



卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

数控技术及应用

解乃军 仲高艳 主编



科学出版社

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

数控技术及应用

主 编	解乃军	仲高艳	
副主编	于 玲	王春明	黄 娟
主 审	郁汉琪	张明信	

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是“卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材”系列之一。

全书共分五篇。主要介绍了数控技术、数控机床、数控系统和数控加工的基本知识和基本概念；重点介绍了数控机床的组成与分类、数控系统的插补原理与数据处理、数控加工工艺和编程方法以及数控系统的应用设计等相关知识；最后一篇为工程实例，主要介绍了数控机床的机械机构设计、数控系统应用、电气设计和数控加工四方面的工程实例；同时，结合实践教学的考核办法，通过三级实验与实训项目（课内实验、课程设计和综合实训），着重介绍了具体组织教学实施时的实践案例。

本书可作为普通高等院校自动化、机械工程及其自动化、机电一体化等相关专业的选用教材，也可作为培养高素质数控系统开发和数控技术应用人才的培训教材；还可作为从事数控技术应用工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/解乃军, 仲高艳主编. —北京: 科学出版社, 2014.6

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

ISBN 978-7-03-040292-9

I. ①数… II. ①解… ②仲… III. ①数控机床-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 058256 号

责任编辑: 朱晓颖 张丽花 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 闫 磊 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 608 000

定价: 46.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

版权所有, 盗版必究

举报电话: 010-64034315; 010-64010630

《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

组织委员会

主 任：芮延年 胡华强

委 员：（以姓名首字母为序）

陈 炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡 敏 刘春节 刘 忠
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪
曾亿山 张秋菊 朱 伟 周 海 左晓明

编写委员会

顾 问：闻邦椿（院士）

主 任：芮延年 陈 炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘 忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山
朱瑞富 左晓明

委 员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾 锋 顾 荣 管图华
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄 娟 刘道标 刘 新
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱 钧
盛小明 宋昌才 孙 进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨 莉 姚辉学
袁 浩 张 洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华
朱益民 竺志大

秘 书：邓 静

前 言

本书是“卓越工程师教育培养机械类创新规划教材”系列之一。

本书在满足教育部教学指导委员会制定的教学基本要求的基础上，参考教育部制定的《“卓越工程师教育培养计划”通用标准（征求意见稿）》和机械工程学会制定的《卓越工程师教育培养计划机械行业专业标准》编写完成。针对课程特点，本书的编写思路从工科学生的人才培养目标和学生特点出发，秉承“学以致用”的原则，以“激发学生兴趣”为着眼点。内容安排上每篇有导读，有工程案例，理论结合实际，突出学生工程应用能力的训练和培养，便于组织教学和实践，也便于开设“数控技术”、“数控机床”、“数控原理”和“数控加工”等课程的院校灵活选用。本书在教学使用过程中，并非全部内容都要讲解，可根据专业、课时的多少进行删减，有些内容和工程案例可在学生实验、课程设计和毕业设计时作为参考。

本书是为数控技术及应用相关专业的本、专科学生提供最新技术的教材，也是为培养高素质数控系统开发和数控技术应用人才提供的最新培训教材，还是为从事数控系统开发及应用的工程技术人员提供的最新参考图书。

全书共分五篇。第一篇为数控技术，共3章，分别是概论、数控技术的发展历史及其现状和数控技术的发展趋势；第二篇为数控机床，共3章，分别是概论、数控机床的组成与分类、数控机床的机械配置与电气配置；第三篇为数控系统，共3章，分别是概论、数控系统的插补原理与数据处理、数控系统应用电气设计；第四篇为数控加工，共3章，分别是概论、数控加工工艺、数控加工编程方法；第五篇为工程实例，共4章，分别是数控机床实践模块、数控系统实践模块、电气设计实践模块和数控加工实践模块。

