

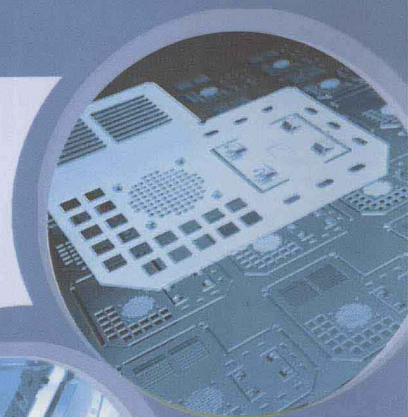


国家示范性高职院校建设项目成果

数控技术专业

# 数控加工基础

刘岩 主编



赠 电子 课件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国家示范性高职院校建设项目成果  
数控技术专业

# 数控加工基础

大学图书馆  
藏书

主编 刘岩  
参编 甄雪松 于杰  
主审 陈则钧



机械工业出版社

本书是国家示范性高职院校建设项目成果之一，是国家级重点建设专业——数控技术专业核心课程教材。本书是在参考了数控车工、数控铣工的国家职业技能鉴定标准的基础上，结合编者多年的教学经验编写而成的。

本书采用项目式教学，选用了国内广泛使用、具有代表性、易学易掌握的 FANUC 0i 数控系统作为学习数控编程的入门系统。

本书涵盖了数控加工涉及的许多知识领域：从数控机床结构、原理到数控系统特点、数控加工用刀、数控加工工艺、数控编程入门等多方面知识，为学生提供了一个内容丰富的学习载体。本书深入浅出、系统性强，可作为职业技术学院的数控技术应用专业、数控机床加工专业、模具设计与制造专业、机械制造专业及相关专业的学生了解、学习、掌握数控技术的读物，为后续在知识和技能上的进一步提高打好基础。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工基础/刘岩主编. —北京：机械工业出版社，  
2010.5

国家示范性高职院校建设项目成果. 数控技术专业  
ISBN 978-7-111-29879-3

I. ①数… II. ①刘… III. ①数控机床-加工-高等  
学校：技术学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 036059 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 责任编辑：王英杰

版式设计：霍永明 责任校对：张薇

责任印制：李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.5 印张 · 257 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-29879-3

定价：20.00 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

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版



## 前言

**教**育部把教材建设作为衡量高职高专院校深化教育教学改革的重要指标，为了落实教育部的指示精神，适应当前职业教育发展的新形势，通过对各职业院校及企业的广泛调研，由北京电子科技职业学院机械工程学院邱坤主持，与机械工业出版社联合开发了这套符合高等职业教育教学模式、教学方式方法改革的新教材。

本套教材是国家示范性高职院校建设项目成果，是国家级重点建设专业——数控技术专业核心课程教材，共八种，数控加工方向四种，数控维修方向四种。本套教材由一批具有丰富教学经验、拥有较高学术水平和实践经验的教授、企业专家、骨干教师和双师型教师编写，确保了教材的高质量、权威性和专业性，为高职课程改革教材建设提供了成功的范例。

本套教材编写过程中贯彻了以下原则：

- 一、充分吸取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验。
- 二、采用最新国家标准及相关技术标准，把职业资格证书考试的知识点与教材内容相结合，真正做到工学结合。
- 三、贯彻先进的教学理念，以技能训练为主线、以相关知识为支撑，较好地处理了理论教学与技能训练的关系。
- 四、突出先进性。根据教学需要将新设备、新材料、新技术、新工艺等内容引入教材，以便更好地适应市场，满足企业对人才的需求。
- 五、以企业真实案例或产品为载体，营造企业工作环境，基于工作过程设计教学项目，使学生的学习更具实效。
- 六、创新编写模式。在符合认知规律的基础上，按照企业产品生产过程或实际工作过程组织教材内容，将知识点和技能点贯穿于项目实施过程中，增加学生的学习兴趣，培养学生自主学习的能力，提升学生的综合素质。
- 七、【知识拓展】环节的设计，开阔了学生的视野，有助于激发学生的创新意识，对创新型人才的培养进行有益探索。

