



现代工业培训教材

数控机床编程 与操作实用教程

李家杰 编著



东南大学出版社

现代工业培训教材

数控机床编程与操作 实用教程

李家杰 编著

东南大学出版社
· 南 京 ·

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了5种常用数控机床编程与操作的知识和方法,以及数控机床的使用和维护。全书共分4篇12章。内容包括数控技术基础、数控车床、数控铣床、加工中心、数控线切割、数控电火花成形机床的编程与操作、CAD/CAM与数控自动编程技术以及数控机床的使用和维修等。

本书具有系统性、通用性、实用性和先进性的突出特色。所选用系统均为当今主流典型数控系统,实际应用广泛。编程讲解详细,操作步骤具体,而且都举有典型实例。尤其是操作,不仅介绍了基本操作方法,更有具体详细的加工操作步骤,还有数控机床安全操作规程、机床维护与保养、常见故障及其处理等。

本书适用面宽,不仅可作为机械类、数控类及机电类各专业大中专、高职、技校的教材,也可作为数控技术职业技能的培训教材,以及数控技术及应用方面工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作实用教程/李家杰编著. —南京:
东南大学出版社, 2005. 2

现代工业培训教材

ISBN 7-81089-850-7

I. 数... II. 李... III. ①数控机床—程序设计
技术培训—教材②数控机床—操作—技术培训—教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 007380 号

版权所有,侵权必究

出版发行:东南大学出版社	印 张:33.5
出 版 人:宋增民	字 数:858(千字)
地 址:南京市四牌楼2号	版 次:2005年2月第1版
邮 编:210096	印 次:2005年2月第1次印刷
经 销:江苏省新华书店	定 价:49.80(元)
印 刷:南京京新印刷厂	印 数:1—8000册
开 本:787mm×1092mm 1/16	网 址: http://www.press.seu.edu.cn

(凡因印装质量问题,可直接向本社发行部调换,电话:83795801)

序 言

由于集成电路按照摩尔定律快速发展,而芯片的价格又不断大幅度下降,这就造成计算机技术、电子技术在工业产品和家用电器产品中有着愈来愈广泛的市场。我们甚至可以说,CPU无处不在。当然,数控技术的发展首先得益于高集成度电子芯片的大踏步前进。

当代,数控技术的基础性、综合性、先进性与应用范围的日益广泛性,使之成为现代制造业的基础和核心技术,同时也是一个工业化国家核心竞争力的重要组成部分。

无论是发达国家,还是发展中国家,数控技术都是国家发展的重要领域和国力强弱的重要标志。作为已经进入 WTO 的中国,其综合国力和产品的竞争力在一定程度上取决于数控技术的普及和应用情况。经过近 20 多年的改革开放,“Made in China”的各种产品已经遍布世界。中国产品的海外市场由主要集中在第三世界逐步发展到众多发达国家。

中国虽然已经成为一个制造大国,但还不是制造强国。在精密、超精密、大型、微型、高速和特殊设备等方面,中国与世界水平还存在着相当大的差距。要使中国成为一个制造强国,除了大力发展国家的创新体系,培养高素质的创新人才外,培养出大批掌握先进数控技术的应用型人才同样举足轻重。而要培养出大批掌握先进数控技术的人才,离不开先进、实用的教材。南京工业大学青年教师李家杰结合个人的教学实践,历时 5 年精心编著的本书是非常符合当前培养数控技术应用型人才所需要的教材。

该教材不仅阐述了数控机床、数字控制、数控编程、数控加工等方面的基本理论,而且更多地是从解决生产实际问题,从解决综合应用性问题的层面上来选择主导内容。书中不仅介绍了数控车削、数控铣削和加工中心切削等数控切削加工,而且重点介绍了数控电火花线切割加工、数控电火花穿孔与成形加工等数控特种加工。

