

普通高等教育机电类专业规划教材

第2版

机床数控技术

毕毓杰 编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠 电 子 课 件
教 师 免 费 下 载

普通高等教育机电类专业规划教材

机床数控技术

第2版

毕毓杰 编



机械工业出版社

本书突出数控机床的使用,比较全面地叙述了机床数控技术各方面的有关问题和最新成果。

全书共六章,分别为:第一章概述;第二章数控计算机;第三章数控机床的进给运动;第四章数控车床和数控加工中心;第五章数控加工编程;第六章数控机床的选用、调试和验收。各章末有复习思考题。

本书配有电子课件,凡使用本书作教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网(<http://www.cmpedu.com>)下载,或发送电子邮件至 cmpgaozhi@sina.com 索取。咨询电话:010-88379375。

本书为高等院校机械专业学生编写,也可用于成人教育、职业教育、数控技术培训,还可供有关工程技术人员、管理人员学习参考。数控技术应用专业的学生在学习各专业课程之前阅读本书,对了解机床数控技术的全貌和对专业课程的理解很有益处。

图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术/毕毓杰编. —2版. —北京:机械工业出版社,2013.5
普通高等教育机电类专业规划教材
ISBN 978-7-111-42274-7

I. ①机… II. ①毕… III. ①数控机床—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第083954号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:郑丹 王英杰 责任编辑:郑丹 王英杰 武晋
版式设计:霍永明 责任校对:王欣
封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2013年7月第2版第1次印刷
184mm×260mm·18印张·445千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-42274-7
定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

第2版前言

自1996年本书首次出版以来,机床数控技术(包括加工编程、控制计算机、伺服控制系统、伺服电动机、机床结构、测量、监控、辅助装置等各方面)有了飞速发展;工序高度集中,实现完整加工;超高速加工,精密加工得到发展;机电高度一体化,实现零链传动;机床结构多样化,柔性、智能化程度提高;制造系统实现信息化、网络控制等。总之,各种新技术、新工艺不断地向数控机床集成。

当前,机械制造业倡导智能制造、绿色制造。教育界提倡培养创新型人才。

本书顺应新技术发展趋势,满足高等院校创新型人才培养需求,吸收了大量新技术、新成果,跟踪新动向,对第1版做了大幅度的改动。本书修订考虑了以下问题:

1. 培养创新型人才。读者首先要转变思想,将“要我学”转变为“我要学”,明确学习目的,提高学习兴趣,增强学习主动性,培养创新思维;以书本知识为基础,进一步再学习且不断学习;学会广泛收集资料,使用资料;能够提出问题、解决问题。

2. 课时有限,故弃旧取新,弃深取广,加大信息量,力求使读者了解机床数控技术的全貌和最新成果。有些段落是提纲式的,有些功能图供参阅(都未详述),目的是让读者知道有这样一件事,引起兴趣,去查阅有关资料,深入学习。

3. 对发展史进行简单追溯,以启发创新。对技术的移植应特别加以注意,如并联机器人技术移植为虚拟坐标轴机床,又如3D图形扫描和3D打印技术在各领域的应用(见第一章)等。

4. 数控机床品类繁多,主要介绍了有代表性的数控车床、车削中心和加工中心。可借此举一反三。

5. 引导读者掌握利用书刊、产品样本、资料和互联网的技能,培养利用这些信息渠道获取资料的习惯。

在德国工科高校,很多课程不使用教科书,教授(需有五年以上工程师工作经验,才能竞争应聘)根据教学大纲,自编教材,课前复印,发给学生,有时将产品样本、期刊文章作为教材,保证课程内容的新鲜度。

6. 国外小学生的练习,要求其查阅资料,进行访问,撰写综合性的文章。本书复习思考题中加了少量这类题目。

7. 本书的使用:教师可按学时和课程大纲要求,编排讲授先后次序和对其内容进行取舍。

本书为高等院校机械专业编写,在学习各专业课之后讲授。本书也适用于成人教育、职业教育、数控技术培训,也可供有关工程技术人员、管理人员学习参考。数控技术应用专业学生在学习专业课程(如数控原理、伺服系统、检测技术、PLC等)之前,阅读本书,对了解机床数控技术的全貌和对专业课的理解很有益处。

本书由原机械工业部国家数控技术攻关专家组组长、教授级高级工程师李高林主审。

本书在编写过程中使用了国内、外书刊和厂商的样本、资料,谨致谢意。在体系和内容方面如有不当和错误之处,恳请指正,不胜感激。

编 者

第1版前言

本书是按高等专科学校机械制造专业教学指导委员会,拟订的“高等专科学校机械制造工艺与装备专业教学计划”中的“机床数控技术”课程教学大纲编写的。

本书由南京机械高等专科学校毕毓杰主编,东莞理工学院黄健求和南京机械高等专科学校李宏胜参编,由南京机床厂副总工程师董承文主审。

全书共分七章,各章后附有复习思考题。第一、二、七章由黄健求编写,第三、六章由毕毓杰编写,第四、五章由李宏胜编写。李宏胜还参与编写大纲的拟定和部分章节的审阅。

本书在收集资料和编写过程中得到了国内外公司、工厂院校和有关单位的支持和帮助。在此谨致谢意。

本书系高等专科院校教材,同时对成人教育、职业教育、数控技术培训和进修等也适用。

由于编写时间仓促和水平所限,本书在体系和内容等方面可能尚有不妥或错误之处,恳请读者给予批评、指正。

编 者

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 概述	1
第一节 机床数控技术的组成	2
第二节 数控机床的发展	3
第三节 数控机床的开发和使用	38
复习与思考	38
第二章 数控计算机	40
第一节 综述	41
第二节 数控计算机的结构	44
第三节 基于微处理器的数控计算机	49
第四节 基于 PC 的数控计算机	55
第五节 数控计算机的选用	58
复习与思考	61
第三章 数控机床的进给运动	63
第一节 进给伺服系统	66
第二节 进给传动机械结构	73
第三节 位置检测元件	84
第四节 进给伺服电动机的驱动	88
复习与思考	98
第四章 数控车床和数控加工中心	101

