



面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材



数控技术及应用

■ 主编 马一民 关雄飞 主审 任国民



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

数控技术及应用

主 编 马一民 关雄飞

副主编 王宏颖

参 编 崔 静 孙荣创

主 审 任国民

西安电子科技大学出版社

2006

内 容 简 介

本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的技术知识,内容主要包括:计算机数控系统、伺服系统及位置检测装置、数控机床机械结构、数控机床加工程序编制以及数控机床故障诊断。本教材的参考学时数为50学时。

本书既可作为高职高专机电一体化、工业自动化、计算机应用、机械制造、模具设计与制造等专业学生的教材,也可作为机电工程技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案,有需要的老师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/马一民主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2006.3

(面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材)

ISBN 7-5606-1648-8

I. 数… II. 马… III. 数控机床-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第005173号

策 划 马乐惠

责任编辑 王晓杰 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 15.25

字 数 357千字

印 数 1~4000册

定 价 17.00元

ISBN 7-5606-1648-8/TP·0396

XDUP 1940001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~ 国家级、部级重点教材 ~~~~~

计算机系统结构(第三版)(统编)	22.00
离散数学(第三版)(统编)(乔维声)	16.00
雷达对抗原理(统编)	15.00
雷达原理(第三版)	23.00
通信网的安全——理论与技术	42.00
模拟电子线路基础(傅丰林)	16.00
移动通信(第三版)(统编)(郭梯云)	26.00
智能控制理论和方法	18.00

~~~~~ 计算机提高普及类 ~~~~~

计算机应用基础(第三版)(丁)	19.00
计算机组装与维护(高职)(杜飞明)	22.00
计算机组装与维护实用教程 (第二版)(高职)	29.00
《新编计算机应用基础》 (Windows 2000&Office 2002)(第二版)	22.00
《新编计算机应用基础(第二版)》 实践技能训练与案例分析	12.00
计算机应用基础(Windows 2000 &Office 2002版)(教育部高职)	23.00
《计算机应用基础》实践技能训练 与案例分析(教育部高职)	11.00
计算机应用基础上机与实习指导(第三版)	12.00
计算机软件技术基础教程	21.00
计算机综合能力实训教程(高职)	10.00
办公自动化技术及应用教程	22.00
办公自动化设备的使用和维护 (第二版)(高职)	18.00
网络办公自动化技术及应用(高职)	21.00

~~~~~ 计算机网络类 ~~~~~

Internet基础与使用(第二版)(高职)	13.00
Internet基础与使用(第二版)(中专)	12.00
计算机网络安全(高职)	15.00
网络安全技术(高职)	17.00
网络安全与保密	24.00
网络信息安全技术	17.00
网站建设与维护(崔良海)	18.00
网站建设与维护(廖常武)	19.00
Internet技术及其应用教程	15.00
计算机图形图像与网页制作(高职)	19.00
互联网实用技术与网页制作(高职)	14.00

