

上海市精品课程教材

数控编程与工艺

侯培红 石更强 主编

O006

G54G17G49G40;

T01M6;

M03S800;

G91G01Z-5.;

G90G42D3G01Y-49.081

G1X24.270Y-1154

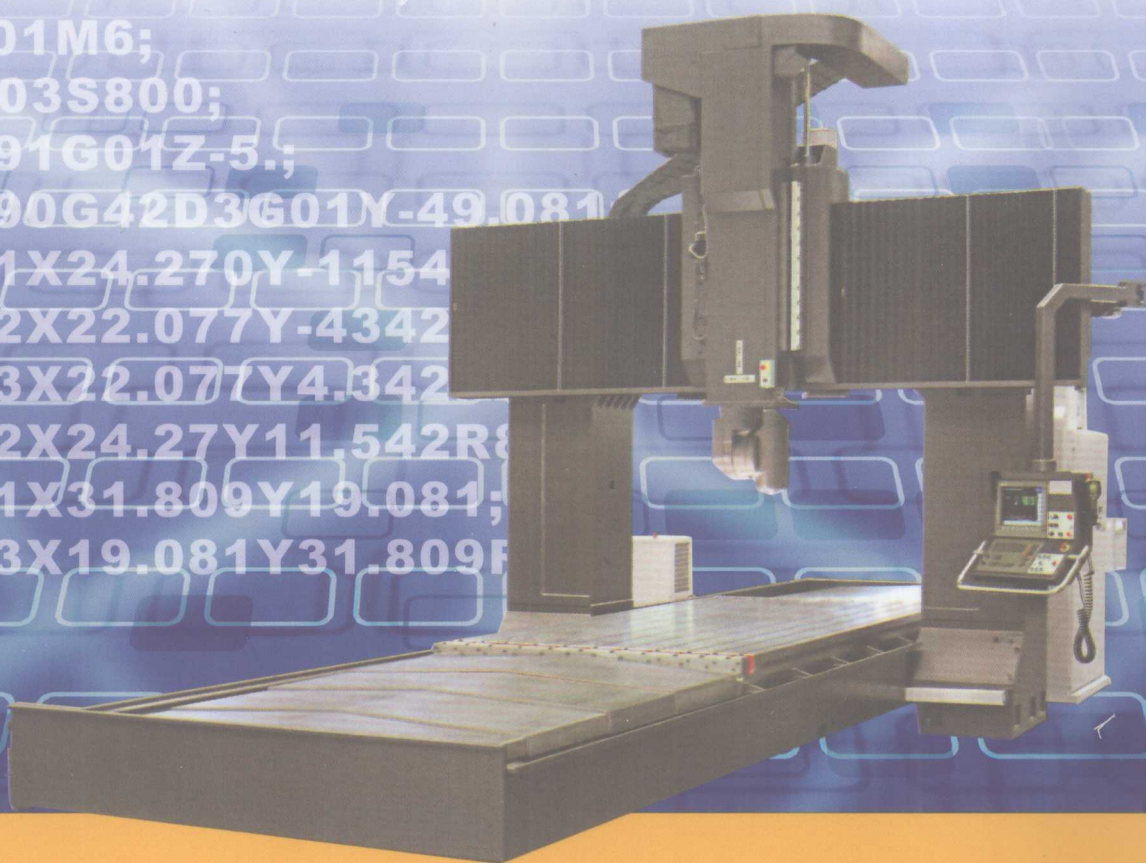
G2X22.077Y-4342

G3X22.077Y4.342

G2X24.27Y11.542R8

G1X31.809Y19.081;

G3X19.081Y31.809F



上海交通大学出版社

上海市精品课程教材

主要内容

数控编程与工艺

主 编	侯培红	石更强
参 编	张德平	舒 义 顾旻
主 审	李世基	
副主审	张德平	

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书为上海市级高职高专精品课程教材。

本书是为机电一体化专业、数控技术专业以及机械电子类相关专业学生学习数控加工工艺和数控机床编程等知识而编写的。主要内容包括数控车床编程与工艺、数控铣床编程与工艺和宏程序与自动编程三篇。内容编排顺序符合一般授课习惯,衔接相对自然,知识传授循序渐进,图文并茂,易学易教,可操作性强。尤其是在编程内容前,编入了数控工艺的内容,体现了编程与工艺为一体的数控加工程序编制的特殊性。

本书不仅可作为高职高专教材,也可用于各类层次学校的数控编程教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与工艺/侯培红,石更强主编. —上海:上海交通大学出版社,2008

