

# 数控加工工艺 与编程技术基础

主 编◎张 萍

# 数控加工工艺与 编程技术基础

主 编 张 萍  
副主编 夏 云 李 明  
参 编 史银花 张 斌  
        吴文秀 沈 斌  
主 审 赵光霞

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书作者依照国家职业标准和行业标准等相关文件,以培养读者具备制订典型零件数控加工工艺并编制加工程序的能力为目标而编写。本书旨在为读者进一步掌握数控车削和数控铣削操作技能奠定基础,在选题上难易结合、由浅入深,教材内容既侧重于工艺和编程基础理论知识的介绍,也侧重于加工工艺和编程能力的培养,其适应性、实用性、可操作性强,便于学生自主学习。

全书共分为四章。本书遵循学生的认知规律和成长规律,介绍了数控机床的加工特点及适用范围、数控机床的分类、FANUC(发那科)数控系统和西门子数控系统、数控刀具的选用、数控车削工艺与编程技术、数控铣削(加工中心)工艺与编程技术等内容。本书内容密切联系生产实际,同时兼顾数控技术发展的新动态和新趋势,内容实用、图文并茂、通俗易懂,语言简洁流畅。

本书可作为本科院校机械相关专业的教学用书,也可作为相关行业的岗位培训教材或随身携带的技术手册和参考资料。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程技术基础/张萍主编.—北京:北京理工大学出版社,2015.11

ISBN 978-7-5682-1065-2

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床—加工工艺 ②数控机床—程序设计  
IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第191769号

---

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京通县华龙印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/20

字 数/460千字

版 次/2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷

定 价/49.00元

责任编辑/陆世立

文案编辑/陆世立

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前言

## FOREWORD

数控加工技术是现代制造技术最重要的组成部分之一。近年来，随着我国制造水平的提升，数控机床被广泛采用，数控加工成为操作者必备的技术和技能，而数控加工工艺与编程技术是数控加工技术的核心，是操作者必须掌握的技术。本教材的编写特色如下：

1. 本课程是本科院校机械相关专业的一门基础性、实践性、应用性很强的理实一体化课程。本课程的开设旨在培养中职学生根据零件图样要求合理制订数控加工工艺，并在此基础上正确编制数控加工程序的能力。

2. 作者本着“以就业为导向，以能力为本位”的应用型本科的教学理念，不仅强调职业岗位的实际要求，还注重学生个人适应人才市场变化的需求，因此，本教材内容的设计兼顾了企业和个人两方面的需要，着力推行“工学结合”的人才培养模式，以培养学生的全面素质为出发点和落脚点，以提高学生的综合职业能力为核心。

3. 本书内容紧密围绕新的课程标准要求，作者依据学时总数，对本书内容作了科学设计，使之符合教学规律，适应“做中学”的教学要求，符合学生的认知规律和技能形成规律。在讲解每个知识点时，都能用实例加以说明，便于学生理解和掌握。

4. 本书在介绍发那科和西门子两个数控系统的编程技术时，采用了对比的方法，有利于学习者更好地掌握编程技术，同时也使有一定 FANUC 系统编程技术基础的学生能更轻松地学习西门子系统编程技术。本教材中涉及的数控机床等设备配置均是企业普遍使用

## FOREWORD

---

的通用装备，其适应性、实用性、可操作性强。

5. 本书内容既考虑到广泛性和基础性，也注重实用性和通俗性，大量地采用图、表形式呈现相关内容，语言通俗易懂，简洁精练，适合学生自主学习，便于理解和掌握。

6. 本教材密切联系生产实际，合理地介绍了相关新知识、新技术、新方法和新工艺，为学生适应就业市场的变化和终身发展的需要打下良好的基础。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不当之处，敬请读者批评指正。

编者

# 目 录

## CONTENTS

<b>第一章 数控机床概述</b> .....	<b>1</b>
1.1 数控机床加工特点、适用范围及数控机床的分类 .....	1
1.2 数控机床的组成及其各部分作用 .....	6
1.3 数控机床加工内容及其主要运动形式 .....	10
1.4 数控机床安全操作规程及其维护保养 .....	18
1.5 数控机床及其加工技术的发展趋势 .....	21
思考与练习.....	21
<b>第二章 数控刀具</b> .....	<b>22</b>
2.1 常用数控车刀及其功用 .....	22
2.2 常用数控铣刀（加工中心刀具）及其功用 .....	26
2.3 常用数控刀具材料 .....	32
2.4 数控刀具的维护与保养 .....	39
思考与练习.....	41
<b>第三章 数控车削工艺与编程技术基础</b> .....	<b>42</b>
3.1 数控车削工艺基本特点及主要内容 .....	42
3.2 数控车削工艺规程的制订 .....	45
3.3 数控车削编程技术基础 .....	56
3.4 典型零件工艺方案的制订及其程序的编制 .....	99
思考与练习.....	156
<b>第四章 数控铣床（加工中心）工艺与编程技术基础</b> .....	<b>161</b>
4.1 数控铣削工艺特点及其主要工艺内容 .....	161

4.2 数控铣削工艺规程的制订 .....	167
4.3 数控铣削编程技术基础 .....	169
4.4 典型零件工艺方案的制订及其程序的编制 .....	235
思考与练习.....	305
<b>参考文献.....</b>	<b>311</b>

# 数控机床概述

近年来,随着我国制造业的迅猛发展,数控机床已成为现代制造企业中不可缺少的加工设备之一,特别是模具制造企业更离不开数控机床。数控技术应用水平的高低已成为表征一个国家、地区工业制造能力的最重要的指标之一。

## 1.1 数控机床加工特点、适用范围及数控机床的分类

### 1.1.1 数控机床加工特点及其适用范围

在现代化生产中,数控机床以其加工精度高、产品一致性好、生产效率高、劳动强度低、经济效益好和有利于生产管理现代化等特点,被制造企业普遍认可并采用。

#### 1. 数控机床的加工特点

(1)加工精度高。数控机床的加工精度受许多因素的影响,其中主要受数控机床的定位精度、重复定位精度、加工工艺、刀具材料、工件材料以及操作人员等因素的影响。目前,数控机床可达到很高的刚度、传动精度、定位精度和重复定位精度,热稳定性好,因此加工精度高。此外,数控机床通过对进给传动链的反向间隙等误差进行补偿,可获得比本身精度更高的加工精度。如图 1-1 所示为在数控铣床上加工的相机模具零件之一。

(2)产品一致性好。在同一台数控机床上加工同一批零件,在相同加工条件下,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性高,质量稳定。

(3)生产效率高。工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间,数控机床能有效地减少这两部分时间。在数控机床上一次装夹工件可进行多道工序的加工,尤其是加工中心,可进行多道工序的连续加工,因此生产效率高。

(4)适于加工复杂形状零件。普通机床加工工件时,操作工人的实践经验和习惯决定了工件的加工质量,复杂形状和高精度的工件质量难以保证,并且很多复杂曲面的加工要求机床的三轴、四轴甚至五轴联动,如叶轮叶片、螺旋桨等复杂空间曲面零件的加工,需要机床的五轴同时运动,而普通机床无法实现五轴联动,如图 1-2 所示。