局域网组建、管理与维护(高职)	20.00
综合布线技术(高职)	18.00
计算机网络技术导论	16.00
计算机网络(第二版)(袁家政)	26.00
计算机网络技术(刘敏涵)	20.00
计算机网络(第二版)(蔡皖东)	18.00
计算机网络(第二版)(雷振甲)	21.00
计算机网络工程	20.00
计算机网络实验教程	14.00
计算机组网实验教程	23.00
计算机网络学习辅导及习题详解	23.00
网络工程设计与实践	29.00
网络应用程序设计	21.00
现代网络技术	24.00
网络计算	19.00

~~~~~ 计算机技术类 ~~~~~

计算机系统结构(陈智勇)	22.00
计算机系统设计——概念与技术(洪龙)	18.00
计算机组成原理 与系统结构实验教程(杨小龙)	12.00
计算机系统安全	22.00
电子政务理论与实务	20.00
电子商务概论	17.00
电子商务基础与应用(第四版)(含盘)	34.00
数据结构(C)(第二版)(杨秀金)	20.00
《数据结构》算法实现及解析 ——配合严蔚敏的《数据结构》(C语言版) (含光盘)(第二版)	35.00
数据结构——使用C++语言(第二版)	23.00
数据结构(高职)(周岳山)	15.00
计算方法与实习(高职)	11.00
算法设计与分析	15.00
编译原理教程	15.00
《编译原理教程》习题解析与上机指导	12.00
编译原理基础	13.00
《编译原理基础》习题与上机题解答	10.00
编译原理学习指导	19.00
《离散数学》习题解答	16.00
离散数学(蔡英)	19.00
《离散数学》学习指导书	16.00
离散数学(马光思)	22.00

离散数学(乔维声)	21.00	3DS MAX 6.0实用教程(高职)	23.00
软件工程(第二版)	22.00	~~~~~微机与控制类~~~~~	
软件工程与数据库概论	14.00	微型计算机原理与应用(第二版)(本科)	33.00
信息系统分析与设计(卫红春)	19.00	《微型原理及应用》(第二版)学习指导	18.00
信息系统分析与设计(高职)(卫红春)	18.00	微型计算机原理(第四版)	29.00
信息系统分析与设计(第二版)(陈圣国)	14.00	《微型计算机原理》(第四版)学习指导书	14.00
人工智能技术导论(第二版)	18.00	《微型计算机原理》学习与实验指导	18.00
~~~~~计算机辅助技术类~~~~~			
电子工程制图(含习题集)(高职)	25.00	微型计算机原理及接口技术(新世纪)	25.00
工程制图(含习题集)(高职)	22.00	微型计算机原理与组成	20.00
计算机绘图(第二版)(许社教)	25.00	80X86 微机原理与接口技术	26.00
DSP应用技术(高职)	25.00	单片机原理及接口技术	15.00
现代DSP技术	22.00	单片机应用实训教程(高职)	22.00
电子电路CAD程序及其应用(高职)	16.00	新编单片机原理与应用(第二版)	22.00
电子线路CAD实用教程(第二版)	22.00	可编程序控制器原理及应用(第二版)	22.00
电子工艺与电子CAD(高职)	14.00	计算机控制技术(高职)(温希东)	12.00
电子电路EDA技术	15.00	计算机外部设备(第二版)	17.00
EDA技术及应用(第二版)	24.00	微机外围设备的使用与维护(高职)	19.00
EDA技术综合应用实例与分析	22.00	~~~~~数据库及计算机语言类~~~~~	
EDA技术与数字系统设计(高职)	14.00	数据库原理(第二版)(郭盈发)	16.00
数字电路EDA设计(高职)	19.00	数据库原理(高荣芳)	18.00
~~~~~操作系统类~~~~~			
计算机操作系统(第二版)(颜)	17.00	Visual FoxPro 6.0数据库原理与应用	
计算机操作系统(修订版)(汤)	24.00	(高职)	21.00
《计算机操作系统》学习指导与题解	16.00	基于VFP和SQL的数据库技术及应用	16.00
计算机操作系统(王津)	16.00	SQL Server 2000应用基础与实训教程	
计算机操作系统(孙)	15.00	(高职)	19.00
计算机操作系统(方敏)	28.00	Oracle数据库SQL和PL/SQL实例教程	
计算机操作实训教程(张)	18.00	(高职)	17.00
操作系统教程——Linux实例分析(孟)	21.00	数据库技术及应用(高职)	14.00
Linux操作系统实用教程(高职)	20.00	网络数据库技术及应用(高职)	20.00
Linux实训指导教程(高职)	13.00	QBASIC程序设计教程	20.00
~~~~~图形处理类~~~~~			
多媒体技术及应用(王坤)	21.00	程序设计与C语言	23.00
多媒体软件设计技术(第二版)	20.00	《程序设计与C语言》学习指导	16.00
多媒体技术与应用(第二版)(傅献祯)	16.00	C语言程序设计实例教程(高职)(丁爱萍)	18.00
多媒体技术教程(杨安琪)	20.00	C语言程序设计案例教程(高职)(李培金)	18.00
多媒体技术基础及其应用(吕辉)	22.00	C++程序设计(陈圣国)	14.00
计算机图形学(张义宽)	20.00	C++程序设计语言	20.00
计算机图形学(丁爱玲)	14.00	《C++程序设计语言》经典题解与实验指导	13.00
计算机图形学(研究生系列)(璩柏青)	26.00	新编C语言程序设计教程(第二版)	22.00
计算机图形学——图形的计算与显示原理	22.00	《新编C语言程序设计教程(第二版)》	
数字图像处理	20.00	习题解答与实验指导	15.00
		C++Builder 6.0 程序设计(高职)	19.00
		Visual Foxpro 6.0 程序设计教程(丁)	22.00
		Visual Basic 程序设计(第二版)	20.00
		Visual Basic·NET程序设计教程(高职)	18.00

