




数控车床编程 与操作 (第2版)

● 主编 李兴凯

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

高等职业教育工学结合项目建设成果系列教材

数控车床编程与操作 (第2版)

主 编 李兴凯

副主编 刘 明 于志德

参 编 曲海霞 李 兵 高志仁

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床编程与操作 / 李兴凯主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.9
(2019.10 重印)

ISBN 978-7-5682-7664-1

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床-车床-程序设计-高等学校-教材
②数控机床-车床-操作-高等学校-教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 222799 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)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 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 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 365 千字

版 次 / 2019 年 9 月第 2 版 2019 年 10 月第 2 次印刷

定 价 / 39.80 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

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

本教材由校企双元合作共同开发，反映新技术、新工艺、新规范、典型岗位及岗位群职业能力要求，并配套开发信息化数字资源，是体现“职场化+信息化”育人模式教学物化成果之一。教材主要围绕数控加工工艺、编程指令、程序编制、精度检测、拓展知识等内容，按照“项目引领、任务驱动”的行动导向教学方法编写，注重学习过程考核，主要包括数控车床基本操作、轴类零件加工、成型面类零件加工、套类零件加工、三角形螺纹类零件加工、非圆形面类零件加工共6个项目18个任务进行学习，每个任务的实施都遵循完整的工作过程与步骤。该教材适用于机械制造与自动化专业、数控技术专业等教学、实训、参考用书。

本书主要特色有：

(1) 突出职业教育特色。本教材以知识传授与技术技能培养并重，以工作实践为主线，以项目为引领，用任务进行驱动，以岗位（群）能力典型工作任务作为出发点，重新序化课程内容，项目与任务设计由简单到复杂，由单一到综合，符合职业成长规律与学习规律，可作为职业教育教学和实习实训参考用书。同时，该教材将数控车床操作工职业资格标准引入课程内容中，体现双证书对接。

(2) 坚持校企双元合作开发。该教材开发过程中，积极争取行业指导、企业参与，歌尔股份有限公司、雷沃重工有限公司等相关技术人员参与了编写全过程，将产业发展的新技术、新工艺、新规范纳入教材内容，充分体现典型岗位（群）职业能力要求。

(3) 课程教学设计突出理实一体化。突出四步教学法，即“布置工作任务—知识学习—实施训练—检查评价”，使学生在完整、综合性的行动中进行思考和学习，达到学会学习、学会工作、培养社会能力与方法能力的目的。

(4) 课程资源丰富多样。在课程内容设置上，增加了知识拓展、资料链接、小贴士、操作注意事项等补充内容，在增强学习趣味的同时又让学生了解了课程前沿知识，并重点强调在操作过程中应注意的问题，既开阔了学生知识面，又提高了学生学习本门课程的持续能力。

同时，该教材采用“互联网+教学”理念，配套开发电子课件、电子授课教案、配套测试题、配套助学动画与仿真资源、配套实训项目指导书等，便于使用者线上线下随时随地学习。

伴随着新一代信息技术的快速发展，人工智能进入爆发式增长期，成为推动新一轮装备制造业发展的新动力，同时也对职业教育变革人才培养体系、加快转型发展提出了新要求，教学角色、教学内容、教材形式、评价模式均发生深刻变化，尽管该教材基于“三教”改革做了较大尝试，但由于限于编者团队水平，书中某些错误在所难免，敬请读者批评指正。



《《《 目 录

项目一 数控车床基本操作	1
任务一 认识数控车床	1
任务二 认识数控车床面板	15
任务三 数控车床手动操作与试切削	21
任务四 数控车床程序输入与编辑	35
任务五 数控车床 MDI 操作与对刀操作	40
项目二 轴类零件加工	52
任务一 简单阶梯轴加工	52
任务二 槽加工及切断	76
任务三 外圆锥面加工	92
任务四 多阶梯轴零件加工	111
项目三 成型面类零件加工	124
任务一 凹圆弧面零件加工	124
任务二 凸圆弧面零件加工	136
任务三 综合成型面零件加工	146
项目四 套类零件加工	155
任务一 通孔类零件加工	155
任务二 阶梯孔、盲孔类零件加工	169
项目五 三角形螺纹类零件加工	180
任务一 三角形圆柱外螺纹加工	180
任务二 三角形圆柱内螺纹加工	205
项目六 非圆型面类零件加工	218
任务一 椭圆面类零件加工	218
任务二 抛物线面类零件加工	233
参考文献	241



