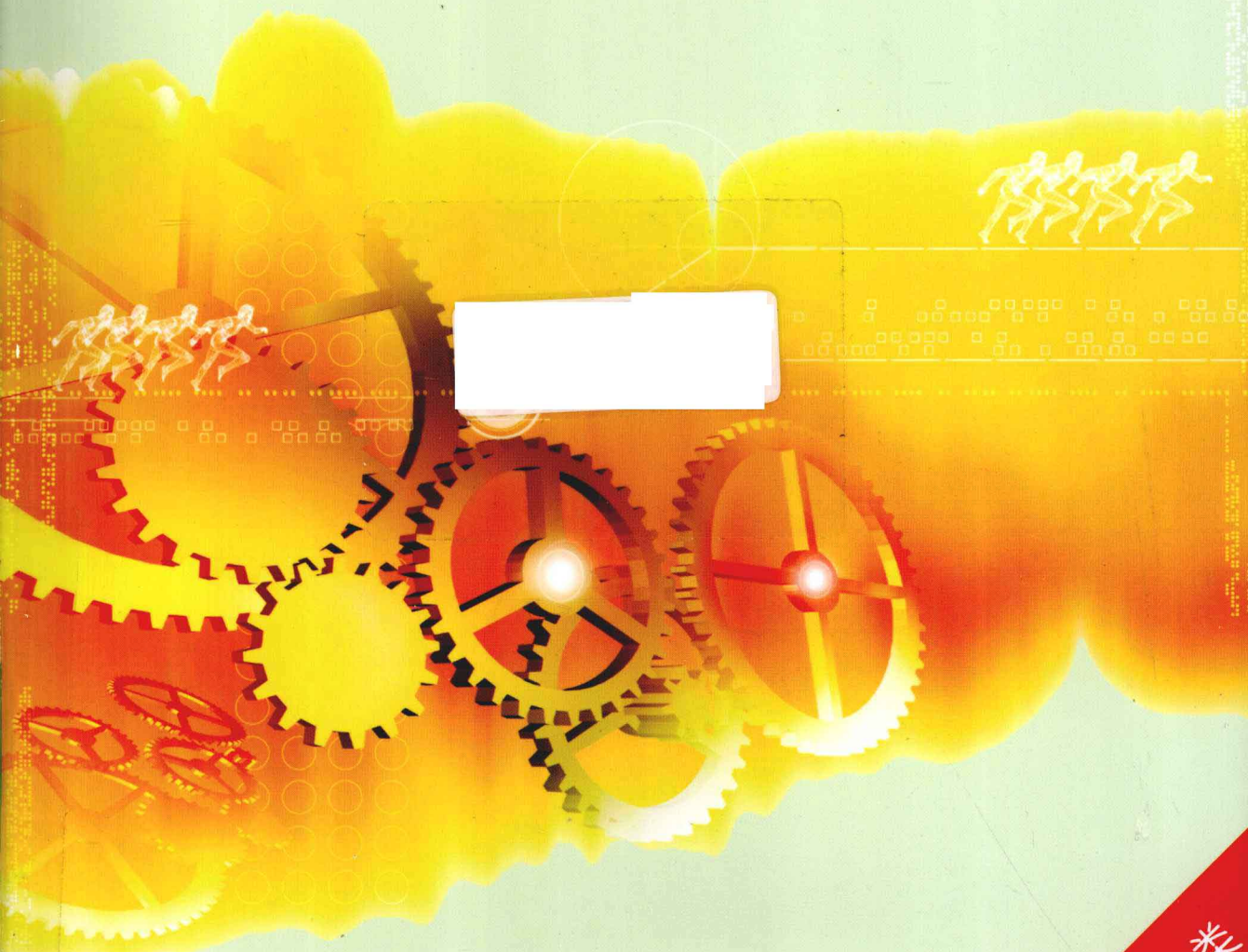




全国高等职业教育创新型“十二五”重点规划教材·机电类

数控编程与联机加工

主 编 陈红江 熊建强



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

机电类



全国高等职业教育创新型“十二五”重点规划教材·机电类

数控编程与联机加工

主 编 陈红江 熊建强

副主编 黄文华 罗春华 邹振洪 张 霖

参 编 黄雪梅 张 方 潘 强 廖 群

常州大学图书馆
藏书章



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

机电类

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与联机加工/陈红江,熊建强编. —长沙:中南大学出版社,2013.4

