

高职高专机电类
工学结合模式教材

数控机床编程 与操作模块化教程

赵 华 许杰明 主编

王 平 主审

清华大学出版社



高职高专机电类
工学结合模式教材

数控机床编程 与操作模块化教程

赵 华 许杰明 主编
王 平 主审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书在内容上主要以 FANUC 系统为主,对比介绍企业中广泛使用的华中系统等其他数控系统,有利于学生对比学习和掌握。在结构上,充分考虑职业教育的特点,培养学生的操作技能,以模块化教学模式为出发点,加入典型实例,对学生进行由简单到复杂,由理论转化为技能的培养。通过本书的学习,学生可以熟练掌握数控加工工艺设计、数控加工方法的选择、数控机床操作及加工机床选用等技能。本教材的实操性强,知识面讲述较宽,对学习数控技术提供了较全面的基础理论和实际操作知识。

本教材可作为高职高专机电类专业的理论教材、数控机床实训教材及电加工实训教材,也可作为从事有关数控加工方面工作的技术人员及自学数控技术人员的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作模块化教程/赵华,许明杰主编. —北京:清华大学出版社,2011.9

(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-26748-5

I. ①数… II. ①赵… ②许… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 ②数控机床—操作—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 182421 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:刘 静

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.25

字 数:450 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版

印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00 元



本书在编写过程中,我们遵从“淡化理论,够用为度,培养技能,重在实用”的编写原则,从高等职业教育的实际出发,基于认知规律排序:简单→复杂;单一→综合;低级→高级,加强职业培养的针对性和技术的实用性,着重介绍了数控加工技术的方法、数控机床操作及应用。同时为了培养学生的创新、创业精神,本书还对其他数控加工技术及数控设备的装调、保养与维护作了简单介绍。

本书遵循职业教育的规律,以就业为导向,以培养技能型人才为根本,依据国家职业资格鉴定要求,力求在通用性、实用性、创新性和开放性的基础上,以模块化教学为引领,加上大量的实际案例作为技能训练的蓝本,结合多年来从事高职学生数控车、铣中高级考证老师的经验,有利于做到学做一体、工学结合、理实一体化的教学模式。

通过本书的学习,除了使学生获得数控技术的基础知识外,更能培养学生熟练进行典型零件的数控加工编程、常用数控机床的操作技能。本书还提供了其他数控加工方法、加工机床等,如数控电加工、数控冲床、机床操作安全与保养等,以扩展学生视野,拓宽数控技术知识面,利于增加就业机会。

本书涉及内容较多,介绍数控知识面较宽,各校可以根据自己的课程体系设计自行选择课堂或实践教学内容。

本书由赵华、许明杰任主编并对全书进行了全面、细致的统稿,李福运、刘松任副主编。其中,赵华编写模块四的任务4.10,任务4.11,任务4.12及模块5;赵天明编写模块1和模块2的课题2.1,课题2.2,课题2.3,课题2.4中2.4.1,2.4.2,2.4.3;杨成荫编写模块2的课题2.4中2.4.4,2.4.5,2.4.6和数控加工刀具和对刀仪;刘松编写模块3的任务3.1~任务3.4;李福运编写模块3的任务3.5和模块4的任务4.1~任务4.4;许明杰编写模块4的任务4.5~4.9。王士学和张华伟也参与了部分内容的编写。

本书由广东工贸职业技术学院王平教授主审,对全稿进行了认真、仔细地审阅和修改,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中,还得到广东松山职业技术学院的领导及教务处相关人员的关心和大力支持,得到了从事数控专业教学的部分老师的大力帮助,提出了一些建设性意见,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加上技术发展迅速,本书难免有不足之处,望读者和诸位同仁提出宝贵意见。