项目一 数控车床基本操作



项目描述

本项目通过加工一个简单的台阶轴类零件，掌握 FANUC-0i Mate-TD 系统面板及操作面板的使用方法、程序的结构与组成、程序的编辑、对刀步骤等数控车床编程与加工的基础知识，为接下来的深入学习打下良好基础。



工作任务

在数控车床上用手动加工方法加工如图 1-1 和图 1-2 所示的简单轴类零件。

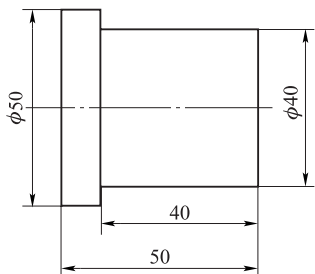


图 1-1 零件图

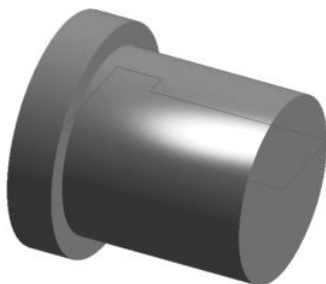


图 1-2 三维效果

任务一 认识数控车床



能力目标

- 熟练进行开关机操作；
- 会分辨各种型号的数控机床。

知识目标

- 掌握数控车床的型号、种类；
- 掌握数控车床的组成；
- 了解数控车床的加工特点；
- 了解数控车床的加工范围；
- 了解数控车床保养、维护常识。

知识学习

一、数控车床的型号、种类

（一）数控车床概述

数控车床是用计算机数字信号控制的机床。操作时将编制好的加工程序输入到机床专用的计算机中，再由计算机指挥机床各坐标轴的伺服电动机去控制车床各部件运动的先后顺序、速度和移动量，并与选定的主轴转速相配合，车削出形状不同的工件。数控车床组成及加工过程分别如图 1-3（a）和图 1-3（b）所示。