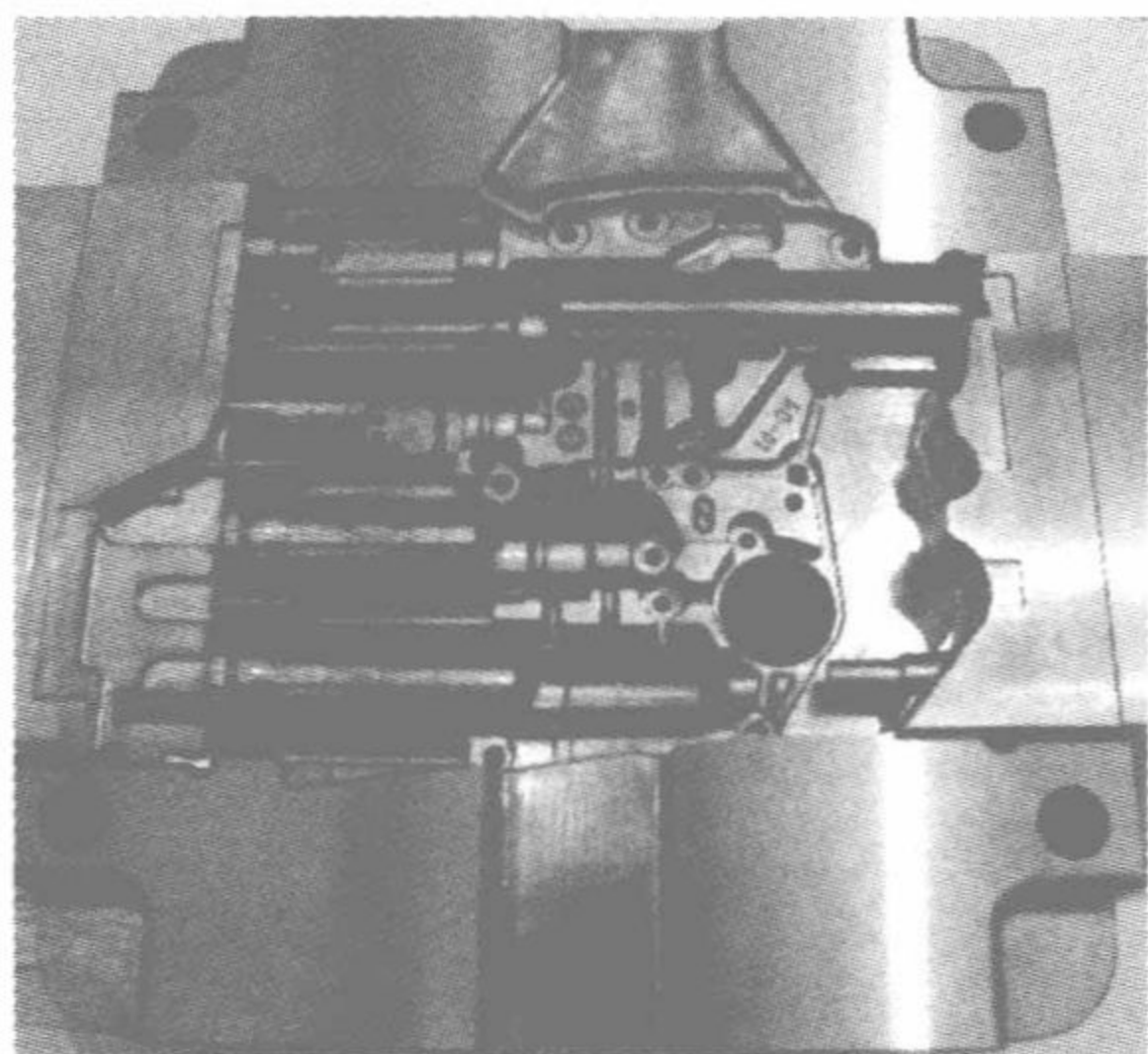


图 1-1 模具零件

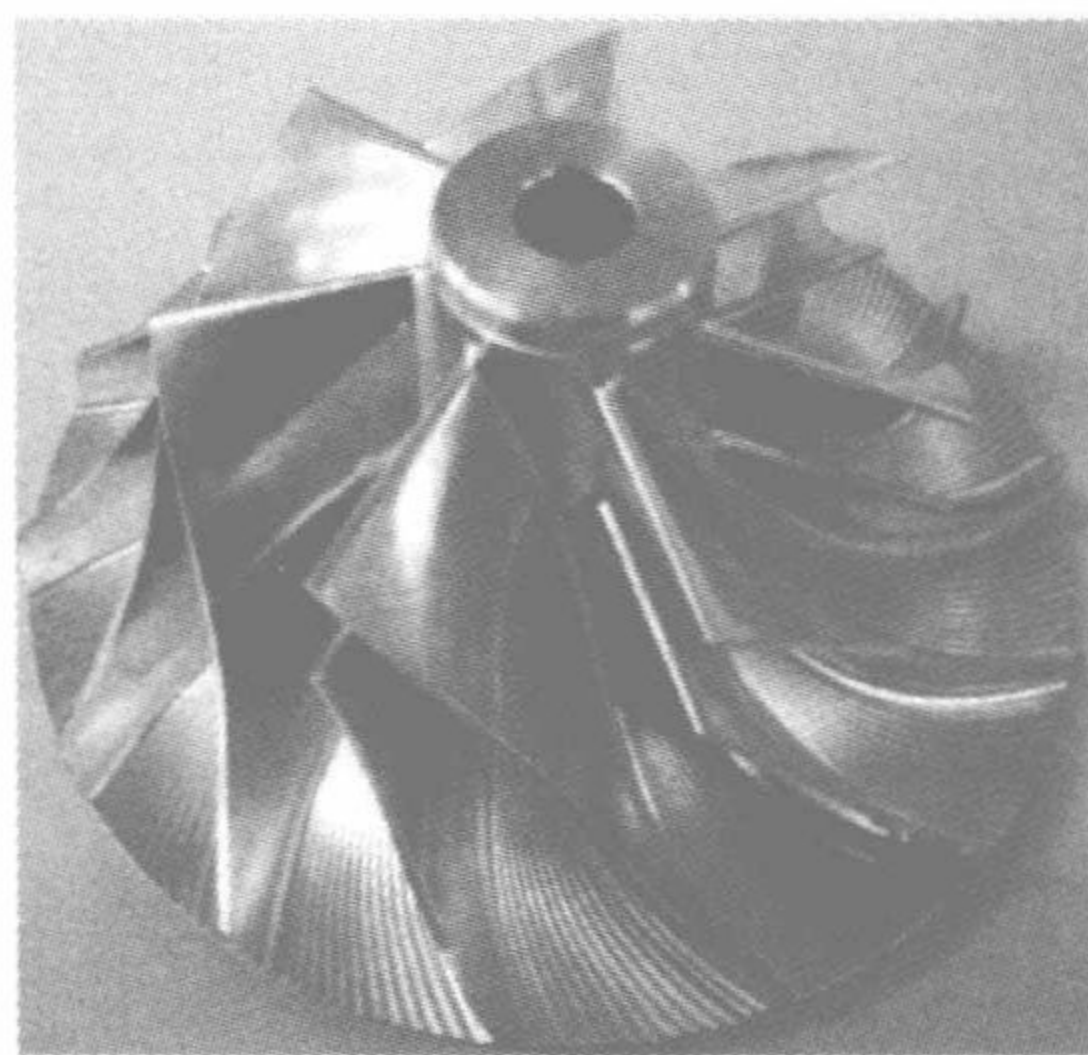


图 1-2 叶轮

(5)柔性好。当更换被加工零件时,不必改变机床设备,只要改变数控加工程序便可实现对另一种零件的加工,这也是数控机床加工与普通机床加工最大的不同之处。因此,数控机床不仅适用于中、小批量生产,更适用于新产品试制和多品种加工等生产场合,易于实现柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。随着国际竞争的加剧,各国都非常重视柔性制造技术和计算机集成制造技术。

(6)劳动强度低。数控设备的工作是按照预先编制好的加工程序自动连续完成的,操作者除输入加工程序或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间测量及观看设备的运行之外,加工中不需要进行烦琐、复杂的手工操作,这使工人的劳动条件得到大幅度改善。