编者

2011年6月



基 础 篇

模块 1 数控加工技术概述	3
课题 1.1 数控加工机床的基本知识	3
【知识目标】	3
【知识学习】	3
1.1.1 数控机床的产生	3
1.1.2 国内外数控技术的发展对比	4
1.1.3 数控机床工作过程	5
1.1.4 数控机床的性能指标	5
课题 1.2 数控机床组成及分类	6
【知识目标】	6
【技能目标】	6
【知识学习】	6
1.2.1 数控机床的组成	6
1.2.2 数控机床的分类	8
课题 1.3 数控机床的加工特点及应用范围	11
【知识目标】	11
【知识学习】	11
课题 1.4 数控技术的发展趋势	13
【知识目标】	13
【知识学习】	13
【思考与习题】	15
模块 2 数控机床编程基础	16
课题 2.1 程序编制的基本概念	16
【知识目标】	16
【知识学习】	16
2.1.1 程序编制的内容与步骤	16
2.1.2 数控加工工艺文件	18
2.1.3 加工程序的编制方法	21
课题 2.2 数控机床的坐标系	21
【知识目标】	21

【技能目标】	21
【知识学习】	22
2.2.1 机床坐标系	22
2.2.2 工件坐标系	24
2.2.3 数控程序的结构	25
课题 2.3 程序编制中的基本指令	29
【知识目标】	29
【技能目标】	29
【知识学习】	29
2.3.1 准备功能指令——G 指令	29
2.3.2 辅助功能指令——M 指令	30
2.3.3 其他功能指令简介	32
课题 2.4 数控编程中的工艺处理	32
【知识目标】	32
【技能目标】	33
【知识学习】	33
2.4.1 数控加工工艺的概述	33
2.4.2 数控加工工艺分析的一般步骤与方法	33
2.4.3 数控车床车削加工工艺特点和加工内容	41
2.4.4 数控车床车削加工工艺分析	43
2.4.5 数控铣削加工工艺	51
2.4.6 数控铣削加工工艺分析	53
【技能训练】	59
【知识拓展】	65
数控加工刀具及对刀仪	65
【课堂训练与测评】	74
【思考与习题】	75

操 作 篇

模块 3 数控车床的编程	79
任务 3.1 轴套类零件的加工	79
【知识目标】	79
【技能目标】	79
【知识学习】	79
3.1.1 典型轴套类零件的加工工艺	79
3.1.2 基本指令及相关 G 功能指令	80
【技能训练】	85
【课堂训练与测评】	86

任务 3.2 螺纹类零件的加工	87
【知识目标】	87
【技能目标】	87
【知识学习】	87
3.2.1 典型轴套类零件的加工工艺	87
3.2.2 相关 G 功能指令	87
【技能训练】	92
【课堂训练与测评】	94
任务 3.3 成形面类零件的加工	95
【知识目标】	95
【技能目标】	96
【知识学习】	96
【技能训练】	106
【课堂训练与测评】	108
任务 3.4 数控车削综合加工	109
【知识目标】	109
【技能目标】	109
【技能训练】	110
【知识拓展】	116
任务 3.5 数控车床基本操作(GSK980TA)	117
【知识目标】	117
【知识学习】	117
3.5.1 GSK980TA 数控系统车床面板功能	117
3.5.2 GSK980TA 数控系统车床开机	118
3.5.3 GSK980TA 数控系统车床手动操作	118
3.5.4 GSK980TA 车床系统程序的创建和编辑	120
3.5.5 GSK980TA 数控车床系统参数的设定和数据的显示	121
3.5.6 GSK980TA 数控系统车床自动运行操作	124
3.5.7 GSK980TA 数控系统车床试切对刀	126
3.5.8 数控车床操作安全与保养	126
【知识拓展】	127
【思考与习题】	131
模块 4 数控铣床的编程	135
任务 4.1 直线图形加工	135
【知识目标】	135
【技能目标】	135
【知识学习】	136
4.1.1 程序指令	136
4.1.2 加工工艺分析	137

【知识拓展】	139
工件的安装	139
任务 4.2 圆弧图形加工	142
【知识目标】	142
【技能目标】	142
【知识学习】	142
4.2.1 编程指令	142
4.2.2 加工工艺分析	144
【知识拓展】	147
知识拓展 1: 铣削基本知识	147
知识拓展 2: 工件的校正与工件坐标系原点的体现	150
任务 4.3 轮廓加工	151
【知识目标】	151
【技能目标】	151
【知识学习】	151
4.3.1 编程指令	151
4.3.2 加工工艺分析	152
4.3.3 参考程序编制	154
【知识拓展】	156
常用切削刀具	156
任务 4.4 平面外轮廓加工	156
【知识目标】	156
【技能目标】	157
【知识学习】	157
任务 4.5 平面内轮廓加工	161
【知识目标】	161
【技能目标】	161
【知识学习】	161
4.5.1 编程指令	161
4.5.2 加工工艺分析	162
【知识拓展】	165
平面铣削基本知识	165
任务 4.6 轮廓综合加工	166
【知识目标】	166
【技能目标】	166
【知识学习】	167
任务 4.7 凹槽加工	171
【知识目标】	171
【技能目标】	171

