



数控车加工技术

◎ 主 编 范建锋
副主编 楼文刚 施尚军 潘常春



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

数控车加工技术

主 编 范建锋

副主编 楼文刚 施尚军 潘常春



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控车加工技术 / 范建锋主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2015.6
ISBN 978-7-308-14686-9

I. ①数… II. ①范… III. ①数控机床—车床—加工工艺—中等专业学校—教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第097295号

内容简介

本书按照数控车床的操作编程人员必须具备的知识结构进行组织,全书共分7章,主要内容包括数控车削加工基础、数控车床、数控车床操作、数控车削加工工艺、数控车削加工的编程、利用CAXA进行数控车程序的自动编制、数控车加工编程实例,全书突出以应用为主线,详略结合,内容完整。

本教材可作为中职学校、技工院校数控加工专业或相近专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

数控车加工技术

主 编 范建锋

副主编 楼文刚 施尚军 潘常春

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码310007)

(网址:<http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 德清县第二印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 10.25

字 数 255千

版 印 次 2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14686-9

定 价 29.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式:(0571)88925591;<http://zjxcbs.tmall.com>



前 言

随着数控加工技术的迅速发展,新工艺、新技术在机械制造领域得到了普遍应用,并且越来越普及,其高精度、高适应性、高柔性加工、高效率等方面的优越性已经显露出来,并且有替代传统机械制造加工的趋势。数控加工、数控编程等课程已经成为中职学校和技工院校必开设的课程。

数控车床是在普通车床的基础上发展起来的,但不同的是数控车床的加工过程是按预先编制好的程序,在计算机的控制下自动执行的。数控车床的操作与编程是一项实践性很强的技术,数控车床的操作技工通常要既懂得机床的操作,同时又能进行程序编制,还要能利用现代信息化的自动编程软件进行复杂工件的程序编制。

为了解决中职学校和技工院校“数控车加工技术”课程教学的需要,我们按教学大纲要求,结合多年教学实践经验,并参考一些其它院校的经验,编写了本书。本书以数控车削工艺、编程与机床操作为核心内容,以数控车削加工的应知、应会内容为主线,按照数控车床的操作编程人员必须具备的知识结构安排本书内容。全书尽量删繁就简、详略结合,既照顾到内容的完整性,又不使篇幅过大;既使学生受到全面的基本训练,又避免了不必要的重复。本书主要包括以下7部分内容:

- 第1章,数控车削加工基础;
- 第2章,数控车床;
- 第3章,数控车床操作;
- 第4章,数控车削加工工艺;
- 第5章,数控车削加工的编程;
- 第6章,利用CAXA进行数控车程序的自动编制;
- 第7章,数控车加工编程实例。

书中安排有大量实例,且多数来自生产实际和教学实践,内容通俗易懂,方便教学。适用于中职学校、技工院校数控加工专业或相近专业的师生使用,也可供有关工程技术人员参考。

本书由范建锋、楼文刚、施尚军、潘常春、叶赟、吴瑾来、任常富、王关根等编写,其中范建锋为本书主编,楼文刚,施尚军,潘常春为副主编。限于编写时间和编者的水平,书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议,



数控车加工技术

以便今后不断加以完善。我们的联系方式:605426667@qq.com。

我们谨向所有为本书提供大力支持的有关学校、企业和领导,以及在组织、撰写、研讨、修改、审定、打印、校对等工作中做出贡献的同志表示由衷的感谢。最后,感谢浙江大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

