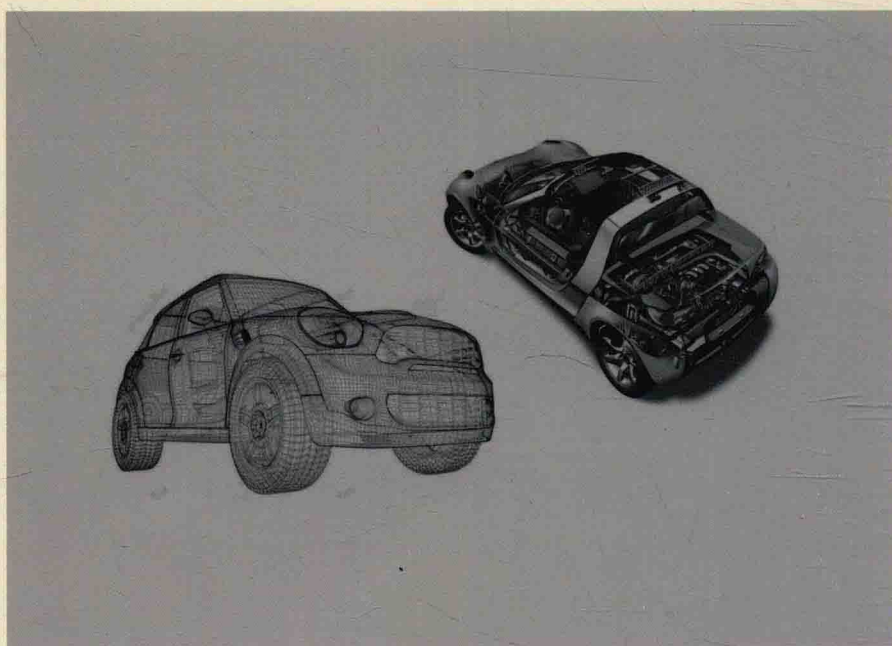


材料科学与工程学科系列教材

材料制造数字化控制基础

Foundation of Digital Control for Material Processing



主 编 唐新华



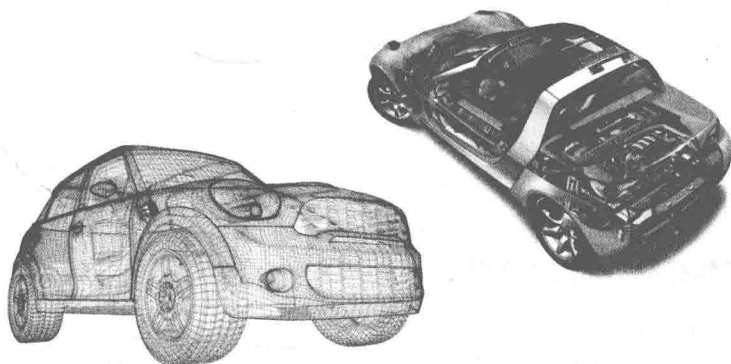
上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

材料科学与工程学科系列教材

材料制造数字化控制基础

Foundation of Digital Control for Material Processing

主 编 唐新华



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书内容涉及数字逻辑基础,通用微处理器和嵌入式微处理器,工控机技术,PLC 控制技术,信号的数字化采集、处理和传输技术,现场总线,网络技术,自动控制理论基础,数字化控制方法,材料科学基础和材料加工原理等。其中,数字逻辑基础、微处理器作为数字化技术的基础知识作简要介绍,工控机技术和 PLC 控制技术作为目前工业界广泛使用的通用技术是数字化控制的具体形式,也分别作简要介绍。在此基础上,本书以材料加工和制造过程中信号的数字化采集、处理、传输与控制为主线,系统介绍相关技术知识,并通过列举材料加工和制造领域中基于数字化控制技术的一系列应用范例,深化对数字化控制技术的认识。

图书在版编目(CIP)数据

材料制造数字化控制基础/唐新华主编. —上海:上海交通大学出版社,2015

ISBN 978-7-313-13727-2

I. ①材… II. ①唐… III. ①工程材料-数字化-控制系统
IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 199730 号

材料制造数字化控制基础

主 编:唐新华

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海天地海设计印刷有限公司

开 本:710mm×1092mm 1/16

字 数:552 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-13727-2/TB

定 价:53.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:23

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-64835344

材料科学与工程学科系列教材 编委会名单

顾问委员会

主任：徐祖耀 上海交通大学
委员：周尧和 上海交通大学
潘健生 上海交通大学
吴人洁 上海交通大学
涂善东 华东理工大学
张立德 中科院固体物理所
姜茂发 东北大学
李春峰 哈尔滨工业大学

编委会

主任：林栋樑 上海交通大学
副主任：吴毅雄 上海交通大学
蔡珣 上海交通大学
王敏 上海交通大学
冯吉才 哈尔滨工业大学
赵升吨 西安交通大学

委员(按姓氏笔画为序)：

王磊 东北大学
孔向阳 上海交通大学
李强 上海交通大学
戎咏华 上海交通大学
陈世朴 上海交通大学
李建国 上海交通大学
张建旗 内蒙古科技大学
金学军 上海交通大学
金朝晖 上海交通大学
赵震 上海交通大学
钱苗根 上海交通大学
顾剑锋 上海交通大学
唐新华 上海交通大学
黄永昌 上海交通大学

总 序

材料是当今社会物质文明进步的根本性支柱之一,是国民经济、国防及其他高新技术产业发展不可或缺的物质基础。材料科学与工程是关于材料成分、制备与加工、组织结构与性能,以及材料使用性能诸要素和他们之间相互关系的科学,是一门多学科交叉的综合性学科。材料科学的三大分支学科是材料物理与化学、材料学和材料加工工程。

