



普通高等教育“十二五”规划教材

数控加工技术

李铁钢 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

数控加工技术

主编 李铁钢
编写 李跃中 张 陈 范智广
主审 刘东梅 吴广东



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

全书内容共分八章,包括数控加工技术基础、数控车床程序编制、数控铣床和加工中心程序编制、计算机辅助数控程序编制技术、数控加工仿真技术、数字化测量技术、其他数控加工技术、数控加工技术的研究热点。本书内容翔实,结构合理,全面反映数控技术的工程实践。

本书可作为高等院校工科机械类专业的教材,也可供其他专业的师生和相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/李铁钢主编. —北京:中国电力出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-6096-9

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床-加工-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第139783号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年8月第一版 2014年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.25印张 421千字

定价 35.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

本书在内容编排上,从工程实际出发,以应用为导向,介绍了数控加工技术,使学生通过学习,真正掌握相关知识与技能。

本书编者都是在高等院校多年从事数控技术教学研究的一线教师,具有丰富的教学、工程实践与教材编写经验,能够准确地把握学生的学习状态与实际需求。

本书具体讲授了数控加工技术基础、数控车床程序编制、数控铣床和加工中心程序编制、计算机辅助数控程序编制技术、数控加工仿真技术、数字化测量技术、其他数控加工技术、数控加工技术的研究热点,数控加工技术贯穿于制造实践中。

本书语言简洁,图例清晰,案例典型丰富,技术先进实用。

本书由沈阳工程学院李铁钢担任主编,参加编写的还有李跃中、张陈、范智广。具体分工如下:绪论、第一、四、六、七章由李铁钢编写,第五章由范智广编写,第八章由张陈编写,附录由李跃中编写。本书提供电子课件,主编邮箱 ltgchina@126.com。

本书由中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司刘东梅、吴广东高级工程师担任主审。

在本书的编写过程中,得到沈阳工程学院和中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司高级工程技术人员的大力帮助,并提出许多宝贵的建议,在此一并致谢。

鉴于编者水平有限,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

前言	1
绪论	1
第一章 数控加工技术基础	2
第一节 数控加工技术的基本概念	2
第二节 数控机床的分类及应用	5
第三节 数控加工坐标系	9
第四节 数控加工工艺	13
第五节 数控加工程序	24
第六节 程序中零件几何信息的表征	31
思考与练习	38
第二章 数控车床程序编制	39
第一节 数控车削机床分类	39
第二节 数控车床的典型功能部件	41
第三节 数控车削加工刀辅具	42
第四节 数控车削工艺	43
第五节 数控车削程序编制	48
第六节 数控车加工程序示例	72
思考与练习	77
第三章 数控铣床和加工中心程序编制	79
第一节 数控铣加工设备与工装	79
第二节 数控铣削工艺	85
第三节 数控铣削程序编制	97
第四节 数控铣程序编制实例	116
思考与练习	122
第四章 计算机辅助数控程序编制技术	123
第一节 计算机辅助数控编程概述	123
第二节 计算机辅助数控编程的数据获得	125
第三节 刀具轨迹的处理	145
第四节 后置处理	147
思考与练习	153
第五章 数控加工仿真技术	154
第一节 数控加工仿真概述	154
第二节 基于 VERICUT 的数控加工仿真	155

思考与练习	164
第六章 数字化测量技术	165
第一节 数字化测量概述	165
第二节 测量数据处理	170
第三节 测量程序编制	177
思考与练习	181
第七章 其他数控加工技术	182
第一节 数控高速切削技术	182
第二节 数控车铣复合加工技术	187
第三节 数控电火花加工	189
第四节 数控激光加工	208
第五节 数控冲压技术	217
第六节 其他技术简介	221
第七节 数控加工排料	222
思考与练习	226
第八章 数控加工技术的研究热点	227
第一节 加工基础理论和装备研究	227
第二节 数控技术的发展趋势	229
第三节 基于 STEP 的数控加工	231
思考与练习	233
附录 A 参考实验	234
实验一 数控加工工艺规程的编制	234
实验二 数控车床的基本操作	244
实验三 宇龙数控加工仿真	249
实验四 数控车削零件的加工	254
实验五 数控铣削零件的加工	255
实验六 计算机辅助数控编程	257
实验七 后置处理技术	259
实验八 VERICUT 数控加工仿真	259
实验九 数字化测量	260
实验十 数控车铣复合编程	262
实验十一 数控线切割加工	262
实验十二 复杂结构件的综合编程与加工	263
附录 B 重点名词术语中英文对照	265
附录 C 技术论坛网址	268
参考文献	269



