



高职高专
机电类课程规划教材

数控编程与加工技术

(基础篇)(第二版)

GAOZHI GAOZHUAN
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主编 张丽华 马立克

大连理工大学出版社



新世纪

高职高专机电类课程规划教材

数控编程与加工技术

(基础篇)(第二版)

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主 编 张丽华 马立克 副主编 侯勇强



SHUKONG BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2006

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术(基础篇) / 张丽华, 马立克主编. —2 版. —大连:
大连理工大学出版社, 2006. 7
高职高专机电类课程规划教材
ISBN 7-5611-2599-2

I. 数… II. ①张… ②马… 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(2004)第 064365 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84703636

E-mail: dulp@ dulp. cn URL: <http://www. dulp. cn>

大连华伟印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm × 260mm 印张:16 字数:351 千字

印数:11 001 ~ 15 000

2004 年 7 月第 1 版

2006 年 7 月第 2 版

2006 年 7 月第 3 次印刷

责任编辑:赵晓艳

责任校对:朴 磊

封面设计:波 朗

定 价:22.00 元

总序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了21世纪的门槛。

20世纪与21世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高职教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国100余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

第二版前言

《数控编程与加工技术(基础篇)》(第二版)是新世纪高职高专教材编委会组编的机电类课程规划教材之一,本教材与《数控编程与加工技术(实训篇)》是配套教材。

本次修订是在前一版教学实践基础上,汇集相关教学单位的意见和建议,进行了改进和调整。调整后具有如下特点:

1. 重点突出,内容丰富。本教材突出数控编程这一主线,紧紧围绕现代加工技术的中心环节,从数控程序的总体特点到不同数控系统的具体要求,详细阐述了手工编制程序的步骤和方法,同时对自动编程也作了简要说明。为了使學生较好地掌握数控编程技术基础,本教材对编程要求的零件加工工艺、数控刀具等方面的知识,也作了适当的介绍。

2. 针对性强,适用面广。本教材以数控车削加工和数控铣削加工为重点,详细讲述了常用指令的编程方法,系统地介绍了坐标系的建立、加工路线的确定、刀具的选择、切削工艺参数的查取等方面的知识。为了便于掌握数控编程技术,对典型零件的数控加工编程列举了大量的实例。为了满足各院校和生产单位不同数控系统的要求,书后附录提供了常用数控系统编程代码表,供相应的数控系统编程时查取。

3. 产教结合,内外兼顾。根据各高职院校教学实训设备和实际生产设备的不同,本教材以日本 FANUC Oi 数控系统为主,兼顾介绍了德国 SIEMENS 802D 数控系统和国内较有影响的华中数控系统。既考虑到教学型设备的应用,也注意到生产型设备的要求,并把重点放到实际生产上。

4. 在保留原教材特色的基础上,对经过教学实践发现的第一版中所存在的不恰当内容进行了全面修改,并精选补充了一些新的内容。在修订过程中,力争实例与实践紧密结合,以适合高职学生的教学要求。



新世纪

4 / 数控编程与加工技术(基础篇) □

本教材由渤海船舶职业学院张丽华、辽宁工程技术大学职业技术学院马立克任主编,广州工贸职业技术学院侯勇强任副主编,辽宁工程技术大学职业技术学院冯琦玲参加了部分章节的编写。具体编写分工如下,马立克编写第1章、第2.1节~2.8节;张丽华编写第3章,冯琦玲编写第2.9节~2.10节、第4章;侯勇强编写第5章。齐齐哈尔第二机床集团公司工程师丁岩、齐齐哈尔数控装备有限公司工程师刘洪江对本教材进行了审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢!

尽管我们在探索《数控编程与加工技术(基础篇)》(第二版)教材特色建设的突破方面做出了许多努力,但是,由于作者水平有限,教材修订时难免存在疏漏之处,恳请各相关高职教学单位和读者在使用本书的过程中给予关注,并将意见及时反馈给我们,在此深表感谢!

