



21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材
数控技术

数控车削编程

与加工技术

■ 主 编 赵太平
■ 副主编 辛 岚 张吉玲

Shukong chexue biancheng
yu jiagong jishu

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

数控车削编程 与加工技术

主 编 赵太平
副主编 辛 岚 张吉玲

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是高等职业院校数控技术专业规划教材之一,是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养方案的指导思想和数控车工国家职业技能鉴定标准编写的。

全书共分10章,围绕数控车床的设备、加工工艺、编程和操作等核心内容,以数控车削加工的技术应用为主线。前9章主要内容包括数控车床工作原理和组成,数控车削加工工艺制定,FANUC系统数控车床编程技术和操作技能,每个知识点都配有相应的实例,实例均有详细工艺分析、装夹方案、刀具选择、基点节点数值计算和完整程序及说明。第10章为综合课题,主要包括一些典型零件数控车削加工工艺、编程和操作技术的综合应用。

本书不仅适合作为高等职业院校数控技术专业、机械专业和机电专业教学用书,而且还可以作为从事数控车削工艺、编程等方面的工程技术人员和操作人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控车削编程与加工技术 / 赵太平主编. —北京:北京理工大学出版社, 2006.8

ISBN 7-5640-0781-8

I. 数… II. 赵… III. 数控机床: 车床-车削-程序设计
IV. TG519.102.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第081224号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 271千字

版 次 / 2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

印 数 / 1~3000册

定 价 / 20.00元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空間，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、机电一体化技术、现代控制技术等于一体的多学科高新制造技术，数控技术水平高低、数控机床拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。中国加入 WTO 后逐渐成为制造业大国，数控机床的应用已日趋普及，企业对熟练掌握现代数控机床的编程、操作、维修的高技能人才需求也日益增加。为了满足职业院校数控技术相关专业教学需要和适应中、高级数控技术人员学习、培训需要，编者根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范，结合自身多年的教学和实践经验，以及教学改革的具体要求编写了本书。

本书围绕数控车床的设备、加工工艺、编程和操作等核心内容，以数控车削加工的技术应用为主线，全面介绍了数控车床的结构组成、车削加工工艺、FANUC-0i 数控系统的编程技术以及数控车床的操作等。尤为重要的是本书各知识点都编入了相应实例，将数控车削加工工艺（工艺路线确定、装夹方案选择、刀具选用、切削用量设置等）、程序编制方法和数控车床操作等内容进行了有机结合，注重培养学习者对所学知识的实际应用能力和综合应用能力。

本书的编写特点如下：

1. 以“数控车削加工技术应用与操作能力的培养”为主线，以应用为目的，专业知识内容以“必需”和“够用”为选材的度；
2. 采用理论与实践一体化教学和案例式教学模式组织编写，通过操作实训和图文结合来培养学习者掌握数控专业知识的综合应用能力和操作技能技巧；
3. 结合数控车床操作工职业资格考核标准进行实训操作的强化训练，注重提高学习者

的实践能力和岗位就业竞争力。

本书通俗易懂，重点突出，书中节选了大量图样，内容清晰明了，不仅适合作为高等职业院校数控技术应用相关专业教学用书，而且还可以作为从事数控车削工艺、编程等方面的工程技术人员和操作人员的参考书。

本书由江苏联合职业技术学院常州铁道分院赵太平担任主编并统稿，常州机电职业技术学院辛岚、张吉玲担任副主编。参加编写的有江苏联合职业技术学院常州铁道分院赵太平（第2、3、5、7、9章）、杨晓旻（第6章）、杨红霞（第7、8章），常州机电职业技术学院辛岚（第1、4章）、张吉玲（第10章）。

本书在编写过程中得到江苏联合职业技术学院常州铁道分院胡劲松、喻佩佩等老师的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。在编写过程中参考了数控技术方面诸多论述、教材和数控车床相关手册，在此对参考文献中的各位作者深表谢意。