【知识学习】	171
4.7.1 编程指令	171
4.7.2 加工工艺分析	172
4.7.3 参考程序编制	174
4.7.4 加工实例	175
任务 4.8 直沟槽、圆弧槽加工	177
【知识目标】	177
【技能目标】	177
【知识学习】	178
4.8.1 编程指令	178
4.8.2 加工工艺分析	180
【知识拓展】	182
工件坐标系原点 Z 的设定、刀具长度补偿的设置	182
任务 4.9 三维曲面铣削	184
【知识目标】	184
【技能目标】	184
【知识学习】	185
4.9.1 用户宏指令	185
4.9.2 三维曲面铣削基本知识	187
4.9.3 编程	188
任务 4.10 孔加工	190
【知识目标】	190
【技能目标】	190
【知识学习】	190
4.10.1 数控铣中的孔加工方式	190
4.10.2 数控铣中孔加工循环及常用功能指令的基本格式	192
4.10.3 钻孔循环	194
4.10.4 镗孔循环	197
4.10.5 铰孔循环	200
4.10.6 攻螺纹循环	200
【技能训练】	201
【课堂训练】	204
【知识拓展】	204
加工中心零件编程	204
任务 4.11 数铣综合加工	208
【知识目标】	208
【技能目标】	208
【技能训练】	208
任务 4.12 数控铣床基本操作(FANUC 0i-MD)	219
【知识目标】	219

【知识学习】	219
4.12.1 FANUC 0i-MD 数控系统铣床面板功能	219
4.12.2 FANUC 0i-MD 数控系统铣床开机	222
4.12.3 FANUC 0i-MD 数控系统铣床手动操作	222
4.12.4 FANUC 0i-MD 数控系统铣床创建和编辑程序	223
4.12.5 FANUC 0i-MD 数控系统铣床设定和显示数据	225
4.12.6 FANUC 0i-MD 数控系统铣床自动运行操作	226
4.12.7 数控铣床操作安全与保养	227
【知识拓展】	228
【思考与习题】	229

拓展篇

模块 5 数控特种加工	235
课题 5.1 电火花加工的基础知识	235
【知识目标】	235
【知识学习】	236
5.1.1 电火花加工的基本原理	236
5.1.2 电火花加工的基本条件	236
5.1.3 电火花加工的物理本质	237
5.1.4 电火花加工的基本工艺规律	239
课题 5.2 数控电火花成形加工	243
【知识目标】	243
【技能目标】	243
【知识学习】	243
5.2.1 电火花成形机床及主要附件	243
5.2.2 型孔的电火花成形加工	246
5.2.3 型腔的电火花成形加工	248
5.2.4 数控电火花多轴联动工艺简介	250
【技能训练】	250
【知识拓展】	256
数控电火花成形机床操作规程及日常维护	256
课题 5.3 数控电火花线切割加工	257
【知识目标】	257
【技能目标】	258
【知识学习】	258
5.3.1 电火花线切割加工的原理和特点	258
5.3.2 数控电火花线切割加工机床	259
5.3.3 数控线切割手工编程	262
5.3.4 数控线切割的自动编程	270

【技能训练】	270
【知识拓展】	274
数控电火花线切割加工安全操作规程及机床日常维护	274
课题 5.4 数控激光加工简介	275
【知识目标】	275
【知识学习】	275
5.4.1 激光加工的工作原理及特点	275
5.4.2 数控激光加工常见的方法及应用	276
【思考与练习】	277
参考文献	278



基础篇



数控加工技术概述

课题 1.1 数控加工机床的基本知识



【知识目标】

了解数控机床的产生；熟悉数控机床的工作原理、工作过程。



【知识学习】

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展,人们对机械产品的质量和生产效率提出了越来越高的要求。

