

数控车削 编程与加工

王定勇 主编
张璐青 主审

项目式教学法 —— 通过实例讲解原理
与企业近距离结合，效率是准则



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内容简介

数控车削编程与加工

	王定勇	主编
李会明	廖述雨	参编
张 建	张艳军	
	张璐青	主审

北京理工大学出版社
 (北京市海淀区中关村南路33号 邮编100044)
 天利华印务有限公司
 张华书局印务

国防工业出版社

·北京·

发行部：(010)88411332
 发行部：(010)88411332
 发行部：(010)88411332

内 容 简 介

全书共分4篇。第1篇是数控车削基础篇,讲述了数控机床的基础知识和NC代码。第2篇是操作篇,讲述了数控车削的工艺。第3篇是数控车削实例篇,通过对实例深入的分析,来讲解数控编程的基本思路和方法。第4篇搜集了数控技能鉴定的试题。

本书适合职业技术学院作为教材使用,也可供工程技术人员作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控车削编程与加工/王定勇主编. —北京:国防工业出版社,2008.2

ISBN 978-7-118-05570-2

I. 数... II. 王... III. 数控机床:车床—车削—程序设计 IV. TG519.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第010805号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 15¼ 字数 275千字

2008年2月第1版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 29.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本书是一本培养中高级数控车床操作工的“理实一体化”教材。教材的编写思路来源于课题——“以就业为导向，数控专业教育教学模式改革”和基于编者在教学中对“理实一体化”教学模式的探究和总结，通过大量的具体实例和题库为读者建立科学合理的专业体系，建立实事求是、从生产、从实用出发的务实精神，建立一切从效率出发的思考方向，培养务实严谨的专业品质。

本书的编写特色体现在以下四个面：一是“理实一体化”，使理论与实践充分结合，避免了传统教学将理论与实践割裂开来使得学生学得早忘得快、学得多忘得多的问题，使学生学得轻松，玩得愉快；二是“教学内容模块化”，使任务明确、思路清晰，有利于读者自学，详实的例子和注释使得加工思路、编程思想清晰明确，读者在自我对照中掌握知识；三是“编程思路实用化”，与企业近距离、追求效率是本书编写思路的出发点，充分体现了“用”是“学”唯一目标的思想，即保证学了能用、管用，将诸多实际加工经验在编程与加工技巧、常见问题分析中论述，充分体现了实用的编写目的；四是“教学组织多样化”，合理搭配篇目课题扩大了适用范围，适应不同读者，编者将数控车削的基本内容进行了编排，形成了篇章、模块和课题，教师可以根据学生的具体实际和培养目标进行搭配，以期各有所得，满足不同要求的读者。

本书由株洲技术学院王定勇老师担任主编，李会明、廖述雨、张建、张艳军任编者，本院资深数控专家张璐青老师担任主审。编写工作从2006年7月份开始，11月下旬完稿修订，历时近半年时间，在编写过程中得到了相关领导和同行的关心、指导，在此我谨代表编者对关心和支持本书编写工作的领导和同行表示衷心的感谢！

由于水平所限，在编写过程中若有不妥或错误之处，敬请指正。

编者

2007年于株洲

目 录

| 第一篇 数控车削编程基础篇 |

模块一 数控基本知识	2
课题一 数控机床的产生与发展	2
课题二 数控机床分类	4
课题三 数控机床坐标系	9
课题四 数控机床的使用与日常维护	14
阅读与知识检索	18
模块二 数控车削的 NC 代码和格式	21
课题一 数控机床编程的常用功能	21
课题二 数控加工程序的格式、结构与组成	28
课题三 G00、G01 与 M03、M04、M05	32
课题四 G02、G03 与 M07、M08、M09	36
课题五 G40、G41、G42 刀具半径补偿功能	40
课题六 G90、G94 与 M02、M30	44
课题七 G32、G92 与 G76 螺纹加工	48
课题八 G70~G73 闭合复合循环指令	57
课题九 G74、G75 与 G28、G29	63
课题十 M98、M99 子程序应用	67
课题十一 宏程序编程	70
阅读与知识检索	75

