



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

高等职业教育

技能型紧缺人才

培养教材

数控加工编程与操作

(第三版)



叶伯生 戴永清 编著

CNC

HUAZHONG



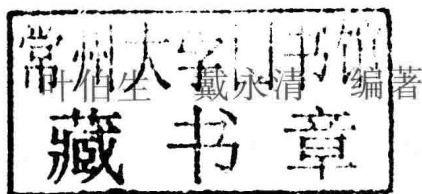
华中科技大学出版社

<http://www.hzhu.edu.cn>

“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
高等职业教育技能型紧缺人才培养教材

数控加工编程与操作

(第三版)



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书为“十二五”职业教育国家规划教材,在介绍了数控加工程序编制的基础知识、基本规则和规定的基础上,以配置华中世纪星 HNC-21M 数控装置的教学数控铣床和配置华中世纪星 HNC-21T 数控装置的教学数控车床为主要对象,详细介绍了数控铣床和数控车床的编程指令和操作方法,并以具体的零件加工为实例,阐述了从零件图样到合格零件的整个数控加工过程。为了方便读者更好地掌握国外数控系统的编程,本书再版时以精简的篇幅加入了国内市场占有率较大的 FANUC 数控装置的编程指令。

本书理论联系实际,内容丰富翔实,有较高的实用价值。本书可用作高等职业技术学院数控技术、机械设计与制造、机械制造与自动化、模具设计与制造、机电一体化等专业,以及各类成人教育学院、中等专科学校、技工学校相关专业的教材,也适合作为各类数控编程与操作培训班的教材,还可作为从事数控技术研究、开发的工程技术人员的参考书。为了方便教学,本书还配有相关电子教案,如有需要,可与出版社联系(电话:027-87548431;邮箱:171447782@qq.com)。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与操作/叶伯生,戴永清编著.—3版.—武汉:华中科技大学出版社,2014.12
ISBN 978-7-5609-9838-1

I. ①数… II. ①叶… ②戴… III. ①数控机床-程序设计-高等职业教育-教材 ②数控机床-操作-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 301101 号

数控加工编程与操作(第三版)

叶伯生 戴永清 编著

策划编辑:万亚军

责任编辑:姚 幸

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:禾木图文工作室

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:16.5

字 数:319 千字

版 次:2008 年 12 月第 2 版 2015 年 1 月第 3 版第 1 次印刷

定 价:29.80 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

高等职业教育技能型紧缺人才培养教材

数控技术应用专业系列教材编委会

主 任 陈吉红 教授,博导 华中科技大学

委 员 (以姓氏笔画为序)

万金保	副院长	深圳职业技术学院
王培林	副院长	广东技术师范学院
刘小芹	副院长	武汉职业技术学院
刘兰明	副院长	邯郸职业技术学院
刘惠坚	副院长	广东机电职业技术学院
刘继平	副院长	湖南工业职业技术学院
刘瑞池	副院长	芜湖职业技术学院
任丕顺	副院长	湖南机电职业技术学院
陈德清	副院长	安徽职业技术学院
李本初	副院长	湖北职业技术学院
张 元	校 长	郑州工业高等专科学校

序

为实现全面建设小康社会的宏伟目标,使国民经济平衡、快速发展,各行各业迫切需要培养大量不同类型和不同层次的人才。因此,党中央明确地提出人才强国战略和“造就数以亿计的高素质劳动者,数以千万计的专门人才和一大批拔尖创新人才”的目标,要求建设一支规模宏大、结构合理、素质较高的人才队伍,为大力提升国家核心竞争力和综合国力、实现中华民族的伟大复兴提供重要保证。

制造业是国民经济的主体,社会财富的60%~80%来自于制造业。在经济全球化的格局下,国际市场竞争异常激烈,中国制造业正由跨国公司的加工组装基地向世界制造业基地转变。而中国经济要实现长期可持续高速发展,实现成为“世界制造中心”的愿望,必须培养和造就一批掌握先进数控技术和工艺的高素质劳动者和高技能人才。

