

数控加工工艺系统

学习目的

- ① 理解数控加工工艺系统、数控技术、数控机床的概念。
- ② 熟悉数控加工过程及数控加工原理。
- ③ 掌握数控加工的工艺特点和主要内容。
- ④ 掌握数控机床的组成与分类、主要性能指标及应用范围。
- ⑤ 了解数控加工与工艺技术的新发展。

1.1 数控加工工艺系统概述

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术发生了深刻的变化,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。尤其是宇航、军事、造船等领域所需的零件,精密要求高,形状复杂,批量小。传统的普通机械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 Corperation)受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所合作进行数控机床的研制工作。1954 年由美国迪克斯公司(Bendix Corperation)生产出第一台工业用数控机床。从此,数控技术随着计算机技术和微电子技术的发展而迅速发展起来。

我国数控机床的研制是从 1958 年开始的,由清华大学研制出了最早的样机。到目前为止,已自行开发了三轴、四轴和五轴联动的数控系统,新开发的数控机床产品已达到国际上 20 世纪 90 年代初期的水平,为国家重点建设提供了一批高水平的数控机床。

当今世界各国制造业广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的实用技术和最基本的装备,装备工业的技术水平和现代化程度,正决定着整个国民经济的水平和现代化程度。

1.1.1 数控加工原理及加工过程

1. 数控概念

(1) 数字控制(Numerical Control,简称 NC)。数字控制是一种用数字化信号对控制对象(如机床的运动及其加工过程)进行自动控制的技术。

(2) 数控技术。数控技术是指用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程自动控制的技术。

(3) 数控系统。数控系统是指实现数控技术相关功能的软硬件模块的有机集成系统,是数控技术的载体。

(4) 计算机数控系统(Computer Numerical Control,简称 CNC)。计算机数控系统是指以计算机为核心的数控系统。

(5) 数控机床(NC Machine)。数控机床是指应用数控技术对加工过程进行控制的机床或者装备了数控系统的机床。

2. 数控加工过程

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序,并输入数控机床的数控系统,以控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成零件的加工。数控加工流程如图 1-1 所示。

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定零件的加工方案、工艺参数和位移数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单;或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作,直接生成零件的加工程序文件。

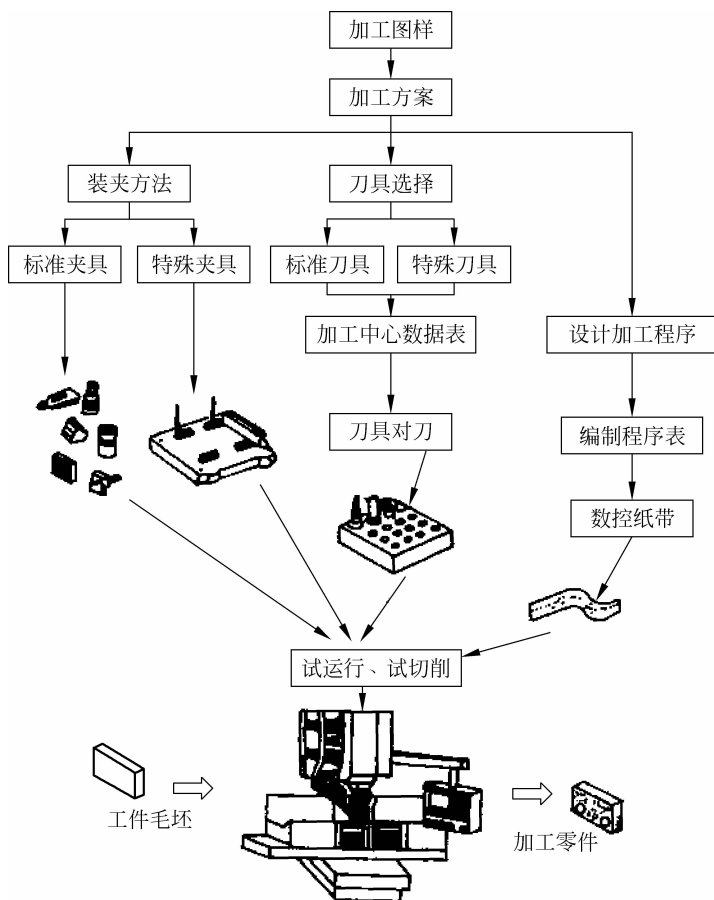


图 1-1 数控加工流程

(3) 程序的输入或传输。手工编程时,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(Multipoint Control Unit,简称MCU)。