作 者

2015年1月



目 录

第 1 章 数控车削加工基础	1
1.1 数控车床加工概述	1
1.2 数控车削加工的原理	2
1.3 数控车削的加工特点	3
1.4 数控车削的主要应用	4
1.4.1 数控车削加工零件的类型	4
1.4.2 最适于用数控车加工的零件	4
第 2 章 数控车床	7
2.1 数控车床的分类	7
2.2 数控车床的组成	8
2.3 数控车床的控制系统	10
2.3.1 数控系统的组成	10
2.3.2 数控系统的主要功能	12
2.4 数控车床的主要机械结构	13
2.4.1 床身	13
2.4.2 主传动系统和主轴部件	13
2.4.3 进给传动机构	15
2.4.4 刀架	16
2.4.5 尾座	18
2.4.6 卡盘	18
2.5 数控车床的技术参数	19
第 3 章 数控车床操作	20
3.1 数控车床的控制面板	20
3.1.1 数控系统操作面板	20
3.1.2 机床控制操作面板	21
3.2 数控车床的基本操作	27
3.2.1 机床的开启与停止	27
3.2.2 手动操作机床	27
3.3 程序的输入、检查和修改	29

3.3.1	程序的输入	29
3.3.2	程序的检查	29
3.3.3	程序的修改	30
3.4	刀具补偿值的输入	30
3.4.1	更换刀具后刀具补偿值的输入	30
3.4.2	刀具补偿值的直接输入	31
3.5	对刀	32
3.5.1	试切法	32
3.5.2	机内对刀	33
3.5.3	机外对刀仪对刀	34
3.6	机床的自动运行	34
3.7	数控车床加工操作的注意事项	34
第4章	数控车削加工工艺	36
4.1	数控车削加工工艺的制订	36
4.1.1	零件图工艺分析	36
4.1.2	零件基准和加工定位基准的选择	37
4.1.3	工序的确定	37
4.1.4	加工顺序的确定	38
4.1.5	进给路线的确定	39
4.1.6	退刀与换刀	41
4.1.7	切削用量的选择	43
4.1.8	加工工艺文件	44
4.2	夹具与刀具的选择	45
4.2.1	夹具的选择	45
4.2.2	刀具的选择	48
4.2.3	刀具半径补偿	51
4.3	数控车工艺分析实例	52
4.3.1	零件工艺分析	52
4.3.2	确定装夹方案	52
4.3.3	确定加工顺序及进给路线	53
4.3.4	选择刀具和切削用量	54
4.3.5	填写工艺文件	55
第5章	数控车削加工的编程	57
5.1	数控编程概述	57
5.1.1	数控编程的内容与方法	57
5.1.2	数控编程的种类	58
5.1.3	程序结构与格式	59



5.1.4 典型的数控系统与指令代码	61
5.2 数控编程中的几个基本概念	64
5.2.1 机床坐标系	64
5.2.2 数控编程中的几个基本概念	66
5.3 常用指令的编程要点	68
5.3.1 准备功能 G 指令	68
5.3.2 辅助功能 M 指令	83
5.3.3 刀具功能 T、进给功能 F 和主轴转速功能 S	83
5.4 子程序	85
第 6 章 CAXA 2013 数控车自动编程	87
6.1 数控车 CAD /CAM 软件简介	87
6.2 CAXA 数控车的应用基础	88
6.2.1 CAXA 数控车的操作界面	88
6.2.2 绘图环境的设置	91
6.2.3 立即菜单的使用	92
6.2.4 点的输入	92
6.2.5 图素的拾取	94
6.3 图形绘制	95
6.3.1 曲线生成	95
6.3.2 曲线编辑	103
6.3.3 几何变换	106
6.4 CAXA 数控车程序编制	109
6.4.1 CAM 基础	109
6.4.2 刀具设置	111
6.4.3 轮廓粗车	113
6.4.4 轮廓精车功能	121
6.4.5 切槽功能	123
6.4.6 钻中心孔	124
6.4.7 螺纹固定循环	125
6.4.8 车螺纹	126
6.4.9 参数修改	128
6.4.10 生成代码	129
6.4.11 查看代码	129
6.4.12 轨迹仿真	130
6.4.13 代码反读(校核 G 代码)	131
6.4.14 机床设置	131
6.4.15 后置处理设置	132



第7章 数控车加工编程实例.....	135
7.1 手工编程实例	135
7.1.1 轴的数控车加工	135
7.1.2 端盖的数控车加工	136
7.1.3 螺纹轴的数控车加工	138
7.2 CAXA 数控车编程实例	140
7.2.1 端面加工	141
7.2.2 外圆粗车	145
7.2.3 外圆精车	148
7.2.4 切槽加工	150
7.2.5 车螺纹	152
7.2.6 代码生成	155
参考文献.....	156