第一节 机床的主传动	101
第二节 数控车床及车削加工中心	105
第三节 数控加工中心	118
第四节 数控机床的辅助装置	138
第五节 数控机床的开关量控制	145
复习与思考	149
第五章 数控加工编程	152
第一节 什么是数控加工编程	152
第二节 编程的基础知识	153
第三节 数控加工的工艺特点	156
第四节 数控加工中心编程	163
第五节 数控车床、数控车削中心编程	185
第六节 数控磨床编程简介	221
第七节 加工中心的几个编程功能简介	226
第八节 数控加工编程方法概述	238
复习与思考	255
第六章 数控机床的选用、调试和验收	263
第一节 数控机床的选用	263
第二节 数控机床的安装、调试和验收	266
复习与思考	279
参考文献	280

第一章 概述

本书阐述计算机数字控制机床（以下简称数控机床）的工作原理、机电构成及应用。

自 1952 年世界上第一台数控铣床诞生以来，随着微电子技术、电子计算机技术、自动控制技术和机械结构不断发展进步，当今的数控机床已发生了巨大的变化，向着高精度、高速度、智能化、网络化的方向发展。

当前提倡绿色制造、智能制造，提倡使用绿色生态机床、智能机床。

绿色制造是与环境友好的制造，包括应用绿色设计，使用绿色设备、绿色材料、绿色能源制造绿色产品，直到产品使用寿命完结对其进行绿色处理的全过程。此过程资源利用率最高，消耗最低，环境污染最小。这主要是因为其节能、降耗、减排（制造过程中没有有害的固体、液体、气体排放，或做无害化处理），产品报废后可回收利用，不污染和破坏环境。

智能制造是与人友好的制造，可以理解为使用计算机、网络，利用各种专家系统、数据库，对企业的经营、管理、制造过程进行模拟和优化，并进行自主决策、自主实施、自主监控、自主调试，实现敏捷制造，及时地满足用户的需求，迅捷地为用户服务，使企业效益、社会效益最大化。

绿色生态机床是与环境友好的机床，对其有如下要求：

- 1) 机床的主要零部件由再生材料制造。
- 2) 机床重量、体积减少 50% 以上。
- 3) 通过减轻运动部件的质量降低空转功率等措施，使机床功率减少 30% ~ 40%。
- 4) 机床使用过程中产生的废弃物减少 50% ~ 60%，保证不污染环境。
- 5) 机床报废后 100% 可回收利用。
- 6) 缩短传动链，对高速旋转件进行动平衡，减振，降噪。

例如，使用聚酯混凝土制造机床的基础部件，报废后易于回收利用；发展虚拟坐标轴机床和使用复合材料、轻金属材料，减少运动部件的质量；使用结构紧凑的倒置式机床，减少机床占用空间；采用新结构，减轻机床重量；使用干式切削、以车代磨等新工艺，减少废弃液体的排放等。

智能机床是有视觉（通过 CCD 摄像头）、听觉（通过声传感器）、感觉（通过温度、力、转矩、振动、加速度传感器）并能及时与操作者沟通（例如有的数控计算机可将完工信息和故障信息以短信发到操作者的手机上）的机床。

计算机利用专家系统和各种计算方法（并可仿真），对这些信息、进行分析、决策、实施、调适、监控、反馈，及时与操作者沟通，减少加工过程中人的干预，更加安全、最优化。同时，智能机床具有完善的网络功能，使加工编程更加便捷（例如正在开发的 STEP-NC 的计算机数控机床以 CAD 数据直接驱动机床，取代 GM 代码编程），还具有完善的自诊断功能和自恢复功能。

不断涌现的新思想、新技术、新材料、新结构、新工艺迅速向数控机床集成，软件替代

硬件,网络制造,机电高度一体化(电主轴、直线电动机直接驱动工作台、力矩电动机直接驱动回转工作台等),工序高度集中(车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、刀具和工件的检测等在一台机床上完成),立体、彩色图形、人机交互等,使机床数控技术日新月异。

第一节 机床数控技术的组成

机床数控技术由数控机床、工艺系统和外围技术组成。

一、数控机床

数控机床由基础件、数控计算机(数控装置)、主传动、进给传动、刀具和工件自动交换装置、辅助装置及工况监控系统等组成。

1. 基础件

基础件指立柱、床身、底座等,通常是灰铸铁件和钢板焊接件。此外还有用聚合物混凝土制造的基础件,其性能优异,制造周期短,机床报废后可回收利用。对基础件使用有限元法进行设计、仿真,使其结构更加合理。

2. 数控计算机(数控装置)

早期的数控计算机是由电子管、晶体管、集成电路组成的数控硬件,体积大,功能有限。此后出现了小型计算机数控装置,体积仍很大,未能广泛应用。后来出现的以微处理器为核心的微型计算机数控装置,体积小,功能强,得到了广泛的应用。20世纪90年代,出现了以通用个人计算机(PC)为平台的控制计算机,具有划时代的意义,使技术创新进入了快车道,为开放式数控打下了基础。利用个人计算机已有的资源,使得新产品开发周期缩短,成本低;并且,利用其多媒体技术更容易实现丰富多彩的各种功能,彩色图形会话和人机交互更加友好。此外,网络技术的应用实现了远程通信、远程控制、远程诊断。

3. 主传动

主传动中,早期使用电磁离合器实现有级变速,后来使用分级无级变速,近年来实现了伺服电动机的全无级调速。为了实现高速切削,要求数控机床主轴转速不断提高,按工艺需要有时达每分钟几万转乃至几十万转,此时需使用陶瓷球轴承、磁悬浮轴承等,且需对电动机和主轴系统进行严格的动平衡。目前,电主轴实现了零链传动;加工中心主轴为实现自动换刀,配置了准停机构和刀具自动松开、夹紧机构。