(4) 按照输入/传输到数控单元的加工程序,进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

3. 数控加工原理

CNC系统的数据转换过程如图1-2所示。

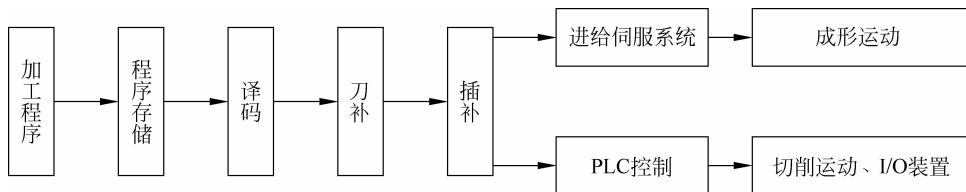


图 1-2 CNC 系统的工作过程

(1) 译码

译码程序的主要功能是将以文本格式表达的零件加工程序,以程序段为单位转换成刀补处理程序所要求的数据格式,把其中的各种零件轮廓信息(如起点、终点、直线或圆弧等)、加工速度信息(F代码)和其他辅助信息(M、S、T代码等),按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式,并以一定的数据格式存放在指定的内存专用单元中。在译码过程中,还要完成对程序段的语法检查,若发现语法错误便立即报警。

(2) 刀补处理

刀具补偿包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。通常 CNC 装置的零件程序以零件轮廓轨迹编程,刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹。目前在比较好的 CNC 装置中,刀具补偿还包括程序段之间的自动转接和过切削判别,也就是所谓的 C 刀具补偿。

(3) 插补计算

插补的任务是在一条给定起点和终点的曲线上进行数据点的密化。插补程序在每个插补周期运行一次,并根据指令的进给速度计算出一个微小的直线数据段。通常,经过若干次插补周期后,插补加工完一个程序段轨迹,即完成从程序段起点到终点的数据点的密化工作。如图1-3所示为插补示例。

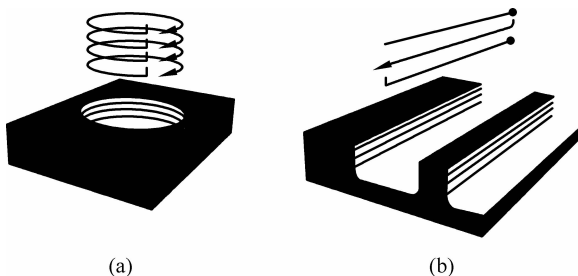


图 1-3 插补示例

(a) 圆弧插补; (b) 直线插补

(4) PLC 控制

CNC 系统对机床的控制,分为对各坐标轴的速度和位置的轨迹控制,以及对机床动作的顺序控制或称逻辑控制。PLC(Programmable Logic Cell,可编程逻辑单元)控制可以在数控机床运行过程中,以 CNC 内部和机床各行程开关、传感器、按钮、继电器等开关信号状态为条件,并按预先规定的逻辑关系对主轴的起停、换向,刀具的更换,工件的夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的运行等进行控制。

数控加工原理就是将预先编好的加工程序以数据的形式输入数控系统,数控系统通过译码、刀补处理、插补计算等数据处理和 PLC 协调控制,最终实现零件的加工。

1.1.2 数控加工工艺概念与工艺过程

1. 工艺过程

数控加工工艺是指采用数控机床加工零件时,所运用各种方法和技术手段的总和,应用于整个数控加工工艺过程。

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术,是大量数控加工实践的经验总结。数控加工工艺过程是利用切削刀具在数控机床上直接改变加工对象的形状、尺寸、表面位置、表面状态等,使其成为成品或半成品的过程。

数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工工艺系统中完成的。数控机床是零件加工的工作机械,刀具直接对零件进行切削,夹具用来固定被加工零件并使之占有正确的位置,加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹。工艺设计的好坏直接影响数控加工的尺寸精度和表面精度、加工时间的长短、材料和人工的耗费,甚至直接影响加工的安全性。所以掌握数控加工工艺的内容和方法非常重要。

2. 数控加工工艺与数控编程的关系

(1) 数控程序

输入数控机床并执行一个确定的加工任务的一系列指令,称为数控程序或零件程序。

(2) 数控编程

把零件的工艺过程、工艺参数及其他辅助动作,按动作顺序和数控机床规定的指令、格式,编成加工程序,再记录于控制介质即程序载体(磁盘等),输入数控装置,从而指挥机床加工并根据加工结果加以修正的过程。

