



高等职业教育机电类“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIDIAN LEI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

●主 编 魏 杰
●副主编 迟 旭
●主 审 王 瑞

数控机床编程 加工技术

SHUKONG JICHUANG

BIANCHENG JIAGONG JISHU



电子科技大学出版社

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

数控机床编程加工技术

主 编 魏 杰

副主编 迟 旭

主 审 王 瑞

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

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

ISBN 978-7-81114-497-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 094214 号

内容简介

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

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

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

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

数控机床编程加工技术

主 编 魏 杰

副主编 迟 旭

主 审 王 瑞

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环东路一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 江进优

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都金龙印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 20 字数 486 千字

版 次: 2007 年 8 月第一版

印 次: 2007 年 8 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-497-0

定 价: 28.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

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

前 言

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

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

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

本书主要特点是:

1. 范围广泛

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

2. 内容全面

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

3. 实例众多

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

4. 实训突出

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

5. 习题丰富

在每章后都附有习题,供读者练习及高等职业技术学院在教学过程中使用。

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

限于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 5 月

目 录

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

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

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

第一章 数控加工概述

【学习目标】

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

1.1 数控机床加工编程概述

1.1.1 计算机数控简介

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

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

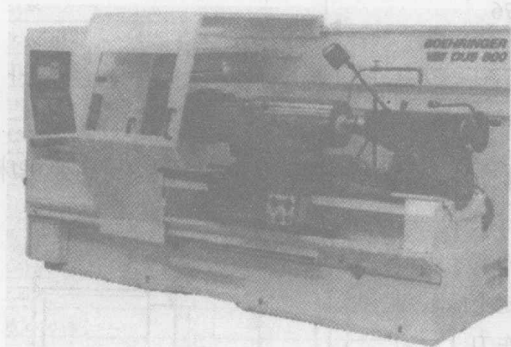


图 1-1 数控车床

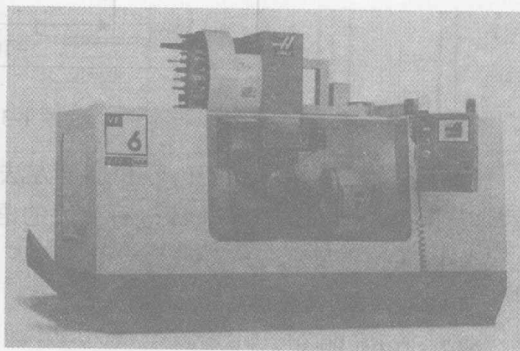


图 1-2 铣削加工中心 (带刀库)