汇编语言程序设计(第二版)(韩海)	18.00	电工技术(常晓玲)	19.00
汇编语言程序设计(李强)	23.00	电工技术实训(高职)	12.00
汇编语言程序设计(李革新)	19.00	电工基础(王秀英)	19.00
微型计算机汇编语言程序设计(龚)	23.00	电工与工业电子学	18.00
面向对象程序设计与VC++实践	22.00	电工技能实训教程(高职)	26.00
面向对象程序设计与C++语言	17.00	电力电子技术(高职)	15.00
面向对象程序设计教程	19.00	电子线路仿真设计(王皓)	18.00
面向对象程序设计——JAVA	23.00	电子测量技术(高职)	16.00
《面向对象程序设计——JAVA》 学习指导与习题解答	19.00	电子技术基础(高职)(苏丽萍)	22.00
JAVA语言程序设计教程	18.00	电子技术基础——模拟电子技术(高职)	20.00
JAVA程序设计(高职)	18.00	电子技术基础——数字电子技术(高职)	14.00
Visual C++.NET管理信息系统开发案例	26.00	智能卡技术(刘守义)	20.00
~~~~~ 电子技术类 ~~~~~		手机原理与维护(陈良)	13.00
测试与计量技术基础	19.00	光电探测原理	25.00
传感器原理及工程应用	13.00	天线与电波传播(含光盘)	24.00
模拟电子技术(第二版)(教育部高职)	17.00	天线技术(高职)	14.00
模拟电子电路基础(王卫东)	23.00	电子线路基础(21世纪)(傅丰林)	19.00
模拟电子技术基础(21世纪)(孙肖子)	22.00	《电子线路基础》学习和题解指导	22.00
模拟电子技术(第二版)(江)	18.00	电子线路基础	20.00
《模拟电子技术》学习指导与题解	12.00	电磁场微波技术与天线	18.00
数字电子技术(第二版)(江)	18.00	电磁场与电磁波(第二版)	20.00
《数字电子技术》学习指导与题解	14.00	电磁场与电磁波(含光盘)(郭辉萍)	21.00
数字电子技术(第二版)(郭永贞)	19.00	电磁场与电磁波学习指导(21世纪)	21.00
数字电子技术(第二版)(教育部高职)	12.00	高频电子线路(中专)	16.00
数字电子技术基础(21世纪)	18.00	扩频通信	9.80
《数字电子技术基础》学习指导(21世纪)	8.00	扩展频谱通信及其多址技术	19.00
现代数字系统设计	25.00	信号与系统(第二版)(陈生潭)	29.00
数字电路与系统设计	25.00	《信号与系统》学习指导	17.00
数字电路与逻辑设计	18.00	信号与系统(张小虹)	22.00
数字系统设计基础	19.00	《信号与系统》学习指导	19.00
电路理论基础	20.00	信号与线性系统	26.00
电路基础(第二版)(21世纪)	21.00	数字信号处理(第二版)(丁玉美)	21.00
《电路基础》学习指导与习题全解(刘)	15.00	数字信号处理(丁玉美)	16.00
电路基础学习指导(21世纪)	15.00	数字信号处理(刘顺兰)	19.00
电路分析——基础理论与实用技术(高职)	20.00	自适应信号处理(研究生系列)	16.00
电路分析(第二版)(教育部高职)	18.00	随机信号处理	13.00
电路分析学习指导与题解(高职)(李)	19.00	数字信号处理——时域离散随机信号处理	19.00
电路分析基础(第二版)(张永瑞)	18.00	《数字信号处理 ——时域离散随机信号处理》学习指导	10.00
电路分析基础全真试题详解(张永瑞)	20.00	微波电路CAA与CAD(研究生系列)	21.00
电路分析基础(高职)(牛金生)	16.00	射频/微波电路导论	28.00
电路与电子技术(路松行)	22.00	微电子器件可靠性(研究生系列)	13.00
电力电子技术(曾方)	15.00	物理光学与应用光学	26.00
电工基础(第二版)(教育部高职)	18.00	非线性光学(研究生系列)	40.00

现代光学(研究生系列)	18.00	计算机数据通信教程(张燕)	15.00
红外物理(研究生系列)	20.00	纠错码——原理与方法(王新梅)	35.00
常用低压电器与可编程序控制器	22.00	编码理论	19.00
可编程逻辑器件原理、开发与应用	22.00	数字通信原理与技术(第二版)	25.00
可编程逻辑器件原理及应用(朱明程)	23.00	现代通信新技术	20.00
多传感器数据融合及其应用(研究生系列)	18.00	现代交换技术	20.00
毕业设计指导(电类)(高职)	28.00	程控交换技术实用教程(高职)(李正吉)	11.00
~~~~~通信与自动控制类~~~~~		程控数字交换原理学习指导与习题解析	12.00
《通信电子线路(第二版)》学习指导	25.00	自动控制原理(赵四化)	16.00
光纤通信(方强)	15.00	自动控制原理(薛安克)	19.00
光纤通信(张宝富)	18.00	《自动控制原理》学习指导与题解(方斌)	22.00
光纤通信(刘增基)	15.00	自动控制原理及其应用(高职)	15.00
