



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

数控车床编程与操作

SHUKONG CHECHUANG BIANCHENG
YU CAOZUO

◎ 主 编 翟瑞波



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

数控车床编程与操作

主 编 翟瑞波

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

内 容 简 介

本教材针对数控专业的高等教育需求开发。教材突出 FANUC、SIEMENS 两大主流系统的常用指令、循环指令的学习, 突出了知识的综合运用。精心设置练习、课题, 可操作性强并经机床操作验证。

本教材可作为高等院校数控技术应用专业和机电技术应用专业的教学与实践教材, 同时对数控技术开发、数控设备使用、数控机床编程人员、数控机床操作人员具有指导意义; 还可以作为各种层次人员的数控培训教材。

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 / 翟瑞波主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2010. 7
ISBN 978-7-5640-3699-7

I. ①数… II. ①翟… III. ①数控机床: 车床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 ②数控机床: 车床—操作—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TG519. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 160873 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 / 北京燕旭开拓印务有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 20.75

字 数 / 386 千字

责任编辑 / 郭志宁

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

/ 王叶楠

印 数 / 1 ~ 1500 册

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

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果 机电系列编委会

主任：翟瑞波

副主任：徐秀娟 王核心 李稳贤 侯会喜 袁世先

编委（按姓氏笔画为序）：

卜养玲	孔敏	王颖娴	王亚平	王兰	王周让
王保华	王从钗	牛方方	邓小君	邓树君	代美泉
石枫	白娟娟	冯秀萍	孙鹏涛	李俊	李宁
李燕	李俊涛	李妍缘	李丽娟	吕栋腾	朱劲松
朱敬超	朱永迪	闫存富	刘书群	刘峙	刘畅
刘光定	刘龙江	安宏	许云兰	宋芳	宋志峰
宋述林	宋育红	张运真	张俊勇	张保丰	张志军
张俊	张怀广	张明颖	张峰	张文革	冶君妮
时寸	辛小丽	辛梅	罗亚军	宗一妮	房贯军
赵亚英	赵东辉	赵章吉	赵斌	庞应周	杨辉
杨琳	杨维	杨汉嵩	杨爽	郭新民	侯晓芳
徐铭	徐雅娟	徐家忠	高凯	高葛	唐志祥
符林芳	黄明惠	黄金磊	曾霞	雷伟斌	蒋爱云
蔺国民	潘爱民	薛媛丽			

前 言

随着数控机床的日益普及，对数控机床编程、操作人员提出了更高的要求。本教材以项目教学的模式编排内容，以就业为导向，突出“以素质为基础，以就业为导向，以能力为本位，以学生为主体”的课程改革指导思想，从岗位需求出发，以能力培养为核心，体现新知识、新技术、新方法的应用，着重强调知识的应用性，即学生动手实践能力的培养。

本教材以 FANUC 系统为例，讲解数控车削的基本知识；从基本指令入手，讲解循环指令、子程序、宏程序的应用；讲解数控机床的操作；每个课题均有学习目标、知识学习、拓展知识、课后练习的模块；同时将 FANUC、SIEMENS 系统指令进行对比讲解。本教材内容丰富、可操作性强。

本教材突出应用、实用、适用，以实际出发设计训练课题、综合实例，将加工工艺、编程知识融入当中。全部练习、课题、实例均经过机床验证。本教材中插图直观，易于理解。

本教材由翟瑞波主编。本教材在编写过程中得到汪化娟、张鹏程、杨晓朋等同仁的帮助，在此一并感谢。由于作者水平有限，本教材中的不足之处恳请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 数控车削基本知识	1
课题一 数控车床介绍	1
拓展知识 数控车床的结构与发展	6
课题二 数控车床坐标系	10
拓展知识 车削中心介绍	14
课题三 数控车床编程基础	16
拓展知识 SIEMENS 系统编程基础	24
课题四 数控车床用刀具、夹具及典型结构	30
拓展知识 机床夹具的分类	37
项目二 数控车削编程基本指令 (FANUC 系统)	40
课题一 基本指令	40
拓展知识 SIEMENS 系统基本指令	43
课题二 快速点定位指令 (G00)、直线插补指令 (G01)	48
拓展知识 SIEMENS 系统指令	53
课题三 圆弧插补指令	55
拓展知识 SIEMENS 系统指令	57
课题四 刀尖半径补偿指令	59
拓展知识 SIEMENS 系统指令	65
项目三 数控车削循环指令	67
课题一 单一循环指令	67
课题二 复合循环指令	71
拓展知识 SIEMENS 系统固定循环指令	80
课题三 螺纹切削指令	95
拓展知识 SIEMENS 系统螺纹切削指令	107
项目四 子程序应用	114
拓展知识 SIEMENS 系统子程序应用	116

