

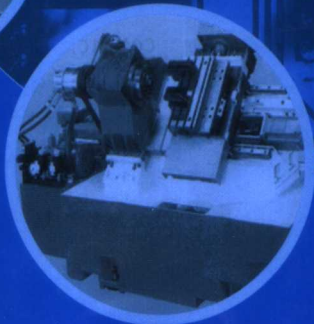
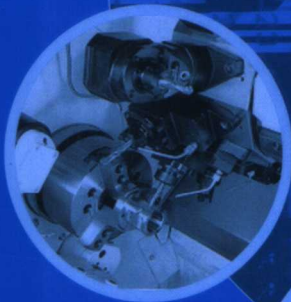
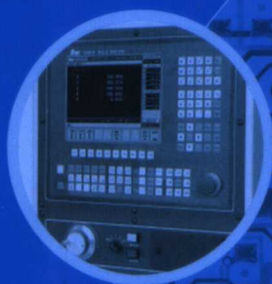
职业技能鉴定中心推荐教材  
职业院校数控相关专业实践型教材  
数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养教材




复旦卓越·21世纪数控技术应用系列

# 数控车床编程与操作

数控技能教材编写组 编



 复旦大学出版社

# 数控车床编程与操作

数控技能教材编写组

復旦大學 出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

数控车床编程与操作/数控技能教材编写组编.  
—上海:复旦大学出版社,2006.6  
(复旦卓越·21世纪数控技术应用系列)  
ISBN 7-309-05005-3

I. 数… II. 数… III. ①数控机床:车床-  
程序设计②数控机床:车床-操作 IV. TG519.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第048139号

## 数控车床编程与操作 数控技能教材编写组 编

---

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路579号 邮编 200433  
86-21-65642857(门市零售)  
86-21-65118853(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)  
fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

---

责任编辑 李 华  
总 编 辑 高若海  
出 品 人 贺圣遂

---

印 刷 上海肖华印务有限公司  
开 本 787×960 1/16  
印 张 20.75  
字 数 355 千  
版 次 2006年6月第一版第一次印刷  
印 数 1—5 100

---

书 号 ISBN 7-309-05005-3/T·302  
定 价 29.00 元

---

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

## 内 容 提 要

本书围绕《数控车工国家职业标准》四级(中级)的知识要点,根据数控车工的专业知识结构特点,通过实例,针对实践应用将工艺分析、定位装夹方法、刀具选择、编程方法、机床操作等教学内容有机联系,理论知识与实践操作融为一体,注重细节,便于学习、易于掌握。主要包括:数控车床基础知识、轴类零件的编程与加工、盘套类零件的编程与加工、螺纹和槽的编程与加工、复杂零件综合编程与加工、零件精度检验和数控车床的保养与故障诊断。

本书可作为技工学校、职业院校数控、模具、机电、机械制造等专业的教材,也可作为中级数控车床职业技能培训和职业技能鉴定的辅助教材,还可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

本教材配套数控编程与加工仿真软件,方便教学。

复旦大学出版社向使用本社《数控车床编程与操作》作为教材进行教学的单位提供数控编程与加工仿真教学软件,该软件模拟数控编程与操作加工,便于教师教学与学生自学,是数控教学单位必不可少的教学工具。欢迎完整填写下面表格来购买数控编程与加工仿真教学软件。

教师姓名: \_\_\_\_\_  
任课课程名称: \_\_\_\_\_  
任课课程学生人数: \_\_\_\_\_  
联系电话:(O) \_\_\_\_\_ (H) \_\_\_\_\_ 手机: \_\_\_\_\_  
e-mail 地址: \_\_\_\_\_  
所在学校名称: \_\_\_\_\_ 邮政编码: \_\_\_\_\_  
所在学校地址: \_\_\_\_\_  
学校电话总机(带区号): \_\_\_\_\_ 学校网址: \_\_\_\_\_  
系名称: \_\_\_\_\_ 系联系电话: \_\_\_\_\_  
邮寄仿真软件地址: \_\_\_\_\_  
邮政编码: \_\_\_\_\_