上海市精品课程教材

ISBN978-7-313-05221-6

I. 数... II. ①侯... ②石... 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—加工工艺—高等学校:技术学校—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056613 号

数控编程与工艺

侯培红 石更强 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海锦佳装璜印刷发展公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21 字数:516 千字

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

印数:1~4 050

ISBN978-7-313-05221-6/TG·062 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书为上海市级高职高专精品课程教材。

本书是根据高等职业技术学院教学计划和上海市高职高专精品课程教学大纲编写的。

全书共分为三篇:第一篇数控车床编程与工艺篇,主要介绍常用数控机床及其坐标系、数控编程的基本概念、功能指令等数控编程的基础内容,还介绍了数控车削加工工艺路线的拟定、常用金属材料的切削加工性、夹具和刀具的选择、切削用量的选择等,同时还介绍了数控车床程序编制的基本方法、刀尖圆弧半径补偿功能、子程序和零点偏置及其应用、典型零件的工艺分析及编程实例等。第二篇数控铣床编程与工艺篇,主要介绍了数控铣床加工工艺路线的拟定、平面铣削加工方案、夹具和刀具的选择、切削用量的选择等,同时还介绍了数控铣床基本指令及其程序编制的基本方法、数控铣床刀具半径补偿功能、刀具偏置功能、子程序及其应用、固定循环功能、图形比例和坐标旋转功能、镜像功能、转移加工、极坐标及柱坐标编程、典型零件的工艺分析及编程实例等。第三篇宏程序与自动编程篇,主要介绍宏程序的概念及其 A 类用户宏和 B 类用户宏的区别、变量与变量运算、B 类用户宏程序编制、A 类用户宏程序编制,还介绍了 CAD/CAM 的基本知识、构造线框模型及实体操作、混合造型、二维以及三维零件的联机铣削加工,同时还简要介绍数控机床网络 DNC 等。

数控技术是一门综合性很强的学科,也是近年来飞速发展的学科之一。

编程不仅需要编程基础知识,同时要以工艺作为前提。所以,本书在编写过程中,注意到了数控编程工艺背景特点及其编程与工艺的密切关系,安排了适当的篇幅介绍有关工件、刀具、工装夹具等工艺系统和工艺路线拟定等方面的内容,但同时也避免与机械类专业知识的过多重复。

考虑到职业技能教育的特点以及不同层次院校学生学习习惯等特点,本书在编写过程中,注意到内容通俗易懂,内容编排顺序符合一般思维习惯和讲课习惯,衔接相对自然,知识传授循序渐进,图文并茂,易学易教,可操作性强等。同时每章均附有思考与练习题,以方便学生学习。

为了方便使用本书进行教学,还配套出版了实验实训指导。

本书共计三篇七章,第一章、第二章由侯培红编写,第三章由侯培红、石更强、顾旻、李秀霞编写,第四章到第六章由侯培红编写,第七章由张德平、舒义编写。全书由侯培红、石更强主编,由侯培红统稿。上海建桥学院机电工程系主任李世基任主审,上海工商外国语职业学院数控教研室主任张德平任副主审。

本书在编写过程中,得到了兄弟院校和企业家的大力支持和帮助,上海新桥学院汽车与机电数控系主任吴建蓉老师和上海海成机械制造有限公司王海涛先生对本书提出了宝贵意见,在此一并感谢。

本书适合于高职高专、成人高校、电大、本科院校二级职业技术学院、民办高校数控技术专业及其相关专业学生使用。根据需要也可以作为其他各类层次学校的数控编程教学用书。使

用单位可根据各自的课时情况,安排 96 课时、80 课时、64 课时或 48 课时等进行授课,其他内容作为学生课外阅读或参考内容。

由于编者水平有限,书中不当和错误之处在所难免,恳请使用本书的教师和广大读者提出宝贵的意见和建议,以便加以完善。

编者

2008 年 3 月

目 录

第一篇 数控车床编程与工艺

第1章 数控机床加工程序编制的基础	3
1.1 数控机床概述	3
1.2 数控编程的基本概念	9
1.3 数控系统的功能指令	16
1.4 数控机床的坐标系	20
思考与练习	27
第2章 数控车削加工工艺设计基础	28
2.1 金属材料的切削加工性	28
2.2 数控车削加工工艺路线的拟定	29
2.3 数控车床常用夹具	40
2.4 刀具选择	42
2.5 切削用量的选择	59
2.6 数控加工工艺文件的编制	64
思考与练习	66
第3章 数控车床加工程序的编制	67
3.1 数控车床的编程基础	67
3.2 数控车床程序编制的内容与方法	73
3.3 子程序和零点偏置的应用	109
3.4 数控车床加工典型零件的工艺分析及实例	115
思考与练习	128