项目五 宏程序应用	121
拓展知识 SIEMENS 系统参数编程	139
项目六 常用指令的综合应用	153
拓展知识 SIEMENS 系统常用指令的综合应用	183
项目七 综合课题训练	202
课题一 轴类零件加工	202
拓展知识 SIEMENS 系统程序编制	206
课题二 盘类零件加工	210
课题三 轴套类零件加工	218
拓展知识 SIEMENS 系统程序编制	225
课题四 综合零件加工	234
拓展知识 SIEMENS 系统程序编制	246
项目八 数控车床操作 (FANUC 系统)	262
拓展知识 FANUC Oi 系统机床操作	270
项目九 数控车床操作 (SIEMENS 系统)	288
拓展知识 SIEMENS 802S 系统机床操作	307
参考文献	322

项目一 数控车削基本知识

学习目标

- (1) 掌握数控车床的工作原理、种类、特点、适用范围。
- (2) 掌握数控车床坐标系。
- (3) 掌握数控车床编程特点、编程结构、组成。
- (4) 了解数控车床用刀具、夹具。

课时分配

- 课题一 数控车床介绍 4H
课题二 数控车床坐标系 4H
课题三 数控车床编程与操作基础 6H
课题四 数控车床用刀具、夹具及典型结构 6H

课题一 数控车床介绍

学习目标

掌握数控车床的工作原理、种类、特点及适用范围。

知识学习

数控车床应用广泛，主要用于轴类、盘套类等回转体类零件的加工，能完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工，并能进行切槽、钻、扩、铰孔等加工。数控车削中心还可在一次装夹中完成更多的加工内容，适宜于复杂形状的回转体类零件的加工。

一、数控车床的工作原理

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件，编制零件数控加工程序，并输入到数控机床的数控系统，用以控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成对零件的加工。数控加工原理如图 1-1 所示。

- (1) 根据零件图纸要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件数控加工程序。可采用手工编程、自动编程的方法完成零件的加工程序文件。

(3) 通过数控机床操作面板或用计算机传送的方式将数控加工程序输入到数控系统。

(4) 按数控程序进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作,运行程序,完成对零件的加工。

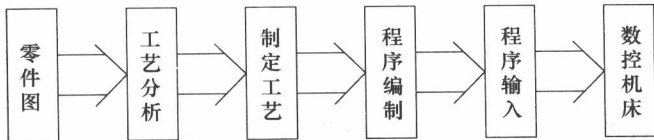


图 1-1 数控加工原理

二、数控车床的种类

1. 按主轴位置分

(1) 卧式数控车床 卧式数控车床是主轴轴线处于水平位置的数控车床,如图 1-2 所示。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。其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。

(2) 立式数控车床 立式数控车床是主轴轴线处于垂直位置的数控车床,如图 1-3 所示。立式数控车床有一个直径很大的圆形工作台,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。