| 第二篇 数控车床操作篇 |

模块一 数控车削基本工艺及操作	78
课题一 工艺规程常识	78
课题二 数控机床刀具与切削用量	84

课题三 数控车床操作准备	88
课题四 上海宇龙数控仿真软件操作要点	93
子课题 A 系统的启动与准备	93
子课题 B 程序的输入编辑	98
子课题 C 对刀与自动加工	100
阅读与知识检索	105

| 第三篇 数控车削加工实例篇 |

模块一 实训课题	109
课题一 台阶、锥度及倒角加工	109
课题二 圆弧加工	114
课题三 螺纹加工	119
课题四 G70、G71 闭合复合循环加工	123
课题五 G70、G72 闭合复合循环加工	127
课题六 G70、G73 闭合复合循环加工	129
课题七 切槽与端面加工	132
课题八 镗孔加工	134
课题九 子程序加工外轮廓	138
课题十 梯形螺纹、蜗杆加工	141
课题十一 非曲线轮廓加工	144
阅读与知识检索	150
模块二 外协加工实例	152
课题一 内球套加工	152
课题二 外球套加工	156
课题三 传动螺杆加工	160
阅读与知识检索	164

| 第四篇 数控车削题库篇 |

课题一 理论题库	168
理论题库试题一	168
参考答案	171
理论题库试题二	173

参考答案.....	176
理论题库试题三.....	179
参考答案.....	183
理论题库试题四.....	184
参考答案.....	188
理论题库试题五.....	191
参考答案.....	196
理论题库试题六.....	201
参考答案.....	207
理论题库试题七	
(2006 全国数大赛湖南省选拔赛数控车职工组理论竞赛题)	210
课题二 实操题库	216
参考文献	238

数控车削编程基础篇

第一篇

☆☆☆☆☆

数控车削编程基础篇

内容概要

本书的主要内容

本书是数控车削编程基础篇，主要介绍数控车削编程的基本知识、编程方法和编程实例。本书共分五章，第一章介绍数控车削编程的基本概念、编程方法和编程实例；第二章介绍数控车削编程的坐标系、刀具补偿和刀具长度补偿；第三章介绍数控车削编程的螺纹加工、锥度和圆弧插补；第四章介绍数控车削编程的宏程序、用户宏程序和子程序；第五章介绍数控车削编程的常用指令和编程实例。本书可作为数控车削编程的入门教材，也可供从事数控车削编程的工程技术人员参考。

模块一 数控基本知识

本模块主要介绍了有关数控机床产生、发展和与编程操作有关的五个课题。这部分内容是作为数控专业人员必需了解的基础性知识，学习的重点是数控的发展过程和数控、数控机床的定义、数控机床分类中所包含的概念性内容以及标准坐标系和机床日常维护等内容。

课题一 数控机床的产生与发展

—— | 内容提示 | ——

1. 数控机床的产生和发展背景
2. 数控机床的发展阶段和特点
3. 数控、数控机床的概念
4. 如何做好数控机床的日常维护

课题内容:

1. 数控机床的产生

随着科学技术和生产力的飞速发展，机械产品日趋复杂精密，且批量小，改型频繁，机械制造技术已经发生了深刻变化。在航天、造船、军工等工业中，零件精度高、形状复杂多变、经常改型、加工困难、生产效率低，质量难以保证。为了满足上述要求，一种以数字化信息为控制手段的智能化、柔性化机床——数控机床应运而生。

1948年，美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升飞机叶片轮廓样板时提出了数控机床的初步设想，并受美国空军委托与麻省理工学院伺服机构研究所(Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Teshnology)合作进行数控机床的研制工作，于1952年3月研制出世界上第一台三坐标立式数控铣床，这台数控铣床可以进行直线插补。经过三年的改进和提高，1954年11月生产出世界上第一台工业用数控机床。从此以后，美国、英国、德国、前苏联、日本等国家竞相开发和研制数控机床，其中以日本发展最快。当今