教育部等六部委启动的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养工程”,是落实党中央人才强国战略,培养高技能人才的正确举措。目前,国内数控技能人才的严重缺乏,阻碍了国家制造业实力的提高,针对数控技能人才的培养迫在眉睫的形势,教育部颁布了《两年制高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案》(以下简称《两年制指导方案》)。对高技能人才培养提出具体的方案,必将对我国制造业的发展产生重要影响。在这样的背景下,华中科技大学出版社策划、组织华中科技大学国家数控系统技术工程研究中心和一批承担数控技术应用专业领域技能型人才培养培训任务的高等职业院校编写两年制“高等职业教育数控技术应用专业系列教材”,为《两年制指导方案》的实施奠定基础,是非常及时的。

与普通高等教育的教材相比,高等职业教育的教材有自己的特点,编写两年制教材更是一种新的尝试,需要创新、改革,因此,希望这套教材能够做到以下几点。

体现培养高技能人才的理念。教育部部长周济院士指出:高等职业教育的主要任务就是培养高技能人才。何谓“高技能人才”?这类人才

既不是“白领”，也不是“蓝领”，而是应用型“白领”，可称之为“银领”。这类人才既要能动脑，更要能动手。动手能力强是高技能人才最突出的特点。本系列教材将紧扣该方案中提出的教学计划来编写，在使学生掌握“必需够用”理论知识的同时，力争在学生技能的培养上有所突破。

突出职业技能培养特色。“高职高专教育必须以就业为导向”，这一点已为人们所广泛共识。目前，能够对劳动者的技能水平或职业资格进行客观公正、科学规范评价和鉴定的，主要是国家职业资格证书考试。随着我国职业准入制度的完善和劳动就业市场的规范，职业资格证书将是用人单位招聘、录用劳动者必备的依据。以“就业为导向”，就是要使学校培养人才与企业需求融为一体，互相促进，能够使学生毕业时就具备就业的必备条件。本系列教材的内容将涵盖一定等级职业考试大纲的要求，帮助学生在学完课程后就有能力获得一定等级的职业资格证书，以突出职业技能培养特色。

面向学生。使学生建立起能够满足工作需要的知识结构和能力结构，一方面，充分考虑高职高专学生的认知水平和已有知识、技能、经验，实事求是；另一方面，力求在学习内容、教学组织等方面给教师和学生提供选择和创新的空間。

两年制教材的编写是一个新生事物，需要不断地实践、总结、提高。欢迎师生对本系列教材提出宝贵意见。

高等职业教育数控技术应用专业系列教材编委会主任

国家数控系统技术工程研究中心主任

华中科技大学教授、博士生导师

陈吉红

2004年8月18日

前 言

随着数控技术的飞速发展,数控机床的功能不断提高,而价格在不断降低,这为现代企业提供了更多的选择。为适应市场竞争的需要,它们普遍使用效率、精度更高的数控机床来替代普通机床。然而,能熟练掌握数控机床编程、操作的复合型应用技术人才却严重短缺。为贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,我们在华中科技大学出版社的组织下编写了本书。本书在第一、第二版的基础上进行了修订完善,精简了部分内容,并加入了国内市场占有率较大的FANUC系统的编程指令。本书经全国职业教育教材审定委员会审定,被评为“十二五”职业教育国家规划教材。

本书在内容取材方面遵循“少而精”原则,一方面,紧密结合高职高专的教学实际情况,坚持高技能人才的培养方向,重实践,强调教材的实用性;另一方面,力争突出教材的时代感,既反映我国数控加工现状,也介绍本领域的最新技术。为此,本书以国内高职高专院校使用比较普遍的华中世纪星数控装置为蓝本作主要介绍,兼顾国内使用比较普及的FANUC数控装置。全书力求文字叙述深入浅出,内容编排循序渐进。