请将本页完整填写后,剪下邮寄到上海市国权路 579 号

复旦大学出版社李华收

邮政编码:200433 联系电话:(021)65642851

或 e-mail 至:lihuafd@sohu.com lihuafd@sina.com 接洽购买事宜。

# 序言

2005年发布的《国务院关于大力发展职业教育的决定》又一次明确指出,坚持以就业为导向,深化职业教育教学改革。根据市场和社会需要,进一步深化教育教学改革,以创新精神,不断更新教学内容,改进教学方法。大力推进精品专业、精品课程和教材建设。

近年来,数控操作工职业技能鉴定已经被多个省市鉴定中心列为统一考核鉴定工种。因此,急需有一套紧扣新颁布的数控操作工国家职业标准,内容上力求覆盖国家职业标准职业能力要求的教材。

数控加工技术专业的职业教育改革,是这几年来社会呼声最高、最引人注目的专业之一。近年来,随着数控加工仿真软件的大规模推广和应用于教学过程中,使得传统的数控加工技术教育模式正在发生着变化。理论课堂和实训课程的界限逐渐变得模糊起来了,前后次序也在发生着改变,同时需要配套的专业教材。

本书围绕最新颁布的国家职业标准(中级),按照必需、够用的原则,以本职业的工作内容为主线,理论与实践紧密联系;在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,并通过案例和图文的表现形式,化繁为简;专业知识紧密联系培养目标,加强技能与核心技能能力提高,以期达到国家职业技能鉴定标准和就业能力要求;按照本专业的教学规律和学生的认识规律,结合数控加工仿真系统软件在教学过程中进行教学,使理论与实践课堂融为一体。

新教材的编写是一项探索性工作,我们推出本教材,抛砖引玉,真诚希望与职业教育界同行商榷研讨,以求使数控加工技术专业的教材更加适应职业教育、职业培训和职业技能鉴定的需要。本书在编写过程中,参考了一些教材和厂家的资料,在此一并感谢,限于编者水平,书中所述内容,难免有不当之处,敬请广大读者指正。

数控教材编写组

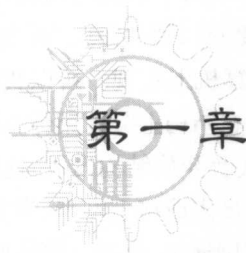


# 目 录

<b>第一章 数控车床基础知识</b>	001
第一节 数控车床概述	001
第二节 数控车削加工工艺	011
第三节 数控车床的编程基础	022
第四节 坐标系	034
第五节 FANUC-0i 系统数控系统的使用与操作	040
<b>第二章 轴类零件的编程与加工</b>	053
第一节 轴类零件加工工艺特点	053
第二节 轴类零件的刀具选择	062
第三节 轴类零件的装夹与定位方法	074
第四节 轴类零件的数控车床编程	077
<b>第三章 盘套类零件的编程与加工</b>	124
第一节 盘套类零件加工工艺特点	124
第二节 盘套类零件的选择刀具	131
第三节 盘套类零件的装夹与定位方法	137
第四节 盘套类零件的数控车床编程	140

<b>第四章 螺纹、切槽编程与加工</b>	160
第一节 螺纹零件的车削加工工艺特点	160
第二节 螺纹的编程指令 G32, G92, G76	167
第三节 切槽(切断)编程与加工	175
第四节 实训课 螺纹零件的编程加工	185
<b>第五章 复杂零件综合编程与加工</b>	192
第一节 复杂零件的工艺特点	192
第二节 复杂类零件编程指令	199
第三节 SIEMENS802S/C 系统的操作	231
<b>第六章 零件加工精度和数控机床的维护</b>	243
第一节 零件加工精度及检验	243
第二节 数控机床的维护与故障诊断	257
<b>附录:数控车床中级理论综合习题</b>	278