由于时间仓促，水平有限，本书难免存在疏漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 数控车床概述	(1)
1.1 数控车床组成	(1)
1.1.1 数控车床结构	(1)
1.1.2 数控车床组成	(2)
1.2 数控车床分类及特点	(6)
1.2.1 数控车床布局	(6)
1.2.2 数控车床的分类	(7)
1.2.3 数控车床的特点	(9)
思考与练习	(10)
第 2 章 数控车削加工工艺	(11)
2.1 数控车削加工工艺概述	(11)
2.2 数控车削加工工艺制定	(12)
2.3 数控车削加工工序划分与设计	(16)
2.4 数控车削加工工艺文件	(28)
2.5 数控车削加工工艺制定实例	(30)
思考与练习	(33)
第 3 章 数控车床编程基础	(35)
3.1 数控车床程序编制概述	(35)
3.1.1 程序编制方法和步骤	(35)
3.1.2 常用数控系统	(36)
3.1.3 数控系统主要功能	(38)
3.1.4 数控车床坐标系	(39)
3.1.5 数控车床编程特点	(42)
3.1.6 数控程序编制中的数值计算	(42)

3.2	FANUC 系统数控车床编程	(44)
3.2.1	程序结构与格式	(44)
3.2.2	数控系统常用功能	(45)
	思考与练习	(50)
第4章	基本功能指令编程及应用	(51)
4.1	快速定位与直线插补指令	(51)
4.2	圆弧插补与暂停指令	(56)
	思考与练习	(60)
第5章	FANUC 系统数控车床操作	(61)
5.1	数控车床操作面板	(61)
5.2	数控车床操作方法	(68)
5.2.1	数控车床操作流程	(68)
5.2.2	数控车床对刀	(70)
5.2.3	设定工件坐标系	(77)
	思考与练习	(80)
第6章	循环指令	(81)
6.1	单一固定循环指令	(81)
6.2	复合固定循环指令	(89)
	思考与练习	(105)
第7章	螺纹编程及应用	(108)
7.1	普通螺纹加工工艺	(108)
7.2	螺纹切削指令	(114)
7.2.1	单行程螺纹切削指令 (G32)	(114)
7.2.2	螺纹切削单一固定循环 (G92)	(117)
7.2.3	螺纹切削复合固定循环 (G76)	(120)
7.3	多线螺纹的加工	(123)
7.4	编程实例	(126)
	思考与练习	(132)

第 8 章 利用子程序编程及应用	(133)
8.1 子程序	(133)
8.2 子程序编程实例	(135)
思考与练习	(142)
第 9 章 用户宏程序及应用	(144)
9.1 A 类宏程序编程	(145)
9.2 B 类宏程序编程	(150)
思考与练习	(160)
第 10 章 典型零件的编程	(162)
10.1 综合课题 1	(162)
10.2 综合课题 2	(167)
10.3 综合课题 3	(173)
10.4 综合课题 4	(180)
10.5 综合课题 5	(187)
思考与练习	(202)
参考文献	(205)

第 1 章

数控车床概述

1.1 数控车床组成

数控 (Numerical Control, NC) 机床, 顾名思义, 是一类由数字程序控制的机床。数控机床是将事先编好的程序输入到机床的专用计算机中, 由计算机指挥机床各坐标轴的伺服电机控制机床各运动部件的先后动作、速度和位移量, 并与选定的主轴转速相配合, 从而加工出各种不同工件的设备。数控机床种类较多, 如数控车床、数控铣床、加工中心、数控电火花机床、数控线切割机床等。

数控车床是数字程序控制车床的简称, 其结构如图 1-1 所示。数控车床能自动完成轴类及盘类零件内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺紋以及各种回转曲面切削加工, 并能进行切槽、钻孔、扩孔和铰孔等工作。它是目前国内使用量最大, 覆盖面最广的一种数控机床。

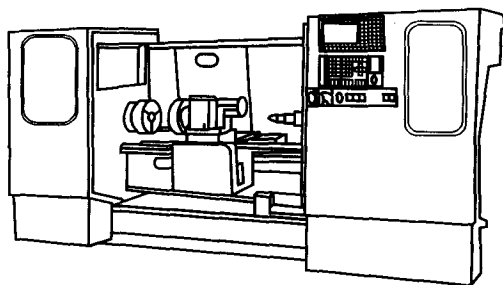


图 1-1 数控车床

1.1.1 数控车床结构

数控车床与普通卧式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、床身以及液压、气压、润滑系统等部分组成。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架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动, 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) 的进给运动。如图 1-2 所示, 数控车床刀架的两个运动方向分别由两台伺服电机驱动, 不必使用交换齿轮、光杠等传动部件, 传动链短。伺服电动机可以直挂与丝杠连接来带动刀架运动, 也可以用同步齿形带连接。多功能数控车床一般采用交流或直流主轴控制单元来控制主轴, 按控制指令实现无级变速, 与主轴之间无需再用多级齿轮副来进行变速, 其主轴箱内的结构较卧式车床简单得多。因此, 数控车床的结构大为简