第一章 绪论

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的性能、质量、生产率和生产成本提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的最重要技术措施之一,它不仅能够提高产品质量和生产率,降低生产成本,还能改善工人的劳动条件。因此,许多企业采用自动机床、组合机床和专用机床组成自动或半自动生产线。但是,采用这种自动和高效率的设备,需要很大的初期投资及较长的生产准备周期,只有在大批量的生产条件下(如汽车、拖拉机、家用电器等)进行主要零件生产,才会有显著的经济效益。

机械制造工业中,单件、小批量生产的零件约占机械加工总量的80%,此外,科学技术的进步和机械产品市场竞争日趋激烈,致使机械产品不断改型、更新换代,批量相对减少,质量要求越来越高,采用专用的自动机床加工这类零件就显得很不合理,而调整或改装专用的“刚性”自动生产线投资大、周期长,从技术上讲有些是不可能实现的。

采用各类仿型机床加工,虽然可以部分地解决小批量复杂零件的加工,但在更换零件时,需制造靠模和调整机床,生产准备周期长,而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适用产品频繁变化的“柔性”自动化机床。

随着计算机科学技术的发展,1952年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(M.I.T.)合作,成功研制了世界上第一台以数字计算机原理为基础的数字控制三坐标铣床,开创了机械加工自动化的新纪元。1955年,数字控制机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要的作用。

我国从1958年开始研制数控机床,20世纪60年代中期进入实用阶段。近年来,由于改革开放,引进国外的数控系统和伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前,我国的数控机床种类和数控加工技术取得了重大的发展。

数字控制技术在国民经济生产中发挥着举足轻重的作用,广义上说,数字控制技术包含对装备制造、造纸、石油、化工以及各种各样的生产设备的过程控制;狭义上说,数字控制技术指机床数控技术。

数字控制简称数控(Numerical Control, NC),采用数字指令自动控制机械的动作,控制位置、角度和速度等机械量,也包括温度、压力、流量等物理量。

采用计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)技术进行机床控制,提高了机床的性能。

数控技术是电子信息技术与传统机床技术相融合的机电一体化产品,在整个现代制造系统中处于核心的地位,其拥有量已成为衡量一个国家的制造技术水平和工业水平的重要指标。

第一章 数控加工技术基础

第一节 数控加工技术的基本概念

一、数控加工原理

数控加工是指通过数控机床进行零件的自动加工,利用计算机精确控制机床按给定的未知坐标进行运动,其工作过程分以下几个步骤实现:

(1) 根据被加工零件的图纸制订工艺方案,用规定的代码和程序格式编写加工程序;

(2) 将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,向机床各坐标轴的伺服机构和辅助控制装置发出信号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。

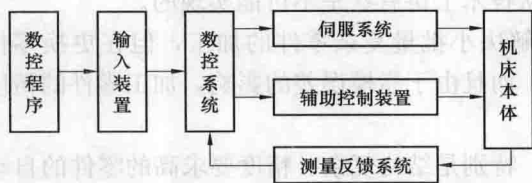


图 1-1 数控机床的基本组成

二、数控机床的组成

如图 1-1 所示,数控机床的基本组成包括数控程序、输入装置、数控系统、伺服系统和测量反馈系统、辅助控制装置及机床本体。

1. 数控程序

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床加工,而是由数控系统控制机床,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(也称信息载体)上,常用的控制介质有穿孔带、磁带和磁盘等。

