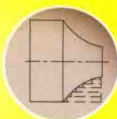
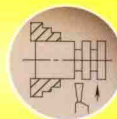


周斌兴 主 编



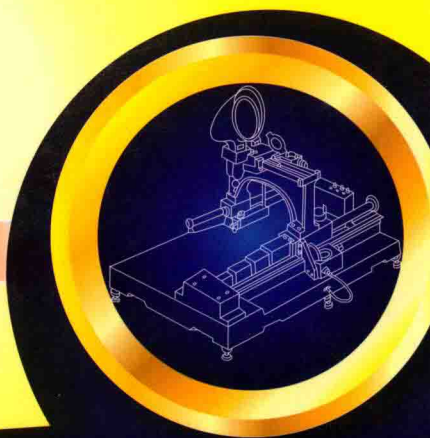
数控车工 入门与提高 全程图解

① 图表翔实

② 易学易懂

③ 新手入门

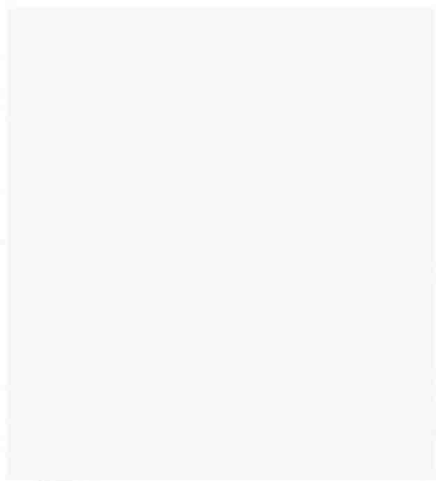
④ 快速进阶



化学工业出版社

数控车工 入门与提高 全程图解

周斌兴 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车工入门与提高全程图解/周斌兴主编. —北京: 化学工业出版社, 2018. 3

ISBN 978-7-122-31384-3

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床-车床-图解
IV. ①TG519.1-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 012463 号

责任编辑: 曾越 张兴辉

文字编辑: 陈喆

责任校对: 王素芹

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装: 三河市延风印装有限公司

880mm×1230mm 1/32 印张 9½ 字数 305 千字

2018 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

我国正处在先进制造技术大发展的时期，制造自动化是它的重要组成部分，其核心技术就是数控技术。数控技术的应用是提高制造业产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段，对国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用。数控机床是工业现代化的重要装备，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要标志。数控机床在企业的使用数量正在大幅度增加，企业正急需大批数控编程与加工方面的技能型人才。然而，目前国内掌握数控编程与加工的人才严重短缺，这使得数控技术应用技能型人才的培养显得十分迫切。为适应数控车床工作人员培训和学习的需要，并供职业院校相关专业的教学使用，特编写了本书。

本书共分五章，包括：数控车床概述、数控车削加工工艺、数控车床编程、数控车床加工方法、数控车床操作。在编写过程中，突出实践环节的机床基本操作步骤、操作规程及方法。本书例题丰富，图文并茂，通俗易懂，实用性强，所介绍的数控系统和数控车床在生产实际中应用广泛。编程讲解详细，操作步骤具体，尤其是零件加工项目实例，更是对典型零件的编程与加工做了详细而具体的讲解。

本书可供各类职业技术学院的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业师生阅读，还可供数控车工的社会化培训使用。

本书由周斌兴主编。参加编写的人员还有：张能武、陶荣伟、周文军、过晓明、薛国祥、张道霞、许佩霞、邱立功、王荣、陈伟、刘文花、杨小荣、余玉芳、张洁、胡俊、刘瑞、吴亮、王春林、邓杨、张茂龙、高佳、王燕玲、李端阳、周小渔、张婷婷。本书在编写过程中得到了江南大学机械工程学院、江苏机械学会、无锡机械学会等单位的大力支持和帮助，在此表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

第一章 数控车床概述 / 1

第一节 数控车床的组成、工作原理及功能	1
一、数控技术的基本概念	1
二、数控车床的工作原理及组成	2
三、数控车床的功能	2
第二节 数控车床特点、布局及分类	4
一、数控车床的特点	4
二、数控车床的布局	5
三、数控车床的分类	6
四、数控车床的选择配置与机械结构组成	10
第三节 数控车床的加工过程及数控系统的主要功能	10
一、数控车床的加工过程	10
二、数控系统的主要功能	11