世界著名的数控系统厂家有日本的法兰克(FANUC)公司、三菱(MITSUBISHI)公司,德国的西门子(SIEMENS)公司,美国的 A-B 公司,意大利的 ABOSZA 公司等,其中以日本的法半克(FANUC)公司和德国的西门子(SIEMENS)公司最为有名。

1959 年,美国 Keaney&Treckre 公司成功开发了具有刀库、刀具交换装置、回转工作台的数控机床,它可在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工。

我国对数控机床的研制始于 1958 年,由清华大学研制出最早的样机。

2. 数控机床的发展

从 1952 年第一台数控机床问世后,数控系统已先后经历了两个阶段和六代的发展,其六代是指电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控 PC 的通用计算机数控系统(缩写 CNC)。其中前三代为第一阶段,称为硬连接数控,简称 NC 系统;后三代为第二阶段,称为计算机软件数控。

数控机床发展初期所用的电子器件为电子管;1959 年以后,数控系统发展进入了第二代,电子器件采用晶体管和印制电路板;1965 年以后,数控系统发展到第三代,采用了小规模集成电路,数控系统的可靠性得到较大提高。此三代数控系统都称为硬件数控,即硬连接数控(NC)。1970 年以后,数控系统发展到第四代,数控机床均采用了小型计算机,成为划分硬数控和软数控的标志;1976 年,产生了以微处理器为 CNC 系统核心的第五代数控系统,即采用微型电子计算机控制的数控系统(Microcomputerized Numerical Control, MNC);第六代是基于工控 PC 的通用 CNC 系统(PC—NC)。后三代称为软接线(软线)数控,即计算机数控系统(Computerized NC, CNC)。

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度以及使用方便、提高可靠性等。

20 世纪 50 年代末期,在一般数控机床的基础上开发了数控加工中心,即自备刀库的自动换刀数控机床。在加工中心机床上,工件一次装夹后,机床的机械手可自动更换刀具,连续地对工件进行多种工序加工。目前,加工中心机床的刀库容量可达 100 多把,自动换刀装置的换刀时间仅需 0.5s~2s。加工中心机床使工序集中在一台机床上完成,减少了由于工序分散、工件多次安装引起的定位误差,提高了加工精度,同时也减少了机床的台数与占地面积,压缩了半成品的库存量,减少了工序间的辅助时间,有效地提高了数控机床的产生效率和数控加工的经济效益。

高速、高效、高精度是机械加工的目的。

数控机床制造厂把建立友好的人机界面、提高数控机床的可靠性作为提高竞争能力的重要方面。

3. 什么是数控机床

数控(NC)是数字控制(Numerical Control)的简称,是20世纪中叶发展起来的用数字化信息进行自动控制的一种方法。数控装置在运行过程中,不断地引入数字数据,从而对某一生产过程实现自动控制。用计算机控制加工功能,实现数字化控制,称计算机数控系统。采用了数控技术或者是装备了数控系统的机床称为数控机床。

课题二 数控机床分类

——| 内容提示 |——

1. 数控机床的各种分类方法和所涉及的相关概念
2. 点位、直线、轮廓数控机床的特点与应用场合
3. 开环、闭环、半闭环数控机床的特点与应用场合

课题内容:

数控机床的分类方法较多,下面介绍三种主要的分类方法,以此学习相关内容。

1. 按工艺用途分类

数控机床起源于普通机床,其结构、运动方式均与普通机床有内在的联系和相似性,一般按工艺用途分类可分为以下几类:

- (1) 数控车床(NC Lathe);
- (2) 数控铣床(NC Milling Machine);
- (3) 加工中心(Machine Center);
- (4) 数控钻床(NC Drilling Machine);
- (5) 数控镗床(NC Boring Machine);
- (6) 数控外圆磨床(NC External Cylindrical Grinding Machine);
- (7) 数控冲床(NC Punching Press);
- (8) 数控电火花加工机床(NC Diesinking Electric Discharge Machine);
- (9) 数控线切割机床(NC Wire Electric Discharge Machine);
- (10) 其他数控机床。如数控齿轮加工机床(NC Gear Holling Machine)、数控超声波加工机床(NC Ultrasonic Machine)、三坐标测量机等。