全书共5章。第1章概要地介绍了数控加工程序编制的基础知识,包括数控编程的概念、方法和步骤,数控机床的坐标系,数控加工工艺基础,数控编程的数学处理以及数控加工程序的格式与组成;第2、3章重点讲述铣床数控装置和车床数控装置的操作方法和格式,并为每一编程指令进行了举例说明,同时介绍了FANUC数控装置的编程指令;第4章在介绍了华中数控世纪星数控装置操作部分的前提下,重点讲述了交互使用操作面板和软件菜单操作数控机床的步骤和方法;第5章以铣削类和车削类典型零件为例,详述了从编程到加工的完整过程,旨在通过实训使学生更加系统地掌握数控编程与操作的精髓。

本书第1章至第4章由叶伯生编著,第5章由戴永清编著,全书由叶伯生统稿和定稿。本书的成果凝结着武汉华中数控股份有限公司和国家数控系统工程技术研究中心各位同仁的辛勤劳动,在此表示衷心的感谢。在本书编写过程中,还参阅了国内外有关数控技术方面的教材、资料和文献,在此对各位作者谨致谢意。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵的意见,以便进一步修改。

编 者

2014年12月

目 录

第 1 章 数控加工程序编制的基础	(1)
1.1 数控编程概述	(1)
1.2 数控机床的坐标系	(4)
1.3 数控机床的工作原理简述	(10)
1.4 数控加工工艺基础	(11)
1.5 数控编程的数学处理	(20)
1.6 数控加工程序的格式与组成	(26)
第 2 章 数控铣床与铣削中心的编程	(29)
2.1 辅助功能 M 指令	(29)
2.2 主轴功能、进给功能和刀具功能	(32)
2.3 准备功能指令	(33)
2.4 极坐标编程与宏程序、子程序编程	(67)
2.5 FANUC-0M 数控装置编程简介	(76)
第 3 章 数控车床与车削中心的编程	(91)
3.1 辅助功能 M 指令	(92)
3.2 主轴功能、进给功能和刀具功能	(92)
3.3 准备功能指令	(93)
3.4 子程序、宏程序编程	(129)
3.5 FANUC-0T 编程简介	(130)
第 4 章 数控铣床与数控车床的操作	(143)
4.1 华中数控世纪星数控装置简介	(143)
4.2 世纪星数控装置操作部分	(145)
4.3 软件操作界面	(150)
4.4 数控机床的一般操作步骤	(153)
4.5 开机、关机及返回参考点	(154)
4.6 数控机床的手动控制	(156)

4.7	工作参数的设置	(160)
4.8	程序输入与校验	(170)
4.9	程序运行与控制	(175)
4.10	显示	(183)
4.11	机床参数设置	(191)
4.12	网络与通信	(196)
第 5 章	典型零件的编程与加工实训	(202)
5.1	典型零件的铣削编程与加工	(202)
5.2	典型零件的车削编程与加工(1)	(222)
5.3	典型零件的车削编程与加工(2)	(231)
	习题	(239)
附录 A	HNC-21M 数控装置准备功能一览表	(242)
附录 B	HNC-21T 数控装置准备功能一览表	(244)
附录 C	FANUC 数控装置的准备功能 G 指令及其功能	(246)
附录 D	FANUC 数控装置的辅助功能 M 指令及其功能	(250)
	参考文献	(252)