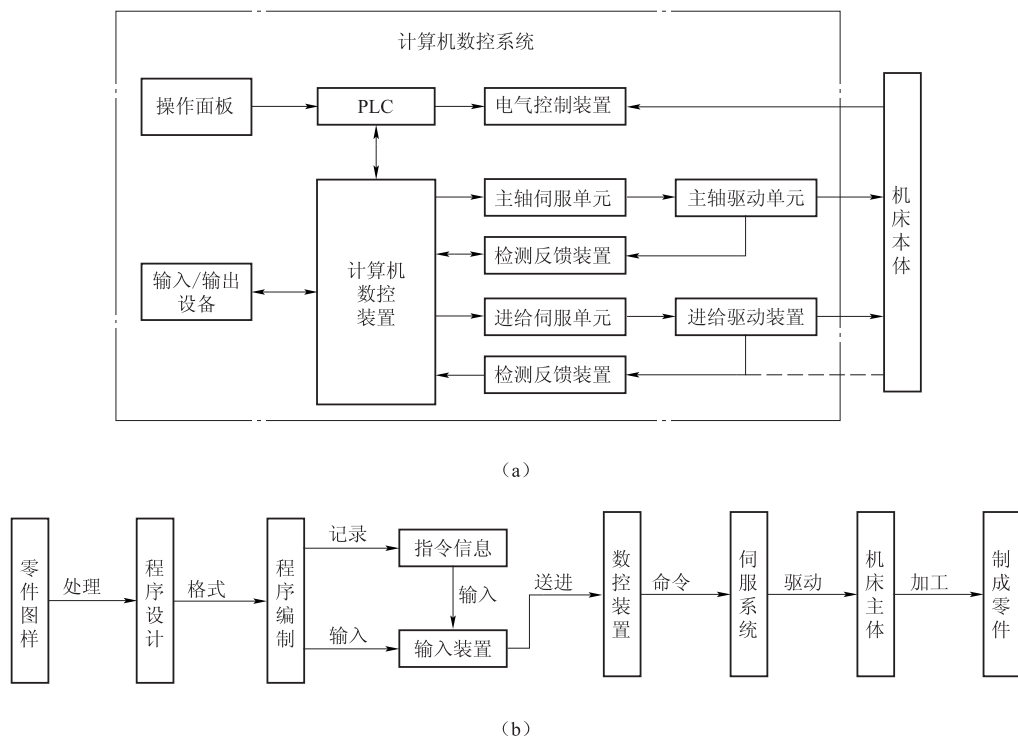


图 1-3 数控车床组成及加工过程

(a) 数控车床组成；(b) 数控车床加工过程



（二）数控车床的型号标记

数控车床的型号标记采用与卧式车床相类似的表示方法，由字母及一组数字组成。例如，数控车床 CKA6140 型号含义如下：

C——车床；

K——数控；

A——改型；

6——落地及卧式车床组；

1——卧式车床系；

40——床身最大工件回转直径的 1/10，即此机床床身最大回转直径为 400 mm。

（三）数控车床种类

数控车床按不同的分类方式分为不同的种类。现按所配置的数控系统、数控车床功能、车床主轴配置形式、控制方式及控制运动轨迹分别介绍。

1. 按数控系统分类

目前工厂常用的数控系统有 FANUC（法那克）数控系统、SIEMENS（西门子）数控系统、华中数控系统、广州数控系统、三菱数控系统等。每一种数控系统又有多种型号，如 FANUC 数控系统的型号从 0i 到 23i；SIEMENS（西门子）系统的型号从 SINUMERIK 802S、802C 到 802D、810D、840D 等。每种数控系统使用的指令各不相同，即使是同一系统但型号不同，其数控指令也略有差异，使用时应以数控系统说明书中的指令为准。

2. 按数控车床功能分类

按数控车床的功能分，数控车床可分为经济型数控车床、普通数控车床、全功能型数控机床、精密型数控机床和车削加工中心五大类。

（1）经济型数控车床。经济型数控车床是在卧式车床基础上进行改进设计的，一般采用步进电动机驱动的开环伺服系统，其控制部分通常采用单板机或单片机。经济型数控车床成本较低，自动化程序和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

（2）普通数控车床。根据车削加工要求，在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床。其数控系统功能强，自动化程度和加工精度比较高，可同时控制两个坐标轴，即 X 轴和 Z 轴，应用较广，适用于一般回转类零件的车削加工。

（3）全功能型数控机床。在计算机中采用 2 ~ 4 个微处理器进行控制，其中一个为主控微处理器，其余为从属微处理器。主控微处理器完成用户程序的数据处理、粗插补运算、文本和图形显示等；从属微处理器在主控微处理器的管理下，完成对外部设备，主要是伺服控制系统的控制和管理，从而实现同时对各坐标轴的连续控制。

全功能型数控机床允许的最大速度一般为 8 ~ 24 m/min，脉冲当量为 0.01 ~ 0.001 mm/P（毫米/脉冲），采用交、直流伺服电动机，广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

（4）精密型数控机床。精密型数控机床采用闭环控制，它不仅具有全功能型数控机床的

全部功能，而且机械系统的动态响应较快。其脉冲当量一般小于 0.001 mm/P，适用于精密和超精密加工。

(5) 车削加工中心。在普通数控车床的基础上，增加了 C 轴和铣削动力头，更高级的数控车床带有刀库，可控制 X、Z 和 C 三个坐标轴，联动控制轴可以是 (X、Z)、(X、C) 或 (Z、C)。由于增加了 C 轴和铣削动力头，这种数控车床的加工功能大大增强，除可进行一般车削外，还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削加工。如图 1-4 所示。

3. 按车床主轴配置形式分类

按车床主轴配置形式分，数控车床有立式数控车床和卧式数控车床两种。

(1) 立式数控车床。

立式数控车床主轴轴线处于垂直位置，有一个直径很大的圆形工作台供装夹工件。立式数控车床主要用于加工径向尺寸及轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。如图 1-5 所示。