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

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

1.1.2 数控加工程序简介

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

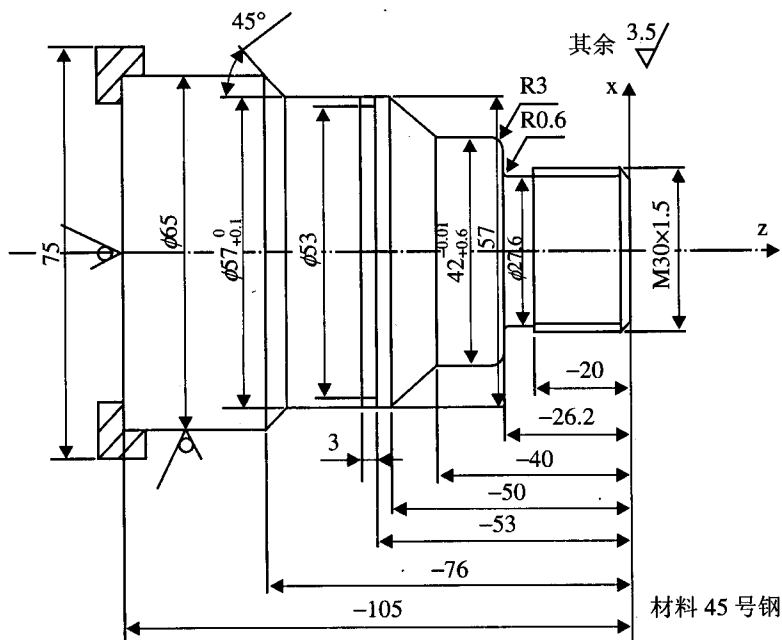


图 1-3 零件图样

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

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

N15 Z-25.2;
 N16 X36.0;
 N17 G03 X41.965 Z-28.2 R3.0;
 N18 G01 Z-40.0;
 N19 X56.95 Z-50.0;
 N20 Z-71.0;
 N21 X67.0Z-76.0;
 N22 G00 X150.0G50.0 S 1500;
 N23 T0303 F0.15 M03;
 N24 G42 X21.8Z2.0;
 N25 G01 X29.8 Z-2.0 F0.15;
 N26 Z-20.0;
 N27 G01 X27.5;
 N28 Z-24.4;
 N29 G02 X29.1 Z-25.210.8 K0;
 N30 G01 X35.963;
 N31 G03 X41.963 Z-28.2 10 K-3;
 N32 G01 Z-40.0;
 N33 X56.95 Z-50.0;
 N34 Z-71.0;
 N35 X67.0Z-76.0;
 N36 G40 G00 X150.0 Z250.0;



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

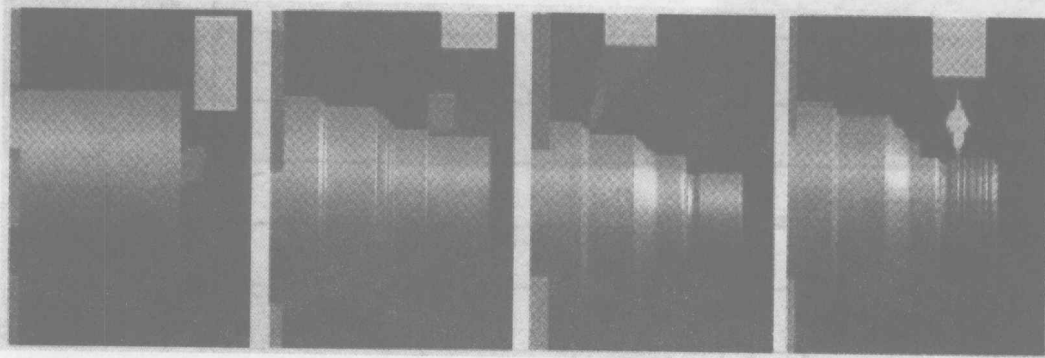


图 1-4 数控加工过程模拟

1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制

1.2.1 数控机床的组成

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

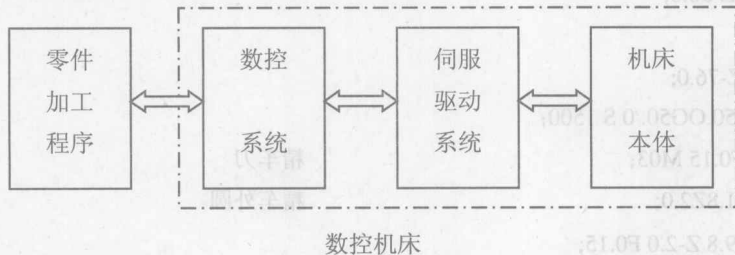
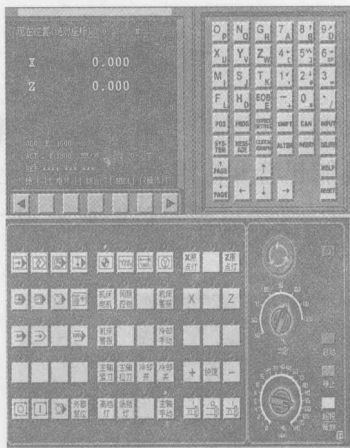