第二篇 数控铣床编程与工艺

第4章 数控铣削加工工艺设计基础	133
4.1 工件表面加工方法及加工方案	133
4.2 数控铣削加工工艺路线的拟定	134

2 数控编程与工艺

4.3 数控铣床常用夹具及安装	144
4.4 数控铣床刀具选择	146
4.5 数控铣床切削用量的选择	154
4.6 数控铣床加工工艺文件的编制	157
思考与练习	158
第5章 数控铣床加工程序的编制	160
5.1 数控铣床编程基础	160
5.2 数控铣床编程基本指令	161
5.3 数控铣床刀具补偿	175
5.4 刀具偏置功能	189
5.5 子程序编程应用	193
5.6 固定循环功能	201
5.7 几种特殊编程指令	221
5.8 综合编程示例	232
思考与练习	236

第三篇 宏程序与自动编程

第6章 用户宏程序	243
6.1 宏程序的概念	243
6.2 自定义用户宏概括	245
6.3 变量与变量运算	247
6.4 B类用户宏程序	253
6.5 A类用户宏程序	278
思考与练习	287
第7章 计算机辅助自动编程	289
7.1 CAD/CAM 的基本知识	289
7.2 构造线框模型	291
7.3 实体操作	295
7.4 混合造型	299
7.5 二维零件的铣削加工	306
7.6 三维零件的铣削加工	314
7.7 联机铣削加工	322
7.8 数控机床网络 DNC 概述	327
主要参考文献	330

第一篇

数控车床编程与工艺

第1章 数控机床加工程序编制的基础

1.1 数控机床概述

随着科学技术和社会生产的迅速发展,机械产品日趋复杂,社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。同时,随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长,形状复杂的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品研制周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难于适应这种多样化、柔性化与形状复杂零件的高效高质量加工要求。为解决上述问题,一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——数控机床应运而生。

数控技术关系到国家的战略地位,是体现一个国家综合国力水平的重要基础性产业,其技术水平的高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志,实现加工机床及生产过程数控化,已经成为当今制造业的发展方向。

数控机床已广泛应用于宇航飞机、汽车、船舶、家电、通信设备等的制造。此外,数控技术也在机器人、绘图机械、坐标测量机、激光加工机及等离子切割机、线切割、电火花和注塑机等机械设备中得到了广泛的应用。

目前,在机械行业中,单件、小批量的生产所占有的比例越来越大,机械产品的精度和质量也在不断地提高。普通机床越来越难以满足加工精密零件的需要。同时,数控机床的价格在不断下降,因此,数控机床在机械行业中的使用已日渐普遍。

1.1.1 常见的数控机床

1.1.1.1 数控车床

图 1-1 是一台数控车床的外观图。数控车床一般具有两轴联动功能,Z 轴是与主轴方向

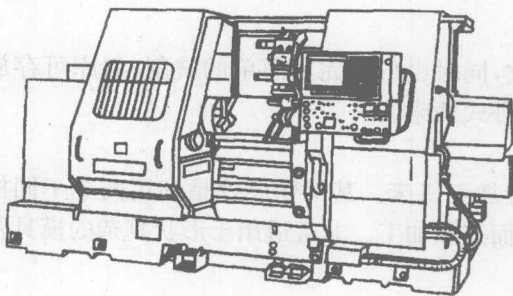


图 1-1 数控车床

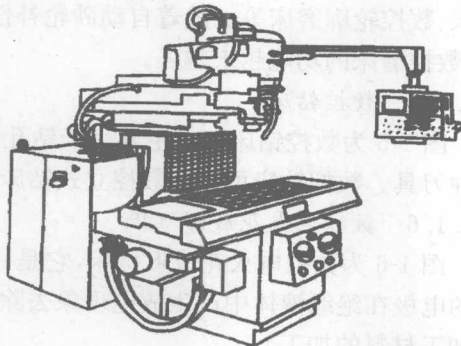


图 1-2 数控铣床

平行的运动轴, X 轴是在水平面内与主轴方向垂直的运动轴。在车铣加工中心上还多了一个 C 轴, 用于实现工件的分度功能, 在刀架中可安放铣刀, 对工件进行铣削加工。