该教材全面、清楚、细致地介绍了国内外各种数控系统的主流产品,重点介绍了比较典型的数控自动编程软件。既包括国际上应用广泛的日本 FANUC 系统、德国 SIEMENS 系统和西班牙 FAGOR 系统,也包括处于迅速发展中的我国拥有自主知识产权的中华 I 型数控系统、华中 I 型数控系统、航天数控系统平台、蓝天系列 CNC 系统、南京四开数控系统和超人(SUPERMAN)CNC 系统。详细介绍了美国的自动编程软件 Mastercam—Mill 和北航海尔的自动编程软件 CAXA—ME。这些数控系统和自动编程软件虽然来自不同国家的不同厂商,但基本原理

和解决问题的思维方式则大体相同。读者只要熟悉、掌握一两种典型的数控系统或自动编程软件,对学习其他系统和软件都有举一反三的借鉴作用。

该教材不仅有各种数控机床和数控系统的编程与操作,而且由浅入深,安排有相当数量的编程实例和综合性训练题目。相信读者能够通过学习,循序渐进,逐步掌握数控机床的操作和使用要领。

该教材还专门辟出一篇,介绍数控机床的使用、管理,可能出现的故障与常用的故障排除方法。这对读者进一步熟悉和掌握数控机床,妥善维护数控机床,及时解决数控机床使用中出现的问題,一定会有所帮助。

值得注意的是,任何数控机床、控制系统和自动编程软件既有其共同的规律,又有各自的特点,读者一定要根据具体厂商的使用说明书来熟悉、掌握和用好特定品牌与特定条件下的数控机床。

实践出真知,总结长才干。作为读者,尤其是数控机床的操作人员,在学习和实践中不断深化知识,拓宽视野,探索规律和总结经验是非常重要的。尽管用好数控机床,实现高效率、高质量的数控加工,需要有综合性的知识,但只要我们不懈努力,就一定能对数控机床、数控系统和数控加工的认识从必然王国逐步跃进到自由王国,从而发挥出操作者与数控机床的最大综合潜力,为我国的社会主义建设做出更大的贡献。

清华大学 傅水根

2004年11月中旬于清华园

前 言

数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、信息处理技术、网络通讯技术、成组技术、现代控制技术、传感检测技术、微电子技术、液压气动技术、光机电技术于一体,是现代制造技术的基础。它的广泛应用给机械制造业的生产方式、产品结构和产业结构带来了深刻的变化。数控机床是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是关系到国家战略地位和体现国家综合国力的重要基础性产业,其技术水平和拥有量是衡量一个国家工业现代化的重要标志,机械制造业的竞争,实质是数控技术的竞争。

数控技术具有强大优势,是提高产品质量、提高劳动生产率、改善劳动条件必不可少的物质手段。实现加工机床及生产过程数控化,是当今制造业的发展方向。有鉴于此,发达国家把提高数控技术水平作为提高制造业水平的重要基础,竞相发展本国的数控产业。日本、德国、美国、西班牙等国,都采取了一些扶植本国数控产业发展的政策措施。我国政府也正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业,把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。事实上,当今任何自动化生产设备都与数控技术密切相关。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术,已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。随着数控技术的发展,数控机床作为自动化加工设备正被越来越普遍地采用。学习、理解和掌握数控技术,是从事加工行业人士的必然选择。

随着数控机床的广泛应用,急需培养大批熟练掌握现代数控机床编程、操作与维护的工程技术人员。为适应数控机床工作人员培训和学习的需要,并供大专、高职、技校学生学习现代制造技术之用,特编写了本书。全书共分12章,主要包括数控机床概述和编程基础,数控车床、数控铣床、加工中心、数控线切割、电火花成形机床5种常用机床的编程与操作,以及CAD/CAM自动编程技术,数控机床刀具,典型数控系统介绍,数控机床的选择、安装、调试、验收与维护等内容。本书作者根据多年从事数控加工和数控教学的经验,从选材内容到实例分析都做了精心的编排,力求做到内容丰富,图文并茂,详略得当,通俗易懂。读者通过认真学习本书,并结合本单位的数控机床和数控系统,就能达到熟练编制程序和学会

数控机床的操作与维护。本书通过从简单到复杂的举例,介绍了国际标准数控语言的指令含义和应用方法的完整知识,并通过对典型数控系统的实际操作应用,达到举一反三,触类旁通之效,而不会感到有任何局限性。