4. 进给传动

直线进给运动广泛使用滚珠丝杠副及滚动导轨,驱动电动机由电液伺服马达、功率步进电动机和直流伺服电动机,发展到目前广泛使用的交流伺服电动机。直线伺服电动机也实现了零链传动。位置检测装置广泛使用光电脉冲编码器、直线光栅尺、圆磁栅和旋转变压器等。其他还有感应同步器、球栅尺等。圆周进给运动使用伺服电动机驱动蜗杆副,近年也有使用回转力矩电动机实现零链传动。

5. 刀具,工件自动交换装置

加工中心在主轴和刀库之间换刀,刀库的种类很多,常用的有圆盘刀库和链式刀库。换刀时有的使用机械手,有的不使用机械手。通常以刀库的刀座顺序号为刀具号。近来还出现了使用IC芯片(装在刀柄上)的刀具编码系统。数控车床使用转塔刀架自动换刀。对于工件的交换,小型工件手动更换装夹即可;对大型工件和安装调整费时的工件,加工中心上常

使用交换工作台进行更换。

6. 辅助装置

辅助装置的辅助动力常使用液压、气动系统。另外，为保证正常工作，还配有冷却、润滑、排屑、切削液净化、空气净化等装置，有的电气柜还配有空调器。

7. 工况监控系统

有的机床的工况监控系统配有温度传感器、压力传感器、振动传感器、碰撞过载监控装置、刀具破损监控装置等。此外还有工件尺寸主动测量装置，刀具直径、长度在线自动测量装置等。

二、工艺系统

数控机床使用成组加工技术，减少了机床重复调整时间。刀具系统包括刀柄的选用、刀具编码、调刀仪、刀具的动平衡、刀具参数数据库、刀具库管理等。对于夹具系统，要尽量使用通用夹具、可调夹具、组合夹具，尽量不使用专用夹具。此外，夹具系统还包括夹具数据库、夹具库的管理等。加工程序编制方法及其生产组织也属于数控机床的工艺系统内容，主要包括简单工件使用的手工编程、图形交互编程（德国称为车间编程）；复杂工件早先使用的 APT 自动编程语言、近来使用的 CAD/CAM 自动生成程序、编程资料、切削用量数据库、典型工件加工工艺、加工程序数据库等。

三、外围技术

1. 机床的设计

1) 人性化设计。人机友好；色彩、造型宜人；机床调整操作方便、流畅；有完善的安全防护装置。

2) 按绿色生态机床要求设计机床。

3) 使用有限元等方法进行分析、仿真。

2. 机床的使用

(1) 生产组织 不断完善充实企业的数据库，使信息流、物质流顺畅。科学的计划调度和设备的快速维护检修提高了设备的利用率。

(2) 人员的培训 生产组织管理人员、程序员、机床调整人员、操作人员、检修人员、刀具预调和刀具保管员、夹具准备保管人员等，定期接受培训，吸纳新知识，掌握新技能。扩大企业创新队伍，增强创新能力。网络技术已经在企业广泛应用，故应加强网络建设、应用、维护人才的培训。

第二节 数控机床的发展

前已述及，新思想、新技术、新工艺、新材料、新结构、新元器件等不断涌现，使数控机床的改进创新日新月异。

一、数控机床的基础件

1. 新材料

为使机床轻量化，常使用各种复合材料，如轻合金、陶瓷和碳素纤维等。目前用聚合物混凝土制造的基础件性能优异，其密度大、刚性好、内应力小、热稳定性好、耐腐蚀、制造周期短，特别是其阻尼系数大，抗振减振性能特别好。

聚合物混凝土的配方很多,大多申请了专利,通常是将花岗岩和其他矿物质粉碎成细小的颗粒,以环氧树脂为粘结剂,以一定比例充分混合后浇注到模具中,借助振动排除气泡,固化约 12h 后出模。其制造过程符合低碳要求,报废后可回收再利用。图 1-1a 所示为用聚合物混凝土制造的机床底座,图 1-1b 所示为在铸铁中填充混凝土或聚合物混凝土,都能提高振动阻尼性能,其减振性能是铸铁件的 8~10 倍,见图 1-2 所示。