本书综合了数控加工中涉及的多方面知识，如数控机床、数控系统、数控加工用刀、数

控工艺及数控编程等，是一本集综合性、实用性为一体的数控技术用书，教材内容由浅入深，适合不同层次的教学需求。本书可作为职业技术学校数控技术及其相关专业的教学用书和相关行业的岗位培训教材，也可作为数控技能比赛的培训指导教材。

本书由北京市电子科技职业学院机械工程分院刘岩任主编，负责策划、组织编写。全书由刘岩统稿，由陈则钧老师主审。参加编写的有北京市电子科技职业学院机械工程分院的甄雪松老师和于杰老师。本书在编写过程中得到了北京市电子科技职业学院机械工程分院各级领导的大力支持和北人印刷机械股份有限公司谢德贵高级工程师的大力帮助，在此一并表示感谢。

书中欠妥和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者



# 目 录

## 前言

项目 1 认识数控机床	1
学习目标	1
工作任务	1
任务 1 认识数控车床的结构、 功能	1
知识准备	1
一、数控车床的定义	1
二、数控机床的适用范围	2
三、数控车床的特点	3
四、数控车床的分类	3
五、数控车床的结构特点	8
六、数控车床的组成	9
任务实施	15
知识拓展	15
小贴士	16
任务 2 认识数控铣床的结构、 功能	16
知识准备	16
一、数控铣床的定义	16
二、数控铣床的适用范围	16
三、数控铣床的特点	16
四、数控铣床的分类	17
五、数控铣床的结构特点	18
六、数控铣床的组成	18
任务实施	22
知识拓展	22

小贴士	22
任务 3 了解国内外数控机床 的发展趋势	23
知识准备	23
一、数控机床的历史	23
二、数控机床的现状	23
三、数控机床的发展趋势	24
知识拓展	26
思考与练习	26
教学评价	27
学后感言	30
项目 2 认识数控系统	31
学习目标	31
工作任务	31
任务 1 了解国外数控系统	31
知识准备	31
一、数控技术的定义	31
二、数控系统的分类	32
三、国外数控系统	32
任务实施	41
知识拓展	41
小贴士	42
任务 2 了解国内数控系统	42
知识准备	42
一、国内数控系统的品牌 和现状	42
二、华中数控系统	43
任务实施	46
知识拓展	46
小贴士	47

任务3 了解国内外数控系统的发展 .....	47	项目4 数控加工技术的发展 .....	75
知识准备 .....	47	学习目标 .....	75
一、国外数控系统的发展规划 ..	47	工作任务 .....	75
二、国内数控系统的发展规划 ..	48	任务 了解国内外数控加工技术的发展趋势 .....	75
思考与练习 .....	48	知识准备 .....	75
教学评价 .....	49	一、高速度与高精度 .....	75
学后感言 .....	52	二、智能化 .....	77
项目3 认识数控加工常用刀具 .....	53	三、高可靠性 .....	78
学习目标 .....	53	四、互联网化 .....	78
工作任务 .....	53	任务实施 .....	78
任务1 了解数控车削加工用刀 .....	53	知识拓展 .....	78
知识准备 .....	53	思考与练习 .....	78
一、常用车刀的材料 .....	54	教学评价 .....	79
二、车刀角度 .....	54	学后感言 .....	82
三、常用数控车刀的分类 .....	55	项目5 数控加工工艺 .....	83
任务实施 .....	58	学习目标 .....	83
知识拓展 .....	58	工作任务 .....	83
小贴士 .....	59	任务 掌握基本的数控加工工艺 .....	83
任务2 了解数控铣削加工用刀 .....	59	知识准备 .....	83
知识准备 .....	59	一、工件的定位夹紧 .....	83
一、常用铣刀的材料 .....	59	二、加工工艺的拟定 .....	84
二、铣刀角度 .....	59	三、机床的合理选用 .....	84
三、选择数控铣刀的原则 .....	60	四、零件图分析 .....	85
四、常用数控铣刀的分类 .....	61	五、工序与工步的划分 .....	85
任务实施 .....	67	六、刀具的选择与切削用量的确定 .....	85
知识拓展 .....	67	七、对刀点、换刀点和退刀点 .....	86
任务3 了解数控加工用刀的发展 .....	67	八、首件试切 .....	86
知识准备 .....	67	任务实施 .....	86
一、刀具材料的进展 .....	68	思考与练习 .....	86
二、刀具结构的变化 .....	69	教学评价 .....	87
三、切削加工刀具新的配套技术 .....	69	学后感言 .....	90
四、数控切削技术的发展对刀具提出的要求 .....	70	项目6 数控编程中的数值计算 .....	91
思考与练习 .....	70	学习目标 .....	91
教学评价 .....	71	工作任务 .....	91
学后感言 .....	74	任务1 计算刀位点坐标 .....	91
		知识准备 .....	91

