



数控车削加工技术

(第2版)

Shukong Chexiao Jiagong Jishu

◎主 编 刘跃鹏 姜慧芳



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数控车削加工技术

(第2版)

主 编 刘跃鹏 姜慧芳
副主编 黄文娟 陈小朝 易志斌

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了数控车床的分类与应用、数控车床的组成、数控车床的加工工艺、数控编程的基础知识、数控车床自动编程技术,详细讲解了 FANUC 0-TD 系统和 SINUMERIK 802S 系统的编程与加工技术,并参照劳动与社会保障部制定的国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范,提供了初、中、高级数控车工典型的考工训练课题。本书采用国家最新标准,突出实践性、实用性和先进性。

本书既可作为高等院校数控技术专业、机电一体化专业、机械制造专业和相关专业的教学用书,也可作为企业培训数控加工技术人员的培训教材以及相关技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控车削加工技术 / 刘跃鹏, 姜慧芳主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-5640-9347-1

I. ①数… II. ①刘… ②姜… III. ①数控机床-车床-车削-加工工艺-高等学校-教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 121437 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 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 336 千字

版 次 / 2014 年 6 月第 2 版第 1 次印刷

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 42.00 元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本书是根据国家教育部数控技术应用专业技能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,结合编者多年的教学 and 实践经验编写而成。

随着我国工业化进程的加速、产业结构的调整和升级,数控技术在现代企业大量应用,使制造业朝着数字化的方向迈进。同时经济发展对高素质技能人才的需求不断上升,当前急需一大批能够熟练掌握数控技术基本知识和能力的数控应用型高素质人才。

《数控车削加工技术》是数控、模具、机电类专业的一门重要的职业技能课程。为了适应机械制造业发展的新形势,迎接高职高专面向 21 世纪的教学改革,为社会主义现代化建设培养越来越多的技能型技术应用人才,我们编写了本书。内容包括数控车床的基础知识、数控车削编程基础、数控车削加工工艺等,从与实践相结合、适应企业实际需求的角度出发,以掌握数控加工编程与操作为目标,重点介绍了当前比较流行的 FANUC0-TD 系统和 SINUMERIK 802S 系统的编程与操作,详细介绍了数控车削加工自动编程技术,将编程指令的讲解融入简单的程序中,使读者易于理解与应用。本书还提供有数控车削加工初级、中级、高级考工训练课题,并配有加工工艺和评分表供参考。

该书内容的编写从理论到实践,由浅入深,图文并茂,通俗易懂,重点突出,注重实际操作,使学习者真正掌握数控加工基础知识、编程和操作技术。主要体现了以下几个方面的特点:

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。

本书特别适用于高等院校数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业和相关专业的教学用书，也可作为这些专业的学生参加数控加工国家职业技能鉴定考核培训的参考教材和数控机床技术工人的培训教材，同时也是一本有关企业从事数控机床应用工程技术人员参考书。

本书在编写过程中得到了多方面的帮助，参阅了大量国内外的专著、教材、论文等文献资料，在此一并致谢。由于编者水平有限，数控技术发展迅速，本书难免有不足之处，敬请各位读者同仁提出宝贵意见。

编者

目 录

第1章 数控车床概述	(1)
1.1 数控车床的组成	(1)
1.2 数控车床的工作过程	(3)
1.3 数控车床的特点	(3)
1.3.1 数控车床的结构特点	(3)
1.3.2 数控车床的加工特点	(4)
1.3.3 数控车床的应用特点	(5)
1.4 数控车床的分类	(6)
1.4.1 按车床主轴位置分类	(6)
1.4.2 按加工零件的基本类型分类	(7)
1.4.3 按刀架数量分类	(7)
1.4.4 按功能分类	(7)
1.5 数控车床加工的主要对象	(8)
思考与练习	(10)
第2章 数控车削编程基础	(11)
2.1 数控编程概述	(11)
2.1.1 数控编程的内容和步骤	(11)
2.1.2 数控编程的方法	(12)
2.1.3 数控车床编程的特点	(13)
2.2 数控机床的坐标系	(13)
2.2.1 标准坐标系及其运动	(14)
2.2.2 机床坐标系与工件坐标系	(15)
2.2.3 数控车床的坐标系	(16)
2.3 常用功能指令	(17)
2.3.1 准备功能指令	(18)