ISBN 978-7-5487-0774-5

I. 数... II. ①陈...②熊... III. ①数控机床-程序设计
②数控机床-加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 018014 号

数控编程与联机加工

陈红江 熊建强 编

☐责任编辑 胡小锋

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 19 ☐字数 464 千字

☐版 次 2013 年 4 月第 1 版 ☐2013 年 4 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0774-5

☐定 价 36.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

数控加工技术作为现代机械制造技术的基础,使得机械制造过程发生了显著的变化。现代数控加工技术与传统加工技术相比,无论在加工工艺、加工过程控制,还是加工设备与工艺装备等诸多方面均有显著不同。高等院校将数控加工及编程技术作为机械类和机电类专业学生的必修知识是十分必要的。

本书从培养工程技术应用型人才的目的出发,介绍了数控加工工艺、数控机床加工程序编制的基础知识,着重讲述了数控车、数控铣、加工中心、线切割的编程方法;还详细介绍了一种数控加工仿真软件的使用方法及数控机床的操作方法,以此为实践教学提供帮助和指导,使教材更具完整性和实用性。

全书强调基础性,注重实用性,突出工程应用性。例题和加工实例典型、详尽。各章节中的例题,都是结合加工工艺分析进行加工程序编制的;各章所附的综合加工实例,则从零件图分析、数控工艺设计、数控加工程序编制、数控加工仿真几个方面,将基本概念与实际应用、数控加工程序的编制与工艺设计很好地结合在一起,以此增强数控编程技术的应用能力;在数控加工系统仿真中结合当前常用的法那克、西门子等系统进行了介绍。

由于篇幅和编者水平有限,书中难免有不足和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 3 月

目 录

项目一 数控技术与数控机床概述	(1)
任务一 数控机床的产生与发展	(1)
任务二 数控机床组成结构	(3)
任务三 数控机床分类	(5)
任务四 数控机床的特点及适用范围	(9)
项目二 数控编程工艺基础	(12)
任务一 数控加工工艺	(12)
任务二 数控加工工艺分析与设计	(15)
任务三 数控加工刀具选择	(31)
任务四 数控加工装夹选择	(40)
任务五 切削用量的选择	(41)
任务六 数控编程中的数学处理	(44)
任务七 数控加工工艺文件编制	(49)
任务八 数控机床安全操作规程	(51)
项目三 数控编程基础	(54)
任务一 程序结构与程序段格式	(55)
任务二 数控指令代码系统	(57)
任务三 数控机床坐标系统	(62)
任务四 数控编程方式	(66)
项目四 数控车床工艺与编程	(69)
任务一 数控车床编程基础	(69)
任务二 数控车床指令系统	(83)
任务三 数控车床综合编程举例	(113)
任务四 FANUC Oi 数控车床系统操作及应用	(121)

项目五 数控铣床(加工中心)工艺与编程	(140)
任务一 数控铣床(加工中心)编程基础	(140)
任务二 数控铣床指令系统	(153)
任务三 数控铣床综合编程举例	(176)
任务四 加工中心工艺与编程	(185)
任务五 FANUC Oi-MA 数控系统操作及应用	(192)
项目六 数控电火花线切割加工工艺与编程	(210)
任务一 电火花线切割加工原理	(210)
任务二 线切割机床	(212)
任务三 线切割加工工艺基础	(217)
任务四 线切割加工程序编制	(233)
项目七 数控自动编程	(248)
任务一 数控自动编程简介	(248)
任务二 Mastercam 软件简介	(250)
任务三 Mastercam 软件铣削实例	(252)
项目八 数控联机加工	(288)
任务一 数控 DNC 概述	(288)
任务二 FANUC Oi 数控系统 DNC 技术	(291)
参考文献	(294)