(7)对数控程序员的要求高。数控加工时,许多在普通铣床上凭着操作工人的实践经验能够及时处理的工艺和技术问题,都需要数控程序员在编程之前全方位考虑,制订出合理、可行的数控加工工艺方案,并在此基础上正确地编写出数控加工程序。

(8)有利于生产管理现代化。采用数控机床能准确地计算产品的单个工时,合理安排生产。数控机床使用数字信号与标准代码处理、传递信息,控制加工,为实现生产过程的自动化创造了条件。特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

## 2. 数控机床的适用范围

- (1)多品种、单件小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- (2)普通机床很难加工的精密、复杂零件。
- (3)精度及表面粗糙度要求高的零件。
- (4)加工过程中需要进行多工序加工的零件。
- (5)用普通机床加工时,需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件。

### 1.1.2 数控机床的分类

自 1952 年世界上第一台数控机床问世至今,数控机床得到快速发展,目前数控机床的种类繁多,其结构和功能各不相同,通常按下述方法进行分类。

## 1. 按机床运动轨迹分类

按机床运动轨迹不同,数控机床可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床。点位控制(Positioning Control)又称为点到点控制(Point to Point Control)。刀具从某一位置向另一位置移动时,不管中间的移动轨迹如何,只要刀具最后能正确到达目标位置,就称为点位控制。如图 1-3 所示。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机和数控折弯机等,其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

(2) 直线控制数控机床。直线控制(Straight Cut Control)又称平行切削控制(Parallel Cut Control)。这类控制除了控制点到点的准确位置之外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也有控制,因为这一类机床在两点之间移动时要进行切削加工。如图 1-4 所示。