2.3.2 辅助功能指令	(20)
思考与练习	(22)
第3章 数控车削加工工艺	(23)
3.1 数控车削加工的工艺特点	(23)
3.2 数控车削加工工艺性分析	(23)
3.2.1 零件图分析	(24)
3.2.2 结构工艺性分析	(25)
3.3 数控车削加工工艺的制定	(25)
3.3.1 选择加工内容	(25)
3.3.2 划分加工阶段	(26)
3.3.3 划分工序	(26)
3.3.4 加工顺序的安排	(27)
3.3.5 进给路线的确定	(29)
3.3.6 定位与夹紧方案的确定	(32)
3.3.7 夹具的选择	(32)
3.3.8 刀具的选择	(33)
3.3.9 切削用量的选择	(37)
3.4 典型零件的车削加工工艺分析	(40)
思考与练习	(44)
第4章 FANUC 0-TD 系统车床的编程与操作	(45)
4.1 FANUC 0-TD 系统车床概述	(45)
4.1.1 CYNC-400P 型数控车床	(45)
4.1.2 FANUC 0-TD 系统程序结构	(45)
4.1.3 工件坐标系设定	(46)
4.2 FANUC 0-TD 系统车床准备功能指令	(47)
4.2.1 编程方式	(49)
4.2.2 编程单位	(49)
4.2.3 自动返回参考点和从参考点返回	(49)
4.2.4 快速点定位	(50)
4.2.5 直线插补	(50)
4.2.6 圆弧插补	(51)
4.2.7 程序暂停	(53)

4.2.8	单段螺纹切削	(53)
4.2.9	刀具半径补偿	(55)
4.2.10	工件坐标系选择	(56)
4.2.11	单一形状固定循环	(56)
4.2.12	螺纹切削循环	(58)
4.2.13	复合循环指令	(59)
4.2.14	用户宏程序	(64)
4.3	FANUC 0-TD 系统车床辅助功能指令	(69)
4.4	FANUC 0-TD 系统车床 F、S、T 功能	(70)
4.4.1	进给速度功能 (F 功能)	(70)
4.4.2	主轴功能 (S 功能)	(71)
4.4.3	刀具功能 (T 功能)	(71)
4.5	FANUC 0-TD 系统车床基本操作	(71)
4.5.1	FANUC 0-TD 型数控系统的控制面板	(72)
4.5.2	FANUC 0-TD 型数控车床的操作面板	(75)
4.6	典型零件编程与加工实例	(77)
	思考与练习	(83)
第 5 章	SINUMERIK 802S 系统车床的编程与操作	(86)
5.1	SINUMERIK 802S 数控系统的程序结构	(86)
5.1.1	程序名	(86)
5.1.2	程序段	(86)
5.1.3	主程序与子程序	(87)
5.2	SINUMERIK 802S 系统车床的准备功能指令	(89)
5.2.1	工件坐标系的设定	(91)
5.2.2	可编程零点偏移	(91)
5.2.3	绝对尺寸/增量尺寸	(92)
5.2.4	公制尺寸/英制尺寸	(93)
5.2.5	直径/半径数据尺寸	(94)
5.2.6	快速移动	(95)
5.2.7	直线插补	(96)
5.2.8	圆弧插补	(99)
5.2.9	中间点圆弧插补	(100)
5.2.10	恒螺距螺纹切削	(101)

5.2.11	返回固定点	(104)
5.2.12	返回参考点	(105)
5.2.13	暂停	(105)
5.2.14	倒角	(106)
5.2.15	倒圆	(107)
5.3	进给率及其单位	(108)
5.3.1	进给率	(108)
5.3.2	进给率单位	(108)
5.4	主轴运动指令	(109)
5.4.1	主轴转速及转向	(109)
5.4.2	主轴转速极限	(109)
5.4.3	恒定切削速度	(110)
5.5	刀具与刀具补偿	(112)
5.5.1	刀具号	(112)
5.5.2	刀具补偿号	(113)
5.5.3	补偿磨损量的应用	(113)
5.5.4	刀具半径补偿	(114)
5.6	SINUMERIK 802S 系统车床的辅助功能指令	(115)
5.7	固定循环	(116)
5.7.1	LCYC93 切槽循环	(116)
5.7.2	LCYC95 毛坯切削循环	(119)
5.7.3	LCYC97 螺纹切削循环	(122)
5.8	R 参数指令编程	(125)
5.8.1	计算参数 R	(125)
5.8.2	程序跳转	(125)
5.9	SINUMERIK 802S 系统车床的基本操作	(129)
5.9.1	CJK6136D 型数控车床	(129)
5.9.2	SINOMERIK 802S 数控车床操作面板	(129)
5.9.3	数控车床操作	(134)
5.10	典型零件编程与加工实例	(139)
	思考与练习	(149)
第6章	车床加工	(151)
6.1	车削加工基础	(151)