# 第一章 数控车床基础知识

## 第一节 数控车床概述

### 一、数控的基本概念

在机械制造行业,机械产品随着科学技术的发展和市场需求的多样化,产品更新换代的速度加快,对产品要求也更精密更复杂,传统的机械加工设备和技术无法满足高效率、高精度、灵活通用的要求。随着 1946 年世界上第一台电子计算机的诞生,1952 年在美国诞生了第一台将计算机技术应用到传统机床上的数控机床,使传统机床产生了质的变化。经过五十多年的发展,这种综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构的自动化生产设备已成为先进制造技术不可缺少的工艺装备。

#### 1. 数控与数控机床

数控即为数字控制(Numerical Control,简称数控 NC),国家标准(GB 8129-87)定义为:是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

数控机床(Numerical Control Machine Tools),就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。从数控车床应用来说就是将加工零件过程所需的如主轴开和停、刀具移动和切削加工、松夹工件、换刀具位、主轴变速、开停切削等各种操作和工序步骤,以及刀具与工件之间的速度、方向等相对位移量都用数字化的代码来表示,将这些代码输入数控系统,数控系统对输入的代码进行处理与运算后发出各种指令控制伺服系统或其他辅助装置,使机床自动完成各种动作从而加工出所需的零件。

#### 2. 数控系统

数控系统(NC System),是一种程序控制系统,它能够自动完成信息代码的输入、译码和运算给定的程序,从而控制机床各种运动,完成零件加工。

数控系统在本质上是一台由硬件和软件组成的计算机。伴随着计算机技术的

发展,数控系统也经历了硬件数控(NC)、计算机数控(CNC)两个阶段的发展,因早期(1952—1970年)计算机运算速度低,一些功能处理需要专门硬件完成,而当今计算机性能速度的提高,功能处理可以由软件方法在PC计算机上实现。所以我们日常所讲的数控(NC)实质上已是指计算机数控(CNC),它们在结构上分专用计算机和通用计算机两类,当前数控系统正向着PC平台,软件方式及开放结构发展,这样数控功能相应得到扩展,如安装、运行CAD\CAM等软件;可插入或接上网卡、声卡、打印机、摄像机等外部设备;可增加触摸屏输入、声控输入、联网通讯、海量存储等功能。

## 二、数控车床的特点及工作过程

数控车床是目前使用较为广泛的数控机床之一。它主要用于轴类零件或盘类零件的内外圆柱面、任意锥角的内外圆锥面、复杂回转内外曲面和圆柱、圆锥螺纹等切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔及镗孔等。

### 1. 数控车床的特点

数控车床与普通卧式车床相比具有以下特点。

(1) 精度高。它是按数字形式给出的指令进行加工的,编程指令一般能精确到千分位小数点,定位精度普通可以达到 $\pm 0.01$  mm,重复定位精度为 $\pm 0.005$  mm。数控车床的传动系统与机床结构具有高刚度、高灵敏度、高抗振性和热稳定性。避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

(2) 效率高。数控车床加工过程集中,换刀时间短,随着新型刀具的应用和机床结构的完善,切削速度大大提高,其加工效率比普通车床高2~5倍。

(3) 高柔性。在数控车床上改变加工零件时,只需要重新编程,具有较高适应性。

(4) 可靠性高。加工稳定性高,无故障时间越来越长。

(5) 操作者的劳动强度减轻。操作者除了输入程序或操作控制面板,装卸校正工件以及观察机床运行外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。

### 2. 数控车床主要技术参数

以某厂生产的CKA6136型系列数控车床为例,它采用卧式车床布局,由数控系统控制横(X)、纵(Z)两坐标移动,可对各种轴类及盘类工件自动完成内外圆柱面、圆弧面、端面、切槽、倒角等工序的切削加工,并能车削公制及英制螺纹、端面螺纹及锥螺纹。



机床采用 FANUC-0i 数控系统,配置相应的伺服电机作为驱动部件,以脉冲编码器为检测元件构成半闭环 CNC 控制系统。机床主轴驱动采用单主轴变频实现无级调速。