对于定型产品的大批量生产,许多生产企业(例如汽车、拖拉机、家电行业等生产厂家)都已采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线,实行自动流水作业。尽管初期投资大,生产准备时间长,但在大批量生产的条件下,产品质量容易得到保证,生产效率高,平均单件成本低,经济效益非常显著。

而对于单件、小批量、精密复杂零件的生产,存在如下问题:在机械制造业中,多品种、单件、小批量生产(批量在 10~100 件)约占机械加工总量的 80% 以上,尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防等部门,其生产特点是品种多,加工批量小,改型频繁,零件的形状复杂且精度要求高。采用普通机床,其自动化程度低,生产效率和加工精度都难以提高,尤其是一些复杂曲面,甚至无法加工;而采用专用自动化加工设备,则投资大、时间长、转型难,显然不能满足竞争日益激烈的市场需要。

为了解决上述问题,满足多品种、单件、小批量、高精度、高效率的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的,能适应产品频繁变化、结构复杂、加工精度要求较高的柔性自动化机床,这就是数控机床。

数控是数字控制的简称,英文为 Numerical Control,简称 NC,是指用数

字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现。1908年,穿孔的金属薄片互换式数据载体问世;之后,以纸为数据载体并具有辅助功能的控制系统被发明;1938年,香农在美国麻省理工学院进行了数据快速运算和传输,奠定了现代计算机,包括计算机数字控制系统的基础。数控技术是与机床控制密切结合发展起来的。1952年,第一台数控机床问世,成为世界机械工业史上一件划时代的事件,推动了自动化的发展。

随着电子技术和计算机技术的不断发展,数控系统经历了电子管(1952年)、晶体管(1958年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路和微型计算机(1970年)4个时代。直到微型计算机引入数控系统,才使它在质的方面完成了一次飞跃,利用控制软件实现多种控制功能,显著提高了系统的功能特性和可靠性,这种由微型计算机控制的数控系统简称为CNC系统(Computer Numerical Control)。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来执行对设备的控制功能。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置,使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现,均可通过计算机软件来完成。

数控机床是自动化机床的一种。它用数字和字母形式来表达工件的形状和尺寸等技术要求和加工工艺要求,经过数控装置运算,发出指令,控制机床的加工操作。

1952年,美国麻省理工学院在一台立式铣床上装上了一套试验性的数控系统,成功地实现了同时控制三轴运动的设想,这就是世界上第一台数控机床。

数控机床的发展是与数控系统的发展密切相关的,最早出现的是数控铣床。20世纪60年代以后,点位控制的机床迅速发展,出现了数控钻床、数控冲床和数控坐标镗床。这类机床不需要复杂的控制算法就可以实现加工。

数控加工中心机床的出现,使数控机床的发展进入一个新的阶段。加工中心具有的自动换刀装置能做到一次装夹,多工序加工,从而大大缩短机床上零件的装卸时间和更换刀具的时间。这种机床不仅有立式、卧式等用于箱体类零件加工的镗铣类加工中心,还有用于回转体类零件加工的车削中心,以及磨削中心等。

1.1.2 国内外数控技术的发展对比

1. 国外先进工业国家数控技术的现状

- (1) 拥有数量较多,通常占主要生产设备的20%以上。
- (2) 大型数控机床较多,如落地式镗铣床,大型龙门镗铣床,以及三坐标测量机等。
- (3) 更新换代较快,许多新开发的设备,能很快地装备到生产线上,投入生产应用。

2. 我国数控技术的生产和应用

(1) 在高档数控机床方面,除少量国产的高档数控系统外,主要是以从世界上其他国家、地区进口的全功能高档数控装备为主体,如发那科、西门子等。

(2) 在中档层次上,国外引进与国产两方面并举。

(3) 在低档数控机床方面,绝大多数是国产的,以国内单板机、单片机或STD总线机加步进电机构成的普及型数控系统为主体,加上少量的由本单位或少量协作单位研制、开发的一些简易数控系统来改造普通机床,或将其配置在线切割等机床上。