上述10种机床是数控设备中典型的10种。有的与普通机床很相似,如数控车床、铣床等,但有的新型设备与传统的机加工设备有明显的区别,带有许多新特点,是一种创造性设计,如数控电火花加工机床、数控线切割机床。基

于此，按工艺用途亦可将数控机床分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、数控特种加工机床和其他类型的数控机床四大类。

2. 按运动方式(轨迹)分类

1) 点位控制数控机床(图 1-1-1(a))

点位控制数控机床的特点是控制刀具或机床工作台等移动部件的终点位置，即只控制移动部件从一点运动到另一点的准确位置，而对点与点之间的运动路径和方向没有严格要求。在移动和定位过程中刀具不进行任何切削加工。在移动定位过程中常以快速移动和 1 次~3 次减速来确保定位精度，具有先快后慢的运动特点。这种控制方式多应用于数控钻床、数控坐标镗床、数控测量机床和数控点焊机等。

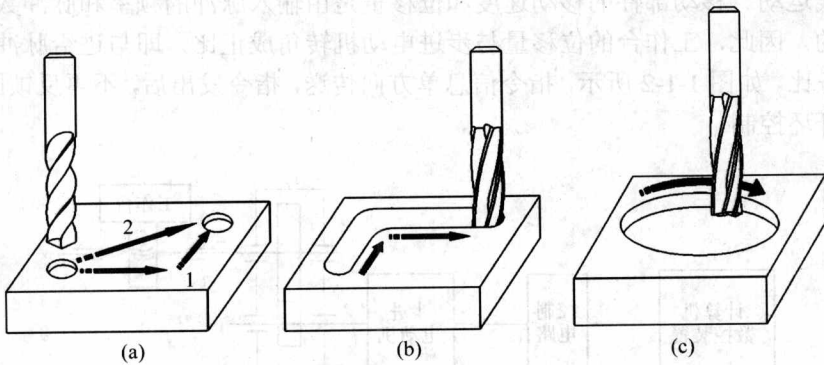


图 1-1-1 数控机床按运动方式(轨迹)分类

(a) 点位控制; (b) 直线控制; (c) 轮廓控制。

2) 直线控制数控机床(图 1-1-1(b))

直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件运动既要控制起点与终点之间的准确位置，还要保证平行于坐标轴的直线切削运动，即不但要控制定位的准确性，还要控制纵向或横向移动的轨迹和速度。由于只能做平行坐标轴的直线进给运动，因此不能加工复杂的零件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

有的直线控制的数控机床还可以加工与坐标轴成 45° 角的直线。

3) 轮廓控制数控机床(图 1-1-1(c))

轮廓控制数控机床的特点是刀具与工件相对运动时，能控制两个以上的坐标轴，同时对坐标方向严格地连续控制，不仅要控制每个坐标的行程，还要控制每个坐标的运动速度，这样可以加工出由任意斜线、曲线或曲面构成的复杂零件。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、加工中

心等。

3. 按控制方法分类

数控机床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置不同又分为全闭环控制和半闭环控制两种。

1) 开环控制数控机床(Open Loop Control)

图 1-1-2 是典型的开环控制系统框图。开环控制系统是指不带反馈的控制系统，即系统没有位置反馈元件，通常用步进电动机和电液伺服电机作为执行机构的动力源。数控装置将工件加工程序处理后，输出数字指令脉冲信号驱动步进电动机和电液伺服电机转过相应的转角，通过齿轮、丝杠传动转换成工作台的直线运动。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数量所决定的。因此，工作台的位移量与步进电动机转角成正比，即与进给脉冲的数量成正比。如图 1-1-2 所示，指令信息单方向传送，指令发出后，不再反馈回来，故称开环控制。

