

普通高等院校工程训练系列规划教材

现代制造技术 实训教程

主 编 刘 燕

副主编 信丽华

主 审 李名尧

普通高等院校工程训练系列规划教材

现代制造技术 实训教程

主 编 刘 燕

副主编 信丽华

主 审 李名尧

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书分4篇共11章,包括数控机床的基础知识、数控车床、数控铣床、加工中心、MasterCAM应用基础、数控雕刻机、电火花成形加工、电火花线切割、三坐标测量机、圆度仪和快速成形等内容。

本书作为高等工科院校金工实训教材可供机械类专业及部分非机械类专业使用,也可供从事数控加工的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代制造技术实训教程/刘燕主编.--北京:清华大学出版社,2011.11

(普通高等院校工程训练系列规划教材)

ISBN 978-7-302-27171-0

I. ①现… II. ①刘… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第217421号

责任编辑:庄红权

责任校对:王淑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.25 字 数:320千字

版 次:2011年11月第1版 印 次:2011年11月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:26.50元

产品编号:044457-01



改革开放以来,我国贯彻科教兴国、可持续发展的伟大战略,坚持科学发展观,国家的科技实力、经济实力和国际影响力大为增强。如今,中国已经发展成为世界制造大国,国际市场上已经离不开物美价廉的中国产品。然而,我国要从制造大国向制造强国和创新强国过渡,要使我国的产品在国际市场上赢得更高的声誉,必须尽快提高产品质量的竞争力和知识产权的竞争力。清华大学出版社和本编审委员会联合推出的“普通高等院校工程训练系列规划教材”,就是希望通过工程训练这一培养本科生的重要环节,依靠作者们根据当前的科技水平和社会发展需求所精心策划和编写的系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的人才。

我们知道,大学、大专和高职高专都设有各种各样的实验室。其目的是通过这些教学实验,使学生不仅能比较深入地掌握书本上的理论知识,而且能更好地掌握实验仪器的操作方法,领悟实验中所蕴涵的科学方法。但由于教学实验与工程训练存在较大的差别,因此,如果我们的大学生不经过工程训练这样一个重要的实践教学环节,当毕业后步入社会时,就可能感到难以适应。

对于工程训练,我们认为这是一种与社会、企业及工程技术的接口式训练。在工程训练的整个过程中,学生所使用的各种仪器设备都来自社会企业的产品,有的还是现代企业正在使用的主流产品。这样,学生一旦步入社会,步入工作岗位,就会发现他们在学校所进行的工程训练与社会企业的需求具有很好的一致性。另外,凡是接受过工程训练的学生,不仅为学习其他相关的技术基础课程和专业课程打下了基础,而且同时具有一定的工程技术素养,开始面向工程实际了。这样就为他们进入社会与企业,更好地融入新的工作群体,展示与发挥自己的才能创造了有利的条件。

近 10 年来,国家和高校对工程实践教育给予了高度重视,我国的理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰富的教学资源,同时面向大量的本科学生群体。这些宝贵的实践教学资源,像数控加工、特种加工、先进的材料成形、表面贴装、数字化制造等硬件和软件基础设施,与国家的企业发展及工程技术发展密切相关。而这些涉及多学科领域的教学基础设施,又可以通过教师和其他知识分子的创造性劳动,转化和衍生出为适应我国社会与企业所迫切需求的课程与教材,使国家投入的宝贵资源发

挥其应有的教育教学功能。

为此,本系列教材的编审,将贯彻下列基本原则:

(1) 努力贯彻教育部和财政部有关“质量工程”的文件精神,注重课程改革与教材改革配套进行。

(2) 要求符合教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所制定的课程教学基本要求。

(3) 在整体将注意力投向先进制造技术的同时,要力求把握好常规制造技术与先进制造技术的关联,把握好制造基础知识的取舍。

(4) 先进的工艺技术,是发展我国制造业的关键技术之一。因此,在教材的内涵方面,要着力体现工艺设备、工艺方法、工艺创新、工艺管理和工艺教育的有机结合。

(5) 有助于培养学生独立获取知识的能力,有利于增强学生的工程实践能力和创新思维能力。

(6) 融汇实践教学改革的最新成果,体现出知识的基础性和实用性,以及工程训练和创新实践的可操作性。

(7) 慎重选择主编和主审,慎重选择教材内涵,严格遵循和体现国家技术标准。

(8) 注重各章节间的内部逻辑联系,力求做到文字简练,图文并茂,便于自学。

本系列教材的编写和出版,是我国高等教育课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

普通高等院校工程训练系列规划教材编审委员会

主任委员:傅水根

2008年2月于清华园



前言

全书共分为4篇,主要内容有:数控机床的基础知识、数控车床、数控铣床、加工中心、MasterCAM应用基础、数控雕刻机、电火花成形加工、电火花线切割、三坐标测量机、圆度仪和快速成形。

本书的编写体现了以下几个特点:

(1) 在传统数控加工的基础上,引入了数控雕刻机、三坐标测量机、圆度仪、快速成形和五轴加工中心等新工艺、新技术。

(2) 重“操作”、讲“实用”。书中精选了大量例题,并将一些重要的知识点分解到具体的实例中,通过学习和操作,使学生动手动脑,提高了综合素质和实践能力。

(3) 文字简练,图文并茂。力求简明扼要、通俗易懂,用平实的语言和图形表述抽象的加工原理和工艺方法。

本书作为高等工科院校金工实训教材可供机械类专业及部分非机械类专业使用,也可供从事数控加工的工程技术人员参考。

本书由刘燕担任主编,信丽华担任副主编,李名尧担任主审。参加编写的人员还有柳文婷、刘圣敏、胡义刚。在本书的编写过程中,参阅了国内外同行的教材、资料和文献,得到了许多专家和同行的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间较紧,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者多提宝贵意见。

编 者

2011.10



第1篇 数控加工

1 数控机床的基础知识	3
1.1 数控机床概述	3
1.2 数控机床的分类	5
1.3 数控机床的坐标系	8
1.4 数控机床精度检测	11
复习思考题	14
2 数控车床	15
2.1 数控车床的概述	15
2.2 数控车床的加工对象与加工工艺	19
2.3 数控车床的坐标系	24
2.4 数控车床编程	25
2.5 数控车床的操作	33
2.6 斜床身数控车床	40
复习思考题	43
3 数控铣床	45
3.1 数控铣床概述	45
3.2 数控铣床加工工艺及对刀	46
3.3 数控铣床编程	49
3.4 数控铣床操作	59
复习思考题	62
4 加工中心	63
4.1 加工中心的特点	63
4.2 三轴加工中心编程	64
4.3 三轴加工中心的操作	73
4.4 五轴加工中心编程与操作	75
复习思考题	87

5 MasterCAM 应用基础	89
5.1 MasterCAM 绘图简介	89
5.2 MasterCAM 编程	96
5.3 MasterCAM 编程实例	99
复习思考题	109
6 数控雕刻机	110
6.1 三轴数控雕刻机简介	110
6.2 三轴数控雕刻机的加工工艺	111
6.3 三轴数控雕刻机的操作	121
6.4 四轴雕刻机	123
复习思考题	129

第2篇 电火花加工

7 电火花成形加工	133
7.1 电火花成形加工的基础知识	133
7.2 工具电极的准备、装夹和校正	135
7.3 工件的准备、装夹和校正	138
7.4 电火花成形加工中的常用术语及基本工艺规律	139
7.5 电火花成形加工工艺和应用	143
7.6 电火花成形加工机床的操作	146
复习思考题	148
8 电火花线切割	149
8.1 电火花线切割的基础知识	149
8.2 电火花线切割的脉冲电源和工作液	150
8.3 工件的装夹、工件和电极丝的校正	151
8.4 电火花线切割的加工工艺	153
8.5 编程方法	155
8.6 电火花线切割机床操作	161
复习思考题	165

