣床的不同操作类型，可选择相应的 5 种操作方式：

① 编辑方式 可将工件加工程序手动输入到存储器中，也可以对存储器内的加工程序进行修改、删除等编辑，还可进行程序的输入和输出。

② 自动方式（如图 8.7 所示） 执行存储器中的程序，自动运行加工工件。

③ 录入方式（如图 8.8 所示） 用于参数、机床坐标值等数据的输入。

④ 手轮进给方式（如图 8.9 所示） 用于手动脉冲发生使用时的机床进给。

⑤ 手动进给方式（如图 8.10 所示） 用于手动连续进给或点动进给。



图 8.7 自动方式



图 8.8 手动数据输入方式



图 8.9 手轮进给方式



图 8.10 手动进给方式

#### (8) 手轮移动量和轴选择键。

① “机床锁定”键（如图 8.11 所示） 该键在检查工件加工程序时使用。在自动或手动数据输入运行及手动操作期间，按下“机床锁定”键，按键灯亮，铣床工作台停止移动，CRT 屏幕上的位置坐标显示继续随着程序的执行而变化，此时，键“机床锁定”仅对移动命令有效，对 M、S、T 功能无效。

② “循环启动”键（如图 8.12 所示） 在自动或手动数据输入运行方式下，按“循环启动”键，按键灯亮，程序和命令将开始执行。同时主轴正转按键灯也亮。

③ “循环保持”键（如图 8.13 所示） 在自动或手动数据输入运行期间，按“循

环保持”键，按键灯亮，工作台停止移动，但 M、S、T 功能仍然有效。当按一次“循环启动”键时，“循环启动”按键灯亮“循环保持”被解除，“循环保持”按键灯灭，工作台继续移动。



图 8.11 机床锁定键



图 8.12 循环启动键



图 8.13 循环保持键

#### (9) 开关机操作区。

“开机”键：用于数控系统的开机。

“关机”键：用于数控系统的关机。

(10) “限位解除”键 在工作台移动中，当发生超程报警时，CRT 屏幕上显示“超程”报警信号，工作台将停在其极限位置，报警指示灯亮，而“行程极限”开关将被断开，此种情况下，不能操纵铣床。此时应按住“限位解除”键，在手动操作方式下，将铣床工作台移动到其行程极限位置内，同时系统自动解除报警。

(11) “急停”按钮 铣床在手动操作或自动运行期间，发生紧急情况时，按下“急停”按钮，铣床立即停止运行。待故障排除恢复铣床工作时，需顺时针方向转动“急停”按钮即可弹起恢复正常。

## 8.3 基本操作

对工件加工程序编制完成后，就可以操作机床对工件进行加工。

### 1. 机床的开、关机操作

#### (1) 开机。

- ① 检查关闭电气箱门。
- ② 接通机床总电源。
- ③ 打开 CNC 电源开关（位于机床右侧）。
- ④ 同时按住 EOB+CAN 后，按电源开关，延时两秒后机开前两键。
- ⑤ 释放急停开关。
- ⑥ 数秒后显示器显示。
- ⑦ 按复位键。

#### (2) 关机。

- ① 机床处于非加工状态。
- ② 运动部件处于停止状态。
- ③ 程序保护开关（软体键）处于关断状态。
- ④ 按下急停开关。
- ⑤ 关闭面板上的电源开关红键。
- ⑥ 切断 CNC 电源。
- ⑦ 切断机床总电源。

## 2. 机床的手动操作

(1) 机床的回零操作。

手动返回参考点(回零):

- ① 按下方式选择键的手动方式键, 键上的指示灯亮。
- ② 按下回零开关键, 键上的指示灯亮。
- ③ 分别按下手动轴正向运动开关, 机床移动件向选择轴的方向自行运动。
- ④ 到达回零点后, 回零指示灯亮。

**注意:**

当三轴回零指示灯全部亮起后, 关闭回零开关键, 然后分别按下手动轴正向运动开关, 离开机床零点位置。

(2) 手动连续进给。

- ① 按下方式选择键中的手动方式键, 键上的指示灯亮。
- ② 按下轴向运动按钮, 机床移动件按所选择的方向运动(进给倍率选择键有效)。
- ③ 若在手动方式选择后, 按下快速进给键, 再按下轴向运动按钮, 机床移动件按所选择的方向快速运动(快速进给倍率选择键有效)。

(3) 手轮方式。


- ① 按下方式选择键中的手轮方式键, 键上的指示灯亮。
- ② 选择手轮运动轴键。
- ③ 选择移动当量键, 当量键的指示灯均灭时为×1的选择:  
其输入单位制      ×1;      ×10;      ×100  
每一刻度的移动量 0.001mm;    0.01mm;    0.1mm
- ④ 摇动手摇脉冲发生器, 顺时针方向转, 移动件按相应坐标轴相当量的“+”向移动, 逆时针则反之。


(4) 手动辅助功能操作(在手动、手轮方式下)。

① 主轴启动 按主轴反转键, 主轴反向转动, 键上指示灯亮; 按主轴正转键, 主轴正向转动, 键上指示灯亮; 按主轴停键, 主轴停止转动, 键上指示灯亮; 按主轴点动键, 主轴正向转动, 键上指示灯亮, 松开此键则主轴停止转动; 此情况下主轴倍率键控制有效, “+”为增加, “-”为减少。

② 冷却液开关键 按此键, 冷却液打开, 指示灯亮。

③ 面板指示灯。

自动运行灯  ——自动运行状态时指示灯亮, 否则指示灯灭。

报警灯  ——当系统产生报警时, 指示灯亮。

“X Y Z”回零完成指示灯——回零后, 已返回零点轴的指示灯亮, 移出零点后灯灭。

## 3. 程序的输入、编辑、修改、检索

(1) 程序的输入 将编制好的程序输入到数控系统中去, 以实现对其加工。程序的输入方法有两种。一种是通过操作面板 MDI 手动输入, 另一种方法是通过计算机将程序传输到机床输入。使用操作面板 MDI 手动输入程序的操作步骤如下:

① 方式选择为编辑方式(EDIT)。

- ② 按程序软体键。
- ③ 用键输入地址“O”。
- ④ 用键输入程序号。
- ⑤ 按“INSRT”键。

通过上述操作，存入程序号，然后把程序中的每个字用键输入，之后按“INSRT”键便将键入程序存储起来。

(2) 程序号的检索。

检索法：

- ① 选择方式（EDIT 或 AUTO 方式）。
- ② 按程序软体键，显示程序。
- ③ 按地址“O”。
- ④ 键入要检索的程序号。
- ⑤ 按“CURSOR ↓”键。
- ⑥ 检索结束时，在 CRT 画面显示检索出的程序并在画面的右上部显示已检索的程序号。

扫描法：

- ① 选择方式（EDIT 或 AUTO 方式）。
- ② 按程序软体键，显示程序。
- ③ 按地址“O”。
- ④ 按“CURSOR ↓”键。EDIT 方式时，反复按“O”和“CURSOR ↓”键，可逐个显示存入的程序。当被存入的程序全部显示出来后，便返回到第一个程序。

(3) 程序的删除。

- ① 选择 EDIT 方式。
- ② 按程序软体键，显示程序。
- ③ 按地址“O”。
- ④ 用键输入程序号。

按“DELET”键，则对应键入程序号的存储器中程序被删除。

(4) 字的检索。

- ① 按“CURSOR ↓”键，光标一个字一个字顺方向移动，在被选择字的地址下面显示光标。
- ② 按“CURSOR ↑”键，光标一个字一个字反方向移动，在被选择字的地址下面显示光标。
- ③ 按“PAGE ↓”键，画面翻页，光标移至下页开头的字。
- ④ 按“PAGE ↑”键，画面翻到前一页，光标移至开头的字。

(5) 字的插入。

检索或扫描到要插入的前一个字，按“INSRT”键。

(6) 字的变更。

检索或扫描到要变更的字，按“ALTER”键，则新键入的字代替了当前光标所指的字。

(7) 字的删除。

检索或扫描到要删除的字，按“DELET”键，则当前光标所指的字被删除。

#### 4. 图形模拟显示操作及程序试运行

- (1) 选用自动方式。
- (2) 打开(图形)主菜单中图形界面。
- (3) 按机床锁住。
- (4) 打开子菜单中启动。
- (5) 按自动循环启动。

#### 注意:

在图形模拟显示操作时,为提高模拟显示速度,可在(机床)菜单中打开空运行,但结束后一定要将其关闭。

#### 5. 刀具偏置设置

- (1) 选择录入方式。
- (2) 打开(偏置)主菜单显示偏置数据界面。
- (3) 将所设偏置(刀具补偿)值输入相应的补偿号。

#### 6. 机床加工坐标系设置

- (1) 选择手动数据输入方式。
- (2) 打开(设置)主菜单中(设置3)将光标定在所需加工坐标系(G54~G59)上。
- (3) 将对刀后记录下来并计算好的数据分别录入相应的坐标轴内(键入后按 INPUT 输入键)。

#### 7. 零件的自动加工

- (1) 选择自动方式。
- (2) 关闭机床锁住键。
- (3) 打开(机床)主菜单,选择单段方式打开(程序单步每按一次,循环启动走一个程序段)。
- (4) 按循环启动键。
- (5) 待程序运行正常后打开(机床)主菜单,关闭单段方式,使其自动加工。

#### 注意:

运转异常时可按 RESET 或急停开关。

## 8.4 数控铣床的对刀操作

对刀操作就是设定刀具上某一点在工件坐标系中坐标值的过程,对于圆柱形铣刀,一般是指刀刃底平面的中心,对于球头铣刀,指得是球头的球心。实际上,对刀的过程就是在机床坐标系中建立工件坐标系或长度偏置设定过程。

对刀之前,应先将工件毛坯准确定位装夹在工作台上。对于较小的零件,一般安装在平口钳、三爪卡盘或专用夹具上,对于较大的零件,一般直接安装到工作台上。工件装夹时,应使基准同各轴方向保持一致,并且装夹部件不能干涉刀具加工路径。

常用的对刀方法是手工对刀,一般使用刀具、标准心棒、百分表等工具。

## 1. 用 G92 建立工件坐标系的对刀方法

G92 指令设置工件坐标系, 是通过设定刀具相对于工件坐标系原点的值来确定工件坐标系原点。

## (1) 方形工件对刀方法。

如图 8.14 所示, 通过对刀将图中所示方形工件的 B 点设定成工件坐标系的原点。

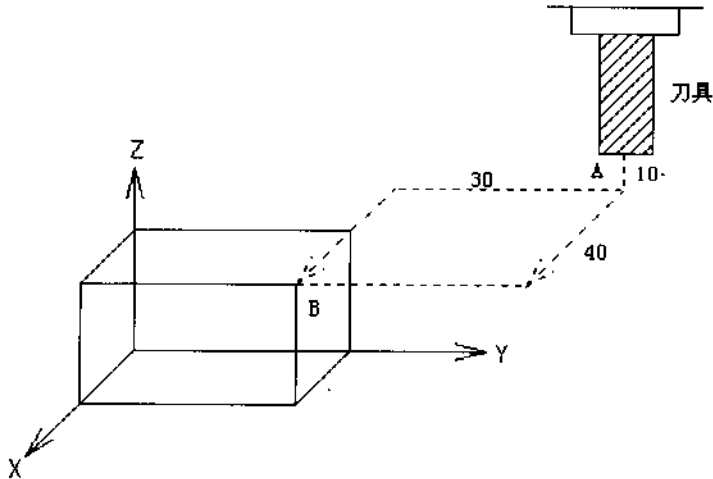


图 8.14 方形工件对刀方法

具体操作步骤如下:

① 安装工件, 将工件毛坯装夹在工作台上。用手动方式分别回 X 轴、Y 轴和 Z 轴到机床参考点。采用手动进给方式、手轮进给方式或快速进给方式, 分别移动 X 轴、Y 轴和 Z 轴, 将主轴刀具先移到靠近工件的 X 方向的对刀基准面——工件毛坯的右侧面。

② 在手轮进给方式转动手摇脉冲发生器慢慢移动机床 X 轴, 使刀具侧刃接近工件 X 方向的基准面, 使用塞尺测量刀刃与工件之间的距离, 塞尺松紧感觉适当为好, 按“取消”键将当前位置清零, 此时机床相对坐标中“X”值为“0”。

③ 将主轴刀具再移到靠近工件 Y 方向的对刀基准面——工件毛坯的前侧面。按照上述步骤同样再对 Y 轴进行操作。

④ 将主轴刀具再移到如图 8.14 所示的工件加工原点, 其摇动的尺寸数值 X、Y 分别等于刀具半径+塞尺厚度+毛坯上基准面到工件加工原点的尺寸。

⑤ 将主轴刀具下移到靠近工件, 使用塞尺侧量测量刀刃与工件之间的距离, 塞尺松紧感觉适当为好, 按“取消”键将当前位置清零, 此时机床相对坐标中“Z”值为“0”, 此时 X、Y、Z、三轴相对坐标均为零。

⑥ 再将主轴刀具摇至 G92 所设置的工件加工坐标点, 如图 8.14 所示, (假设 G92 X40 Y30 Z10) 则分别将 X、Y、Z (10—塞尺厚度) 摇至上述尺寸, 完成对刀。

## (2) 圆形工件的对刀操作。

如果工件为圆形, 以圆周作为对刀基准, 用上述对刀的方法找基准面比较困难, 一般使用百分表来进行对刀。如图 8.15 所示, 通过对刀设定图中所示工件的工件坐标系原点。



具体操作步骤如下:

① 安装工件, 将工件毛坯装夹在工作台夹具上, 用手动方式分别回 X 轴、Y 轴和 Z 轴到机床参考点。

② 对 X 轴和 Y 轴的原点。将百分表和磁性表座安装预固定后将百分表磁性表座吸在主轴套筒上, 移动工作台使主轴中心轴线(即刀具中心)大约移到工件的中心, 调节磁性表座上伸缩杆的长度和角度, 使百分表的触头接触工件的外圆周, 慢慢转动主轴, 使百分表的触头沿着工件的外圆周边转动, 观察百分表指针的偏移情况, 慢慢移动工作台的 X 轴和 Y 轴, 反复多次后, 待转动主轴百分表的指针基本指在同一个位置, 这时主轴的中心就是 X 轴和 Y 轴的原点, 按“取消”键将当前 X、Y 相对坐标位置清零, 卸下百分表及磁性表座。

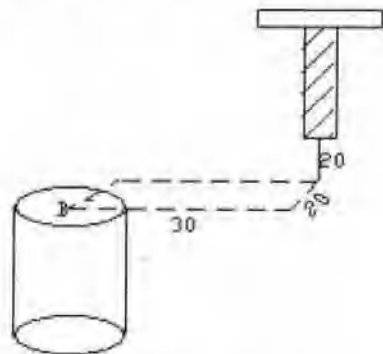


图 8.15 圆形工件对刀操作

③ 将主轴刀具下移到靠近工件, 使用塞尺侧量测量刀刃与工件之间的距离, 塞尺松紧感觉适当为好, 按“取消”键将当前位置清零, 此时机床相对坐标中“Z”值为“0”, 此时 X、Y、Z、三轴相对坐标均为零。

④ 再将主轴刀具摇至 G92 所设置的工件加工坐标点, 如图 8.15 所示, (假设 G92 X20 Y30 Z20) 则分别将 X、Y、Z (20—塞尺厚度) 摇至上述尺寸, 完成对刀。

**注意:**

① X、Y、Z 这三个轴的对刀顺序可以任意选择。

② 由于刀具的实际直径可能要比其标称直径小, 工件上的对刀基准由于刀具的实际直径可能要比其标称直径小, 对刀时要按刀具的实际直径来计算。工件对刀基准面要选择工件上的重要基准面。

③ 工件坐标系建立后, 刀具和工件的相对位置已被系统记忆, 当工件在工作台上的位置变化后或刀具在主轴上的相对高度变化后, 必须重新对刀来建立工件坐标系。

④ 工件坐标系建立后, 一般不能将机床锁定后测试运行程序, 因为机床锁定后刀具和工件的相对位置不会发生变化, 而程序运行后, 系统记忆的坐标位置可能发生了变化, 如果必须这样做, 请确认工件坐标系是否发生了变化, 发生变化后必须重新对刀建立工件坐标系。

⑤ 工件坐标系建立后, 如果又执行到 G92 指令, 先前建立的工件坐标系将变化, 即又重新建立了新的工件坐标系。因此, 如果程序开头包含有 G92 指令, 在对刀完成后执行程序前须将机床 3 轴移动至程序中坐标系设定的准确起始位置, 或将程序开头的 G92 指令段删除。由此可知, G92 指令可用于设定或改变工件坐标系, 为计算和编程方便, 对复杂的工件, 在编程中可以用 G92 指令任意改变工件坐标系的零点。所以, 用 G92 指令建立的工件坐标系是浮动的, 工件坐标系的原点与机床零点(参考点)的实际距离无关。

⑥ 用 G92 的方式建立工件坐标系后, 如果关机, 建立的工件坐标系将丢失, 重新开机后必须再对刀建立工件坐标系。

## 2. 用 G54~G59 选择工件坐标系的对刀方法

根据上述对刀的方法可知, 对刀时如果用 G92 指令建立工件坐标系, 关机后建立的工

件坐标系将丢失, 因此对于批量加工的工件, 即使工件依靠夹具能在工作台上准确定位, 用 G92 指令来对刀和建立工件坐标系也不太方便, 这时经常使用和机床参考点位置相对固定的工件坐标系, 分别通过 G54~G59 这 6 个指令来选择对应的工件坐标系, 并依次称它们为第 1 工件坐标系、第 2 工件坐标系、……, 第 6 工件坐标系。这 6 个工件坐标系是通过输入每个工件坐标系的原点到机床参考点的偏移值而建立的, 并且可以为 6 个工件坐标系指定一个外部工件零点偏移值作为共同偏移值。用上述对刀方法, 将如图 8.16 所示工件的 X、Y、Z 的零点设定成第 1 工件坐标系的原点。用对刀设置工件坐标系的方法如下:

#### (1) 方形工件对刀方法。

如图 8.16 所示, 通过对刀将图中所示方形工件的中心点设定成工件坐标系的原点。

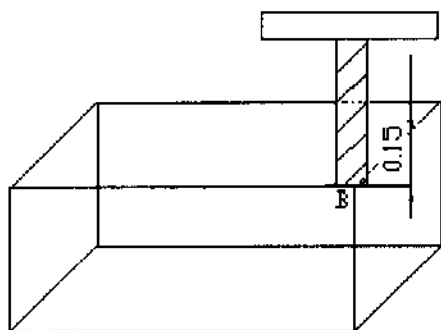


图 8.16 方形工件对刀法

操作步骤如下:

① 安装工件, 将工件毛坯装夹在工作台上。用于手动方式分别回 X 轴、Y 轴和 Z 轴到机床参考点。采用手动进给方式、手轮进给方式或快速进给方式, 分别移动 X 轴、Y 轴和 Z 轴, 将主轴刀具先移到靠近工件的 X 方向的对刀基准面——工件毛坯的右侧面。

② 在手轮进给方式转动手摇脉冲发生器慢慢移动机床 X 轴, 使刀具侧刃接近工件 X 方向的基准面, 使用塞尺测量刀刃与工件之间的距离, 塞尺松紧感觉适当为好, 按“取消”键将当前位置清零,

此时机床相对坐标中“X”值为“0”。

③ 将主轴刀具再移到靠近工件 Y 方向的对刀 2 基准面——工件毛坯的前侧面。按照上述步骤同样再对 Y 轴进行操作。

④ 将主轴刀具再移到如图 8.16 所示的工件加工原点, 通过手轮脉冲发生器将其尺寸数值 X、Y 分别摇工件加工原点, 其尺寸为刀具半径+塞尺原度+毛坯上基准面到工件加工原点的尺寸。

⑤ 将主轴刀具下移到靠近工件, 使用塞尺侧量测量刀刃与工件之间的距离, 塞尺松紧感觉适当为好。

⑥ 打开(位置)主菜单(总和)分别记录下 X、Y、Z 的机床坐标值(Z 轴应加上负的塞尺厚度)。

#### (2) 圆形工件的对刀操作。

如图 8.17 所示。

操作步骤如下:

① 安装工件, 将工件毛坯装夹在工作台夹具上, 用手动方式分别回 X 轴、Y 轴和 Z 轴到机床参考点。

② 对 X 轴和 Y 轴的原点。将百分表和磁性表座安装预固定后, 将百分表及磁性表座吸在主轴套筒上, 移动工作台使主轴中心轴线(即刀具中心)大约移到工件的中心, 调节磁性表座上伸缩杆的长度和角度, 使百分表的触头接触工件的外圆周,

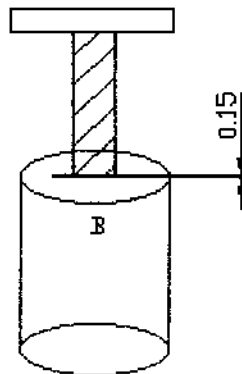


图 8.17 圆形工件对刀法

慢慢转动主轴，使百分表的触头沿着工件的外圆周面转动，观察百分表指针的偏移情况，慢慢移动工作台的X轴和Y轴，反复多次后，待转动主轴和百分表的指针基本指在同一个位置，这时主轴的中心就是X轴和Y轴的原点，卸下百分表及磁性表座。

③ 将主轴刀具下移到靠近工件，使用塞尺侧量测量刀刃与工件之间的距离，塞尺松紧感觉适当为好。

④ 打开（位置）主菜单（总和），分别记录 X、Y、Z 的机床坐标值（Z 轴应加上负的塞尺厚度）。

## 8.5 零件加工操作实例

例：加工如图 8.18 所示的零件。毛坯尺寸为  $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ ，材料为铝合金，使用  $\phi 8\text{mm}$  键槽铣刀加工。