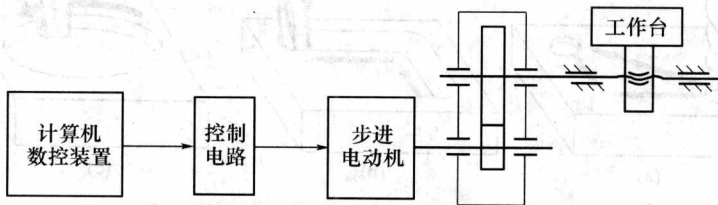


图 1-1-2 开环控制系统框图

受步进电动机的步距精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响，开环系统的速度和精度都较低。但由于开环控制结构简单，调试方便，容易维修，成本较低，仍被广泛应用于经济型数控机床上。

2) 闭环控制数控机床(Closed Loop Control)

开环控制系统的控制精度不高，主要是没有检测工作台移动的实际位置，也就没有纠正偏差的能力。如图 1-1-3 所示为闭环控制系统框图，安装在工作台上的检测元件将工作台实际位移量反馈到计算机中，与所要求的位置指令进行比较，用比较的差值进行控制，直到差值消除为止。可见，闭环控制系统可以消除机械传动部件的各种误差和工件加工过程中产生的干扰的影响，从而使加工精度大大提高。速度检测元件的作用是将伺服电动机的实际转速转换成电信号送到速度控制电路中，进行反馈校正，保证电动机转速恒定不变。常用速度检测元件是测速发电机。

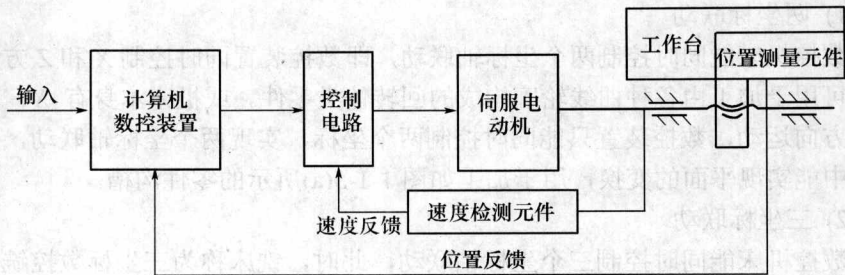


图 1-1-3 闭环控制系统框图

闭环控制的特点是加工精度高，移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件，电动机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵。因而调试和维修比较复杂，成本高。

3) 半闭环控制数控机床(Semi-Closed Control)

半闭环控制系统框图如图 1-1-4 所示，它不是直接检测工作台的位置量，而是采用转角位移检测元件，如光电编码器，测出伺服电动机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈环内没有包含工作台，故称半闭环控制。

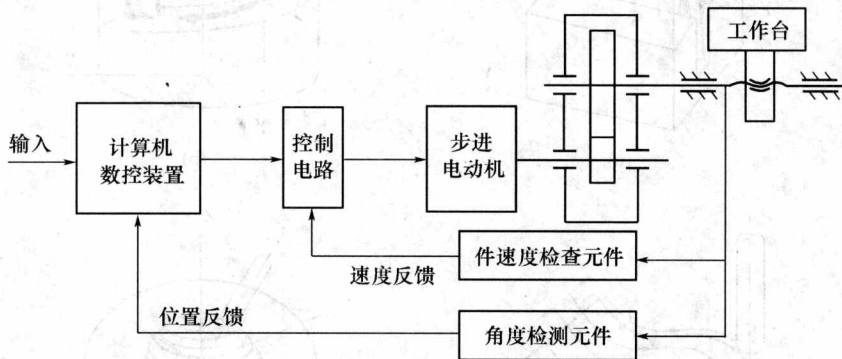


图 1-1-4 半闭环控制系统

半闭环控制精度较闭环控制差，但稳定性好，成本较低，调试维修也较容易，兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点，因此应用比较普遍。