(3) 数控加工工艺与数控编程的关系

数控加工工艺分析与处理是数控编程的前提和依据,没有符合实际的、科学合理的数控加工工艺,就不可能有真正可行的数控加工程序。数控编程就是将制定的数控加工工艺内容程序化。

1.1.3 数控加工工艺特点

由于数控加工采用了计算机控制系统和数控机床,使得数控加工与普通加工相比具有加工自动化程度高、精度高、质量稳定、生成效率高、周期短、设备使用费用高等特点。下面介绍数控加工工艺与普通加工工艺的差异。

1. 数控加工工艺内容要求更具体、详细

普通加工工艺上的许多具体的工艺问题,如工步的划分与安排、刀具的几何形状与尺

寸、走刀路线、加工余量、切削用量等,在很大程度上由操作人员根据实际经验和习惯自行考虑和决定,工艺人员在设计工艺规程时不必进行过多的规定,零件的尺寸精度可由试切保证。

数控加工工艺的所有工艺问题必须事先设计和安排好,并编入加工程序中。数控工艺不仅包括详细的切削加工步骤,还包括工夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求,以及标有数控加工坐标位置的工序图等。在自动编程中更需要确定各种详细的工艺参数。

2. 数控加工工艺要求更严密、精确

采用普通加工工艺加工时,可以根据加工过程中出现的问题,比较自由地进行人为调整。

采用数控加工工艺加工时,自适应性较差,加工过程中可能遇到的所有问题必须事先精心考虑,否则将导致严重的后果。例如,攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满切屑,是否需要退刀清理一下切屑再继续加工。又如非数控机床加工中,可以多次试切来满足零件的精度要求;而数控加工过程中,严格按照规定尺寸进给,要求准确无误。因此,数控加工工艺设计要求更加严密、精确。

3. 数控加工零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算

编程尺寸并不是零件图上设计的尺寸的简单再现。在对零件图进行数学处理和计算时,编程尺寸设定值要根据零件尺寸公差要求和零件的形状几何关系重新调整计算,才能确定合理的编程尺寸。

4. 考虑进给速度对零件形状精度的影响

制定数控加工工艺时,选择切削用量要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响。在数控加工中,刀具的移动轨迹是由插补运算完成的。根据插补原理分析,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,则插补精度越低,导致工件的轮廓形状精度越差。尤其在高精度加工时,这种影响非常明显。

5. 强调刀具选择的重要性

复杂形面的加工编程通常采用自动编程方式。自动编程中,必须先选定刀具再生成刀具中心运动轨迹,因此对于不具有刀具补偿功能的数控机床来说,若刀具选择不当,所编程序只能推倒重来。

6. 数控加工工艺的特殊要求

(1) 由于数控机床比普通机床的刚度高,所配的刀具也较好,因此在同等情况下,数控机床切削用量比普通机床大,加工效率也较高。

(2) 数控机床的功能复合化程度越来越高,因此现代数控加工工艺的特点是工序相对集中,表现为工序数目少,工序内容多,由于在数控机床上尽可能安排较复杂的工序,所以数控加工的工序内容比普通机床的加工工序内容复杂。

(3) 由于数控机床加工的零件比较复杂,因此在确定装夹方式和夹具设计时,要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

7. 数控加工程序的编写、校验与修改是数控加工工艺的一项特殊内容

在普通加工工艺中,划分工序、选择设备等重要内容,对数控加工工艺来说这些属于

已基本确定的内容,所以制定数控加工工艺的着重点是整个数控加工过程的分析,关键在确定进给路线及生成刀具运动轨迹。复杂表面的刀具运动轨迹生成需借助自动编程软件,既是编程问题,也是数控加工工艺问题。这也是数控加工工艺与普通加工工艺最大的不同之处。

1.1.4 数控加工的内容

一般来说,数控加工主要包括以下几个方面的内容。

- (1) 通过数控加工的适应性分析选择并确定进行数控加工的零件的内容。
- (2) 结合加工表面的特点和数控设备的功能对零件进行数控加工的工艺分析。
- (3) 进行数控加工的工艺设计。
- (4) 根据编程的需要,对零件图形进行数学处理和计算。
- (5) 编写加工程序单。
- (6) 按照程序单制作控制介质,如穿孔纸带、磁带、磁盘等。
- (7) 检验与修改加工程序。
- (8) 首件试加工以进一步修改加工程序,并对现场问题进行处理。
- (9) 编制数控加工工艺技术文件,如数控加工工序卡、程序说明卡、走刀路线图等。