本书从数控技术的基础理论入手，在教会学生够用的理论知识后，用案例引导教学，让案例作为主线贯穿全书。“工程案例”篇采用模块化编写手段，与前面四篇的理论教学相呼应，集课内实验、课程设计、专业综合实训和毕业设计指导为一体。在本篇每章的第一节增加了实践类课程要求和考核办法，不仅增加了教材的可用性，也方便教师组织实施实践环节的教学。教师边讲，学生边做，讲练结合，在做中学，力求学以致用。在做的过程中，理解概念，掌握技能。本书以“问题驱动”为原则，抓住学生学习中常出现的疑惑，以提问的方式导入每个知识点，参观、操作和演练相结合，从而降低了学习数控技术的门槛，很容易上手，大多数案例来自工程项目，具有一定的工程指导性。本书语言口语化，轻松幽默，使学习者能够带着愉快的心情学习。

本书编写分工如下：第1~3章的编写由解乃军（南京工程学院）负责；第4~6章由于玲（沈阳化工大学）负责，赵艳春（沈阳化工大学）、谷瑞达（沈阳化工大学）、孙晓威（沈阳化工大学）参与；第7、8章由仲高艳（南京农业大学）负责；第9章由解乃军负责，黄娟（南京航空航天大学）参与；第10~12章由王春明（金肯学院）负责，吴啸天（金肯学院）、邹新（金肯学院）、许凌（金肯学院）、刘晓雪（金肯学院）、端木传玉（金肯学院）参与；第

13~16 章由解乃军负责,王春明、黄娟(南京航空航天大学)、李娜(中国矿业大学)、曹雅丽(宁夏职业技术学院)、陈荷燕(南京工程学院)、贾茜(南京工程学院)、吴金娇(南京工程学院)、付肖燕(南京工程学院)等参与。全书由解乃军统稿。同时,感谢企业人员为本书的编写提供了大量的工程案例资料和编写建议,他们有王小曹(南京熊猫信息产业有限公司)、张跃林(南京数控机床有限公司)、舒庆(南京数控机床有限公司)、袁万宏(西门子(中国)有限公司)、李军(西门子(中国)有限公司)、周繁荣(西门子(中国)有限公司)、耿亮(西门子(中国)有限公司)、陈磊(上海发那科机器人有限公司)、阮启伟(南京数控机床有限公司)、严唯峰(中达电通股份有限公司)、洪立荣(南京马波斯自动化设备有限公司)、郑金洋(奇瑞捷豹路虎汽车有限公司)等。在此对为本书出版付出巨大努力的各位朋友表示感谢。

本书由郁汉琪教授(南京工程学院)和张明信研究员高级工程师(南京数控机床有限公司)担任主审。

由于数控技术发展迅速,作者水平有限,书中难免有不足和错误之处,恳请各位同仁和广大读者批评指正。

作 者

2014 年 3 月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第1篇 数控技术

第1章 概论	6	本章小结	27
1.1 基础知识	6	习题与思考	27
1.1.1 数控技术基本概念	7	拓展阅读	28
1.1.2 制造业的三次工业革命	8	第3章 数控技术的发展趋势	29
1.2 制造业自动化技术	13	3.1 数控技术的发展趋势	29
1.2.1 制造业自动化的定义	13	3.1.1 数控技术发展的总趋势	29
1.2.2 制造业自动化的特征	14	3.1.2 数控发展中产生的各种新兴 制造方式	30
1.2.3 制造业自动化的内涵	15	3.2 机器人技术的发展	32
1.2.4 制造业自动化所涉及的技术	16	3.2.1 机器人概况	32
1.3 数控技术对制造业的影响	19	3.2.2 机器人分类	34
本章小结	20	3.2.3 机器人软件	34
习题与思考	20	3.2.4 机器人技术的学科前沿	35
拓展阅读	21	3.3 快速成形技术	37
第2章 数控技术的发展历史及其现状	22	3.3.1 快速成形技术概况	37
2.1 制造业及其数控技术的发展 历史	22	3.3.2 快速成形技术的应用与发展	39
2.2 数控技术的发展现状	24	本章小结	41
2.2.1 国内数控技术的发展现状	24	习题与思考	41
2.2.2 国外数控技术的发展现状	26	拓展阅读	42