第二章 数控车削加工工艺 / 13

第一节 数控车削加工工艺概述	13
一、数控车削加工的主要对象	13
二、数控车削加工工艺的主要内容	15
三、数控车削加工工艺的基本特点	16
第二节 数控车削加工工艺的制定	16
一、零件图样分析	16
二、工序和装夹方式的确定	18
三、加工顺序的安排	21
四、进给路线的确定	21

五、定位与夹紧方案的确定	24
六、夹具的选择	24
七、切削用量的选择	25
八、数控加工工艺与普通工序的衔接	27
第三节 典型零件数控车削加工工艺分析	28
一、轴类零件加工工艺分析	28
二、轴套类零件加工工艺分析	30

第三章 数控车床编程 / 34

第一节 数控车削编程基础	34
一、数控编程的种类和内容	34
二、程序的构成	35
三、主程序和子程序	38
四、典型数控系统的指令代码	39
五、部分指令的编程要点 (SIEMENS 数控系统)	42
六、数控车床的坐标系统	44
七、零件程序的结构	47
八、程序编制中的数值处理	48
第二节 固定循环编程	54
一、外径/内径车削固定循环指令 (G90)	54
二、端面车削固定循环指令 (G94)	57
第三节 复合固定循环编程	59
一、精加工循环指令 (G70)	59
二、外径/内径粗车循环 (G71)	60
三、端面粗车循环 (G72)	63
四、固定形状粗车循环 (G73)	65
五、端面深孔钻削循环 (G74)	67
六、外径/内径钻孔循环 (G75)	68
第四节 螺纹切削循环编程	70
一、单行程螺纹切削指令 (G32)	70
二、螺纹切削固定循环指令 (G92)	71
三、螺纹切削复合循环指令 (G76)	73
第五节 子程序应用和宏程序加工	76

一、子程序应用	76
二、宏程序加工	83
第六节 刀具补偿功能	103
一、刀具位置补偿	103
二、刀尖圆弧半径补偿	105
第七节 数控车削编程实战训练	109
一、螺纹类零件编程和加工综合实例	109
二、轴类零件编程和加工综合实例	113
三、复合轴类零件编程和加工综合实例	118
四、槽类零件编程和加工综合实例	122
五、宏程序编程和加工综合实例	125

第四章 数控车床加工方法 / 130

第一节 数控车削刀具及夹具	130
一、数控车削刀具及其用途	130
二、数控车床夹具	143
第二节 车螺纹	144
一、螺纹的切削方法及切削用量的选择	144
二、车螺纹前直径尺寸的确定与螺纹车削行程的确定	147
三、等螺距螺纹切削指令 (G32)	147
四、螺纹车削实训 (一)	149
五、螺纹车削实训 (二)	151
六、螺纹车削实训 (三)	156
第三节 车简单轴类零件	160
一、加工余量及切削用量的确定	160
二、切削层参数及切削用量的选择	162
三、切削液的选用	163
四、车刀安装与工件装夹	166
五、切削指令	173
六、简单轴类零件加工实训	177
第四节 车圆弧	181
一、车圆弧的加工方法	181
二、圆弧加工的编程方法和车削圆弧中的刀具干涉	182

三、车圆弧切削指令 (G02/G03)	183
四、车圆弧实训	185
第五节 切断与切槽	188
一、切断与切槽刀具	188
二、切断刀与车槽刀的装夹	193
三、切断的加工方法	193
四、切削用量的确定	196
五、外圆沟槽和内沟槽的车削方法	196
六、端面沟槽和 T 形槽的车削方法	200
七、暂停指令与实训	201
第六节 简单零件的编程与加工	202
一、外螺纹轴的编程与加工	202
二、螺纹轴、套组合件的编程与加工	205
三、多线螺纹零件的编程与加工	209
四、外圆、倒角零件车削的编程与加工	212
五、圆弧插补编程与加工	215
六、圆锥小轴的编程与加工	217
七、内、外圆锥套的编程与加工	220
八、切槽的编程与加工	224

第五章 数控车床操作 / 228

第一节 FANUC Oi 系统数控车床的操作	228
一、操作面板	228
二、机床回参考点	231
三、手动操作	232
四、对刀	233
五、车床刀具补偿参数	236
六、数控程序处理	237
七、自动加工方式	239
八、MDI 模式	240
第二节 SIEMENS-802S 系统数控车床的基本操作	240
一、开机的操作步骤	240
二、回参考点	240