1.2 数控机床组成系统

数控机床组成系统(数控技术)包括机床、数控系统和外围技术,如图 1-4 所示。

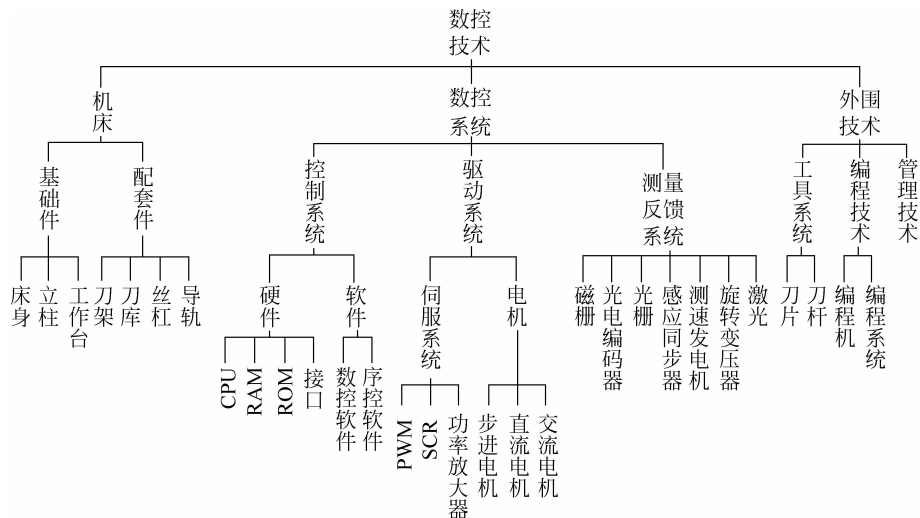


图 1-4 数控机床组成系统

1.2.1 数控机床组成与分类

1. 数控机床组成

组成一台完整的数控机床,主要由控制介质(穿孔带、磁带)、数控装置、伺服系统和机床 4 部分及辅助装置组成,如图 1-5 所示为其基本框图。

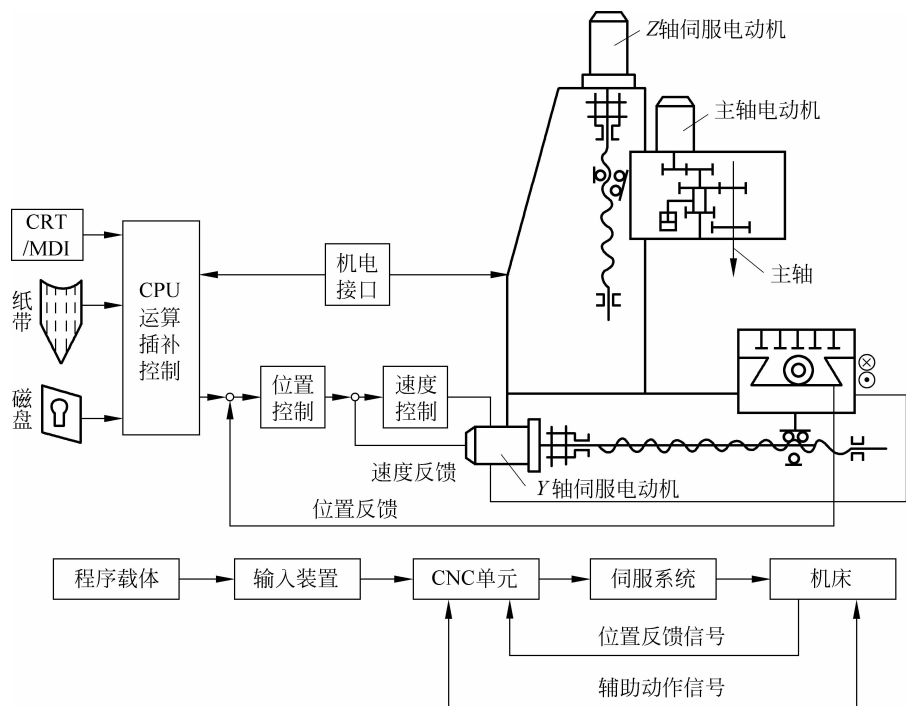


图 1-5 数控机床的组成及框图

(1) 控制介质

数控机床工作时,不需要人直接操纵机床,但机床又必须执行人的意图,这就需要一种在人与机床之间建立某种联系的中间媒介物,称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息。因此,控制介质是指将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式,随着数控装置类型的不同而不同,常用的有穿孔带、穿孔卡、磁带、磁盘等。控制介质上记载的加工信息要经过输入装置传送给数控装置,常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机和磁盘驱动器等。