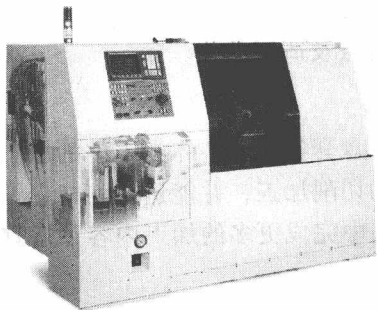


图 1-2 卧式数控车床

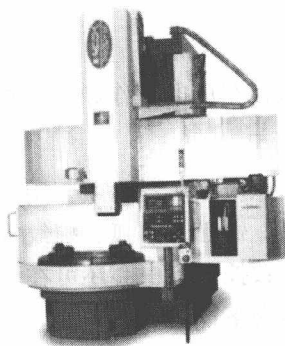


图 1-3 立式数控车床

2. 按可控轴数分

(1) 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,如图 1-4 所示。

(2) 四轴控制的数控车床 机床上有两个独立的回转刀架,可实现四轴控

制,如图 1-5 所示。

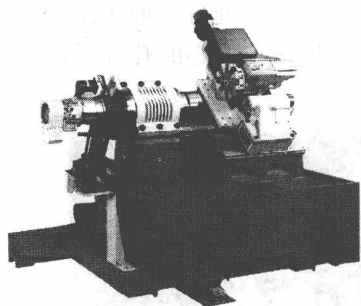


图 1-4 单主轴单刀架

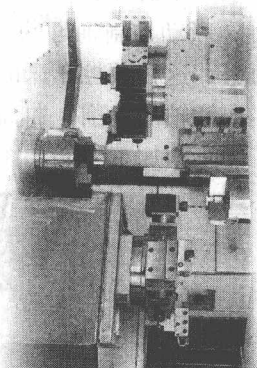


图 1-5 双主轴双刀架

3. 按系统功能分

(1) 经济型数控车床 经济型数控车床,如图 1-6 所示。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,也有一些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。其控制部分采用单版机或单片机实现。经济型数控车床自动化程度和功能都比较差,缺少诸如刀尖圆弧半径自动补偿和恒表面线速度切削等功能。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) 全功能型数控车床 全功能型数控车床,如图 1-7 所示,就是日常所说的“数控车床”。它的控制功能是全功能型的,带有高分辨率的 CRT,具有各种显示、图形仿真、刀具和位置补偿等功能,带有通信或网络接口。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。全功能型数控车床可同时控制两个坐标轴,即 X 轴和 Z 轴,适用于一般回转类零件的车削加工。

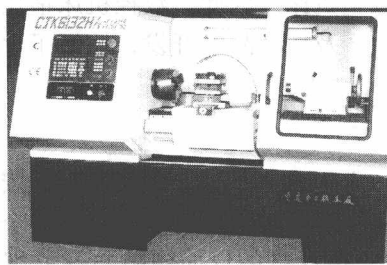


图 1-6 经济型数控车床

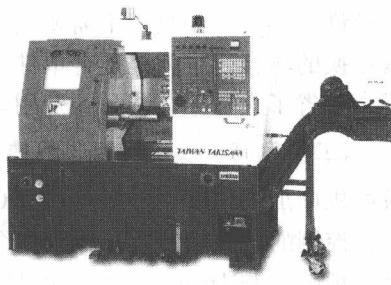


图 1-7 全功能数控车床

(3) 车削加工中心 车削加工中心是以全功能型数控车床为主体,配备刀具库、自动换刀装置、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。

车削加工中心在数控车床的基础上,增加了C轴和动力头,可控制X轴、Z轴和C轴,联动控制轴可以是(X、Z)、(X、C)、(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,除可以进行一般车削外,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等加工。车削加工中心如图1-8所示。



图1-8 车削加工中心

三、数控车床的特点

数控车床具有全封闭防护;排屑方便;主轴转速较高,工件夹紧可靠;自动换刀;主传动与进给传动分离,由数控系统协调;以二轴联动车削为主,向多轴、车铣复合加工发展等特点。

数控机床与传统的机床相比,具有以下特点:

1. 具有高度柔性

在数控机床上加工零件,主要取决于加工程序,它与普通机床不同,不必制造、更换许多工具、夹具,不需要经常重新调整机床。因此,数控机床适用于零件频繁更换的场合,也就是适合单件、小批生产及新产品的开发,缩短了生产准备周期,节省了大量工艺装备的费用。

2. 加工精度高、质量稳定、可靠

数控机床加工精度,一般可达 $0.005\text{mm} \sim 0.05\text{mm}$ 之间,数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(一般为 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿。因此,数控机床定位精度比较高。

加工同一批零件,在同一机床,在相同加工条件下,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性,质量稳定。

3. 加工生产效率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间,数控机床的主轴转速和进给量范围大,允许机床进行大切削量的强力切削,极大提高了生产率。另外配合加工中心的刀库使用,实现了在一台机床上进行多道工序的连续加工,减少了半成品的工序间的周转时间,提高了生产率。

4. 改善劳动条件

数控机床加工前经调整以后,输入程序并启动,机床就能自动连续地加工,直至加工结束。操作者主要完成程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作,极大降低了劳动强度,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工既清洁又安全。