2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质(信息载体)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,输入装置可以是光电阅读机、磁带机、软盘驱动器、U 盘和移动硬盘。数控加工程序也可通过键盘,用手工方式(MDI 方式)直接输入数控系统,或者将数控加工程序由编程计算机用通信方式传送到数控系统中。现在广泛使用的方法是利用局域网通过 DNC 控制程序实现加工。

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、运算器和存储器四大部分组成,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。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,又称为软件数控。

数控系统接受输入装置送来的脉冲信息,经过数控系统的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。

机床的性能很大程度上决定于数控系统的功能，典型的国外数控系统有 SIEMENS、FANUC、FIDIA、NUM 和 A-B；国内数控系统有华中系统、广州系统、蓝天系统和飞扬系统等。数控系统按照机床功能和价格档次分模块选购配置。

4. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统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移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

测量元件将数控机床各坐标轴的位移指令值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与设定值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

相对于数控系统发出的每个进给脉冲信号，机床移动部件的位移量称为最小设定单位，也称为脉冲当量，数控机床根据其精度的不同，使用的脉冲当量为 0.01、0.005mm 及 0.001mm，现在常用的为 0.001mm。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收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，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。

由于可编程逻辑控制器（PLC）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

与传统的机床相比较，数控机床本体仍然由主传动装置、进给传动装置、床身及工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床的整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。

三、数控加工技术的特点

采用数控加工技术的优点如下。

1. 加工精度高

目前，数控机床的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装置进行补偿，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，重复定位精度为 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，同一批零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量十分稳定。

2. 对加工对象的适应性强

数控机床改变加工零件时,只需重新编制(更换)程序。输入新程序就能实现对新的零件的加工,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。对那些普通手工操作的一般机床很难加工或无法加工的精密复杂零件,数控机床也能实现自动加工。

3. 自动化程度高,劳动强度低

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成,操作者除了安放穿孔带或操作键盘、装卸工件、关键工序中间检测,以及观察机床运行之外,不需要进行繁杂的重复性手工操作。劳动强度与紧张程度均可大大减轻。加上数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑等装置,使操作者的劳动条件也大为改善。

4. 生产效率高

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量;由于数控机床的结构刚性好,因此允许进行大切削用量的强力切削,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空行程运动速度快,工件装夹时间短,辅助时间比一般机床少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装调整时间,数控机床加工质量稳定,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上进行加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更加明显。

5. 良好的经济效益

数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零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;数控机床加工零件一般不需制作专用工夹具,节省了工艺装备费用;数控机床加工精度稳定,降低了废品率,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。

6. 有利于现代化管理

数控机床加工能准确地计算零件加工工时和费用,并有效地简化了检验工夹具、半成品的管理工作,有利于生产现代化管理。数控机床使用数字信息与标准代码输入,最适宜于数字计算机联网,成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

四、数控加工适合的零件

- (1) 形状复杂、精度高的结构件和曲面类零件;
- (2) 一次装夹进行钻、铣、镗、铰和攻丝等工艺加工的零件;
- (3) 中小批量、质量高的零件;
- (4) 通用机床工装复杂,需要长时间调整的零件。