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 84706104

编 者

2006年7月

第一版前言

《数控编程与加工技术(基础篇)》是新世纪高职高专教材编委会组编的机电类课程规划教材之一,本教材与《数控编程与加工技术(实训篇)》是配套教材。

随着现代科学技术的发展,数控技术在机械制造领域日益普及与提高,各种类型的数控机床在生产中得到越来越广泛的应用。因此,培养一大批数控技术高级应用型人才,是企业生产的需要,也是我国振兴机械工业的关键。为了满足高职院校和企业培养数控专业人才的要求,我们借鉴了国内外数控技术的先进资料和经验,结合多年高职教学的实践经验编写了这本教材。本教材具有如下特点:

1. 重点突出,内容丰富。本教材突出数控编程这一主线,紧紧围绕现代加工技术的中心环节,从数控程序的总体特点到不同数控系统的具体要求,详细阐述了手工编制程序的步骤和方法,同时对自动编程也作了简要说明。本教材对编程要求的零件加工工艺、刀具等方面的知识,也作了适当的介绍,有助于学生较好地掌握数控编程技术基础。

2. 针对性强,适用面广。本教材以数控车削加工、数控铣削加工和加工中心加工为重点,系统地介绍了工件的装夹、坐标系的建立、加工路线的确定、刀具的选择、切削工艺参数的查取等方面的知识。为了便于掌握数控编程技术,对典型零件的数控加工编程列举了大量实例,给出了常用的工艺参数图表,供读者编程练习时选用。为了满足各院校和生产单位不同数控系统的要求,书后附录提供了常用数控系统编程代码表,供相应的数控系统编程时查取。

3. 产教结合,内外兼顾。根据各高职院校教学实训设备和实际生产设备的不同,本教材既介绍了国内较好的数控系统(如华中数控),也选择了国外较先进的数控系统(如 SIEMENS、FANUC);既考虑到教学型设备的应用,也注意到生产型设备的要求,并且把重点放在实际生产上。

本教材由辽宁工程技术大学职业技术学院马立克、渤



海船舶职业学院张丽华任主编,辽宁机电职业技术学院侯勇强、燕山大学东北分院杨树学任副主编,辽宁工程技术大学冯琦玲、阜新市技师学院曹军参加了部分章节的编写。具体编写分工如下:第1章由马立克编写,第2章由张丽华、杨树学共同编写,第2章第6节和第3章第7节由马立克、曹军共同编写,第3章、4章由张丽华编写,第5章由马立克、冯琦玲编写,第6章由侯勇强编写,附录部分由马立克编写。马立克老师负责全书的组织和审定。齐齐哈尔第二机床厂设计院王晓东老师审阅了全书并对教材提出了许多宝贵的意见和建议。

尽管我们在探索《数控编程与加工技术(基础篇)》教材特色建设的突破方面做出了许多努力,但是由于作者的水平有限,教材中难免存在疏漏之处,恳请各相关高职教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见及时反馈给我们,以便修订时改进。

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 84706104

编 者

2004年7月



第1章 数控加工编程基础	1
1.1 数控加工的基本概念	1
1.2 数控机床的坐标系	3
1.3 数控编程的步骤与方法.....	13
1.4 数控加工工艺基础.....	20
1.5 数控车削工艺基础.....	25
1.6 数控铣床和加工中心工艺基础.....	34
1.7 数控加工常用刀具.....	49
复习题	60
第2章 数控车削编程	61
2.1 数控车床概述.....	61
2.2 车床数控系统的基本功能.....	63
2.3 数控车床的基本编程方法.....	66
2.4 螺纹车削加工指令.....	72
2.5 循环编程.....	74
2.6 刀具补偿功能.....	82
2.7 子程序.....	86
2.8 SINUMERIK 802D 系统编程指令简介	88
2.9 华中 HNC-21/22T 车床数控系统编程指令简介	96
2.10 典型数控车床编程综合实例.....	107
复习题.....	113
第3章 数控铣削编程	116
3.1 概 述	116
3.2 基本编程方法	119
3.3 用户宏指令	139
3.4 现代 CNC 系统中的高级编程方法.....	141
3.5 SINUMERIK 802D 系统编程指令简介	145
3.6 华中 HNC-1M 铣床数控系统编程指令简介	167
3.7 综合实例	169
3.8 加工中心概述	175