任务实施 .....	92	二、端面切削循环指令 G94 .....	122
任务 2 建立坐标系 .....	93	任务实施 .....	123
知识准备 .....	93	任务 5 复合车削循环指令 .....	124
一、机床坐标系 .....	93	知识准备 .....	125
二、工件坐标系 .....	93	一、精车固定循环指令 G70 .....	125
三、坐标确定方式 .....	94	二、外圆粗车固定循环 指令 G71 .....	125
任务实施 .....	94	三、端面粗车循环指令 G72 .....	126
思考与练习 .....	94	四、固定形状粗车循环 指令 G73 .....	126
教学评价 .....	95	五、端面啄式钻孔循环 指令 G74 .....	127
学后感言 .....	98	六、外径/内径啄式钻孔循环 指令 G75 .....	128
项目 7 数控车削加工编程 .....	99	任务实施 .....	129
学习目标 .....	99	任务 6 螺纹加工指令 .....	131
工作任务 .....	99	知识准备 .....	131
任务 1 直线插补指令 .....	99	一、单段螺纹切削 指令 G32 .....	131
知识准备 .....	99	二、单一螺纹切削循环 指令 G92 .....	132
一、插补的概念 .....	99	三、复合型螺纹切削循环 指令 G76 .....	133
二、数控程序的组成 .....	100	四、螺纹切削加工的切削 用量确定 .....	134
三、数控编程指令 .....	100	任务实施 .....	135
四、绝对尺寸与相对尺寸 .....	103	思考与练习 .....	137
五、米制尺寸与英制尺寸 .....	103	教学评价 .....	141
六、直径编程和半径编程 .....	104	学后感言 .....	144
七、F、T、S 功能字 .....	104	项目 8 数控铣削加工编程 .....	145
八、基本指令格式 .....	105	学习目标 .....	145
任务实施 .....	107	工作任务 .....	145
任务 2 圆弧插补指令 .....	109	任务 1 直线插补指令 .....	145
知识准备 .....	109	知识准备 .....	145
一、圆弧插补指令 G02/G03 .....	109	一、插补的概念 .....	145
二、恒线速功能 .....	110	二、准备功能 (G 功能) .....	146
任务实施 .....	110	三、辅助功能 (M 功能) .....	147
任务 3 圆弧插补时外形 误差的弥补 .....	114	四、进给功能 F、主轴转速 S、刀具功能 T .....	147
知识准备 .....	114		
一、刀具半径对加工的影响 .....	114		
二、刀具半径补偿指令 .....	114		
任务实施 .....	117		
任务 4 粗车循环指令 .....	121		
知识准备 .....	121		
一、圆柱、圆锥切削循环 指令 G90 .....	121		



五、工件坐标系的设定·····	148	知识准备·····	152
六、刀具直线运动指令·····	148	任务实施·····	152
任务实施·····	149	思考与练习·····	154
任务2 圆弧插补指令·····	150	教学评价·····	155
知识准备·····	150	学后感言·····	158
任务实施·····	150	<b>参考文献</b> ·····	159
任务3 刀补的建立和使用·····	152		