卫星通信	12.00	智能化仪器原理及应用(曹建平)	16.00
移动通信(章坚武)	16.00	楼宇自动化(高职)	14.00
蜂窝移动通信技术	23.00	电梯原理及逻辑排故(高职)	22.00
移动通信技术(高职)	18.00	~~~~~家用电器与机电类~~~~~	
数字通信系统(强世锦)	17.00	电视原理与系统(赵坚勇)	16.00
数字通信原理与技术(第二版)	25.00	电视原理与电视机检修(高职)	16.00
数字通信原理(黎洪松)	25.00	电视机原理与技术(李林和)	20.00
通信原理与通信技术	23.00	数字电视技术	20.00
《通信原理与通信技术》学习指导	22.00	电器原理与技术(裴昌幸)	24.00
多媒体通信技术(王汝言)	23.00	调音技术(高职)	16.00
现代通信系统	24.00	音响技术	13.00
通信电路(沈伟慈)	18.00	现代音响与调音技术	19.00
通信电源(高职)	14.00	工程力学(皮)	12.00
通信系统(修订版)(王秉钧)	22.00	机械工程基础(李茹)	26.00
现代通信系统导论(高职)	18.00	机械设计基础(赵冬梅)	21.00
现代通信网概论	25.00	机械设计基础(张京辉)	24.00
现代通信理论与技术导论	25.00	机械基础(周家泽)	17.00
现代通信技术与网络应用	23.00	机械CAD/CAM技术(方新)	20.00
现代通信新技术	20.00	计算机辅助机械设计(秦汝明)	19.00
现代通信原理与技术	26.00	数控机床原理与编程(陈富安)	20.00
通信工程专业英语	12.00	数控加工与编程(高职)	19.00
微波技术与天线	17.00	机电一体化技术	17.00
锁相技术	14.80	电切削加工技术(高职)(詹)	13.00
计算机通信网(沈)	24.00	液压与气动技术(朱梅)	19.00
计算机通信网(修订版)(刘后铭)	18.00	特种加工技术(周旭光)	10.00

~~~~~

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

从邮局或银行汇款邮购者, 汇款单上务必写清收书人姓名、地址、邮编、电话。款到后我社将挂号发书, 加收5元包装邮寄费(一次购书30元以上者可免收邮费)。

通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部 邮 编: 710071

电 话: (029) 88201467

传 真: (029) 88213675

主 页: <http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfb@pub.xaonline.com

面向 21 世纪

机电及电气类专业高职高专规划教材

编审专家委员会名单

主任：李迈强

副主任：唐建生 李贵山

机电组

组长：唐建生（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王春林 | 王周让 | 王明哲 | 田 坤 | 宋文学 |
| 陈淑惠 | 张 勤 | 肖 珑 | 吴振亭 | 李 鲤 |
| 徐创文 | 殷 铖 | 傅维亚 | 巍公际 | |

电气组

组长：李贵山（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马应魁 | 卢庆林 | 冉 文 | 申凤琴 | 全卫强 |
| 张同怀 | 李益民 | 李 伟 | 杨柳春 | 汪宏武 |
| 柯志敏 | 赵虎利 | 戚新波 | 韩全立 | 解建军 |

项目策划：马乐惠

策 划：马武装 毛红兵 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

数控技术是现代制造技术的基础。它综合了计算机技术、自动控制技术、自动检测技术和精密机械等高新技术，因此广泛应用于机械制造业。数控机床替代普通机床，从而使得制造业发生了根本性的变化，并带来了巨大的经济效益。现在，数控技术的水准和普及程度，已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

目前，数控技术已被世界各国列为优先发展的关键工业技术，成为国际间科技竞争的重点。数控技术的应用将机械制造与微电子、计算机、信息处理、现代控制理论、检测技术以及光电磁等多种学科技术融为一体，使制造业成为知识、技术密集的学科范畴内的现代制造业，成为国民经济的基础工业。

数控技术是当今柔性自动化和智能自动化的技术基础之一，它使传统制造工艺发生了显著的、本质的变化。随着数控技术的不断发展和应用，工艺方法和制造系统的不断更新，形成了CAD、CAM、CAPP、CAT、FMS等一系列具有划时代意义的新技术、新工艺的制造系统。

为了适应数控技术和国民经济发展的需求，培养各类数控技术的应用型人才，我们编写了本书。本着着眼于国内外数控技术的最新成果，力求将新知识、新信息介绍给读者。