3.9 加工中心程序编制	180
3.10 立式加工中心编程	184
3.11 卧式加工中心编程	186
复习题	189
第4章 数控线切割机床编程	193
4.1 数控线切割加工的特点与编程中的工艺处理	193
4.2 数控线切割加工的工艺准备	195
4.3 数控线切割机床程序编制的步骤与方法	197
复习题	208
第5章 自动编程	210
5.1 概 述	210
5.2 自动编程中的造型技术	212
5.3 自动编程的工作过程	217
5.4 常用自动编程软件简介	222
5.5 自动编程示例	226
复习题	229
附 录	231
附录1 FANUC 系统常用编程代码	231
附录2 SINUMERIK 802S 系统常用编程代码	233
附录3 SINUMERIK 840D/FM-NC 系统常用编程代码	235
附录4 PA 系统常用编程代码	237
附录5 OSP700M/7000M(大隈 OKUMA)系统常用编程代码	238
附录6 KND 车床数控系统常用编程代码	240
附录7 南京新方达 CNC-39T 车床数控系统常用编程代码	241
附录8 南京华兴 HX-2000 铣床数控系统的常用编程代码	242
参考文献	243

第 1 章

数控加工编程基础

本章概要

本章介绍了数控编程所涉及的基础知识。内容包括:数控加工基本概念,数控机床的坐标系,数控编程的工艺基础和数控加工常用刀具的选择方法。针对数控编程中的工艺参数,提供了相应的参考数据,极大地方便了编程。

1.1 数控加工的基本概念

数控加工泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。使用数控机床加工零件,不能简单地把它看成使用一台机床,而应把它看成是在使用一套设备,作为一套综合的成套技术来处理。因此,要求数控编程人员所掌握的知识要新,面要广,要远远超过普通的工艺人员,否则就无法胜任数控加工和程序编制工作。

1.1.1 数控系统及数控机床

20 世纪 50 年代初,美国出于军事工业发展的需要,由麻省理工学院成功研制了世界上第一台具有信息存储和处理功能的新型机床,数控机床。很快,数控技术得到了广泛应用和迅速发展。我国在 1958 年也开始了数控机床的研制工作,并取得了一定的成绩。目前,我国不仅能够生产车、铣、钻、镗、磨削类和其他类型的数控机床,而且可以生产多种加工中心、柔性制造单元和柔性制造系统。数控机床的种类已有 1500 多个,产量超过 25000 台。

1. 数字控制(Numerical Control)

数字控制是用数字化信号对机构的运动过程进行控制的一种方法,简称为数控(NC)。

2. 数控系统(NC System)

数控系统是实现数字控制相关功能的软、硬件模块的集成。它能自动阅读输入载体上的程序,并将其译码,根据程序指令向伺服装置和其他功能部件发送信息,控制机床的各种运动。

3. 计算机数控系统(Computer Numerical Control System)

计算机数控系统是以计算机为核心的数控系统。由装有数控系统程序的专用计算机、输入输出设备、可编程序控制器(PLC)、存储器、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,习惯上又称为 CNC 系统,如图 1-1 所示。

4. 数控机床(NC Machine)

数控机床是指应用数控技术对其运动和辅助动作进行自动控制的机床。

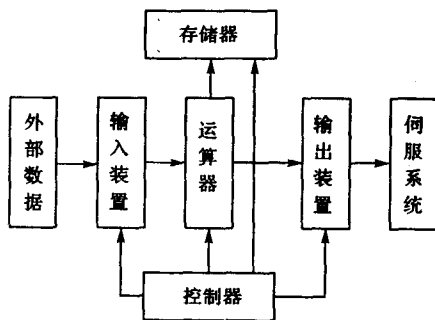


图 1-1 计算机数控系统原理

1.1.2 数控加工原理

采用数控机床加工零件,一般要根据零件的特点选择合适的数控机床,确定零件的工艺基准,提出零件的装夹方案,划分数控加工工序,拟定数控加工工艺参数,选择数控加工刀具,编制数控加工程序,安装工件,对刀试切,加工检测。

1. 数控加工过程

首先将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化,即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴转速和进给速度的变换、冷却液的开关、工件和刀具的交换等控制和操作,按规定的代码和格式编制成加工程序,然后将该程序输入数控系统。数控系统按照加工程序的要求,先进行相应的插补运算和编译处理,然后发出控制指令,使各坐标轴、主轴及辅助系统协调动作,实现刀具与工件的相对运动,自动完成零件的加工。如图 1-2 所示。