图 1-5 数控机床组成

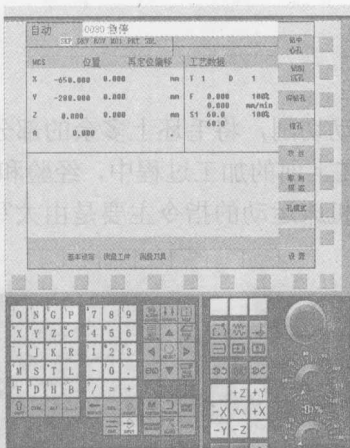
1. 数控装置

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

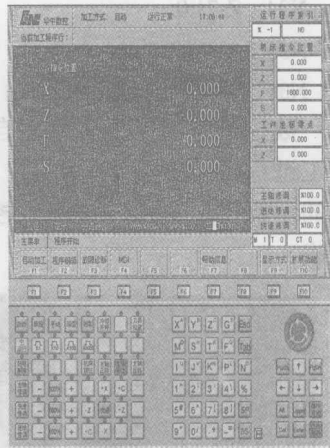
数控装置通常由一台专用微型计算机或通用计算机构成。基于 PC 的开放式数控系统, 主要由一台通用微型计算机加装运动控制卡、I/O 接口卡并运行 CNC 系统软件构成。目前国内应用较多的数控装置有日本的 FANUC、德国的 SIEMENS 和国产华中世纪星等, 如图 1-6 所示。



SIEMENS 802D 数控铣床



FANUC Oi 系统数控车床



华中世纪星数控车床

图 1-6 典型数控系统

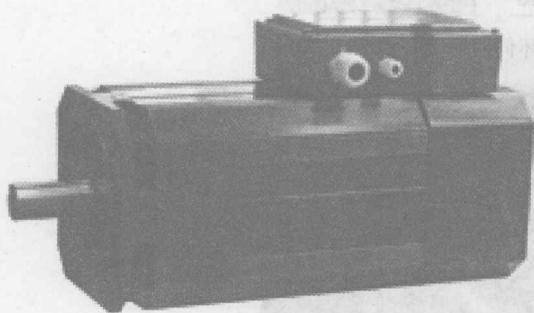
2. 伺服系统

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

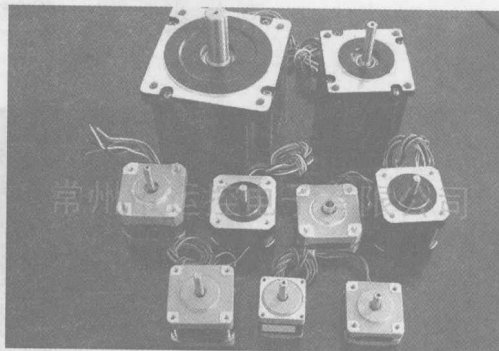
为是未来驱动的方向。直线电机通过取消机械传动部件,可达到较高加速度等级和速度,速度可达 120mm/min 以上。