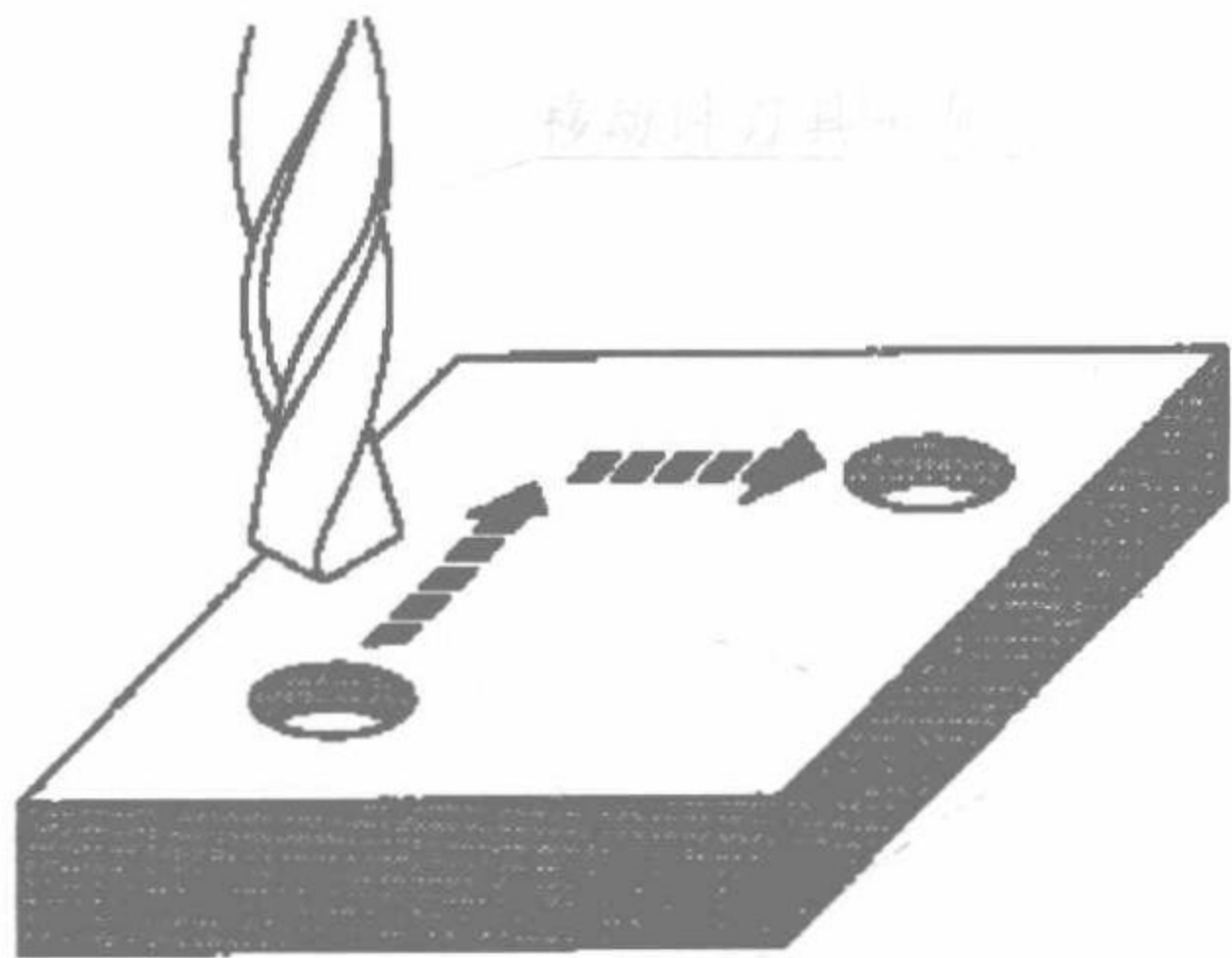


图 1-3 点位控制加工示意图

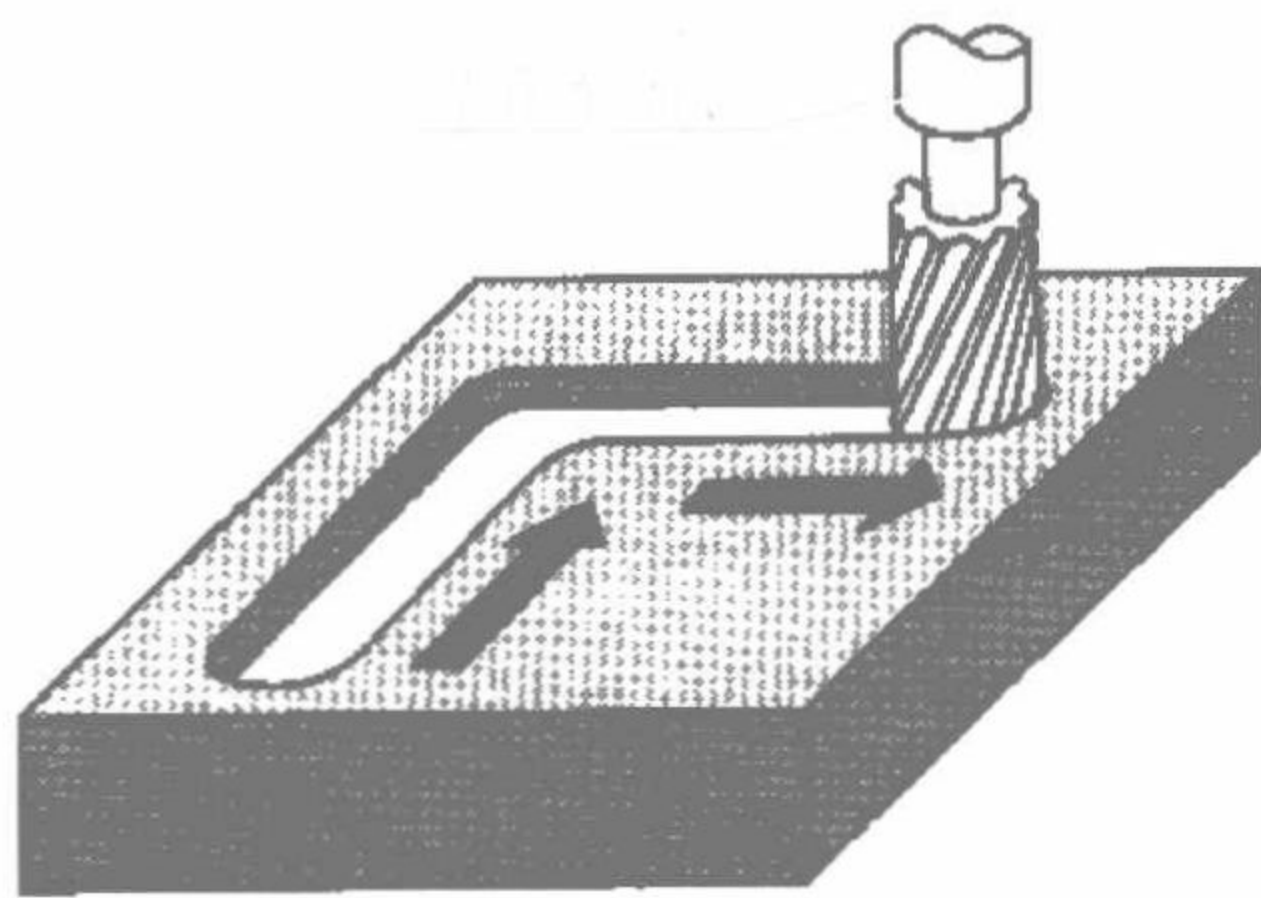


图 1-4 直线控制加工示意图

这类机床主要有数控坐标车床、数控磨床和数控镗铣床等,其相应的数控装置称为直线控制数控装置。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制又称连续控制,大多数数控机床具有轮廓控制功能。轮廓控制数控机床的特点是能同时控制两个以上的轴联动,具有插补功能。它不仅要控制加工过程中的每一点的位置和刀具移动速度,还要加工出任意形状的曲线或曲面。轮廓控制加工示意图如图 1-5 所示。

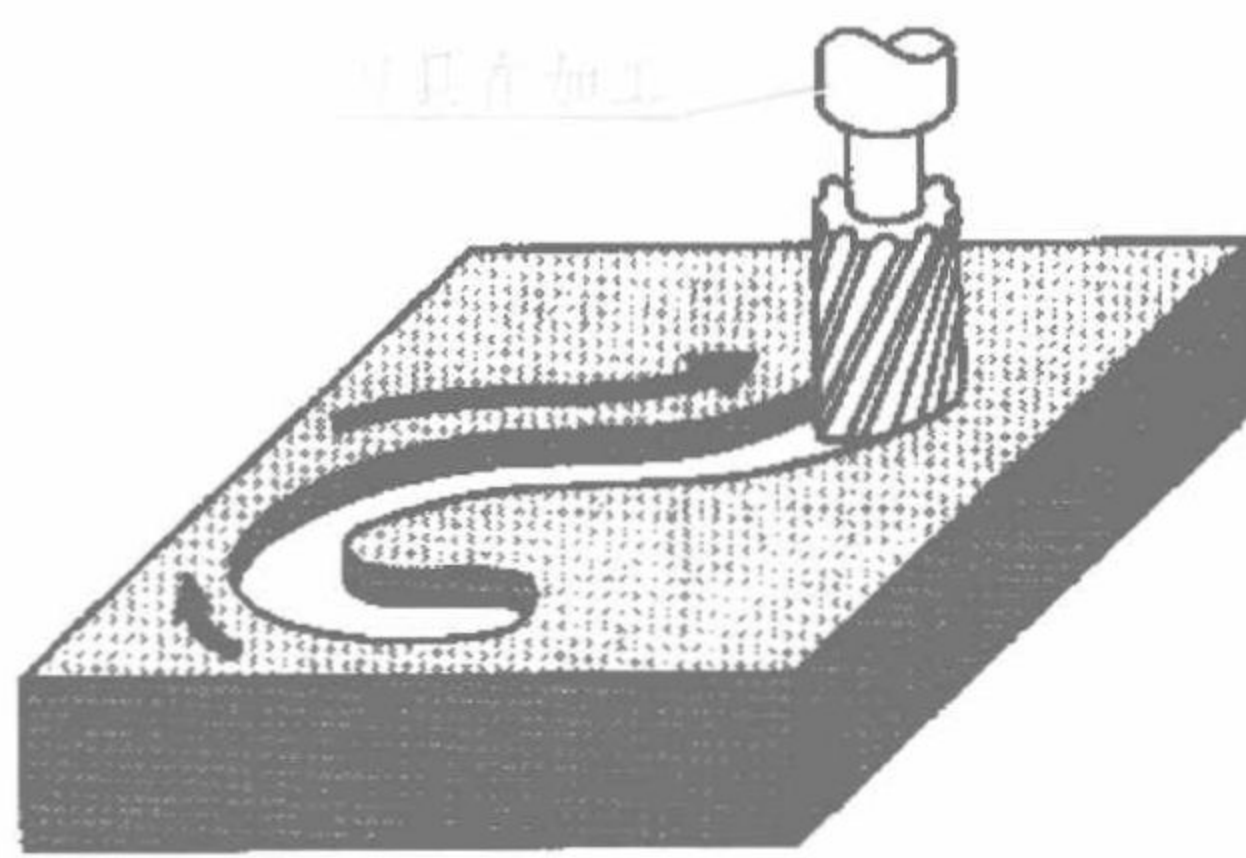


图 1-5 轮廓控制加工示意图

属于轮廓控制机床的有数控坐标车床、数控铣床、加工中心等。其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置比点位、直线控制装置结构更复杂,功能更齐全。

## 2. 按伺服系统类型分类

按伺服系统类型不同,数控机床可分为开环控制伺服系统数控机床、闭环控制伺服系统数控机床和半闭环控制伺服系统数控机床。数控机床的控制方式及其主要特点见表 1-1。

表 1-1 数控机床的控制方式及其主要特点

控制方式	图 例	主要特点
开环控制		<p>开环控制数控机床通常没有位置检测反馈装置和检测元件，数控装置发出的指令信号是单向的，而对移动部件的实际位移量出现的误差无法进行检测，系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度。</p> <p>开环控制数控机床的控制线路简单，调节方便，加工精度较低，系统比较容易稳定，机床成本较低，适用于一些经济类中小型数控机床</p>
闭环控制		<p>闭环控制数控机床带有位置检测装置和位置检测元件，随时可以检测出工作台的实际位移并反馈给数控装置，与设定的指令值进行比较后，利用其差值控制伺服电动机，直至差值为零。</p> <p>这类数控机床可以得到很高的加工精度，结构较复杂，系统调试和维修困难，成本较高，主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心</p>
半闭环控制		<p>半闭环控制数控机床带有位置检测装置和检测元件，但通常将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或数控机床传动丝杠的端部，移动部件如工作台等没有在检测控制回路中，系统反馈的只是进给传动系统的部分误差，因此其精度介于开环和闭环之间。</p> <p>半闭环控制系统的定位精度主要取决于机械传动装置的精度，现在的数控装置均有螺距误差和间歇补偿功能，通过补偿可提高精度，因此这类机床调试和维修方便，广泛适用于中、小型数控机床</p>

### 3. 按工艺用途分类

按工艺用途不同，数控机床可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床、数控特种加工机床和其他类型的数控机床。

(1)金属切削类数控机床。金属切削类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床、加工中心等。金属切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，功能差异也较大。