第2篇 数控机床

第4章 概论	44	4.4 数控机床的维护与保养	47
4.1 基础知识	44	4.4.1 数控机床维护	47
4.2 数控机床的产生	45	4.4.2 数控机床使用中应注意的问题	52
4.3 数控机床的特点和应用	46	4.4.3 数控机床的日常维护	54
4.3.1 数控机床的特点	46	4.5 数控机床的管理使用	56
4.3.2 数控机床的应用	47	本章小结	57

习题与思考	57	6.2 数控机床的辅助装置	88
拓展阅读	58	6.2.1 自动换刀装置	88
第5章 数控机床的组成与分类	59	6.2.2 回转工作台	95
5.1 数控机床的组成与工作原理	59	6.2.3 液压与气动系统	96
5.1.1 数控机床的组成	59	6.2.4 冷却系统	97
5.1.2 数控机床的工作原理	61	6.2.5 润滑系统	97
5.2 数控机床的分类	61	6.2.6 排屑装置	98
5.2.1 按机床运动的控制轨迹分类	61	6.3 数控机床的电气配置	99
5.2.2 按伺服控制方式分类	62	6.3.1 数控装置	99
5.2.3 按控制坐标的轴数分类	63	6.3.2 伺服系统	100
5.2.4 按加工工艺及机床用途的类型		6.3.3 机床强电控制系统	101
分类	65	6.3.4 机床检测系统	101
5.2.5 按数控系统的功能水平分类	67	6.4 数控机床的操作面板	102
本章小结	68	6.4.1 急停	102
习题与思考	68	6.4.2 循环启动/进给暂停	102
拓展阅读	69	6.4.3 工作方式选择	103
第6章 数控机床的机械配置与电气配置 ...	70	6.4.4 倍率修调选择	105
6.1 数控机床的机械配置	70	6.4.5 机床辅助方式选择	105
6.1.1 数控机床机械结构特点	70	6.4.6 机床辅助功能控制	106
6.1.2 数控机床主传动系统	71	本章小结	108
6.1.3 数控机床进给传动系统	78	习题与思考	108
6.1.4 导轨副	85	拓展阅读	109
第3篇 数 控 系 统			
第7章 概论	112	7.2.3 CNC装置的可编程控制器	130
7.1 基础知识	112	7.2.4 典型数控系统简介	134
7.1.1 基本概念	112	本章小结	143
7.1.2 数控系统的组成	113	习题与思考	143
7.1.3 数控系统的分类	114	拓展阅读	144
7.1.4 数控系统的功能	116	第8章 数控系统的插补工作原理	145
7.1.5 数控系统的工作过程	118	8.1 基本知识	145
7.2 计算机数控(CNC)装置	119	8.1.1 基本概念	145
7.2.1 CNC装置的硬件结构	119	8.1.2 插补方法的分类	146
7.2.2 CNC装置的软件结构	125	8.2 插补方法介绍	147