第3篇 现代测量技术

9 三坐标测量机	169
9.1 三坐标测量机简介	169
9.2 三坐标测量机的应用实例	171

复习思考题	177
-------------	-----

10 圆度仪	178
10.1 圆度仪的简介	178
10.2 检测器的简介	179
10.3 圆度仪的应用实例	181
复习思考题	188

第 4 篇 先进制造技术

11 快速成形	191
11.1 快速成形的简介	191
11.2 AuroFM 软件	193
11.3 三维模型操作	195
11.4 快速成形的加工实例	197
复习思考题	200
 参考文献	 201

第 1 篇

数 控 加 工

数控机床的基础知识



数控机床是适用于多品种小批量生产的高效的自动化机床。由于采用了数控技术,数控机床可以加工普通机床无法加工的复杂零件,尤其是复杂空间曲面,其生产效率比普通机床提高数倍甚至数十倍。数控机床是按所编程序自动进行零件加工的,减少了操作者的人为误差,并且可以自动地进行检测及补偿,达到非常高的加工精度。随着现代制造业的发展,数控机床已得到越来越广泛的应用。

1.1 数控机床概述

1. 数控机床的组成

数控机床由 4 个基本部分组成,即控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体,如图 1.1 所示。

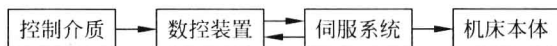


图 1.1 数控机床的基本组成及工作原理

1) 控制介质

控制介质即信息载体。操作数控机床时,人与机床之间必须建立某种联系,把零件加工信息传送到数控装置中去,这种联系物质就是控制介质。常用的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘等。随着 CAD/CAM/CAPP 技术的发展,可以利用计算机进行设计与编程,并将程序和数据直接传送给数控装置。

2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,主要由输入装置、控制运算器、输出装置等组成。控制介质上的信息经过输入装置识别与译码后,由控制运算器进行处理与运算,并产生相应的控制命令,控制命令由输出装置传送到伺服系统。

3) 伺服系统

伺服系统是数控机床的命令执行部分,它由驱动装置和执行机构等部分组成。伺服系统接受数控装置输出的指令信息后,进行功率放大,并按指令信息的要求驱动机床移动部件或相关部件完成指定的动作,使机床加工出符合要求的零件。常用的执行机构有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等,驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元等组成。

4) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,是最终完成各种切削加工的机械执行部分,如床身、底座、

立柱等。

2. 数控机床的特点

数控机床与普通机床比较,具有以下特点:

(1) 加工精度高,质量稳定。数控机床按照预先编好的程序进行加工,减少了人为干预,人为操作误差减少;机床本身的传动精度、刚性、抗振性好;并增加了检测和反馈装置,可以进行误差补偿,因此加工精度高,同一批零件的尺寸一致性好。

(2) 生产率高。在数控机床上加工零件通常可以实现一次安装进行多表面的加工,如在数控车床上车端面、车外圆、切槽、倒角等,在数控铣床上进行铣、钻、镗等功能,减少了工件安装次数及在不同机床之间的搬运时间,有的机床甚至可以多刀具同时进行加工。另外机床的运动速度可以调节,空行程时可以采用很高的运行速度,大大提高了机床的生产率。

(3) 加工柔性好。当加工对象发生改变时,只需要重新编写数控程序,便可实现零件的自动化加工,适用于多品种、不同批量零件的加工,如在产品试制中优势明显。

(4) 可加工复杂件。很多机床可以三轴联动、四轴联动甚至五轴联动等,可加工出复杂及特殊型面的工件。

(5) 劳动强度低。数控机床的操作者只需要编写程序、安装工件、对刀、观察、测量、拆卸工件等,机床自动加工零件,无须进行繁琐的重复性手工操作,劳动强度可大大减轻。

(6) 便于生产管理的现代化。很多企业的数控车间已经联网,在计算机房进行数控编程、仿真模拟,通过有线或无线网络将数控程序传输到数控机床,减少数控机床的占用时间。数控程序在服务器集中管理,解决了数控机床存储空间小的问题,并利用生产数据采集系统及时关注机床加工动态,在计算机房而不需要在加工现场就可清楚地了解每台机床的加工状态如设备报警、是否在加工、正在加工哪个零件、加工时间是多少等等,数控机床的应用有利于生产管理的现代化。