(2)金属成形类数控机床。金属成形类数控机床包括数控折弯机、数控剪板机、数控弯管机、数控压力机和数控切割机等。

(3)特种数控机床。特种数控机床有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控火焰切割机床和数控激光加工机床等。

(4)其他类型的数控机床。其他类型的数控机床有数控三坐标测量机床和数控装配机等。

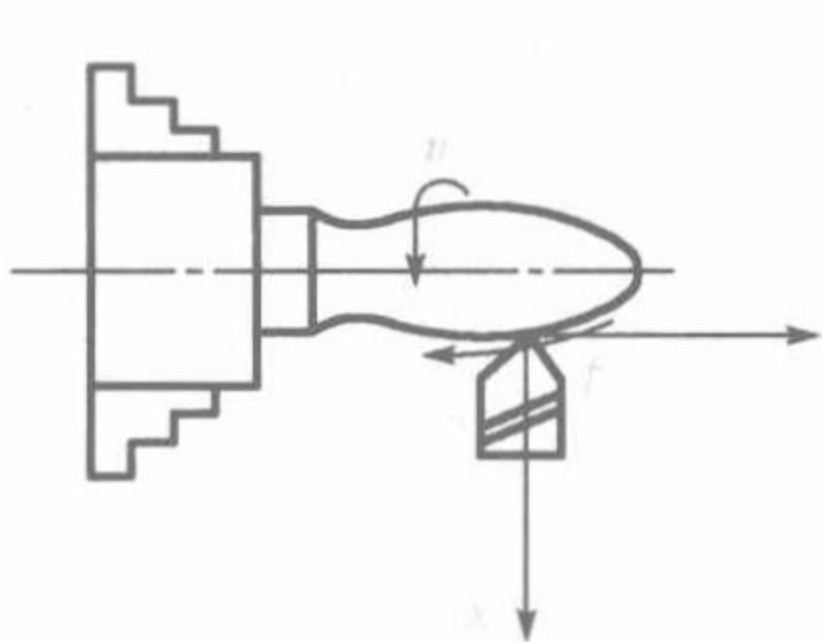
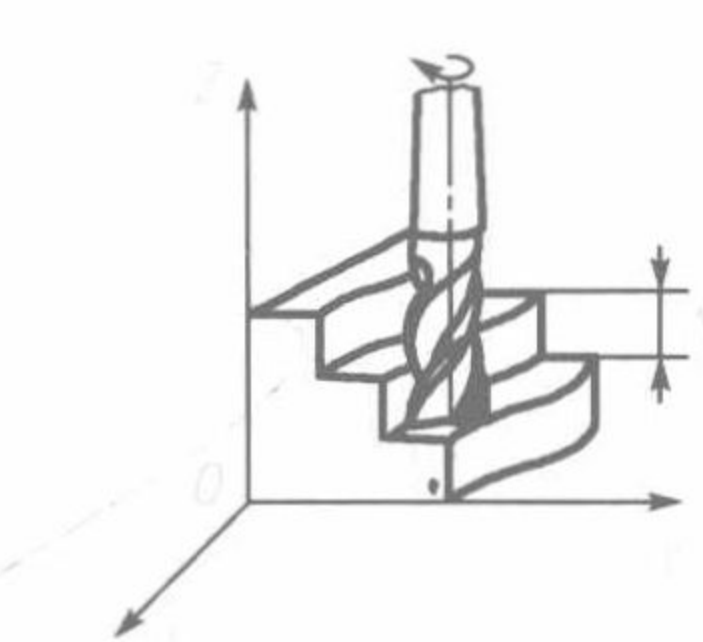
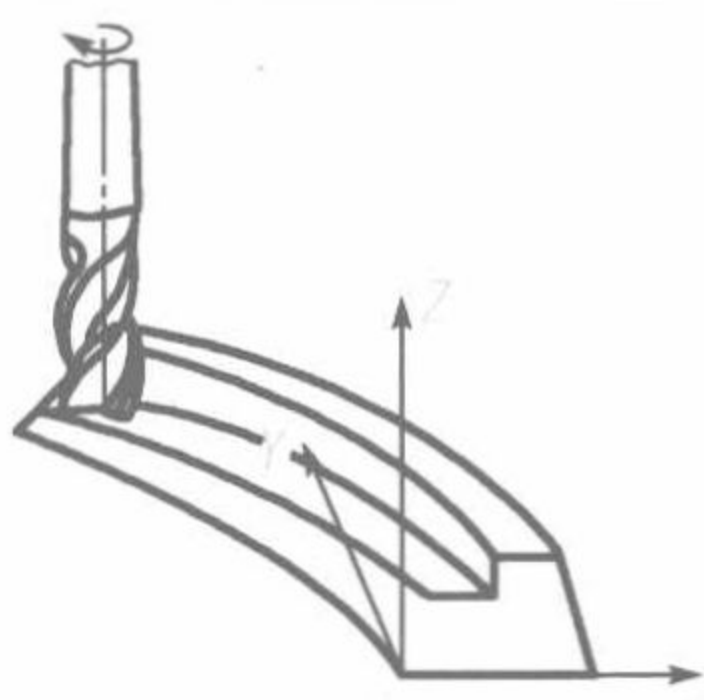
#### 4. 按数控系统功能水平分类

按数控系统的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平不同，数控机床可分为低、中、高三个档次。国内还分为全功能数控机床、普通数控机床和经济型数控机床。这些分类方法划分的界线是相对的，不同时期的划分标准有所不同。

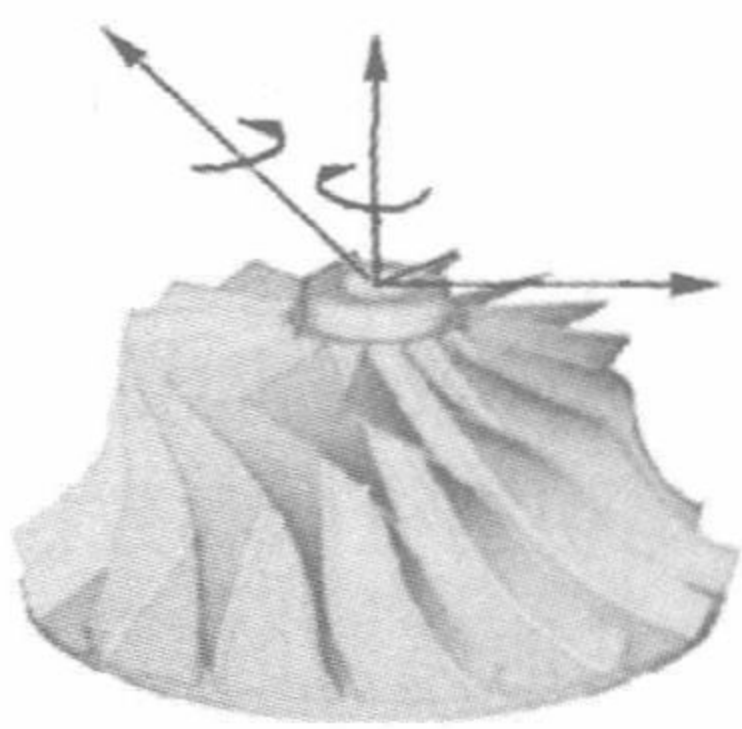
#### 5. 坐标轴联动轴数分类

数控机床的坐标联动轴数是指机床数控系统控制的坐标轴同时移动的数目。数控机床坐标联动轴数也是区分数控机床档次的标志之一。不同坐标联动轴数数控机床的功能特点见表 1-2。