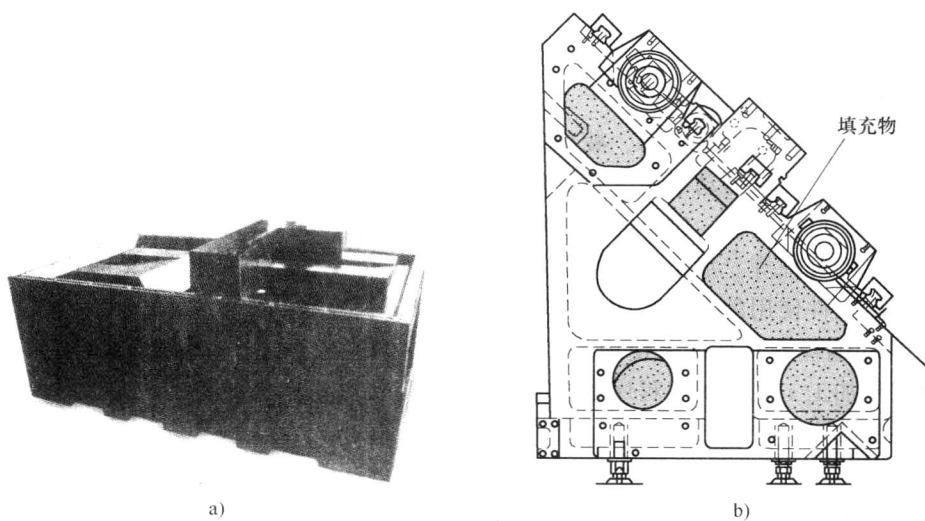


图 1-1 聚合物混凝土的应用

a) 聚合物混凝土底座 b) 铸铁件中填充混凝土或聚合物混凝土

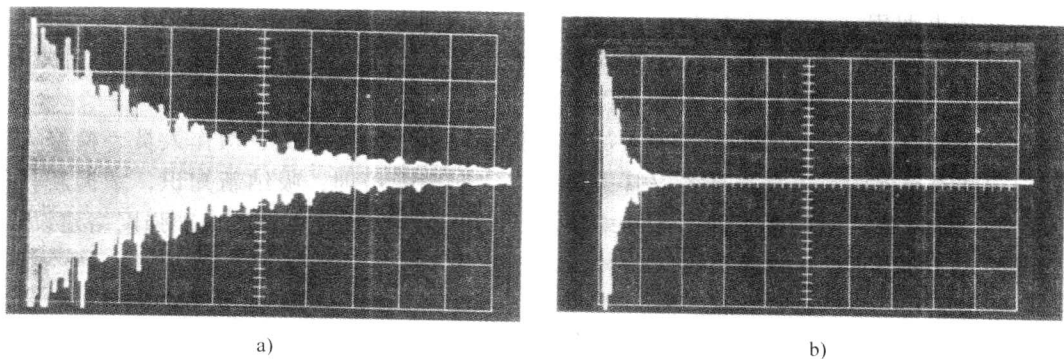


图 1-2 减振性能对比

a) 铸铁件 b) 聚合物混凝土件

图 1-3 所示为通过采用新材料轻量化,降低驱动功率的实例。

2. 新结构

(1) 箱中箱结构 为了提高刚度和减轻重量,采用框架式箱形结构,将一个框架式箱形移动部件嵌入另一个框架箱中,图 1-4 是卧式加工中心典型的箱中箱结构。

(2) 台上台结构 如立式加工中心,为了扩充其工艺功能,常使用双重回转工作台,即在一个回转工作台上加装另一个(或多个)回转工作台,如图 1-5 所示。

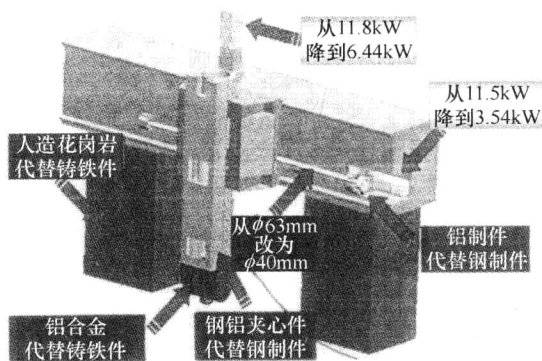


图 1-3 采用新材料轻量化并降低驱动功率的实例

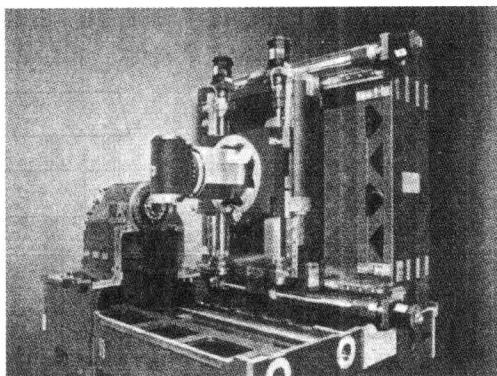


图 1-4 箱中箱结构

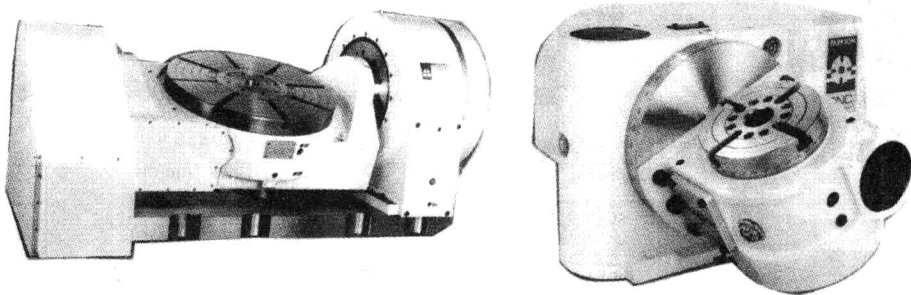


图 1-5 台上台结构

(3) 主轴摆头 卧式加工中心中，为了扩充其工艺功能，常使用双重主轴摆头，如图 1-6（主轴及其回转均为零链传动）所示，两个回转轴为 C 和 B 。

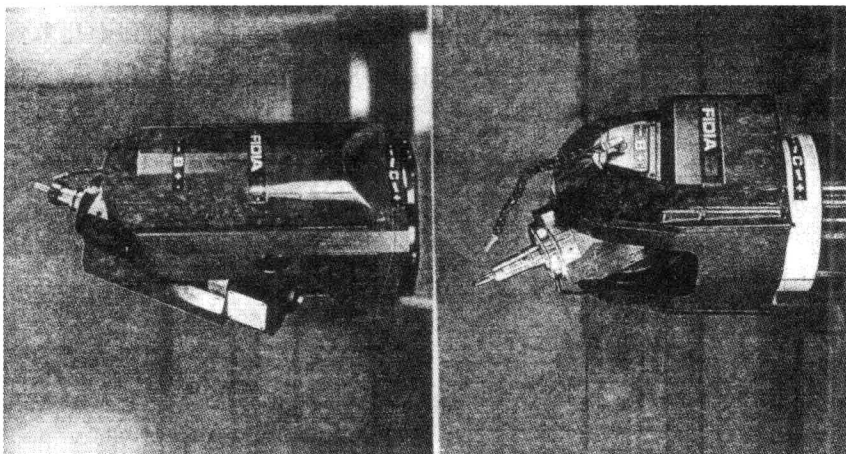


图 1-6 主轴摆头

(4) 重心驱动 对于龙门式机床，横梁和龙门架用两根滚珠丝杠驱动，形成虚拟重心驱动。如图 1-7a 所示， Z_1 和 Z_2 形成横梁的垂直运动重心驱动， X_1 和 X_2 形成龙门架的重心驱动。近年来，由于机床追求高速、高精，重心驱动为中小型机床采用。如图 1-7b 所示，加工中心