化，其精度和刚度大大提高。

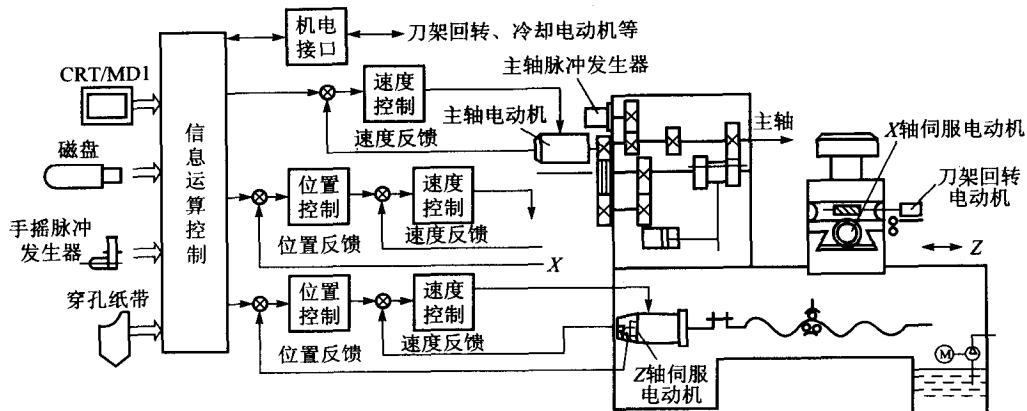


图 1-2 数控车床结构示意图

1.1.2 数控车床组成

数控车床主要由控制介质、输入/输出装置、数控系统、伺服系统、车床本体和辅助装置等组成，如图 1-3 所示。

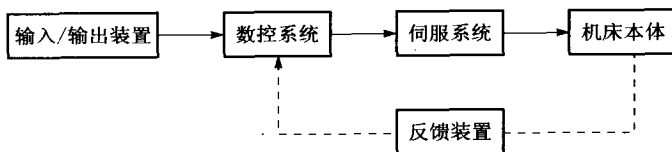


图 1-3 数控车床系统组成框图

1. 控制介质

控制介质又称为信息载体，是人和数控机床之间联系的中间媒介物质。程序的存储介质有纸带、磁带、光盘等。

2. 输入/输出装置

存储介质上记载的加工信息需要通过输入装置传送给机床数控系统，内存中的数控加工程序可以通过输出装置传送到存储介质上。输入/输出装置是机床和外部设备的接口，目前主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS232 串行通信口等。

3. 数控系统

数控系统是数控机床实现自动加工的核心，由 CPU、存储器、控制器、PLC、各类输入/输出接口等组成。主要控制对象是位置、角度、速度等机械量，以及温度、压力等物理量。

控制方式可分数据运算处理控制和时序逻辑控制两类。数据运算处理控制是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等处理后，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、速度反馈信号比较，从而控制各坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由 PLC 来完成，根据机床加工过程中各动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判断，从而控制机床各部件按顺序工作。

4. 伺服系统

伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电机、驱动控制系统和检测与反馈装置等组成。伺服电机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动系统的功率放大后驱动电机运转，通过机械传动装置拖动刀架运动，并可对其位置、速度等进行控制。

(1) 伺服系统的类型

伺服系统一般可根据有无检测反馈环节分为开环系统、闭环系统和半闭环系统。

① 开环伺服系统。开环伺服系统中没有位置、速度等检测反馈装置，如图 1-4 所示，由步进电机驱动线路和步进电机组成。每一个脉冲信号使步进电机转动一个角度，通过滚轴丝杠推动工作台移动一定的距离。这类系统的信息流是单向的，即进给脉冲发出后，实际位移值不再反馈回来，所以称为开环伺服系统。