6.1.1	车床坐标系	(151)
6.1.2	刀具参数设置	(152)
6.1.3	工件设置	(159)
6.2	车削刀具路径基本操作	(162)
6.2.1	端面车削加工	(163)
6.2.2	粗车加工	(164)
6.2.3	精车加工	(168)
6.2.4	切槽加工	(169)
6.2.5	螺纹车削加工	(176)
6.2.6	钻孔加工	(178)
6.2.7	切断	(180)
6.2.8	快速车削加工	(181)
6.3	零件加工举例	(182)
6.3.1	粗车、精车加工	(182)
6.3.2	切槽、螺纹、钻孔加工	(185)
6.3.3	综合零件加工	(187)
	思考与练习	(193)
第7章	数控车工加工考工综合训练课题	(195)
7.1	数控车工初级课题	(195)
7.2	数控车工中级课题	(210)
7.3	数控车工高级课题	(230)
	参考文献	(251)

第 1 章 数控车床概述

数控车床是用电子计算机数字化信号控制的车床，在国内数量最多，应用最广，约占数控机床总数的 25% 左右。数控车床与普通车床相似，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统、冷却系统和润滑系统等部分组成。但其进给系统与普通车床有本质的区别，传统的普通车床有进给箱和交换齿轮架，而数控车床直接利用伺服电机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架实现进给运动，因而其进给系统的结构可以大为简化。从生产批量上看，数控车床一般适合于多品种和中小批量的生产，但随着数控车床制造成本的降低，目前，不论是国外还是国内，使用数控机床进行大批量生产越来越普遍。

1.1 数控车床的组成

数控车床由 5 大部分组成，如图 1-1 所示。

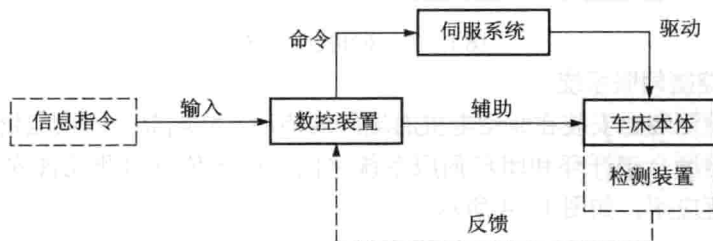


图 1-1 数控车床的组成方框图

1. 车床本体

车床本体是数控机床的机械部件，主要包括主传动系统、进给传动系统等。与普通车床相比，数控车床的主体结构具有刚度好、精度高、可靠性好、热变形小等特点。

2. 数控系统

数控系统是数控车床的控制核心，在数控车床中起指挥作用。现代数控系统通常是带有

专门软件的专用计算机。数控装置接收加工程序等送来的各种信息,经处理和调配后,向驱动机构发出各种指令信息。在执行过程中,其驱动、检测等机构同时将有关信息反馈给数控系统,以便经处理后发出新的执行命令。

3. 伺服系统

伺服系统是数控车床的执行机构,由驱动和执行两大部分组成。它接受数控系统发出的脉冲指令信息,并按脉冲指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移等,每一脉冲使机床移动部件产生的位移叫脉冲当量,脉冲当量的大小决定加工精度。

伺服系统根据其控制方式不同有以下三种类型。

(1) 开环控制伺服系统



图 1-2 开环控制系统

这类系统无检测装置,如图 1-2 所示,对移动部件的实际位移量不进行检测,不能进行误差校正。因此精度不高,但反应迅速,工作稳定可靠,调试及维修均很方便。

(2) 闭环控制伺服系统

这类系统直接对移动部件的实际位移量进行检测,将测量的实际位置反馈到数控装置中,与输入指令进行比较,用差值对机床进行控制。精度较高,调节速度较快,如图 1-3 所示。