第 1 章 数控车削加工基础

1.1 数控车床加工概述

现代数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测以及精密机械等高新技术的产物,是典型的机电一体化产品,是完全新型的自动化机床。

随着科学技术的不断发展,机械产品的性能、结构及形状的不断改进,对零件加工质量和精度的要求越来越高。由于产品变化频繁,目前在一般机械加工中,单件、小批量的产品约占七成以上。为有效地保证产品质量,提高劳动生产率和降低成本,要求机床不仅具有较好的通用性和灵活性,而且要求加工过程实现自动化。在大量的通用机械、汽车、拖拉机等工业生产部门中大都采用自动机床、组合机床和自动生产线,但这种设备的一次投资费用大,生产准备时间长,不适于频繁改型和多种产品的生产,同时也与精度要求高、零件形状复杂的宇航、船舶等其他国防工业的要求不相适应。如果采用仿形机床,首先需要制造靠模,不仅生产周期长,精度也将受到影响。数控机床就是在这种情况下发展起来的一种自动化机床,它适用于高精度,零件形状复杂的单件、小批量的生产。

数控机床的出现以及它所带来的巨大效益,引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。几十年来,数控机床在品种、数量、加工范围和加工精度等方面有了惊人的发展,随着电子元件的发展,数控装置经历了使用电子管、分立元件、集成电路的过程。特别是使用了小型计算机和微处理机以来,数控机床的性能价格比日趋合理,可靠性日益提高。工业发达的国家中,数控机床在工业、国防等领域的应用已相当普遍,已由开始阶段的解决单件、小批量复杂形状的零件加工,发展到为减轻劳动强度、提高劳动生产率、保证质量、降低成本等,在中小批量生产甚至大批量生产中得到应用。现在认为,即使是对批量在 500~5000 件之间的不复杂的零件用数控机床加工也是经济的。随着经济发展和科学的进步,我国在数控机床方面的开发、研制、生产等将得到迅速发展。发展数控机床是当前机械制造业技术改造的必由之路,是未来工厂自动化的基础。

数控车床是车削加工功能较全的数控机床。它可以把车削、铣削、螺纹加工、钻削等功能集中在一台设备上,使其具有多种工艺手段。数控车床没有旋转刀架或旋转刀盘,在加工过程中由程序自动选用刀具和更换刀位。采用数控车床进行加工可以大大提高产品质量,保证加工零件的精度,减轻劳动强度,为新产品的研制和改型换代节省大量的时间和费用,提高企业产品的竞争能力。

数控加工与普通机械加工有很大的不同。在数控机床加工前,我们要把原先在通用机床上加工时需要操作工人考虑和决定的操作内容及动作,例如:工步的划分与顺序、走刀路

线、位移量和切削参数等,按规定的数码形式编成程序,记录在数控系统存储器或磁盘上,它们是实现人与机器联系起来的媒介物。

加工时,控制介质上的数码信息输入数控机床的控制系统后,控制系统对输入信息进行运算与控制,并不断地向直接指挥机床运动的机电功能转换部件——机床的伺服机构发送脉冲信号,伺服机构对脉冲信号进行转换与放大处理,然后由传动机构驱动机床按所编程序进行运动,就可以自动加工出我们所要求的零件形状。

不难看出,实现数控加工的关键在编程。但光有编程还不行,数控加工还包括编程前必须要做的一系列准备工作及编程后的善后处理工作。

1.2 数控车削加工的原理

数控机床是用数字信息进行控制的机床,即把加工信息代码化,将刀具移动轨迹信息记录在程序介质上,然后输入数控系统并经过译码和运算,控制机床刀具与工件的相对运动,控制加工所要求的各种状态,加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