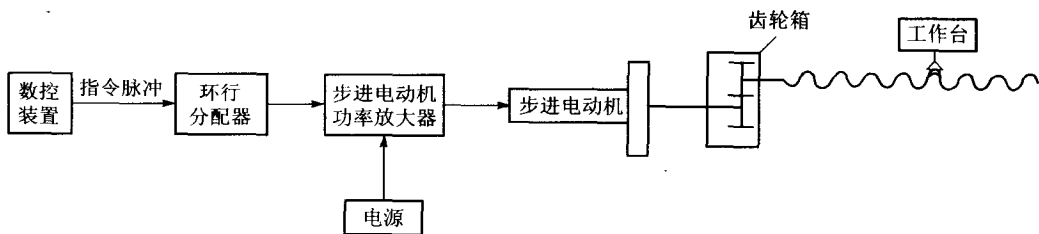


图 1-4 开环伺服系统框图

这种伺服机构比较简单，工作稳定，操作方法容易掌握，但精度和速度的提高受到限制，如果切削负荷突变或脉冲频率突变（如加速、减速），则数控运动部件可能发生“失步”，即丢失移动数目的进给指令脉冲，从而造成进给运动速度和位移误差。所以，这类控制方式仅限于精度不高、轻载负荷变化不大的经济型中、小数控车床。

② 半闭环伺服系统。半闭环伺服系统是由比较线路、伺服方法线路、伺服电机、位置检测和速度检测装置组成，如图 1-5 所示。

其位置检测元件安装在丝杠或伺服电机的端部，利用丝杠的回转角计算工作台的位移量，再将该值与指令值进行比较，若存在误差，则控制伺服电机朝消除该误差值的方向转动，直到消除误差值为止。这种控制系统是利用丝杠的回转角间接测出工作台的位置，位于检测装置之后的传动件和执行件不在反馈环路内，所以称为半闭环伺服系统。

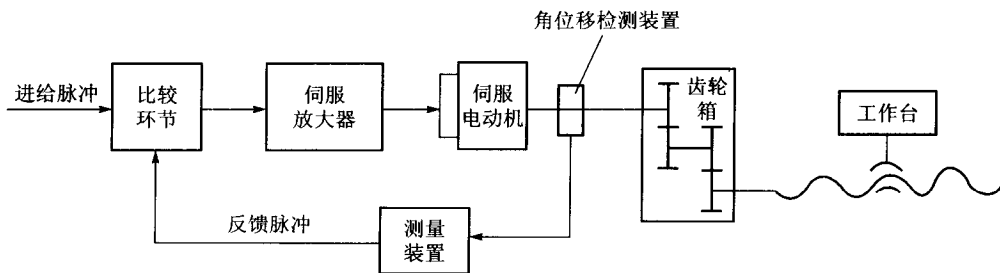


图 1-5 半闭环伺服系统框图

常用的伺服电机有交、直流伺服电动机和电液伺服电动机。位置检测元件有旋转变压器、光电脉冲发生器和圆光栅等。这种伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构，并且它的环路中非线性因素少，容易整定，可以比较方便地通过补偿提高位置控制精度，而且电气控制部分和执行机械部分相对独立，系统通用性强，维修维护比较容易，因此在数控车床中应用最为广泛。

③ 闭环伺服系统。闭环伺服机构与半闭环伺服机构基本相同，如图 1-6 所示，只是将位置检测元件安装在工作台上，可直接测出工作台的实际位置，这种控制系统因其将最终的执行部件的位移量进行反馈、比较和补偿，所以称为闭环伺服系统。

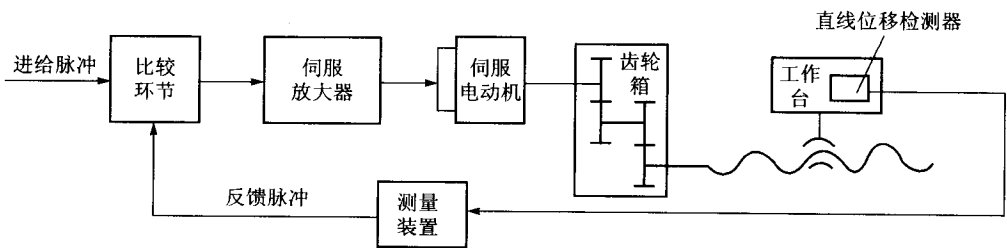


图 1-6 闭环伺服系统框图

闭环伺服系统所用的伺服电机与半闭环相同，位置检测元件有长光栅、长感应同步器或长磁栅。它的反馈精度高，但调试难度大，维护维修比较困难，常用于高精度和大型数控车床。

(2) 位置检测元件的类型

在闭环和半闭环伺服系统中，位置检测元件是其重要的组成部分，对提高数控车床的精度起到决定性作用，为此，检测元件应满足的要求是：工作可靠，抗干扰性强，在满足数控车床精度和速度要求的前提下，成本低、维修方便。常用检测元件类型见表 1-1。