除了上述几种控制介质以外,还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接将程序及数据输入。另外,随着 CAD/CAM 技术的发展,有些数控机床利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编程,然后通过计算机与数控系统通信,将程序和数据直接传送给数控装置。

(2) 数控装置

数控装置(CNC 单元)是数控机床的控制中心,被喻为中枢系统。数控装置由输入装置、控制运算器(CPU)和输出装置等构成。数控装置接受控制介质上的各种信息,经过识别与译码后,送到运算控制器进行计算处理,再经过输出装置将运算控制器发出的控制命令送到伺服系统,带动机床完成相应的运动。数控机床配置的数控装置不同,其功能和性能也有很大差异。就目前应用来看,FANUC(日本)、SIEMENS(德国)、FAGOR(西班牙)、HEIDENHAIN(德国)、MITSUBISHI(日本)等公司的数控装置及相关产品,在数控

机床行业占据主导地位。我国数控装置以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能数控系统产业化。常见的数控装置如图 1-6 和图 1-7 所示。



图 1-6 FANUC 数控装置

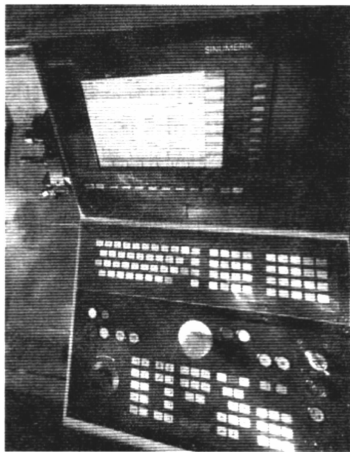


图 1-7 SIEMENS 数控装置

目前数控机床均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元(CPU)又称为微处理器,是一种大规模集成电路,它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中,输入与输出电路也采用大规模集成电路,即 I/O 接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。

(3) 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行机构,包括驱动、执行和测量反馈装置。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求与位置、速度反馈信号相比较后,带动机床的移动部件或执行部件动作,加工出符合图样要求的零件。伺服系统直接影响数控机床的速度、位置、加工精度、表面粗糙度等。

当前数控机床的伺服系统常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。后两者都带有光电编码器等位置测量元件,可用来精确控制工作台的实际位移量和移动速度。

(4) 机床本体

数控机床的本体是指其机械结构实体,是实现加工零件的执行部件。机床本体主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、溜板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等),以及特殊装置、自动工件交换(APC)系统、自动刀具交换(ATC)系统和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。数控机床与普通机床相比较有所改进,具有以下特点:

- ① 数控机床采用了高性能的主轴及伺服系统,机械传动结构简化,传动链较短。
- ② 机械结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形小。
- ③ 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

与普通机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。数控机床本体的部分部件如图 1-8~图 1-11 所示。