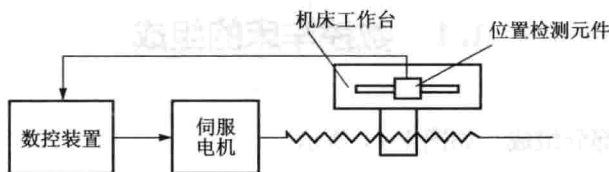


图 1-3 闭环控制系统

(3) 半闭环控制伺服系统

这类系统的检测装置安装在驱动电机的端部或传动丝杠端部,间接测量移动部件的实际位置或位移,其精度介于开环和闭环伺服系统之间,由于位置检测元件安装方便,调试容易,因而得到广泛应用,如图 1-4 所示。

4. 检测装置

检测装置通过位置传感器将伺服电机的角位移或数控车床的执行机构的直线位移转换成电信号,输送给数控装置,使之与指令信号进行比较,并由数控装置发出指令,纠正所产生的误差,使数控车床按加工程序要求的进给位置和速度完成加工。

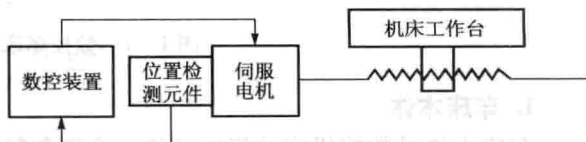


图 1-4 半闭环控制系统

5. 辅助装置

辅助装置指数控车床中一些为加工服务的配套部分,如液压、气动装置、冷却、照明、润滑、防护和排屑装置等。

1.2 数控车床的工作过程

数控车床的工作过程如图1-5所示。



图1-5 数控车床的工作过程

① 首先根据零件图所给出的形状、尺寸、材料及技术要求等内容,进行各项准备工作,包括程序设计、数值计算及工艺处理等。

② 将上述程序和数值按数控装置所规定的程序格式编制出加工程序,通过输入(手工、计算机传输等)装置,将加工程序的内容输送到数控装置。

③ 数控装置将数控系统接收来的程序(NC代码)“翻译”为二进制的机器码,再转换为控制X、Z方向运动的电脉冲信号以及其他辅助处理信号,以脉冲信号的形式向伺服系统发出指令,要求伺服系统执行。

④ 伺服系统接到执行的信息指令后,立即驱动车床的进给运动机构严格按照指令的要求进行位移,使数控车床自动完成相应零件的加工。

1.3 数控车床的特点

1.3.1 数控车床的结构特点

与普通车床相比,数控车床除具有数控系统和伺服系统外,数控车床的结构还具有以下特点。

① 运动传动链短,如图1-6所示,数控车床上沿纵、横两个坐标轴方向的运动是通过伺服系统完成的,即由驱动电机→进给丝杠→床鞍及中滑板,免去了普通车床的主轴电机→主轴箱→挂轮箱→进给箱→溜板箱→床鞍及中滑板的冗长的传动链,用伺服电机直接与丝杠连接带动刀架运动,伺服电机与丝杠间也可以用同步皮带副或齿轮副连接。另外,对于无级