第 1 章 数控加工程序编制的基础

1.1 数控编程概述

1.1.1 数控加工与传统加工的比较

数控加工与传统加工的比较如图 1-1 所示。

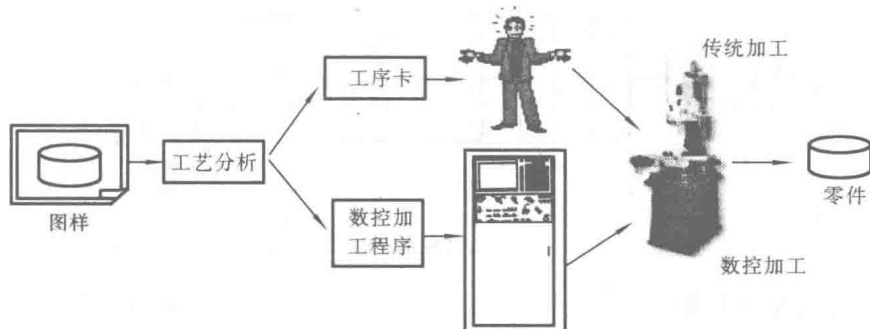


图 1-1 数控加工与传统加工的比较

在普通机床上加工零件，一般先要对零件图样进行工艺分析，制定零件加工工艺规程(工序卡)，并在工艺规程中规定加工工序，使用的机床、刀具、夹具等内容。机床操作者则根据工序卡的要求，在加工过程中操作机床，自行选定切削用量、走刀路线和工序内的工步安排等，不断地改变刀具与工件的相对运动轨迹和运动参数(如位置、速度等)，使刀具对工件进行切削加工，从而得到所需要的合格零件。

在 CNC(计算机数控)机床上，传统加工过程中的人工操作均被数控装置所取代。其工作过程如下：首先要将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化，即编成零件程序，再将加工程序单中的内容记录在磁盘等控制介质上，然后将该程序送入数控装置；数控装置则按照程序的要求，进行相应的运算、处理，然后发出控制命令，使各坐标轴、主轴以及辅助动作相互协调运动，实现刀具与工件的相对运动，自动完成零件的加工。

1.1.2 数控编程的概念

上述数控加工过程的第一步，即零件程序的编制过程，称为数控编程。

具体地说,数控编程是指根据被加工零件的图样和技术要求、工艺要求,将零件加工的工艺顺序、工序内的工步安排、刀具相对于工件运动的轨迹与方向(零件轮廓轨迹尺寸)、工艺参数(主轴转速、进给量、切削深度)及辅助动作(变速,换刀,冷却液开、停,工件夹紧、松开等)等,用数控装置所规定的规则、指令和格式编制成文件(零件程序单),并将程序单的信息制作成控制介质的整个过程。从广义上讲,数控加工程序的编制包含了数控加工工艺的设计过程。

在数控编程之前,编程员应了解所用数控机床的规格、性能、CNC 系统所具备的功能及编程指令格式等。

1.1.3 数控编程步骤

数控编程步骤如图 1-2 所示。

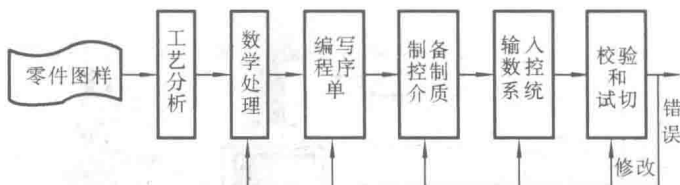


图 1-2 数控编程步骤

1. 图样工艺分析

根据零件图样,工艺分析主要完成下述任务。

- 确定加工机床、刀具与夹具。
- 确定零件加工的工艺路线、工步顺序。
- 确定切削用量(如主轴转速、进给速度、进给量、切削深度)。
- 确定辅助功能(如换刀,主轴正转、反转,冷却液开、关等)。

2. 数学处理

根据图样尺寸,确定合适的工件坐标系,并以此工件坐标系为基准,完成下述任务。

- 计算直线和圆弧轮廓的终点(实际上转化为求直线与圆弧间的交点、切点)坐标值,以及圆弧轮廓的圆心、半径等。
- 计算非圆曲线轮廓的离散逼近点坐标值(当数控系统没有相应曲线的插补功能时,一般要将此曲线在满足精度的前提下,用直线段或圆弧段逼近)。
- 将计算的坐标值按数控装置规定的编程单位换算为相应的编程值。