8.2.1 逐点比较法	147	9.1.4 PLC 接口信号工作原理	186
8.2.2 数字积分法	154	9.2 电气原理图设计	187
8.2.3 直线函数法	160	9.2.1 基本概念	187
8.2.4 扩展数字积分法	163	9.2.2 机床电气设计的一般原则	193
8.2.5 NURBS 曲线插补	166	9.2.3 机床电气设计的基本内容	193
8.2.6 刀具半径补偿	169	9.2.4 机床电气设计的一般步骤	194
本章小结	177	9.3 机床设计任务书	196
习题与思考	177	9.4 数控系统确认	206
拓展阅读	178	9.4.1 需求机床的基本功能	206
第 9 章 数控系统应用电气设计	179	9.4.2 确认数控系统订单	207
9.1 数控系统的硬件连接	179	9.5 电气原理图设计案例分析	208
9.1.1 数控系统的硬件	179	9.6 机床操作面板设计	215
9.1.2 数控系统的连接	182	本章小结	219
9.1.3 输入/输出地址分配	184	习题与思考	219
		拓展阅读	220
 第 4 篇 数 控 加 工			
第 10 章 概论	222	11.1.3 数控加工零件或加工内容的	
10.1 基础知识	222	选择	238
10.1.1 基本概念	223	11.2 数控车削工艺	239
10.1.2 数控编程的内容和步骤	223	11.2.1 选择确定数控车削加工的主要	
10.1.3 数控机床坐标系	225	加工对象	239
10.1.4 加工程序结构与格式	227	11.2.2 数控车削加工工艺性分析	239
10.2 数控编程中的常用指令	229	11.2.3 零件图形的数学处理和编程	
10.2.1 准备功能 G 代码	229	尺寸的计算	240
10.2.2 辅助功能 M 代码	230	11.2.4 数控车削加工工艺过程的	
10.2.3 F、S、T 代码	232	拟订	240
本章小结	233	11.2.5 数控车削加工进给路线的	
习题与思考	233	确定	242
拓展阅读	234	11.2.6 数控车床加工轴类零件工艺	
第 11 章 数控加工工艺	235	分析实例	243
11.1 概述	235	11.3 数控铣削工艺	245
11.1.1 数控加工工艺的特点与内容	235	11.3.1 选择确定数控铣削加工的主要	
11.1.2 数控加工工艺分析的一般步骤		加工对象	245
与方法	236	11.3.2 数控铣削加工工艺性分析	246
		11.3.3 数控铣削加工工艺顺序安排	248

11.3.4 数控铣削加工进给路线确定		12.2 手动编程方法	257
需要考虑的因素	249	12.2.1 数控车床编程方法及编程	
11.4 加工中心工艺	249	实例	257
11.4.1 选择确定加工中心加工的主要		12.2.2 数控铣床编程方法及编程	
加工对象	249	实例	265
11.4.2 加工中心的工艺特点	250	12.2.3 加工中心编程方法及编程	
11.4.3 加工中心工艺性分析	250	实例	269
11.4.4 加工中心编程的工艺处理要		12.3 自动编程方法	270
考虑的几点因素	251	12.3.1 CAD/CAM 系统简介	272
本章小结	251	12.3.2 图形交互编程的主要过程	272
习题与思考	252	12.3.3 图形交互编程实例	273
拓展阅读	253	本章小结	274
第 12 章 数控加工编程方法	254	习题与思考	274
12.1 概述	254	拓展阅读	275

第 5 篇 工 程 实 例

第 13 章 数控机床实践模块	279	第 14 章 数控系统实践模块	294
13.1 课内实验要求与考核办法	279	14.1 课程设计要求与考核办法	294
13.2 机械机构课内实验	281	14.2 数控系统课内实验	296
13.2.1 实验一——数控机床认识实验 ..	281	14.2.1 实验一——数控机床对刀操作	
13.2.2 实验二——直线滚动导轨副的		实验	296
装配实验	282	14.2.2 实验二——刀具半径补偿计算	
13.2.3 实验三——滚珠丝杠螺母副的		实验	298
装配实验	284	14.2.3 实验三——逐点比较法插补	
13.2.4 实验四——伺服电动机与联轴		实验	300
器的装配实验	285	14.2.4 实验四——步进电动机环分	
13.3 数控机床课程设计与综合实训		实验	302
模块 1	286	14.3 数控系统课程设计与综合实训	
13.3.1 机械机构设计类课程设计案例 ...	286	模块 2	304
13.3.2 机械机构设计类毕业设计案例		14.3.1 数控系统应用设计类课程设	
分析	289	案例	304
13.3.3 综合实训模块 1——3D 打印机		14.3.2 数控系统应用设计类毕业设	
机械机构设计	290	案例分析	307
拓展阅读	293	14.3.3 综合实训模块 2——3D 打印机	
		系统调试案例	308