# 认识数控机床

本项目主要让学生了解数控加工中所用加工设备的结构、性能、特点及其用途，为后续进一步的专业学习打好基础。



## 【学习目标】

### 知识目标

1. 掌握数控车床的结构和组成。
2. 掌握数控铣床的结构和组成。
3. 理解数控车床的与普通车床的区别。
4. 理解数控铣床的与普通铣床的区别。
5. 了解数控车床的种类。
6. 了解数控铣床的种类。
7. 了解数控机床的发展。

### 技能目标

通过本项目的学习逐步学会自主学习。



## 【工作任务】

- 任务 1 认识数控车床的结构、功能
- 任务 2 认识数控铣床的结构、功能
- 任务 3 了解国内外数控机床的发展趋势

## 任务 1 认识数控车床的结构、功能

本任务以经济型的数控车床为例，讲解数控车床的组成、特点及其应用。



## 【知识准备】

### 一、数控车床的定义

数控 (Numerical Control) 机床，顾名思义，是一类由工业计算机数字应用程序进行控制的机床。它是将事先编制好的程序输入到机床的工业计算机中，由工业计算机指挥机床各

坐标轴的伺服电动机来控制机床各个运动零部件动作的先后次序、速度和位移量等，并与所选定的主轴转速相配合，从而加工出各种零件的机器设备。数控机床的种类有很多种，如数控车床、数控铣床、立式加工中心、卧式加工中心、激光加工中心、车削加工中心、数控电火花机床、数控线切割机床、数控冲床、数控锯床、数控磨床、数控镗床等。

数控车床是数字程序控制车床的简称，它是采用工业计算机控制的车床。操作者将事先编制好的加工程序输入到数控车床中，然后在操作者的操作下，由计算机来控制车床的伺服电动机，来带动车床的 $X$ 和 $Z$ 轴运动的次序、速率、位移等，和主轴的相对运动配合自动完成轴类、套类及盘类零件内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹以及各种回转曲面的切削加工。数控车床是目前国内外使用量最大，覆盖面最广的一种数控机床。

## 二、数控机床的适用范围

一般来说，数控机床特别适合于零件比较复杂、精度要求较高、产品更新频繁、生产周期要求短的场所。

根据加工零件的生产批量及复杂程度区分。当零件简单，生产批量又较小时，宜采用普通机床；当生产批量非常大，宜采用专用机床；而随着零件复杂程度的提高，数控机床越发显得适用。目前，数控机床随着其性能的提高和价格的下降而日渐普及，其应用也向零件复杂性较低的范围扩大。

根据零件加工批量与生产成本的关系。在多品种、中小批量生产情况下，采用数控机床总费用更为合理。

根据零件数控加工的优缺点及国内外大量的应用实践，一般可按其适用程度将零件分为以下三类：

### 1. 最适用数控机床加工零件

1) 形状复杂，加工零件的精度要求高，用普通机床能加工但很难保证产品质量或无法加工的零件。

2) 用数学模型来描述的曲面轮廓或复杂曲面的零件。

3) 难控制进给、难测量、难控制尺寸的非开敞内腔的壳体或盒形零件。

4) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、钻、扩、铰、螺纹加工等多工序的零件。

### 2. 较适用数控机床加工零件

1) 在普通机床加工时极易受人为因素（如：情绪、体力、技术水平高低等）干扰，而零件价值又高，一旦质量失控会造成重大经济损失的零件。

2) 在普通机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。

3) 对于需要多次更改设计才能定型的零件。

4) 在普通机床上加工需要长时间调整的零件。

5) 用普通机床加工时，生产率很低或体力劳动强度大的零件。

### 3. 不适用数控机床加工零件

1) 生产批量很大的零件。

2) 装夹困难或完全靠手工找正定位来保证加工精度的零件。

3) 必须采用特定的工艺装备来协调加工的零件。

4) 加工余量不均，且数控机床上无在线检测系统可自动调整零件坐标位置的零件。

### 三、数控车床的特点

随着数控控制系统性能不断提高,机械设备的结构不断完善,数控车床已成为一种高度自动化、高柔性的加工设备,其具有以下特点:

(1) 零件加工的精度高、质量稳定 数控车床的机械系统和结构都具有较高的精度、刚度和加工稳定性。数控车床的加工精度基本不受零件复杂程度的影响,零件精度和质量通常由机床保证,消除了操作者的人为误差。所以数控车床加工精度高,而且同一批零件加工尺寸一致性和互换性好,加工质量稳定。

(2) 零件加工效率高 数控车床结构刚性好于普通车床,其功率大,能自动进行切削加工,所以能采用较大的、合理的切削用量,它可以在一次装夹中完成除装夹面以外的全部或大部分工件表面的车削加工,随着新的刀具材料的应用和数控车床机构不断完善,其加工效率也在不断提高,通常是普通车床的数倍,而且加工零件形状复杂程度越高,就越能体现数控车床高效率、高精度的特点。

(3) 适应范围广,灵活性好 数控车床在选用合适的不产生干涉刀具前提下,它能自动完成轴类及盘类零件内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹以及各种回转曲面的切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔和铰孔等工作。

特别是对由非圆曲线或列表曲线构成其旋转曲面的零件,各种非标螺距的螺纹、变螺距螺纹和变径螺纹等多种特殊旋转类零件,以及表面粗糙度要求非常均匀、 $Ra$  值又很小的变径表面类零件,都可以通过数控系统所具有的同步运行和恒线速度等功能保证其精度要求。加工程序可以根据加工零件的技术要求而改变,所以它具有良好的适应性和灵活性,可以加工普通车床无法加工的形状非常复杂的零件。

### 四、数控车床的分类

#### 1. 按数控车床布局分类

(1) 水平床身 如图 1-1 所示,其结构特点:水平床身的工艺性好,导轨面易于加工,水平床身上配备有水平放置的数控刀架可以提高刀具的定位精度;但由于水平床身下部空间较小,因此排屑困难。



图 1-1 水平床身数控车床

(2) 斜床身 如图 1-2 所示, 其结构特点: 斜床身的导轨倾斜角分别为  $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$  和  $75^{\circ}$  等。它的优点是排屑容易、操作方便、机床占地面积小、外形美观, 但大的倾斜角度使得导轨的导向性和受力变差, 因此较为普遍运用于中小型车床。



图 1-2 斜床身数控车床

(3) 立床身 如图 1-3 所示, 从排屑的角度看, 立床身布局是最好的, 加工产生的切屑自由落下, 一般不易损伤导轨面, 导轨的防护和维护比较简单, 但机床在精度方面不如其他两种布局形式, 所以运用得较少。较适合于多品种、中小批量的加工, 是汽车行业、工程机械行业零件加工的首选设备。