床鞍及滑板导轨结合面采用“贴塑”工艺;该机床的集中润滑器对滚珠丝杠及导轨结合面强制润滑,使进给系统的刚度、摩擦阻尼系数等静、动态特性处于最佳状态,移动部件能够得到精确微量的移动,有利于提高加工精度及导轨的使用寿命;机床的主轴制动是由安装在电机轴端上的制动器磁铁带电产生磁力与刹车盘吸合实现的。当制动完成后制动器松开,主轴可恢复运转;刀台有立式四工位、卧式六工位及排刀形式可供用户选择;机床的全防护结构可有效防止切屑及冷却水的飞溅,保证了操作者的安全。

机床采用传统的卧式车床布局。整体设计,密封性好,符合安全标准。床身、床腿等主要基础件均采用树脂砂铸造,人工时效处理,整机稳定性优越。

机床的床头箱采用模块化设计,经过有限元分析,结构先进合理,品种多,针对性强。主轴系统的前后支承采用高精度轴承,具有转速高、刚性强、精度高、热变形小、运转平稳、噪声低的显著特点。

机床操作系统采用人机工程学原理设计,操作箱独立设置,接近操作者,便于就近对刀。

机床采用先进的集中自动润滑方式,定时、定量的自动间歇式润滑,工作稳定可靠。满足清洁生产的环保要求。

机床可根据用户要求配置手动、液压卡盘或手动、液压尾座等。

床身上最大工件回转直径 360(mm)。

滑板上最大工件回转直径 180(mm)。

最大工件长度 750(mm)。

最大加工长度 500(mm)。

最大车削直径立式四工位刀台 360(mm),卧式六工位刀台 300(mm)。

坐标行程(mm)X 向 205、Z 向 560。

主轴转速范围(手动型)32~2 000(r/min)。

主轴通孔直径 48(mm)。

主电机:功率 3/4.5(kW)、转速 4 500(r/min)。

刀位数 4(6)、车刀刀柄尺寸(mm)20×20。

套筒最大行程(手动尾架)130(mm),套筒直径 60(mm)。

### 三、数控车床的工作过程

数控车床是一种高度自动化的机床,在加工工艺与表面加工方法上,与普通车床基本相同,最根本的区别在于加工过程实现自动化控制。数控车床的工作过程如图 1-1 所示。

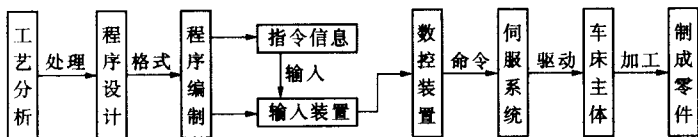


图 1-1 数控车床的工作过程

- 1) 首先根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- 2) 用规定的程序代码和格式规则编写零件加工程序;或用 CAD/CAM 软件进行处理,生成零件的加工程序。
- 3) 将加工程序通过数控车床上操作键盘或计算机网络输入数控装置。
- 4) 数控装置将所接受的信号进行一系列处理后,再将处理结果以脉冲信号形式向伺服系统发出执行的命令。
- 5) 伺服系统接到执行的信息指令后,立即驱动车床进给机构严格按照指令的要求进行位移,使车床自动完成相应零件的加工。

### 四、数控车床的分类及组成

#### (一) 数控车床的分类

数控车床经过了几十年的发展,规格、型号繁多,结构和功能也各具特点,数控车床的分类方法较多,常见的分类有以下几种。

##### 1. 按车床主轴位置分类

1) 立式数控车床。车床主轴垂直于水平面,并有一个直径很大的圆形工作台,供装夹工件用。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型盘类复杂零件。

2) 卧式数控车床。卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。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。卧式数控车床用于轴向尺寸较长或小型盘类零件的车削加工。相对而言,卧式数控车床因结构形式多,加工功能丰富而应用广泛。



## 2. 按加工零件的基本类型分类

1) 盘类数控车床。这类车床未设置尾座,适合车削盘类(含短轴类)零件。其夹紧方式多为电动或液动控制,卡盘多具有可调卡爪或不淬火卡爪(即软卡爪)。

2) 轴类数控车床。这类数控车床配置有普通尾座或数控尾座,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,如四工位卧式自动转位刀架或多工位转塔式自动转位刀架。