第 15 章 电气设计实践模块.....	311	第 16 章 数控加工实践模块.....	336
15.1 专业综合实训要求与考核办法.....	311	16.1 毕业设计要求与考核办法	336
15.2 电气设计实践环节	315	16.2 数控加工课内实验	338
15.2.1 实验一——数控系统的原理及组成	315	16.2.1 实验一——数控车床的操作编程与加工实验	338
15.2.2 实验二——数控系统参数的设置及调整实验	316	16.2.2 实验二——数控铣床的操作编程与加工实验	340
15.2.3 实验三——数控系统伺服驱动调试实验	318	16.2.3 实验三——数控铣床的编程实验	342
15.2.4 实验四——数控系统数据备份实验	323	16.2.4 实验四——加工中心的操作编程与加工实验	344
15.3 电气系统课程设计和综合实训模块 3	326	16.3 数控加工课程设计与综合实训模块 4	346
15.3.1 电气系统设计类课程设计案例... ..	326	16.3.1 数控加工类课程设计案例	346
15.3.2 电气系统设计类毕业设计案例分析	330	16.3.2 数控加工类毕业设计课题案例分析	353
15.3.3 综合实训模块 3——3D 打印机电气控制系统设计案例	331	16.3.3 综合实训模块 4——3D 打印机打印创意作品设计案例	354
附录 专业词汇中英文对照	359	参考文献	361

绪 论

数控技术来源于军事扩张的需求，第一台数控铣床的出现即为为军用直升机加工复杂精密的零件。如图 0-1 所示，为数控机床正在加工一件复杂精密的军品零件。

数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的基础技术和装备。世界各国信息产业、生物产业、航空、航天等国防工业广泛采用数控技术，以提高制造能力和水平，提高对市场的适应能力和竞争能力。工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资，不仅大力发展自己的数控技术及其产业，而且在“高精尖”数控关键技术和装备方面对我国实行封锁和限制政策。因此大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

3D 打印机是数控技术应用的又一典型产品。它的产生是对现代制造业数控加工技术的一种补充。

神奇的 3D 打印技术让产品从设计到制造之间只相隔一个“打印”按钮的距离。由它引领的“第三次工业革命”将由大规模制造转向个人化生产，改变制造的流程，从而打破跨国化工业的产业链。

3D 打印（3D Printing），即快速成形技术的一种，也称为增材制造技术，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可黏合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术，被称为“具有工业革命意义的制造技术”。快速成形技术诞生于 20 世纪 80 年代后期，是基于材料堆积法的一种高新制造技术。3D 打印技术被认为是“第三次工业革命的重要生产工具”。图 0-2 是同学们自行设计的个性化 3D 打印机。