主轴滑板和下边的工作台由单轴偏置驱动改为双轴重心驱动, 消除了起动和定位时由单轴偏置驱动产生的振动, 因而提高了精度。重心驱动与传统驱动加工精度的对比如图 1-7c 所示。

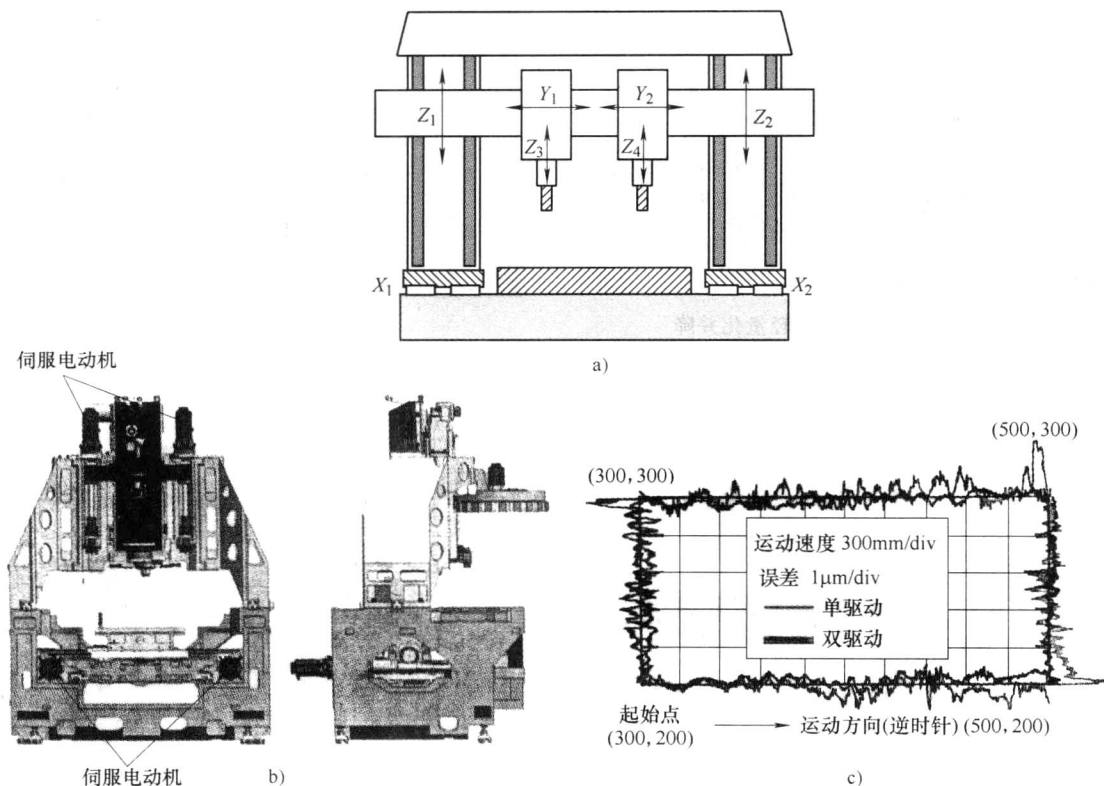


图 1-7 重心驱动

a) 龙门式机床重心驱动 b) 加工中心重心驱动 c) 重心驱动和传统驱动加工精度对比

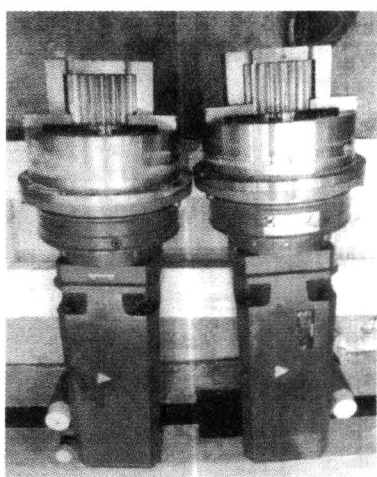
(5) 螺母旋转的滚珠丝杠副 重型机床的工作台行程通常有几米到十几米, 过去使用齿轮齿条传动。为消除间隙使用双齿轮驱动, 如图 1-8a 所示, 但这种驱动结构复杂, 且高精度齿条制造困难。目前使用大直径 (直径已达 200 ~ 250mm, 长度通过接长可达 20m) 滚珠丝杠副, 通过丝杠固定、螺母旋转来实现工作台的移动。图 1-8b 所示为驱动电动机通过同步带使螺母转动, 图 1-8c 所示则将螺母和伺服电动机制成一体, 成为直接传动。