4. 按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴，是指数控装置控制几个伺服电动机，同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

1) 两坐标联动

数控机床能同时控制两个坐标轴联动，即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动，可用于加工由各种曲线轮廓构成的回转体类零件。或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向运动，数控装置只能同时控制两个坐标，实现两个坐标轴联动，但在加工中能够实现平面的变换，用于加工如图 1-1-5(a)所示的零件沟槽。

2) 三坐标联动

数控机床能同时控制三个坐标轴联动，此时，铣床称为三坐标数控铣床，可用于加工曲面零件，如图 1-1-5(b)所示。

3) 两轴半坐标联动

数控机床本身有三个坐标能作三个方向的运动，但控制装置只能同时控制两个坐标，而第三个坐标只能做等距周期性移动，能加工空间曲面，如图 1-1-5(c)所示零件。数控装置在 ZX 坐标平面内控制 X 、 Z 两坐标联动，加工垂直面的轮廓，控制 Y 坐标作定期等距移动，即可加工出零件的空间曲面。

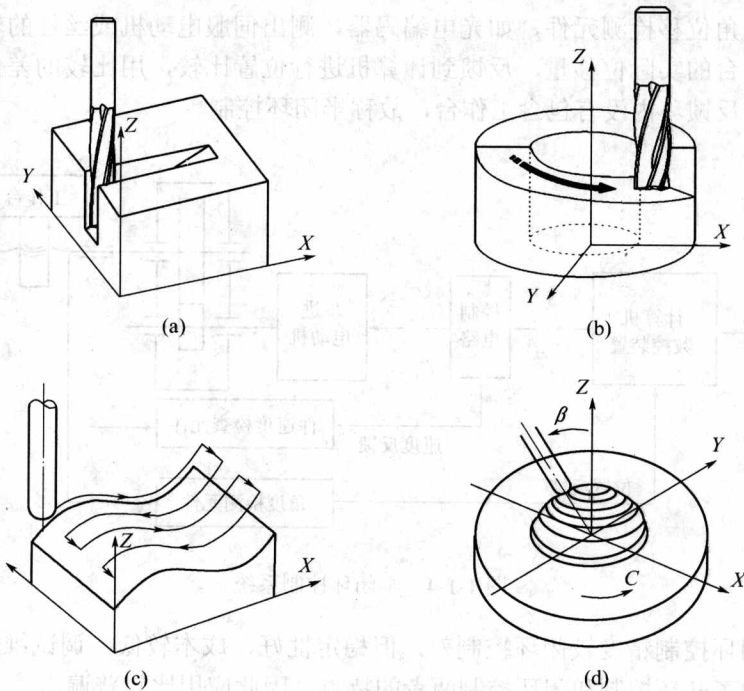


图 1-1-5 按可控制联动的坐标轴分类示意图

(a) 两轴联动加工沟槽；(b) 三轴联动加工曲面；(c) 两轴半联动加工曲面；

(d) 五轴联动加工曲面。

4) 多坐标联动

能同时控制四个以上坐标轴联动的数控机床。多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编程复杂,主要应用于加工形状复杂的零件。五轴联动铣床加工曲面形状零件如图 1-1-5(d)所示。

5. 按功能水平分类

按功能水平可把数控机床分成高、中、低档(经济型)三类。

这种分类方法,目前在我国用得很多,但是因为没有一个确切的定义,所以含义不很明确。

我国还有经济型数控的提法。所谓经济型数控,即低档数控系统,是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统及其他功能简单、价格低廉的数控系统。它主要用于旧机床的改造。

课题三 数控机床坐标系

—— | 内容提示 | ——

1. 数控机床中标准坐标系的规定和相关原则
2. 工件坐标系与机床坐标系的相互关系

课题内容:

为了便于编程时描述机床的运动,简化编程及保证程序的通用性,国际标准化组织对数控机床的坐标和方向制定了统一的标准,即 ISO441 标准。我国机械工业部 1982 年颁布了 JB3051—1982《数字控制机床坐标和运动方向的命名》的标准,与 ISO441 等效。规定直线运动的坐标轴分别用 X 、 Y 、 Z 表示,围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示。