2. 数据转换与控制过程

CNC 系统的数据转换过程如图 1-3 所示。

(1) 译码

译码程序的主要功能是将用文本格式编写的零件加工程序,以程序段为单位转换成机器运算所要求的数据结构,该数据结构用来描述一个程序段解释后的数据信息。它主要包括: X、Y、Z 等坐标值、进给速度、主轴转速、G 代码、M 代码、刀具号、子程序处理和循环调用处理等数据或标志的存放顺序和格式。

(2) 刀补运算

零件的加工程序一般是按零件轮廓和工艺要求的进给路线编制的,而数控机床在加

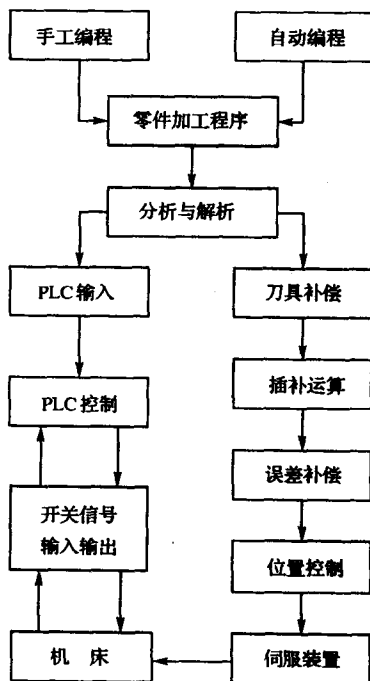


图 1-2 数控加工过程

工过程中所控制的是刀具中心的运动轨迹。不同的刀具,其几何参数也不相同。因此,在加工前必须将编程轨迹变换成刀具中心的轨迹,这样才能加工出符合要求的零件。刀补运算就是完成这种转换的处理程序。

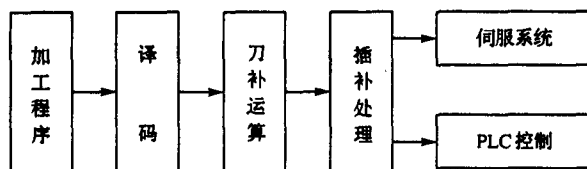


图 1-3 CNC 系统的数据转换过程

(3) 插补计算

数控程序提供了刀具运动的起点、终点和运动轨迹,而刀具怎么从起点沿运动轨迹走向终点,则由数控系统的插补计算装置或插补计算程序来控制。插补计算的任务就是要根据进给速度的要求,在轮廓起点和终点之间计算出中间点的坐标值,把这种实时计算出的各个进给轴的位移指令输入伺服系统,实现成形运动。

(4) PLC 控制

CNC 系统对机床的控制分为“轨迹控制”和“逻辑控制”。前者是对各坐标轴的位置和速度的控制,后者是对主轴的起停、换向,刀具的更换,工件的夹紧与松开,冷却、润滑系统的运行等进行的控制。这种逻辑控制通常以 CNC 内部和机床各行程开关、传感器、继电器、按钮等开关信号为条件,由可编程序控制器(PLC)来实现。

由此可见,数控加工原理就是将数控加工程序以数据的形式输入数控系统,通过译码、刀补计算、插补计算来控制各坐标轴的运动,通过 PLC 的协调控制,实现零件的自动加工。

1.2 数控机床的坐标系

在数控机床上加工零件,刀具与工件的相对运动是以数字的形式体现的。因此,必须建立相应的坐标系,才能明确刀具与工件的相对位置。数控机床的坐标系包括坐标原点、坐标轴和运动方向。

工件在数控机床上加工的工艺内容多,工序集中,所以每一个数控编程员和数控机床的操作者,都必须对数控机床的坐标系有一个完整且正确的理解。否则,程序编制将发生错误,操作机床时也会发生事故。为了简化数控编程和使数控系统规范化,国际标准化组织(ISO)对数控机床规定了标准坐标系。

1.2.1 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的,用来确定工件坐标系的基本坐标系。国际标准和我国颁布标准中,规定了数控机床的坐标系采用笛卡儿右手直角坐标系,如图 1-4 所示。基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 轴,它们与机床的主要导轨相平行,相对于每个坐标轴的旋转运动坐标分别为 A 、 B 、 C 。