项目一

数控技术与数控机床概述

任务引入

任务一 数控机床的产生与发展

任务分析

数控技术在我国现代工业中的应用,数控技术的现状和发展趋势。

相关知识

一、数控机床发展的历史

社会需求是推动生产力发展最有力的因素。20 世纪 40 年代以来,由于航空航天技术的飞速发展,对于各种飞行器的加工提出了更高的要求,这些零件大多形状非常复杂,材料多为难加工的合金,用传统的机床和工艺方法进行加工,不能保证精度,也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形状表面的加工问题,1952 年,美国帕森斯公司和麻省理工学院成功研制了世界上第一台数控机床。半个世纪以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了两个阶段和六个时代。

1. 数控(NC)阶段(1952—1970 年)

早期的计算机运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了三代:1952 年起的第一代——电子管数控机床;1959 年起的第二代——晶体管数控机床;1965 年起的第三代——集成电路数控机床。

2. 计算机数控(CNC)阶段(1970 年—现在)

1970 年,通用小型计算机已出现并投入成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了三代:1970 年起的第四代——小型计算机数控机床;1974 年起的第五代——微型计算机数控系统;1990 年起的第六代——基于 PC 的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每 5 年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

二、数控机床的发展趋势

随着数控技术的发展和应用领域的扩大,数控机床对国计民生的一些重要行业(如 IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用,当前世界上数控机床的发展呈现如下趋势。

1. 高速度和高精度

速度和精度是数控机床的两个重要技术指标,它直接关系到加工效率和产品质量。高速度的首先是要求计算机数控系统在读入加工指令数据后,能高速度处理并计算出伺服电机的位移量,并且要求伺服电机高速度地做出反应;此外,要实现生产系统的高速度,还必须谋求主轴转速、进给率、刀具交换、托盘交换等各种关键部件也要实现高速度。

2. 多功能

一机多能的数控机床,可以最大限度地提高设备的利用率。如数控加工中心(Machining Center, MC)配有机械手和刀具库,工件一经装夹,数控系统就能控制机床自动地更换刀具,连续对工件的各个加工面自动地完成铣削、镗削、铰孔、扩孔及攻螺纹等多工序加工,从而避免多次装夹所造成的定位误差。这样既减少了设备台数、工夹具和操作人员,又节省了占地面积和辅助时间。为了提高效率,新型数控机床在控制系统和机床结构上也有所改革。例如,采取多系统混合控制方式,用不同的切削方式(车、钻、铣、攻螺纹等)同时加工零件的不同部位等。

3. 智能化

数控机床应用高技术的重要目标是智能化。智能化技术主要体现在以下几个方面。

(1) 引进自适应控制技术

引进自适应控制技术(Adaptive Control, AC)的目的是要求在随机的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。通常,数控机床是按照预先编好的程序进行控制,但随机因素(如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等)难以预测,为了确保质量,势必在编程时采用较保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC 系统可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,并由 CPU 进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号,确保 AC 处于最佳的切削用量状态,从而在保证质量条件下使加工成本最低或生产率最高。AC 系统主要在宇航等工业部门用于特种材料的加工。

(2) 附加人机会话自动编程功能

建立切削用量专家系统和示教系统,从而达到提高编程效率和降低对编程人员技术水平的要求。

(3) 具有设备故障自诊断功能

数控系统出了故障,控制系统能够进行自诊断,并自动采取排除故障的措施,以适应长时间无人操作环境的要求。

4. 小型化

蓬勃发展的机电一体化设备,对数控系统提出了小型化的要求,体积小型化便于将机、电装置组合为一体。日本新开发的 FS16 和 FS18 都采用了三维安装方法,使电子元器件得以高密度地安装,极大地缩小了系统的占有空间。此外,它们还采用了新型 TFT(彩色液晶薄

型)显示器,使数控系统进一步小型化,这样可更方便地将它们装到机械设备上。

5. 高可靠性

数控系统比较贵重,用户期望发挥投资效益,因此要求设备具有高可靠性。特别是对在长时间无人操作环境下运行的数控系统,可靠性成为人们最为关注的问题。

任务引入

任务二 数控机床组成结构

任务分析

了解数控技术的基本概念、数控机床加工过程及其结构组成。

相关知识

一、数控机床的基本概念

1. 数控(Numerical Control, NC)