(6) 八角形滑枕 如图 1-9 所示, 八角形滑枕形成双 V 字形导向面, 导向性能好, 各向热变形均等, 刚性好。

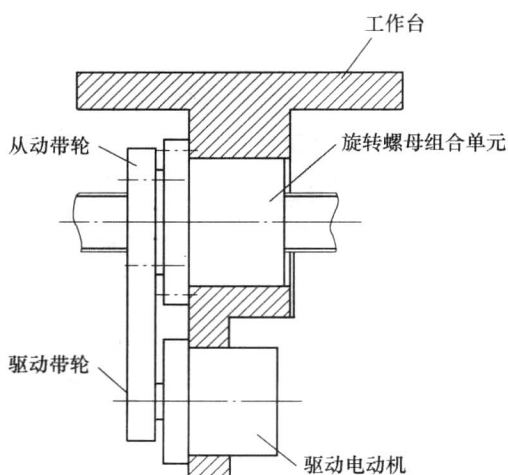
二、数控金属切削机床

1. 数控车床及数控车削加工中心

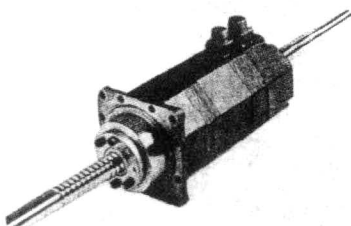
为便于排屑, 数控车床及数控车削加工中心多用斜置床身, 一般配置可装 8 或 12 把车刀的的回转刀架。回转刀架可以是一个, 也可以设两个或三个。图 1-10a 所示为一种单刀架数控车床, 图 1-10b 所示为一种双刀架数控车床, 图 1-10c 所示为一种三刀架车削中心。数控车削加工中心可进行完整加工 (除车削以外还要进行钻、铣等), 需配置自驱刀具和 C 轴。为进行背面 (装夹面) 加工, 在数控车削加工中心上设有副主轴, 可以设在尾座上, 也有的设在某个回转刀架的某一装有自驱装置的刀位上。图 1-11 所示为三刀架, 副主轴设在尾



a)



b)



c)

图 1-8 重型机床的工作台驱动方式

a) 双齿轮驱动 b) 通过同步带传动 c) 直接传动

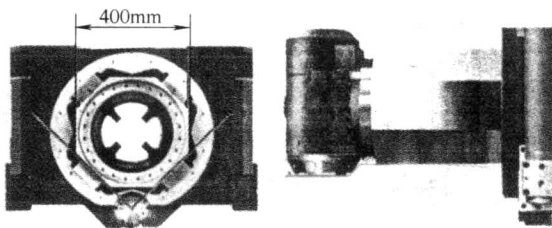


图 1-9 八角形滑枕

座上的结构示意图。

数控车削加工中心可以进行多种工序加工，如图 1-12 所示。

图 1-12a 所示为主轴旋转，刀具进给，进行类似卧式车床的工作。图 1-12b 所示为主轴旋转，自驱刀具旋转完成内孔、端面、外圆等回转要素的加工。图 1-12c 所示为主轴分度定位，使用自驱刀具在工件外圆上钻孔、攻螺纹、铣槽等。图 1-12d 所示为主轴和自驱刀具参与插补运动，在工件外圆上加工曲线槽等。图 1-12e 所示为工件换装到副主轴上，利用对置的刀架上的刀具加工工件的背面。

主轴和自驱刀具进行插补运动，在工件的端面上加工图 1-13 所示的曲面，分六个工步

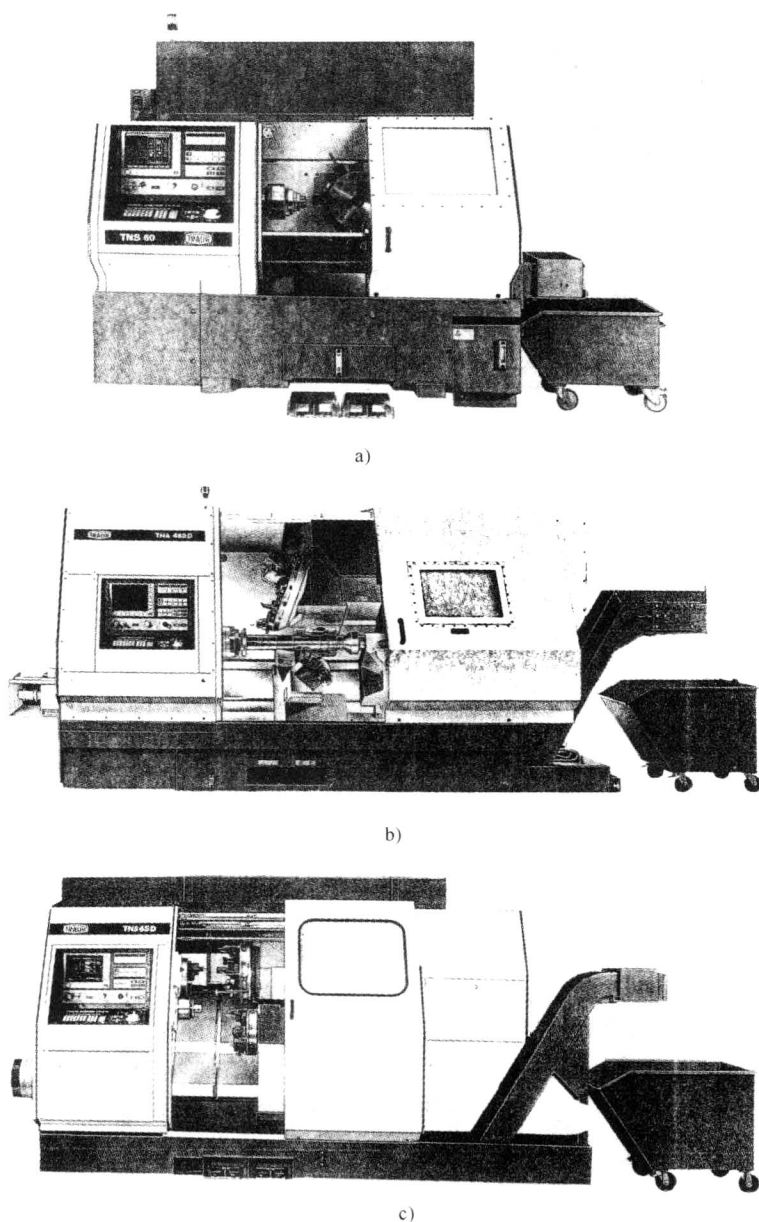


图 1-10 数控车床的刀架

a) 单刀架数控车床 b) 双刀架数控车床 c) 三刀架数控车削加工中心

(右上图)。数控车削加工中心加工的零件如图 1-14 所示。

此外，数控车削加工中心还集成了磨削和齿轮加工等功能。

2. 数控钻铣镗加工中心

数控钻铣镗加工中心简称加工中心，分为立式和卧式加工中心，可以铣削平面、钻孔、攻螺纹孔、铰孔、镗孔等。现在还出现了集成车削、齿轮加工等加工工艺的加工中心。

加工中心的结构、种类繁多。图 1-15 所示的卧式加工中心配置了立、卧摆头，以及供

工件装卸的交换工作台，可进行五面加工。图 1-16 所示的加工中心，为便于排屑，工件侧面装夹，适合小型工件的加工。图 1-17 所示是四轴卧式加工中心，侧面加工，上面装卸工件，适合批量较大的场合。