数控车床是数控金属切削机床中最常用的一种机床,某主运动和进给运动是由不同的电机进行驱动的,而且这些电机都可以在机床的控制系统控制下实现无级调速。数控机床结构原理如图 1-1。普通车床的传动是由一台电机驱动的,它只能在一次调整完毕后,以固

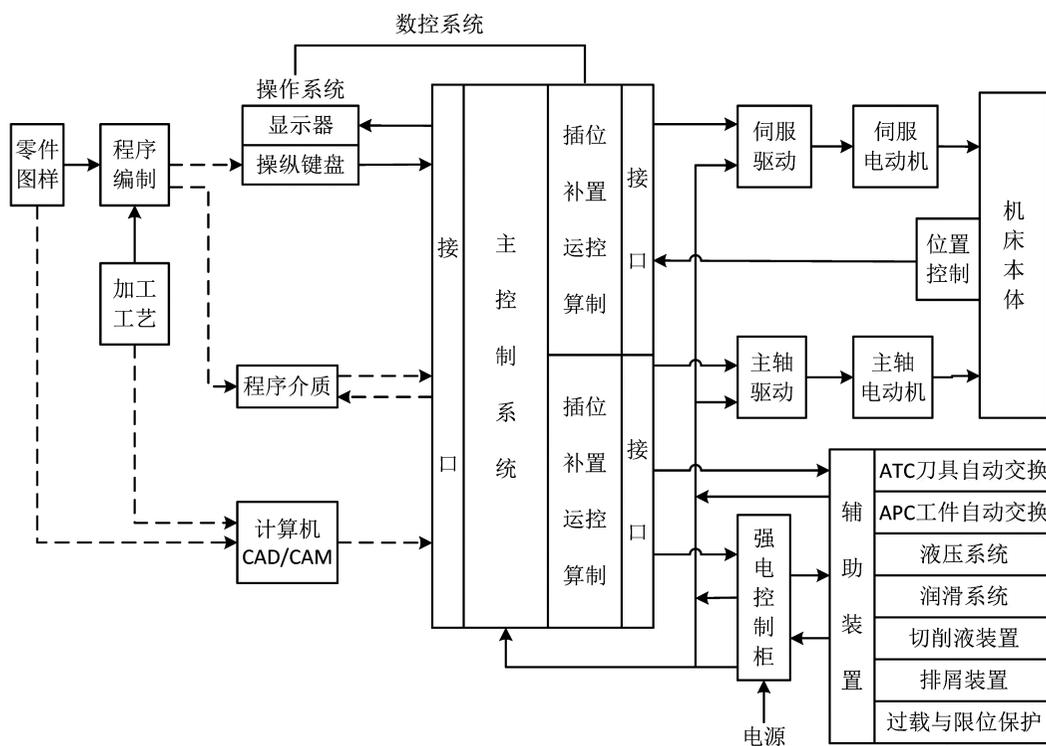


图 1-1 数控机床基本结构原理



定的速度和方向进行加工,而数控机床则是由多台电机驱动,可以随时由数控系统对各台电机进行控制,改变加工的速度和方向,因而可以加工出各种复杂的零件。

1.3 数控车削的加工特点

1. 适应能力强,适于多品种小批量零件的加工

在传统的自动或半自动车床上加工一个新零件,一般需要调整机床或机床附件,以使机床适应加工零件的要求;而使用数控车床加工不同形状的零件时只要重新编制或修改加工程序(软件)就可以迅速达到加工要求,大大缩短了更换机床硬件的技术准备时间,因此适用于多品种、单件或小批量加工。

2. 加工精度高,加工质量稳定

由于数控机床集机、电等高新技术为一体,加工精度普遍高于普通机床。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,这就避免了因操作者技术水平的差异而引起的产品质量的不同。对于一些具有复杂形状的工件,普通机床几乎不可能完成,而数控机床只是编制较复杂的程序就可以达到目的,必要时还可以用计算机辅助编程或计算机辅助加工。另外数控机床的加工过程不受体力、情绪变化的影响。