本书由武警工程学院马一民和西安理工大学高等技术学院关雄飞担任主编，河南工业职业技术学院王宏颖担任副主编，中国电子集团总公司第20研究所任国民担任主审。其中，关雄飞编写了提纲和第1章，马一民编写了第4章，王宏颖编写了第2章和第5章，陕西工业职业技术学院崔静、孙荣创编写了第3章、第6章和第7章，全书由马一民统稿。

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2006年1月

目 录

| | | | |
|--------------------------------|----|-----------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 | 1 | 3.1 数控车床编程 | 53 |
| 1.1 机床数控技术的基本概念 | 1 | 3.1.1 数控车床的编程特点 | 53 |
| 1.2 数控机床的组成与工作原理 | 2 | 3.1.2 基本指令编程 | 59 |
| 1.2.1 数控机床的组成 | 2 | 3.1.3 车削循环功能指令编程 | 69 |
| 1.2.2 数控机床的工作原理 | 4 | 3.1.4 子程序的概念及应用 | 75 |
| 1.2.3 数控机床加工的特点及应用范围 | 5 | 3.1.5 数控车削加工编程实例 | 76 |
| 1.3 数控机床的分类 | 7 | 3.2 数控铣床编程 | 81 |
| 1.4 数控机床的发展趋势 | 10 | 3.2.1 数控铣床的编程特点 | 81 |
| 1.5 制造自动化技术的发展概况 | 13 | 3.2.2 基本编程功能指令 | 81 |
| 1.5.1 概述 | 13 | 3.2.3 基本编程方法 | 83 |
| 1.5.2 CAD/CAPP/CAM 集成 | 13 | 3.2.4 数控铣床编程实例 | 90 |
| 1.5.3 计算机集成制造系统 | 17 | 3.3 加工中心编程 | 92 |
| 1.5.4 柔性制造系统 | 19 | 3.3.1 加工中心的编程特点 | 92 |
| 1.5.5 智能制造技术和智能制造系统 .. | 20 | 3.3.2 固定循环功能 | 94 |
| 思考与练习题 | 21 | 3.3.3 加工中心编程实例 | 99 |
| 第 2 章 数控机床编程基础 | 22 | 3.4 数控自动编程简介 | 100 |
| 2.1 数控编程的基本概念 | 22 | 3.4.1 CAD/CAM 技术概述 | 100 |
| 2.1.1 编程过程与方法 | 22 | 3.4.2 MasterCAM 软件简介 | 102 |
| 2.1.2 坐标系的概念 | 27 | 思考与练习题 | 105 |
| 2.1.3 程序结构 | 30 | 第 4 章 计算机数控系统 | 108 |
| 2.2 常用功能指令及编程方法 | 32 | 4.1 CNC 系统的概述 | 108 |
| 2.2.1 准备功能 G 指令代码 | 32 | 4.1.1 CNC 系统的组成及其工作原理 | 108 |
| 2.2.2 辅助功能 M 指令代码 | 34 | 4.1.2 CNC 系统的特点 | 110 |
| 2.2.3 其他功能 F、S、T 指令代码 | 36 | 4.1.3 CNC 系统可实现的功能 | 110 |
| 2.2.4 常用准备功能指令的编程方法 .. | 36 | 4.2 CNC 系统的硬件功能 | 112 |
| 2.3 数控加工工艺设计 | 41 | 4.2.1 CNC 系统单微处理器结构 | 112 |
| 2.3.1 工艺分析与设计 | 41 | 4.2.2 多微处理器结构 | 116 |
| 2.3.2 工艺文件的编制 | 47 | 4.2.3 开放式 CNC 系统 | 121 |
| 2.4 数控编程中的数值计算 | 50 | 4.3 CNC 系统的软件结构 | 123 |
| 2.4.1 基点的坐标计算 | 50 | 4.3.1 CNC 系统软件概述 | 123 |
| 2.4.2 节点的坐标计算 | 51 | 4.3.2 CNC 系统软件的结构特点 | 123 |
| 思考与练习题 | 52 | 4.3.3 CNC 系统软件的结构模式 | 126 |
| 第 3 章 数控机床加工程序的编制 | 53 | 4.4 数控系统的插补原理 | 130 |
| | | 4.4.1 概述 | 130 |

| | | | |
|----------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 4.4.2 基准脉冲插补 | 131 | 6.2.2 主轴部件 | 205 |
| 4.4.3 数据采样插补 | 140 | 6.3 数控机床的进给传动系统 | 207 |
| 4.4.4 数控装置的进给速度控制 | 147 | 6.3.1 数控机床对进给传动系统的
要求 | 207 |
| 思考与练习题 | 160 | 6.3.2 导轨 | 207 |
| 第5章 数控机床的伺服系统 | 161 | 6.3.3 传动齿轮间隙消除机构 | 210 |
| 5.1 伺服系统概述 | 161 | 6.3.4 滚珠丝杠螺母副 | 212 |
| 5.1.1 伺服系统的组成 | 161 | 6.4 数控机床的自动换刀装置 | 213 |