图 1-3 立床身数控车床

综上所述，数控车床的床身和导轨的布局形式不仅影响数控车床的外观和结构，而且直接影响数控车床的使用和维护。

## 2. 按加工零件的基本类型分类

(1) 卡盘式数控车床 如图 1-4 所示，这类数控车床未配置尾座，适合车削盘类零件。其夹紧方式多采用电动卡盘或液压卡盘来夹紧工件，卡盘结构多数具有卡爪。



图 1-4 卡盘式数控车床

(2) 顶尖式数控车床 如图 1-5 所示，这类数控车床配有普通尾座或自动尾座，适合车削较长的轴类零件以及直径不大的盘类零件。

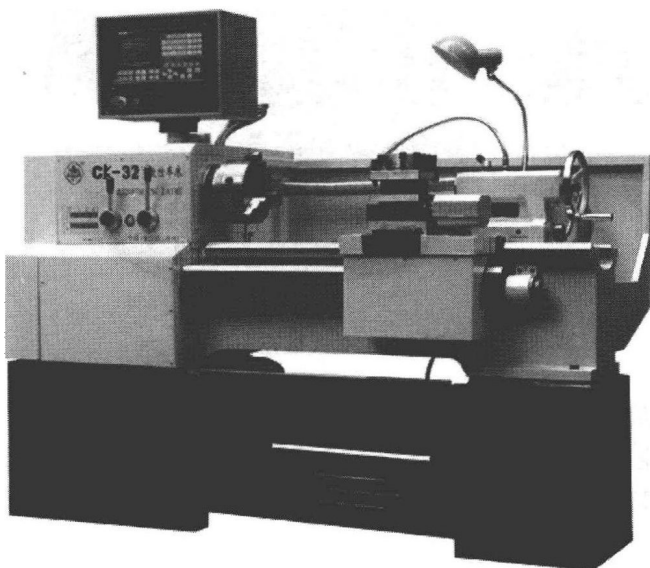


图 1-5 顶尖式数控车床

### 3. 按主轴的配置形式分类

(1) 卧式数控车床 如图 1-6 所示, 其主轴轴线处于水平位置, 其导轨和床身有多种布局形式, 是应用最广泛的一种数控车床。

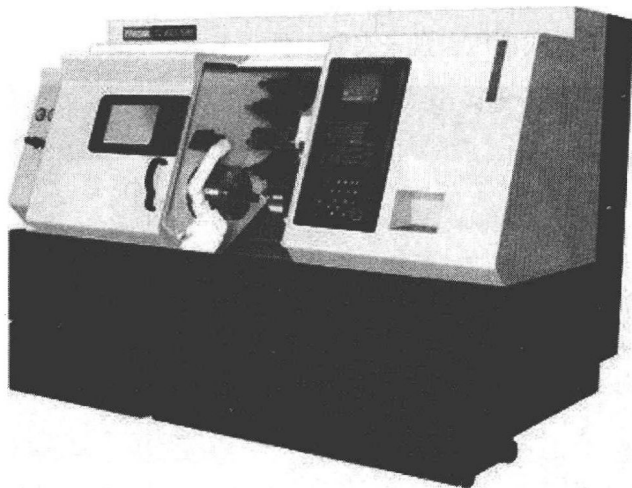


图 1-6 卧式数控车床

(2) 立式数控车床 其主轴轴线处于垂直位置, 并且有一个直径很大的圆形工作台用于装夹工件, 如图 1-7 所示。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸小的大型复杂零件。



图 1-7 立式数控车床

### 4. 按数控系统功能来分类

(1) 经济型数控车床 如图 1-8 所示, 经济型数控车床通常是以配置经济型数控系统为主要特征, 常采用开环或半闭环伺服系统控制, 这类机床结构简单, 价格低廉, 刚度低、精度低、加工效率低。

(2) 全功能型数控车床 如图 1-9 所示, 全功能型数控车床的主轴一般采用能调速的直流或交流主轴控制单元来驱动的电主轴, 进给轴采用伺服电动机, 半闭环或闭环控制, 数