3. 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床的加工,除了装卸零件、操作键盘、观察机床运行外,其他的机床动作都是按加工程序要求自动连续地进行切削加工,操作者不需进行繁重的重复手工操作。所以普通机床需要人工全过程进行手工操作,包括工件的装夹、切削进给等,而数控车床加工时,编制好程序后,只需装夹工件,大大降低了劳动强度。

4. 具有较高的生产率和较低的加工成本

机床生产率主要是指加工一个零件所需要的时间,其中包括机动时间和辅助时间。数控车床的主轴转速和进给速度变化范围很大,并可无级调速,加工时可选用最佳的切削速度和进给速度,可实现恒转速和恒切速,以使切削参数最优化,这就大大地提高了生产率,降低了加工成本,尤其对大批量生产的零件,批量越大,加工成本越低。

(1)批量生产。对于批量生产,特别是大批量生产,在保证加工质量的前提下要突出加工效率和加工过程的稳定性,其加工工艺与单件小批量不同。例如夹具选择、走刀路线安排、刀具排列位置和使用顺序等都要仔细斟酌,有关内容在相关章节中具体介绍。

(2)单件生产。与批量生产相对的是单件生产。单件生产的最大特点是要保证一次合格率,特别是具有复杂形状和高精度要求的工件。在单件生产中与成功率相比,效率退居其次。

单件生产所使用的数控工艺在走刀路线、刀具安排、换刀点设置等方面不同于批量生产。与批量生产相比,单件生产要避免过长的生产准备时间。

1.4 数控车削的主要应用

1.4.1 数控车削加工零件的类型

数控车削是数控加工中用得最多的加工方法之一。由于数控车床具有加工精度高、能作直线和圆弧插补以及在加工过程中能自动变速的特点,因此其工艺范围较普通机床宽得多,凡是能在普通床上装夹的回转体零件都能在数控车床上加工。

回转体零件分为轴套类、轮盘类和其他类几种。轴套类和轮盘类零件的区分在于长径比,一般将长径比大于1的零件视为轴套类零件,长径比小于1的零件视为轮盘类零件。

1. 轴套类零件

轴套类零件的长度大于直径,轴套类零件的加工表面大多是内、外圆周面。圆周面轮廓可以是与Z轴平行的直线,切削形成台阶轴,轴上可有螺纹和退刀槽等,也可以是斜线,切削形成锥面或锥螺纹,还可以是圆弧或曲线(用参数方程编程),切削形成曲面。

2. 轮盘类零件

轮盘类零件的直径大于长度,轮盘类零件的加工表面多是端面,端面的轮廓也可以是直线、斜线、圆弧、曲线或端面螺纹、锥面螺纹等。

3. 其他类零件

数控车床与普通车床一样,装上特殊卡盘或者夹具就可以加工偏心轴或在箱体、板材上加工孔或圆柱体。

1.4.2 最适于用数控车加工的零件

针对数控车床的特点,下列几种零件最适合数控车削加工。

1. 精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好,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,在有些场合甚至可以以车代磨。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,所以它能加工对母线直线度、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,加工出的形状与图纸上所要求的几何形状的接近程度比用仿形车床要高得多。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,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,图1-2所示的轴承内圈,原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,达不到图纸要求,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,壁厚差大为减小,且加工质量稳定。

2. 表面粗糙度要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速切削功能,能加工出表面粗糙度值小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已定的情况下,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不一致,只有某一直径处的粗糙度值最小。使用数控车床的恒线速切削功能,就可选用最佳线速度来切削锥面和端面,使车削

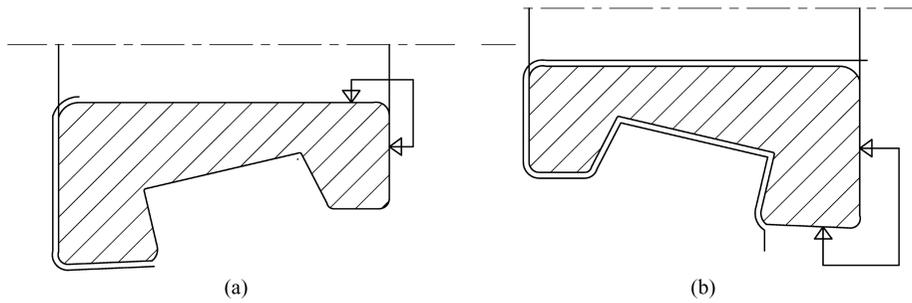


图 1-2 轴承内圈

后的表面粗糙度值既小又一致。数控车削还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。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。