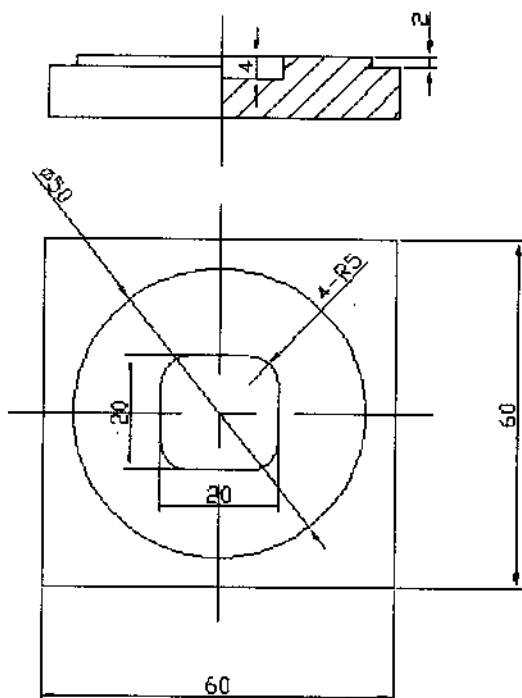


图 8.18 加工零件图

(1) 首先结合图纸，根据加工工艺的要求编制程序，程序如下：

程序 O0001

N10	G92	X0	Y0	Z20	建立工件坐标系
N20	G90	G40			以绝对方式编程
N30					撤销刀补
N40	M03	S800			主轴正转
N50	G00	Z3			Z 向快速，快进至 Z=3mm
N60	G01	Z-2	F100		Z 向工进，工进至 Z=-2mm

N70 G41 X-25 Y-5 H01	建立刀具左补偿, 补偿号为 H01。工进至 X=-25mm, Y=-5mm
N80 Y0	Y 向工进, 工进至 Y=0mm
N90 G02 I25	顺时针圆弧插补, 圆弧 R=25mm
N100 G01 Y5	Y 向工进, 工进至 Y=5mm
N110 G00 Z20	Z 向快进, 快进至 Z=20mm
N120 G40 X200 Y50	取消刀具半径补偿, 同时快进至 X=200mm, Y=50mm
N130 M05	主轴停止
N140 M30	程序结束
程序 O0002	
N10 G54 G90 G40	建立工件坐标系
N20	以绝对方式编程
N30	撤销刀补
N40 M03 S800	主轴正转
N50 G00 Z20	Z 向快进, 快进至 Z=20mm
N60 X0 Y0	X、Y 向快进, 快进至 X=0, Y=0
N70 Z3	Z 向快进, 快进至 Z=3mm
N80 G01 Z-4 F100	Z 向工进, 工进至 Z=-4mm
N90 G41 X5 Y-10 H02	建立刀具左补偿, 补偿号为 H02, 工进至 X=5mm, Y=-10mm
N100 G03 X10 Y-5 R5	逆时针圆弧旋转插补, R=5mm
N110 G01 Y5	Y 向工进, 工进至 Y=5mm
N120 G03 X5 Y10 R5	逆时针圆弧插补, R=5mm
N130 G01 X-5	X 向工进, 工进至 X=-5mm
N140 G03 X-10 Y5 R5	逆时针圆弧插补, R=5mm
N150 G01 Y-5	Y 向工进, 工进至 Y=-5mm
N160 G03 X-5 Y-10 R5	逆时针圆弧插补, R=5mm
N170 G01 X5	X 向工进, 工进至 X=5mm
N180 G03 Y10 Y-5 R5	逆时针圆弧插补
N190 G00 Z20	Z 向快进, 快进至 Z=20mm
N200 G40 X200 Y50	取消刀具半径补偿, 同时快进至 X=200mm, Y=50mm
N200 M05	主轴停止
N210 M30	程序结束

参数设置: H01=4

H02=4

(2) 操作步骤及相对应的 CRT 显示窗口。

- ① 开机。
- ② 回零。
- ③ 输入程序, 此时, CRT 如图 8.19 所示。
- ④ 设置刀偏值。此时, CRT 如图 8.20 所示。

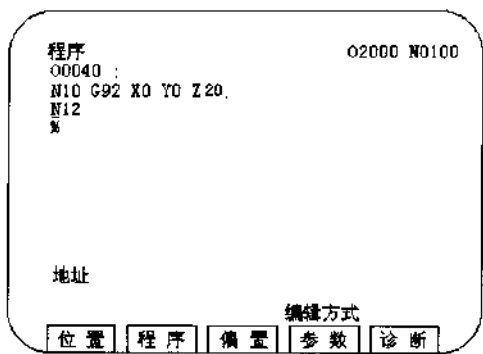


图 8.19

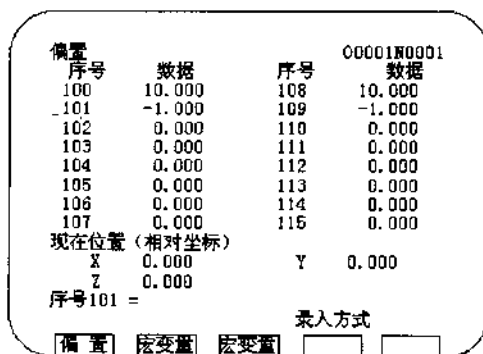


图 8.20

- ⑤模拟轨迹加工。
- ⑥装夹毛坯。
- ⑦对刀, CRT如图8.21所示。
- ⑧加工, CRT如图8.22所示。

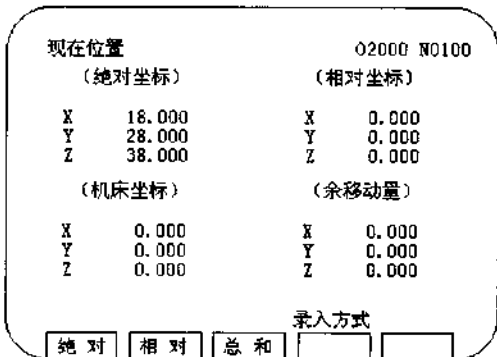


图 8.21

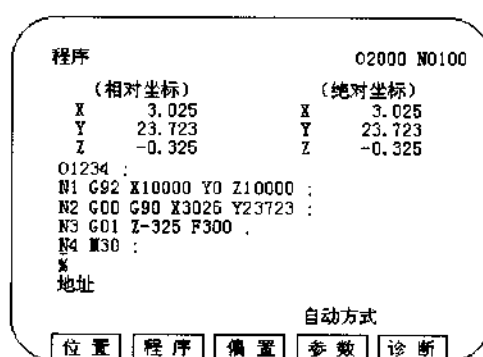
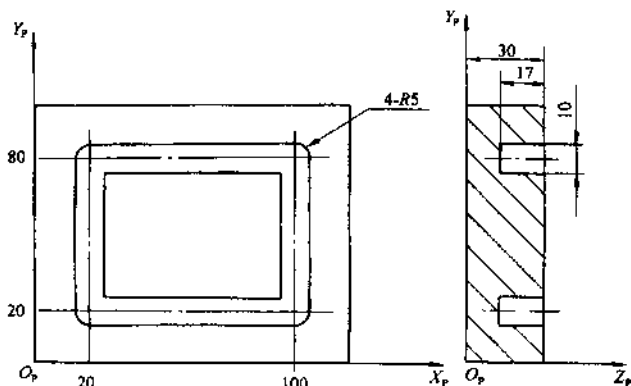


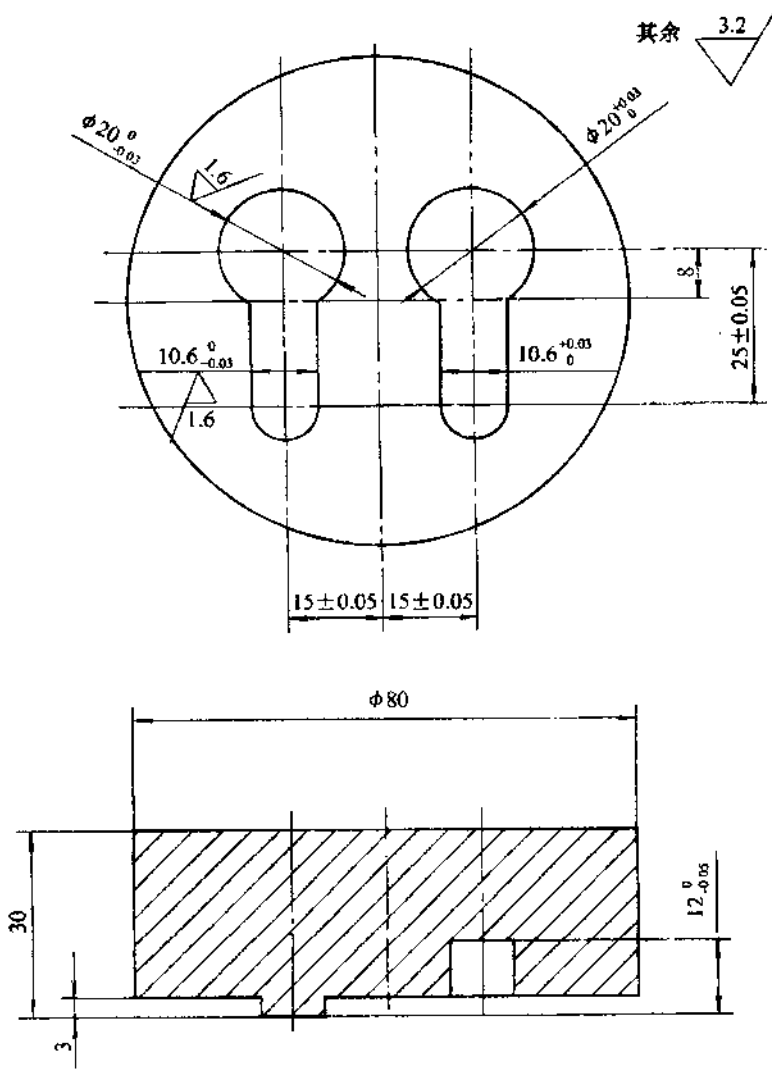
图 8.22

### 8.6 思考与练习题

如题图 8.1、8.2 所示的零件, 试编写其数控加工程序, 并加工该零件。



题图 8.1



题图 8.2

## 第9章 加工中心操作与加工

### 本章知识

- 掌握加工中心操作面板及功能
- 掌握加工中心的基本操作
- 掌握加工中心的对刀方法
- 掌握加工中心的加工方法，能对典型零件进行编程及加工

加工中心适合加工复杂零件的高效率自动化机床。加工程序的编制，是决定加工质量的重要因素。本章将介绍加工中心的工装、机床操作等内容。

### 9.1 FADAL VMC-15 加工中心简介

VMC-15 型立式加工中心的外形如图 9.1 所示。



图 9.1 VMC-15 型立式加工中心

VMC-15 型立式加工中心是由美国 FADAL 公司于 1997 年生产的一种性能优越、功能强大、价格适中、小型的立式加工中心，该加工中心可以实现 4 轴联动，工件一次装夹后，可自动连续地完成普通的钻、铣、攻丝、镗、曲线、曲面等多工序的加工以外还能进行刻字加工。

该加工中心采用 21 位伺服驱动双向换刀装置，最快可在 3 秒钟内从转盘式刀库中选好任

意一把刀具，平均换刀时间为 8 秒钟。采用德国优质滚珠丝杠；利用轴承制造业中的精密模削技术制造的淬硬滚动导轨组件，每一导轨面具有独立的自动润滑装置，保证了机床的使用寿命。

(1) 转盘式刀库 (21 把刀具)。

该刀库采用转盘式设计，结构简单、紧凑。

(2) 轴联动 X、Y、Z、A。

Z 轴坐标的运动：一般取产生切削力的轴线（即主轴轴线）为 Z 轴。Z 坐标的正方向是增加刀具和工件之间距离的方向，如在钻镗加工中，钻入或镗入工件的方向是 Z 的负方向。

X 轴坐标的运动：X 轴一般位于平行工件装卡面的水平面内，是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标轴。对刀具作回转切削运动的机床（如铣床、镗床），当 Z 轴竖直（立式）时，人面对主轴，向右为正 X 方向。

Y 轴坐标的运动：Y 轴一般位于平行工件装卡面的水平面内，是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标轴。正向 Y 坐标的运动，根据 X 和 Z 的运动，按照右手直角笛卡儿坐标系来确定。

回转进给运动坐标：+A、+B、+C，用来表示轴线与 +X、+Y、+Z 平行的旋转运动坐标。其正方向判断方法是 +X、+Y、+Z 前进时右旋螺纹的方向，也就是若朝 X、Y、Z 正方向看去时，逆时针方向为正方向。

(3) 带有自动对刀仪。

(4) RS-232 接口（通信接口）。

由于 FADAL VMC-15 加工中心的内存有限（64KB），可以将大量信息存在电脑中再通过通信接口利用通信软件调用信息。

(5) DNC 功能（直接数控）。

实现人机分离靠通信接口在远程控制机床，这样一来在办公室内一个人就能控制多台机床，提高了工作效率。

(6) 主轴转速 0~7500 转/min。

(7) 主轴交流伺服电机 11.2rW。

(8) 与 FANUC 兼容。

(9) 工作台面 750mm×410mm。

(10) 重复定位精度  $\leq \pm 0.0025\text{mm}$ 。

(11) 定位精度  $\leq \pm 0.005\text{mm}$ 。

## 9.2 操作面板及功能介绍

### 9.2.1 操作面板

VMC-15 型立式加工中心操作面板如图 9.2 所示。



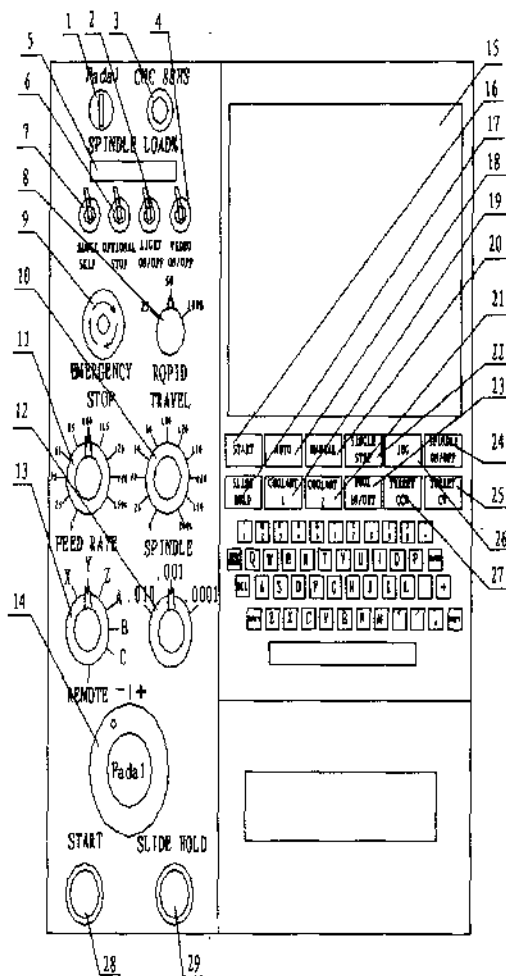


图 9.2 操作面板

### 9.2.2 功能键介绍

(1) 程序保护锁 当保护锁处于“ON”状态时，不能对所输的程序进行修改，同时，也不能进行程序的输入。

(2) 台灯开、关选择键。

(3) 指示灯。

(4) 显示屏开、关选择键 当加工中心进行加工时，只须按程序执行，此时，显示屏可能关闭。

(5) 主轴负载倍率显示 显示主轴的负载。

(6) 停止选择键 当加工中心正加工时，将此键置“ON”状态，加工中心停止加工。

(7) 跳选开关 看图时应用此键，不让图像显示语句跳过，而在加工过程中应用该键，使图像显示语句跳过去。

(8) 快速进给倍率旋钮 选择在 G00 状态下，加工中心刀具进给速度的倍率。

- (9) 急停开关 在加工中心加工过程中, 如有什么意外状况需要立刻停止, 可按这个键。
- (10) 主轴转速倍率键 通过旋转该键来调节主轴的转速。
- (11) 加工进给倍率键 通过旋转该键来调节加工的刀具进给速度。
- (12) 手动倍率选择键 通过旋转该键来调节手动操作时各轴的速度。
- (13) 轴选择键 在手摇时选择使选定轴运动。
- (14) 手摇脉冲发生器。
- (15) 显示屏。
- (16) 循环启动键 按下该键, 加工中心将按程序进行循环加工。
- (17) 进给保持键。
- (18) 自动加工键 使加工中心进入自动加工状态。
- (19) 柱状切削液开。
- (20) 返回键。
- (21) 雾状切削液开。
- (22) 单段执行键 使加工中心执行单段加工。
- (23) 刀具的拆装键。
- (24) 主轴启、停选择键 通过该键选择主轴的停止和运行。
- (25) 手动方式键 按下该键, 使加工中心进入手动方式。
- (26) 刀库逆时针旋转键 按下该键, 刀具库逆时针旋转。
- (27) 刀库顺时针旋转键。
- (28) 循环启动键。
- (29) 进给保持键。

## 9.3 基本操作方法

### 9.3.1 开/关机及回零操作

#### 1. 开空气压缩机

合上电源开关, 开空气干燥机, 空气干燥机运行 10min 后, 开空气压缩机 (释放急停开关, 按复位键, 开空气压缩机)。

#### 2. 开稳压器

合上电源开关, 开稳压器, 使电压控制在 380V (如果有偏差可以手动调节)。

#### 3. 开机

##### (1) 检查。

- ① 油位离开底部大于 1 英寸 (润滑油采用美孚 2 号机油)。
- ② 加满冷却液。
- ③ 插好通信接口即 232 接口。

##### (2) 开压缩空气阀门 空气压力 80~100 帕。

(3) 开主机电源 将主电源盒中的闸刀开关向上推, 然后按绿色的数控系统电钮持续 3s 以上。

(4) 检查轴零位是否回零 观察轴标识器是否校正, 若没有校正, 按“JOG”键, 移动各轴使之对准标识刻线。

#### 4. 按“MANUAL”键

按“MANUAL”键, 使屏幕底下出现命令状态信息, 即 ENTER NEXT COMMAND<, <键入 CS 命令, 再按 ENTER 键, 建立机床零点。

#### 5. 关机

在屏幕底行出现命令状态信息下即 ENTER NEXT COMMAND。

(1) 键入 SET CS→再按“ENTER”键。

(2) 键入 HIO→再按“ENTER”键。

(3) 屏幕左上角出现 WAITING (等待) 提示后→按“START”(启动)键。

(4) 拉下电闸→关压缩空气阀门→关稳压器→关电源→关空压机→关空气干燥机。

### 9.3.2 机床手动操作

#### 1. 用手摇脉冲发生器移动刀具和工作台

在命令状态“ENTER NEXT COMMAND<”提示后→按“JOG”键→由轴选择开关选择移动的轴→由手动倍率选择键选择速度→顺时针方向摇动手轮→刀具向正方向移动(逆时针方向摇动手轮→刀具向负方向移动)。

#### 2. 用按键移动刀具和工作台

在命令状态“ENTER NEXT COMMAND<”提示后→按“JOG”键→按键盘上 X、Y、Z 选择移动轴, 按键盘上“+”或“-”键选择移动方向, 选择增量可按 H (0.010)、M (0.001) 和 L (0.0001) →每按一次“JOG”键, 轴就会按设定的方向增量移动。

#### 3. 主轴开和关

开主轴→按“SHIFT”键+“SPINDLE”(ON/OFF)键。

关主轴→按“SPINDLE”(ON/OFF)键。

### 9.3.3 加工程序的建立和编辑

#### 1. 进入程序库建立新程序名作为当前程序

(1) 机床屏幕出现如图 9.3 所示。

```

READY FOR MAUAL DATA INPUT
G90 MODE
FORMAT 1 IS IN EFFECT
TOOL 4 IS IN SPINDLE

ENTER NEXT COMMAND<PR✓
  
```

图 9.3

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 PR 命令, 按 Enter 键, 屏幕如图 9.4 所示。

```
OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM:
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER<3
```

图 9.4

(3) 键入数字 3 (建立一个新程序), 屏幕如图 9.5 所示。

```
OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM:
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER 3
ENTER NEW PROGRAM NUMBER<1
```

图 9.5

(4) 键入新的程序名如程序名为 1 就键入数字 1, 屏幕如图 9.6 所示。

```
OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM: 1
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER<
```

图 9.6

新程序 (1 号程序) 为当前程序。

## 2. 进入程序库查看已有程序名

(1) 机床屏幕如图 9.7 所示。

```

READY FOR MAUAL DATA INPUT
G90 MODE
FORMAT 1 IS IN EFFECT
TOOL 4 IS IN SPINDLE

ENTER NEXT COMMAND<PR/>

```

图 9.7

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 PR 命令, 按 Enter 键, 屏幕如图 9.8 所示。

```

OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM:
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER<2

```

图 9.8

(3) 键入数字 2 (查看程序库中已有程序名), 屏幕如图 9.9 所示。

```

1
3
4
1219
2233
NO MORE PROGRAMS, PRESS ANY KEY TO CONTINUE<

```

图 9.9

以上 1、3、4、1219、2233 为程序库中已有的程序名。

## 3. 进入程序库选择已有程序为当前程序

(1) 机床屏幕如图 9.10 所示。

```

READY FOR MAUAL DATA INPUT
G90 MODE
FORMAT 1 IS IN EFFECT
TOOL 4 IS IN SPINDLE

ENTER NEXT COMMAND<PR/

```

图 9.10

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 PR 命令, 按 Enter 键, 屏幕如图 9.11 所示。

```

OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM:
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER<1

```

图 9.11

(3) 键入数字 1 (选择已有程序为当前程序), 屏幕如图 9.12 所示。

```

OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM:
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER 1
ENTER PROGRAM NUMBER OR O-WORD COMMENT<1219/

```

图 9.12

键入程序库中已有的程序名如 1219 后按回车键, 屏幕如图 9.13 所示。

```

OPTIONS:                                CURRENT PROGRAM: 1219
1 SWITCH TO ANOTHER PROGRAM
2 DISPLAY PROGRAM NUMBERS
3 START A NEW PROGRAM
4 COPY OLD PROGRAM
5 REMOVE OLD PROGRAM
6 EXIT
PRESS OPTION NUMBER<