1.1.3 数控机床工作过程

数控机床的工作大致有如下几个过程,如图 1-1 所示。

数控加工的准备过程较复杂,内容多,包含对零件的结构认识、工艺分析、工艺方案的制订、加工程序编制、选用工装、辅具及其使用方法等。

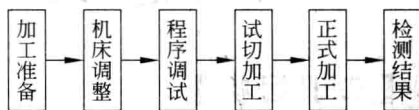


图 1-1 数控机床工作过程

机床的调整主要包括刀具命名、调入刀库、工件安装、对刀、测量刀位、机床各部位状态等多项工作内容。

程序调试主要是对程序本身的逻辑问题及其设计合理性进行检查和调整。

试切加工则是对零件加工设计方案进行动态下的考察,而整个过程均需在前一步实现后的结果评价后再作后一步工作。

试切成功后方可对零件进行正式加工,并对加工后的零件进行结果检测。

从机床调整到试切加工的工作时间均为待机时间,为提高工作效率,希望待机时间越短越好,这样越有利于机床的合理使用。该项指标直接影响对机床利用率的评价(即机床实动率)。

1.1.4 数控机床的性能指标

数控机床的性能指标一般有精度指标、坐标轴指标、运动性能指标及加工能力指标几种,详细内容及其含义与影响可参见表 1-1。

表 1-1 数控机床的性能指标表

种 类	项 目	含 义	影 响
精度指标	定位精度	数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的水平	直接影响加工零件的位置精度
	重复定位精度	同一数控机床上,应用相同程序加工一批零件所得连续质量的一致程度	影响一批零件的加工一致性、质量稳定性
	分度精度	分度工作台在分度时,理论要求回转的角度值和实际回转角度值的差值	影响零件加工部位的空间位置及孔系加工的同轴度等
	分辨率	指数控机床对两个相邻的分散细节间可分辨的最小间隔,即认识识别的最小单位的能力	决定机床的加工精度和表面质量
	脉冲当量	执行运动部件的移动量	决定机床的加工精度和表面质量
坐标轴	可控轴数	机床数控装置能控制的坐标数目	影响机床功能、加工适应性和工艺范围
	联动轴数	机床数控装置控制的坐标轴同时到达空间某一点的坐标数目	影响机床功能、加工适应性和工艺范围
运动性能指标	主轴转速	机床主轴转动速度(目前,普遍达到 5000~10000r/min)	可加工小孔和提高零件表面质量
	进给速度	机床进给线速度	影响零件加工质量、生产效率、刀具寿命等
	行程	数控机床坐标轴空间运动范围	影响零件加工大小(机床加工能力)
	摆角范围	数控机床摆角坐标的转角大小	影响加工零件的空间大小及机床刚度
	刀库容量	刀库能存放加工所需的刀具数量	影响加工适应性及加工资源
	换刀时间	带自动换刀装置的机床将主轴用刀与刀库中下工序用刀交换所需时间	影响加工效率
加工能力指标	每分钟最大金属切除率	单位时间内去除金属余量的体积	影响加工效率

课题 1.2 数控机床组成及分类



【知识目标】

- (1) 熟悉数控机床的组成及各部分的主要功用。
- (2) 了解数控机床的分类特征。



【技能目标】

掌握数控机床的开环、闭环、半闭环三种控制方式的特点及正确选用。



【知识学习】

1.2.1 数控机床的组成

工件在机床上的加工,是通过刀具相对工件的运动来实现的。为定量描述数控机床上刀具相对工件的运动位置,可建立机床加工用的坐标系——工件坐标系。该坐标系设置在工件上,即把工件视为静止,只需保证刀尖在坐标系中的运动轨迹符合工件的轮廓形状,就可加工出图样所要求的零件。

如图 1-2 所示,利用数控机床加工零件的流程由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

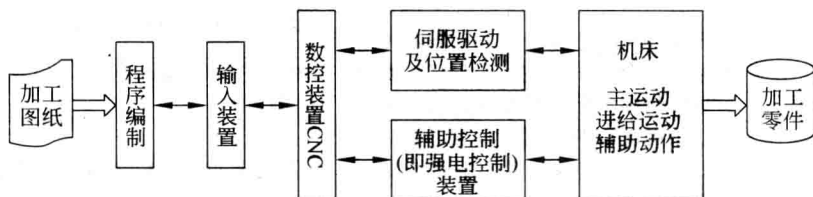


图 1-2 数控机床加工零件原理框图

1. 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程(APT)或 CAD/CAM 设计。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。