3. 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,所以可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。如图 1-3 所示的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。

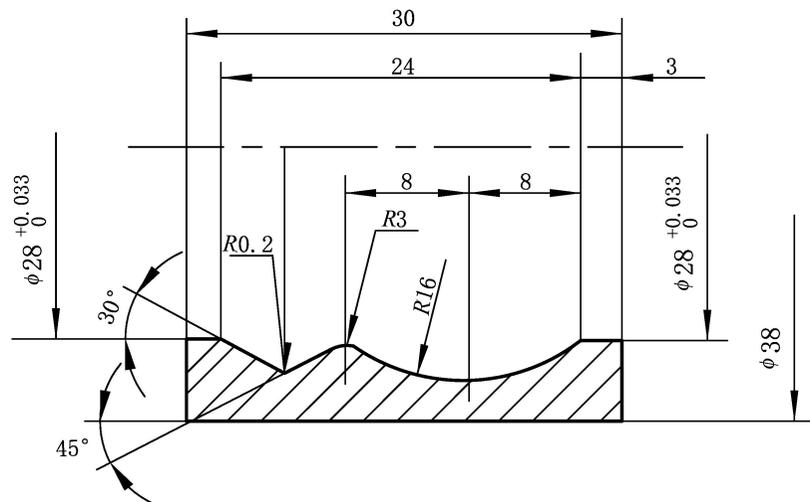


图 1-3 壳体零件封闭内腔

组成零件轮廓的曲线可以是数学方程式描述的曲线,直接加工也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的轮廓,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。

4. 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、锥面公、英制螺纹,而且一台车床只能限定加工若干种导程。数控车床不但能车削任何等导程的直、锥和端面螺纹,而且能车增、减导程螺纹,以及要求等导程与变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车削螺纹

数控车加工技术

时主轴转向不必像普通车床那样交替变换,它可以一刀一刀不停顿地循环,直到完成,所以螺纹加工效率很高。数控车床配备精密螺纹切削功能,加上一般采用硬质合金成型刀片,以及较高的转速,车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度小。

第 2 章 数控车床

2.1 数控车床的分类

由于数控技术发展很快,根据使用要求的不同而出现了各种不同配置和技术等级的数控车床。这些数控车床在配置、结构和使用上都有其各自的特点。可以按照数控系统的技术水平或机床的机械结构对数控车床进行分类。

(1)标准型数控车床:标准型数控车床就是通常所说的“数控车床”,它的控制系统是标准型的,带有高分辨率的 CRT、各种显示、图形仿真、刀具和位置补偿等功能,并且带有通信或网络接口。其采用闭环或半闭环控制的伺服系统,可以进行多个坐标轴的控制,具有高刚度、高精度和高效率等特点,为最常用的数控车床。如图 2-1 所示为某标准型数控车床的外形。