| 5.1.2 对伺服系统的基本要求 | 163 | 6.4.1 自动换刀装置的形式 | 214 |
| 5.1.3 伺服系统的分类 | 164 | 6.4.2 刀库 | 217 |
| 5.2 伺服驱动电动机 | 167 | 6.5 数控机床的回转工作台 | 219 |
| 5.2.1 步进电动机 | 167 | 6.5.1 分度工作台 | 219 |
| 5.2.2 直流伺服电动机 | 172 | 6.5.2 数控回转工作台 | 221 |
| 5.2.3 交流伺服电动机 | 175 | 思考与练习题 | 222 |
| 5.2.4 直线电动机 | 177 | 第7章 数控机床的故障诊断 | 223 |
| 5.3 位置检测装置 | 179 | 7.1 概述 | 223 |
| 5.3.1 位置检测装置简介 | 179 | 7.1.1 数控机床的故障诊断 | 223 |
| 5.3.2 光栅位置检测装置 | 181 | 7.1.2 数控机床的故障规律 | 223 |
| 5.3.3 脉冲编码器 | 185 | 7.2 数控机床的故障诊断方法 | 225 |
| 5.3.4 旋转变压器 | 189 | 7.3 人工智能在故障诊断中的应用 | 229 |
| 5.3.5 感应同步器 | 192 | 7.3.1 专家系统的一般概念 | 229 |
| 5.3.6 测速发电机 | 199 | 7.3.2 数控机床故障诊断的专家系统
..... | 210 |
| 思考与练习题 | 201 | 7.3.3 人工神经网络在故障诊断
中的应用 | 231 |
| 第6章 数控机床的机械结构 | 202 | 思考与练习题 | 234 |
| 6.1 概述 | 202 | 参考文献 | 235 |
| 6.2 数控机床的主轴部件 | 203 | | |
| 6.2.1 数控机床的主传动系统 | 203 | | |

第 1 章

绪 论

1.1 机床数控技术的基本概念

数字控制(Numerical Control, NC)技术,简称数控技术,是使用数字化信息按给定的工作程序、运动轨迹和速度,对控制对象进行控制的一种技术。数字控制系统中的控制信息是数字量。它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量。这些量的大小不仅可以测量,而且可经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号表示。

采用了数控技术的设备称为数控设备。其操作命令是用数字或数字代码的形式来描述,工作过程是按指令程序自动进行。数控机床就是一种典型的数控设备,它是装备了数控系统的金属切削机床。

数控技术综合运用了微电子、计算机、自动控制、精密测量、机械设计与制造等技术的最新成果。它具有动作顺序的程序自动控制,位移和相对位置坐标的自动控制,速度、转速及各种辅助功能的自动控制等功能。

数控技术具有以下特点:

(1) 生产率高。运用数控设备对零件进行加工,可使工序安排相对集中,而且所用辅助装置(如工夹具等)也比较简单,这样既减少了生产准备时间,又大大缩短了产品的生产周期。并且在加工过程中减少了测量检验时间,有效地提高了生产效率。

(2) 加工精度高。由于采用了数字控制方式,同时在电子元器件、机械结构上采用了很多提高精度的措施,因此使数控设备能达到较高的加工精度(一般在 0.01~0.005 mm 之间)。另外,由于数控设备自动地完成了整个加工过程,因此消除了各种人为因素的影响,提高了产品加工质量的稳定性。

(3) 柔性和通用性增强。数控设备特别适用于单件、小批量、轮廓复杂多样的零件加工。若被加工产品发生了变化,只需改变相应的控制程序即可实现加工。另外,随着数控软件的不断升级,硬件电路的模块化,接口电路的标准化,使得数控技术可以极大地满足不同层次用户的需求。

(4) 可靠性高。对于数控系统,用软件替代一定的硬件后,使系统中所需元件数量减少,硬件故障率大大降低。同时,较先进的数控系统自身具备故障诊断程序,将设备修复时间降低到了最低限度。

1.2 数控机床的组成与工作原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置和机床(或称裸机)等五部分组成,如图 1-1 所示。

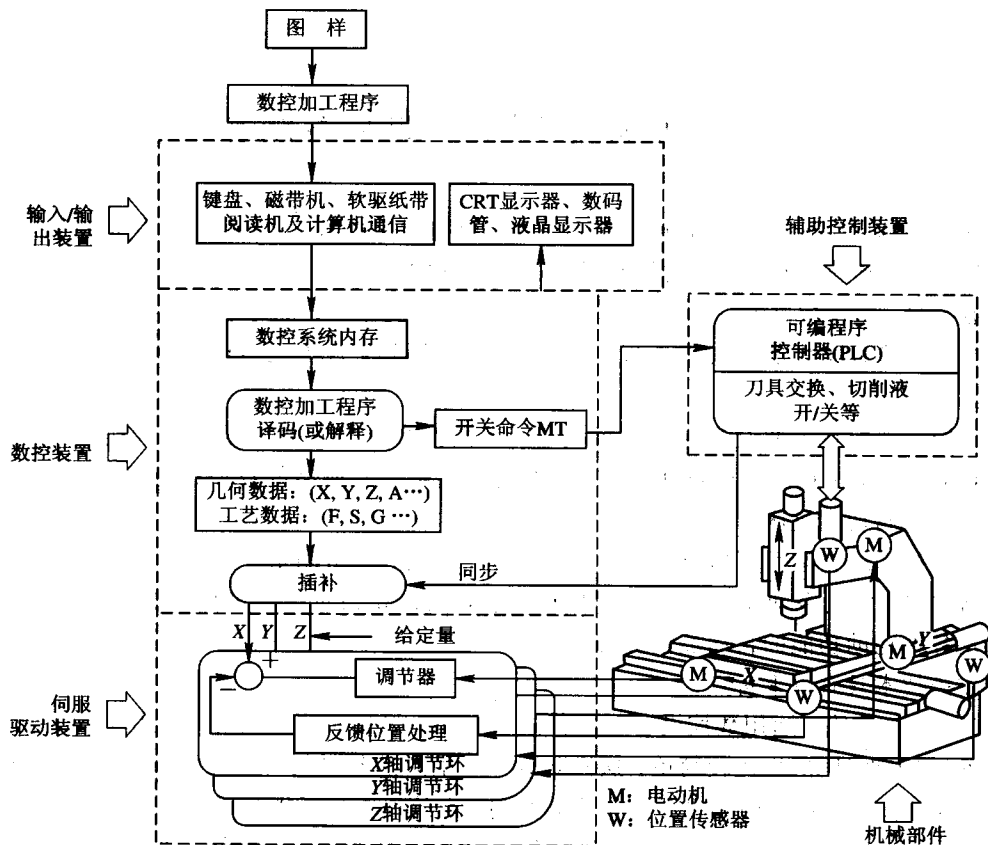


图 1-1 数控机床的组成

使用数控机床进行自动加工,应针对加工的零件编制加工程序,并将其输入到数控装置中。数控装置则以零件的加工程序为工作指令,控制机床主运动的启动、变速和停止,控制机床进给运动的方向、移动距离和速度,控制机床的辅助装置(如换刀装置、工件夹紧和松开装置以及冷却润滑装置等)的动作。从而使刀具和工件以及其他辅助装置严格地按数控加工程序所规定的顺序、路径和参数进行工作,以加工出形状、尺寸和精度均符合要求的零件。