数控是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

2. 数控机床

数控机床是指装备了计算机数控系统的机床,简称 CNC 机床。

二、数控机床加工零件的过程

利用数控机床完成零件加工的过程如图 1-1 所示,主要包括以下内容。

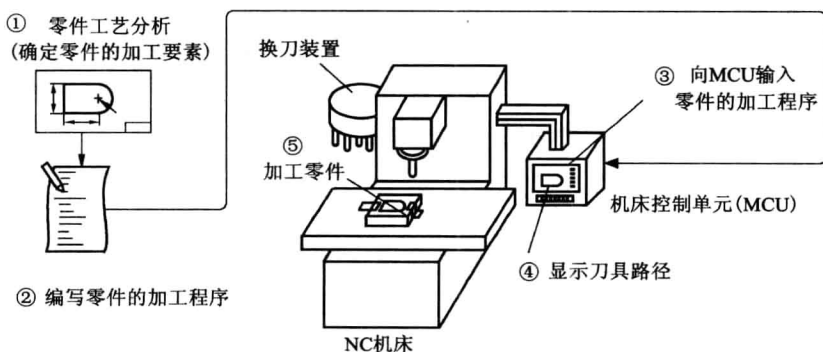


图 1-1 数控机床加工零件的过程

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、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,或用自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。

(3)程序的输入或传输。由手工编写的程序,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(MCU)。

(4)将输入或传输到数控单元的加工程序,进行刀具路径模拟、试运行等。

(5)通过对机床的正确操作,使程序运行,完成零件的加工。

三、数控机床的组成

数控机床由输入输出设备、计算机数控装置(简称 CNC 装置)、伺服系统和机床本体等部分组成,其组成框图如图 1-2 所示,其中输入输出设备、CNC 装置、伺服系统合起来就是计算机数控系统。

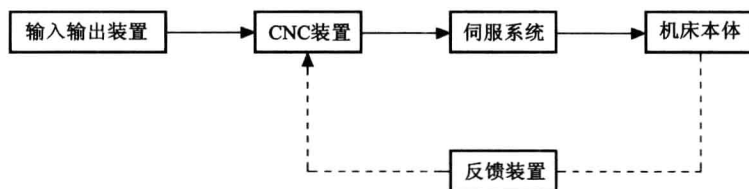


图 1-2 数控机床的组成框图

1. 输入输出装置

在数控机床上加工零件时,首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术条件,确定加工工艺,然后编制出加工程序,程序通过输入装置,输送给机床数控系统,机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置传出。输入输出装置是机床与外部设备的接口,常用输入装置有软盘驱动器、RS232C 串行通信口、MDI 方式等。

2. CNC 装置

CNC 装置是数控机床的核心,它接受输入装置送来的数字信息,经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,使设备按规定的动作执行。现在的 CNC 装置通常由一台通用或专用微机构成。

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部分,其作用是把来自 CNC 装置的脉冲信号转换成机床的运动,使机床移动部件精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动,从而加工出符合图纸要求的零件。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量(也称做最小设定单位),常用的脉冲当量为 0.001mm/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服系统,伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床加工零件的表面质量和生产率。伺服系统一般包括驱动装置和执行机构两大部分,常用执行机构有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的机械结构实体,主要包括主运动部件、进给运动部件(如工作台、刀架)、支承部件(如床身、立柱等),还有冷却、润滑、转位部件,如夹紧、换刀机械手等辅助装置。与普通机床相比,数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机

构等方面都发生了很大的变化。为了满足数控技术的要求并充分发挥数控机床的特点,主要包括以下几个方面的变化。

(1)采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度 high、抗震性好及热变形小等优点。

(2)进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

(3)具有完善的刀具自动交换和管理系统。

(4)在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

(5)机床本身具有很高的动、静刚度。

(6)采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭。

对于半闭环、闭环数控机床,还带有检测反馈装置,其作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测,把检测结果转化为电信号反馈给 CNC 装置。检测反馈装置主要有感应同步器、光栅、编码器、磁栅、激光测距仪等。