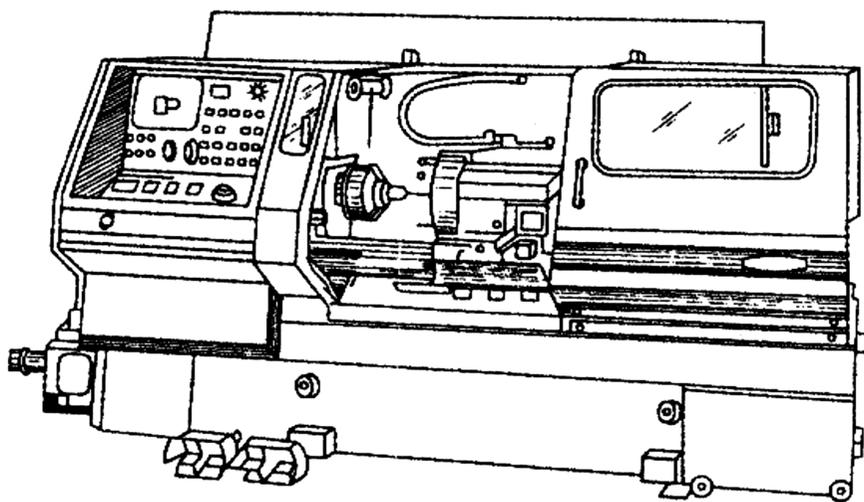


图 2-1 标准型数控车床

(2)经济型数控车床:经济型数控车床或者称简易型数控车床。一般是以普通车床的机械结构为基础,经过改进设计而得的,也有一小部分是对普通车床进行改造而得的。它的特点是一般采用由步进电机驱动的开环伺服系统,其控制部分采用单板机或单片机实现,也有一些采用较为简单的成品数控系统的经济型数控车床。此类车床的特点是结构简单、价格低廉,但缺少一些诸如刀尖圆弧半径自动补偿和恒表面线速度切削等功能。一般只能进行

两个平动坐标(刀架的移动)的控制和联动。同时,由于其仅是使用普通车床的结构或者是通过普通机床改造而成,在机床的精度等方面也有所欠缺。这种车床在中小型企业中应用广泛,多用于一些精度要求不是很高的大批量或中等批量零件生产的车削加工,如图 2-2 所示为某经济型数控车床的外形。

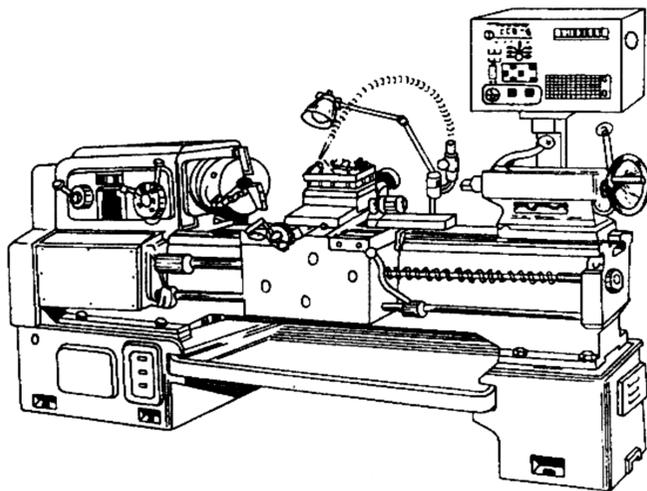


图 2-2 经济型数控车床

(3)车削中心:车削中心是以标准型数控车床为主体,配备刀库、自动换刀器、分度装置、铣削动力头和机械手等部件,实现多工序复合加工的机床。在车削中心上,工件在一次装夹后,可以完成回转类零件的车、铣、钻、铰、螺纹加工等多种加工工序的加工。车削中心的功能全面,加工质量和速度都很高,但价格也较高。

(4)FM C 车床:FM C 是英文 flexible manufacturing cell(柔性加工单元)的缩写。FM C 车床实际上就是一个由数控车床、机器人等构成的系统。它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化操作。

另外,根据主轴的配置形式,可以分为卧式数控车床(主轴轴线为水平位置的数控车床)和立式数控车床(主轴轴线为垂直位置的数控车床),具有两根主轴的车床,称为双轴卧式数控车床或双轴立式数控车床。根据数控系统控制的轴数,可以分为两轴控制的数控车床(机床上只有一个回转刀架,可实现两坐标轴控制)和四轴控制的数控车床(机床上有两个独立的回转刀架,可实现四坐标轴控制)。

2.2 数控车床的组成

数控车床大致由五个部分组成,如图 2-3 所示。

(1)车床主机:指的是数控车床的机械部件,主要包括床身、主轴箱、刀架、尾座、进给传动机构等。

(2)数控系统:数控系统(有时称为控制系统)是数控车床的控制核心,其主要部分是一