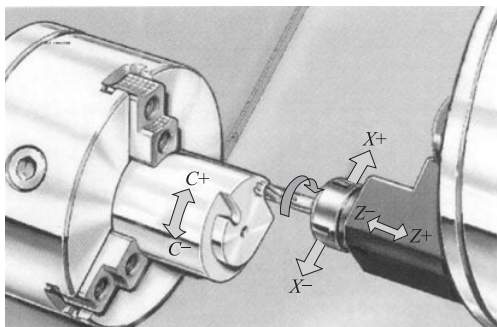


图 1-4 C轴加工



图 1-5 立式数控车床

(2) 卧式数控车床。

卧式数控车床主轴轴线处于水平位置，生产中使用较多，常用于加工径向尺寸较小的轴类、盘类和套类等复杂零件。它的导轨有水平导轨和倾斜导轨两种。水平导轨结构用于普通数控车床和经济型数控车床，如图 1-6 所示。倾斜导轨结构可以使车床具有较大刚性，且易于排除切屑，用于档次较高的数控车床及车铣加工中心，如图 1-7 所示。

4. 按控制方式分类

(1) 开环控制数控机床。

这类数控机床其控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电动机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动量不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。



图 1-6 卧式数控车床



图 1-7 车铣加工中心

开环控制系统的数控机床结构简单且成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行监测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不太高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。如图 1-8 所示。

(2) 闭环控制数控机床。

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，且与传动链的误差无关，因此其控制精度高。这类数控机床因把机床工作台纳入了控制环节，故称为

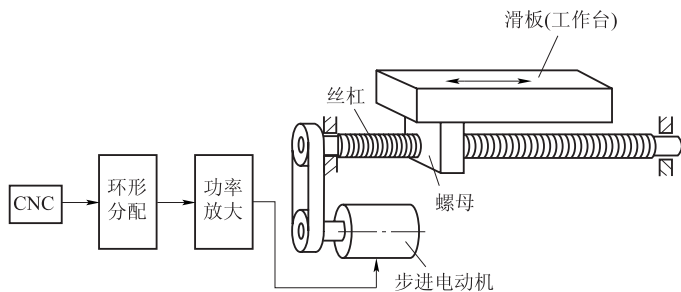


图 1-8 开环伺服系统

闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂且成本高。如图 1-9 所示。

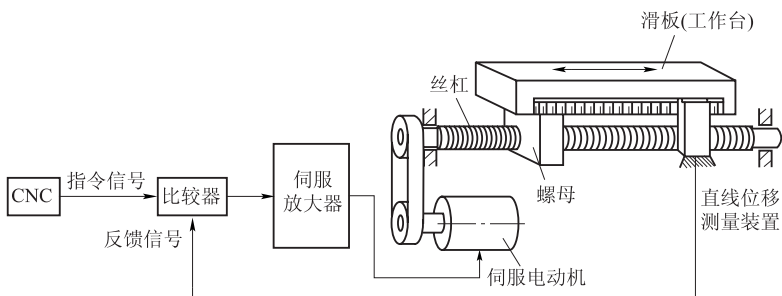


图 1-9 闭环伺服系统

(3) 半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，这样能使结构更加紧凑。如图 1-10 所示。

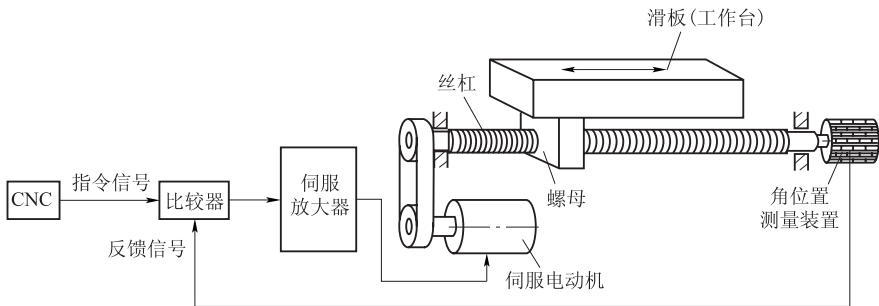


图 1-10 半闭环伺服系统

(4) 混合控制数控机床。

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床



特别适用于大型或重型数控机床，因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度，其传动链惯量与力矩大，如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于闭环控制中，闭环调试比较复杂。