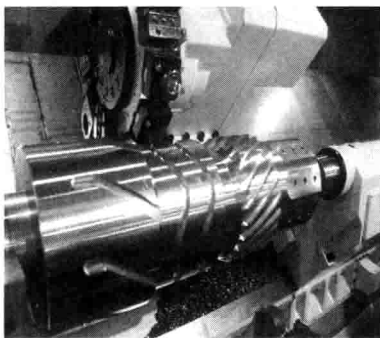


图 0-1 数控机床正在加工复杂的军品零件

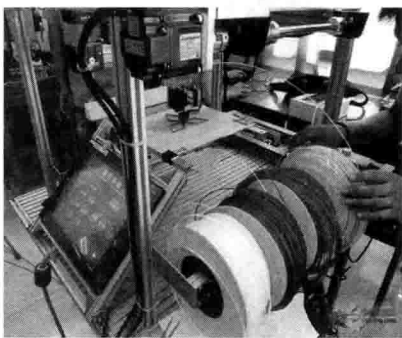


图 0-2 同学们自制的 3D 打印机

珍妮纺纱机（1765 年）的发明揭开了“第一次工业革命”的序幕，开创了以机器代替手工劳动的时代。“第二次工业革命”以电力的广泛应用为显著特点，从此人类跨入了电气时代。而今天，希望通过对本书内容的学习，你也能发明或制作出像这样一台属于自己的个性化“3D 打印机”，通过它你可以打印出一个属于自己的世界。

数控技术是利用数字化的信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。用数控技术实施加工控制的机床，或者说装备了数控系统的机床称为数控（NC）机床。数控系统包括：

数控装置、可编程控制器、主轴驱动器及进给装置等部分。数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品。本书导读如图 0-3 所示。