表 1-2 不同坐标联动轴数数控机床的功能特点

联动轴数	功 能	加工特点	案 例
两轴联动	数控机床在加工零件时，工作台可沿两个坐标轴方向同时运动，以实现二维直线、斜线和圆弧等平面曲线的轨迹控制。普通数控车床通常采用两轴坐标联动	这种数控机床结构简单，操作方便，适于加工简单的轮廓结构，如铣削平面曲线和平面沟槽等、车削回转类零件等	
两轴半联动	数控机床在加工零件时，工件先在某一个坐标平面内进行两个坐标轴方向的联动，然后再沿第三个坐标轴方向做等距周期移动，如此反复，直到加工完毕	这种机床可以实现分层加工，适于加工简单的轮廓结构，如加工平面沟槽、台阶、平面型腔、平面凸轮、孔等	
三轴联动	数控机床在加工零件时，工件可以实现三个坐标轴的联动，如沿 X、Y、Z 三个方向联动	这种机床适于加工一般空间曲面轮廓，如加工型腔模具、实体上的螺旋槽等	

续表

联动轴数	功能	加工特点	案例
多轴联动	数控机床在加工零件时,工作台可以实现四个坐标轴、五个坐标轴甚至六个坐标轴的联动	这种机床适于加工结构复杂的空间曲面轮廓,如加工飞机大梁、叶片、螺旋桨等	

### 6. 按所用数控装置的构成不同

按所用数控装置的构成不同,可分为硬线(件)数控和软线(件)数控系统。

## 1.2 数控机床的组成及其各部分作用

### 1.2.1 数控车床各组成部分的作用

数控车床的机械结构较普通车床的机械结构简化了许多,数控车床采用伺服电动机经滚珠丝杠传到滑板和刀架上,以实现 Z 向(纵向)和 X 向(横向)的进给运动。卧式数控车床部分组成结构如图 1-6 所示。