图 1-7 伺服系统



(a) SIEMENS 主轴电机



(b) SIEMENS 进给电机

图 1-8 伺服电机

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

3. 机床本体

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

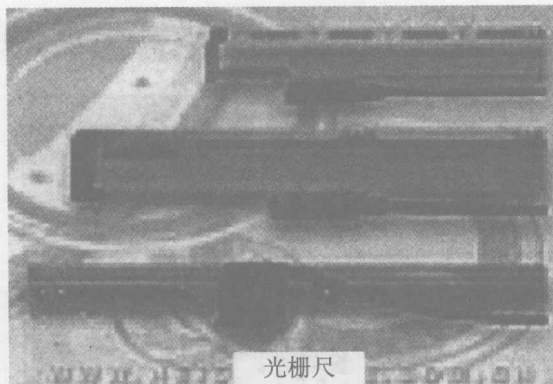


图 1-9 海德汉位置检测元件



图 1-10 闭环伺服系统

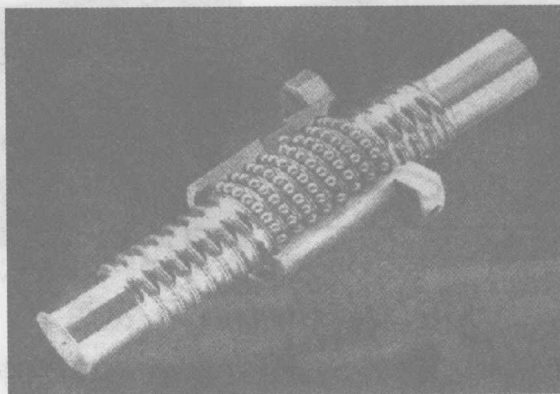


图 1-11 滚珠丝杠

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

1.2.2 数控机床加工工作原理

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

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

1.2.3 数控机床运动轨迹的控制

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

1. 点位控制运动

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

2. 直线控制运动

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



图 1-12 点位控制加工示意图



图 1-13 直线控制加工示意图

3. 连续控制运动

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

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

(1) 两轴联动

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

(2) 两轴半联动

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

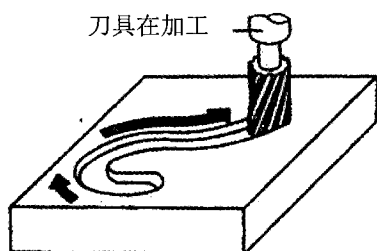


图 1-14 轮廓控制加工示意图

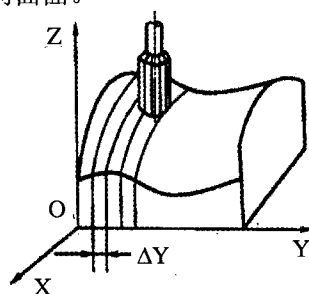


图 1-15 二轴半联动加工曲面

(3) 三轴联动

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

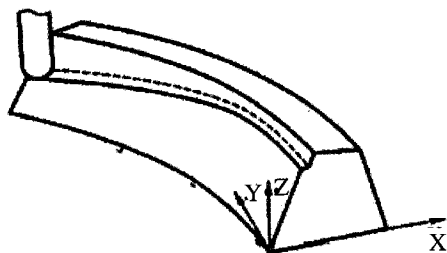


图 1-16 三轴联动加工曲面图

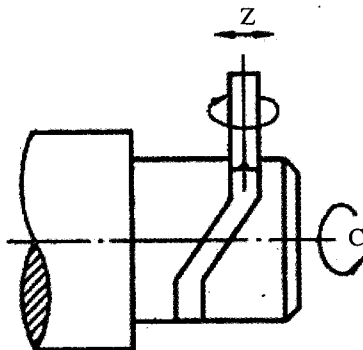


图 1-17 C 轴 Z 轴进给在圆柱面上铣螺旋槽

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

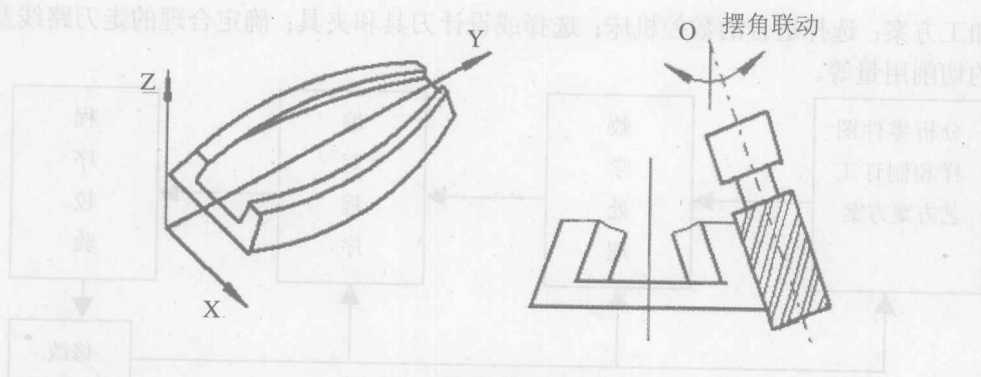


图 1-18 四轴联动加工曲面

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

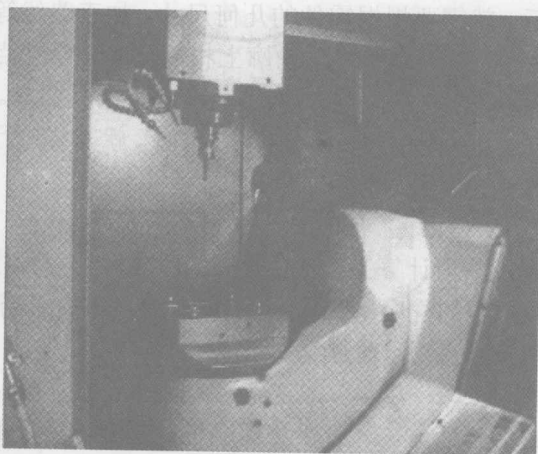


图 1-19 五轴联动

1.3 数控加工程序编制的内容和方法

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

1.3.1 数控程序编制的内容及步骤

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

1. 分析零件图样和制定工艺方案

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