3. 编写程序单及初步校验

根据制定的加工路线、切削用量、选用的刀具、辅助动作和计算的坐标值,按照数控系统规定的指令及程序格式,编写零件程序,并进行初步校验(一般采用阅读

法,即对照待加工零件的要求,对编制的加工程序进行仔细阅读和分析,以检查程序的正确性),检查上述两个步骤的错误。

4. 制备控制介质

将程序单上的内容,经转换记录在控制介质上(如存储在磁盘上),作为数控系统的输入信息,若程序较简单,也可直接通过 MDI 键盘输入。

5. 输入数控系统

制备的控制介质必须正确无误,才能用于正式加工。因此要将记录在控制介质上(如存储在磁盘上)的零件程序,经输入装置输入到数控系统中,并进行校验。

6. 程序的校验和试切

(1) 程序的校验

程序的校验用于检查程序的正确性和合理性,但不能检查加工精度。

利用数控系统的相关功能,在数控机床上运行程序,通过刀具运动轨迹检查程序。这种检查方法较为直观、简单,现被广泛采用。

① 静态校验,即利用数控系统的“程序校验”功能运行程序。在机床不动的情况下,通过显示屏显示零件加工轨迹,来检查程序的正确性。

② 动态校验,即利用数控系统的“空运行”功能运行程序。在不安装工件的情况下,控制机床按编程轨迹运动,同时在显示屏上显示加工轨迹。

另外,对平面轮廓零件可以笔代刀,以坐标纸代工件,通过运行程序绘出加工轨迹图;对空间曲面轮廓零件,还可利用蜡、塑料、木材或价格低的材料作为试件进行试切。这种方法不仅可检查程序的正确性和加工轨迹的合理性,还可大致检查加工过程中刀具的干涉情况。

(2) 试切

通过程序的试运行,在数控机床上加工实际零件(试切),以检查程序的正确性和合理性。

试切法不仅可检验程序的正确性,还可检查加工精度是否符合要求。通常只有试切零件经检验合格后,加工程序才算编制完毕。

在校验和试切过程中,如发现有错误,应分析错误产生的原因,进行相应的修改(或修改程序单,或调整刀具补偿尺寸),直到加工出符合图样规定精度的试切件为止。

1.1.4 数控编程方法

数控编程方法有两种:手工编程和自动编程。

1. 手工编程

手工编程是指编制零件数控加工程序的前几个步骤,即从零件图样工艺分析、坐标点的计算直至编写零件程序单,均由人工来完成。

对于点位加工或几何形状不太复杂的零件,数控编程计算较简单,需编写的程序段不多,手工编程即可实现。若对轮廓形状复杂的零件,特别是空间复杂曲面零件,以及几何元素虽并不复杂但程序量很大的零件,采用手工编程则相当繁琐,工作量大,容易出错且很难校对。为了缩短生产周期,提高数控机床的利用率,对该类零件必须采用自动编程方法。

2. 自动编程

自动编程即计算机辅助编程,它是借助数控自动编程系统(如 MasterCAM、UG II、Pro/E 等系统),由计算机来辅助生成零件程序。此时,编程人员一般只需借助数控编程系统提供的各种功能,对加工对象、工艺参数及加工过程进行较简单的描述,即可由编程系统自动完成数控加工程序编制的其余内容。

自动编程减轻了编程人员的劳动强度,缩短了编程时间,提高了编程质量,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题(如非圆曲线轮廓的计算)。通常三轴以上联动的零件程序只能用自动编程来完成。