自动调速的数控车床，其主轴箱中较复杂的传动链也变得极为简单了。

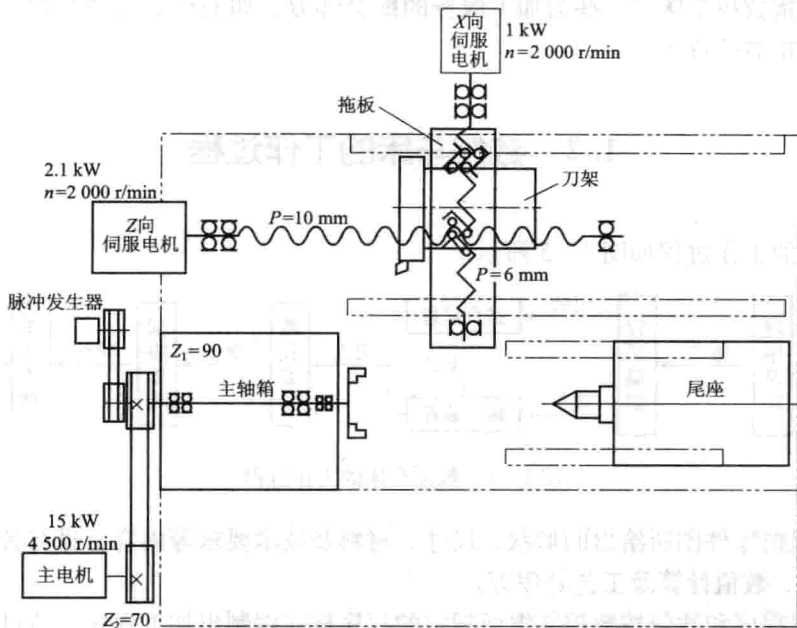


图 1-6 数控车床传动系统简图

② 数控车床的刀架移动一般采用滚珠丝杠副，轻拖板。滚珠丝杠副是数控车床的关键机械部件之一，滚珠丝杠两端安装的滚动轴承是专用轴承，它的压力角比常用的向心推力球轴承要大得多。这种专用轴承配对安装，是选配的，最好在轴承出厂时就是成对的。

③ 运动副的耐磨性好，摩擦损失小，润滑充分，拖动轻便。要实现高精度的加工，各运动部件在频繁的运行过程中，必须动作灵敏，低速运行时无爬行。因此，对其移动副和螺旋副的结构、材料等各方面均有较高要求，并多采用油雾自动润滑形式。

④ 总体结构刚性好，抗振性好。数控车床的总体结构主要指机械结构，如床身、拖板、刀架等部件。只有刚性好，才能与数控系统的高精度控制功能相匹配，否则数控系统的优势将难以发挥。

⑤ 数控车床的冷却效果好于普通车床，具有加工冷却充分、防护较严密等特点，自动运转时一般都处于全封闭或半封闭状态。

⑥ 数控车床一般还配有自动排屑装置。

1.3.2 数控车床的加工特点

数控车床加工与普通车床加工相似，但也有其独特的特点。

1. 加工精度高, 加工质量稳定

数控机床的加工过程是由计算机根据预先输入的程序进行控制的, 只要信息指令正确, 又能保证数控车床精度, 就能避免因操作者技术水平的差异而引起产品质量的不同。数控车床本身的重复精度较高, 在加工同一批零件时, 能保证加工的一致性并有稳定的质量。另外, 数控车床的加工过程不受人的体力、情绪变化的影响。

2. 加工能力强, 柔性程度高

在数控机床上加工零件, 关键的是加工程序。加工不同的零件时, 只要重新编制或修改加工程序就可以迅速达到加工要求, 而不需调整机床或机床附件以适应加工零件的要求, 大大缩短了更换机床硬件的技术准备时间, 因此, 适合多品种、单件或小批量生产。对于形状复杂的零件, 普通机床几乎不可能完成, 数控机床通过编制较复杂的程序就可以达到目的。另外, 还可以利用计算机辅助编程或计算机辅助加工, 完成一些普通机床很难加工或根本无法加工的精密复杂零件的加工。

3. 降低劳动强度, 改善劳动条件

数控车床加工过程是按事先编制的加工程序自动完成的, 一般情况下, 操作者通常进行面板操作、工件的装卸、刀具的准备、关键工序的中间测量以及观察机床的运行, 不需要进行繁重的重复性的手工操作, 体力劳动和紧张程度大为减轻, 相应地改善了劳动条件。

4. 加工生产率高, 加工成本低

数控车床的主轴转速和进给速度变化范围较大, 全功能数控车床还可无级调速, 具有恒转速和恒线速度等功能, 加工时每道工序、工步、走刀都可选择最佳切削用量, 使切削参数最优化, 充分发挥工艺系统的潜能。数控车床移动部件空行程运动速度快, 更换工件几乎不需重新调整机床, 且加工精度比较稳定, 一般只做首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验, 这样大大减少了安装、停机检验等辅助生产时间, 提高了加工生产率, 降低了加工成本, 且生产批量越大, 加工成本越低。

5. 良好的经济效益

改变数控车床加工对象时, 只需重新编写加工程序, 不需要制造、更换新机床; 对于形状复杂和精度较高的零件, 应用数控车床, 可相应地减少普通车床的类型和台数, 有效地节省了设备投资, 有利于企业更好地发展再生产。在单件、小批量生产情况下, 使用数控车床加工可以减少调整、加工、检验时间, 直接节省生产费用。数控加工质量稳定, 可以减少甚至避免废品的产生, 使生产成本进一步下降。此外, 数控车床加工便于实现工序集中管理, 简化物流, 降低管理成本, 实现高效生产, 能够获得良好的经济效益。

1.3.3 数控车床的应用特点

数控车床的应用特点如下:

(1) 适于分期(不定期或周期)进行的轮番生产。

(2) 适用于多品种、中小批量的生产。

(3) 应用于大批量生产的趋势已逐步形成。

(4) 适于新工人的培养。普通车床加工复杂和精密零件时, 需要老工人丰富的实践经验和熟练的操作技巧。应用数控车床进行加工, 可以使新工人摆脱技术上的很多束缚, 利于人才培养, 适应高速发展的需要。

(5) 有利于生产和技术管理水平的提高。数控车削加工有赖于各种数字化信息指令, 数控车床为提高生产管理水平提供了科学和准确的依据; 同时, 加工程序的标准化和生产过程自动化, 使管理工作特别适合采用计算机的先进管理。

1.4 数控车床的分类

数控车床品种繁多, 规格齐全, 可按如下方法进行分类。

1.4.1 按车床主轴位置分类

1. 立式数控车床

如图 1-7 所示, 其主轴 Z 垂直于水平面, 有一个直径很大的工作台, 用来装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

2. 卧式数控车床

卧式数控车床又有水平导轨和倾斜导轨两种, 图 1-8 所示为水平导轨卧式数控车床, 其主轴 Z 与水平面平行。图 1-9 为倾斜导轨卧式数控车床, 倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性, 并易于排除切屑, 因此, 档次较高的数控车床一般都采用倾斜导轨。

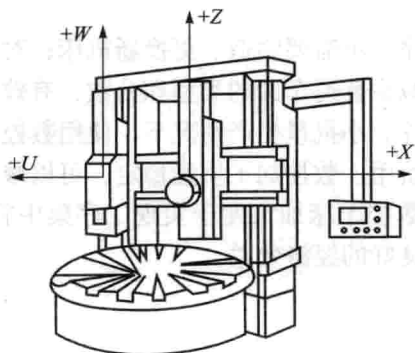


图 1-7 立式数控车床

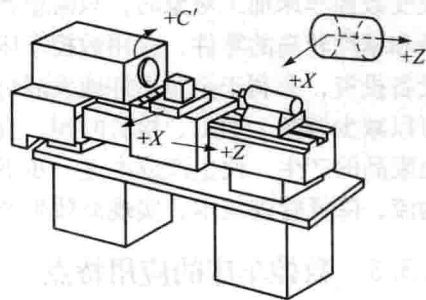


图 1-8 卧式数控车床

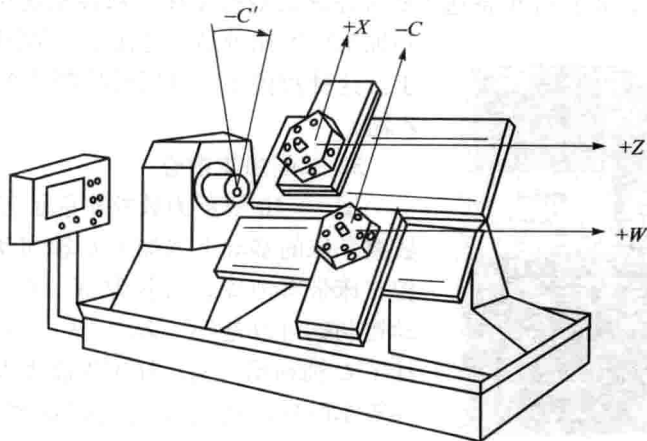


图 1-9 双转塔刀架倾斜导轨数控车床

1.4.2 按加工零件的基本类型分类

1. 卡盘式数控车床

这类车床没有尾座，适合车削盘类（含短轴类）零件。夹紧方式多为电动或液动控制，卡盘结构多具有可调卡爪或者不淬火的卡爪（软卡爪）。

2. 顶尖式数控车床

这类车床配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。

1.4.3 按刀架数量分类

1. 单刀架数控车床

单刀架数控车床一般配置有各种形式的单刀架，如四工位卧动转位刀架或多工位转塔式自动转位刀架。单刀架数控车床可以进行两坐标控制。

2. 双刀架数控车床

如图 1-9 所示，双刀架一般平行分布，也可以是相互垂直分布。双刀架数控车床可以进行四坐标控制，多数采用倾斜导轨。

1.4.4 按功能分类

1. 经济型数控车床

经济型数控车床大多采用开环控制伺服系统，由步进电动机驱动，其功能简单，自动化程度不高，成本较低，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。