典型的加工零件如图 1-2 所示。

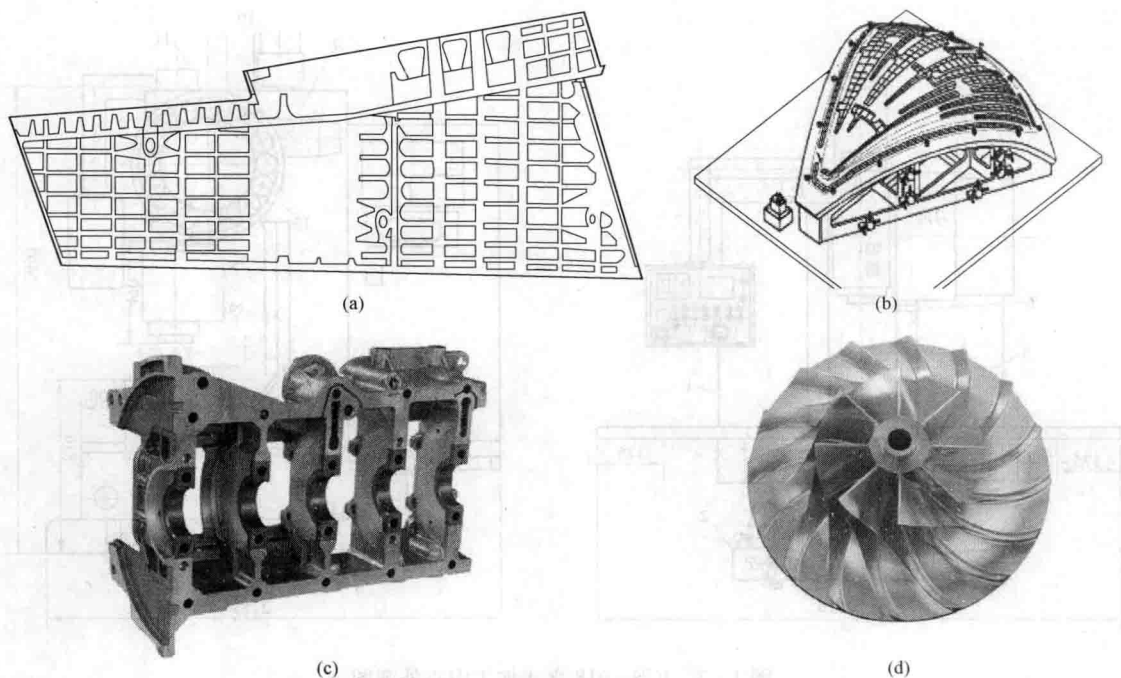


图 1-2 典型的加工零件

(a) 飞机壁板；(b) 曲面真空夹具；(c) 发动机箱体；(d) 压缩机叶轮

第二节 数控机床的分类及应用

数控机床品种规格多，归纳起来可分为如下几类。

一、按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的机械加工车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工相适应的数控机床有数控车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。尽管这些数控机床加工工艺方法存在很大差别，具体的控制方式也各不相同，但它们都具有很好的精度一致性、较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为加工中心机床，加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。以铣、镗、钻加工中心为例，在数控铣床上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后，可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。JCS-018 立式加工中心外观图如图 1-3 所示。

加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床是指采用挤、冲、压、拉等成形工艺方法加工零件的数控机床，普