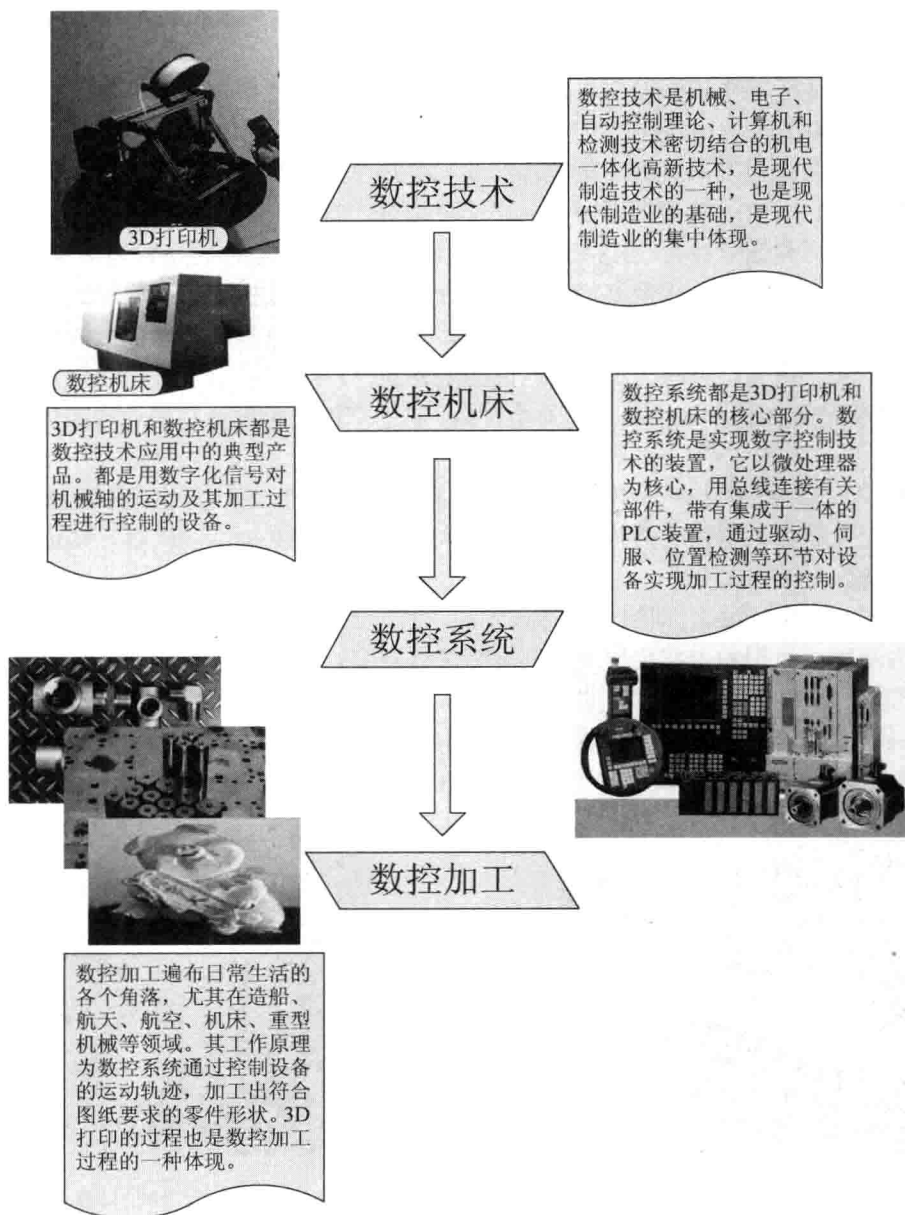


图 0-3 本书导读图

本书共分五篇：数控技术、数控机床、数控系统、数控加工和工程实例，各篇导读如下图 0-4 所示。

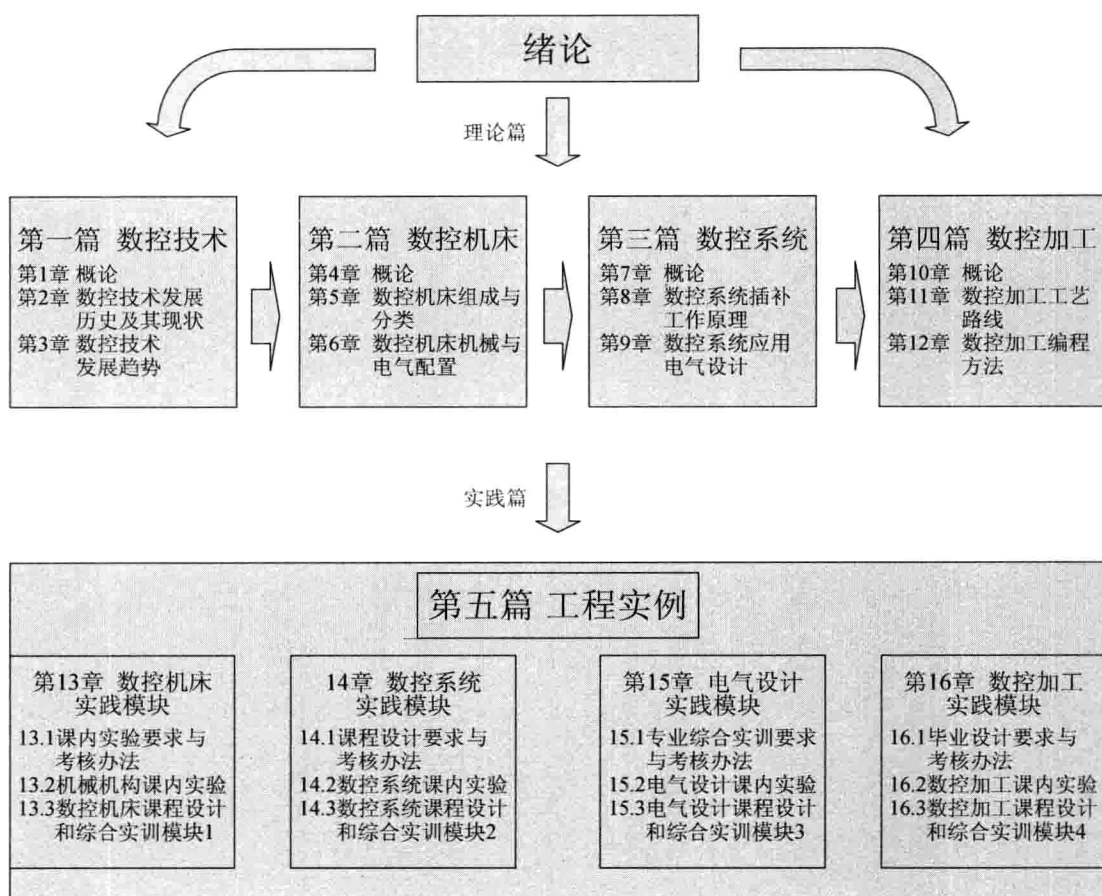
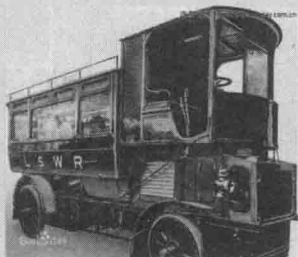