任务引入

任务三 数控机床分类

任务分析

了解数控机床的分类及其关键性区别。

相关知识

从不同的技术或经济指标出发,可对数控机床进行各种不同的分类,如按机床的工艺用途、控制运动的轨迹、伺服系统的类型、控制的坐标轴数及机床数控系统的性能价格比等都可进行分类。以下介绍常用的几种分类。

一、按控制运动的轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的机械运动实行点到点的准确定位控制,而对其点到点之间的运动轨迹不作要求,这是因为刀具在其定位运动的过程中不进行切削,而以快速进给到定位位置(即不与工件接触),如图 1-3 所示。数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床、数控元件插装机及数控测量机等均属于点位控制数控机床。

2. 直线控制数控机床

这类机床的机械运动方式除了要控制刀具相对于工件(或工作台)的起点和终点的准确位置外,还要控制每一程序段的起点与终点间的位移过程,即使刀具以给定的进给速度作平行于某一坐标轴方向的直线运动,如图 1-4 所示。属于直线控制数控机床的有数控车床和数控磨床等。

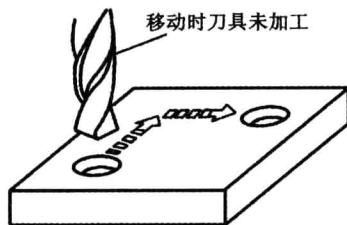


图 1-3 点位控制示意图

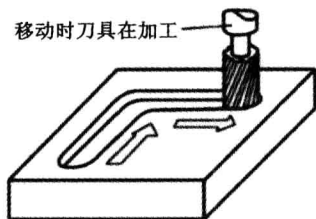


图 1-4 直线控制示意图



图 1-5 连续控制示意图

3. 连续控制数控机床

连续控制数控机床又称为轮廓控制数控机床,它能够同时对两个或两个以上的坐标进行控制,从而按给定的规律和速度进行准确的轮廓控制,使其运动轨迹成为所需要的直线、曲线或曲面,如图 1-5 所示。数控车床、铣床、凸轮磨床、齿轮加工机床等属于这类机床。

二、按伺服系统的类型分类

按机床进给伺服系统不同的控制方式,可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和全闭环控制数控机床。

1. 开环控制数控机床

采用开环伺服系统(又称为步进电机驱动系统),没有位置检测反馈装置,如图 1-6 所示。控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电机本身,故控制精度不高。但结构简单,反应迅速,工作稳定、可靠,调试及维修均很方便,价格低。

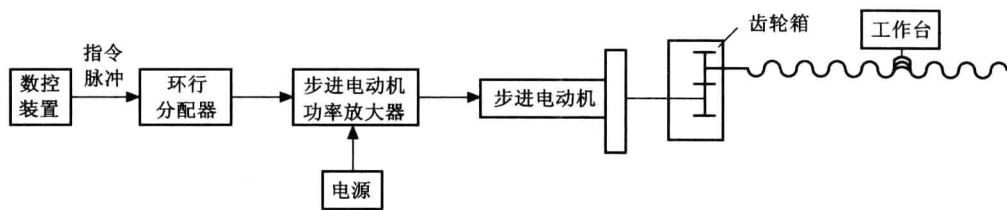


图 1-6 开环控制系统

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的控制原理如图 1-7 所示。有位置检测元件的为测量反馈装置,部分位置随动控制环路,但不把机械传动装置包括在内,故称为“半闭环”。控制精度比开环高。