数控程序手工编程与自动编程的过程如图 1-3 所示。

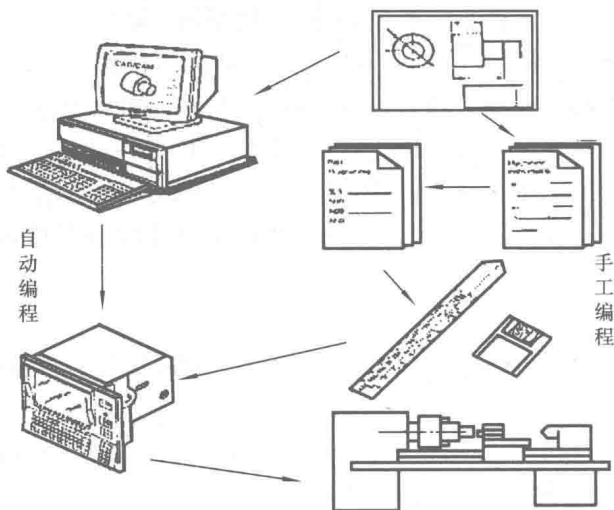


图 1-3 数控程序手工编程与自动编程的过程

1.2 数控机床的坐标系

1.2.1 机床坐标轴的命名与方向

坐标轴是指在机械装备中具有位移(线位移或角位移)控制和速度控制功能的运动轴(也称坐标或轴)。它有直线坐标轴和回转坐标轴之分。

为简化编程和保证程序的通用性,人们对数控机床的坐标轴的命名和方向制定了统一的标准。规定直线进给坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示,常称为基本坐标轴。 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定。如图 1-4(a)所示,图中拇指的指向为 X 轴的正方向,食指的指向为 Y 轴的正方向,中指的指向为 Z 轴的正方向。

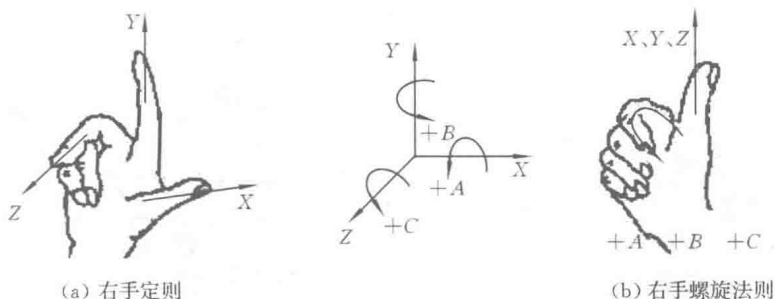


图 1-4 数控机床的坐标轴和方向

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示,其方向的正负由右手螺旋法则确定。如图 1-4(b)所示,以拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向,则食指、中指等的指向分别是圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

如果在基本的直角坐标轴 X 、 Y 、 Z 之外,另有轴线平行于它们的坐标轴,则这些附加的直角坐标轴分别指定为 U 、 V 、 W 轴和 P 、 Q 、 R 轴。这些附加坐标轴的运动方向,可按决定基本坐标轴运动方向的方法来决定。

数控机床的进给运动,有的由主轴带着刀具运动来实现,有的由工作台带着工件运动来实现。为了使所编制的加工程序在不同配置的机床上都能使用,根据 ISO 标准规定:在编程中,坐标轴的方向总是刀具相对工件的运动方向,用 X 、 Y 、 Z 、 A 、 B 、 C 等表示。在实际应用中,对数控机床的坐标轴进行标注(不是编程)时,还可以根据坐标轴的实际运动情况,用工件相对刀具的运动方向进行标注,此时需用 X' 、 Y' 、 Z' 、 A' 、 B' 、 C' 等表示,以示区别。显然有

$$\begin{aligned} +X &= -X', & +Y &= -Y', & +Z &= -Z' \\ +A &= -A', & +B &= -B', & +C &= -C' \end{aligned}$$

这个规定方便了编程,使编程人员在不知数控机床具体布局的情况下,也能正确编程。

1.2.2 机床坐标轴方位和方向的确定

机床坐标轴的方位和方向取决于机床的类型和各组成部分的布局,其确定顺序一般为

- 先确定 Z 坐标(轴);
- 再确定 X 坐标(轴);

● 然后由右手定则或右手螺旋法则确定 Y 坐标(轴)。

1. Z 坐标(轴)

(1) Z 坐标方位

● 若只有一个主轴,且主轴无摆动运动,则规定平行主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,如图 1-5 至图 1-7 所示。