5. 利于生产管理现代化

数控机床的加工,预先精确估计加工时间,所使用的刀具、夹具、可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为数控信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

四、数控车床的应用

1. 数控加工的适用范围

(1) 形状复杂,加工精度要求高,普通机床无法加工或可加工但经济性差的零件;

(2) 加工轮廓虽不复杂,但要求同批产品一致性较高的,或要求一次性装夹后完成多工序加工的零件;

(3) 用普通机床加工时,需要复杂工装保证的或检测部位多、检测费用高的零件;

(4) 在普通机床上加工时,需要做反复调整,或需要反复修改设计参数后才能定型的零件;

(5) 用普通机床加工时,加工结果极易受到人为因素(心理、生理及技能等)影响的大型或贵重的零件;

(6) 用普通机床加工生产效率很低或劳动强度很大时。

2. 不适应数控加工范围

(1) 加工轮廓简单,精度要求低或生产批量又特别大的零件;

(2) 装夹困难或必须靠人工找正定位才能保证其加工精度的单件零件;

(3) 加工余量特别大或材质及余量都不均匀的坯件;

(4) 加工中,刀具的质量(主要是耐用度)特别差时。

拓展知识 数控车床的结构与发展

一、数控车床的结构

1. 数控车床的组成

数控车床由床身、主轴箱、刀架进给系统、尾座、液压系统、冷却系统、润滑系统、排屑系统等部分组成，如图 1-9 所示为数控车床的外观图。

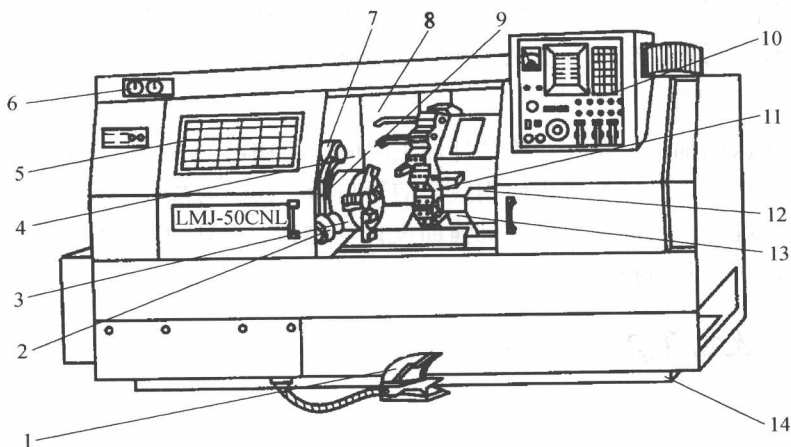


图 1-9 数控车床的外观图

- 1—主轴卡盘松、紧开关；2—对刀仪；3—主轴卡盘；4—主轴箱；5—机床防护罩；
6—压力表；7—对刀仪防护罩；8—导轨防护罩；9—对刀仪转臂；10—操作面板；
11—回转刀架；12—尾座；13—床鞍；14—床身

1) 床身

卧式数控车床的床身结构主要有水平床身、倾斜床身以及水平床身斜滑板等，一般中小型数控车床多采用倾斜床身或水平床身倾斜滑板结构。倾斜床身外形美观，占地面积小，易于排屑和冷却液的排流，便于操作与观察。易于安装上下料机械手，实现全面自动化而且可采用封闭截面整体结构，提高了床身的刚度。床身导轨倾斜度多为 45° 、 60° 和 70° ，但倾斜角度太大会影响导轨的导向性及受力情况。水平床身加工工艺性好，其刀架水平放置，有利于提高刀架的运动精度，但这种结构的床身下部空间小，排屑困难。如图 1-10 所示为数控车床的床身结构。