```

图 9.13

1219 程序为当前程序。

#### 4. 编辑当前程序

(1) 机床屏幕如图 9.14 所示。

```

READY FOR MAUAL DATA INPUT
G90 MODE
FORMAT 1 IS IN EFFECT
TOOL 4 IS IN SPINDLE

ENTER NEXT COMMAND<PA

```

图 9.14

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 PA 命令后, 按 Enter 键, 屏幕如图 9.15 所示。

```

<N0 001 01
EDIT-----PRESS H FOR HELP,SPACE BAR FOR NEXT MENU----
U-UP      F-FUNCTIONS      C-CHANGE      S-SEARCH      N-NUMBER
D-DOWN    G-GRAPHS        I-INSERT      R-REPLACE     O-COPY
ENTER-PAGE DOWN  BACKSPACE-PAGE UP  DEL-DELETE   P-PROGRAM

```

图 9.15

以上字符键其相应的功能如下:

U——光标上行; F——功能; C——修改程序 (与 CH 命令同); S——搜索、查找; N——号码; D——光标下行; G——图形模拟功能; I——插入; R——替换; O——复制; Enter-PAGE DOWN——向下翻页; BACKSPACE-PAGE UP——向上翻页; DEL——删除程序段; P——按下“P”屏幕下行出现 CURRENT PROGRAM (当前程序)。

### 9.3.4 程序模拟和自动加工

#### 1. 程序图形模拟

将需要模拟的程序建立为当前程序，在命令状态下键入 PA 命令对当前程序进行编辑，按字符键 G，出现的屏幕如图 9.16 所示（图形模拟功能）。

```

VIEW AREA      XD 279.40  TO  X 279.40
                YD 206.756 TO  Y 206.756
A  AUTO DRAW (RESTART SCALED)
C  CLEAR SCREEN
F  FULL TABLE
M  TOGGLE DISPLAY MODE
   CNC CODE, ABSOLUTE LOCATION & MODAL G0 CODE
O  PLOTTING OPTIONS
S  SINGLE STEP (START TO CANCEL)
V  TOGGLE THE VIEW [TOP]
X  EXIT

```

图 9.16

以上字符键相应的功能如下：

A——自动模拟；S——单段模拟；V——选择坐标系；X——退出。

#### 2. 自动加工

- (1) 将需要加工的程序建立为当前程序；
- (2) 在命令状态按下 2 下自动加工键（AUTO 键）；
- (3) 屏幕闪烁 WAITING；
- (4) 按启动键（START 键）；
- (5) 机床进行自动加工。

### 9.3.5 传输程序

#### 1. 在通信软件中编辑程序

在 DOS 状态下：

C:\>D:✓

D:\>CD Assist✓

D:\Assist>CD Cncdata✓

D:\Assist\Cncdata>edit✓

屏幕显示如图 9.17 所示。



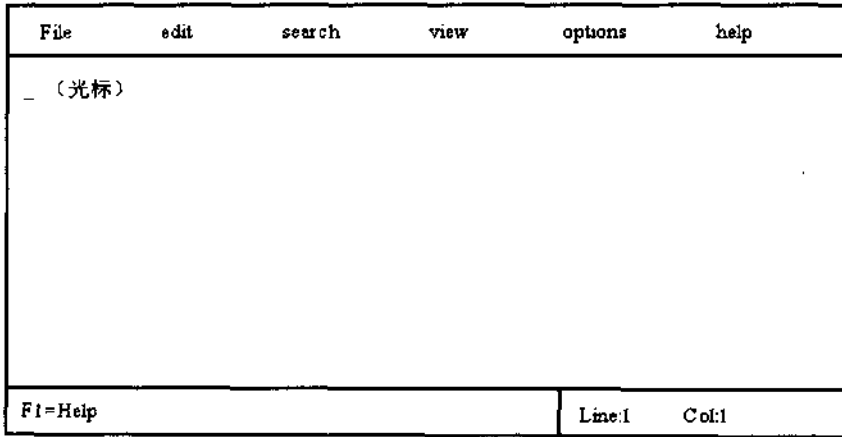


图 9.17

输入程序后，用鼠标选择目录 File，屏幕显示 File 子目录，如图 9.18 所示。

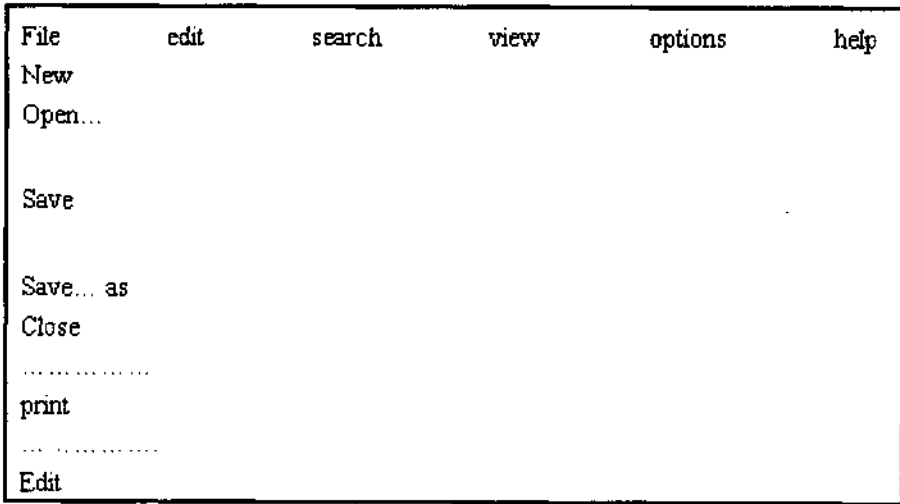


图 9.18

用鼠标选择 Save 进行保存。

## 2. 传送程序

在 DOS 状态下：

D:\Assist\Cncdata>CD.. ✓

D:\Assist\ Assist ✓

屏幕显示如图 9.19 所示。

Fadal vmc assist6.9 Main menu
1-RS232 JNPUT 2-OUTPUT 3-UTILITIES 4-PROGRAMS 5-EXIT TO DOS
ENTER SELECTION NUMBER 2✓

图 9.19

按数字键 2 后按 Enter 键输出程序，如图 9.20 所示。

OUTPUT MENU
1-TO VMC 2-TO AUXILIARY DEVICE 3-TO PRINTER 4-TO SCREEN 5-CANCEL
ENTER FUNCTION NUMBER 1✓
ENTER FILE NAME 18✓

图 9.20

按数字键 1 后按 Enter 键将程序传送到 VMC 机床。

键入程序名后按 Enter 键如 18✓。

计算机进行数据输出，机床进行数据接收。

### 9.3.6 对刀操作

#### 1. 建立 UT 命令，进行夹具补偿

(1) 机床屏幕如图 9.21 所示。

READY FOR MAUAL DATA INPUT G90 MODE FORMAT 1 IS IN EFFECT TOOL 4 IS IN SPINDLE  ENTER NEXT COMMAND<UT
--

图 9.21

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 UT 命令, 按 Enter 键, 屏幕如图 9.22 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421          1      A          0      5
Z      0          1      C

UTILITY OPTIONS (补偿应用选择)
1 TOOL SETTING CYCLE          (刀具设置)
2 FIXTURE OFFSET SETTING      (夹具补偿设置)
3 TEST TS-20 PROBE            (TS-20 探头检测)
4 TEST MP      PROBE          (MP 探头检测)
5 PALLET CHANGER              (换工作台)
6 CLOCKS                      (时钟)
7 EXIT
ENTER OPTION NUMBER< 2      (光标闪烁)

```

图 9.22

(3) 按数字键“2”和 Enter 键, 屏幕如图 9.23 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421          1      A          0      5
Z      0          1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0                A=0
Z=0

FIXTURE OFFSET OPTIONS:
1 SELECT NUMBER / LOTACOR      6 FIND CORNER
2 JOG TO LOCATE                7 FIND 90 DEGREE CORNER
3 STORE LOCATION               8 MOVE TO FIXTURE OFFSET
4 FIND CENTER OF CIRCLE        9 EXIT
5 FIND MIDPOINT
PRESS OPTION NUMBER< 1 (光标闪烁)

```

图 9.23

(4) 按数字键“1”和 Enter 键, 屏幕如图 9.24 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421          1      A          0      5
Z      0          1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0                A=0
Z=0

ENTER FIXTURE OFFSET NUMBER(1-48) < 1
ENTER LOCATOR DIAMETER < 4.20
ENTER SPINDLE RPM S<
    
```

图 9.24

(5) 输入夹具补偿号 1 和并按 Enter 键；输入探棒直径 4.2 并按 Enter 键；输入主轴转速并按 Enter 键，屏幕出现如图 9.25 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421          1      A          0      5
Z      0          1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0                A=0
Z=0

FIXTURE OFFSET OPTIONS:
1 SELECT NUMBER / LOTACOR          6 FIND CORNER
2 JOG TO LOCATE                    7 FIND 90 DEGREE CORNER
3 STORE LOCATION                   8 MOVE TO FIXTURE OFFSET
4 FIND CENTER OF CIRCLE            9 EXIT
5 FIND MIDPOINT

PRESS OPTION NUMBER < 2 (光标闪烁)
    
```

图 9.25

(6) 由于夹具号在前面已经选择好，此时只要手动探棒，获取夹具零点。按数字键“2”和 Enter 键，屏幕出现如图 9.26 所示。

```

X 154.675      1
Y 16.421      1      A      0      5
Z      0      1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0      A=0
Z=0
PRESS JOG AND MOVE TO THE FIXTURE OR PRESS MANUAL TO EXIT
    
```

图 9.26

(7) 按“JOG”键，出现的屏幕如图 9.27 所示。

```

X 97.193      1
Y 11.126      1      A      0      5
Z      0      1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0      A=0
Z=0

FIXTURE OFFSET OPTIONS:
1 SELECT NUMBER / LOTACOR      6 FIND CORNER
2 JOG TO LOCATE      7 FIND 90 DEGREE CORNER
3 STORE LOCATION      8 MOVE TO FIXTURE OFFSET
4 FIND CENTER OF CIRCLE      9 EXIT
5 FIND MIDPOINT
PRESS OPTION NUMBER< 3 (光标闪烁)
    
```

图 9.27

(8) 手动移动夹具使主轴上安装的探棒接触工件两个被测边之一（X 边或 Y 边）。按“MANUAL”键，出现的屏幕如图 9.28 所示。

```

X 154.675      1
Y 16.421      1      A      0      5
Z      0      1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0      A=0
Z=0

JOG-----
Z+L H= 254 M= 0.0254 L= 00254 HIT MANUAL TO EXIT
PROBE: TOUCHING (
    
```

图 9.28

(9) 按数字键“3”和 Enter 键，出现的屏幕如图 9.29 所示。

```

X 97.193          1
Y  1.126          1      A      0      5
Z    0            1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0                A=0
Z=0

LOCATOR COMPENSATION=2 1
STORE LOCATION
PRESS X, Y, Z OR A TO SELECT AXIS, ANY OTHER KEY TO EXIT (X

```

图 9.29

(10) 按“X”键（或“Y”键）（根据测量的 X 边或 Y 边），出现的屏幕如图 9.30 所示。

```

X 97.193          1
Y  1.126          1      A      0      5
Z    0            1      C

FIXTURE OFFSET=1
X=0
Y=0                A=0
Z=0

STORE X (Y, Z) LOCATION
PRESS ONE OF THE FOLLOWING KEYS
+ KEY, LOCATOR ON POSITIVE SIDE
- KEY, LOCATOR ON NEGATIVE SIDE
0 KEY, STORE CURRENT POSITION
STORE CURRENT POSITION < -

```

图 9.30

(11) 根据探棒在被测边的正边或负边不同，输入“+”键或“-”键，这样使系统从现在位置加上或减去探头半径，然后按数字键“3”来存储该夹具补偿值。

按任意键（除 MANUAL 键外），可回到补偿选择菜单，按数字键“2”和 Enter 键选择 JOG TO LOCATE 在探测工件的另一边（如 Y 边），以此类推。

## 2. 建立 UT 命令，进行刀具长度补偿

(1) 出现的机床屏幕如图 9.31 所示。

```

READY FOR MAUAL DATA INPUT
G90 MODE
FORMAT 1 IS IN EFFECT
TOOL .4 IS IN SPINDLE

ENTER NEXT COMMAND<UT

```

图 9.31

(2) 在命令状态 ENTER NEXT COMMAND <下键入 UT 命令, 按 Enter 键, 出现的屏幕如图 9.32 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421           1      A      0      5
Z      0           1      C

```

UTILITY OPTIONS (补偿应用选择)

1 TOOL SETTING CYCLE	(刀具设置)
2 FIXTURE OFFSET SETTING	(夹具补偿设置)
3 TEST TS-20 PROBE	(TS-20 探头检测)
4 TEST MP PROBE	(MP 探头检测)
5 PALLET CHANGER	(换工作台)
6 CLOCKS	(时钟)
7 EXIT	

ENTER OPTION NUMBER< 1 (光标闪烁)

图 9.32

(3) 按起始刀具号 1, 出现的屏幕如图 9.33 所示。

```

X 154.675          1
Y 16.421           1      A      0      5
Z      0           1      C

```

TOOL SETTING CYCLE  
TOOL NUMBER=3  
DIAMETER OFFSET=  
LENGTH OFFSET=  
ENTER SETTING TOOL NUMBER < 4

图 9.33

(4) 按结束刀具号 4 和回车键, 出现的屏幕如图 9.34 所示。

```

X 154.675      1
Y 16.421      1      A      0      5
Z      0      1      C

TOOL SETTING OPTIONS:
1 JPG TO POSITION
2 PROBE LEFT MOUNT
3 PROBE RIGHT MOUNT
4 EXIT
ENTER SETTING TOOL NUMBER ( 1
    
```

图 9.34

(5) 按数字键 1 键，出现的屏幕如图 9.35 所示。

```

X 154.675      1
Y 16.421      1      A      0      5
Z      0      1      C

TOOL SETTING OPTIONS:
1   JPG TO POSITION
2   PROBE LEFT MOUNT
3   PROBE RIGHT MOUNT
4   EXIT
ENTER HEIGHT BLOCK SIZE ( 0.1
    