1.1.1.2 数控铣床

世界上第一台数控机床就是数控铣床, 它适于加工三维复杂曲面, 在汽车、航空航天、模具等行业被广泛采用。图 1-2 为数控铣床, 随着时代的发展, 数控铣床趋于加工中心。

1.1.1.3 加工中心

加工中心是数控机床发展到一定阶段的产物。一般认为带有自动刀具交换装置(ATC)的数控机床即是加工中心。实际上, 数控加工中心是“具有自动刀具交换装置, 并能进行多种工序加工的数控机床”。一般提到的加工中心常常是指能完成铣、镗、钻、扩、铰、攻螺纹等工序内容的镗铣加工中心, 它又可分为立式加工中心和卧式加工中心, 立式加工中心的主轴是垂直方向运动的, 卧式加工中心的主轴是水平方向运动的, 如图 1-3 所示。

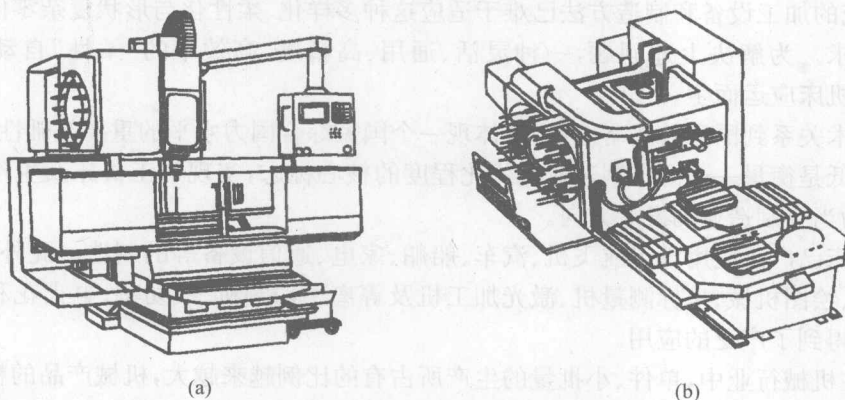


图 1-3 加工中心

(a) 立式加工中心 (b) 卧式加工中心

在加工中心上, 一个工件可以通过夹具安放在回转工作台或交换托盘上, 通过工作台的旋转可以加工多面体, 通过托盘的交换可更换加工的工件, 提高了加工效率。

1.1.1.4 数控磨床

数控磨床主要用于加工高硬度、高精度表面。可分为数控平面磨床(见图 1-4)、数控内圆磨床、数控轮廓磨床等。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修整技术和磨削固定循环技术的发展, 数控磨床的功能越来越强。

1.1.1.5 数控钻床

图 1-5 为数控钻床。它主要用于钻孔、攻螺纹, 同时也可以完成简单的铣削, 刀库可存放多种刀具。数控钻床可分为数控立式钻床和数控卧式钻床。

1.1.1.6 数控电火花成形机床

图 1-6 为数控电火花成形机床, 它是一种特种加工机床。其工作原理是利用两个不同极性的电极在绝缘液体中产生放电现象去除材料进而完成加工。非常适用于形状复杂的模具及难加工材料的加工。