三、手动 (JOG) 操作	241
四、MDA 运行方式	242
五、自动运行方式	243
六、对刀及刀具补偿参数的设置	244
七、刀尖圆弧半径补偿的设置	247
八、刀具补偿值的修改	247
九、G54~G57 零点偏移的设置	248
十、对刀正确性校验	249
十一、程序的管理	249
十二、程序的空运行测试和断点搜索	253
第三节 华中系统数控车床的基本操作	255
一、华中系统数控车床的操作面板简介	255
二、数控车床基本操作方法及操作步骤	260
第四节 广州数控 980TD 数控车床的基本操作	277
一、程序的录入	277
二、机械回零对刀	278
三、试切对刀	279
四、刀偏值的修改	280
五、程序的校验	281
六、其他操作	281
第五节 数控车床的维护、保养及故障诊断	283
一、数控车床的维护与保养	283
二、数控车床常见故障诊断和处理	286

第一章

数控车床概述

第一节 数控车床的组成、工作原理及功能

一、数控技术的基本概念

(1) 数控

数控，即数字控制（numerical control，NC），就是用数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。简单地说，数控就是采用计算机或专用计算机装置进行数字计算、分析处理、发出相应指令、对机床的各个动作及加工过程进行自动控制的一门技术。

由于早期数控系统功能全靠数字电路实现，因此称为 NC 系统（硬件数控系统）。这种数控系统电路复杂，元器件数量较多，功能扩充难以实现，可靠性低，维修困难。现代数控系统都采用小型计算机或微型计算机控制加工功能，实现数字控制，因此称为计算机数控系统（computer numerical control，CNC）。计算机数控系统在控制功能、精度、可靠性等方面相比硬件数控系统有很大的改善，而且其体积大大缩小。所以，在本书中所出现的“数控”或“数控系统”都是指计算机数控系统。

(2) 数控机床

所谓数控机床（numerical control machine tools，NCMT），就是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的机床，也就是装备有计算机数控系统的自动化机床。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置，经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图样要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种零件的加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了

现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

(3) 数控加工

数控加工 (numerical control processing, NCP)，是指在数控机床上进行工件切削加工的一种工艺方法，即根据工件图样和工艺要求等条件，编制工件数控加工程序并输入数控系统，以控制机床的刀具与工件的相对运动，从而实现工件的加工。加工的过程包括走刀、换刀、变速、变向、停车等，都是自动完成的。

二、数控车床的工作原理及组成

(1) 数控车床的工作原理

数控车床是一种高度自动化的机床，是用数字化的信息来实现自动化控制的，将与加工零件有关的信息，如工件与刀具相对运动轨迹的尺寸参数（进给执行部件的进给尺寸）、切削加工的工艺参数（主运动和进给运动的速度、背吃刀量等），以及各种辅助操作（主运动变速、刀具更换、切削液打开停止、工件夹紧松开等）等加工信息，用规定的文字、数字和符号组成代码，按一定的格式编写成加工程序，将加工程序通过控制介质输入到数控装置中，由数控装置经过分析处理后，发出相对应的信号和指令控制机床进行自动加工。其工作原理如图 1-1 所示。数控车床工作的原理与过程通过下述的数控车床组成可得到更明确的说明。

(2) 数控车床的组成

数控车床主要由数控程序及程序载体、输入装置、数控装置、伺服驱动及位置检测装置、辅助控制装置、机床本体等几部分组成，具体说明见表 1-1。

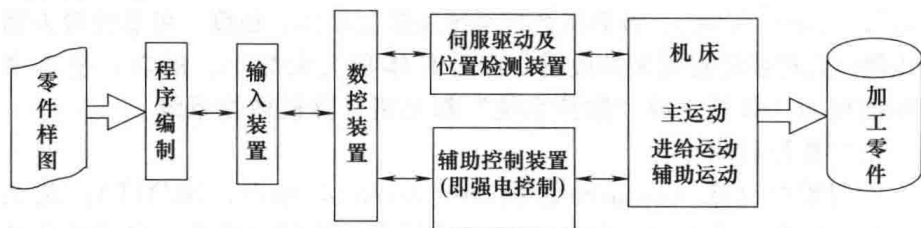


图 1-1 数控车床工作原理

三、数控车床的功能

数控车床又称 CNC 车床，能自动地完成对轴类与盘类零件内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹等的切削加工，并能进行切槽、钻孔、扩