表 1-1 位置检测元件类型表

类型	数字式		模拟式	
	增量式	绝对式	增量式	绝对式
旋转型	脉冲编码器 圆光栅	编码盘	旋转变压器 圆感应同步器 圆磁栅	多极旋转变压器 三速圆感应同步器
直线型	长光栅 激光干涉仪	编码尺	直线感应同步器 磁栅	绝对值式磁尺 三速感应同步器

5. 车床本体

车床本体是加工运动的实际机械机构，主要包括：主运动机构、进给运动机构和支承部件（如床身、立柱）等。

数控车床机械传动机构与普通车床相比已大大简化，除了部分主轴箱内的齿轮传动外，取消了挂轮箱、进给箱、溜板箱和绝大部分的传动机构。

① 主运动机构。主运动机构包括主轴部件和主轴驱动。主运动的最高与最低转速、转速范围、传递功率和动力特性，决定数控车床的切削效率和加工工艺能力。主轴组件的回转精度、刚度、抗振性和热变形，直接影响加工零件的尺寸、位置精度和表面质量等。

② 进给运动机构。进给运动机构包括引导和支承执行部件的导轨、丝杠螺母副等。它的精度、灵敏度和稳定性将直接影响到工件的加工精度。

③ 床身。数控车床的床身除了采用传统的铸造床身外，也可采用加强钢筋板或钢板焊接结构，以减轻其结构重量，提高其刚度。

④ 导轨。数控车床上的运动部件都是沿着它的床身、立柱、横梁等部件上的导轨而运行，导轨起支承和导向作用。导轨在很大程度上决定数控车床的精度、刚度和精度保持性。目前，数控车床上的导轨形式主要有滑动导轨、滚动导轨和静压导轨。