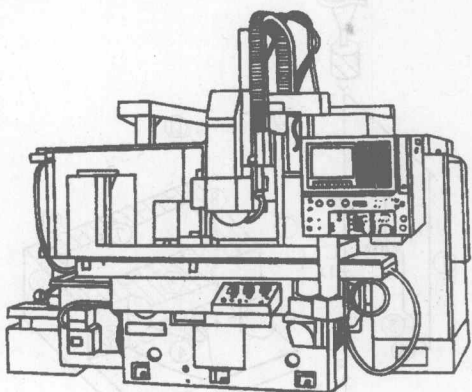


图 1-4 数控平面磨床

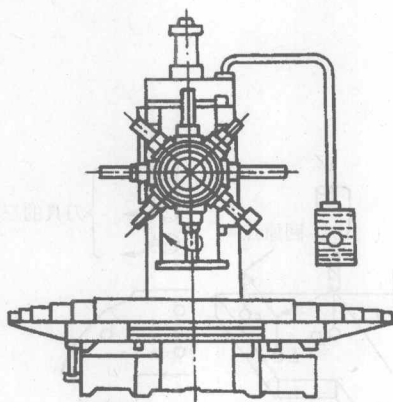


图 1-5 数控钻床

1.1.1.7 数控线切割机床

数控线切割机床如图 1-7 所示,其工作原理与电火花成形机床一样,其电极是电极丝,加工液一般采用去离子水。

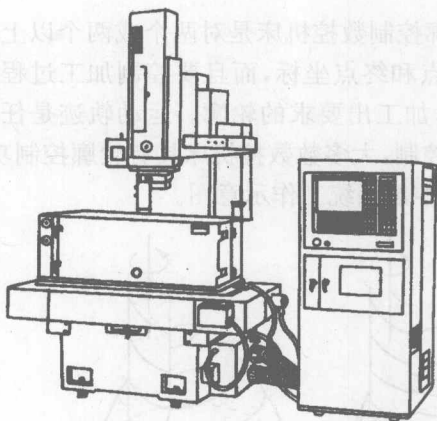


图 1-6 数控电火花成形机床

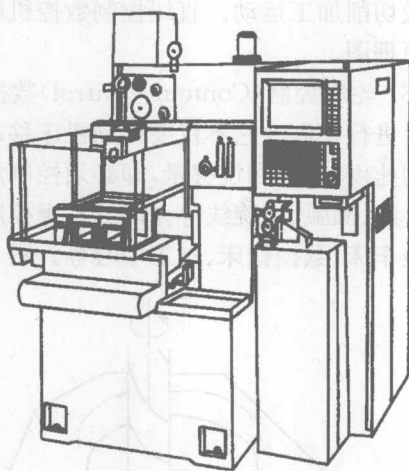


图 1-7 数控线切割机床

1.1.2 数控机床的分类

1.1.2.1 按控制(运动轨迹)系统的特点分类

按控制(运动轨迹)系统的特点,数控机床可分类如下:

(1) 点位控制(Positioning Control)数控机床 点位控制数控机床只控制移动刀具或部件从一点到另一点位置的精确定位,而不控制移动轨迹,在移动和定位过程中不进行任何加工。因此,为了尽可能减少移动刀具或部件的运动与定位时间,通常先以快速移动接近终点坐标,然后以低速准确移动到定位点,以保证定位精度。例如,数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机、数控折弯机等都是点位控制机床。图 1-8 为点位控制系统工作原理图。

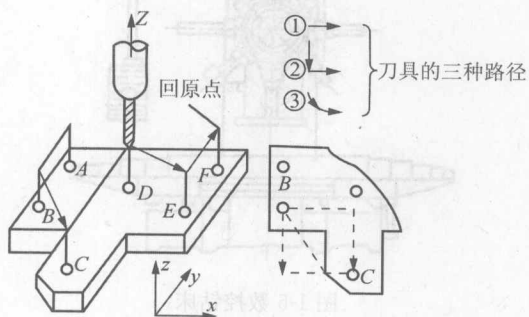


图 1-8 点位控制系统工作原理图

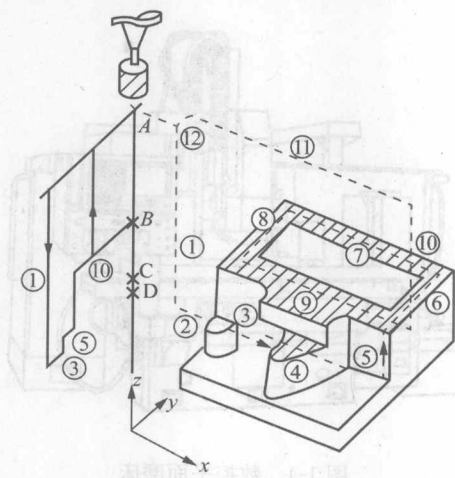


图 1-9 直线控制系统的加工原理图

(2) 直线控制(Straight-line Control)数控机床 直线控制数控机床不仅能控制刀具或移动部件,从一个位置到另一个位置的精确移动,而且能以给定的速度,实现平行于坐标轴方向的直线切削加工运动。直线控制数控机床也称点位直线控制机床。图 1-9 为直线控制系统的加工原理图。

(3) 轮廓控制(Contour Control)数控机床 轮廓控制数控机床是对两个或两个以上坐标轴同时进行控制。它不仅要控制机床移动部件的起点和终点坐标,而且要控制加工过程中每一点的速度、方向和位移量,即必须控制加工的轨迹,加工出要求的轮廓。运动轨迹是任意斜率的直线、圆弧、螺旋线等。因此轮廓控制又称连续控制,大多数数控机床具有轮廓控制功能,如数控车床、数控铣床、加工中心等。图 1-10 为轮廓控制系统工作示意图。