2) 双刀架数控车床。这类车床其双刀架的配置(即移动导轨分布)可以平行分布,也可以是相互垂直分布,以及同轨结构。

## 4. 按功能分类

1) 经济型数控车床(图 1-2)。机床结构一般较简单,且功能简化、针对性强、加工的基本功能齐备、精度适中,且价格相对便宜。特别适合我国的国情。

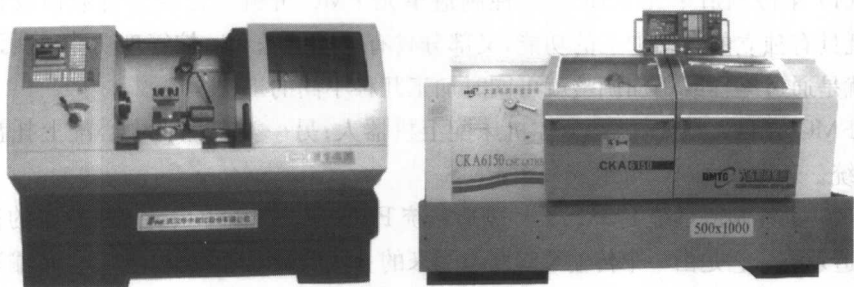


图 1-2 经济型数控车床

2) 全能型车床。这是指具有高精度、高刚度和高效率特点的较高档次的数控车床。这类机床一般具备刀尖圆弧半径自动补偿、恒线速度切削、倒角、固定循环、螺纹切削、图形显示、用户宏程序等功能。

3) 车削加工中心。车削加工中心(图 1-3)是一种集车削、镗削、铣削和钻削于一体的数控车床,配置刀库、换刀装置、分度装置、铣削动力头和机械手等。除自动选择和使用的刀具数量大大增加外,卧式车削中心还具备如下两种功能:一是动力刀具功能,即刀架上某一刀位或所有刀具可使用回转刀具,如铣刀和钻头;另一种是C轴位置控制功能(分度,低速回转),该功能能使主轴达到很高的角度定位分辨率(一般 $0.001^\circ$ ),还能使主轴和卡盘按进给脉冲作任意低速的回转,这样车床

就具有 X、Z 和 C 三坐标,可实现三坐标两联动控制。近年出现的双轴车削中心,在一个主轴进行加工结束后,无需停机,零件被转移至另一主轴加工另一端,加工完毕后,零件除了去毛刺以外,不需要其他的补充加工。

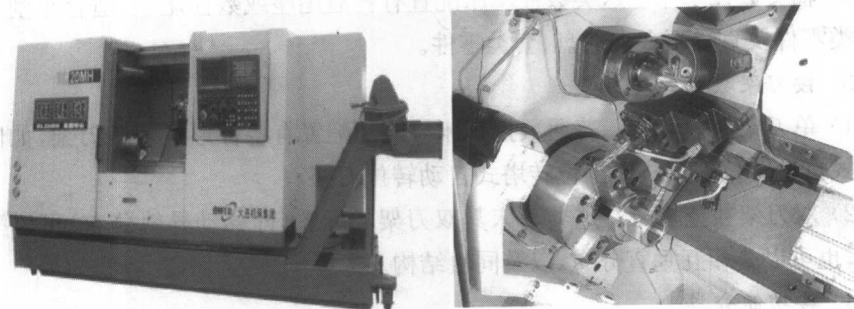


图 1-3 车削加工中心

#### 4) 现代制造技术。

(1) 柔性制造单元 FMC。柔性制造单元 FMC 可由一台或多台数控设备组成,既具有独立的自动加工的功能,又部分具有自动传送和监控管理功能。所谓柔性,就是通过编程或稍加调整就可同时加工几种不同的工件。