```

图 9.35

(6) 输入塞尺厚度 0.1 按 Enter 键，出现的屏幕如图 9.36 所示。

```

X 154.675      1
Y 16.421      1      A      0      5
Z      0      1      C

TOOL NUMBER=1
DIAMETER OFFSET=
LENGTH OFFSET=

TOOL SETTING OPTIONS:
1 ENTER TOOL DIAMETER
2 LOCATE LENGTH
3 EXIT
PRESS OPTION NUMBER ( 1
    
```

图 9.36

(7) 按数字键 1 和刀具直径键，出现的屏幕如图 9.37 所示。



```

X 154.675      I
Y 164.21      I   A   0   5
Z      0      I   C

TOOL NUMBER=1
DIAMETER OFFSET=
LENGTH OFFSET=

TOOL SETTING OPTIONS:
1 ENTER TOOL DIAMETER
2 LOCATE LENGTH
3 EXIT
PRESS OPTION NUMBER < 2
    
```

图 9.37

(8) 按数字键 2 及 JOG 键获取长度，完成后按 MANUAL 键对下一把刀具的长度补偿直至全部刀具对完。

## 9.4 加工操作实例

### 9.4.1 零件及加工要求

例：要求在加工中心上加工如图 9.38 所示零件。毛坯为 80mm×80mm×15mm 的铝块，本加工外轮廓(76±0.1)mm，内轮廓(40±0.1)mm，4-φ12mm 孔和铣上平面至尺寸 14mm。试进行工艺分析和程序编制。

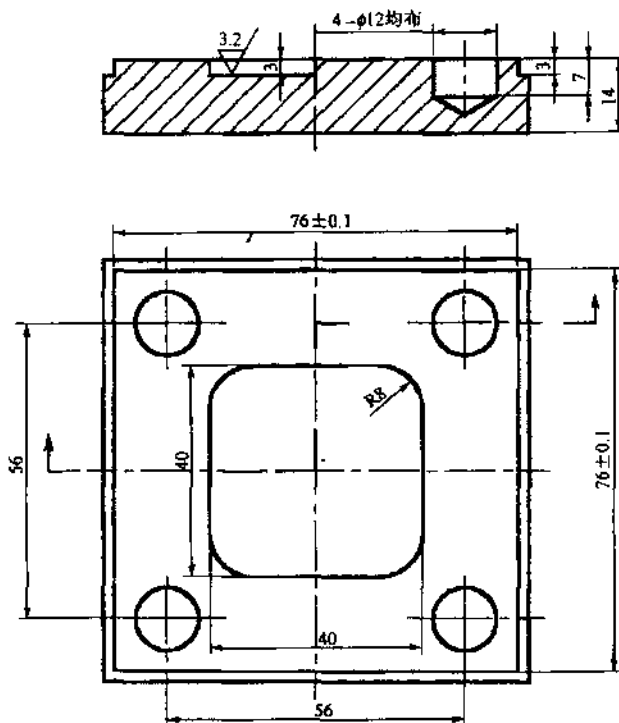


图 9.38 加工实例

### 9.4.2 工艺分析及处理

该零件毛坯为铝件，切削性能较好。尺寸精度不高，粗糙度要求也不高，加工余量不大，所以不分粗精加工。另外由于图纸上是对称公差，所以编程时可以不考虑公差，以基本尺寸进行编程。完成零件的加工必须换两次刀，所以在加工中心上加工比较适合。

(1) 工序安排及刀具选择如表 9.1 所示。

(2) 工件安装。

表 9.1 工艺卡片

零件号			零件名称				材料	HT32-52
程序编号	00003		机床型号			VMC-15	制表	日期
工序内容	工步号	顺序号	刀具号	刀具		主轴转速	进给速度	备注
				种类	直径			
铣平面	1	N1~	T1	端铣刀	$\phi 100$	S600	F100	切深 1mm
铣外轮廓	2	N100~	T2	键槽铣刀	$\phi 14$	S1000	F100	切深 3mm
铣凹槽	3	N210~	T2	键槽铣刀	$\phi 14$	S1000	F100	切深 3mm
定点钻孔	4	N255~	T3	中心钻	$\phi 2$	S1200	F100	孔深 1mm
钻孔 4- $\phi 12$	5	N350~	T4	麻花钻	$\phi 12$	S800	F100	孔深 7mm

由于工件为方形，且底面和侧面都不加工。另外尺寸 14 的设计基准为底面，所以定位面选择工件的两侧面和底面。选择平口钳为安装夹具。

### 9.4.3 程序编制

#### 1. 程序原点的确定

由于尺寸高度 14 的设计基准为工件的底平面，为满足加工要求，程序的原点设置在工件上平面左下角处。

#### 2. 程序编制

O0003	程序名
N10 M6 T1 (D=100)	选择 $\phi 100\text{mm}$ 的端铣刀加工平面
N20	
N30 G00 G90 E1 X-50. Y40.	建立夹具补偿
N40 M3 S600	
N50 H1 Z20.	建立刀具 (1#刀) 长度补偿
N60 G01 Z-1. F100	
N70 X150.	
N80 Z2.	
N90 G00 H0 Z0	撤销刀具 (1#刀) 长度补偿
N100 M6 T2 (D=14)	选择 $\phi 14\text{mm}$ 的立铣刀加工凸台
N110 M3 S1000	

N120	G00 H2 Z20.	建立刀具(2#刀)长度补偿
N130	X-20. Y-20.	
N140	G01 Z-4. F100	
N150	G41 X2. Y-10	建立刀具半径左补偿。因为在建立刀具长度补偿时已经输入了刀具直径,因此建立刀具半径补偿时机床可按该刀具直径偏一个半径,不必写D××或
	H××	
N160	G01 Y78.	
N170	X78.	
N180	Y2.	
N190	X-10.	
N200	G40 X-15. Y-15.	撤销刀具半径补偿
N210	Z5.	
N220	G00 X40. Y40.	
N230	G01 Z-4. F100	
N240	L9601 R0+70. R1+1.5 R2+40. R3+40.	用矩形凹槽指令加工
N245	G01 Z5. F100	
N250	G00 H0 Z0	撤销刀具(2#刀)长度补偿
N255	M06 T3 (D=2)	选择φ2mm的中心钻,点钻孔
N260	M03 S1200	
N270	H3 Z3	建立刀具(3#刀)长度补偿
N280	G00 X12. Y12.	
N290	G81 G99 R0+0.5 Z-2. F100 X12. Y12.	钻孔循环
N300	G00 X68.	钻孔
N310	Y68.	钻孔
N320	X12.	钻孔
N330	G80	钻孔循环结束
N340	G00 H0 Z0	撤销刀具(3#刀)长度补偿
N350	M06 T4 (D=12)	选择φ12mm的钻头,钻孔
N360	M03 S800	
N370	H4 Z3.	建立刀具(4#刀)长度补偿
N380	G83 G99 R0+0.5 Z-8. F100 Q2. P0.2 X12. Y12.	钻深孔循环,钻深孔
N390	G00 X68.	钻深孔
N400	Y68.	钻深孔
N410	X12.	钻深孔
N420	G80	钻深孔循环结束
N430	G00 H0 Z0	撤销刀具(4#刀)长度补偿
N440	M05	主轴停转
N450	E0 X0 Y0	撤销夹具补偿
N460	M30	程序结束

#### 9.4.4 程序检验和试切削

步骤如下:

- (1) 将程序输入系统进行图形模拟和修改。
- (2) 按要求装夹好工件和刀具。
- (3) 对刀进行工件坐标系的设置。
- (4) 进行刀具长度补偿设置。
- (5) 以上准备工作完成后, 在单程层段状态下进行试切削工件。

(6) 按图纸要求对工件进行检验, 如有不合格之处, 再修改程序或修改补偿设置, 直到工件合格为止。

### 9.5 加工中心的安全操作规程

(1) 操作前要穿紧身防护服, 袖口扣紧, 上衣下摆不能敞开, 严禁戴手套, 不得在开动的机床旁穿、脱换衣服, 或围布于身上, 防止机器绞伤。女工必须戴好安全帽, 不得留长辫子, 辫子应放入帽内, 不得穿裙子、拖鞋。

(2) 操作者要熟悉机床的一般性能、结构和传动系统, 严禁超性能使用。

(3) 开机前应检查气压, 润滑是否畅通, 保持润滑系统清洁, 润滑良好。

(4) 不能随意拆卸、移动各坐标轴及运动部件的限位开关和各种安全防护装置、电气电路。

(5) 应按说明书的规定选用刀具。

(6) 机床运转时, 不允许用手接近回转和移动部件, 也不要进入安全防护罩内。

(7) 主轴定向时, 机床主轴瞬时停止, 因马上要进行换刀, 所以不要用手触摸刀具, 更不可给刀具施加外力, 这样有可能使主轴旋转, 造成换刀失败, 损坏刀具和主轴。

(8) 加工前, 确认工件、刀具是否夹紧固定。停机后才能清除刀具和工作台上的铁屑。

(9) 调整冷却喷头的位置角度时, 必须在停机后进行。

(10) ATC 操作前必须关上机床整体防护罩正面的防护门。

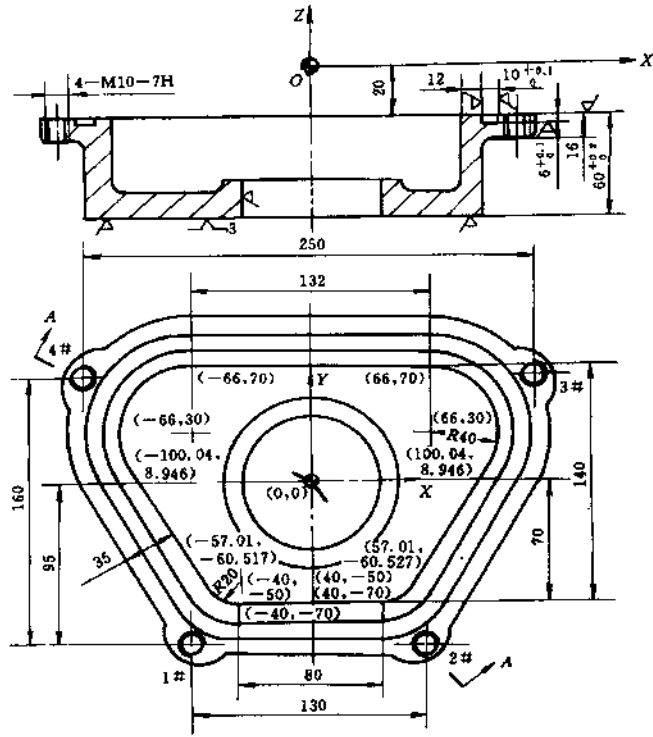
(11) 要定期检查在刀库、主轴上刀具的夹紧情况, 在 ATC 运动时不要伸手或靠近。

(12) 操作完成后必须按要求顺序关机, 切断电源, 清扫机床, 做好场地清洁工作。实行文明作业。

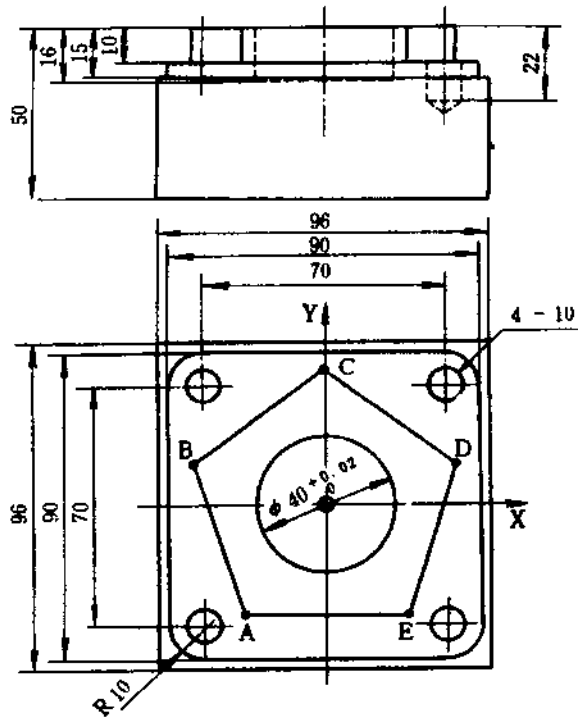
(13) 每班工作结束须做好设备运转情况记录。

### 9.6 思考与练习题

1. 按题图 9.1 和题图 9.2 所示图纸要求加工外轮廓、内轮廓以及钻孔。材料为铝合金, 试编制数控程序并加工。



题图 9.1



题图 9.2

## 第 10 章 数控电火花线切割加工

### 本章知识

- 数控电火花线切割机床的组成
- 数控电火花线切割机床的编程
- 数控电火花线切割机床的操作
- 数控电火花线切割加工操作实例

本章着重介绍数控电火花线切割加工。从机床的组成、编程、操作、日常维护和保养及常见故障着手，全面系统地分析数控电火花线切割加工工艺，并以 DK7725 型快走丝线切割机床的操作为例。编程方面介绍 CAXA-V2 线切割软件的使用方法。

### 10.1 数控电火花线切割机床的组成

#### 10.1.1 数控电火花线切割机床的组成部分及其作用

数控电火花线切割机床是电火花加工机床的一种。它采用细金属丝（钼丝或黄铜丝）作为工具电极，根据数控编程指令，细金属丝将沿着给定的轨迹加工出相应几何图形的工件的一台数控机床。

数控电火花线切割机床按电极丝运动的速度，可分为高速走丝（快走丝）机床和低速走丝（慢走丝）机床。电极丝运动速度约为  $7\sim 10\text{m/s}$  的是高速走丝，低于  $0.2\text{m/s}$  的为低速走丝。

数控电火花线切割机床发展得相当快，两种类型的机床均得到了广泛地使用。就目前而言，国内现有的线切割机床大多为快走丝机床，主要原因是一是价格比较低，二是钼丝可重复使用，但是它的缺点是精度不够高，而且穿丝比较麻烦。国外的产品和国内近些年开发的线切割机床大都为慢走丝机床。它的特点是精度高，穿丝容易，但是价格偏高，黄铜丝为一次性的，切割工件后将不再使用，故黄铜丝的消耗量比较大。

以上所述的两种不同形式的数控电火花线切割机床，就机床的结构上看有相似之处。数控电火花线切割机床主要由机床本体、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，如图 10.1 所示。这里以快走丝的数控电火花线切割机床为例介绍其组成。



图 10.1 DK7725 机床结构图

### 1. 机床本体

机床本体由床身、坐标工作台、运丝机构、丝架、工作液箱、附件和夹具等几部分组成。

(1) 床身 床身一般为铸件，是坐标工作台、绕丝机构及丝架的支承和固定基础。

(2) 坐标工作台 数控电火花线切割机床是通过坐标工作台（X 轴和 Y 轴）与电极丝的相对运动来完成工件加工的。一般都采用由 X 方向和 Y 方向组成的“+”字拖板、滚动导轨和丝杆传动副将步进电机的旋转运动变为工作台的直线运动，通过两个坐标方向各自的进给运动，可组合成各种平面图形轨迹。

(3) 走丝机构 在高速走丝机床上，将一定长度的电极丝平整地卷绕在贮丝筒上，采用恒张力装置控制电极丝的张力。采用恒张力装置一方面用来控制上丝时的电极丝的张力，另一方面用来控制机床加工一段时间后电极丝由于伸长造成的丝的张力变化。贮丝筒是通过联轴节与驱动电动机相连。为了重复使用该段电极丝，驱动电动机必须由专门的换向机构控制其正反转。在运动过程中，电极丝由丝架支撑，并依靠上、下导轮确保电极丝与工作台垂直或倾斜一定的几何角度（锥度切割时）。

锥度切割时，下丝架固定不动，而上丝架允许沿 X 方向或 Y 方向移动一定距离。这就形成了 U 轴（沿 X 方向移动）和 V 轴（沿 Y 方向移动）。

### 2. 脉冲电源

数控电火花线切割加工脉冲电源的脉宽较窄（ $2\sim 60\mu\text{s}$ ），单个脉冲能量下的平均峰值电流仅（ $1\sim 5\text{A}$ ），所以数控电火花线切割加工通常采用正极性加工。脉冲电源的形式品种很多，如晶体管矩形波脉冲电源、高频分组脉冲电源、并联电容型脉冲电源和低损耗电源等。这里介绍高频分组脉冲电源。

高频分组脉冲波形如图 10.2 所示，它是由矩形波派生的一种脉冲波形，即把较高频率的小脉宽和小脉间的矩形波脉冲分组成为大脉宽和大脉间的输出波形。

由于脉冲电源的脉宽较窄，因此将直接影响到切割速度，进而导致加工效率较低。若提高脉宽，延长放电时间又将会造成工件表面粗糙度值的变大。由此可知，脉宽与切割速度这两项工艺指标是互相矛盾的，即欲提高切割速度，则需要加大脉宽，工件的表面粗糙度值变大，若要求工件表面粗糙度值小，则切割速度就必须下降很多。而高频分组脉冲波形在一定程度上能解决这两者之间的矛盾。包含了若干个小的脉宽和脉间。小的脉宽解决工件的表面粗糙度，而大的一个组又提高了加工的效率。在相同工艺条件下，可获得较好的加工效果，因而得到了越来越广泛的应用。

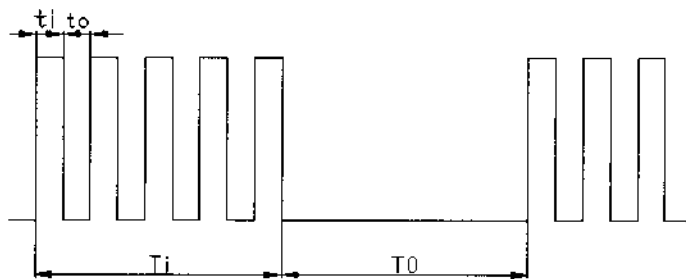


图 10.2 高频分组脉冲波形

### 3. 工作液循环系统（如图 10.3 所示）

在线切割加工过程中，需要稳定地供给有一定绝缘性能的工作介质——工作液，用来

冷却电极丝和工件，排除电蚀产物。另外工作液也对加工工艺指标产生影响，如切割速度、表面粗糙度、加工精度等。低速走丝的线切割机床大多采用去离子水作工作液，通常用浸没式供液方式。高速走丝线切割机床使用的工作液是线切割专用乳化液，通常用浇注式供液方式。

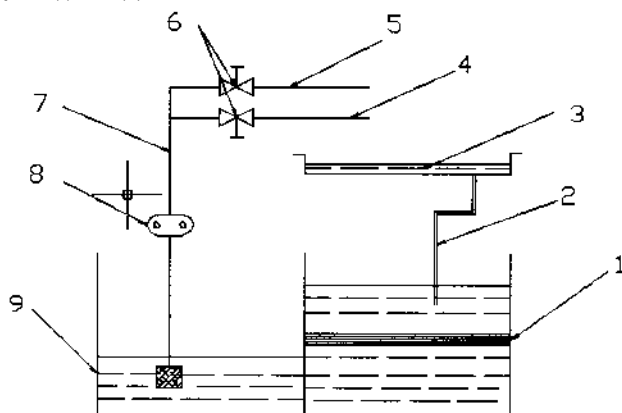


图 10.3 线切割机床工作液系统图

- 1—过滤器 2—回液管 3—工作台 4—下丝臂进液管 5—上丝臂进液管  
6—流量控制阀 7—进液管 8—工作液泵 9—工作液箱

#### 4. 控制系统

目前电火花线切割机床普遍采用数字程序控制技术，如图 10.4 所示。数字程序控制器是该技术的核心部件，它是一台专用的小型电子计算机，由运算器、控制器、译码器、输入回路和输出回路组成的。高速走丝线切割机床的控制系统通常采用步进电机开环控制系统，而低速走丝线切割机床的控制系统则采用伺服电机闭环控制系统。

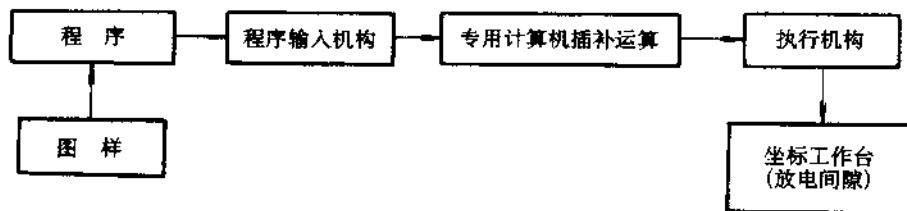


图 10.4 数字程序控制过程框图

数控电火花线切割机床控制系统的主要功能如下。

(1) 轨迹控制：该系统能够精确控制电极丝相对于工件的运动轨迹，从而确保加工出符合要求的工件尺寸和形状。

(2) 加工控制：该系统能够用以控制伺服进给速度、步进电机的步距角、脉冲电源产生的脉冲能量、运丝机构及工作液循环系统等。

电火花线切割机床控制系统的控制方法有逐点比较法、数字积分法、矢量判别法和最小偏差法等。高速走丝线切割机床的控制系统通常采用逐点比较法。机床的 X、Y 轴是不能同时进给的，只能按直线的斜率或曲线的曲率来交替地一步一微米地逼近，因此步进电机每进给一步，都必须要求数控系统完成偏差的判别、工作台滑板进给、偏差计算和终点



判别 4 个工作节拍用来完成数控差补。图 10.5 所示为其插补原理图。

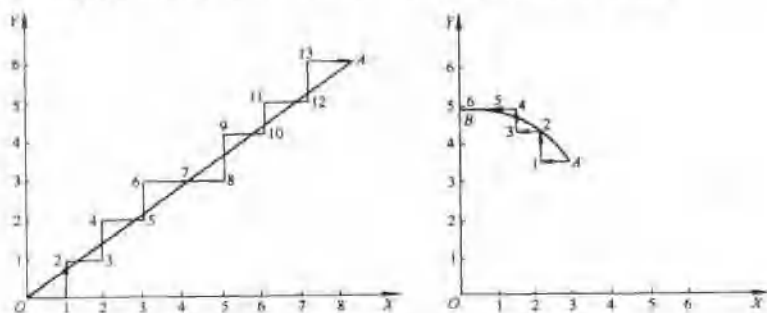


图 10.5 数控电火花加工的插补原理图

### 5. 机床附件



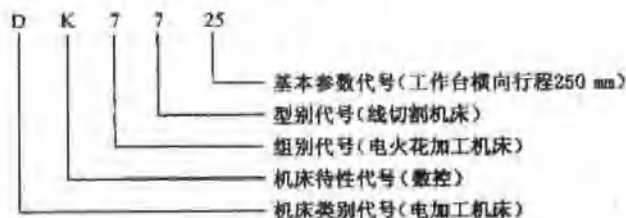
图 10.6 钼丝垂直校正器

机床的附件包括机床上的导轮、导电块、挡块和导轮轴承，还有套筒手柄和钼丝垂直校正器。套筒手柄用于上丝和调整线架的高度，便于加工厚的工件。钼丝垂直校正器用于对钼丝的垂直校正，它是在垂直校正器侧面的上下位置上各安装了一个红色的发光二极管。校正前，将校正器平稳地放在工作台上，引出线与上丝架导电块的电源线连接。上下表面各安装了一个红色的发光二极管，轻轻移动工作台，将钼丝与校正器相接触，若钼丝先与校正器的上表面接触时，校正器上侧面的红色发光二极管发光，调整线架上的 U、V 轴移动距离的旋钮，可使校正器上、下表面的发光二极管同时发光，此时钼丝与工作台垂直，如图 10.6 所示。

### 10.1.2 数控电火花线切割机床的主要技术参数

国内数控电火花线切割机床型号的编制是根据 JB1838-76《金属切削机床型号编制方法》之规定进行的。机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，它表示了机床的类别、特性和基本参数。

数控电火花线切割机床型号 DK7725 的含义如下：



数控电火花线切割机床的主要技术参数包括：工作台行程（纵向行程×横向行程）、最大切割厚度、加工表面粗糙度、加工精度、切割速度以及数控系统的控制功能等。表 10.1 为国家已颁布的《电火花线切割机床参数》(GB7925-87) 标准。表 10.2 为 DK77 系列数控电火花线切割机床的主要型号及技术参数。

表 10.1 电火花线切割机床参数 GB7925--87

工作 台	横向行程	100		125		160		200		250		320		400		500		630	
	纵向行程	125	160	160	200	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000
	最大承载量/kg	10	15	20	25	40	50	60	80	120	160	200	250	320	500	500	630	960	1200
工 件 尺 寸	最大宽度	125		160		200		250		320		400		500		630		800	
	最大长度	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000	1000	1200	1200	1600
	最大切割厚度	40、60、80、100、120、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600																	
大切割锥度		0°、3°、6°、9°、12°、15°、18°(18°以上,每挡间隔增加6°)																	

表 10.2 DK77 系列数控电火花线切割机床的主要型号及技术参数

机床型号	DK7716	7720	7725	7732	7740	7750	7763	77120
工作台行程/mm	200×160	250×200	320×250	500×320	500×400	800×500	800×630	2000×1200
最大切割厚度/mm	100	200	140	300(可调)	400(可调)	300	150	500(可调)
加工表面粗糙度Ra/μm	2.5	2.5	2.5	2.5	6.3~3.2	2.5	2.5	
加工精度/mm	0.01	0.015	0.012	0.015	0.025	0.01	0.02	
切割速度/mm <sup>2</sup> ·min <sup>-1</sup>	70	80	80	100	120	120	120	
加工锥度	3°~60° 各厂家的型号不同							
控制方式	各种型号均有单板(或单片)机或微机控制							

## 10.2 数控电火花线切割机床的编程指令

数控电火花线切割机床的控制系统按操作者的“指令”去控制机床实现工件的加工过程。因此,操作者必须事先把待切割工件的几何图形,编制成控制系统所能接受的指令代码,这就是数控电火花线切割编程。

编程的方法可分为手工编程和自动编程。编程的程序格式有 ISO、3B 或 4B 等格式。

### 10.2.1 ISO 格式编程

ISO 格式编程方式是国际上通用的一种编程格式。电火花线切割数控机床常用的 ISO 代码如表 10.3 所示。

表 10.3 电火花线切割数控机床常用的 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

(续表)

代码	功能	代码	功能
G05	X 轴镜像	G59	加工坐标系 6
G06	Y 轴镜像	G80	接触感知
G07	X、Y 轴交换	G82	半程移动
G08	X 轴镜像, Y 轴镜像	G84	微弱放 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	Y 轴镜像, X 轴镜像, X、Y 轴交换	G92	定起点
G12	消除镜像	M00	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

一个完整的 ISO 格式加工程序是由程序名、程序的主体(若干程序段)指令和程序结束指令组成, 如

```

K22
N10 G92 XO YO
N20 G01 X1000 Y1000
N30 G01 X8000 Y5000
N40 G01 X2500 Y2500
N50 G01 X0 Y0
N60 M02

```

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 K22, 但是文件名不能重复。扩展名最多用 3 个字母表示, 如 K22.ISO。

程序中主体程序的主体部分由若干程序段组成, 如上面加工程序中 N10~N50 程序段。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。子程序也可取出命名后单独存储, 实现可重复调用。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。

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。机床进行跳步加工时需要用 M00 指令。

另外, 机床开、关冷却液以及开、关走丝均采用 T 指令。

程序段是由若干个程序字所组成的, 其格式如下:

```
N G X Y
```

N 为程序段的行号，由 2 位到 4 位数字组成，也可省略不写。

G 为准备功能指令，它用来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；X（或 Y）为 X（或 Y）轴移动的距离，单位常用微米，若距离后加小数点，则认为该距离单位为毫米。

常用 G 指令的详细介绍如下述。

### 1. 快速定位

指令：G00

程序格式：G00 X\_\_ Y\_\_

在机床不加工的情况下，G00 指令可使指定的某轴以最快速度移动到指定位置。

例：G00 X1000 Y2000                      X 轴移动 1mm 同时 Y 轴移动 2mm

### 2. 直线插补

指令：G01

程序格式：G01 X\_\_ Y\_\_

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。

例：G92 X0 Y0                              用以确定加工的起点坐标位置

G90    绝对坐标编程

G01 X1000 Y2000                          此处的 X、Y 值为终点坐标位置

例：G92 X1000 Y2000                      用以确定加工的起点坐标位置

G91    相对坐标编程

G01 X1000 Y2000                          此处的 X、Y 值为终点坐标与起点坐标之差

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，其程序段格式如下：

N G X Y U V

其中：U 轴的数值为相对 X 轴移动的距离

V 轴的数值为相对 Y 轴移动的距离

### 3. 圆弧插补

指令：G02 / G03

程序格式：G02 X\_\_ Y\_\_ I\_\_ J\_\_

G03 X\_\_ Y\_\_ I\_\_ J\_\_

G02 为顺时针插补圆弧指令，G03 为逆时针插补圆弧指令。

在程序段中，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。

例：G92 X1000 Y2000                      起点 A

G02 X6000 Y6000 I5000 J0              AB 段顺时针圆弧

G03 X9000 Y3000 I3000 J0              BC 段逆时针圆弧

### 4. 间隙补偿

指令：G40、G41、G42

程序格式: G41 D

G42 D

G41 为左补偿指令, G42 为右补偿指令。程序段中的 D 表示间隙补偿量。G40 为取消补偿指令, 它应与 G41 或 G42 成对使用。

注意: 左偏、右偏是沿加工方向看, 电极丝在加工图形左侧为左偏, 电极丝在加工图形右侧为右偏, 如图 10.7 所示。

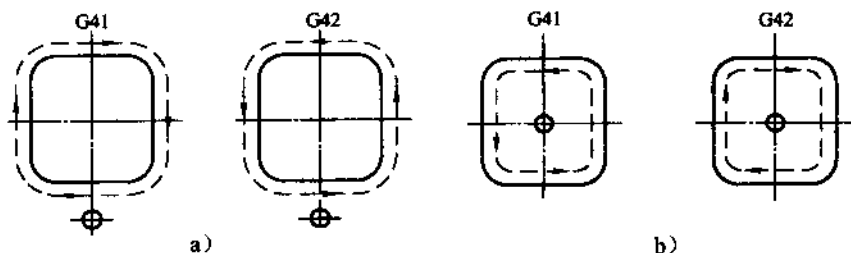


图 10.7 电极丝左偏、右偏加工指令示意图

a) 凸模加工

b) 凹模加工

### 10.2.2 3B/4B 格式编程

3B/4B 的编程格式是我国独创的一种编程格式, 其中 3B 代码编程格式常用于快走丝机床, 而 4B 格式多用于慢走丝机床。

#### 1. 3B 格式编程

程序格式: B X B Y B J G Z

其中: B——为分隔符号, 该编程格式中出现了 3 个 B, 故称为 3B 格式;

X、Y——相对坐标值;

J——加工线段的计数长度;

G——加工线段的计数方向;

Z——加工指令。

例: B3000 B1000 B3000 GX L1

(1) 坐标系和坐标值 X、Y 的确定方法: 线切割加工属于平面加工, 因此可将工作台平面作为坐标系平面。操作者面对机床的工作台, 左右方向为 X 轴, 右侧为 X 的正方向, 前后方向为 Y 轴, 前方为正。编程时, 采用相对坐标系, 即坐标原点将随程序不断变动。加工直线时, 坐标原点为加工线段的起点, 坐标值 X、Y 将是该线段的终点坐标。加工圆弧时, 坐标原点应为圆弧的圆心坐标, 坐标值 X、Y 将是圆弧的起点坐标。坐标值 X、Y 的单位应是微米 ( $\mu\text{m}$ ), 坐标值的负号不写。

(2) 计数方向 G 的确定方法: 加工直线时, 终点靠近 X 轴, 则计数方向就取 X 轴。记作 GX, 反之则记作 GY; 倘若加工直线与坐标轴成  $45^\circ$ , 则取 X 轴或 Y 轴均可。加工圆弧时, 终点靠近 X 轴, 则计数方向必须选 Y 轴, 反之也如此。倘若加工圆弧的终点坐标与坐标轴成  $45^\circ$  时, 则取 X 轴或 Y 轴均可。

(3) 计数长度 J 的确定方法: 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线段或圆弧在计数方向坐标轴上的投影的绝对值总和。单位是微米 ( $\mu\text{m}$ )。

加工指令 Z 的确定方法：加工直线时有 4 种加工指令：L1、L2、L3、L4，如图 10.8 所示，当直线在第 I 象限（包括 X 轴正方向而不包括 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 X 轴负方向）时，记作 L2；那么 L3、L4 则依此类推。

加工顺时针圆弧时有 4 种加工指令：SR1、SR2、SR3、SR4，如图 10.9 所示，当圆弧的起点在第 I 象限（包括 y 轴而不包括 x 轴正方向）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 轴正方向）时，记作 SR2；那么 SR3、SR4 则依此类推。

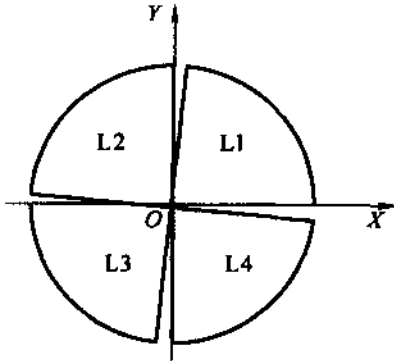


图 10.8 加工直线时的指令范围

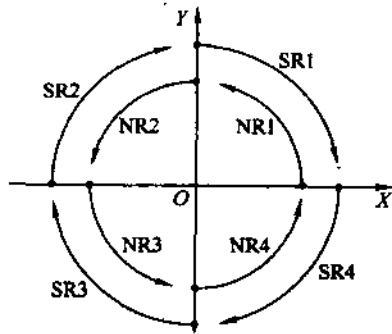


图 10.9 加工圆弧的指令范围

加工逆时针圆弧时有 4 种加工指令：NR1、NR2、NR3、NR4。当圆弧的起点在第 I 象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴正方向）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 轴负方向）时，记作 NR2；那么 NR3、NR4 则依此类推。

例：图 10.10 所示为所要加工的零件。起始点为 A，加工路线按图中所示方向，并计算各段曲线的坐标值，按 3B 格式编写该零件的线切割加工程序。

按 3B 格式书写编程清单，程序如下：

```

K22.3B
B1000 B0 B1000 GX L1
B1000 B0 B2000 GY NR3
B1000 B0 B1000 GX L1
B1000 B2000 B2000 GY L3
B2000 B0 B2000 GX L3
B1000 B2000 B2000 GY L2
MJ                                结束句
    
```

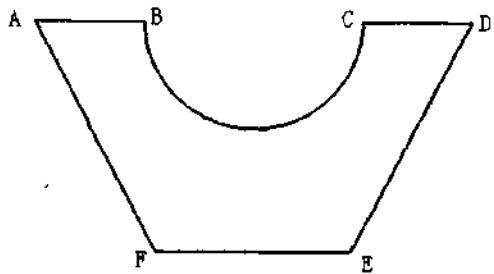


图 10.10 加工工件

## 2. 4B 格式编程

4B 格式为有间隙补偿的程序。

程序格式：B X B Y B J B R G D (DD) Z

其中：格式中的前 3 项与 3B 格式相同；

R——为圆弧半径；

G——计数方向（同 3B）；

D (DD) ——曲线形式；

Z——加工指令（同 3B）。

4B 格式编程与 3B 格式相比，只是多了两项程序字。

(1) 圆弧半径 R 通常是图形上已知的圆弧半径，但加工图形为尖角时，该 R 应大于间隙补偿量的圆弧过渡。

(2) 曲线形式 D 或 DD：D 表示为凸圆弧，DD 为凹圆弧。

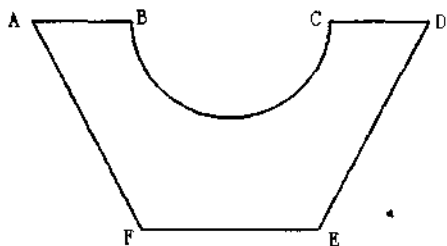


图 10.11 加工工件

例：图 10.11 所示为加工凹模零件，起始点为 A，加工路线按图中所示方向，并计算各段曲线的坐标值，按 4B 格式编写该零件的线切割加工程序。（电极丝为  $\phi 0.16\text{mm}$  的钼丝，单边的放电间隙为  $0.01\text{mm}$ ）

确定间隙补偿量： $f=0.16/2+0.01=0.09\text{mm}$

图形上的尖角处需要加过渡圆弧，其半径应大于间隙补偿量（取  $r=0.10\text{mm}$ ）

按 4B 格式书写编程清单，程序如下：

K22.4B

B800 B0 B800 B0 GX L1	
B0 B100 B100 B100 GY D SR1	过渡圆弧
B1000 B0 B2000 B1000 GY D NR3	
B100 B0 B100 B100 GX D SR2	
B800 B0 B800 B0 GX L1	
B0 B100 B100 B100 GY D SR1	过渡圆弧
B1000 B2000 B2000 B0 GY L3	
B100 B0 B100 B100 GX D SR4	过渡圆弧
B2000 B0 B2000 B0 GX L3	
B0 B100 B100 B100 GY D SR3	过渡圆弧
B1000 B2000 B2000 B0 GY L2	
MJ	结束句

## 10.3 数控电火花线切割机床的操作

### 10.3.1 线切割加工工艺分析

线切割加工工艺包括几个方面：一是线切割加工程序的编制；二是工件加工前的准备；三是合理电规准的选择；四是切割路线的确定；五是工作液的合理配置。

#### 1. 线切割加工程序的编制

(1) 加工补偿的确定：为了获得加工零件正确的几何尺寸，必须考虑电极丝的半径和放电间隙，因此补偿量应稍大于电极丝的半径与放电间隙之和。对于冷冲模还须注意凹、凸模之间的配合间隙。

(2) 切割方向的确定：对于工件外轮廓的加工适宜采用顺时针切割方向进行加工，而

对于加工工件上孔的加工较适宜采用逆时针切割方向进行加工。

(3) 过渡圆半径的确定：对工件的拐角处以及工件线线、线圆或圆圆的过渡处都应考虑用圆角过渡，这样可增加工件的使用寿命。过渡圆角半径的大小应根据工件实际使用情况、工件的形状和材料的厚度来加以选择。过渡圆角一般不宜过大，可在 0.1~0.5mm 范围内。

## 2. 工件加工前的准备

(1) 加工工件必须是导电材料，因为工件将作为电源的正极来实现加工的。

(2) 待加工的工件在加工前应进行热处理，消除工件内部的残余应力。另外，应进行去磁处理。

(3) 工件在工作台上应合理装夹，避免电极丝切割时碰到工作台。工件装夹时，还应对工件进行基准校准，一般可用百分表进行校准。

(4) 穿丝孔位置应合理选择，一般放在容易修磨凸尖的部位上。穿丝孔的大小以 3~10mm 为宜。

## 3. 合理电规准的选择

大多数的数控电火花线切割加工采用一个固定的电规准自始至终进行加工。若工件尺寸精度和表面粗糙度的要求高，则必须采用小的脉冲能量的电规准进行加工，以提高加工精度和改善加工表面粗糙度，但是加工速度将会降低。

当切割对象是尺寸精度和表面粗糙度要求不高的零件，或者对理化性能特殊的材料实行切断加工时，应采用大的脉冲能量。

## 4. 切割路线的确定

一般情况下，合理的切割路线应将工件与其夹持部位分离的切割段安排在总的切割程序末端，这样可保持工件具有一定的刚度，防止加工过程中产生较大的变形，如图 10.12 所示。

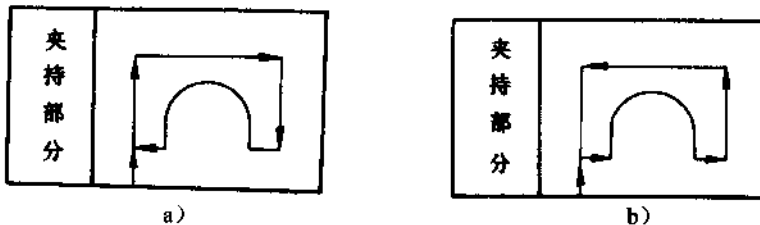


图 10.12 切割路线的制订

图 10.12a 的切割路线不合理，工件远离夹持部位的一侧会产生变形，影响加工质量；图 10.12b 的切割路线比较合理。

## 5. 工作液的合理配置

慢走丝机床的工作液是去离子水，无须考虑工作液的配置。但是快走丝机床的工作液是乳化液，就必须根据工件的厚度变化来进行合理的配置。工件较厚时，工作液的浓度应降低，增加工作液的流动性；工件较薄时，工作液的浓度应适当提高。



### 10.3.2 机床的调整

线切割加工前或对机床定期检查时,必须对机床进行调整。调整应包括以下几个方面:

#### 1. 机床的水平调整

一般来说,线切割机床均比较小巧,无须给机床做基础,只须用垫铁垫起就可以了。新机床或是使用过一段时间的机床,需要用水平仪检查机床的水平情况。

#### 2. 导轮、挡块和导电块的调整

加工前,应仔细检查导轮,注意导轮 V 形槽的磨损情况,若磨损严重,将会导致加工时钼丝的抖动,造成断丝情况的发生或影响工件的加工精度。对于档块,要注意检查钼丝是否在档块之间。对于导电块,应注意是否有电蚀物粘附在上面,应及时清理。

#### 3. 工作液的调整

加工中应密切注意工作液的浓度和导电率指标。特别是快走丝机床使用的乳化液。一般来说,切割薄的工件时,乳化液的浓度可稍高些;但对于厚的工件,乳化液的浓度应稀一些,增加乳化液的流动性,否则会造成电蚀物不能及时排出,而导致短路,无法切割。

#### 4. 工件基准和钼丝垂直调整

工件在线切割前应加工好基准面,在工件装夹时,用百分表进行校准。钼丝垂直的校准可采用钼丝垂直校准器来完成。

#### 5. 电规准的调整

电规准选择是否恰当将会对加工工件的表面粗糙度、精度及切割速度有较大影响。增加脉冲宽度,减小脉冲间隔,增大脉冲电压的幅值,提高峰值电流都将会使切割速度提高,但是会使工件的粗糙度和精度降低,电极丝的损耗也变大。反之可改善表面粗糙度,提高加工精度,减小电极丝的损耗。

#### 6. 线切割加工中的调整

线切割加工过程中,应密切留意电火花的大小和工作液的流量,应使工作液包住电火花,这样有利于电蚀物的排出。

### 10.3.3 基本操作

由于线切割机床的型号颇多,这里以苏州沙迪克公司生产的 DK7725 型线切割为例介绍其基本操作方法。

(1) 转动机床控制柜上红色的总开关,按下白色的开机按钮,启动计算机。

(2) 计算机屏幕上会出现“WELCOME TO BKDC”画面,按键盘上的任意键进入机床操作的主界面。

(3) 用电极丝垂直校准器校准钼丝的垂直,再在工作台上装夹工件并用百分表进行工件基准校准。

(4) 在机床的主界面下,按 F8 键进入 CAXA 软件的程序中,在该程序中完成图形的绘制、图形轨迹和 G 代码的生成,随后返回到机床的主界面。

(5) 在机床的主界面下,按 F7 键进入机床切割加工状态,调出软件生成的 G 代码文

件，同时屏幕上会出现工件加工的图形。加工前可先做一下仿真，在计算机上模拟切割的整个过程。

(6) 切割加工前应仔细检查机床，看是否将绕丝的套筒手柄取下，是否将安全防护罩罩好。

(7) 根据工件的加工要求合理地选择电规准。

(8) 线切割加工工件，可选择正向割（与编程的切割路线相同），也可反向割（与编程的切割路线相反）。切割时应密切注意工作液流量控制，将工作液包住电极丝。

(9) 加工即将完毕时，应注意工件可能会倒向钼丝一侧，造成工件被割坏。此时，对于薄的工件可用吸铁石吸住工件；对于厚的工件应用垫铁把工件垫起来。

(10) 加工完毕后，取下工件，擦拭干净。再将机床擦干净，工作台表面涂上机油。

#### 10.3.4 数控电火花线切割机床安全操作规程

数控电火花线切割机床的安全操作规程应从两个方面考虑，一方面是人身安全，另一方面是设备安全。具体做法如下：

(1) 操作者必须熟悉线切割机床的操作技术，开机使用前，应对机床进行润滑。

(2) 操作者必须熟悉线切割加工工艺，合理地选择电规准，防止断丝和短路的情况发生。

(3) 上丝用的套筒手柄使用后，必须立即取下，以免伤人。

(4) 在穿丝、紧丝操作时，务必注意电极丝不要从导轮槽中脱出，并与导电块有良好接触；另外，在拆丝的过程中应戴好手套，防止电极丝将手割伤。

(5) 放电加工时，工作台不允许放置任何杂物，否则会影响切割精度。

(6) 线切割加工前应对工件进行热处理，消除工件内部的残余应力。工件内部的应力可能造成切割过程中工件的爆炸伤人，所以加工时，切记将防护罩装上。

(7) 装夹工件要充分考虑装夹部位和钼丝的进刀位置和进刀方向，确保切割路径通畅，这样可防止加工中碰撞线架或加工超程。

(8) 合理配置工作液（乳化液）浓度，以提高加工效率和工件表面质量。切割工件时控制喷嘴流量不要过大，应确保工作液能包住电火花，并注意防止工作液的飞溅。

(9) 切割时要随时观察运行情况，排除事故隐患。

(10) 机床附近不得摆放易燃或易爆物品，防止加工过程中产生的电火花引起事故。

(11) 禁止用湿手按开关或接触电器，也要防止工作液或其他导电物体进入电器部分，而引起火灾的发生。

(12) 定期检查电器部分的绝缘情况，特别是机床的床身应有良好的接地。在检修机床时，切记不可带电操作。

## 10.4 加工操作实例

例：如图 10.13 所示，以汉字的“福”线切割加工为例，介绍线切割加工的工艺过程。

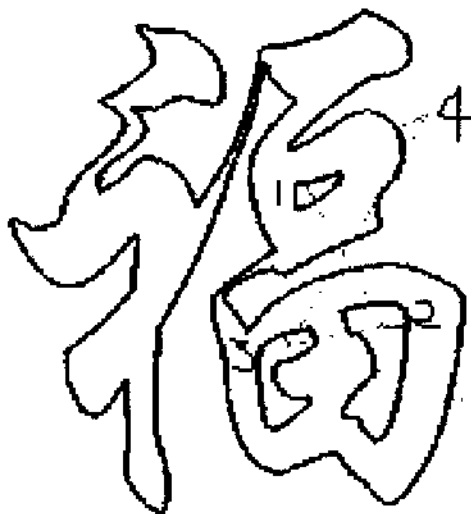


图 10.13 线切割艺术字

### 1. “福”字的加工特点

“福”字的加工包含了 3 个内孔的加工和一个外形轮廓的加工。内孔加工时应事先加工出穿丝孔，穿丝孔的位置要合理安排，采用垂直进刀方式。外形轮廓的加工也应事先加工出穿丝孔，采用垂直进刀方式。4 个穿丝孔用跳步加工方式组合起来。1 号内孔加工完成后，机床会停在 1 号穿丝点上，操作者将电极丝拆下，再按机床控制柜键盘上的确定键，机床会快速移动到 2 号穿丝点后停下，操作者将电极丝重新绕好，再次按机床控制柜键盘上的确定键，机床就会加工 2 号内孔。以下的操作均依此类推。

### 2. “福”字程序的编制

在 CAXA-V2 线切割软件上绘制“福”字，绘制完成后，生成 3 个内孔和一个外形轮廓的轨迹，轨迹生成中应设置电极丝的偏移补偿量（电极丝的半径和放电间隙之和）。选择轨迹跳步，将 4 个穿丝点依次连起来，最后生成 G 代码。

G 代码程序如下：