1. 标准坐标系

在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的,为了确定机床上的成型运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的方向和运动的距离,这就需在一个坐标系才能实现,这个坐标系就称为机床坐标系。

标准坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系,也称右手直角坐标系,如图 1-1-6(a)所示。基本坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则判定,即用右手的拇指代表 X 轴,食指代表 Y 轴,中指代表 Z 轴,三个手指互相垂直,所指方向分别为 X 、 Y 、 Z 轴的正方向。围绕 X 、 Y 、 Z 轴的回转运动分别用 A 、 B 、 C 表示,其正方向用右手螺旋定则来确定,拇指指向 X 、 Y 、 Z 的正向,四指弯曲的方向为旋转 A 、 B 、 C 的正向,如图 1-1-6(b)。与 $+X$, $+Y$, $+Z$, ..., $+C$ 相

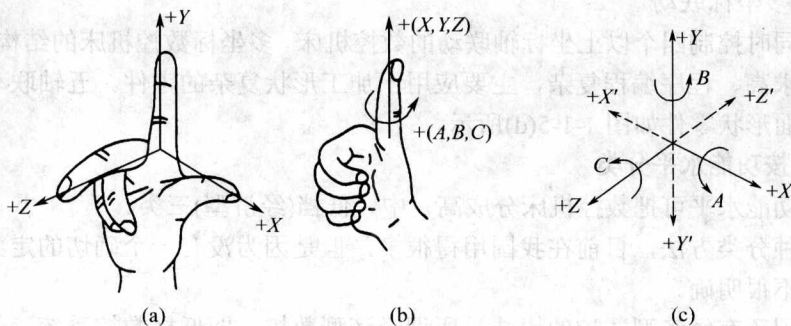


图 1-1-6 标准机床坐标系

(a) 右手直角; (b) 右手螺旋; (c) 右手直角坐标系。

反的方向用加“'”的表示,即表示成 $+X'$, $+Y'$, $+Z'$, ..., $+C'$ 。

1) 刀具相对静止工件运动的原则

这一原则使编程人员编程时不必考虑是刀具移向工件,还是工件移向刀具的情况下,就可以依据零件图样,确定机床加工过程及编程。该原则规定:永远假定工件是静止的,而刀具相对于静止工件运动。如果在坐标轴命名时,把刀具看做相对静止不动,工件移动,那么工件移动的坐标系就是 $+X'$, $+Y'$, $+Z'$ 等。

2) 运动方向的规定

确定机床坐标轴时,一般是先确定 Z 轴,再确定 X 轴,最后确定 Y 轴。机床的某一运动部件的运动正方向规定为增大工件与刀具之间距离的方向。即刀具靠近工件表面为负方向,刀具远离工件表面为正方向。

(1) Z 轴坐标的运动。一般取产生切削力的轴线(即主轴轴线)为 Z 轴。主轴带动工件旋转的机床有车床,磨床和其他成型表面的机床(见图 1-1-7)。主轴带动刀具旋转的机床有铣床(见图 1-1-8)、镗床、钻床等。当机床有几个主轴时,选一个垂直于工件装夹面的主轴为 Z 轴,如龙门轮廓铣床。当机床无主轴时,与装夹工件的工作台面相垂直的直线为 Z 轴。

Z 坐标的正方向是增加刀具和工件之间距离的方向,如在钻镗加工中,钻入或镗入

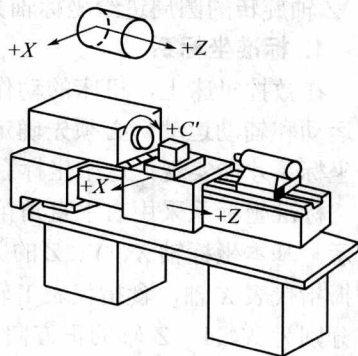


图 1-1-7 车床坐标