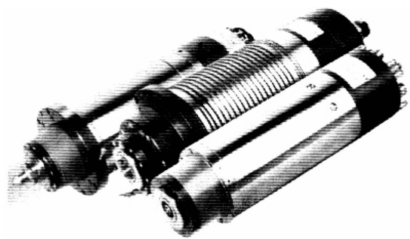


图 1-8 电动机主轴

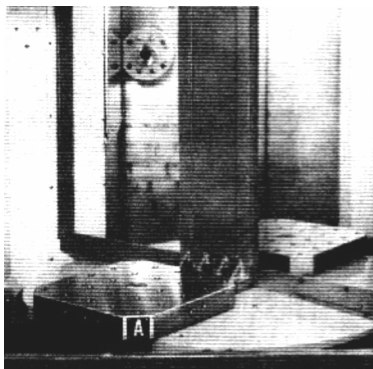


图 1-9 回转工作台

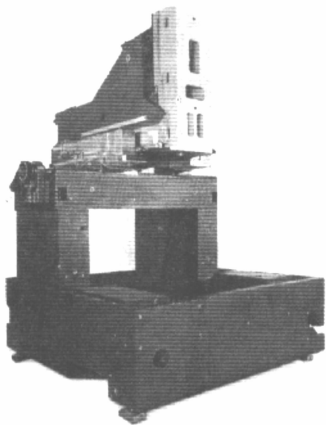


图 1-10 床身

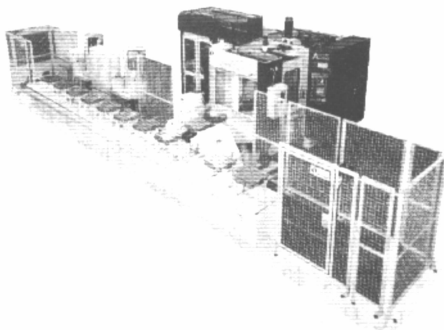


图 1-11 自动刀具交换系统

(5) 辅助装置

辅助装置主要包括换刀机构、工件自动交换机构、工件夹紧机构、润滑装置、冷却装置、照明装置、排屑装置、液压气动系统、过载保护与限位保护装置等。数控机床辅助装置具体品种有:为经济型数控车床配套的各种简易数控刀架;为全功能数控车床配套的各种全功能数控刀架、动力卡盘、自定心中心架;为数控铣床及加工中心配套的各种数控分度头、数控回转工作台、数控刀杆;为数控磨床等配套的各类吸盘、角度转换镗钻头、各类机用虎钳及自动排屑、过滤、恒温装置等。部分辅助装置如图 1-12 和图 1-13 所示。

2. 数控机床的分类及应用范围

(1) 按加工方式和工艺用途分类

按加工方式不同,数控机床可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。有些数控机床具有两种以上切削功能,例如,以车削为主兼顾铣、钻削的车削中心;

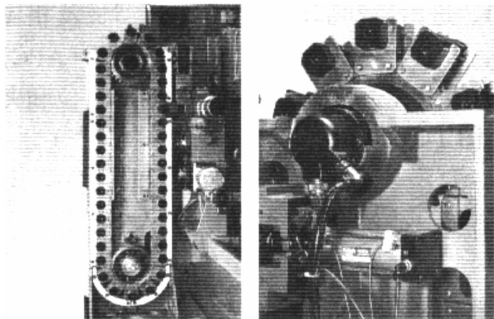


图 1-12 刀库

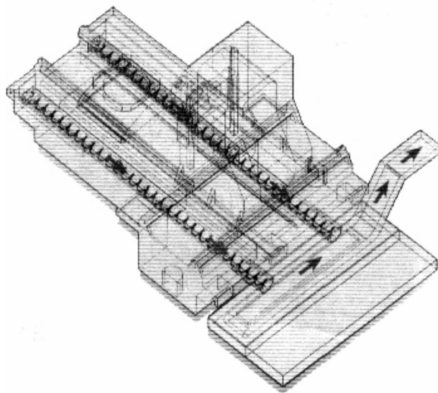


图 1-13 排屑装置

具有铣、镗、钻削功能,带刀库和自动换刀装置的镗铣加工中心(简称加工中心)。另外,还有数控电火花线切割、数控电火花成形、数控激光加工、等离子弧切割、火焰切割、数控板材成形、数控冲床、数控剪床、数控液压机等各种功能和不同种类的数控加工机床。

(2) 按加工路线分类

按刀具与工件相对运动的方式,数控机床可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制。

① 点位控制数控机床。点位控制就是刀具与工件相对运动时,只控制从一点运动到另一点的准确性,而不考虑两点之间的运动路径和方向,如图 1-14(a)所示。这种控制方式多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控点焊机等。

② 直线控制数控机床。直线控制就是刀具与工件相对运动时,除控制从起点到终点的准确定位外,还要保证平行坐标轴的直线切削运动,如图 1-14(b)所示。由于只作平行坐标轴的直线进给运动,因此不能加工复杂的工件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

③ 轮廓(连续轨迹)控制数控机床。轮廓控制就是刀具与工件相对运动时,能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制。因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓,如图 1-14(c)所示。采用这种控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

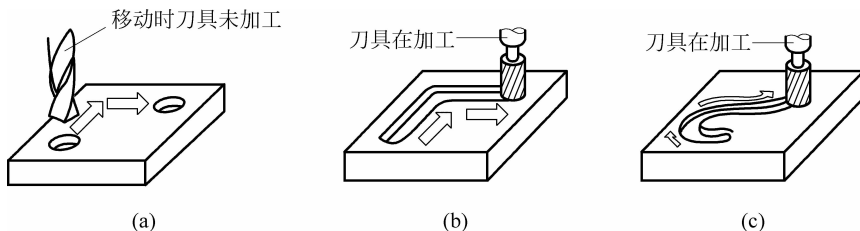


图 1-14 数控机床分类

(a) 点位控制; (b) 直线控制; (c) 轮廓控制