⑤ 刀架。刀架是数控车床普遍采用的一种简单的换刀装置。刀架的结构形式如图 1-7 和图 1-8 所示。

刀架的换刀过程是：接受换刀指令→松开夹紧机构→分度定位→粗定位→精定位→锁紧→发出动作完成回答信号。驱动刀架的工作动力有电动和液压两种。

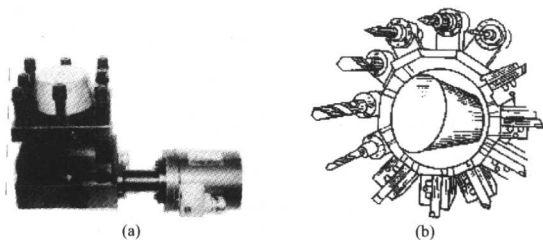


图 1-7 基本结构的自动转位刀架
(a) 四工位刀架；(b) 转塔式刀架

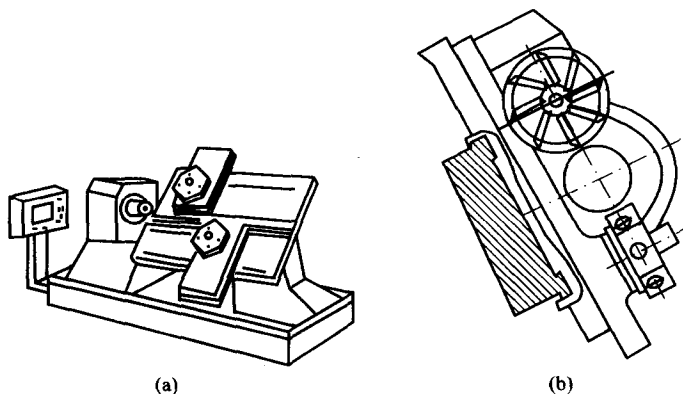


图 1-8 组合形式的自动转位刀架
(a) 平行交错双刀架；(b) 垂直交错双刀架

6. 辅助装置

辅助装置是指数控车床上的一些配套部件，如液压气压装置、润滑系统、自动排屑装置等。

1.2 数控车床分类及特点

1.2.1 数控车床布局

根据床身和导轨相对于水平面位置的不同，数控车床的布局通常有四种形式。

① 水平床身。如图 1-9(a) 所示，水平床身的工艺性好，便于导轨面的加工。水平床身上配有水平放置的刀架，可以提高刀架的运动精度。但水平床身下部空间小，排屑困难。从结构尺寸上看，刀架水平放置使滑板横向尺寸较大，加大了机床宽度方向的结构尺寸。

② 水平床身斜导轨。如图 1-9(b) 所示，这种布局形式一方面具有水平床身工艺好的特点，另一方面机床宽度尺寸较水平配置导轨的要小，且排屑容易。

③ 斜床身。如图 1-9(c) 所示，斜床身的导轨倾斜角分别为 30° 、 45° 、 60° 和 75° 等。它具有排屑容易、操作方便、机床占地面积小、外形美观等优点，但大的倾斜角度使得导轨的导向性和受力变差，因此，斜床身在中小型车床中运用较为普遍。

④ 立床身。如图 1-9(d) 所示，从排屑的角度看，立床身布局最好，切屑自由落下，不易损伤导轨面，导轨的维护和防护比较简单，但机床的精度不如其他三种布局形式，所以运用较少。

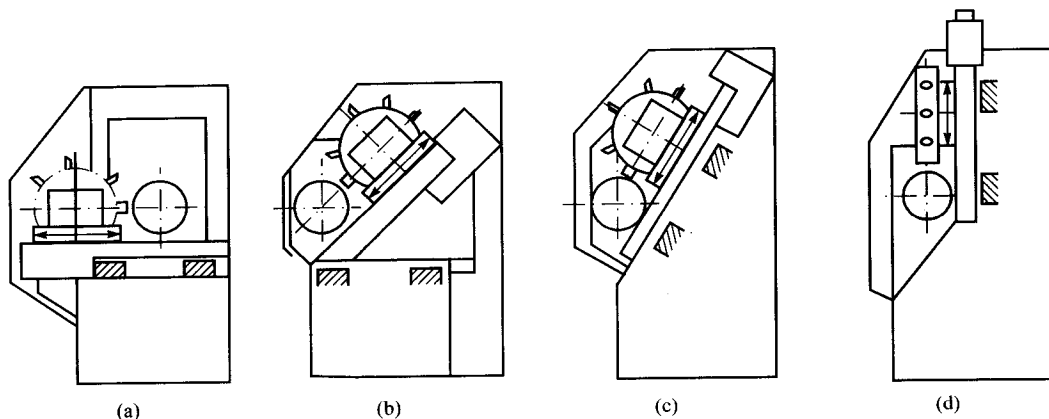


图 1-9 数控车床的布局形式

(a) 水平床身；(b) 水平床身斜导轨；(c) 斜床身；(d) 立床身

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结构和外观，而且直接影响数控车床的使用性能。

1.2.2 数控车床的分类

1. 按加工零件的基本类型分类

① 卡盘式数控车床。这类数控车床未配置尾座，适合车削盘类零件。其夹紧方式多为电动或液压控制，卡盘结构多数具有卡爪。

② 顶尖式数控车床。这类数控车床配有普通尾座或液压尾座，适合车削较长的轴类零件以及直径不大的盘、套类零件。

2. 按主轴的配置形式分类

① 卧式数控车床。其主轴轴线处于水平位置，床身和导轨有多种布局形式，是应用最广泛的数控车床。

② 立式数控车床。其主轴轴线处于垂直位置，并有一个直径很大的圆形工作台供装夹工件用。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。

3. 按数控系统功能分类

① 经济型数控车床。经济型数控车床是以配置经济型数控系统为特征，常用于开环或半闭环伺服系统控制，进给多采用步进电机，主轴多用变频调速，机床结构与普通车床相似。如图 1-10 所示，这类机床结构简单，价格低廉，无刀尖圆弧半径自动补偿和恒线速度切削等功能。

② 全能型数控车床。全能型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，采用伺服电机进给，半闭环或闭环控制，数控系统功能多，如图 1-11 所示。