图 1-18a、b 所示立式加工中心分别使用圆盘刀库和链式刀库，后者配置交换工作台。图 1-19 所示的立式加工中心则结构较新颖， X 、 Y 、 Z 三个坐标轴上置，工件装夹在双向回转的工作台上（也有人称这种结构为台上台结构）。

3. 数控磨床和数控磨削加工中心

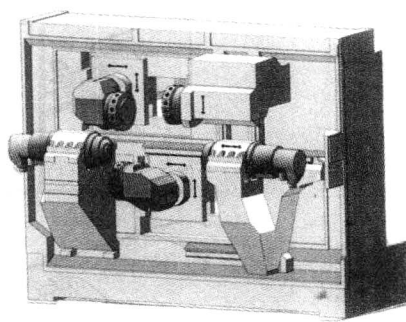


图 1-11 副主轴在尾座上

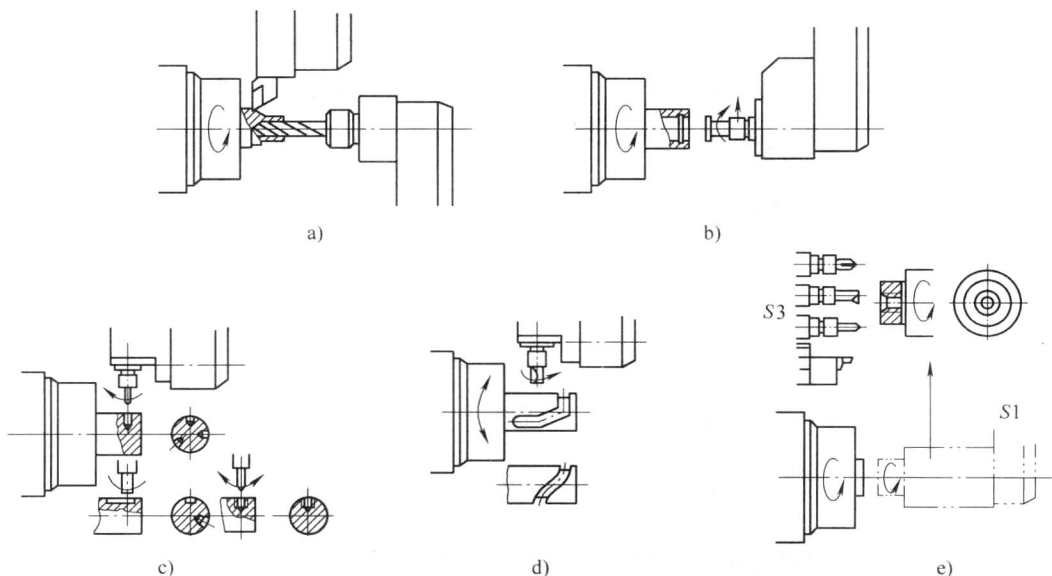


图 1-12 数控车削加工中心的五种工作情况

内圆磨床、外圆磨床、平面磨床、无心磨床、刀具刃磨机床、曲轴磨床和凸轮轴磨床等都已数控化。图 1-20 所示是磨削加工中心之一，可自动更换外圆磨砂轮和内圆磨杆，自动修整砂轮，自动测量工件。

图 1-21 所示是万能外圆磨床回转磨轮架。

4. 齿轮加工机床

滚齿机、插齿机、剃齿机、磨齿机等都已数控化。图 1-22 所示是滚齿机的结构，其取消了滚刀和待加工齿轮之间传动链中的交换齿轮。零链传动的滚齿机，工作台和滚刀主轴都直接驱动，如图 1-23 所示，并且不用编程，仅需输入刀具和齿轮的参数即可加工。剃齿是近期出现的新工艺方法，使用插齿刀进行剃削，不使用切削液，可替代传统的滚、插、剃等工序。图 1-24 所示是剃齿加工的工件。