孔和铰孔等工作。数控车床加工精度高、稳定性好、加工灵活、通用性强,能适应多品种、小批生产自动化的要求,特别适合加工形状复杂的轴类或盘类零件。

表 1-1 数控车床的组成

类型	说 明
数控程序及程序载体	数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系中的相对位置,即零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程或 CAD/CAM 设计 编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型
输入装置	输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序可通过键盘直接输入数控系统,也可以由编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中 零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时);另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工
数控装置	数控装置是数控车床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。数控装置一般由专用(或通用)计算机、输入输出接口板及可编程序控制器(programmable logic controller, PLC)等组成
伺服驱动及位置检测装置	伺服驱动装置接收来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素。伺服驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构 位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动
辅助控制装置	辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和起停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动、停止,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台分度等开关辅助动作。可编程逻辑控制器可用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能等进行控制,具有响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改程序方便并可直接启动机床开关等特点,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置
机床本体	数控机床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。与传统的车床相比,数控车床的结构强度、刚度和抗振性,传动系统和刀具系统的部件结构,操作机构等方面都发生了很大的变化,其目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控车床的效能

从总体上看，数控车床没有脱离卧式车床的结构形式，其结构上仍然是由主轴箱、刀架、进给系统、床身以及液压、冷却、润滑系统等部分组成，只是数控车床的进给系统与卧式车床的进给系统在结构上存在着本质的差别。卧式车床的进给运动是经过交换齿轮架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动的，而数控车床是采用伺服电动机经滚珠丝杠传到滑板和刀架，实现 Z 向（纵向）和 X 向（横向）进给运动，其结构较卧式车床大为简化。如图 1-2 所示为数控车床的结构。由于数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电动机驱动，所以它的传动链短，不必使用交换齿轮、光杠等传动部件。伺服电动机可以直挂，与丝杠连接带动刀架运动，也可以用同步齿形带连接。多功能数控车床一般采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴，按控制指令作无级变速，所以数控车床主轴箱内的结构也比卧式车床简单得多。

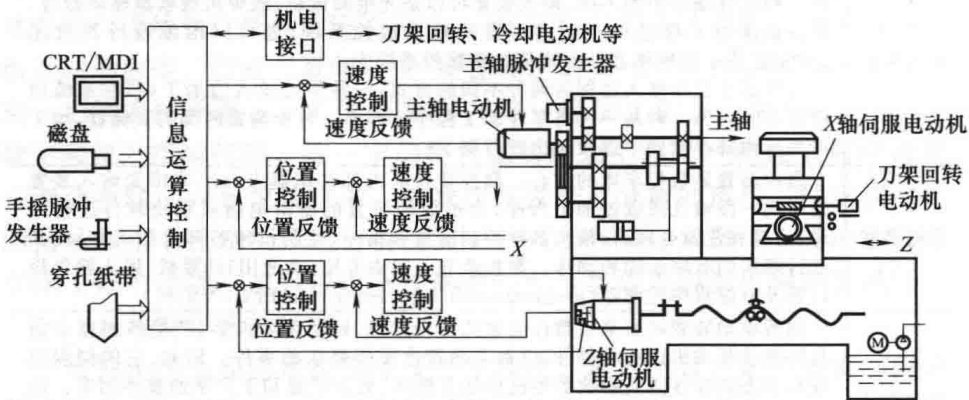


图 1-2 数控车床结构

第二节 数控车床特点、布局及分类

一、数控车床的特点

数控车床的特点见表 1-2。

表 1-2 数控车床的特点

特点	说 明
自动化程度高	数控车床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，劳动条件也得到相应的改善