本教材符合国家教育部《工程材料及机械制造基础》课程教学指导小组最新下达的教学基本要求和有关工程训练规范,结构紧凑,重点突出,尤其增强了工程实践能力的训练,并在大工程背景下,努力培养创新精神和创新能力。

本书由国家教育部高等学校机械基础课程指导委员会副主任委员兼“工程材料及机械制造基础”课程教学指导小组组长、清华大学傅水根教授主审。傅水根教授于百忙之中抽空认真、仔细地审阅了全稿,提出了许多极为宝贵的意见,并为本书热情作序,特此致谢!

本书在编写过程中参阅了国内外同行有关的资料、文献和教材,得到了南京工业大学领导的关心和大力支持,在此一并表示衷心的感谢!本书全部内容由本作者独自编写,限于作者水平和经验,加之时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,恳请有关专家学者及广大读者批评指正。作者 E-mail:ljjhn@126.com。

作 者

2005 年 1 月于南京

目 录

第 1 篇 数控技术基础

第 1 章 数控机床概述和编程基础	(3)
1.1 数控机床概述	(3)
1.1.1 数控机床的组成和工作原理	(3)
1.1.2 数控机床的分类	(4)
1.1.3 数控机床的加工特点和应用范围	(11)
1.1.4 数控技术的发展	(13)
1.2 数控编程基础.....	(20)
1.2.1 数控技术常用术语	(20)
1.2.2 插补原理与计算机数控系统	(22)
1.2.3 数控加工工艺	(25)
1.2.4 数控编程的内容与步骤	(27)
1.2.5 数控编程分类	(30)
1.2.6 数控机床的坐标系和运动方向	(31)
1.2.7 程序结构与格式	(36)
1.2.8 数控系统的基本功能代码	(38)
思考与练习题	(41)
 第 2 章 数控机床刀具	(43)
2.1 数控机床刀具的种类及特点.....	(43)
2.2 数控刀具材料.....	(45)
2.3 刀具涂层技术.....	(49)
2.3.1 涂层技术的种类	(49)
2.3.2 刀具涂层材料	(50)
2.4 机夹可转位刀片及其代码.....	(51)
2.5 数控工具系统.....	(54)
2.5.1 数控切削加工对可转位刀具的特殊要求	(54)

2.5.2 数控机床工具系统	(54)
2.6 数控加工刀具的选择	(57)
2.7 数控刀具的切削用量选择	(60)
思考与练习题	(62)

第3章 典型数控系统介绍	(63)
3.1 典型数控系统简介	(63)
3.2 FANUC 数控系统	(65)
3.3 SIEMENS 数控系统	(69)
3.4 FAGOR 数控系统	(72)
3.5 其他数控系统介绍	(74)
3.6 开放式数控系统	(77)
思考与练习题	(80)

第2篇 数控机床编程与操作

第4章 数控车床编程与操作	(83)
4.1 数控车床概述	(83)
4.1.1 数控车床的组成及特点	(83)
4.1.2 数控车床的分类及用途	(84)
4.1.3 数控车床的主要结构	(85)
4.1.4 数控车床的主要技术参数	(87)
4.2 数控车床编程基础	(88)
4.2.1 数控车床加工工艺	(88)
4.2.2 数控车床的编程特点	(89)
4.2.3 数控车床的坐标系	(90)
4.2.4 典型数控系统的指令代码	(91)
4.3 SINUMERIK 802S/C 系统数控车床编程与操作	(94)
4.3.1 典型数控车床简介	(94)
4.3.2 数控车床编程	(95)
4.3.3 数控车床编程实例	(116)
4.3.4 数控车床的操作	(121)
4.3.5 典型零件车削加工综合实例	(139)