混合控制系统又分为两种形式：

① 开环补偿型。它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路，用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

② 半闭环补偿型。它是用半闭环控制方式取得高精度控制，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正，以获得高速度与高精度的统一。

5. 按控制运动轨迹分类

按控制运动轨迹可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床以及轮廓控制数控机床。如图 1-11 所示。

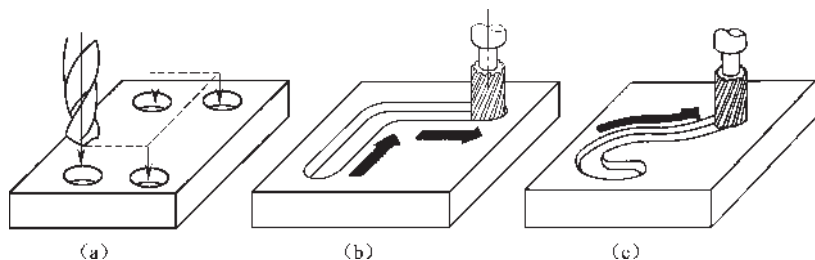


图 1-11 按控制运动轨迹分类

(a) 点位控制数控系统；(b) 直线控制数控系统；(c) 轮廓控制数控系统

(1) 点位控制数控机床。

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动，也可以各个坐标单独依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

(2) 直线控制数控机床。

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度，沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工，进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床，只有两个坐标轴，可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床，有三个坐标轴，可用于平面的铣削加工。

数控镗铣床、加工中心等机床，它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整，兼有点位和直线控制加工的功能，这类机床称为点位/直线控制的数控机床。

(3) 轮廓控制数控机床。

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制，使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成要求的轮廓

形状。

常用的数控车床、数控铣床及数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。现代计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