3. 全闭环控制数控机床

控制精度很高,全部位置随动控制环路,如图 1-8 所示。自动检测并补偿所有的位移误差。但调试、维修工作均较困难,价格也较高。

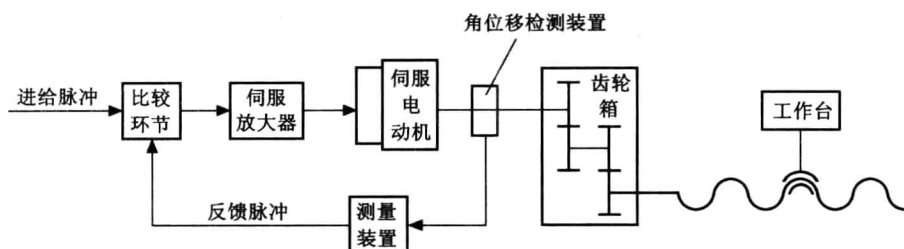


图 1-7 半闭环控制系统

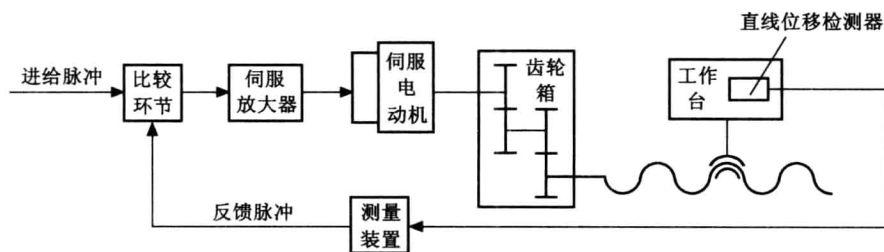


图 1-8 闭环控制系统

三、按控制的坐标轴数(联动轴数)分类

1. 两坐标数控机床

两坐标数控机床，指可以控制两个坐标轴加工曲线轮廓零件的机床。如同时控制 x 和 z 坐标轴的数控车床， z 和 y 坐标轴的数控线切割机床、简易数控铣床等。

2. 三坐标数控机床

联动控制的坐标轴均为三轴的轮廓控制机床，可用于加工不太复杂的空间曲面。最典型的是数控立式升降台铣床。

3. 2 轴半坐标数控机床

俗称为两个半坐标数控机床。有三个可以控制的坐标轴，但能同时进行联动控制的坐标轴只能是其中的任意两个，第三个不能联动控制的坐标轴仅能作等距的周期移动。属于这类机床的主要有经济型数控铣床和数控钻床等。

4. 多坐标数控机床

数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂，适于加工形状复杂的零件，如叶轮叶片类零件。

四、按加工工艺范围分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的，各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床，按工艺用途分类，大致如下。

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。包

括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大。这里需要特别说明的是加工中心，也称为可自动换刀的数控机床。这类数控机床都带有一个刀库和自动换刀系统，刀库可容纳 16 ~ 100 多把刀具。

如图 1-9 和图 1-10 所示分别为立式加工中心、卧式加工中心的外观图。立式加工中心最适宜加工高度方向尺寸相对较小的工件，一般情况下，除底部不能加工外，其余五个面都可以用不同的刀具进行轮廓和表面加工。卧式加工中心适宜加工有多个加工面的大型零件或高度尺寸较大的零件。

2. 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。包括数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机、数控压力机等。这类机床起步晚，但目前发展很快。

3. 数控特种加工机床

数控特种加工机床如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机床和数控激光切割机床等。

4. 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床有数控三坐标测量仪、数控对刀仪和数控绘图仪等。

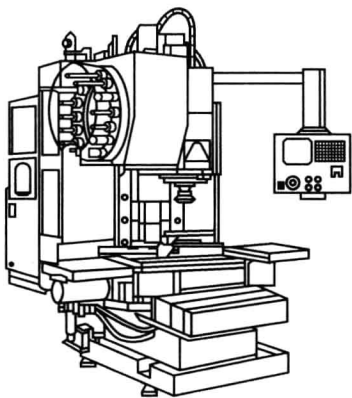


图 1-9 立式加工中心

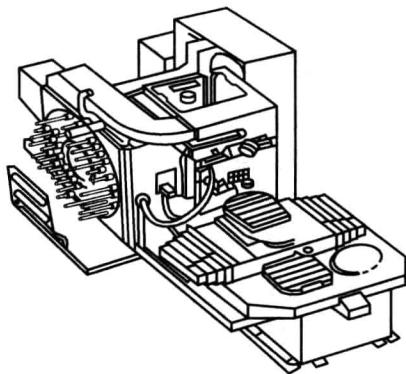


图 1-10 卧式加工中心

五、按数控系统功能水平分类

按数控系统的功能水平不同，数控机床可分为低、中、高三档。这种分类方式，在我国广泛使用。低、中、高档的界线是相对的，不同时期的划分标准有所不同。就目前的发展水平来看，数控系统可以根据表 1-1 的一些功能和指标进行区分。其中，中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。另外，在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控，是由单片机和步进电机组成的数控系统，或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能及指标表