4.4 FANUC-0i 系统数控车床编程与操作	(148)
4.4.1 典型数控车床简介	(148)
4.4.2 数控车床编程	(149)
4.4.3 数控车床编程实例	(173)
4.4.4 数控车床操作	(178)
4.4.5 典型零件车削加工综合实例	(187)
4.5 创新综合训练(CAD/CAM/CNC 一体化)	(192)
4.5.1 创新综合训练的目的、内容及意义	(192)
4.5.2 创新综合训练具体实施步骤	(192)
思考与练习题	(193)
 第5章 数控铣床编程与操作	 (196)
5.1 数控铣床概述	(196)
5.1.1 数控铣床的组成及特点	(196)
5.1.2 数控铣床的分类及用途	(197)
5.1.3 数控铣床的主要结构	(198)
5.1.4 数控铣床的主要技术参数	(199)
5.2 数控铣床编程基础	(200)
5.2.1 数控铣床加工工艺	(200)
5.2.2 数控铣床的编程特点	(202)
5.2.3 数控铣床的坐标系	(202)
5.2.4 典型数控系统的指令代码	(204)
5.3 SINUMERIK 802S/C 系统数控铣床编程与操作	(211)
5.3.1 典型数控铣床简介	(211)
5.3.2 数控铣床编程	(211)
5.3.3 数控铣床编程实例	(215)
5.3.4 数控铣床操作	(215)
5.3.5 典型零件数控铣床综合加工实例	(217)
5.4 FANUC 0-MD 系统数控铣床编程与操作	(219)
5.4.1 典型数控铣床简介	(219)
5.4.2 数控铣床编程	(220)
5.4.3 数控铣床编程实例	(243)
5.4.4 数控铣床操作	(246)

5.4.5 典型零件数控铣床综合加工实例	(260)
思考与练习题	(266)
第6章 加工中心的编程与操作	(267)
6.1 加工中心概述	(267)
6.2 加工中心的编程基础	(275)
6.3 加工中心的编程方法	(277)
6.4 加工中心的编程实例	(299)
6.5 典型加工中心的操作	(300)
6.6 加工中心的综合加工实例	(324)
思考与练习题	(326)
第7章 数控电火花线切割机床编程与操作	(328)
7.1 特种加工概述	(328)
7.2 数控线切割机床简介	(331)
7.3 数控线切割机床编程基础	(339)
7.4 数控线切割机床编程方法	(344)
7.5 数控线切割机床编程实例	(355)
7.6 数控线切割加工自动编程	(359)
7.7 数控线切割机床的操作	(375)
思考与练习题	(378)
第8章 数控电火花成形机床的编程与操作	(379)
8.1 数控电火花成形机床概述	(379)
8.2 数控电火花成形加工的工艺处理	(386)
8.3 数控电火花成形机床的编程	(397)
8.4 数控电火花成形机床的操作	(403)
8.5 数控电火花加工操作实例	(404)
思考与练习题	(406)

第3篇 CAD/CAM 与数控自动编程技术

第9章 自动编程概述	(409)
-------------------------	--------------

9.1 自动编程概述	(409)
9.2 CAD/CAM 的基本知识	(411)
9.3 CAD/CAM 常用软件介绍	(414)
思考与练习题	(417)
第 10 章 Mastercam 软件应用	(418)
10.1 Mastercam 简介	(418)
10.2 Mastercam 二维图形的绘制与编辑	(425)
10.3 Mastercam 三维造型	(436)
10.4 Mastercam 的数控加工	(452)
10.5 自动编程典型实例	(463)
思考与练习题	(483)
第 4 篇 数控机床的使用和维修	
第 11 章 数控机床的使用及其管理	(487)
11.1 数控机床的选用	(487)
11.2 数控机床的安装与调试	(491)
11.3 数控机床的验收	(495)
11.4 数控机床的使用和管理	(501)
思考与练习题	(504)
第 12 章 数控机床的维护与故障处理	(505)
12.1 数控机床的维护与保养	(505)
12.2 数控机床常见故障诊断及维修	(508)
思考与练习题	(521)
参考文献	(522)