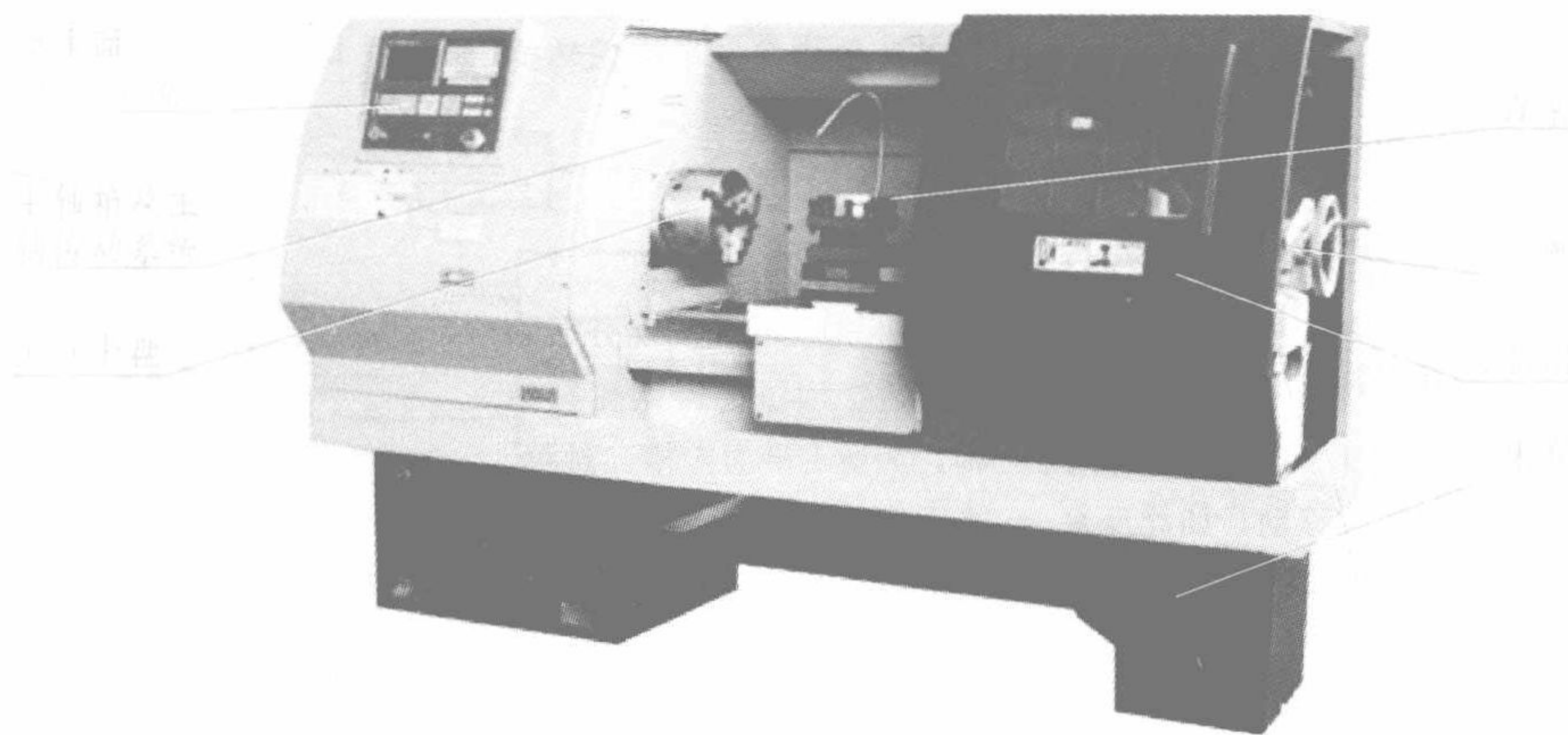

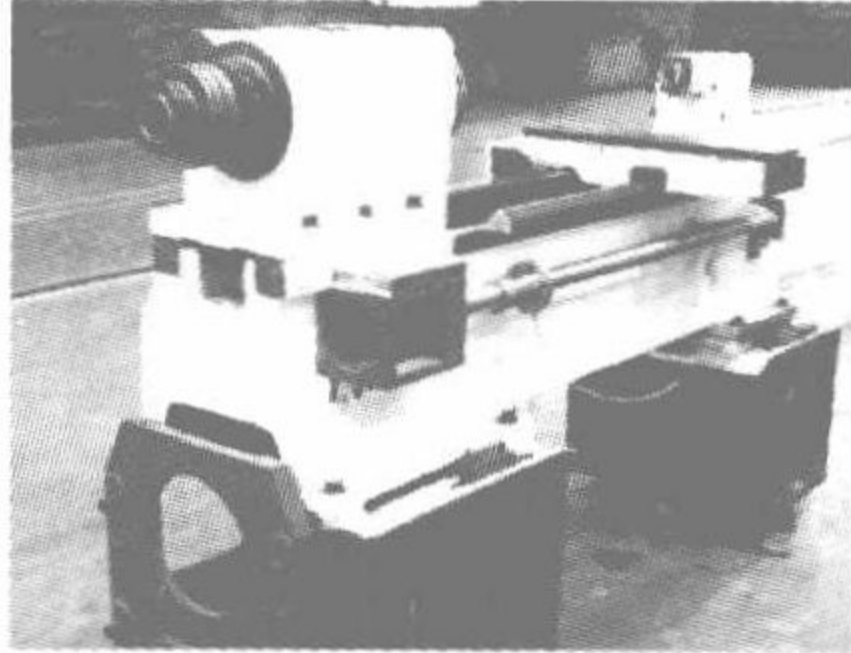
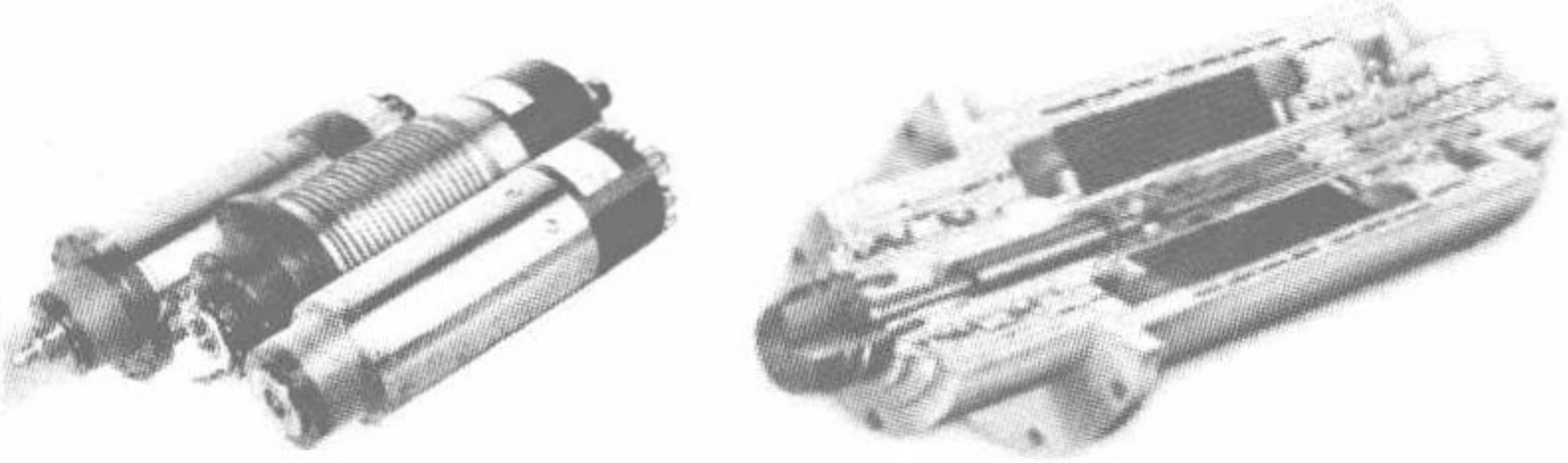
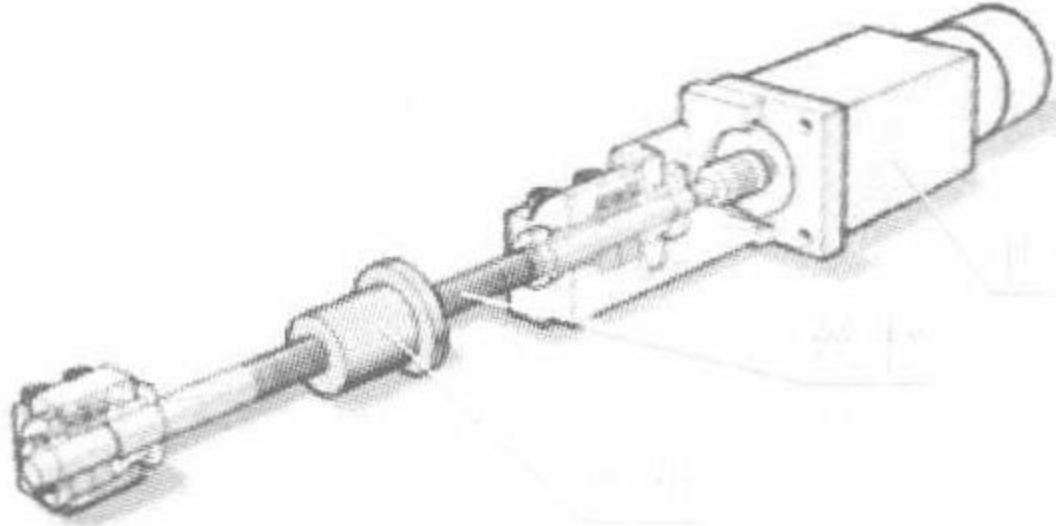

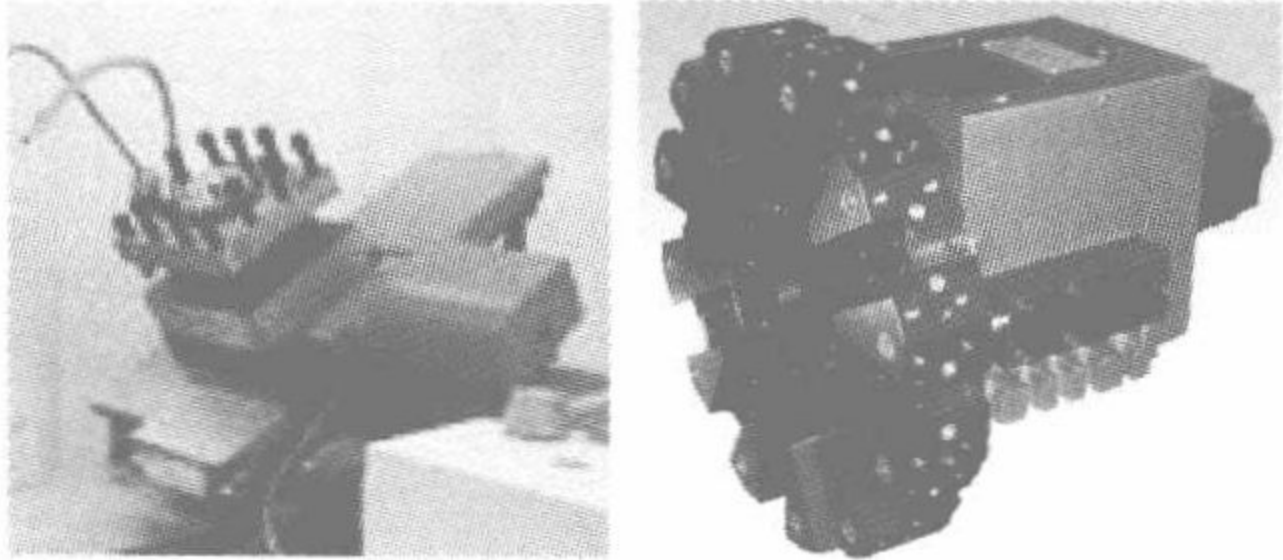


图 1-6 卧式数控车床部分组成结构

数控车床各组成部分的作用和说明见表 1-3。

表 1-3 数控车床各组成部分的作用和说明

名称	作用和说明	图 例
数控系统	<p>数控系统是数控车床的控制中枢，其主要功能是数据存储与处理、实现数控车床运动的自动控制，是数控车床最重要的组成部分。目前，国内主流数控系统有：国产华中系统和广数系统，日本的 FANUC 系统和德国的 SIEMENS 系统等</p>	
机床本体	<p>机床本体是数控车床最基础的机械结构之一，通常是指数控车床的机械结构，如床身、导轨、主运动和进给运动机械传动机构等，它是整个机床的基础和框架，用于完成各种切削加工</p>	
主传动系统	<p>主传动系统包括主轴、主轴箱和主轴传动系统。主传动系统的主要功能是负责数控车床的主轴转动，用于控制工件的旋转方向及其转速</p>	
进给伺服驱动系统	<p>进给伺服驱动系统由进给电动机和进给驱动机构组成，伺服驱动系统的主要功能是接收数控系统发出的控制指令信号，控制执行部件的进给速度、方向和位移，以便加工出合格零件。进给驱动机构的精度主要由丝杠螺母副来保证</p>	
可编程控制器 (PLC)	<p>控制数控机床的辅助加工动作，如控制机床的顺序动作、定时计数、主轴电动机的启动和停止、主轴转速调整、冷却泵起停以及转位换刀等动作。PLC 具有响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改的特点</p>	
刀架	<p>一般有四工位回转刀架、六工位回转刀架等，刀架位置与普通车床的刀架位置相同；还有安装在主轴对面的圆盘式可回转刀架，可安装 8 把、12 把、16 把及其以上的车刀</p>	