FMC 有两大类:一类是数控机床配上机器人;另一类是加工中心配上托盘交换系统。若干个 FMC 可组成一个 FMS。

(2) 柔性制造系统 FMS。柔性制造系统 FMS 是一个由中央计算机控制的自动化制造系统。它是由一个传输系统联系起来的一些数控机床和加工中心。传输装置将工件放在托盘或其他连接设备上,送到加工设备,使工件加工准确、迅速和自动。

(3) 计算机集中制造系统 CIMS。就是利用计算机进行信息集成,从而实现现代化的生产制造,以提高企业的总体效益。CIMS 是建立在多项先进技术基础上的高技术制造系统,是面向 21 世纪的生产制造技术。它综合利用了 CAD/CAM, FMS, FMC 及工厂自动化系统,实现了无人管理。

#### 5. 按伺服控制方式分类

1) 开环控制数控机床。这类机床不带位置检测及反馈装置,通常用步进电机作为执行机构。输入数据经过数控系统的运算,发出脉冲指令,使步进电机轴转过一个角度,再通过机械传动机构把步进电机轴的转动转换为工作台的直线移动,移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲个数所决定。

2) 半闭环控制数控机床。在电机的端头或丝杠的端头安装检测元件(如感应同



步器或光电编码器等),通过检测其转角来间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。其控制精度虽不如闭环控制数控机床,但调试比较方便,因而被广泛采用。

3) 闭环控制数控机床。这类数控机床带有位置检测反馈装置,其位置检测反馈装置采用直线位移检测元件,直接安装在机床的移动部件上,将测量结果直接反馈到数控装置中。通过反馈可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,最终实现精确定位。

## (二) 数控车床的组成

虽然数控车床种类较多,但一般均由车床主体、数控装置和伺服系统三大部分组成。图 1-4 是数控车床的基本组成方框图。



图 1-4 数控车床的基本组成方框示意图

### 1. 车床主体

机床主体是加工运动的实际机械部件,主要包括(图 1-5):主运动部件、进给运

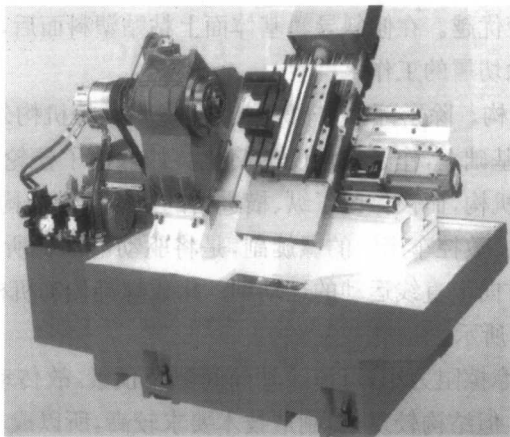


图 1-5 车床主体

动部件(如工作台、刀架等)、支承部件(如床身、立柱等),以及冷却、润滑、转位部件,如夹紧、换刀机械手等辅助装置。

数控车床主体通过专门设计而成,各个部位的性能都比普通车床优越,如结构刚性好,能适应高速车削需要;精度高,可靠性好,能适应精密加工和长时间连续工作等。

1) 主轴与主轴箱。数控车床主轴的回转精度直接影响到零件的加工精度;其功率大小与旋转速度影响到加工的效率;其同步运行、自动变速及定向准停等功能,影响到车床的自动化程度。

数控车床主轴变速分为有级变速、无级变速以及分段无级变速三种形式,其中有级变速仅用于经济型数控机床上,大多数数控机床均采用无级变速或分段无级变速。具有有级自动调速功能的数控车床,其主轴箱内的传动机构已经大大简化;具有无级自动调速(包括定向准停)的数控车床,其机械传动变速和变向作用的机构已经不复存在了,其主轴箱也成了“轴承座”及“润滑箱”的代名词;对于改造式(具有手动操作和自动控制加工双重功能)数控车床,则基本上保留其原有的主轴箱。