控系统功能多，这类机床具有高刚度、高精度和高效等特点。

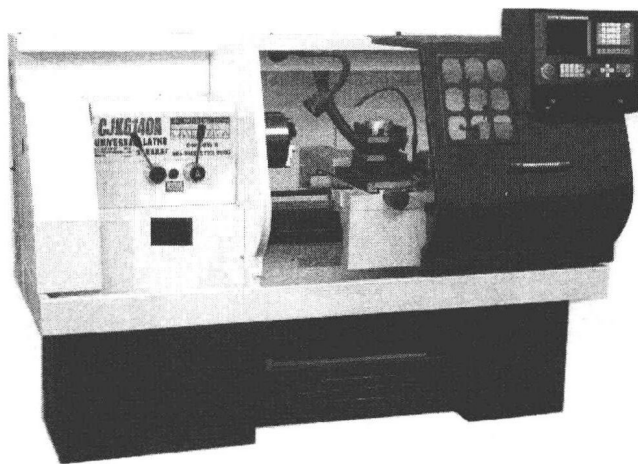


图 1-8 经济型数控车床

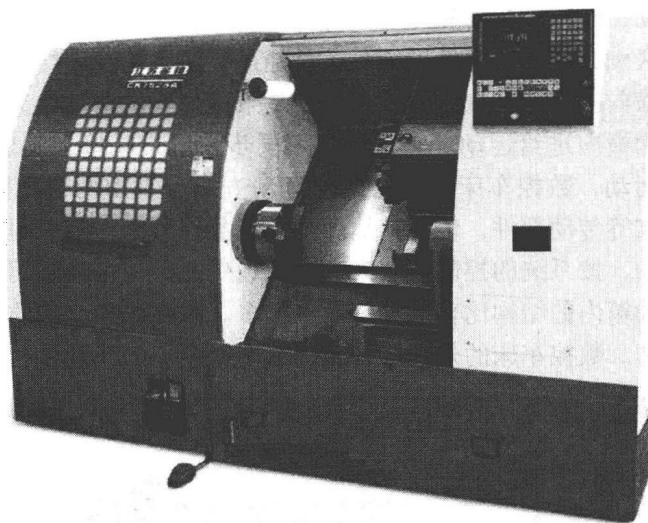


图 1-9 全功能型数控车床

(3) 车削中心 如图 1-10 所示，车削中心除了具有数控车削加工功能外，还由于采用了动力刀架，在刀架上可安装钻头、铰刀、丝锥和铣刀等回转刀具，该刀架具备动力回转功能。

(4) FMS 车床 它是计算机信息控制系统和物料自动储运系统有机结合的整体。柔性制造系统通常由切削加工、物流、信息流三个子系统组成，在加工自动化的基础上实现物流自动化，如图 1-11 所示。FMS 车床是一个由数控车床、机器人和控制系统等构成的一个柔性加工单元，它除了具备数控车床的功能外，还能实现工件的搬运、装卸和加工调整准备的自动化。





图 1-10 车削中心



图 1-11 FMS 车床

## 五、数控车床的结构特点

数控车床与普通车床在结构形式上有许多相似之处，其结构仍然是由主轴箱、刀架、进给系统、床身以及气动、液压、润滑和冷却系统等部分组成。但数控车床的进给系统与卧式车床在结构上有本质区别，卧式车床的进给系统是经过交换齿轮、进给箱、溜板箱传到刀架以实现刀具的纵向和横向进给运动，而数控车床则是采用伺服电动机经滚珠丝杠传到滑板和刀架实现刀具的纵向和横向进给运动。它也可以用同步齿形带联接，实现 Z 向（纵向）和 X 向（横向）的进给运动，数控车床刀架的两个运动方向分别由两台伺服电动机驱动，不必使用交换齿轮、光杠等传动部件，传动链短。全功能数控车床一般采用交流或直流主轴控制单元来控制电主轴，按系统的控制指令来实现无级变速，与主轴之间无需再用多级齿轮副来进行变速，其主轴箱内的结构比普通车床简单得多。因此数控车床的结构大为简化，而其精度和刚度大大提高。数控车床的外观结构及内部图如图 1-12 所示。

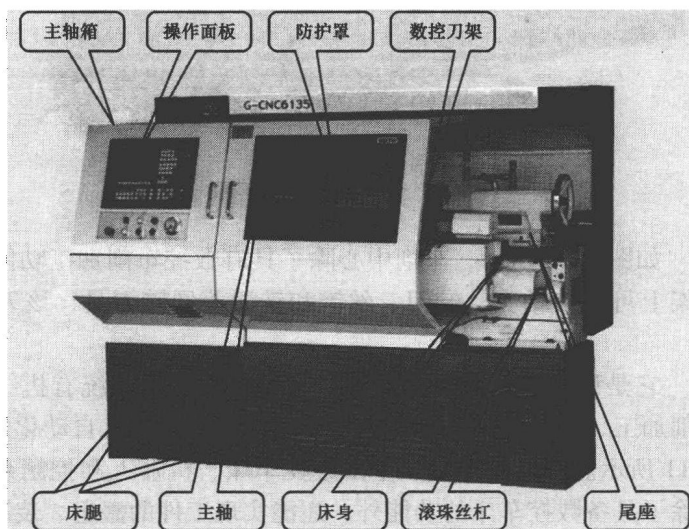


图 1-12 数控车床的外观结构及内部图