(7) 一次性投资大、维修成本高。数控机床价格贵,一台机床通常要几十万甚至几十万,一次性投资大,并且技术复杂,需要专业人员维护,维修成本高。

3. 数控编程的方法

数控编程的方法主要分为两大类:手工编程和自动编程。

1) 手工编程

手工编程是指零件图的分析、工艺方案的确定、数值计算、按照数控系统的指令格式编写数控程序、程序输入等全部手工操作,对于只有直线或圆弧的工件,只需要计算起点、终点、圆心、交接点的坐标,手工编程具有简单、经济、快捷的特点,应用广泛;但对于形状复杂件,如非圆曲线、曲面,程序长、数值计算困难只能用少数几个离散点用直线或圆弧作逼近处理,精度难以保证,效率低,必须采用自动编程的方法。

2) 自动编程

自动编程是用计算机完成全部或大部分的编程工作,如数值计算、加工程序的生成等。自动编程减轻了编程人员的劳动强度,对于复杂曲面可以采用较多的离散点进行拟合和逼近处理,提高了编程质量。

自动编程的方法很多,目前普遍采用的是基于 CAD/CAM 软件的图形交互式自动编程

系统。如利用 MasterCAM、CAXA 等 CAD/CAM 软件,先绘制零件图形或直接调用其他 CAD 软件绘制的图形,再利用数控编程模块进行刀具轨迹处理、数值计算、生成数控加工程序并进行仿真模拟等,效率高,可解决复杂零件的编程难题,但必须配备专门的自动编程系统。

1.2 数控机床的分类

数控机床常按以下几种分类方法进行分类。

1. 按工艺用途分类

(1) 切削类数控机床:如数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。其中普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹需由人工进行。加工中心则带有刀库,可自动换刀,工件在一次装夹中可完成铣、镗、钻、扩、铰、攻螺纹等多道工序。

(2) 成形类数控机床:如数控弯管机、数控卷簧机、数控组合冲床等。这类机床起步较晚,但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床:如数控电火花成形机床、数控线切割机床、数控激光加工机床等。

(4) 其他类型的数控机床:如数控快速成形机、数控三坐标测量机等。

2. 按运动方式分类

1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是只控制移动部件的终点位置,即只控制刀架或工作台从一点准确地移动到另一点,而点与点之间的运动轨迹没有严格要求,在移动过程中不进行加工。为了快速而精确地定位,通常采用“快速趋近,慢速定位”,即快速移动到定位点附近,再慢速趋近定位点,以保证定位精确,如图 1.2 所示。这类机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机等。

2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是不仅控制刀架或工作台从一点准确地移动到另一点,而且还控制两点之间移动的直线轨迹和速度,在移动过程中进行加工,沿平行于坐标轴的方向或与坐标轴成 45° 角的方向进行直线加工,如图 1.3 所示。这类机床有早期的数控车床、数控铣床等,目前具有这种运动控制的数控机床很少。

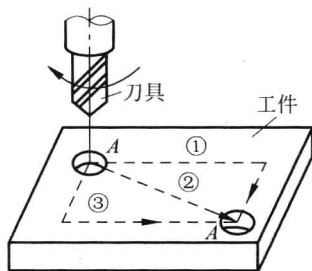


图 1.2 点位控制加工示意图

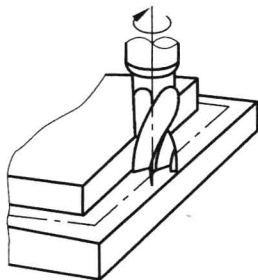


图 1.3 直线控制加工示意图

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制也称连续控制,其特点是能同时控制两个或两个以上的坐标轴,具有插补功能。它不仅能控制刀架或工作台从一点准确地移动到另一点,而且还能控制加工过程中每一点的位置和速度,可加工出所需的直线、斜线、曲线或曲面组成的轮廓形状。这类机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