续表

特点	说 明
具有加工复杂形状的能力	数控车床可用于加工手工难以控制尺寸的零件,如外形轮廓为椭圆、内腔为成型面的零件;数控车床可以对卧式车床难以加工的复杂型面进行加工
加工适应性强	利用数控车床加工改型零件,只需要重新编制程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和量具,更不需要重新调整机床。因此,数控车床可以快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。它不仅缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用
加工精度高,质量稳定	数控车床是以数字形式给出指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量)一般达到了 0.001mm ,也就是 $1\mu\text{m}$,而进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控车床能达到比较高的加工精度,加工质量稳定。这是由数控车床结构设计采用了必要的措施以及具有机电结合的特点决定的。首先在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构及各种消除间隙的结构等,使机械传动的误差尽可能小;其次采用了软件精度补偿技术,使机械误差进一步减小;三是用程序控制加工,减少了人为因素对加工精度的影响
生产效率高	数控车床自动化程度高,具有自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且工序较为集中。数控车床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最有利的切削用量,良好的结构刚性允许数控车床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了在线加工时间。数控车床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,由于选用了很高的空行程运动速度,因而消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多,大大地提高了劳动生产率,缩短了生产周期
有利于生产管理的现代化	用数控车床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作,这些特点都有利于使生产管理现代化
不足之处	数控车床也有其局限性,主要体现在要求操作者技术水平高、数控车床价格高、加工成本高、技术复杂、对加工编程要求高、加工中难以调整、维修困难等
数控加工的适应性	从经济角度考虑,数控车床最适用于加工以下零件: ①多品种、小批量零件 ②形状复杂、精度要求较高,在普通机床上无法加工或难以加工的零件 ③需要多次更改设计后才能定型的零件 ④价格昂贵,不允许报废的零件 ⑤需要最小生产周期的零件

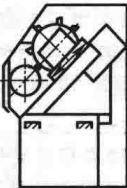
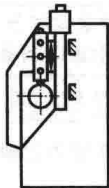
二、数控车床的布局

数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与卧式车床基本一致,但刀架和床身导轨的布局形式却发生了根本的变化。这是因为刀架和床身导轨的布局形式不仅影响机床的结构和外观,还直接影响数控

车床的使用性能，如刀具和工件的装夹、切屑的清理以及机床的防护和维修等。

数控车床床身导轨与水平面的相对位置有四种布局形式，见表 1-3。

表 1-3 数控车床床身导轨与水平面的相对位置

特 点	图 示	说 明
水平床身		水平床身的工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度。但水平刀架增加了机床宽度方向的结构尺寸,且床身下部排屑空间小,排屑困难
水平床身斜刀架		水平床身配上倾斜放置的刀架滑板,这种布局形式的床身工艺性好,机床宽度方向的尺寸也较水平配置滑板的小且排屑方便
斜床身		斜床身的导轨倾斜角度分别为 30° 、 45° 、 75° 。它和水平床身斜刀架滑板都因具有排屑容易、操作方便、机床占地面积小、外形美观等优点,而被中小型数控车床普遍采用
立床身		从排屑的角度来看,立床身布局最好,切屑可以自由落下,不易损伤导轨面,导轨的维护与防护也较简单,但机床的精度不如其他三种布局形式的精度高,故运用较少