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、切割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,用有文字、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。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使用CAD/CAM软件进行自动编程。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码传递并存入数控系统内。编好的数控程序可通过光/电阅读机、磁带机等输入装置存储到载体上。目前,随着CAD/CAM、CIMS技术的发展,越来越多地采用串行通信方式进行程序的传输。

为了便于加工程序的编辑修改、模拟显示,数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息界面。较简单的显示器只有若干个数码管,只能显示字符;较高级的系统一般配有CRT显示器或液晶显示器,可以显示图形。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中读取或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出的各种控制信息和指令来控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

在数控装置的各项控制功能中,至关重要的是刀具相对于工件的运动轨迹的控制。零件的轮廓图形通常是由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成的,刀具在加工过程中必须按零件的形状和尺寸要求进行运动,即按图形轨迹移动。为此,数控系统要进行轨迹插补运算,也就是在线段的起点和终点坐标之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应的坐标输出脉冲信号,控制沿各坐标轴进给运动的执行元件的进给速度、进给方向和进给位移量等。

4. 伺服驱动装置

伺服驱动装置通过接收数控装置发出的速度和位置信息,控制伺服电机的运动速度和方向。它一般由驱动电路和伺服电动机组成,并与机床上的进给传动链组成数控机床的进给系统。每个坐标轴方向都配有一套伺服驱动装置,根据是否配有位置检测及反馈装置,可以分为开环、半闭环和闭环伺服驱动系统。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置,可通过可编程控制器(PLC)对机床辅助功能M、主轴速度功能S和换刀功能T等实现逻辑控制。

6. 位置检测装置

位置检测装置与伺服驱动装置配套组成半闭环或闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量机床执行部件的实际位移,并将检测结果反馈到数控装置并与指令位移进行比较,根据差值发出进给脉冲信号控制执行部件继续运动,直至差值为零,以便提高系统的精度。

7. 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括:主运动部件、进给运动执行部件,如机床工作台、滑板及

其传动部件和床身、立柱及支撑部件。此外，还有转位、夹紧、润滑、冷却、排屑等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，交换刀具的机械手或机器人等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、摩擦、抗振性等方面要求更高，而且传动和变速系统要便于实现自动化。

1.2.2 数控机床的工作原理

使用数控机床时，首先要将被加工零件图纸的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序；然后将加工程序输入到数控装置，按照程序的要求，经过数控系统信息处理、分配，使各坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成零件的加工。

在钻削、镗削或螺纹等加工(常称为点位控制)过程中，是在一定的时间内，使刀具中心从 P 点移动到 Q 点(见图 1-2(a))，即刀具在 X 、 Y 轴移动以最小单位计算的程序给定的距离，它们的合成量为 P 点和 Q 点间的距离。但是，对刀具轨迹并没有严格的限制，可先使刀具在 X 轴上由 P 点移动到 R 点，然后再沿 Y 轴从 R 点移动到 Q 点；也可以使两个坐标以相同的速度，让刀具移到 K 点，再沿 X 轴移动到 Q 点，这样的点位控制，只要求严格控制点到点之间的距离，而对所走的路径和速度无严格要求。这种运动控制是比较容易实现的，一般用于只需点位控制的简易数控机床。

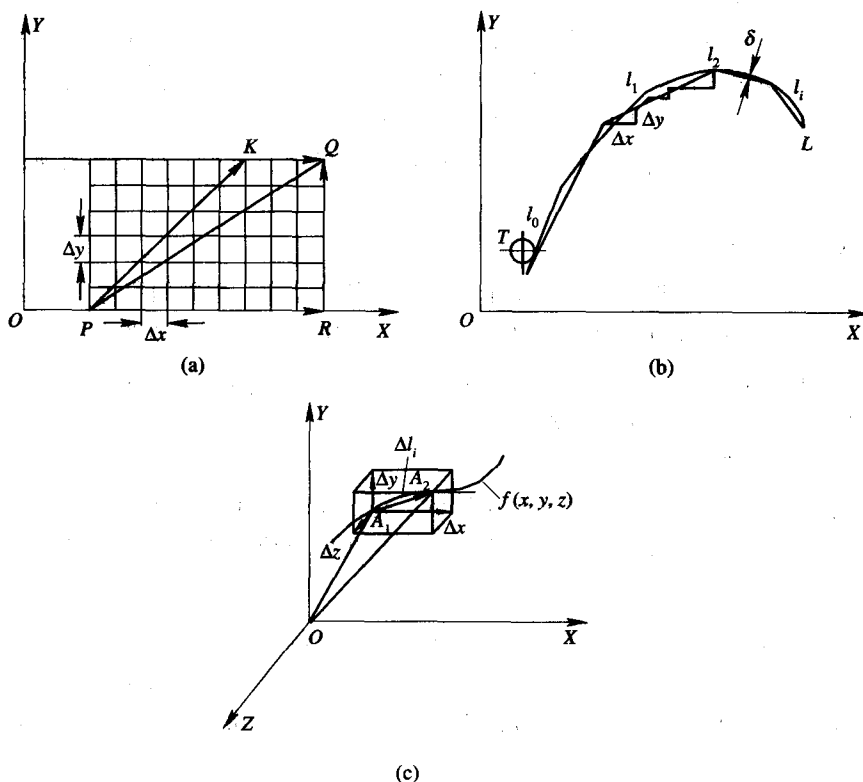


图 1-2 数控机床加工直线、曲线原理
(a) 直线；(b) 平面曲线；(c) 空间曲线