2) 床身与导轨。数控车床的床身除了采用传统的铸造床身外,也采用加强钢筋板或钢板焊接等结构,以减轻其结构重量,提高其刚度。

数控车床的导轨是保证进给运动准确性的重要部件。它在很大程度上影响车床的刚度、精度及低速进给时的平稳性,是影响零件加工质量的重要因素之一。除部分数控车床仍沿用传统的滑动导轨(金属型)外,定型生产的数控车床已较多地采用贴塑导轨。这种新型滑动导轨的摩擦系数小,其耐磨性、耐腐蚀性及吸振性好,润滑条件也比较优越。在倾斜导轨基体面上粘贴塑料面后,切屑不易在导轨面上堆积,减轻了清除切屑的工作。

3) 机械传动机构。除了部分主轴箱内的齿轮传动等机构外,数控车床已在原普通车床传动链的基础上,作了大幅度的简化。如取消了挂轮箱、进给箱、溜板箱及其绝大部分传动机构,而仅保留了纵、横进给的螺旋传动机构。

螺旋传动机构。数控车床中的螺旋副,是将驱动电动机所输出的旋转运动转换成刀架在纵、横方向上直线运动的运动副。构成螺旋传动机构的部件,一般为滚珠丝杠副,如图 1-6 所示。

滚珠丝杠副的摩擦阻力小,可消除轴向间隙及预紧,故传动效率及精度高,运动稳定,动作灵敏。但结构较复杂,制造技术要求较高,所以成本也较高。另外,自行调整其间隙大小时,难度亦较大。



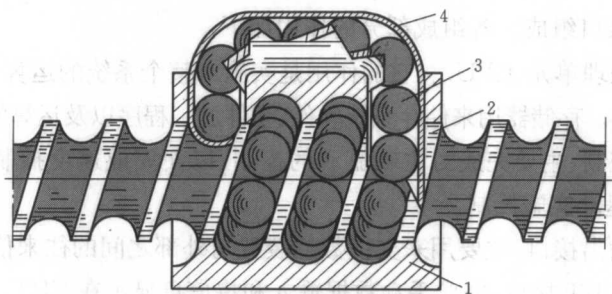


图 1-6 滚珠丝杠副

1—螺母 2—丝杠 3—滚珠 4—滚珠循环装置

4) 自动转动刀架。除了车削中心采用随机换刀(带刀库)的自动换刀装置外,数控车床一般带有固定刀位的自动转位刀架,有的车床还带有各种形式的双刀架。

5) 检测反馈装置。根据数控车床伺服系统分类,开环系统无检测反馈装置,半闭环和闭环系统则有检测反馈装置。

6) 辅助装置。数控车床的辅助装置较多,除了与普通车床所配备的相同或相似的辅助装置外,数控车床还可配备对刀仪及自动排屑装置等。

## 2. 数控装置和伺服系统

数控车床与普通车床的主要区别就在于是否具有数控装置和伺服系统这两大部分。如果说,数控车床的检测装置相当于人的眼睛,那么,数控装置相当于人的大脑,伺服系统则相当于人的双手。这样,就不难看出这两大部分在数控车床中所处的重要位置了。

1) 数控装置。数控装置的核心是计算机及其软件,它在数控车床中起“指挥”作用(图 1-7):数控装置接收由加工程序送来的各种信息,并经处理和调配后,向驱动机构发出执行命令;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装置,以便经处理后发出新的执行命令。

CNC 装置是数控加工用专用计算机,除具有一般计算机结构外,还有与数控机床功能有关的功能模块和接口单元。CNC 装置由硬件和软件组成,软件在硬件的支持下运行,离开软件,硬件便无法工作,两者缺一不可。

CNC 装置的硬件主要由中央处理单元、各类存储器、输入输出接口、位置控制

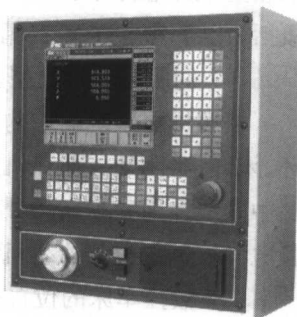


图 1-7 数控装置