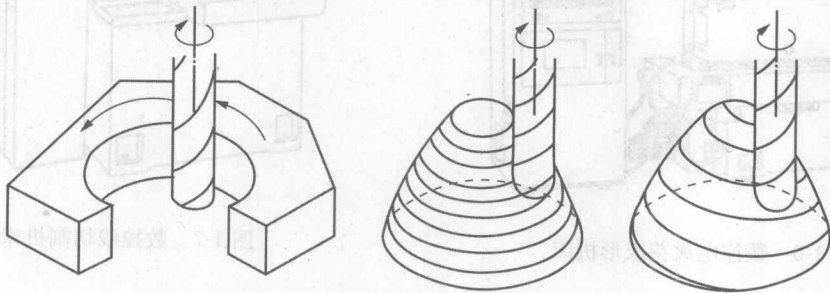


图 1-10 轮廓控制系统工作示意图

1.1.2.2 按运动执行机构的控制方式分类

按运动执行机构的控制,数控机床可分类如下:

(1) 开环控制(Open Loop Control)数控机床 开环数控机床一般采用由功率步进电动机驱动的开环进给伺服系统,即不带反馈装置的控制系統。其执行机构通常采用功率步进电动机或电液脉冲马达(由步进电动机与液压扭矩放大器组成),如图 1-11 所示。数控装置发出的脉冲指令通过环形分配器和驱动电路,使步进电动机转过相应的步距角度,再经过传动系统,带动工作台或刀架移动。

(2) 闭环控制(Closed Loop Control)数控机床 闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。图 1-12 所示为典型的闭环进给系统。将位置检测装置安装于机床运动部件上,加工中将测量到的实际位置值反馈。数控装置将反馈信号与位移指令随时进行比较,根据其差值与指令进给速度的要求,按一定规律转换后,得到进给伺服系统的速度指令。另外,通过与伺服电动机刚性连接的测速元件,随时实测驱动电动机的转速,得到速度反馈信号,将其与速度指令信号相比较,以其比较的差值对伺服电动机的转速随时进行校正,直至实现移动部件工作台的最终精确定位。利用上述位置控制与速度控制两个回路,可获得比开环进给系统精度更高、速度更快等特性指标。

The figure contains two block diagrams. The left diagram, labeled '位置反馈系统' (Position Feedback System), shows a '位移指令' (Displacement Command) entering a summing junction. The output of the summing junction goes through a series of three gain blocks to a '速度反馈' (Speed Feedback) block. The output of the speed feedback block goes to a 'DC(AC)' converter. The output of the converter goes to a motor. A '位置检测装置' (Position Detection Device) is connected to the motor's shaft and its output goes back to the summing junction. The right diagram, labeled '速度反馈系统' (Speed Feedback System), shows a '位移指令' (Displacement Command) entering a summing junction. The output of the summing junction goes through a series of three gain blocks to a '速度反馈' (Speed Feedback) block. The output of the speed feedback block goes to a 'DC(AC)' converter. The output of the converter goes to a motor. A '位置检测装置' (Position Detection Device) is connected to the motor's shaft and its output goes to a '速度反馈' (Speed Feedback) block. The output of the speed feedback block also goes back to the summing junction.

图 1-13 半闭环控制系统框图

数控加工与通用机床加工相比,在许多方面遵循基本一致的原则,在使用方法上也有很多相似之处。但由于数控机床本身自动化程度较高,设备费用较高,设备功能较强,使数控加工相应形成了以下几个特点:

(2) 数控加工的工艺工作相当准确、严密 数控加工不能像通用机床加工时可以根据加工过程中出现的问题由操作者自由地进行调整。比如加工内螺纹时,普通机床的操作者可以

随时根据孔中是否挤满了切屑而决定是否退一下刀或先清理一下切屑再干,而数控机床则不得而知。所以在数控加工的工艺设计中必须注意加工过程中的每一个细节,做到万无一失。尤其是在对图形进行数学处理、计算和编程时,一定要准确无误。在实际工作中,由于一个字符、一个小数点或一个逗号的差错,都有可能酿成重大机床事故和质量事故。因为数控机床比同类的普通机床价格高得多,其加工的也往往是一些形状比较复杂、价值比较高的工件,万一损坏机床或工件都会造成较大损失。