续表

名称	作用和说明	图例
尾座	尾座是数控车床的重要组成部分，可安装钻头，对工件进行钻孔加工，也可安装顶尖，用来支承工件。安装时要求尾座的轴线要与车床主轴轴线同轴	
辅助系统	辅助系统由冷却系统、液压气动系统、润滑系统和排屑系统等组成。其主要作用是负责协助数控车床完成数控加工任务	
检测反馈装置	位置检测元件是检测反馈装置的重要组成部分，用于闭环控制或半闭环控制数控机床中。目前有光栅尺、磁栅尺、旋转变压器、同步感应器等。其作用是随时可以检测出数控车床工作台的实际位移值，并经反馈装置输入到机床的数控系统中	

### 1.2.2 数控铣床各组成部分的作用

立式数控铣床部分组成结构如图 1-7 所示。

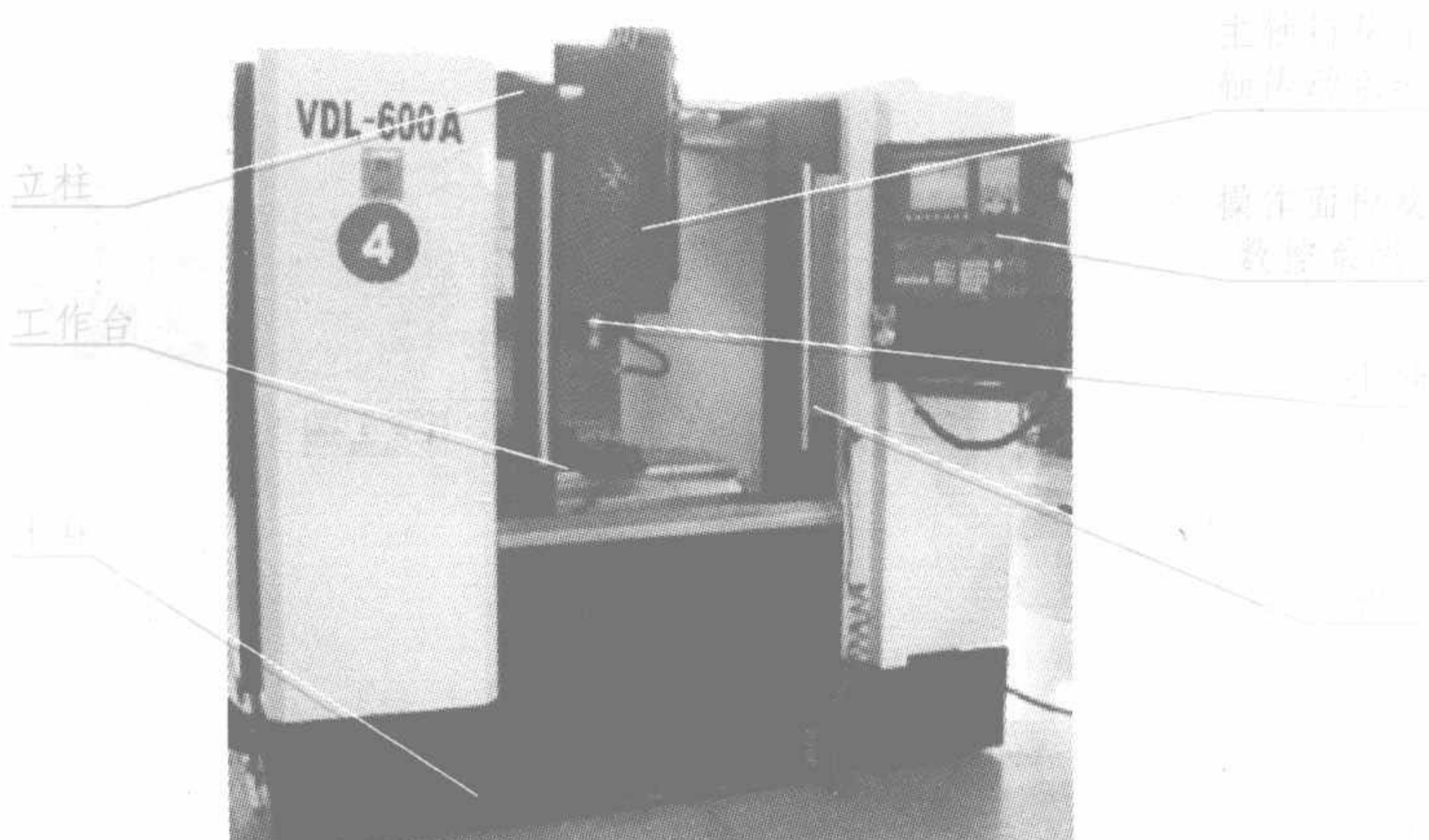


图 1-7 立式数控铣床部分组成结构





### 1.2.3 刀具自动夹紧机构

刀具自动夹紧机构主要由液压缸、拉杆、拉杆端部的四个钢球、碟形弹簧和活塞等组成。加工中心换刀时,机械手执行换刀指令,从主轴拔刀。此时,主轴需松开刀具,液压缸上腔通入压力油,通过活塞、拉杆、碟形弹簧、钢球等的作用,使机械手顺利拔刀。之后,压缩空气进入活塞和拉杆的中间孔,吹净主轴锥孔,为装入新刀具做好准备。当机械手将下一把刀具插入主轴后,液压缸上腔回油,在碟形弹簧的恢复力作用下,使拉杆、钢球和活塞退回到指定位置,由于碟形弹簧的弹性力使刀具夹紧。

### 1.2.4 自动交换工作台

为了提高机床利用率,可选择交换工作台,以便机床正常工作时,仍可在交换工作台上安装工件。如柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)必须使用自动交换工作台,以便于机床进入自动物流系统。

## 1.3 数控机床加工内容及其主要运动形式

由于各种数控机床的结构及其运动形式不同,数控机床的切削内容也不尽相同。数控机床的运动形式决定了数控机床的切削内容。数控机床在切削过程中,刀具和工件的相对运动,称为数控机床的切削运动。

数控机床的切削运动有不同的分类方法。按照切削运动在数控切削加工过程中所起的作用分类,切削运动可分为表面成形运动和辅助运动两大类,其中表面成形运动包括数控机床的主运动和进给运动;按照数控机床的运动形式分类,切削运动可分为直线运动和回转运动两种基本运动形式。

### 1.3.1

#### 数控机床加工内容及其运动形式

数控车床主要用于加工轴类、盘类等回转体零件。通过数控加工程序的运行,可自动完成内外圆柱面、圆锥面、螺纹、端面和成形表面等工序的切削加工,并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔和镗孔等工作。车削中心可在一次装夹中完成多道加工工序,提高加工精度和生产效率,特别适合于复杂形状回转类零件的加工。数控车床还有数控凸轮车床、数控曲轴车床、数控螺纹车床、数控活塞车床和数控丝杠车床等专用和特种机床。

一般情况下,在数控车床上车削外圆柱面时,共有六种切削运动,如图1-11所示。运动Ⅰ是工件的运动,运动Ⅱ~运动Ⅶ是车刀的运动,车刀从运动Ⅱ开始依次运动,直到完成运动Ⅶ。工件的旋转运动Ⅰ和车刀的纵向直线移动Ⅴ是形成圆柱外表面的成形运动,它对被加工表面的精度和表面粗糙度有着直接的影响。工件的旋转运动Ⅰ是数控车床的主运动,车刀的纵向直线移动Ⅴ是数控车床的进给运动。车刀的纵向快速趋近运动Ⅱ、横向快速趋近运动Ⅲ、横向快速退回运动Ⅳ、纵向快速退回运动Ⅶ都是数控车床的辅助运动。一