二、数控车床的组成

数控车床由车床主体、控制部分和驱动部分等组成。数控车床结构如图 1-12 所示。

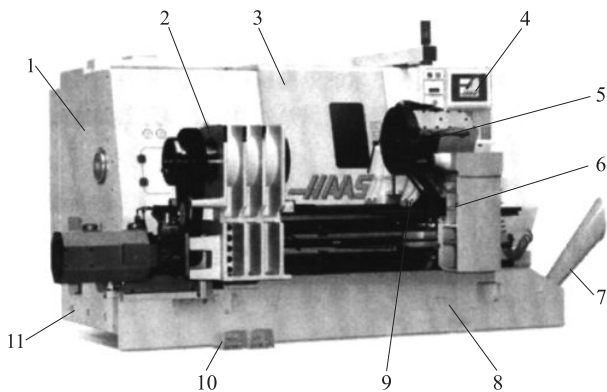


图 1-12 数控车床结构

1—电气箱；2—主轴箱；3—机床防护门；4—操作面板；5—回转刀架；6—尾座；7—排屑器；
8—冷却液箱；9—滑板；10—卡盘踏板开关；11—床身

(一) 车床主体

车床主体主要包括主轴箱、床身、导轨、刀架、尾座、进给机构等。卡盘、尾座、床身及进给机构的实物图如图 1-13 ~ 图 1-16 所示。



图 1-13 卡盘

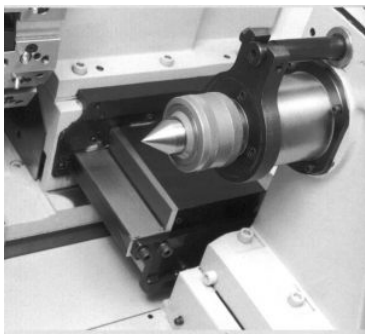


图 1-14 尾座

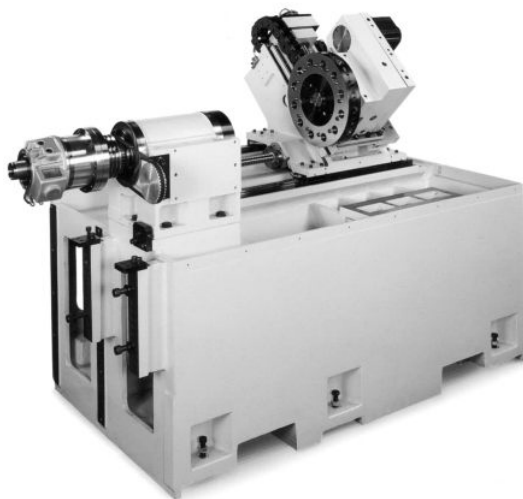
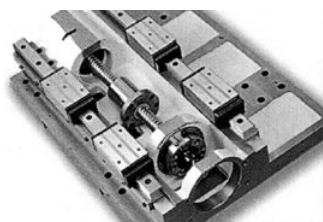
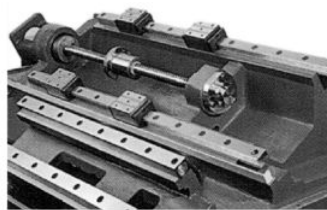


图 1-15 床身



(a)



(b)

图 1-16 进给机构

(a) X轴; (b) Z轴

(二) 控制部分

控制部分是数控车床的控制中心，由各种数控系统完成对数控车床的控制。如图 1-17 所示。



图 1-17 数控系统操作面板

（三）驱动部分

驱动部分是数控车床执行机构的驱动部分，包括主轴电动机和伺服电动机，如图 1-18 和图 1-19 所示。



图 1-18 主轴电动机

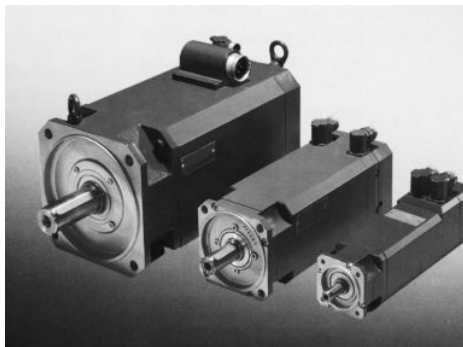


图 1-19 伺服电动机

三、数控机床的特点

在大批量生产条件下，采用机械加工自动化可以取得较好的经济效益。大批量生产中加工自动化的基础是工艺过程的严格流程，从而可以建立自动流水线。对于小批量的产品生产，由于生产过程中产品品种的变换频繁、批量小以及加工方法的区别大，因此实现加工自动化存在相当大的难度，不能采用大批量生产的刚性自动化方式。因此，大力发展柔性制造技术成为机械加工自动化的必然出路。

柔性制造技术实际上是计算机控制的自动化制造技术，它包含计算机控制的单台加工设备和各种规模的自动化制造系统。所以数控机床是实现柔性自动化的最重要设备，与其他加工设备相比，数控机床具有如下特点：

（1）适应性强，适合加工单件或小批量复杂工件。

数控机床加工工件时，只需要简单的夹具，不需要制作特别的工装夹具，所以改变加工工件后，只需要重新编制新工件的加工程序，就能实现新工件加工，不需要重新调整机床。因此，数控机床特别适合单件、小批量及试制新产品的加工。

（2）加工精度高，产品质量稳定。

数控机床的脉冲当量普遍可达 0.001 mm/P ，传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，工件加工精度高，进给系统采用消除间隙措施，并对反向间隙与丝杠螺距误差等由数控系统实现自动补偿，所以加工精度高。特别是因为数控机床加工完全是自动进行的，这就消除了操作人员人为产生的误差，使同一批工件的尺寸一致性好，加工质量十分稳定。

（3）生产率高。

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。数控机床主轴转速和进给量的调速范围都比普通机床的范围大，机床刚性好，快速移动和停止采用了加速、减速措施，因而既能提高空行程运动速度，又能保证定位精度，有效地缩短了