```
G92 X-17381 Y63800
G01 X-17519 Y64404
G03 X-15587 Y65130 I-1540 J7027
G03 X-15574 Y65139 I-46 J83
G02 X-15447 Y65163 I87 J-111
G02 X-15443 Y65101 I-94 J-36
G03 X-15446 Y65084 I92 J-24
G02 X-15819 Y64300 I-1208 J94
G03 X-15828 Y64290 I65 J-69
G02 X-17370 Y62847 I-5646 J4487
G02 X-18094 Y62617 I-706 J966
G02 X-18255 Y62775 I166 J329
```

G03 X-18179 Y64282 I-4867 J1001  
G03 X-17518 Y64404 I-1249 J8629  
G01 X-17382 Y63800  
M00  
G00 X-12670 Y53280  
M00  
G01 X-11280 Y53255  
G02 X-12094 Y46424 I-34847 J691  
G02 X-12646 Y44795 I-7292 J1562  
G02 X-13076 Y44414 I-624 J270  
G02 X-13236 Y44469 I-44 J132  
G03 X-13246 Y44481 I-79 J-53  
G02 X-13948 Y45393 I4319 J4055  
G03 X-14244 Y46073 I-1086 J-67  
G03 X-14251 Y46080 I-69 J-65  
G03 X-14610 Y46208 I-347 J-404  
G01 X-14886 Y46208  
G02 X-15141 Y46303 I47 J518  
G02 X-14451 Y47888 I3588 J-619  
G02 X-13518 Y48994 I7166 J-5102  
G03 X-13136 Y50031 I-839 J898  
G03 X-13759 Y52222 I-4033 J36  
G03 X-14675 Y52818 I-1048 J-608  
G01 X-14680  
G03 X-14809 I-61 J-1084  
G03 X-15166 Y54418 I-10233 J-1442  
G02 X-13537 Y54898 I1950 J-3608  
G02 X-11976 Y54950 I1072 J-8710  
G02 X-11388 Y54632 I-38 J-771  
G02 X-11273 Y53944 I-1379 J-584  
G01 X-11274 Y53938  
G01 X-11280 Y53255  
G01 X-12670 Y53280  
M00  
G00 X-18741 Y51738  
M00  
G01 X-19062 Y52501  
G02 X-17409 Y53009 I2968 J-6719  
G02 X-17217 Y52417 I-1024 J-659

机床暂停，操作者将钼丝拆下

机床快速移动

机床暂停，操作者将钼丝装上

G01 X-17216 Y52410  
G02 X-17177 Y51799 I-4665 J-606  
G02 X-18418 Y50892 I-2682 J2367  
G01 X-18424 Y50889  
G02 X-19557 Y50408 I-3410 J6457  
G03 X-19580 Y50396 I30 J-90  
G03 X-19852 Y49890 I348 J-512  
G03 X-19566 Y48597 I2337 J-163  
G03 X-18721 Y47580 I2012 J813  
G03 X-18711 Y47574 I51 J80  
G03 X-17479 Y47506 I699 J1469  
G02 X-17695 Y46913 I-8941 J2921  
G02 X-19252 Y45478 I-6332 J5307  
G02 X-19834 Y45265 I-629 J816  
G02 X-20106 Y45689 I529 J638  
G01 X-20108 Y45697  
G02 X-20236 Y46261 I2235 J801  
G02 X-20592 Y50437 I52065 J6540  
G02 X-20320 Y51748 I2686 J127  
G02 X-19665 Y52230 I1257 J-1023  
G01 X-19659 Y52232  
G02 X-19062 Y52501 I5767 J-11985  
G01 X-18741 Y51738  
M00  
G00 X-9770 Y69877  
M00  
G01 X-11714 Y68845  
G02 X-11355 Y67474 I-3037 J-1529  
G02 X-11545 Y65420 I-5099 J-563  
G02 X-12100 Y64498 I-2296 J752  
G03 X-12951 Y63092 I2347 J-2381  
G03 X-12859 Y61864 I2526 J-430  
G02 X-12746 Y61410 I-1805 J-693  
G02 X-12745 Y61391 I-94 J-12  
G02 X-13171 Y60657 I-965 J68  
G02 X-13898 Y60226 I-2030 J2602  
G03 X-18365 Y57590 I7438 J-17707  
G02 X-19394 Y57285 I-878 J1073  
G02 X-19427 Y57295 I11 J94

G02 X-19733 Y57691 I277 J530  
G03 X-21924 Y56684 I3235 J-9924  
G03 X-22684 Y55930 I1086 J-1856  
G03 X-22660 Y55155 I630 J-368  
G03 X-22109 Y54442 I3796 J2362  
G02 X-22102 Y54433 I-69 J-65  
G02 X-21370 Y53009 I-4103 J-3009  
G02 X-15956 Y57434 I8259 J-4581  
G02 X-12664 Y58194 I4566 J-12259  
G02 X-10298 Y57765 I339 J-4858  
G02 X-8060 Y56465 I-4269 J-9926  
G02 X-7444 Y54981 I-1059 J-1310  
G02 X-8054 Y49033 I-40134 J1113  
G02 X-8856 Y45099 I-38156 J5728  
G02 X-11296 Y39908 I-15275 J4011  
G02 X-12021 Y39349 I-1112 J692  
G01 X-12029 Y39347  
G02 X-13111 Y39755 I-228 J1033  
G02 X-13484 Y40319 I2783 J2244  
G03 X-14702 Y41627 I-3751 J-2273  
G02 X-14713 Y41636 I55 J77  
G02 X-15382 Y42571 I2186 J2270  
G02 X-15631 Y43084 I7592 J4002  
G03 X-16112 Y43063 I-205 J-784  
G01 X-16116 Y43061  
G03 X-17986 Y42261 I2642 J-8756  
G01 X-18411 Y42032  
G02 X-19839 Y41773 I-998 J1432  
G02 X-21156 Y42727 I650 J2284  
G02 X-22204 Y45001 I6101 J4189  
G02 X-22833 Y48909 I16167 J4608  
G03 X-23149 Y51769 I-24275 J-1232  
G02 X-23476 Y52954 I58804 J16910  
G02 X-23752 Y54803 I8830 J2261  
G02 X-23436 Y55945 I1815 J113  
G02 X-23427 Y55957 I78 J-54  
G02 X-21312 Y57934 I17868 J-16988  
G02 X-19784 Y59236 I78272 J-90350  
G02 X-21297 Y65671 I10912 J5962

G02 X-20541 Y68008 I4600 J-198  
G02 X-18542 Y70759 I18751 J-11521  
G01 X-18384 Y70949  
G02 X-19899 Y72532 I5012 J6315  
G02 X-20215 Y73242 I1720 J1189  
G01 X-20216 Y73248  
G03 X-20344 Y73787 I-3976 J-663  
G02 X-22152 Y66087 I-28923 J2726  
G02 X-25212 Y56910 I-57968 J14233  
G02 X-26887 Y53287 I-62709 J26794  
G03 X-27153 Y45832 I71914 J-6301  
G03 X-26570 Y42537 I13707 J728  
G02 X-26355 Y40616 I-6658 J-1718  
G02 X-26511 Y39018 I-5789 J-240  
G02 X-26800 Y38600 I-631 J127  
G02 X-26831 Y38588 I-51 J81  
G02 X-27425 Y38721 I-150 J721  
G02 X-28360 Y39714 I1859 J2689  
G02 X-29216 Y41285 I7061 J4864  
G01 X-29218 Y41290  
G02 X-29358 Y42574 I2635 J936  
G02 X-29176 Y43830 I27892 J-3398  
G03 X-29197 Y45505 I-14704 J649  
G02 X-29277 Y48600 I37396 J2512  
G02 X-30321 Y46788 I-11790 J5586  
G02 X-30979 Y46175 I-1543 J996  
G02 X-30994 Y46168 I-46 J83  
G02 X-31840 Y46385 I-259 J749  
G02 X-32544 Y47536 I2241 J2163  
G02 X-33155 Y50501 I7334 J3054  
G02 X-32719 Y51740 I1725 J90  
G02 X-32271 Y52138 I2434 J-2290  
G03 X-30364 Y54154 I-8348 J9806  
G03 X-28912 Y56095 I-30968 J24676  
G02 X-28589 Y59455 I37852 J-1938  
G03 X-28570 Y60257 I-4507 J507  
G03 X-28597 Y60266 I-15 J-1  
G02 X-28613 Y60250 I-74 J59  
G03 X-28738 Y60112 I340 J-435

G02 X-30773 Y57470 I-13161 J8035  
G02 X-32312 Y56415 I-3082 J2843  
G02 X-33933 Y56682 I-564 J1628  
G02 X-35236 Y58125 I3108 J4113  
G02 X-36499 Y60581 I12562 J8014  
G02 X-36638 Y61650 I2306 J845  
G02 X-36633 Y61673 I95 J-9  
G02 X-36453 Y61751 I127 J-45  
G02 X-35784 Y61425 I-482 J-1837  
G03 X-35260 Y61110 I1415 J1763  
G03 X-34453 Y61120 I386 J1401  
G03 X-33505 Y61571 I-646 J2580  
G02 X-32872 Y64115 I7314 J-470  
G02 X-31729 Y65741 I6148 J-3108  
G03 X-30243 Y67404 I-27154 J25749  
G03 X-29462 Y68696 I-2992 J2692  
G03 X-29695 Y69884 I-1126 J396  
G01 X-29698 Y69888  
G03 X-30188 Y70370 I-2194 J-1742  
G02 X-30747 Y70695 I237 J1050  
G02 X-30836 Y71088 I309 J277  
G02 X-30820 Y71119 I91 J-27  
G02 X-30520 Y71349 I584 J-450  
G03 X-28676 Y72778 I-3274 J6131  
G01 X-27724 Y73776  
G03 X-27537 Y74473 I-735 J570  
G01 X-27538 Y74480  
G03 X-28320 Y76246 I-2797 J-182  
G02 X-28594 Y76779 I679 J686  
G02 X-28595 Y76796 I94 J15  
G02 X-28362 Y77007 I215 J-4  
G01 X-28328 Y77008  
G02 X-27652 Y76839 I-17 J-1478  
G03 X-26090 Y76601 I1446 J4242  
G02 X-26073 Y76600 I3 J-95  
G02 X-24743 Y75989 I-378 J-2578  
G02 X-23362 Y74478 I-4657 J-5644  
G02 X-23356 Y74469 I-78 J-54  
G02 X-22912 Y72794 I-3425 J-1805



G02 X-22975 Y71152 I-6461 J-573  
G02 X-23427 Y70629 I-668 J120  
G02 X-23458 Y70624 I-30 J90  
G02 X-24569 Y70840 I20 J3055  
G03 X-25468 Y71148 I-4463 J-11578  
G03 X-26070 Y71039 I-169 J-779  
G03 X-26805 Y70513 I2687 J-4534  
G02 X-26817 Y70505 I-62 J72  
G02 X-28052 Y70170 I-1174 J1889  
G02 X-28545 Y70172 I-182 J13280  
G02 X-27939 Y69198 I-1858 J-1831  
G01 X-27938 Y69193  
G02 X-28134 Y67918 I-1490 J-423  
G02 X-29345 Y66611 I-3996 J2486  
G03 X-30369 Y65756 I5041 J-7080  
G03 X-30830 Y64367 I1087 J-1132  
G01 X-30829 Y64361  
G03 X-30774 Y64014 I3254 J342  
G02 X-29510 Y64940 I18098 J-23382  
G03 X-28974 Y65729 I-1149 J1357  
G02 X-28969 Y65740 I90 J-31  
G02 X-27384 Y66468 I1237 J-604  
G02 X-25860 Y65526 I-645 J-2748  
G02 X-24795 Y63485 I-3759 J-3259  
G02 X-24643 Y62890 I-9426 J-2722  
G01 X-22987 Y66014  
G03 X-21010 Y72614 I-23802 J10726  
G03 X-20711 Y74745 I-32891 J5702  
G02 X-20205 Y75334 I543 J46  
G02 X-19684 Y75367 I439 J-2781  
G03 X-17330 Y75972 I-1000 J8773  
G01 X-17325 Y75974  
G03 X-15538 Y76808 I-2916 J8585  
G03 X-14416 Y77771 I-3711 J5456  
G02 X-13928 Y78056 I673 J-592  
G02 X-13898 Y78058 I20 J-93  
G02 X-13088 Y77754 I-193 J-1745  
G02 X-11367 Y76397 I-5790 J-9115  
G02 X-11359 Y76387 I-66 J-69

G02 X-10909 Y75062 I-1622 J-1289  
G02 X-11060 Y73860 I-3177 J-212  
G02 X-11066 Y73846 I-90 J30  
G02 X-11652 Y73198 I-1531 J797  
G02 X-12520 Y72917 I-892 J1272  
G03 X-14103 Y72204 I229 J-2624  
G03 X-17178 Y69152 I22822 J-26072  
G03 X-18509 Y67555 I13302 J-12433  
G03 X-18574 Y67158 I596 J-302  
G03 X-16145 Y68816 I-8534 J15113  
G03 X-15283 Y69618 I-29657 J32716  
G02 X-13228 Y70141 I1535 J-1730  
G02 X-13220 Y70139 I-22 J-92  
G02 X-11952 Y69203 I-810 J-2424  
G02 X-11714 Y68845 I-1678 J-1373  
G01 X-9770 Y69877  
M02

### 3. “福”字线切割加工

“福”字线切割加工过程与上面的基本操作相同。此处不再赘述。

## 10.5 数控电火花线切割机床日常维护及保养

数控电火花线切割机床维护和保养的目的是为了保持机床能正常可靠地工作，延长机床的使用寿命。一般的日常维护及保养方法如下。

(1) 机床的定期润滑：机床上需要定期润滑部位主要有工作台纵、横向导轨、滑枕上下移动导轮、储丝筒导轨副、丝杠螺母等，可用油枪注入，做定期的注油（或油脂）润滑。

(2) 机床的定期清理：电蚀物和工作液会部分地粘附在机床导丝系统的导轮、导电块和工作台上，应及时清理。在更换工作液时可用清洁剂擦洗工作液箱和过滤网之后，再注入干净的工作液。每周应清理机床一次，清洗时应先将电极丝从导丝系统上抽掉，固定在储丝筒上，然后用干净棉丝和毛刷蘸清洁剂清洗导轮、导电块、工作液喷嘴，最后用干棉丝擦干，并在工作台面和钼丝滑块导轨上涂一层机油。

(3) 机床的定期调整：对于电极丝的挡块和导电块等，应根据使用的时间、间隙的大小和切割出的沟槽深度来进行调整。一般凭经验操作，电极丝的挡块和导电块可将其旋转，改变与电极丝的接触面。

(4) 机床附件的定期更换：机床上导轮、导电块、挡块和导轮轴承均是容易磨损的零件，操作过程中应视磨损情况进行及时更换。