第 1 篇 数控技术基础

第 1 章 数控机床概述和编程基础

1.1 数控机床概述

社会需求的多样化与科学技术的现代化,使机械制造的产品日趋精密、复杂,而且更新频繁,这不但对机械制造的精度与效率提出了更高的要求,而且对生产的适应性、灵活性提出了更高的要求。特别是在宇航、造船、模具、军工及计算机工业中,零件精度高、形状复杂、中小批量且频繁改型,使用普通机床加工这些零件则存在生产效率低、劳动强度大、加工精度难以保证、有时甚至不能加工等现象。近年来,由于市场竞争日趋激烈,各生产厂家一方面要不断提高产品质量,另一方面又要满足市场不断变化的需要而进行频繁改型。即使是大批量生产,也面临产品改型变化的要求。这样,使以组合机床及自动化生产线为特征的刚性自动化在大批量生产中日渐暴露其缺点或不足,即刚性自动化可以有很高的效率和加工精度,但没有生产的灵活性和对单件小批量生产的适应性,尤其是对复杂多变的零件加工没有“柔性”。据统计,单件、中小批量生产的零件品种约占零件总品种的 80%,甚至还要多。为了解决上述问题,一种新型的数字程序控制机床应运而生。数控机床是综合运用了计算机技术、网络通信技术、成组技术、自动控制技术、传感检测技术、液压气动技术、微电子技术以及精密机械等高新技术而发展起来的具有高精度、高自动化、高效率的一种完全新型的自动化机床,是典型的机电一体化产品,它的产生和发展标志着世界机械加工业进入了一个崭新的时代。

1.1.1 数控机床的组成和工作原理

1) 数控机床的组成

数控机床一般由机床本体、数控系统、伺服系统和辅助装置等部分组成,如图 1.1.1 所示。

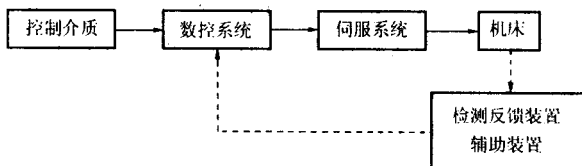


图 1.1.1 数控机床的组成

(1) 机床本体

机床本体是指数控机床的机械结构实体,它与传统的普通机床相比较,同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、拖板、床身等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作界面等都发生了很大的变化。主要有以下几点:①主传动系统一般分为齿轮有级变速和电气无级调速两种类型。较高档的数控机床都要求配置调速电机实现主轴的无级变速,以满足各种加工工艺的要求,采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。②进给传动采用高效传动件,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。如采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。③床身机架具有更高的动、静刚度。④为了操作安全,一般采用全封闭罩壳等。

(2) 数控系统

数控系统是数控机床的控制中心,是整个数控机床的灵魂所在。数控系统主要由操作系统、主控制系统、可编程控制器、输入输出接口等部分组成。其中操作系统由显示器和键盘组成。主控制系统类似计算机主板,主要由 CPU、存储器、运算器、控制器等部分组成。数控系统可控制位置、速度、角度等机械量,以及温度、压力等物理量,其控制方式可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中主控制器内的插补运算模块就是根据所读入的零件程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号相比较,从而控制机床各个坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常主要由可编程控制器 PLC 来完成,它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

(3) 伺服系统

伺服系统是联接数控系统和机床本体之间的电传动环节,它接受来自数控系统发出的脉冲信号,转换为机床移动部件的运动,加工出符合图纸要求的零件。伺服系统主要由驱动装置、执行机构和位置检测反馈装置等部分组成。目前大多采用交、直流伺服电机作为系统的执行机构,各执行机构由驱动装置驱动。交、直流伺服电机一般适用于全功能型数控机床,而步进电机多用在经济型或简易 NC 机床上,每个脉冲信号所对应的位移量称为脉冲当量,它是数控机床的一个基本参数。数控机床常用的脉冲当量一般为 $0.01 \sim 0.001\text{mm}$ 。数控系统发出的脉冲指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令,再经驱动装置功率放大后,驱动电动机运转,进而通过丝杠拖动刀架或工作台运动。

(4) 辅助装置

辅助装置主要包括 APC 工件自动交换机构、ATC 刀具自动交换机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑冷却装置、排屑照明装置、过载与限位保护功能以及对刀仪等部分。机床的功能与类型不同,其包含辅助装置的内容也有所不同。