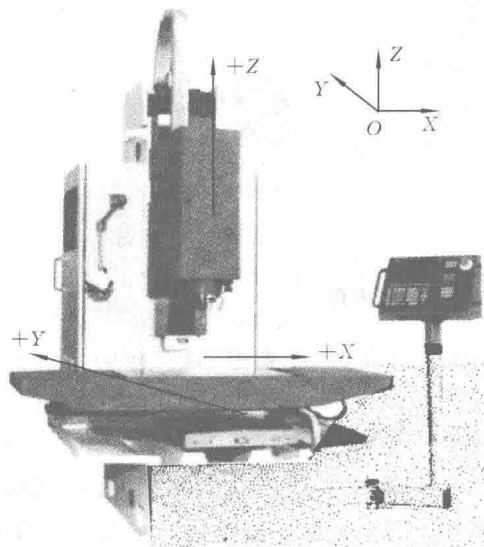


图 1-5 立式数控铣床的坐标系

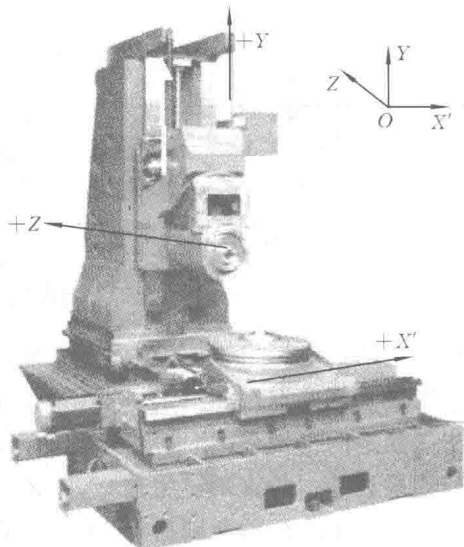


图 1-6 卧式数控铣床的坐标系

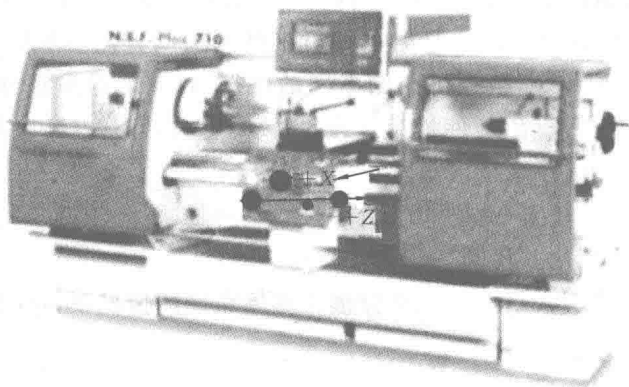


图 1-7 卧式数控车床的坐标系

- 若没有主轴或有多个主轴,则规定垂直于工件装夹面的坐标轴为 Z 轴。
- 若主轴能摆动,且在摆动范围内只与标准坐标系中的某一坐标轴平行,则规定该坐标轴为 Z 轴,如图 1-8 所示。
- 若主轴能摆动,且在摆动范围内能与标准坐标系中的多个坐标轴平行,则规

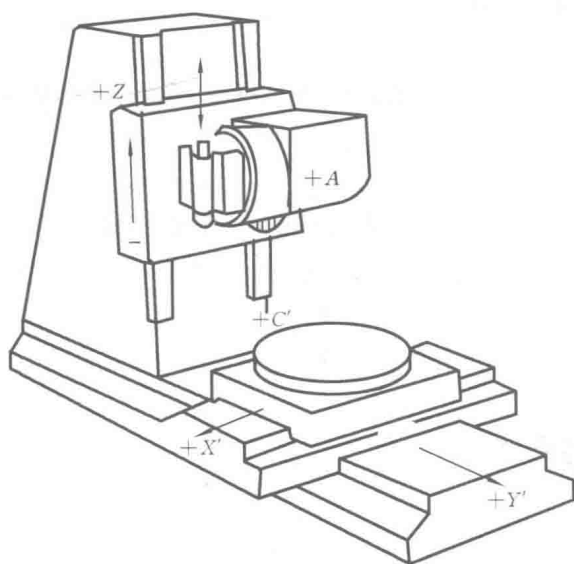


图 1-8 立式五轴数控铣床的坐标系

定垂直于工件装夹面的坐标轴为 Z 轴。

(2) Z 坐标正方向

刀具远离工件的方向为 Z 坐标正方向(+ Z)。

2. X 坐标(轴)

(1) 在刀具旋转的机床上(铣床、钻床、镗床等)