图 0-4 各篇导读图

数控技术

数控技术和数控装备是制造业现代化的重要基础。三次工业革命见证着制造业的发展历程，如下图1所示。

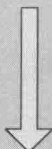


蒸汽机

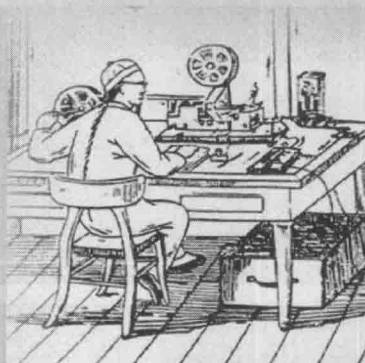
第一次工业革命



第二次工业革命



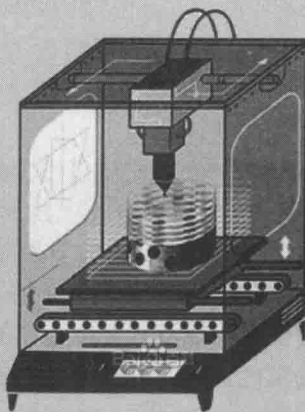
第三次工业革命



莫尔斯电报机

第二次工业革命以电力的广泛应用为显著特点。从19世纪六七十年代开始，出现了一系列电器发明。1866年德国人西门子（Siemens）制成发电机，1870年比利时人格拉姆（Gelang）发明电动机，电力开始用于带动机器，成为补充和取代蒸汽动力的新能源。电力工业和电器制造业迅速发展。人类跨入了“电气时代”。

第三次工业革命，是人类文明史上继蒸汽技术革命和电力技术革命之后科技领域里的又一次重大飞跃。它以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为主要标志，是涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域的一场信息控制技术革命。3D打印技术被很多人认为将带来第三次产业革命。



3D打印机



打印出来的小车

图1

第 1 章 概 论

本章知识要点

1. 数控技术的概念;
2. “自动化”的定义;
3. 制造业自动化的基本特征。

兴趣实践

参观工业博物馆，了解制造业发展历史。

探索思考

三次工业革命兴起的原因？

预习准备

复习“机械工程基础”、“数字电子技术”、“模拟电子技术”等课程知识。

1.1 基础知识

在制造业发展的历史长河中，制造业的发展可分为两个阶段——古代制造业和近代制造业，从第一台蒸汽机问世至今，经历了原始的手工加工、机械加工及今天借助于计算机的集成制造系统。

制造业真正的发展是在最近 200 年的时间内，随着西方封建制的逐步解体和资本主义登上历史舞台，各种制造业和相关的制造技术取得了长足的进步。并且由于制造业的发展和加工手段的进步，带来了人类社会的发展和进步。

在此过程中，其他相关学科对制造业的发展起到了很大的作用，如电气技术的应用，使制造业有了新的动力来源；自动化技术的应用，使制造业从手工方式转变为自动化加工的方式。此外，计算机技术的应用及数控机床的问世，给制造业带来了很大根本性的变化，它改变了传统的制造模式，也改变了传统的企业管理模式甚至人们的思维方式，使得小批量多品种制造方式成为可能，人们可根据自己的兴趣和爱好来挑选产品。

数控（Numerical Control，NC）技术是用数字化信息进行控制的

小知识

1952 年，世界上第一台数控机床在美国问世，成为世界机械工业史上一个划时代的事件，推动了机床工业的发展。