根据同时控制坐标轴的数目不同,轮廓控制数控机床可分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等。

(1) 两轴联动:同时控制两个坐标轴,可加工由两维直线、斜线、曲线构成的零件,如图 1.4 所示。

(2) 两轴半联动:两个坐标轴联动,第 3 个坐标轴作周期性进给,如图 1.5 所示,铣刀沿 XZ 面所截曲线进行加工,每一段加工完后,在 Y 方向进给 ΔY ,再加工另一相邻曲线,如此反复直至加工出整个曲面,此法可以实现简单曲面的加工控制。



图 1.4 两轴联动加工

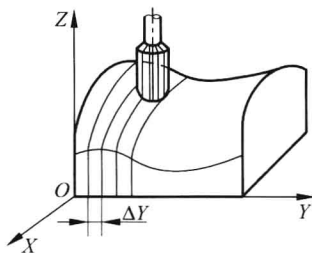


图 1.5 两轴半联动加工

(3) 三轴联动可以分为两类:一类为 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动,如数控铣床等;另一类为 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴中的两个联动,同时控制工作台或刀具的转动,如车削加工中心,除了控制 X 、 Z 轴联动外,还需同时控制绕 Z 轴旋转的主轴(C 轴)的联动。三轴联动加工如图 1.6 所示。

(4) 多轴联动:常见的多轴联动有四轴联动和五轴联动等。四轴或五轴联动机床是指机床有 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一个或某两个旋转坐标轴,其中旋转坐标轴可以是工作台的旋转也可以是刀具的摆动。四轴联动加工如图 1.7 所示,五轴联动加工如图 1.8 所示,带回转轴或倾斜轴的机床可使工件在加工过程中随时调整位置,实现复杂曲面的轨迹控制,如加工叶轮(见图 1.9)、螺旋桨等复杂零件。

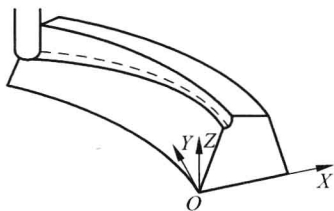


图 1.6 三轴联动加工

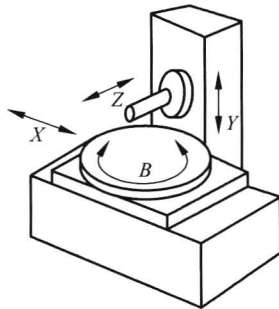


图 1.7 四轴联动加工

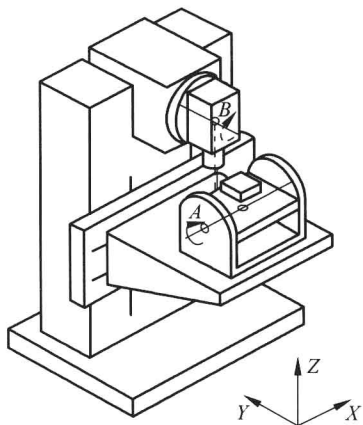


图 1.8 五轴联动加工

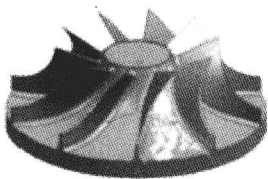


图 1.9 叶轮

3. 按执行机构的控制方式分类

1) 开环控制系统

开环控制系统是指没有测量反馈装置的控制系统。执行机构(如步进电机)按数控装置发生的脉冲指令转过相应角度,带动移动部件运动,如图 1.10 所示。由于没有位移测量与补偿功能,故精度较低,但其结构简单、工作稳定、调试容易、维修方便、成本低,一般适于经济型数控机床,如经济型数控车床等。