## 10.6 常见故障排除

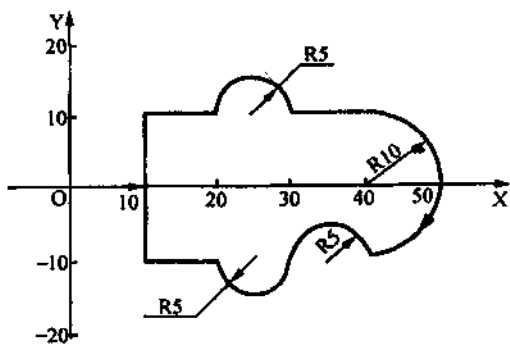
对于数控线切割机床而言，在操作过程中经常会碰到的故障主要是断丝和短路。常见故障见表 10.4 所示。

表 10.4 常见故障类型、原因及排除方法

故障类型	故障原因	排除方法
断丝	电极丝材质不好，易折弯、打结、叠丝或使用时间过长，电极丝被拉长、拉细且布满微小的放电凹坑	更换高质量的电极丝
	导丝机构的机械传动精度低，绕丝松紧不适度，导轮与储丝筒的径向圆跳动和窜动	调整导丝机构
	导电块长时间使用或位置调整不好，加工中被电极丝拉出沟槽	严重时应更换导电块
	导电轴承磨损、导轮磨损后底部出现沟槽，造成导丝部位摩擦力过大，运行中抖动剧烈	导轮磨损严重时应及时更换
	工件材料的导电性、导热性不好，并含有非导电性质或内应力过大造成切缝变窄	对工件毛坯进行热处理、去磁处理、减少残余应力
	加工结束时，因工件自重引起切除部分脱落或倾斜，夹断电极丝	可采用吸铁石吸附工件或在工件台上用垫铁支撑工件
	工作液的种类选择配制不适当或脏污严重	更换工作液或合理配制工作液
短路	导轮和导电块上的电蚀物堆积严重未能及时清洗	及时清除加工中的电蚀物
	工件变形造成切割缝变窄，使切屑无法及时排出	降低工作液浓度、合理选择电参数或停止加工来清理电蚀物
	工作液浓度太高造成排屑不畅	降低工作液浓度
	加工参数选择不当造成短路	合理选择电参数

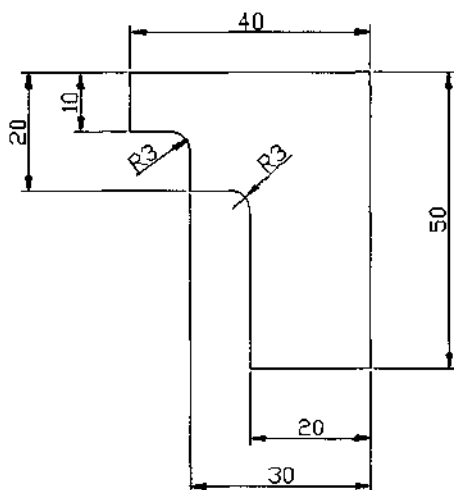
## 10.7 思考与练习题

1. 典型的数控电火花线切割机床由哪几部分组成？各部分的特点是什么？
2. 数控电火花线切割机床主要的技术参数有哪些？
3. 数控电火花线切割机床的编程指令有哪几种类型？各种类型的指令格式是怎样的？
4. 如题图 10.1 所示，试用 3B、4B 和 ISO 代码格式编写数控加工程序。



题图 10.1

5. 如题图 10.2 所示, 试用 3B、4B 和 ISO 代码格式编写数控加工程序。



题图 10.2

6. 数控电火花线切割加工工艺包括哪几个方面? 各个方面的关键工艺是什么?
7. DK7725 型线切割机床的基本操作步骤如何?
8. 数控电火花线切割机床的安全操作规程包括哪些内容?

# 第 11 章 数控电火花加工

## 本章知识

- 数控电火花机床组成
- 数控电火花机床编程指令
- 数控电火花机床的操作
- 数控电火花机床的日常维护、保养及常见故障排除

本章着重介绍了数控电火花加工，从机床的组成、编程指令、操作、加工实例、机床的日常维护及保养和常见故障排除，较全面地介绍了数控电火花的加工工艺。

## 11.1 数控电火花机床的组成

### 11.1.1 数控电火花机床的结构形式

数控电火花机床的主要结构形式有以下几种。

#### 1. 立柱式 (C 形结构)

它是大部分数控电火花机床采用的结构形式，如图 11.1 所示。在床身机座上安装了立柱和工作台，床身一般为铸件，对于小型机床，床身内安装工作液箱，大型机床则将工作液箱放置在床身外。立柱上安装了主轴头，工作台下安装了 X、Y 轴，工作台上安装油槽，油槽安装有活动门，门上嵌有密封条。此类机床的刚性比较好，导轨承载均匀，容易制造和装配。

#### 2. 龙门式

这种结构的立柱做成龙门样式，如图 11.2 所示。该结构将主轴安装在 X、Y 两个导轨上，工作液槽采用升降式结构。它的最大特点是机床的刚性特别好，可做成大型电火花机床。

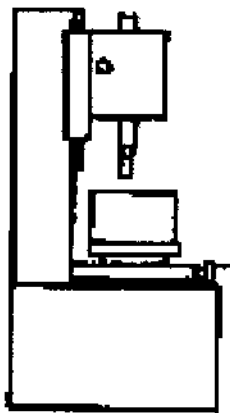


图 11.1 立柱式

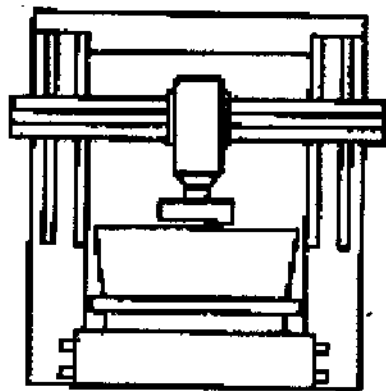


图 11.2 龙门式

### 3. 滑枕式

这种结构形式类似于牛头刨床，如图 11.3 所示。该结构将主轴安装在 X、Y 两个滑枕上，工作液槽采用升降式结构。机床工作时，工作台不动。此类机床结构比较简单，容易制造，适合于大、中型的电火花机床，它的不足之处是机床刚度会受主轴行程的影响。

### 4. 悬臂式

这种结构形式类似于摇臂钻床，如图 11.4 所示。主轴安装于悬臂上，可在悬臂上移动，上下升降比较方便。它的好处是电极装夹和校准比较容易，机床结构简单，一般应用于精度要求不太高的电火花机床上。

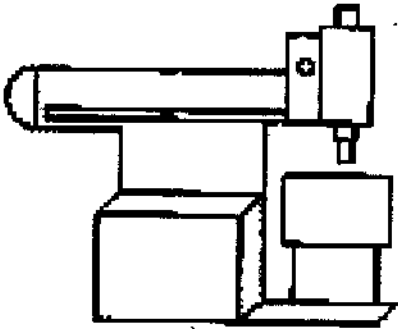


图 11.3 滑枕式

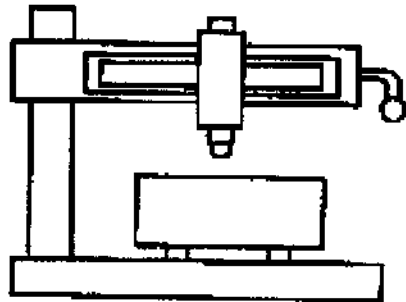


图 11.4 悬臂式

### 5. 台式结构

这种机床结构比较简单，床身和立柱可连成一体，机床的刚性较好，结构比较紧凑。电火花高速小孔机为此结构形式，如图 11.5 所示。

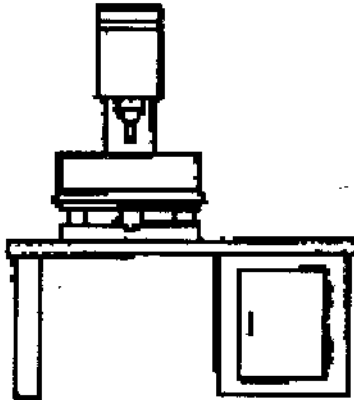


图 11.5 台式

除了以上的几种结构形式外，近年来，还研制出了小型便于携带的或移动式的电火花加工机床，如图 11.6 和图 11.7 所示。

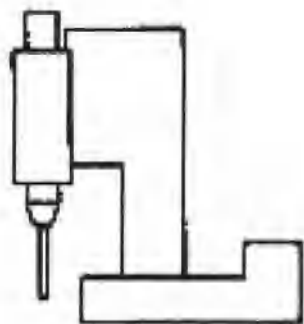


图 11.6 便携式

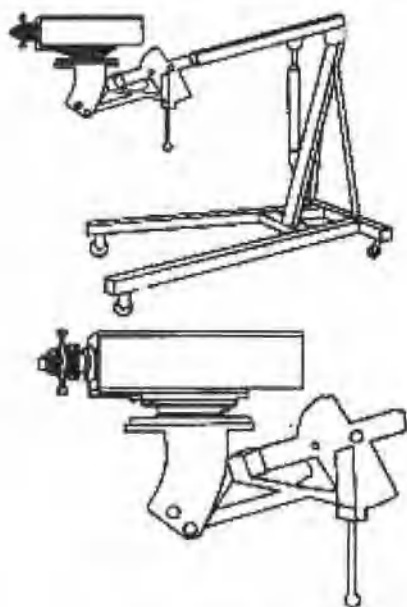


图 11.7 移动式电火花机床

### 11.1.2 数控电火花机床的组成部分及其作用

在数控电火花机床中最为常用的是电火花穿孔、成形加工机床。它包括机床的主体、脉冲电源、伺服进给系统、工作液循环系统及机床附件等组成，如图 11.8 所示。



图 11.8 数控电火花机床

#### 1. 机床的主体

主机由床身、主轴、工作台及润滑系统组成。主要用于支承工具和工件电极，保证它们之间的放电间隙，并实现加工过程中稳定的进给运动。

##### (1) 床身和立柱。

床身和立柱是机床的主体部分，它可以确保工作台与工具电极、工件电极的相对位置，且它的精度高低将直接影响加工质量。一般床身为刚性比较好的箱体结构，立柱则牢牢地固定在床身的结合面上，在立柱的前端面上安装主轴箱。整个机床呈 C 形结构。

## (2) 工作台。

它主要用来支承和装夹工件电极。工作台的下部装有 X、Y 方向的拖板，使工作台可沿 X、Y 方向移动。工作台的上部装工作液槽，一般有两种结构形式。一种为固定式结构，四周用钢板围成，两面钢板作成活动门，可打开，便于工件的装夹。门上均用密封条加以密封。另一种为升降式结构，它是在工作台的四周围成工作液槽。装夹工件时，它自动下落，隐藏于工作台和床身之间；当需要加工时，可自动升起，构成工作液槽。

## (3) 主轴。

它是机床的一个关键部件，它的好坏将直接影响加工的工艺指标，如生产率、几何精度及表面粗糙度等。主轴的结构由进给机构、导向机构、辅助机构组成。一般主轴的进给机构可采用步进电机、直流电机或交流伺服电机作为进给驱动，通过圆弧同步齿形带减速及滚动丝杠副传动，驱动主轴做上下的进给运动。主轴移动位置的显示一般用装在主轴上的百分表指示，或用数显表显示。主轴箱整体固定在立柱上，使主轴的精度保持性较好，而且拆装也比较方便。

## (4) 机床主体润滑系统。

主要是用于润滑机床的导轨、滚动丝杠副等移动部件。这些部件的润滑可采用手动或自动方式。手动方式是利用手动注油器，拉动注油器的拉杆，将润滑油压出注油缸对机床进行注油润滑。自动方式是选用自动注油器，每间隔一定时间注油一次。

## 2. 工作液循环系统

工作液循环系统包括工作液泵、容器、过滤器和管道等。它的主要功能是使工作液循环，排除加工中的电蚀物和对工件、工具电极降温。工作液的循环方式可为冲油式（上冲油或下冲油）和抽油式（上抽油或下抽油）两种。

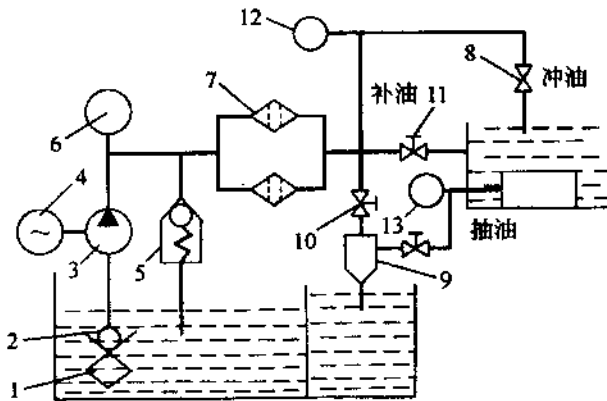


图 11.9 工作液循环系统油路图

- 1—粗过滤器 2—单向阀 3—涡旋阀 4—电机 5—安全阀 6—压力表 7—精过滤器  
8—压力调节器 9—射流抽吸管 10—冲油选择阀 11—快速进油控制阀（补油） 12、13—压力表



电火花加工所用的工作液普遍是煤油，加工过程中所产生的电蚀物颗粒非常小，而这些小颗粒会导致加工状态的不稳定，因此必须对煤油进行过滤。

### 3. 脉冲电源

电火花加工用的脉冲电源的作用是把工频交流电转换成一定频率的单向脉冲电流，用以供给电火花放电间隙所需要的能量来蚀除金属。电火花脉冲电源有 RC 线路脉冲电源、晶体管脉冲电源、高低压复合脉冲电源、多回路脉冲电源、等脉冲电源、高频分组脉冲电源和自适应控制电源等几种类型。

(1) RC 线路脉冲电源是利用电容器充、放电形成火花放电来蚀除金属。该电源充电时间很长，但放电时间却是瞬间完成，所以电能的利用率较低，生产效率也同样较低。

(2) 晶体管脉冲电源是利用功率晶体管作为开关元件而获得单向脉冲的。但目前功率晶体管的功率较小，无法实现大电流。为了进一步提高有效脉冲利用率，可采用晶闸管脉冲电源。高低压复合脉冲电源是采用两个供电回路的脉冲电源，高压回路用来形成放电通道，低压回路用以维持电压。多回路脉冲电源是将加工电源的功率级并联分割成相互隔离绝缘的多个输出端，可以同时供给多个回路，做放电加工用。等脉冲电源是确保每个脉冲在介质击穿后所释放的单个脉冲能量相等。高频分组脉冲电源是将数个小脉冲组合成大组，这样既发挥小脉冲能量小、工件的表面粗糙度小的特点，又发挥了大脉冲加工速度快、生产效率高的优势。自适应控制电源是将计算机和集成电路技术运用于脉冲电源中，它将不同材料，不同的工件加工要求，不同的电规准存在计算机的内存芯片中，操作者只需要根据加工要求，选择较为合理的电规准，脉冲电源将会输出工况较佳的电规准参数。

### 4. 机床附件

电火花机床的附件主要是主轴头夹具和平动头。主轴头夹具用来装夹工具电极。在加工前需要将工具电极调节到与工件基准面垂直。在加工型孔或型腔时，还需要有具备转动一定的角度的功能，保证工具电极的截面形状与工件一致。调节过程主要是依靠装主轴头上的球形铰链来实现的，用紧定螺钉夹紧。平动头是一个使装在其上的工具电极能够产生向外机械补偿功能的机床工艺附件。它在单电极型腔加工时，可用来补偿上一个加工规准和下一个加工规准之间的放电间隙之差和表面粗糙度之差。另外，它也是作为工件侧壁修光和提高尺寸精度而设计的附件。一般的平动头大都由电动机和偏心机构组成，由电动机驱动偏心机构使工具电极上的每个质点均围绕其原始位置在水平面上做平面小圆周运动，平面上小圆的外包络线形成加工表面，小圆的半径就是平动量。近年来，平动头也出现了多种形式，如数控平动头等，平动轨迹也从单纯的圆周运动到十字形、方形、交叉形几种，从二维平面平动方式到三维空间平动方式，如图 11.10 和图 11.11 所示。

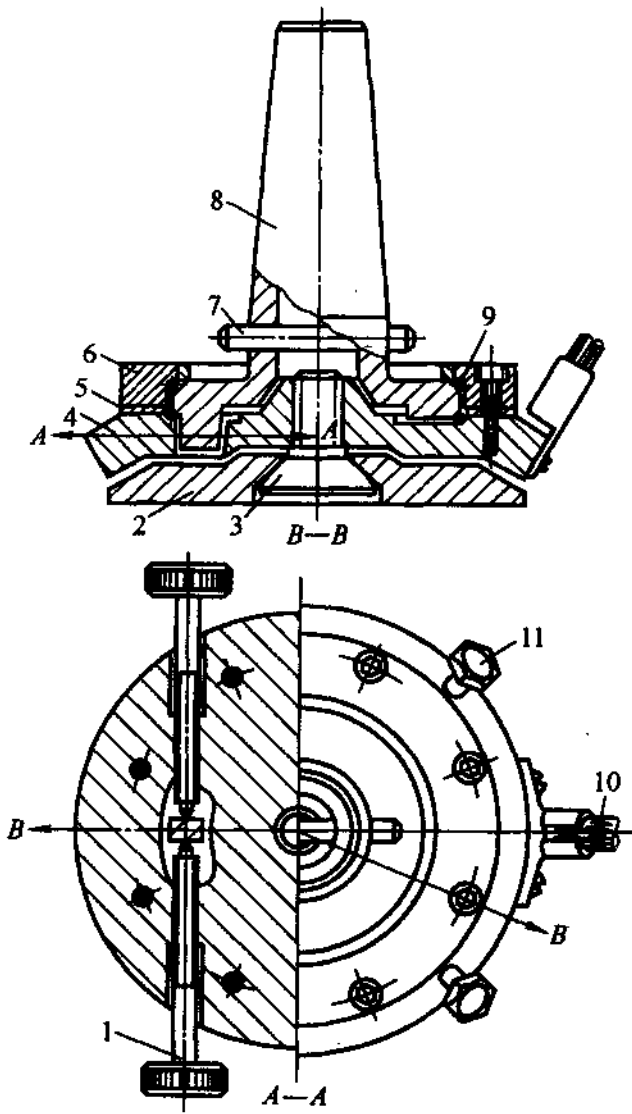


图 11.10 垂直和水平转角调节装置的夹头

- 1—调节螺钉 2—摆动法兰 3—球面螺钉 4—调角校正架 5—调整垫 6—上压板  
7—装柄座 8—锥柄座 9—滚珠 10—电源线 11—垂直度调节螺钉



表 11.1 电火花穿孔、成形加工机床的主要参数标准 (GB5290-85) /mm

工作台	台面	宽度 B	200	250	320	400	500	630	800	1000
		长度 A	320	400	500	630	800	1000	1250	1600
	行程	纵向 X	160		250		400		630	
		横向 Y	200		320		500		800	
	最大承载质量/kg		50	100	200	400	800	1500	3000	6000
	T形槽	槽数	3		5				7	
		槽宽	10		12		14		18	
槽间距离		63			80	100	125			
主轴联接板至工作台面最大距离 H			300	400	500	600	700	800	900	1000
主轴头	伺服行程 Z		80	100	125	150	180	200	250	300
	滑座行程 W		150	200	250	300	350	400	450	500
工具电极	最大质量/kg	I型	20		50		100		250	
		II型	25		100		200		500	
	联接尺寸									
工作液槽内壁	长度 d	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	
	宽度 c	300	400	500	630	800	1000	1250	1600	
	高度 h	200	250	320	400	500	630	800	1000	

电火花穿孔、成形机床按其大小可分为小型 (D7125 以下)、中型 (D7125~D7163) 和大型 (D7163 以上) 机床; 按数控程度分为非数控、单轴数控 (ZNC) 和三轴数控 (CNC) 机床; 按工具电极的伺服进给系统的类型分为液压进给 (基本淘汰)、步进电机进给、直流或交流伺服进给方式的机床。

电火花穿孔、成形机床的主要技术参数包括加工电压、加工电流、脉冲宽度、脉冲间隔、放电间隙、正负极性加工、加工速度、损耗速度、工具相对损耗比等参数。早期的电火花成形机床依靠挡位开关、依靠电压和电流表进行手动控制加工参数。而今, 普遍使用的是以计算机控制的电火花成形机床, 利用计算机屏幕上各项参数菜单, 用鼠标或键盘输入技术参数。在加工过程中, 操作者若提高脉冲频率和增加单个脉冲能量就能够提高加工效率, 但是电极损耗和工件的表面粗糙度也会随加工效率的提高而增大。因此, 合理地选择加工参数, 保证工件的加工精度, 提高生产效率, 降低加工成本都将是十分重要的。

### 1. 加工电压

加工电压是指脉冲电源电路输出的直流电压。它有高压直流电压和低压直流电压两种, 高压直流电压幅值为 250V, 低压直流电压幅值大约为 60V。由电火花加工原理可知加工过程中, 首先加高压直流电压, 形成放电通道; 在放电通道形成后, 则由低压直流电压来维持放电通道。机床控制柜上的电压表指示加工电压的幅值的变化。

### 2. 加工电流

加工电流是指脉冲电源输出的峰值电流。通过选择功率输出来调节脉冲的峰值电流, 以保证在粗、中、精加工条件下, 获得所需要的平均加工电流。加工电流在同一脉宽条件下,

与加工面积成正比, 与电极损耗成正比, 与生产率成正比, 与工件的表面粗糙度成反比。

### 3. 脉冲宽度

脉冲宽度是指一次放电的脉冲时间。脉冲宽度与放电间隙成正比, 与生产率成正比, 而与工件的表面粗糙度成反比, 与电极损耗成反比。

### 4. 脉冲间隔

脉冲间隔是指一次不放电的脉冲间隔时间。加大脉冲间隔有利于工件电蚀物的排出, 使加工稳定性变好, 不容易发生短路或电弧烧伤工件的情况。由于加工电流与加工效率成正比, 因此, 在一定的脉冲宽度下, 脉冲间隔越小, 加工效率越高, 但是稳定性能就越差; 反之, 稳定性就越好。

### 5. 放电间隙

放电间隙是指加工时工具和工件之间产生火花放电的间隙。它的大小一般为 0.01~0.5mm, 粗加工时, 放电间隙较大, 精加工时, 则较小。加工间隙又可分为端面间隙和侧向间隙。

### 6. 正、负极性加工

加工时以工件为准, 工件接脉冲电源的正极, 称为正极性加工; 工件若接脉冲电源的负极, 则为负极性加工。高生产率和低电极损耗加工时, 常采用负极性长脉宽加工。

### 7. 加工速度 (蚀除速度)

指单位时间 (min) 内从工件上蚀除下来的金属体积或质量, 也称为加工生产率。通常粗加工时大于  $500\text{mm}^3/\text{min}$ , 精加工时则小于  $20\text{mm}^3/\text{min}$ 。

### 8. 损耗速度

指单位时间 (min) 内工具电极的损耗量 (体积或质量)。

### 9. 工具相对损耗比

指工具电极损耗速度与工件加工速度之比, 在实际加工中用以衡量工具电极的耐损耗程度和加工性能。电火花加工也被称作为仿形加工, 即将工具电极的形状复制到工件上。因此降低工具电极的损耗显得非常重要。

## 11.2 编程指令介绍

### 11.2.1 编程格式

数控电火花机床的编程通常采用 ISO 代码, ISO 代码是国际标准化机构制定的用于数控编程和控制的一种标准代码。代码中分别有 G 指令 (称为准备功能指令) 和 M 指令 (称为辅助功能指令) 等。

其程序格式: N G X Y Z

其中: N——程序的行号, 一般由 2~4 位数字组成;

G——指令代码, 机床将按其指令代码要求进行移动;

X——X 轴移动距离；  
Y——Y 轴移动距离；  
Z——Z 轴移动距离。

例：G00 X100 Y200 即表示快速定位，工具电极快速定位至  $X=100\mu\text{m}$ ， $Y=200\mu\text{m}$  处。其中最小脉冲当量为  $0.001\text{mm}$  ( $1\mu\text{m}$ )，X 轴工件向右运动，Y 轴工件向前运动，Z 轴（工具电极）向上运动为机床的正向运动，数字前符号为“+”，可省略，若反方向运动则数字前加“-”号。

### 11.2.2 指令代码

表 11.2 为电火花加工中最常用的 G 指令和 M 指令代码，它是从切削加工机床的数控系统中套用过来的。不同企业的电规准代码，含义上也可能稍有差异，例如，沙迪克公司用 C 作为电规准代码，而三菱公司则用 E 表示。具体编程所需要的电规准参数应遵照所使用电火花加工机床说明书中的规定。

表 11.2 电火花加工中最常用的 G 指令和 M 指令代码

代码	功能	代码	功能
G00	快速定位	G80	有接触感知
G01	直线插补	G81	回机床“零点”
G02	顺时针圆弧插补	G90	绝对坐标系
G03	逆时针圆弧插补	G91	增量坐标系
G04	暂停	G92	赋予坐标系
G17	X-Y 平面选择	M00	程序暂停
G18	X-Z 平面选择	M02	程序结束
G19	Y-Z 平面选择	M05	不用接触感知
G20	英制	M08	旋转头开
G21	公制	M09	旋转头关
G40	取消补偿	M80	冲油、工作液流动
G41	左偏补偿	M84	接通脉冲电源
G42	右偏补偿	M85	关断脉冲电源
G54	工作坐标系 0	M89	工作液排除
G55	工作坐标系 1	M98	子程序调用
G56	工作坐标系 2	M99	子程序调用结束

下面举一简单的程序来说明用 ISO 代码所编的程序及其意义：

G90	绝对坐标系统指令
G92 X0 Y0 Z0 C0	机械零点设定、数字 0 可省去，C 为 Z 轴数控分度回转轴
M88	工作液快速充槽
M80	工作液流动
G17 F40	设定半固定轴模式（2 轴进给）和最高进给速度 F 为 $40\text{mm}/\text{min}$
E9906	调用加工条件规准（已存于“E 条件”中）

M84	加工电源接通
G01 Z-10.0	Z轴垂直向下进给10mm
M85	加工电源关断
M25 G00 Z6.0 F200	取消电极与工件接触功能, G00为快速向上回退位置6mm和速度F为200mm/min
M89	工作液排除
M02	程序结束

## 11.3 数控电火花机床的操作

### 11.3.1 数控电火花机床加工工艺分析

数控电火花加工主要有两种类型,即穿孔加工和型腔加工。下面就针对这两种加工类型来分析其加工工艺。

#### 1. 穿孔加工工艺分析

穿孔加工主要用来加工冲模、粉末冶金模、挤压模、型孔零件、小孔或小异形孔深孔。其中冲模加工是电火花加工中加工最多的一种模具。由于冲模形状比较复杂,且尺寸精度要求很高,所以它的制造已经生产上的关键技术之一。特别是凹模,一般的机械加工很困难,采用电火花加工或线切割加工将能很好地完成加工任务。

(1) 冲模电火花加工工艺方法 冲模加工中最关键的部件是凹模,凹模的尺寸精度靠工具电极来保证。因此,对工具电极的形状、尺寸精度和表面粗糙度都应有一定的要求。在设计工具电极时应根据工件的尺寸和单面的放电间隙来考虑,工具电极的尺寸等于工件相应尺寸减去两倍的单面的放电间隙。单面的放电间隙主要由脉冲参数和机床精度所决定的。因此,只要合理制订电规准,就可保证加工的稳定性。