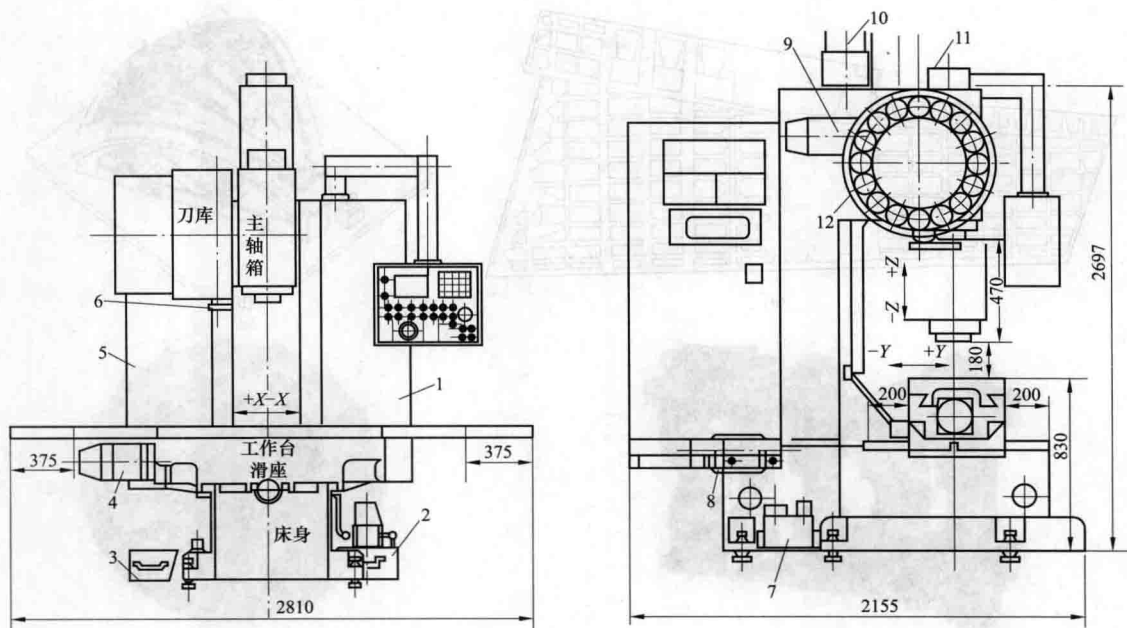


图 1-3 JCS-018 立式加工中心外观图

- 1—伺服装置、电源；2—冷却油箱（选用）；3—切屑箱；4—X 轴电动机；5—数控装置；6—机械手；
7—润滑油箱；8—Y 轴电动机；9—刀库电动机；10—Z 轴电动机；11—主轴电动机；12—刀库罩壳

通金属成形类机床很多通过模具对材料进行成形，数控技术的引用减少了模具，提高了制造精度和生产效率。

常用的金属成形类数控机床有数控液压机、数控冲床、数控弯管机、折弯机和数控旋压机等。

3. 特种加工类数控机床

特种加工指利用声、光、电、磁和化学物质等对零件进行加工，常用的有电火花线切割加工机床、电火花成形机床和激光加工机床等。近年来，非加工设备中也大量采用了数控技术，如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

二、按控制系统分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不能进行任何加工。机床数控系统只需控制行程终点的坐标值，而不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动不需任何联系。为了尽可能地减少移动部件的运动时间并提高定位精度，移动部件首先快速移动，到接近终点坐标时减速，准确移动到终点定位。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机及数控弯管机等。

点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置，这种控制系统比较简单。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移

动定位, 而且能够实现平行坐标轴方向的直线切削加工运动。直线数控机床虽然扩大了点位控制数控机床的工艺范围, 但它的应用仍然受到了很大的限制, 这类数控机床主要有简易数控车床、数控铣镗床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是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, 而且要控制整个加工过程中每一点的速度和位移。图 1-4 所示为两坐标轮廓控制数控铣床的工作原理。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床是典型的轮廓数控机床, 它们可代替所有类型的仿型加工, 提高加工精度和生产率, 缩短生产准备时间。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也都采用了轮廓控制系统。

三、按伺服系统分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点是其控制系统不带反馈装置, 通常使用功率步进电动机为伺服执行机构。数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动电路, 不断改变供电状态, 使步进电动机转过相应的步距角, 再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转, 通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。图 1-5 所示为开环数控机床工作原理。

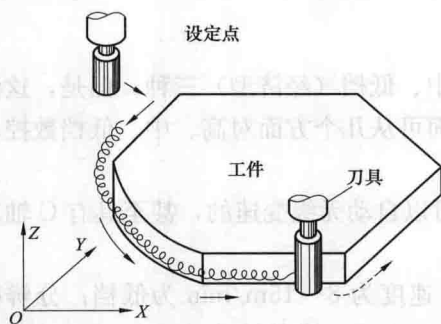


图 1-4 两坐标轮廓控制数控铣床的工作原理

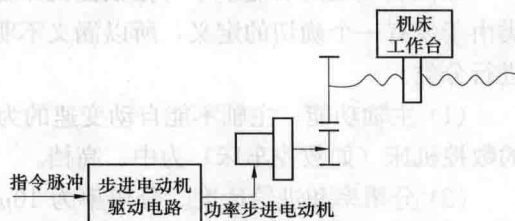


图 1-5 开环数控机床工作原理

开环控制系统结构简单, 成本较低。但是, 系统对移动部件的实际位移量不进行检测, 也不能进行误差校正。因此, 步进电动机的步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将反映到被加工零件的精度中去。因此, 开环系统仅适应加工精度要求不高的中小型数控机床, 特别是简易经济型数控机床。

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是在开环控制数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置(如感应同步器和光编码器等), 通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移, 然后反馈到数控装置中去。半闭环数控系统的调试比较方便, 并且具有很好的稳定性。目前已逐步将角位移检测装置和伺服电动机设计成一个部件, 使其结构更加紧凑。图 1-6 所示为半闭环控制数控机床的工作原理图。

3. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置, 将测量到的



图 1-6 半闭环控制数控机床的工作原理

实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，而与传动链的误差无关，显然其控制精度将超过半闭环系统，这就为进一步提高机床的加工精度创造了条件。图 1-7 所示为闭环控制数控机床工作原理图。

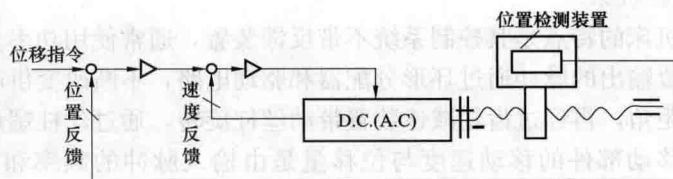


图 1-7 闭环控制数控机床工作原理

四、按数控系统功能分类

按控制系统的功能水平可把数控机床分为高、中、低档（经济型）三种，但是，这种分类由于没有一个确切的定义，所以涵义不明确。下面可从几个方面对高、中、低档数控机床进行分类。

(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（如数控车床）为中、高档。

(2) 分辨率和进给速度。分辨率为 $10\mu\text{m}$ ，进给速度为 $8\sim 15\text{m/min}$ 为低档；分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 24\text{m/min}$ 为中档；分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 100\text{m/min}$ 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 $2\sim 3$ 轴，中、高档的则为 $2\sim 4$ 轴或 $2\sim 5$ 轴以上。

(5) 通信功能。低档数控一般无通信功能；中、高档一般有 RS232C、RS485 等通信接口和接入网络的功能；高档的还有制造自动化协议 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 通信接口，具备联网功能。

(6) 显示功能。低档数控机床一般只有简单的数码显示或简单的 CRT 字符显示，而中档数控则具有较齐全的 CRT 和 LED 显示，不仅有字符，而且有图形、人机对话、自诊断功能；高档数控还可以有三维图形显示。

(7) 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。

(8) 主 CPU。低档数控一般采用 8 位 CPU，中、高档数控已由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡，目前新型的数控已有选用 64 位 CPU 的，以提高运算速度，增加处理功能。

在我国，把由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的系统称为经济型数控。主要用于车床、线切割机床，以及旧机床改造等。这类数控机床属于低档数控。而把功能比较齐全的数控系统称为全功能数控或称标准型数控。

第三节 数控加工坐标系

一、机床坐标系

数控机床利用数字化的零件几何信息控制机床实现精确的运动，加工出合格的零件，因此必须在程序中给出几何信息的位置坐标，机床按照坐标去控制刀具运动，因此必须建立机床坐标系。

(一) 建立机床坐标系的基本原则

从数控机床的结构上看，既有刀具运动、工件静止的机床，又有刀具静止、工件运动的机床。为了简化问题的讨论，从相对运动的观点，统一选择刀具相对于静止工件运动的原则作为分析机床坐标系的基本原则。

(二) 机床坐标系

标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔直角坐标系决定。

(1) 伸出右手的大拇指、食指和中指，并互为 90° ，则大拇指代表 X 坐标，食指代表 Y 坐标，中指代表 Z 坐标。

(2) 大拇指的指向为 X 坐标的正方向，食指的指向为 Y 坐标的正方向，中指的指向为 Z 坐标的正方向。

(3) 围绕 X 、 Y 、 Z 坐标旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标中任意轴的正向，则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向，机床坐标系如图 1-8 所示。

(三) 运动方向的规定

增大刀具与工件距离的方向为各坐标轴的正方向。

(四) 坐标轴方向的确定

1. Z 坐标

Z 坐标的运动方向平行于主轴轴线， Z 坐标的正方向为刀具离开工件的方向。

如果机床上有几个主轴，则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 坐标方向；如果主轴能够摆动，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向；如果机床无主轴，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 坐标方向。前置刀架数控车床坐标系如图 1-9 所示。