加工时间。

数控机床更换工件时，不需要调整机床，同一批工件加工质量稳定，无须停机检验，故辅助时间大大缩短。特别是使用自动换刀装置的数控加工中心机床，可以在一台机床上实现多工序连续加工，生产效率的提高更加明显。

(4) 减轻劳动强度，改善劳动条件。

数控机床加工是自动进行的，工件加工过程不需要人的干预，加工完毕后自动停车，这就使工人的劳动条件大为改善。

(5) 良好的经济效益。

虽然数控机床价格昂贵，分摊到每个工件上的设备费用较大，但是使用数控机床可节省许多其他费用。例如，工件加工前不用划线工序，工件安装、调整、加工和检验所花费的时间少，特别是其具有不用设计制造专用工装夹具、加工精度稳定、废品率低、减少了调度环节等优势，所以总体成本下降，可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化。

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控机床上使用计算机控制，为计算机辅助设计、制造以及实现生产过程的计算机管理与控制奠定了基础。

四、数控车床的加工特点

数控车床与普通卧式车床一样，主要用于轴类、盘类等回转体零件的加工，如完成各种内、外圆圆柱面，圆锥面，圆柱螺纹，圆锥螺纹，切槽，钻扩，铰孔等工序的加工；还可以完成卧式车床上不能完成的圆弧、各种非圆曲线构成的回转面、非标准螺纹、变螺距螺纹等的表面加工。数控车床特别适用于复杂形状的零件或中、小批量零件的加工。如图 1-20 所示。



图 1-20 常见车削工件类型

五、数控车削加工对象

数控车削有普通车削所不具备的许多优点，数控车削的应用范围正在不断扩大，除了能

够加工普通车削所能加工的各种零件外，还能加工比较复杂的各种回转体类零件。根据数控车削的特点，从加工角度考虑，适合数控车削的主要加工对象有以下几类。

（一）精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好，机床配件制造和对刀精度高，能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿，所以能加工尺寸精度要求较高的零件，在有些场合可以以车代磨。此外，数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的，再加上机床的刚性好和制造精度高，所以它能加工直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。对于圆弧以及其他曲线轮廓，加工出的形状与图样上所要求的几何形状的接近程度比仿形车床要高得多。数控车削对提高位置精度还特别有效，不少位置精度要求高的零件用普通车床车削时，因机床制造精度低以及工件装夹次数多而达不到要求，只能在车削后用磨削或其他方法弥补。例如加工轴承内圈，原来采用三台液压半自动车床和一台液压仿形车床加工，需多次装夹，因而造成较大的壁厚差，达不到图样要求，后改用数控车床加工，一次装夹即可完成滚道和内孔的车削，壁厚差大为减少，且加工质量稳定。

（二）表面质量要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速度切削功能，能加工出表面粗糙度值极小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已确定的情况下，表面粗糙度取决于进给量和切削速度。在普通车床上车削锥面和端面时，由于转速恒定不变，致使车削后的表面粗糙度值与机床配件值不一致，只有某一直径处的表面粗糙度值最小，使用数控车床的恒线速度切削功能，就可选用最佳线速度来切削锥面和端面，使车削后的表面粗糙度值既小又一致。数控车削还适用于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件，表面粗糙度值要求大的部位选用大的进给量，要求小的部位选用小的进给量。

（三）表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能，所以可以车削任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。壳体零件封闭内腔的成型面在普通车床上是无法加工的，而在数控车床上则很容易加工出来。组成零件轮廓的曲线可以是数学方程描述的曲线，加工中心也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的零件轮廓，直接利用机床的直线或圆弧插补功能；对于由非圆曲线组成的零件轮廓，应先用直线或圆弧去逼近，然后再用直线或圆弧插补功能进行插补切削。

（四）带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所能车削的螺纹相当有限，它只能车削等导程的直、锥面的公、英制螺纹，而且一台车床只能限定加工若干种导程。但数控车床能车削增导程、减导程以及要求等导程和变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车削螺纹时，主轴转向不必像普通车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直到完成，所以车削螺纹的效率很高。数控车床可以配备精密螺纹切削功能，再加上采用硬质合金成型刀片，以及使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度值小。