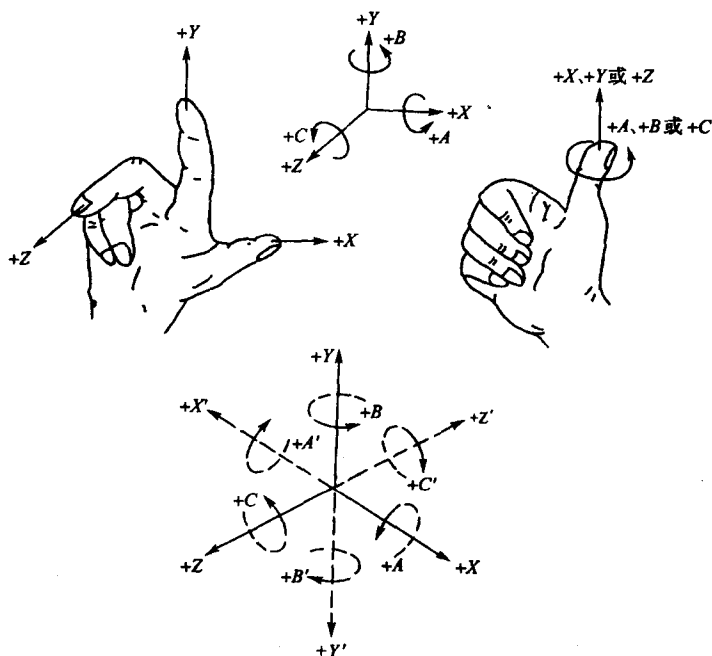


图 1-4 笛卡儿右手直角坐标系

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。拇指为 X 轴,食指为 Y 轴,中指为 Z 轴,其正方向为各手指指向,并分别用 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 来表示。围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的旋转运动及其正方向用右手螺旋定则判定,拇指指向 X 、 Y 、 Z 轴的正方向,四指弯曲的方向为对应各轴的旋转正方向,并分别用 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 来表示。

1.2.2 坐标轴及其运动方向

1. ISO 标准的有关规定

不论数控机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是刀具静止、工件运动,都假定工件不动,刀具相对于静止的工件运动。

机床坐标系 X 、 Y 、 Z 轴的判定顺序为:先 Z 轴,再 X 轴,最后按右手定则判定 Y 轴。

增大刀具与工件之间距离的方向为坐标轴运动的正方向。

2. 坐标轴的判定方法

(1) Z 轴

平行于主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向,如图 1-5、图 1-6、图 1-7 所示。坐标轴名中(+X、+Y、+Z、+A、+B、+C)不带“'”的表示刀具相对工件运动的正方向,带“'”的表示工件相对刀具运动的正方向。