2. X 坐标

X 坐标平行于机床工作台，为工件的装夹平面，一般在水平面内。确定 X 轴的方向时，

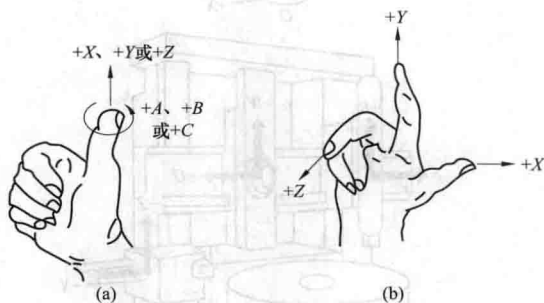


图 1-8 机床坐标系

(a) 角度坐标确定；(b) 直线坐标确定

要考虑两种情况。

(1) 如果工件做旋转运动, 则刀具离开工件的方向为 X 坐标的正方向。对于数控车床, 图 1-9 所示为前置刀架数控车床的 X 轴情况, 后置刀架数控车床的 X 轴如图 1-10 所示。

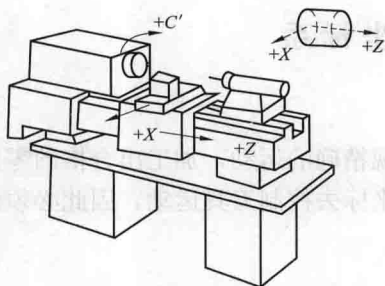


图 1-9 前置刀架数控车床坐标系

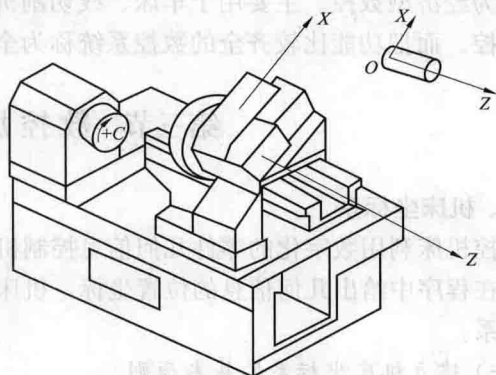


图 1-10 后置刀架数控车床坐标系

(2) 如果刀具做旋转运动, 则分为两种情况。 Z 坐标水平时, 观察者沿刀具主轴向工件看时, $+X$ 运动方向指向右方; Z 坐标垂直时, 观察者面对刀具主轴向立柱看时, $+X$ 运动方向指向右方。立式数控车床坐标系如图 1-11 所示, 立式数控铣床坐标系如图 1-12 所示, 卧式数控镗铣床坐标系如图 1-13、图 1-14 所示。