5. 雕铣机床

雕铣机床用于加工工艺品和小型模具，使用图形或实物扫描形成加工程序。雕铣机床外形如图 1-25 所示，所加工的工件如图 1-26 所示。

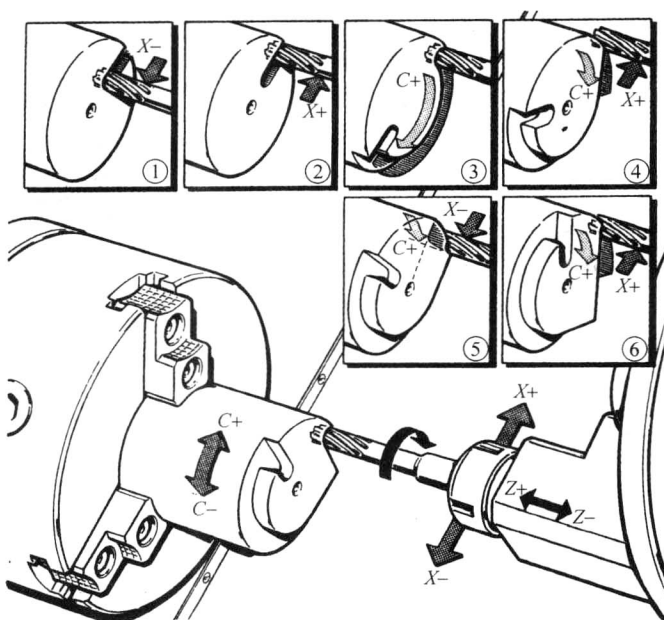


图 1-13 在工件端面上加工曲面

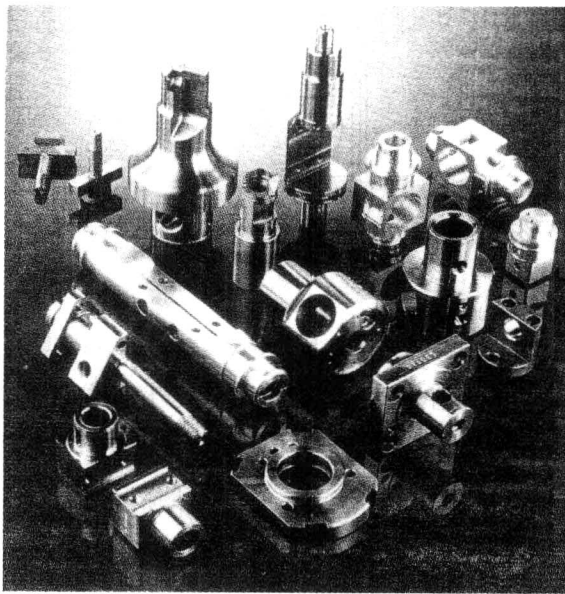


图 1-14 数控车削加工中心加工的零件

6. 组合机床

自动更换多轴箱的组合机床如图 1-27 所示, 可存储 9 ~ 13 个多轴箱。图 1-28 所示的机床适合加工小型工件, 有中央分度转台, 工件装夹在转台上, 有四个工位, 其中三个工位用于加工, 一个工位用于装卸工件, 机床周框分布六个小转塔刀架, 其上有自驱刀具。工件转过四个 90° 时, 加工完毕。因该机床调整时间长, 不适合小批单件生产。

7. 倒置式机床

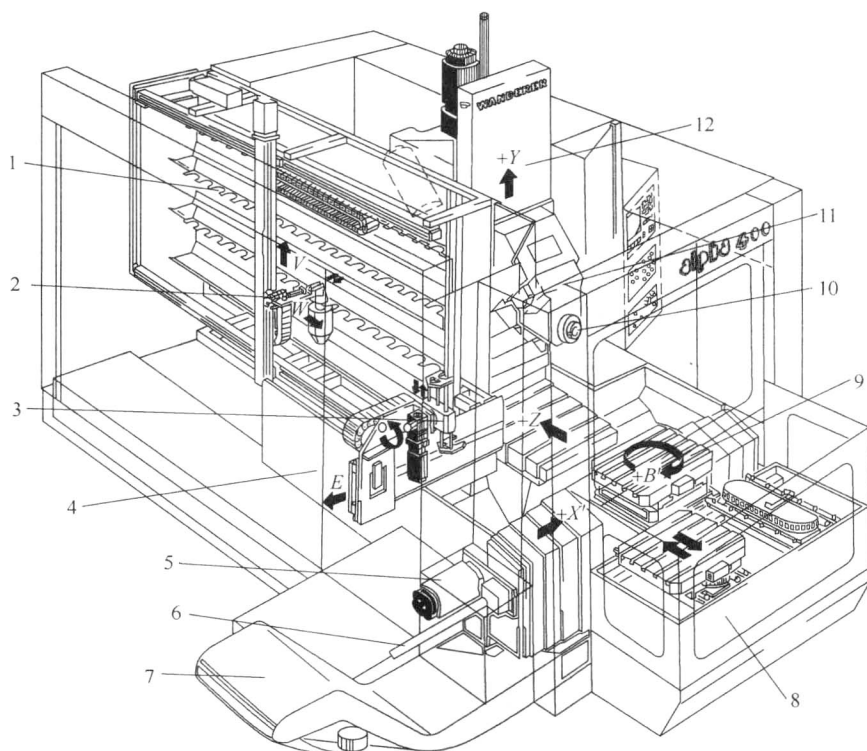


图 1-15 卧式加工中心

1—刀库 2—取刀机械手 3—换刀机械手 4—床座 5—X 轴电动机 6—丝杠防护罩 7—排屑器
8—交换工作台 9—回转工作台 10—主轴 11—立、卧转换主轴头 12—垂直滑板

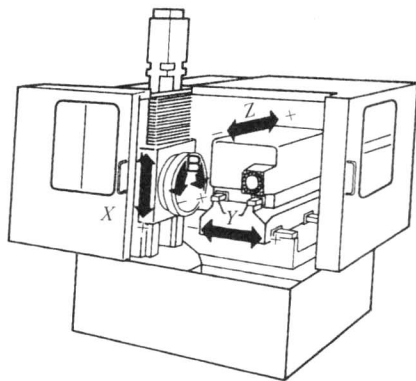


图 1-16 工件侧面装夹的加工中心

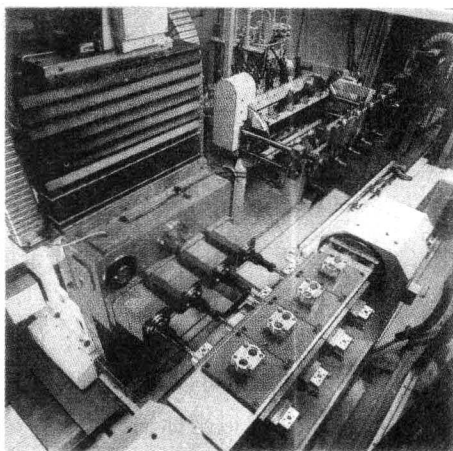


图 1-17 四轴卧式加工中心

倒置式机床是近年来发展起来的新型结构机床，工件装夹在主轴上，刀具固定，主轴完成各坐标轴的运动，实现进给，且主轴还可以分度。图 1-29 所示是倒置式卧式加工中心外形图，图 1-30 所示是其内部结构，顶上和两侧分布着不同的自驱刀具。倒置式卧式加工中心结构紧凑，排屑通畅，不用换刀，效率高，故障少。图 1-31 所示是倒置式立式加工中心