2) 主传动系统

数控车床的主传动系统一般采用直流或交流无级调速电动机，通过带传动带动主轴旋转，由数控系统指令控制，实现自动无级调速及恒切削速度控制。

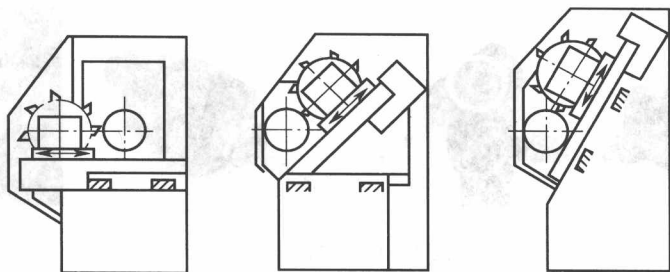


图 1-10 卧式数控车床的床身结构

(a) 水平床身；(b) 水平床身斜刀架；(c) 斜床身

3) 进给传动系统

车床进给传动系统一般由横向进给传动系统和纵向进给传动系统组成。横向进给传动系统是带动刀架作横向 (X 轴) 移动的装置, 它控制工件的径向尺寸; 纵向进给传动系统是带动刀架作纵向 (Z 轴) 移动的装置, 它控制工件的轴向尺寸。

4) 刀架系统

(1) 回转刀架 回转刀架是普遍采用的刀架形式, 它通过刀架的旋转、分度、定位来实现机床的自动换刀工作。回转刀架分为立式和卧式两种形式。根据同时装夹刀具的数量分 4、6、8、12 等工位。图 1-11 (a) 所示为 4 工位立式回转刀架, 图 1-11 (b) 所示为 12 工位卧式回转刀架。

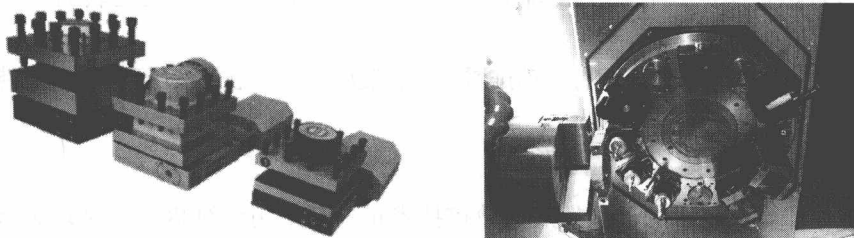


图 1-11 回转刀架

(a) 立式回转刀架；(b) 卧式回转刀架

(2) 排式刀架 排式刀架一般用于小规格数控车床, 以加工棒料或盘类零件为主。如图 1-12 所示。

(3) 铣削动力头 数控车床刀架安装铣削动力头后可扩展其加工能力。图 1-13 为铣削动力头以及加工零件切削状态。



图 1-12 排式刀架

2. 数控车床的结构特点

数控车床与普通车床相比, 其结构具有以下特点:

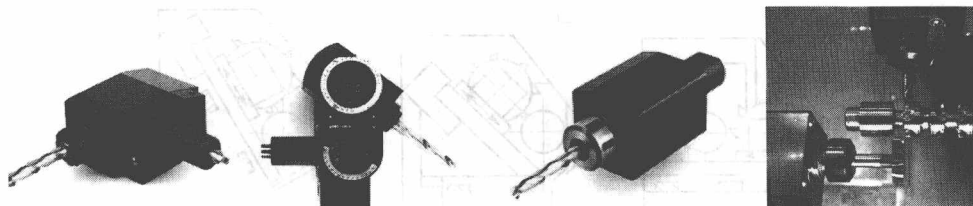


图 1-13 铣削动力头

(1) 数控车床刀架的两个方向运动分别由两台伺服电机驱动，一般采用与滚珠丝杠直接连接，传动链短。

(2) 数控车床刀架移动一般采用滚珠丝杠副，丝杠两端安装滚珠丝杠专用轴承，它的接触角比常用的向心推力球轴承大，能承受较大的轴向力；数控车床的导轨、丝杠采用自动润滑，由数控系统控制定期、定量供油，润滑充分，可实现轻拖动。

(3) 数控车床一般采用镶钢导轨，摩擦系数小，机床精度保持时间较长，可延长其使用寿命。

(4) 数控车床主轴通常采用主轴电动机通过一级带传动（主轴电动机由数控系统控制，采用直流或交流控制单元来驱动），实现无级变速，不必用多级齿轮副来进行变速。

(5) 数控车床具有加工冷却充分、防护严密等特点，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、液动力卡盘及液压顶尖等辅助装置。

二、数控机床的发展

随着计算机技术的迅猛发展，数控技术正不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术，使其朝着高速化、高精化、复合化、智能化、高柔性化及信息网络化等方向发展。整体数控加工技术向着 CIMS（计算机集成制造系统）方向发展。