● 对 Z 轴轴线水平的机床(如卧式数控铣床),规定由刀具(主轴)向工件看时, X 坐标的正方向指向右边,如图 1-6 所示。

● 对 Z 轴轴线竖直且为单立柱的机床(如立式数控铣床),规定由刀具向立柱看时, X 坐标的正方向指向右边,如图 1-5 所示。

● 对 Z 轴轴线竖直且为双立柱的数控机床(如龙门铣床),规定由刀具向左立柱看时, X 坐标的正方向指向右边,如图 1-9 所示。

(2) 在工件旋转的机床上(车床、磨床等)

● X 坐标的方位在工件的径向并平行于横向拖板上。

● X 坐标正方向是刀具离开工件旋

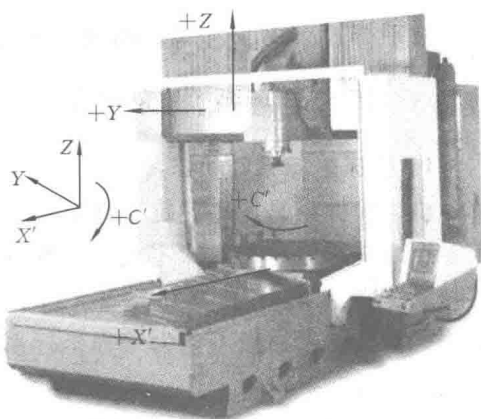


图 1-9 双立柱数控龙门铣床的坐标系

转中心的方向,如图 1-7 所示。

3. Y 坐标(轴)

利用已确定的 X 、 Z 坐标的正方向,用右手定则或右手螺旋法则确定 Y 坐标的正方向。

(1) 右手定则

拇指指向 $+X$,中指指向 $+Z$,则 $+Y$ 方向为食指指向,如图 1-10(a)所示。

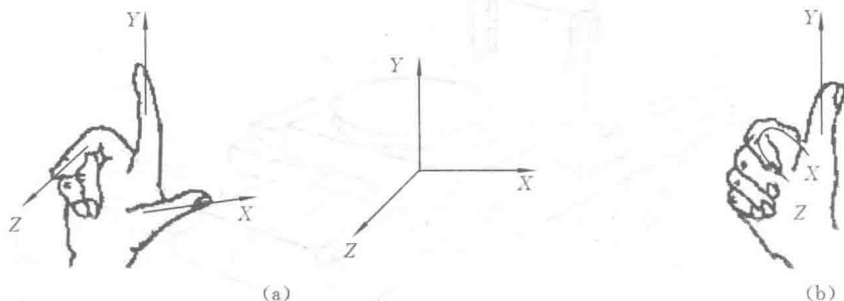


图 1-10 右手定则与右手螺旋法则

(2) 右手螺旋法则

在 XZ 平面,从 Z 至 X ,拇指所指的方向为 $+Y$,如图 1-10(b)所示。

由上述法则确定的 Y 轴方位和正方向如图 1-5 至图 1-9 所示。

4. 回转坐标和附加坐标

(1) 回转坐标

用右手螺旋法则确定回转坐标轴 A 、 B 、 C 或 A' 、 B' 、 C' 的方位和方向,如图 1-8、图 1-9 所示。以拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向,则食指、中指等的指向是圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

(2) 附加坐标

按平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的原则,确定附加坐标轴 U 、 V 、 W 或坐标轴 U' 、 V' 、 W' 。

1.2.3 机床坐标系、机床零点和机床参考点

1. 机床坐标系与机床零点

机床坐标系是用来确定工件坐标系的基本坐标系,机床坐标系的原点称为机床零点或机床原点。机床零点的位置一般由机床参数指定,但指定后,这个零点便被确定下来,维持不变。

机床坐标系一般不作为编程坐标系,仅作为编程坐标系——工件坐标系的参考坐标系。

2. 机床参考点与机床行程开关

数控装置上电时并不知道机床零点。为了正确地在机床工作时建立机床坐标