三、数控车床的分类

数控车床品种繁多，规格不一，分类方法也较多，其具体分类如下。

(1) 按数控车床主轴位置分类

① 立式数控车床 立式数控车床的主轴垂直于水平面，并有一个

直径很大的圆形工作台，供装夹工件用。这类数控机床主要用于加工径向尺寸较大、轴向尺寸较小的大型复杂零件。

② 卧式数控车床 卧式数控车床的主轴轴线处于水平位置，它的床身和导轨有多种布局形式，是应用最广泛的数控车床。

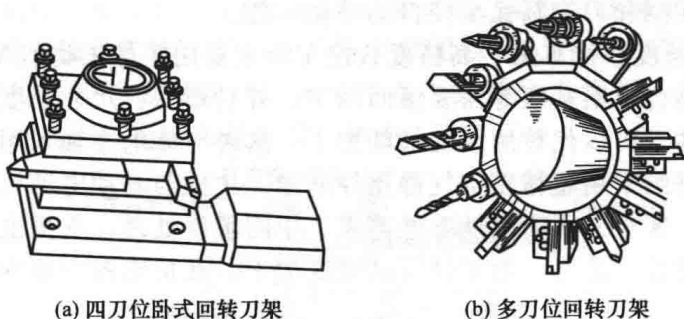
(2) 按加工零件的基本类型分类

① 卡盘式数控车床 这类数控车床未设置尾座，主要适于车削盘类（含短轴类）零件，其夹紧方式多为电动液压控制。

② 带尾座式数控车床 这类数控车床设置有普通尾座或数控尾座，主要适合车削较长的轴类零件及直径不太大的盘、套类零件。

(3) 按刀架数量分类

① 单刀架数控车床 普通数控车床一般都配置有各种形式的单刀架，如四刀位卧式回转刀架，如图 1-3（a）所示；多刀位回转刀架，如图 1-3（b）所示。

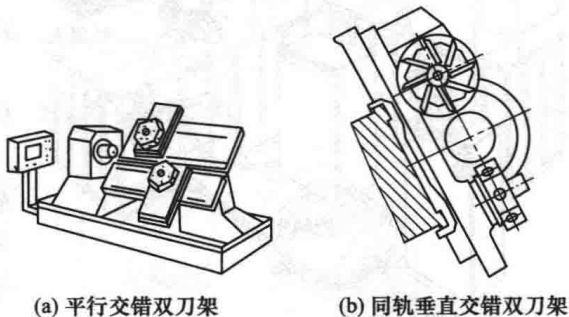


(a) 四刀位卧式回转刀架

(b) 多刀位回转刀架

图 1-3 单刀架形式的自动回转刀架

② 双刀架数控车床 这类数控车床中，双刀架的配置可以是平行交错结构，如图 1-4（a）所示；也可以是同轨垂直交错结构，如图 1-4（b）所示。在数控车床上，各种刀架转换刀具的过程都是：接收转位指令→松开夹紧机构→分度转位→粗定位→精定位→锁紧→发出动作完成回答信号。驱动刀架工作的动力有电动和液压两类。



(a) 平行交错双刀架

(b) 同轨垂直交错双刀架

图 1-4 双刀架形式的自动回转刀架

(4) 按数控车床的档次分

① 经济数控车床 经济数控车床一般是用单板机或单片机进行控制，属于低档数控车床。机械部分由卧式车床略做改进而成。主电动机一般不做改动，进给多采用步进电动机，开环控制，四刀位回转刀架。经济数控车床没有刀尖圆弧半径自动补偿功能，所以编程时计算比较烦琐，加工精度较低。

② 普及型数控车床 普及型数控车床一般有单显 CRT、程序储存和编辑功能，属于中档数控车床。多采用开环或半闭环控制。它的主电动机多采用变频调速电动机，所以它的显著缺点是没有恒线速度切削功能。

③ 高级数控车床 高级数控车床主轴一般采用能调速的直流或交流主轴控制单元来驱动，进给采用伺服电动机，半闭环或闭环控制，属于较高档次的数控车床。多功能数控车床具备的功能很多，特别是具备恒线速度切削和刀尖圆弧半径自动补偿功能。

④ 高精度数控车床 高精度数控车床主要用于加工类似 VTR 的磁鼓、磁盘的合金铝基板等需要镜面加工，并且形状、尺寸精度都要求很高的零部件，可以代替后续的磨削加工。这种车床的主轴采用超精密空气轴承，进给采用超精密空气静压导向面，主轴与驱动电动机采用磁性联轴器等。床身采用高刚性厚壁铸铁，中间填砂处理，支撑也采用空气弹簧三点支撑。总之，为了进行高精度加工，在机床各方面均采取了很多措施。

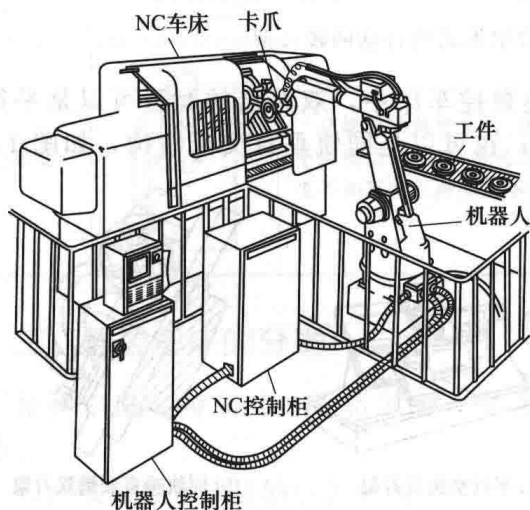


图 1-5 FMC 车床

⑤ 高效率数控车床 高效率数控车床主要有一个主轴两个回转刀架及两个主轴两个回转刀架等形式，两个主轴和两个回转刀架能同时工作，提高了机床加工效率。

⑥ FMC 车床 FMC 车床实际上是一个由数控车床、机器人等构成的一个柔性加工单元。它除了具备车削中心的功能外，还能实现工件的搬运、装