轮廓加工控制包括加工平面曲线和空间曲线两种情况。对于二维平面的任意曲线 l ，要求刀具 T 沿曲线轨迹运动，进行切削加工，如图 1-2(b) 所示。将曲线 l 分割成 l_0 、 l_1 、 l_2 、 \dots 、 l_i 等线段。用直线(或圆弧)代替(逼近)这些线段，当逼近误差相当小时，这些折线段之和就接近了曲线。由数控机床的数控装置进行计算、分配，再通过两个坐标轴最小单位量的单位运动(Δx , Δy)的合成，不断连续地控制刀具运动，向着目标点不断地逼近直线(或圆弧)，从而加工出工件轮廓曲线。对于空间三维曲线(见图 1-2(c))中的 $f(x, y, z)$ ，同样可用一段一段的折线(Δl_i)去逼近它，只不过这时 Δl_i 的单位运动分量不仅是 Δx 和 Δy ，还有一个 Δz 。

这种在允许的误差范围内，用沿曲线(精确地说是沿逼近线)的最小单位位移量合成的分段运动代替任意曲线运动，以得出所需要的轨迹运动，是数字控制的基本构思之一。轮廓控制也称连续轨迹控制，它的特点是不仅对坐标的移动量进行控制，而且对各坐标的速度及它们之间的比率都要进行严格控制，以便加工出工件的轮廓曲线。

目前，一般的数控机床都具有直线插补和圆弧插补功能。插补是指在被加工轨迹的起点和终点之间插进许多中间点，进行数据点的密化工作，然后用已知线型(如直线、圆弧等)逼近。随着科学技术的迅速发展，许多生产数控系统的厂家，逐渐推出了具有抛物线插补、螺旋线插补、极坐标插补、样条曲线插补、曲面直接插补等丰富功能的数控系统，以满足用户的不同需求。

机床的数字控制是由数控系统完成的。数控装置能接受零件图纸加工要求的信息，进行插补运算，实时地向各坐标轴发出速度控制指令。伺服驱动装置能快速响应数控装置发出的指令，驱动机床各坐标轴运动，同时也能提供足够的功率和扭矩。检测装置将坐标位移的实际值检测出来，反馈给数控装置的调节电路中的比较器，有差值就发出运动控制信号，从而实现偏差控制。不断地比较指令值与反馈的实际值、不断地发出信号，直到差值为零，运动结束。这种方式适用于连续轨迹控制。

在数控机床除了上述轨迹控制和点位控制外，还有许多动作，如主轴的启/停、刀具的更换、冷却液的开关、电磁铁的吸合、电磁阀的启闭、离合器的开合、各种运动的互锁和连锁；运动行程的限位、急停、报警、进给保持、循环启动、程序停止、复位等等。这些都属于开关量控制，一般由可编程控制器(Programmable Controller, 简称为 PC, 也称为可编程逻辑控制器 PLC, 又称为可编程机床控制器 PMC)来完成，开关量仅有“0”和“1”两种状态，显然可以很方便地融入机床控制系统中，实现对机床各种运动的数字控制。

1.2.3 数控机床加工的特点及应用范围

1. 数控机床加工的特点

(1) 数控机床在适应不同零件的自动加工方面胜于自动化专用机床。数控机床是按照不同的零件编制不同的加工程序进行自动加工的，因而在产品改型和创新时只需变换加工程序即可，而不必像自动化专用机床那样，在产品变更时需花费很长的生产准备周期去变更生产设备。

(2) 数控机床在生产效率、加工精度和加工质量稳定性方面胜于通用机床。由于数控机床机构简单、刚性好，故可采用较大的切削用量，减少机加工的工时；还由于数控机床

具有自动换刀等辅助操作功能，因此大大减少了辅助加工时间，从而提高了生产效率。此外，数控机床本身的精度较高，还可以运用软件进行传动部件的误差补偿和回程侧隙补偿，因而加工精度较高。数控机床采用自动化加工，避免了人为操作失误，因而加工质量稳定性高于通用机床。

(3) 在数控机床上能完成复杂型面的加工。如图 1-3 所示，手柄柄部旋转曲面的加工可以在数控车床上实现。数控机床运用插补计算可以确定各进给运动轴相应的方向和步长，从而与主轴一起产生正确的成型运动，加工出复杂型面的零件。若在通用机床上加工，则很难加工出表面光滑，且尺寸、形状满足要求的手柄。

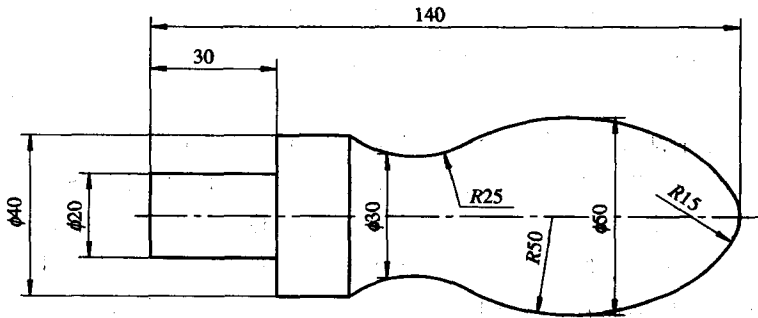


图 1-3 手柄简图

(4) 一次装夹可以完成多道工序。数控机床，特别是具有刀库的加工中心，因为具有自动换刀功能，所以使得工件在一次装夹中可以完成多道工序，以减少装夹误差，减少辅助时间，减少工序间的运输。另外，一台数控机床可代替多台普通机床，因而能带来较高的经济效益。

(5) 数控机床的其他特点。数控机床价格高，且对操作、维修人员的技术水平有较高的要求。

综上所述，使用数控机床可以高效、高质量地制造出新的产品，以满足社会不断变化的需求，使制造业得到较高的经济效益。尽管数控机床价格高，但可降低制造成本，提高经济效益。

2. 应用范围

近年来，在汽车及轻工业消费品等大批量生产方面，采用了大量的组合机床自动线、流水线；在标准件等大量生产中，采用了凸轮控制的专用机床和自动机床。这些适合于大批量生产的生产线，其制造和调试都很困难，过程很长。一旦需要更换产品，则整个工艺过程全部发生变化。原有设备要抛弃，需另外购置新的设备，重新安装和调试生产线，资金和时间的投入将会很大。人们把这种生产模式称为刚性自动化。

由于产品多样化和产品更新加快的要求，解决单件、小批量生产自动化的问题便迫在眉睫。在航空、航天、造船、电子、军工、模具等领域对形状复杂零件的高精度加工要求越来越高。刚性自动化很难满足这些领域的要求，而以数控机床为基础的柔性加工和柔性自动化便应运而生的发展起来了。数控机床是一种新型的自动化机床，它具有广泛的通用性和很高的自动化程度。数控机床是实现柔性自动化的关键设备，是柔性自动化生产线的基本单元。