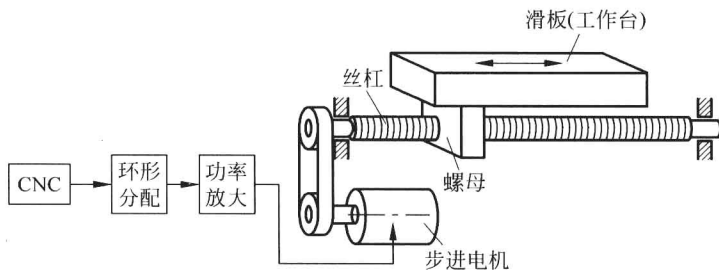


图 1.10 开环控制系统示意图

2) 闭环控制系统

闭环控制系统是指在机床移动部件上装有位移测量装置,它能将实测位移值反馈到数控装置中与输入指令位移值进行比较并实行位移补偿,直到差值为零,如图 1.11 所示。由于增加了检测、比较和反馈装置,故精度很高,但其结构复杂、调试较难、成本高,主要用于高精度数控铣床、数控磨床、超精数控车床和加工中心等。

3) 半闭环控制系统

半闭环控制系统与闭环控制系统的控制方式相似,如图 1.12 所示,但反馈的是丝杠或电机的转动角度,不能补偿丝杠螺母副的传动误差,故精度比闭环控制系统低,而比开环控制系统高,其结构比闭环控制系统简单,调试方便、稳定性好,适用于中档数控机床。

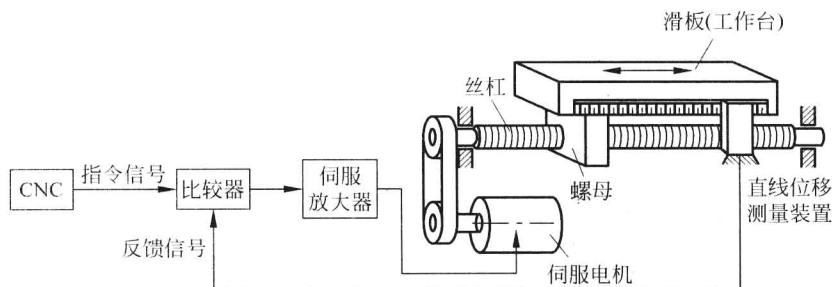


图 1.11 闭环控制系统示意图

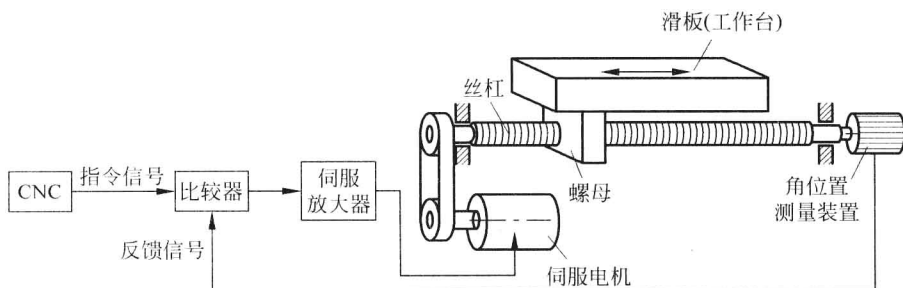


图 1.12 半闭环控制系统示意图

1.3 数控机床的坐标系

为了便于编程并保证数控机床运动的准确性,必须确定数控机床的坐标轴及其方向。目前我国执行的是与 ISO 841 等效的 JB 3051.82《数字控制机床坐标和运动方向的命名》标准。

数控机床的种类多样,机床的运动可概括为刀具运动(直线或旋转)和工件(工作台)运动两部分,有的机床刀具运动工件不动,有的机床工件运动刀具不动,也有的机床刀具运动工件也运动,在确定机床坐标系时规定:永远假定刀具相对于静止的工件而运动。

1. 坐标系的确定

数控机床采用右手直角笛卡儿坐标系,如图 1.13 所示。直角坐标 X 、 Y 、 Z 之间的关系及其正方向用右手法则确定。

2. 坐标轴的确定

坐标轴是先确定 Z 轴,然后确定 X 轴,最后确定 Y 轴。

1) Z 轴的确定

通常取主要传递切削力的主轴作为 Z 轴。对于车床,主轴带动工件旋转, Z 轴与主轴轴线重合,如图 1.14 所示;对于钻、铣、镗床等带动刀具旋转的主轴是 Z 轴,如图 1.15 所示。