2) 数控机床的工作原理

利用数控机床加工零件,就是首先根据所设计的零件图,经过加工工艺分析、设计,将加工过程中所需的各种操作如机床启停、主轴变速、刀具选择、切削用量、走刀路线、切削液供给,以及刀具与工件相对位移量等,都要编入程序中,然后通过键盘或其他输入设备将信息传送到数控系统,由数控系统中的计算机对接受的程序指令进行处理和计算,向伺服系统和其他各辅助控制线路发出指令,使它们按程序规定的动作顺序、刀具运动轨迹和切削工艺参数来进行自动加工,零件加工结束时,机床停止。

当数控机床通过程序输入、调试和首件试切合格,进入正常批量加工时,操作者一般只要进行工件上下料装卸,再按一下程序自动循环按钮,机床就能自动完成整个加工过程。

1.1.2 数控机床的分类

目前,数控机床产品的品种规格很多,结构、功能各不相同,通常可按以下五种方法进行分类。

1) 按工艺用途分类

随着数控技术的迅速发展,绝大部分普通机床都已发展出相应的数控机床,并且还出现了一些特殊类型的数控机床,其加工用途、功能特点各不相同。据不完全统计,目前数控机床的品种规格已达 500 多种,并且还在不断增加。

(1) 金属切削类数控机床

与普通金属切削机床品种一样,有数控车、铣、镗、铰、钻、刨、磨床等各种切削工艺的数控机床,每一种又包括很多品种,如数控铣床中包含有立铣、卧铣、工具铣和龙门铣等。切削类数控机床发展最早,目前种类繁多,功能迥异,它又可被分为两类:

①普通型数控机床 如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控镗床等。

②加工中心(MC) 在普通数控机床的基础上加装自动换刀机构(ATC)和一个刀库(可容纳 10~100 多把刀具),即称为加工中心机床。工件经一次装夹后,通过自动更换各种刀具,在同一台机床上对工件连续进行铣、镗、钻、铰、攻螺纹等多道工序的加工,如(镗铣类)加工中心、车削中心等。此外,加工中心又以主轴在加工时的空间位置不同,可分为立式、卧式万能加工中心。

(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、拉等成形工艺的数控机床。这类数控机床有数控折弯机、数控弯管机、数控组合冲床、数控回转头压力机等。这类机床起步较晚,但目前发展很快。

(3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控雕刻机、数控火焰切割机 and 数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床主要有数控三坐标测量机、数控装配机、工业机器人、数控绘图仪和数控对刀仪等。

图 1.1.2~图 1.1.4 为三种比较典型的数控机床的外形图。

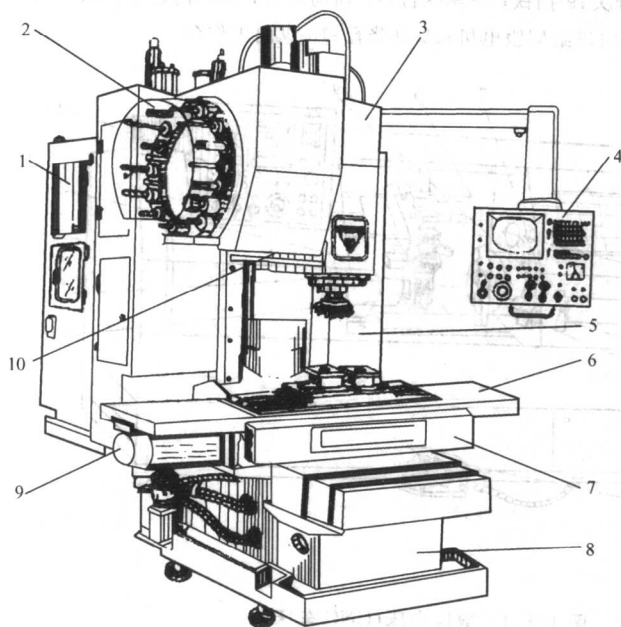


图 1.1.2 加工中心

1-数控柜;2-刀库;3-主轴箱;4-操纵台;5-驱动电源箱;6-纵向工作台
7-滑座;8-床身;9-X轴进给伺服电机;10-换刀机械手