1. 高速切削

受高生产率的驱使，高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一。主要表现在：

1) 数控机床主轴高转速

采用电主轴（内装式主轴电动机），即主轴电动机的转子轴就是主轴部件，可将主轴转速大大提高。日本的超高速数控立式铣床，主轴最高转速达100 000r/min。

2) 工作台高快速移动和高进给速度

当今知名数控系统的进给率都有了大幅度的提高。目前的最高水平是分辨率

为 $1\mu\text{m}$ 时, 最大快速进给速度可达 $240\text{m}/\text{min}$ 。

2. 高精加工

高精加工是高速加工技术与数控机床广泛应用的结果。以前零件的加工精度要求在 0.01mm 数量级, 现在精加工及光整加工所需精度已提高到 $0.1\mu\text{m}$, 加工精度进入了亚微米级。

3. 复合化加工

机床的复合化加工是通过增加机床的功能, 减少工件加工过程中的多次装夹、重新定位、对刀等辅助工艺时间, 来提高机床利用率。

4. 控制智能化

数控技术智能化程度不断提高, 体现在以下几个方面:

1) 加工过程自适应控制技术

监测加工过程中的刀具磨损、破损、切削力、主轴功率等信息并进行反馈, 利用传统的或现代的算法进行调节运算, 实时修调加工参数或加工指令, 使设备处于最佳运行状态, 以提高加工精度和设备运行安全性。

2) 加工参数的智能优化与选择

将加工专家的经验、切削加工的一般规律与特殊规律, 按人工智能中知识表达的方式建立知识库存入计算机, 以加工工艺参数数据库为支撑, 建立专家系统, 并通过它提供经过优化的切削参数, 使加工系统始终处于最优和最经济的工作状态, 从而达到提高编程效率和加工工艺技术水平, 缩短生产准备时间的目的。

3) 故障自诊断功能

故障诊断专家系统为数控设备提供了一个包括二次监测、故障诊断、安全保障和经济策略等方面在内的智能诊断及维护决策信息集成系统。采用智能混合技术, 可在故障诊断中实现以下功能: 故障分类、信号提取与特征提取、故障诊断专家系统、维护管理。

4) 智能化交流伺服驱动装置

目前已开始研究能自动识别负载, 并自动调整参数的智能化伺服系统, 包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电动机及负载的转动惯量, 并自动对控制系统参数进行优化和调整, 使驱动系统获得最佳运行。

5. 互联网络化

网络功能正逐渐成为现代数控机床、数控系统的特征之一。诸如现代数控机床的远程故障诊断、远程状态监控、远程加工信息共享、远程操作(危险环境的加工)、远程培训等都是以网络功能为基础的。

6. 计算机集成制造系统 (CIMS)

计算机集成制造系统的发展可以实现整个机械制造厂的全盘自动化,成为自动化工厂或无人化工厂,是自动化制造技术的发展方向。

计算机集成制造系统主要由设计与工艺模块、制造模块、管理信息模块和存储运输模块构成。设计与工艺模块的主要功能模块有 CAD、CAE、CAPP、CAM 等。制造模块的主要功能有 DNC、CNC、车间生产计划、作业调度、刀具管理、质量检测与控制、装配、自动化仓库、FMC/FMS 等。管理信息模块的主要功能有:市场预测、物料需求计划、生产计算、成本核算及销售等。存储运输模块的主要功能有仓库管理、自动搬运等。

课后练习

- (1) 简述数控车床的工作原理。
- (2) 数控车床如何分类?
- (3) 数控车床有什么特点?
- (4) 试述数控车床的应用范围?
- (5) 数控车床由哪几部分组成?
- (6) 卧式数控车床床身有哪几种形式?各有何特点?
- (7) 数控车床的结构有何特点?
- (8) 简述数控机床的发展。

课题一 数控车床坐标系

学习目标

- (1) 掌握数控车床坐标系。
- (2) 掌握卧式数控车床刀架前置、刀架后置坐标系。
- (3) 了解数控车削中心坐标系。

知识学习

一、数控机床坐标系

1. 坐标轴和运动方向命名的原则

- (1) 假定刀具相对于静止的工件而运动。当工件移动时,则在坐标轴符号上加“'”表示。
- (2) 标准坐标系是一个右手直角笛卡儿坐标系。如图 1-14 所示。
- (3) 刀具远离工件的运动方向为坐标轴的正方向。