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10μm	1μm	0.1μm
G00 速度	3 ~ 8m/min	10 ~ 24m/min	24 ~ 100m/min
伺服类型	开环及步进电机	半闭环及直、交流伺服电机	闭环及直、交流伺服电机
联动轴数	2 ~ 3	2 ~ 4	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232 或 DNC	RS-232、DND、MAP
显示功能	数码管显示	CRT：图形、人机对话	CRT：三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理器或多微处理器	分布式多微处理器

任务引入

任务四 数控机床的特点及适用范围

任务分析

了解数控机床的加工特点，合理应用数控机床。

相关知识

一、数控机床加工的特点

数控机床与普通机床相比，具有以下特点。

1. 可以加工具有复杂型面的工件

在数控机床上加工零件，零件的形状主要取决于加工程序。因此只要能编写出程序，无论工件多么复杂都能加工。例如，采用五轴联动的数控机床，就能加工螺旋桨的复杂空间曲面。

2. 加工精度高，质量稳定

数控机床本身的精度比普通机床高，一般数控机床的定位精度为 ±0.01 mm，重复定位精度为 ±0.005 mm，在加工过程中操作人员不参与操作，因此工件的加工精度全部由数控机床保证，消除了操作者的人为误差；又因为数控加工工序集中，减少了工件多次装夹对加工精度的影响，所以工件的精度高，尺寸一致性好，质量稳定。

3. 生产率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间。数控机床主轴转速和进给量的调节范围大，允许机床进行大切削量的强力切削，从而有效地节省了加工时间。数控机床移动部

件在定位中均采用了加速和减速措施,并可选用很高的空行程运动速度,缩短了定位和非切削时间。对于复杂的零件可以采用计算机自动编程,而零件又往往安装在简单的定位夹紧装置中,从而加速了生产准备过程。尤其在使用加工中心时,工件只需一次装夹就能完成多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产率的提高更为明显。此外,数控机床能进行重复性操作,尺寸一致性好,减少了次品率和检验时间。

4. 改善劳动条件

使用数控机床加工零件时,操作者的主要任务是程序编辑、程序输入、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等,劳动强度极大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全。

5. 有利于生产管理现代化

使用数控机床加工零件,可预先精确估算出零件的加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

二、数控机床的适用范围

从数控机床加工的特点可以看出,数控机床加工的主要对象有:

- (1)多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件;
- (2)几何形状复杂的零件;
- (3)精度及表面粗糙度要求高的零件;
- (4)加工过程中需要进行多工序加工的零件;
- (5)用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件。

由此可见,数控机床和普通机床都有各自的应用范围,如图1-11所示。图中横轴是零件的复杂程度,纵轴是每批的生产件数。由图1-11所示可以看出数控机床的使用范围很广。图1-12所示为在各种机床上加工零件时批量和综合费用的关系。

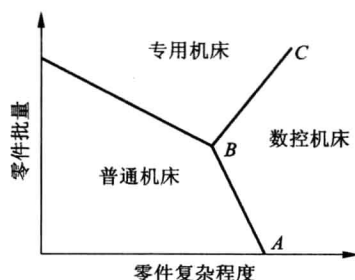


图 1-11 各种机床的使用范围

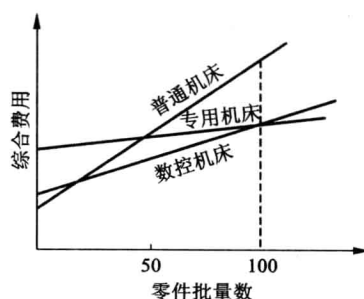


图 1-12 各种机床的加工批量与成本的关系

思考与练习

1. 什么是数控、数控机床？
2. 数控机床主要由哪几部分组成？
3. 数控机床的加工原理是什么？数控机床的加工特点是什么？
4. 数控机床有哪些类型？开环、半闭环和闭环控制系统有何区别？优缺点何在？各用于什么场合？
5. 与传统机械加工方法相比，数控机床加工有哪些特点？
6. 数控机床加工的主要对象是什么？