根据大量加工实例分析,数控工艺考虑不周和计算与编程的粗心大意是造成数控加工失误的主要原因。因此,编程人员必须具备较扎实的工艺基本知识和较丰富的实际工作经验,还必须具有耐心和严谨的工作作风。

(3) 数控加工的工序相对集中 一般来说,在普通机床上加工是根据机床的种类进行单工序加工,而在数控机床上加工往往是在工件的一次装夹中完成工件的钻、扩、铰、铣、镗、攻螺纹等多工序的加工。这种“多序合一”现象也属于“工序集中”的范畴,极端情况下,在一台加工中心上可以完成工件的全部加工内容。

1.1.4 数控机床加工的适应性

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床加工技术的应用范围在不断扩大,但数控机床这种高度机电一体化产品,技术含量高,成本高,使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将零件分为下列三类:

1.1.4.1 最适应数控加工零件类

(1) 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床很难加工或虽然能加工但很难保证加工质量的零件。

(2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

(3) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒形零件。

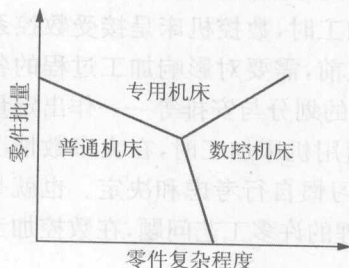
(4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰、钻或攻螺纹等多工序的零件。

1.1.4.2 较适应数控加工零件类

(1) 在通用机床上加工时极易受人因素干扰,零件价值又高,一旦失控便造成重大经济损失的零件。

(2) 在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。

(3) 需要多次更改设计后才能定型的零件。



(4) 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件。

(5) 用通用机床加工时,生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

1.1.4.3 不适应数控加工零件类

(1) 生产批量大的零件(当然不排除其中个别工序用数控机床加工)。

(2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。

(3) 加工余量很不稳定的零件。

图 1-14 数控机床适用范围示意图

(4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

图 1-14 表示了零件复杂程度及批量大小与机床的选用关系。

1.2 数控编程的基本概念

1.2.1 何谓数控编程

数控加工与普通机床加工在方法和内容上很相似,但加工过程的控制方式却大相径庭。

在普通机床上加工零件时,一般是由工艺人员按照设计图样事先制订好零件的机械加工工艺规程。在工艺规程中确定零件的加工工序、切削用量、机床的规格及工具、夹具等内容。操作人员按工艺规程即所谓“程序”的各个步骤操作机床,加工出图样给定的零件。实际上,在通用机床上加工零件时,就某工序而言,其工步的安排、机床运动的先后次序、进给路线及相关切削参数的选择等,虽然也有工艺文件说明,但实际操作上往往是由操作者自行考虑和确定的,而且是用手工方式进行控制的。例如开车、停车、改变主轴转速、改变进给速度和方向、切削液开和关等都是由工人手工操纵的。

在由凸轮控制的自动机床或仿形机床上加工零件时,虽然不需要人对它进行操作,但必须根据零件的特点及工艺要求,设计出凸轮的运动曲线或靠模,由凸轮、靠模控制机床运动,最后使机床自动地按凸轮或靠模规定的“程序”加工出零件。在这个加工过程中,虽然避免了操作者直接操纵机床,但每一个凸轮机构或靠模,只能加工一种零件。当改变被加工零件时,就要更换凸轮、靠模。

而在数控机床上加工时,是完全严格按照从外部输入的事先编好的加工程序来自动地对被加工工件进行加工的。在进行数控加工前,把工件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(主轴转数、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴正转、反转、切削液开和关等),按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序,再把这一个或一组程序的内容记录在控制介质上(如软磁盘、U 盘、移动硬盘或其他存储器),然后输入到数控机床的数控装置中,或直接输入到数控装置中,从而控制机床进行加工。这种从零件图的分析到制成加工程序控制介质的全部过程叫数控程序的编制,即编程。

因此,数控加工程序在数控机床与数控加工之间起着一种纽带作用。

从以上分析可以看出,数控机床与普通机床加工的区别在于:数控机床是按照程序自动进行加工,而普通机床要由人来操作。对数控机床,只要改变控制机床动作的程序,就可以达到加工不同零件的目的。因此,数控机床特别适用于加工小批量且形状复杂要求精度高的零件。

编程人员编制好程序以后,要输入到数控装置中,它是通过控制介质来实现的。程序的输入方法有用磁盘插入输入、手动直接数据输入(即 MDI)和利用计算机/机床标准串行接口(RS-232 或 RS-422)直接通信。