对于冲模而言,凹、凸模的配合间隙是一个很重要的质量指标,它的大小和均匀性都将直接影响加工零件的质量和模具的使用寿命。在电火花穿孔加工中常采用“钢打钢”直接配合的方法。也就是直接用钢的凸模作为电极直接加工凹模。加工时应将凹模刃口端朝下,形成向上的“喇叭口”,加工后将凹模翻过来使用,这就是“正装反打”的方法。

冲模的配合间隙是靠调节脉冲参数,控制放电间隙来保证。

#### (2) 工具电极

① 工具电极材料的选择 凸模一般选择优质高碳钢、滚子轴承钢或不锈钢,硬质合金等。但应注意凹、凸模的材料最好选择不同钢号,否则会造成加工的不稳定。

② 工具电极的设计 工具电极的尺寸精度应高于凹模,表面粗糙度也应小于凹模。另外,工具电极的轮廓尺寸除考虑配合间隙外,还应考虑单面放电间隙。

③ 工具电极的制造 一般先经过普通的机加工,然后再进行成形磨削。

(3) 加工工件的准备 工件在电火花加工前,应对工件进行机械加工,并应留下适当的电火花加工余量。一般情况下,单边的加工余量为0.3~1.5mm为宜。

(4) 电规准的选择与转换 电规准是指电火花加工过程中选择的一组电参数,如电压、电流、脉宽、脉间等。电规准选择正确与否,将直接影响工件加工工艺指标。因此,应根据工件的设计要求,工具电极和工件的材料,加工工艺指标和经济效益等因素来确定电规

准,并在加工过程中进行转换。

一般电规准分为粗、中和精规准。粗规准主要用于粗加工阶段,应采用长脉宽,大电流负极性加工,快速蚀除金属,此时电极的损耗比较小。中规准是过渡性加工,用以减少精加工的加工余量,提高加工速度,中规准的脉宽一般选择为 $10\sim 100\mu\text{s}$ 。精规准用来最终保证冲模的配合间隙、表面粗糙度等质量指标,应选择窄脉宽小电流正极性加工。

## 2. 型腔加工工艺分析

电火花型腔加工主要是用来加工锻模、压铸模、塑料模、胶木模或型腔零件。型腔加工属于盲孔加工,工作液循环和电蚀物排除条件差,金属蚀除量比较大;另外加工面积变化大,加工过程中电规准的变化范围也较大,电极损耗会不均匀,对加工精度影响大。

(1) 电火花型腔加工方法 电火花型腔加工方法主要有单电极平动法、多电极更换法和分解电极法等。

① 单电极平动法 单电极平动法在型腔加工中应用最为广泛。它可加工各种纪念章、浮雕、模具表面的文字和图案等工件。它是采用一个电极完成型腔的粗、中和精加工的。加工过程中,首先采用低损耗、高效率的粗规准进行加工,然后利用平动头做平面的小圆运动。按照粗、中和精规准的顺序逐步改变电规准,同时应依次加大电极的平动量,来补偿前后两个加工规准之间型腔侧面放电间隙差和表面粗糙差,实现型腔侧面修光,完成整个型腔的加工。

② 多电极更换法 它是采用多个电极依次更换加工同一个型腔,每个工具电极加工时必须把上一级规准的放电痕迹去掉。一般来说,电极更换时需注意定位装夹精度问题。

③ 分解电极法 主要应用在一些型腔面积大、深度深、形状复杂、型腔底部有凹槽、图案或主型腔中有窄槽、尖角等情况。根据型腔的复杂程度,将型腔的几何形状分解成几个部分,分别制作不同的工具电极,进行电火花加工。

## (2) 工具电极。

① 电极材料选择 型腔加工用电极一般选择用耐腐蚀性高的材料,如纯铜和石墨。纯铜和石墨材料的最大特点是在宽脉冲粗加工时能实现低损耗,机加工成型也比较容易,放电加工的稳定性也比较好。

② 电极的设计 工具电极的尺寸设计一方面与模具的大小、形状、复杂程度有关,另一方面也与电极材料、加工电流、加工余量及放电间隙等有关。当采用平动法加工时,还应考虑平动量的大小。

③ 电极的制造 一般先经过普通的机加工,然后再进行成形磨削。

(3) 电规准的选择、转换、平动量的分配 一般电规准分为粗、中和精规准。粗规准主要用于粗加工阶段,一般采用长脉宽 $400\mu\text{s}$ ,选择合适的脉冲峰值电流,还应注意加工面积和加工电流之间的配合关系。中规准是过渡性加工,用以减少精加工的加工余量,提高加工速度,中规准的脉宽一般选择为 $20\sim 400\mu\text{s}$ 。精规准应选择小电流、窄脉宽 $2\sim 20\mu\text{s}$ ,适当增加脉间,但是电极损耗比较大,好在加工余量比较小,影响并不大。

平动量的分配是单电极平动加工法的一个关键问题,主要取决于被加工表面由粗变细的修光量,此外还和电极损耗、平动头原始偏心量、主轴进给运动的精度有关。一般地粗、中规准加工平动量为总平动量的 $75\sim 80\%$ ,中规准加工后,型腔基本成形,只留下少量的加工余量用于精规准修光。具体电规准的选择可参见电火花加工工艺曲线图表,如图11.12至图11.15所示。



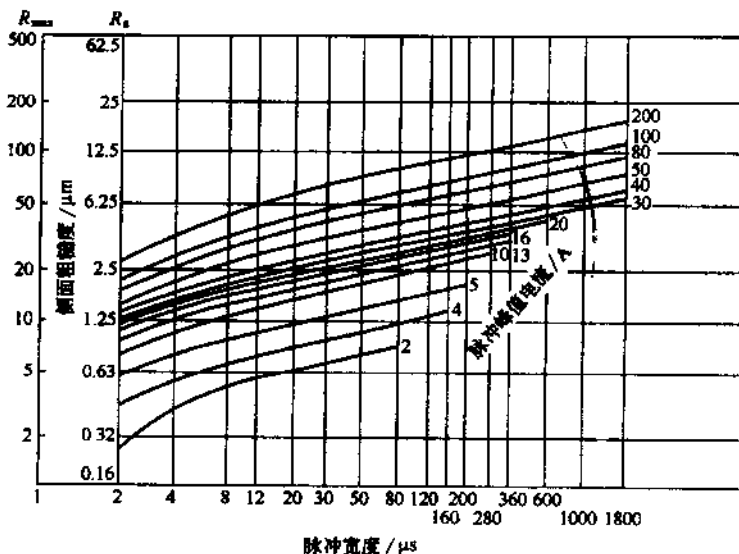


图 11.12 表面粗糙度与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

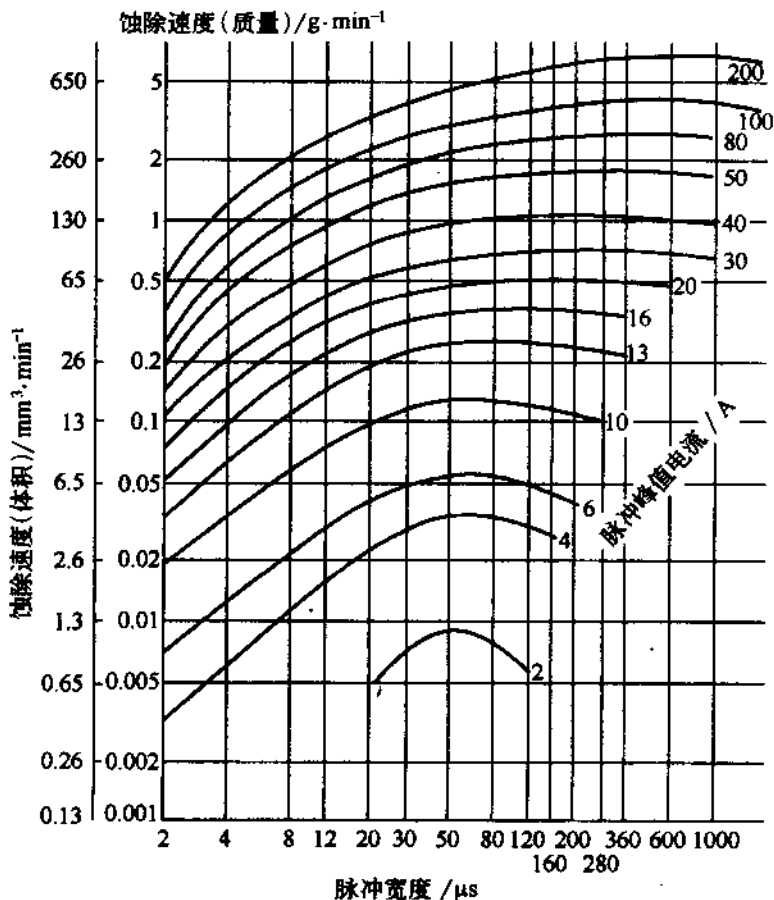


图 11.13 蚀除速度与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

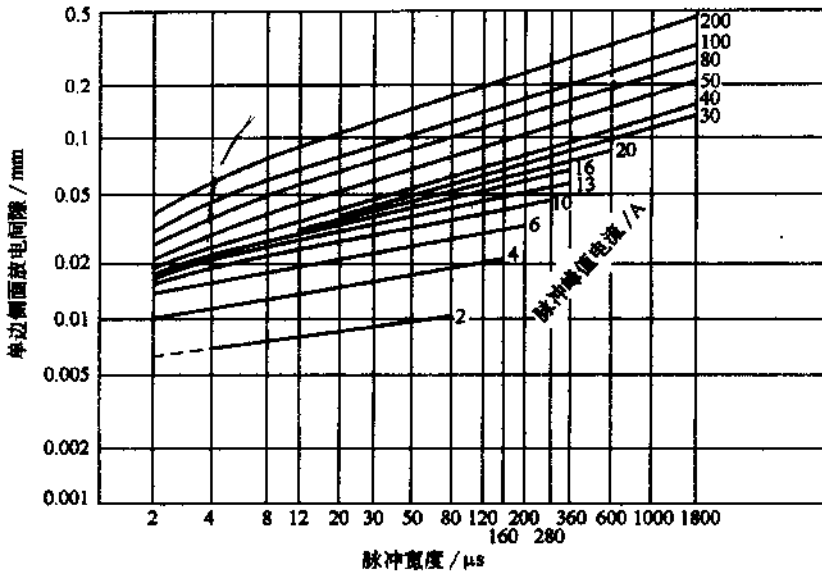


图 11.14 单边侧面放电间隙与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

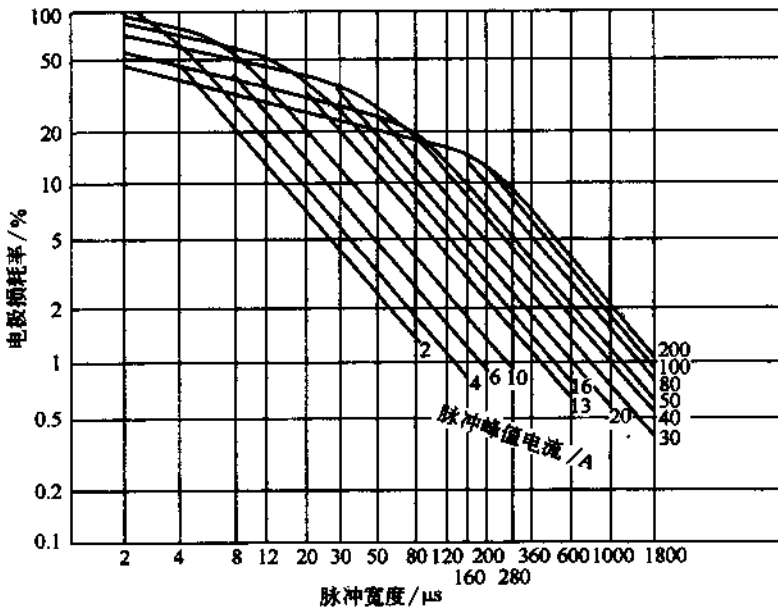


图 11.15 电极损耗率与脉冲宽度和脉冲峰值电流的关系曲线

### 11.3.2 基本操作

由于数控电火花机床的种类很多，但是机床的基本操作大致相同。这里以 D7140 型电火花成型机操作为例，介绍电火花机床的基本操作方法。

D7140 型电火花成型机是数控电火花成型机中比较典型和较为成熟的产品，它的控制系统有采用常规电器控制的，也有采用单板机或单片机控制的，电子控制部分采用分立元

件或集成元件组成电路。其操作方法较为简单，基本操作如下：

### 1. 安装工具电极

- (1) 接通主机的电源，使机床通电，开启机床上的照明灯。
- (2) 按下机床手操盒上的主轴上升键，使主轴头升到一定高度后，再打开工作液槽门。
- (3) 选择和装夹工具电极。
- (4) 利用角尺和百分表对工具电极进行校准。

### 2. 装夹工件

根据加工的具体情况，工件可装在工作台的垫块上或油杯上，也可吸附在工作台的磁性吸盘上，并且应紧固。有定位要求的工件，一定要做一个定位基准。

### 3. 工具电极对工件的加工定位

- (1) 按下机床手操盒上的主轴下降键，使主轴下降到距离工件 2mm 左右。
- (2) 转动工作台 X、Y 坐标手轮，使工具电极与工件对位，确保各边均匀。
- (3) 按下机床手操盒上的主轴上升键，主轴回升到原始位置。

### 4. 确定加工深度

(1) 深度零点设置 利用机床控制柜上的自动对刀键，按下自动对刀键可使主轴自动下降，直到工具电极和工件相互接触后停止，再按下控制柜上的 Z 轴清零键，Z 轴数显表被清零；也可利用机床手操盒上的手动对刀键，再点动控制主轴下降键，直到工具电极和工件相互接触后停止，然后按控制柜上的 Z 轴清零键，完成 Z 轴数显表清零过程。

(2) 设定加工深度 利用机床控制柜上的深度设定键进行深度设定，设定值应为工件加工深度。

### 5. 工作液槽注油

- (1) 关闭工作液槽门。
- (2) 提起液面控制闸阀到一定高度，一般高出工件表面 50~80mm。
- (3) 接好冲油、抽油的油管。
- (4) 启动工作液泵工作。

### 6. 选择电规准和转换

根据加工工件的具体情况合理选择电规准，操作者可以在控制柜的面板上分别设定所需的电规准。也可用机床数控系统提供的电规准。当主轴进给一定深度后，常常由粗加工规准转换为中加工规准，最后进行精加工规准。机床控制柜上有自动多步加工键，使用该键可编写自动多步加工程序完成由粗加工到精加工的全过程。

### 7. 放电加工

(1) 按下机床手操盒上的放电加工键，主轴向下进给，工具电极送进，开始火花放电加工。

(2) 调节工作液控制旋阀，选择合适的冲油、抽油压力。

(3) 加工过程中应密切注意加工过程中放电的稳定性，只要观察各指示仪表指针摆动为最小，即可认为是稳定加工状态。

### 8. 加工完成

(1) 机床上设置了加工完成自动上抬键, 操作时可将此键按下, 当达到加工深度时, 机床会自动上抬至安全高度。

(2) 关闭工作液开关, 拉开快泄闸阀, 使工作液快速泄油。

(3) 打开工作液槽门, 卸下工具电极与工件。

(4) 关上工作液槽门, 切断电源, 擦净机床。

### 11.3.3 数控电火花机床安全操作规程

电火花加工时直接利用电能, 且工具和工件均作为电极在使用, 电极上有 100~300V 的高电压。高频脉冲电源会产生一定强度的高频电磁波, 这都会影响到人体的健康。另外, 电火花加工用的加工液用的煤油, 煤油在常温下也会蒸发, 挥发出煤油蒸汽, 含有烷烃、芳烃、环烃等有机成分, 人体吸入这些气体, 同样不利于健康。在煤油中长时间的脉冲火花放电, 煤油在瞬间局部高温下会裂解出氢气、乙炔、甲烷, 少量的一氧化碳和大量的油雾烟气, 遇到明火很容易燃烧, 造成火灾。因此, 操作者必须具备防触电和防火灾技术。

数控电火花机床安全操作规程如下:

(1) 电火花机床应设置专用的地线, 使机床的床身、电气控制柜的外壳及其他设备可靠接地, 防止电气设备的损坏而发生触电事故。

(2) 操作人员必须穿好防护用具, 特别是必须穿皮鞋; 电火花机床在放电加工中, 严禁用手触及电极, 以免发生触电危险; 操作人员不在现场时, 不可将机床放置在放电加工状态 (EDM 灯亮); 放电加工过程中, 绝对不允许操作人员擅自离开。

(3) 经常保持机床电气设备清洁, 防止受潮, 降低机床的绝缘强度而影响机床的正常工作。

(4) 添加工作液煤油时, 不得混入某些易燃液体, 防止脉冲火花引起火灾。油箱中要有足够的油量, 控制油温不超过 50℃, 若温度过高时, 应该加快加工液的循环, 用以降低油温。

(5) 加工时, 可采用喷油加工, 也可采用浸油加工。特别是在浸油加工时, 加工液应全部浸没工件, 工作液的液面一定要高于工件 40mm 以上。如果液面过低, 加工电流较大, 都极有可能导致火灾的发生。为此, 操作者应经常检查工作液面情况。

(6) 放电加工过程中, 不得将 PVC 喷油管及橡胶管触及电极; 同时注意控制好放电电流, 避免加工过程中的拉弧现象和积碳现象。

(7) 放电加工过程中, 电极与工件之间有间隙存在, 不可将电极与工件相接触的情况下进行加工。

(8) 机床周围应严禁烟火, 并应配备适宜油类的灭火器。目前大多机床在主轴上均安装了灭火器和烟气感应报警器, 实现自动灭火。一旦火灾发生, 应立即切断电源, 并使用二氧化碳泡沫灭火器熄灭火苗。

(9) 加工完成后, 必须先切断总电源, 然后拉动加工槽边上的泄油拉杆, 放掉加工液后, 擦试机床, 确保机床的清洁。

## 11.4 加工操作实例

加工操作实例如图 11.6 所示。

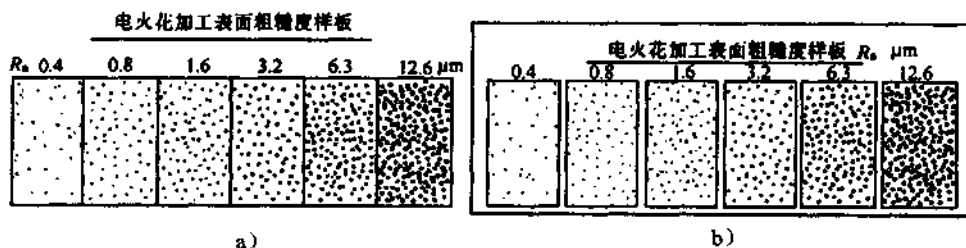


图 11.16 电火花加工表面粗糙度样板

- (1) 工件名称：电火花加工表面粗糙度样板。
- (2) 工件材料：不锈钢。
- (3) 工件在电火花加工前的工艺路线：加工前表面先铣削加工，后淬火处理，再进行成形磨削。

(4) 工具电极。

①电极材料 紫铜电极。

②工具电极在电火花加工前的工艺路线 先铣削加工，再成形磨削。

(5) 装夹、校正与固定工具电极和工件。

将工具电极装夹在主轴上，并用角尺或百分表进行校正；工件装夹在工作台上，并进行工件的定位。在工具电极和工件装夹和校正过程中应保证工具电极的下表面和工件的上表面尽可能平行。

(6) 使用设备：D7140P 苏州新科电加工设备有限公司。

(7) 加工规准的选择如表 11-3 所示。

表 11.3 电火花加工表面粗糙度样板加工规准

表面粗糙度数值 $R_a/\mu\text{m}$	脉冲宽度/ms	峰值电流/A	脉冲间隔/ms
12.6	1200	50	200
6.3	200	40	100
3.2	50	10	60
1.6	20	5	30
0.8	4	4	12
0.4	2	2	10

## 11.5 数控电火花机床日常维护及保养

(1) 每次加工完毕后或者每天下班前，应将工作液槽的煤油泄放到储油箱内，将工作台面用棉纱擦拭干净。

(2) 定期对所需润滑的摩擦部件加注润滑油，防止灰尘和煤油等进入丝杆、螺母和导

轨等部件中。

(3) 加工过程中工件排出的电蚀物，将进入工作液中，因此必须对电蚀物进行过滤。若工作液过滤器出现过滤阻力增大（压力降增大）或过滤效果变差，以及工作液浑浊不清时，应及时更换过滤器或煤油。

(4) 应注意避免脉冲电源中元器件受潮。特别是在南方的梅雨天气或较长时间不用时，交换应安排人定期开机加热。夏天高温季节要防止变压器、限流电阻、大功率晶体管过热，为此可加强通风冷却，并注意防止通风口过滤网被灰尘堵塞，要定期检查和清扫过滤网。

(5) 油泵电动机或主轴电机大多为立式安装的，电机端部冷却风扇的进风口朝上，很容易落入螺钉、螺帽或其他细小杂物，造成电机“卡壳”、“憋死”甚至损坏，因此要在此类立式安装电机的进风端盖上加装更小孔洞的保护网罩。

(6) 操作者应注意机床周围的环境，杜绝明火，并对机床的使用情况建立档案，及时反馈机床的运行情况。

## 11.6 常见故障排除

### 1. 伺服电机主轴常见的故障及原因

无论是步进、直流或交流伺服电机，它们的正确运行还与其本身驱动系统之外的一些因素有关，了解这些关系，对发现及排除故障是很有用的。

#### (1) 影响伺服电机运转的某些因素和关系。

① 伺服电机运转（主轴上、下运动）与间隙电压信号的关系 要使主轴快升、快降和调节伺服进给的快慢都与间隙平均电压  $u$  和伺服进给电压（伺服参考电压  $S_v$ ）有关。当  $S_v < u$  时，主轴向下进给，当  $S_v > u$  时，主轴向上回退。如果间隙电压失压或过低，或工具电极与工件间发生短路，则主轴只能向上回退。

② 伺服电机运行信号与转接环节密切相关 为了各种加工过程控制和显示环节的需要，伺服电机的运行信号从控制电路板上接出后，通过电缆线进入操作面板，再进入手操盒而后又回到控制电路板上。那么，在转接过程中，如发生接触不良、脱焊、断线等情况，均会造成电机的停转。

③ 伺服电机运转与各直流电源的控制环节有关 电路中常用继电器控制脉冲电源的输出和各种功能，操作者应注意继电器可能产生故障，例如，机床有“对刀”，“打表”、“加工”等功能，继电器如果触点烧毛，接触不良，或触点烧熔粘结在一起，或控制线圈断路，或供电电压失常等，都会影响正常控制功能。

#### (2) 伺服电机电控失灵常见故障。

① 电机停转 如果电机不运行，请查以下环节：

- a) 间隙电压的有无及大小；
- b) 信号转接点是否有脱线；
- c) 直流电源是否供电，保险丝是否烧断；
- d) 继电器是否吸合，触点是否可靠；
- e) 其他线路转接点有无故障；
- f) 控制板元器件有无损坏；

g) 电机故障。

② 电机单方向运行 这种故障的现象是电机只能向一个方向运转,即主轴只能向上或只能向下运动。原因是:功率级桥式驱动电路单臂功率管击穿断路,使电机只能单向通电,因而只能单向运行。只要更换功率管,就可排除故障。也有可能前一级推动管损坏,造成功放级桥式驱动电路中单臂导通。则要检查前一级相应的三极管,是否烧断或短路。

③ 加工状态不够稳定 如果加工状态不稳定,可能是控制信号、工作点发生偏移,各控制点的间隙平均电压  $u$  和伺服进给电压  $S_v$  也可能发生变化偏离,而造成加工状态不稳定,这种故障应找专业维修人员调试,千万不能乱调,一旦调乱很难恢复正常。目前的机床上大都设置了“复位”键,可使系统恢复。

(3) 排除主轴电控失灵的一般方法。

① 元器件损坏性故障 如果有明显的元器件损坏,要观察有无放电火花烧毛的痕迹、冒烟、烧糊、烧焦的气味等,可根据现象直接发现故障部位。在元件排列很挤的印刷电路板上,可用放大镜加以观察,常能发现焊接点开路或搭接形成短路等异常现象。

② 注意指示器件与仪表的工作状态,来分析某些故障和失常 有时元器件并无明显损坏,但某些功能失常,或怀疑某个元件可能已损坏,这类故障不应急于动手拆件,要细心观察有关指示灯、电压表和电流表等的指示是否正常。如“对刀”无电压,又无报警声,则很有可能 24V 直流电源有问题。交流指示灯不亮,也证明电源部分有问题。当然,对电路了解得越清楚,观察越深入细致,则排除故障越及时越准确。

③ 电压追踪检查 如果故障无外在征兆,则要根据原理图与接线圈,安装装配图,逐点查找各级正常电压值,就能发现电压失压部位及损坏的部件。这种方法比较科学合理,但一定要在看懂电路原理图的基础上,才能找出故障所在点。

④ 电阻检查 如果故障范围基本确定,可最后用万用表电阻挡测量故障点的直流电阻,来判断故障部位是否准确,是否存在与原理图有矛盾的“断路”与“短路”点,这样就能确切找出故障部分的所在。

## 2. 加工中的不正常现象

(1) 工具电极损耗过大。可能产生的原因。

- ① 正负极性接反,粗加工时工件应接负极,精加工时一般应接正极。
- ② 脉宽、峰值电流参数选择不当,应参照工艺曲线图表来选择电参数。
- ③ 冲油压力、流速过大,应降低。

(2) 加工过程极不稳定,火花颜色异常,冒白烟。可能原因。

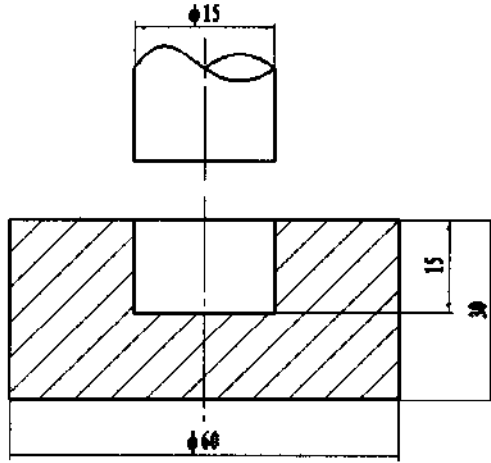
- ① 个别功率管击穿而导通,应及时更换损坏的功率管。
- ② 主振级参数变化失调(电阻、电容变质或脱焊)使脉冲间隙过小或脉冲宽度过大。

(3) 加工不稳定,反复开路或短路,生产率很低,甚至出现拉弧。可能原因。

- ① 参数选择不当,如峰值电流过大、脉间过小、加工面积过小等,应按工艺曲线图表选择合适的电规准。
- ② 加工面积过大,冲油排屑不良,应增加定期抬刀的次数和幅度,加大冲油压力。

## 11.7 思考与练习题

1. 数控电火花机床的主要结构形式有哪些？各有什么特点？
2. 典型的数控电火花机床由哪几部分组成？各部分的特点是什么？
3. 数控电火花机床主轴夹头和平动头的机械结构是怎样的？
4. 数控电火花机床的主要技术参数有哪些？如何考虑各参数之间的相互关系？
5. 数控电火花机床编程格式是怎样的？有哪些常用的指令代码？
6. 如题图 11.1 所示，加工一个普通的盲孔，电参数选 E9904，试编写加工程序。



题图 11.1

7. 试分析电火花穿孔成形加工的特点。
8. 试分析电火花型腔加工的特点。
9. D7140 型电火花机床的基本操作步骤有哪些？



## 参考文献

- 1 刘晋春, 赵家齐, 赵万生主编. 特种加工(第四版). 北京:机械工业出版社, 2004
- 2 马名峻, 蒋亨顺, 郭洁民主编. 电火花加工技术在模具制造中的应用. 北京:化学工业出版社, 2004
- 3 罗学科, 李跃中主编. 数控电加工技术. 北京:化学工业出版社, 2003
- 4 金濂尘, 宋放之主编. 现代模具制造技术. 北京:机械工业出版社, 2000
- 5 廖卫献编著. 数控线切割加工自动编程. 北京:国防工业出版社, 2001
- 6 张学仁主编. 数控电火花线切割加工技术. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2000
- 7 邱建忠, 王丽丹主编. CAXA 数控线切割加工实例教程. 北京:机械工业出版社, 2002
- 8 赵万生主编. 电火花加工技术工人培训自学教材. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2000
- 9 张学仁主编. 电火花线切割加工技术工人培训自学教材. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2000