对于有多个主轴或没有主轴的机床(如刨床),垂直于工件装夹平面的轴为 Z 轴,如图 1-8、图 1-9 所示。

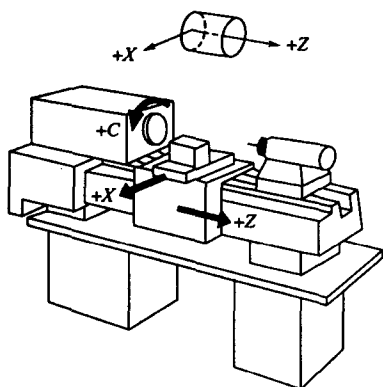


图 1-5 数控车床

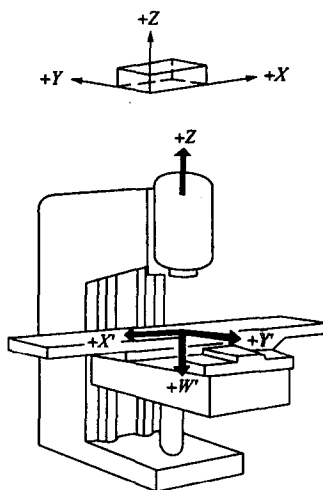


图 1-6 数控立式升降台铣床

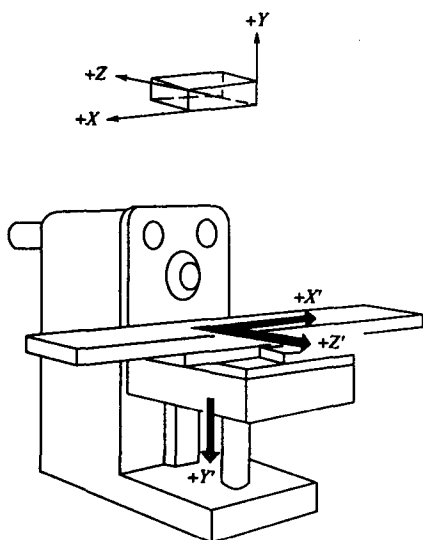


图 1-7 数控卧式升降台铣床

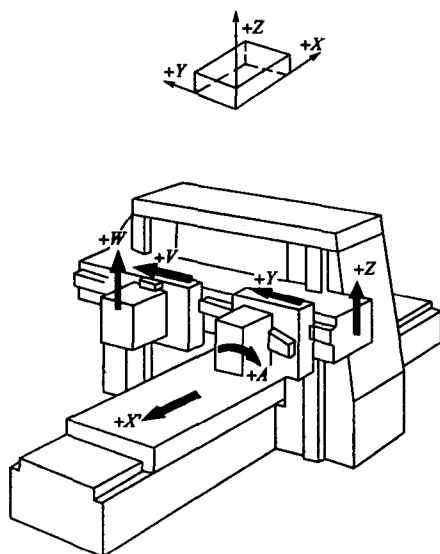


图 1-8 数控龙门铣床

(2) X 轴

平行于工件装夹平面的坐标轴为 X 轴,它一般是水平的,以刀具远离工件的运动方向为 X 轴的正方向。

对于工件是旋转的机床,X 轴为工件的径向,如图 1-5 所示。

对于刀具是旋转的立式机床,从主轴向立柱看,右侧方向为 X 轴的正方向,如图 1-6 所示。

对于刀具是旋转的卧式机床,从刀具(主轴)尾端向工件看,右侧方向为 X 轴的正方向,如图 1-7 所示。

(3) Y 轴

Y 轴垂直于 X、Z 轴,当 X、Z 轴确定之后,按笛卡儿直角坐标右手定则判断 Y 轴及其正方向。

(4) 旋转运动 A、B、C 轴

旋转运动坐标轴 A、B 和 C 的轴线平行于 X、Y 和 Z 轴,其旋转运动的正方向按右手螺旋定则判定,如图 1-4 所示。判别实例如图 1-10、图 1-11 所示。

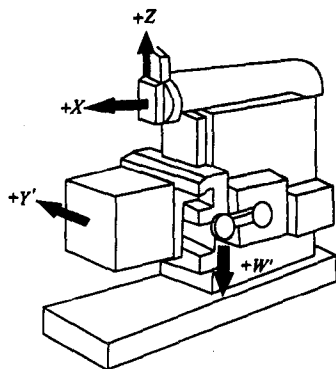
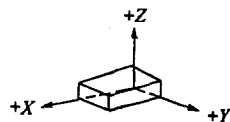


图 1-9 数控牛头刨床

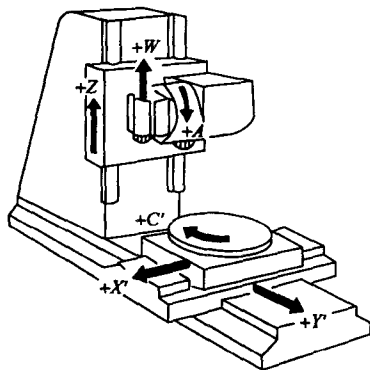
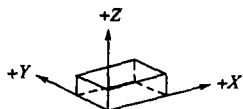


图 1-10 五坐标数控铣床

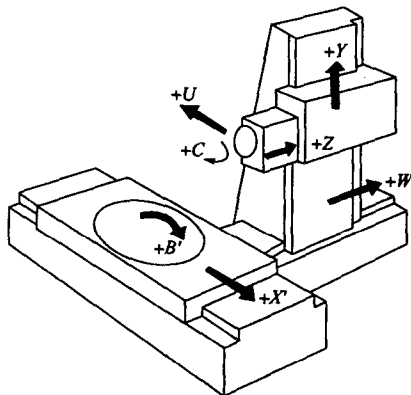
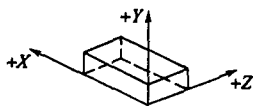


图 1-11 数控卧式镗铣床

(5) 附加坐标轴

如果在基本坐标轴 X、Y、Z 以外,还有平行于它们的第二或第三组坐标轴,则分别用 U、V、W 和 P、Q、R 表示。

(6) 主轴旋转方向

从主轴后端向前端(装刀具或工件端)看,顺时针方向旋转为主轴正旋转方向,它与