由上可见,实现数控加工,编程是关键。而数控加工程序则在数控机床与数控加工之间起着一种纽带作用。在编程前必须进行编制数控工艺工作,所以,严格来说,数控编程也属于数控工艺的范畴。数控加工工艺工作主要包括以下几方面的内容:

(1) 选择并确定需要进行数控加工的零件及内容。

(2) 进行数控加工工艺设计。

- (3) 对零件图形进行必要的数学处理。
- (4) 编写加工程序(自动编程时为源程序,由计算机自动生成目标程序——加工程序)。
- (5) 按程序单制作控制介质。
- (6) 对程序进行校验与修改。
- (7) 首件试加工与现场问题处理。
- (8) 数控加工工艺技术文件的编写与归档。

图 1-15 为数控机床加工过程示意图。

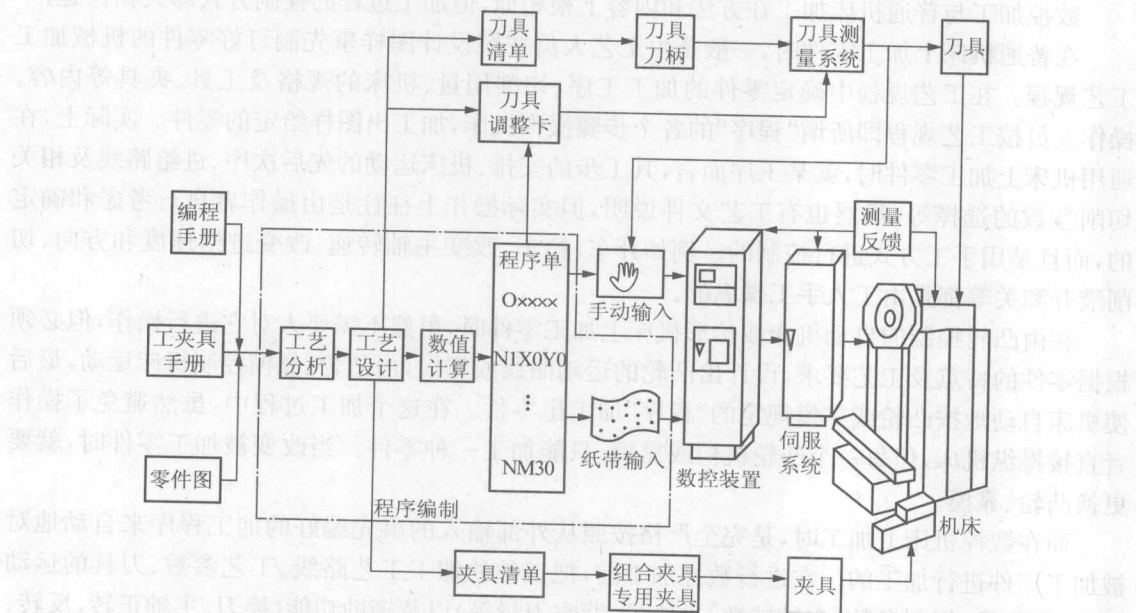


图 1-15 数控机床加工过程示意图

1.2.2 编程的一般步骤

1.2.2.1 分析零件图

首先是能正确地分析零件图,确定零件的加工部位,根据零件图的技术要求,分析零件的形状、基准面、尺寸公差和粗糙度要求以及加工面的种类、零件的材料、热处理等其他技术要求。

1.2.2.2 确定机床

通过分析,根据零件形状和加工的内容及范围,确定该零件或哪些表面适宜在数控机床上加,还是在数控车床、数控铣床、加工中心和其他机床上加工,确定加工的机床。确定加工方案时应考虑数控机床的合理性及经济性,并充分发挥数控机床的功能。

1.2.2.3 工艺处理

在对零件图进行分析并确定好机床之后,确定零件的装夹定位方法、加工路线(如对刀点、

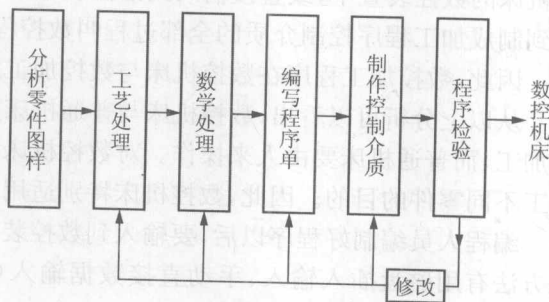


图 1-16 数控编程的步骤