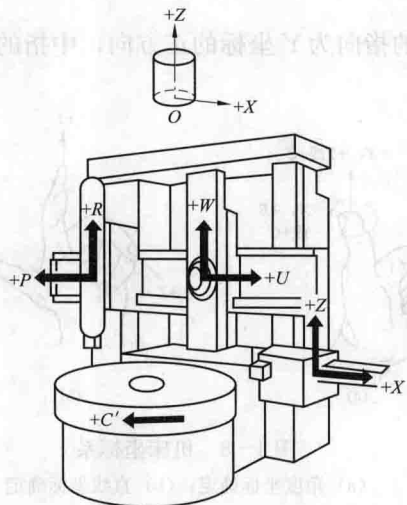


图 1-11 立式数控车床坐标系

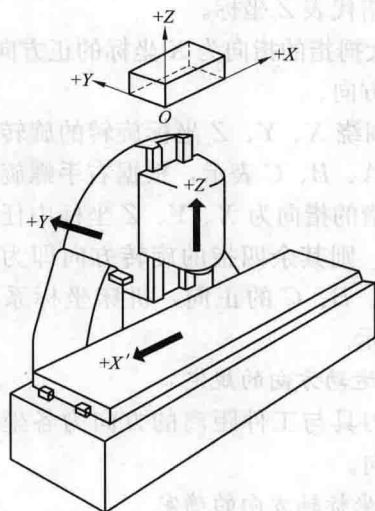


图 1-12 立式数控铣床坐标系

3. Y 坐标

根据 X 坐标和 Z 坐标的方向, 按照右手定则来确定 Y 坐标的方向。数控车床的 Y 坐标系如图 1-15 所示 (向下垂直于 X 向导轨的投影视图方向)。

(五) 附加坐标系

为了满足加工的需求, 有的机床设置附加坐标系, 附加坐标平行于主要的线性和角度坐标。

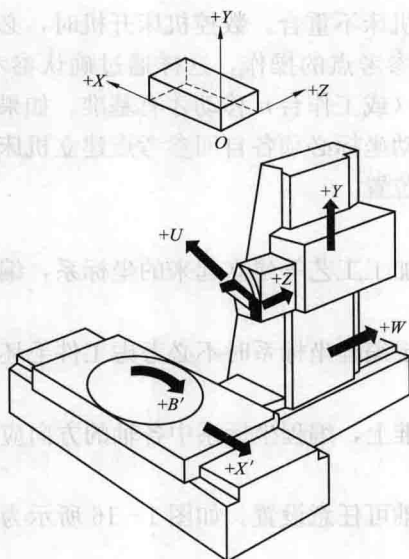


图 1-13 卧式数控镗铣床坐标系一

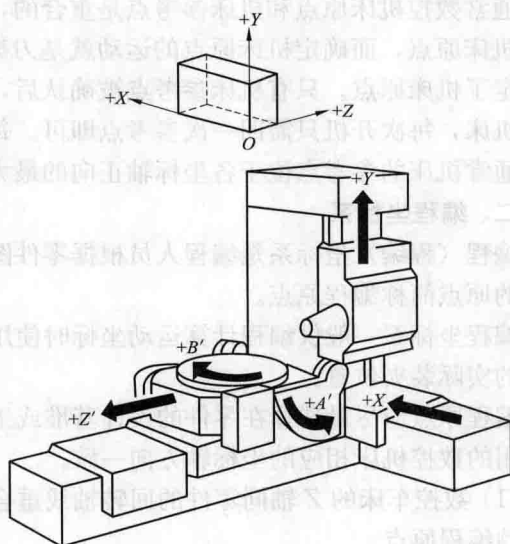
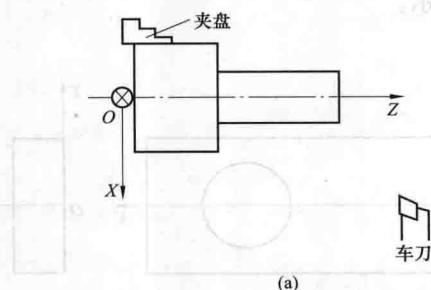
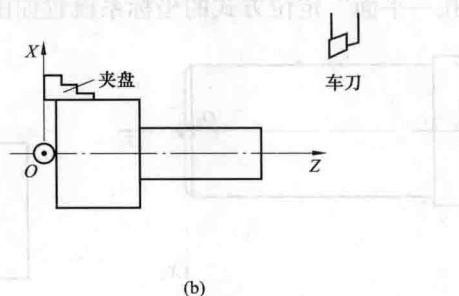


图 1-14 卧式数控镗铣床坐标系二



(a)



(b)

图 1-15 数控车床的 Y 坐标系

(a) 前置刀架数控车床坐标系; (b) 后置刀架数控车床坐标系

对于直线运动, 通常建立的附加坐标系如下。

1. 指定平行于 X 、 Y 、 Z 的坐标轴

第二组 U 、 V 、 W 坐标, 第三组 P 、 Q 、 R 坐标, 如图 1-11 所示。

2. 指定平行于 A 、 B 、 C 的坐标轴

第二组用 D 、 E 、 F 坐标表示, 第三组用 P 、 Q 、 R 坐标表示。

(六) 工件运动的表征

如果表征工件相对于静止的刀具的运动坐标则用 A' 、 B' 、 C' 、 X' 表示, 如图 1-11~图 1-14 所示。

(七) 机床坐标系的建立

机床坐标系通过机床硬件机构由机床生产厂家建立, 在机床使用时通过开机“回参考点”操作建立。

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点, 机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的, 坐标值已输入数控系统中。因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。