材料科学与工程专业酝酿于 20 世纪 50 年代末,创建于 60 年代初,已历经半个世纪。半个世纪以来,材料的品种日益增多,不同效能的新材料不断涌现,原有材料的性能也更为改善与提高,力求满足多种使用要求。在材料科学发展过程中,为了改善材料的质量,提高其性能,扩大品种,研究开发新材料,必须加深对材料的认识,从理论上阐明其本质及规律,以物理、化学、力学、工程等领域学科为基础,应用现代材料科学理论和实验手段,从宏观现象到微观结构测试分析,从而使材料科学理论和实验手段迅速发展。

目前,我国从事材料科学研究的队伍规模占世界首位,论文数目居世界第一,专利数目居世界第一。虽然我国的材料科学发展迅速,但与发达国家相比,差距还较大:论文原创性成果不多,国际影响处于中等水平;对国家高技术和国民经济关键科学问题关注不够;对传统科学问题关注不够,对新的科学问题研究不深入等等。

在这一背景下,上海交通大学出版社组织召开了“材料学科学及工程学科研讨暨教材编写大会”,历时两年组建编写队伍和评审委员会,希冀以“材料科学及工程学科”系列教材的出版带动专业教育紧跟科学发展和技术进步的形势。为保证此次编写能够体现我国科学发展水平及发展趋势,丛书编写、审阅人员汇集了全国重点高校众多知名专家、学者,其中不乏德高望重的院士、长江学者等。丛书不仅涵盖传统的材料科学与工程基础、材料热力学等基础课程教材,也包括材料强化、材料设计、材料结构表征等专业方向的教材,还包括适应现代材料科学研究需要的材料动力学、合金设计的电子理论和计算材料学等。

在参与本套教材的编写的上海交通大学材料科学与工程学院教师和其他兄弟院校的共同努力下,本套教材的出版,必将促进材料专业的教学改革和教材建设事业发展,对中青年教师的成长有所助益。

林栋樑

前言

随着计算机技术的快速发展,数字化、信息化、网络化、智能化已成为现代制造技术的发展主流,材料领域的加工和制造也不例外。而数字化技术是信息化、网络化和智能化的基础。现实世界的各种信息多数是以在时间或空间上的连续函数形式表现出来的,这些信息无法在以“0”和“1”作为编码的数字计算机上直接处理,必须通过采样,变成序列化的数值以后,才能进行处理,这个过程实际上就是数字化的过程。只有通过数字化技术,才能把自然界丰富多彩的模拟信息转化成数字信息,才能用计算机进行各种计算、处理,才能通过网络交换数据信息,才能对各种制造过程实现智能化控制。因此,数字化为材料制造带来了新的发展机遇,要抓住机遇,首先要从人才培养抓起,而学生培养是人才培养的关键,一本合适的教材对学生的课程学习、能力培养和知识结构的拓展具有重要意义。

然而,数字化技术所包含的内容极其广泛,如何选取合适的内容对课程目标至关重要。数字化技术与不同的领域技术相结合,就能形成这个领域独特的数字化技术。在材料制造和加工领域,数字化技术可分别与设计、制造和管理等不同层面相结合,从而形成材料领域的数字化设计、数字化制造和数字化管理等技术体系。其中,数字化制造不仅需要软件技术,更需要面向各类现代化的制造装备。因此,熟悉各类以数字化为特征的装备及其控制系统,了解材料制造和加工过程中信息流的数字化采集、处理和传输技术,并通过数字化信息流对制造过程实现控制,对于更好地理解 and 掌握数字化制造技术意义重大。

鉴于数字化设计和管理的内容已有相关教材或商用软件,因此本教材的重点着眼于数字化制造过程中的控制技术,即以材料加工和制造过程中信息的数字化采集、处理、传输与控制为主要内容;同时将数字逻辑基础、微处理器(包括通用和嵌入式)等作为基础知识,将目前工业界广泛使用的工控机、PLC 等作为通识内容作简要介绍,以适合非计算机信息类专业的学生学习,使其对数字化技术相关内容有一个系统的认识。最后,通过列举数字化控制技术在材料制造领域中的一系列应用范例,以深化学生对数字化控制技术的认识。

本书主要内容包括:第1章概要介绍数字化的概念,数字化制造的特点、基本内容和发展趋势,并简要介绍几类典型的数字化控制系统。第2章介绍数字逻辑基础和微处理器等一些重要的基础知识。第3章与第4章分别介绍工控机技术和PLC技术的控制原理与特点。第5至第7章分别介绍材料制造过程中信号的数字化采集、处理、传输的基本原理和特点,包括典型的现场总线和网络信息传输技术特点。第8章介绍自动控制的基本理论和分析方法。第9章着重介绍PID控制方法和数字化控制算法方程,以及其他一些在材料制造和加工过程中可能应用的控制方法。第10章,通过几个典型的材料制造数字化系统集成范例,展示相关的数字化技术在材料制造中的应用,以便读者对材料制造过程中的数字化控制技术有一个更全面的认识。

综上所述,本教材的特点之一是涉及面广,知识点多。其主要涉及数字逻辑基础,通用微处理器和嵌入式微处理器原理与应用,工控机技术,PLC技术,信号的数字化采集、处理和传

输技术,现场总线,网络技术,自动控制理论、材料科学基础和材料加工原理等相关内容。本教材力图把上述与数字化控制相关的知识有机地串联起来,使学生通过这一门课程能够对数字化控制技术有一个比较全面的认识。由于课时有限,在内容的编排上,本教材根据材料科学与工程专业学生的知识结构和特点,对相关知识点不追求详尽的理论解释,对技术细节也不展开深入系统的描述,而尽可能地从比较浅显的基础内容开始讲起,由浅入深、循序渐进,从而为有兴趣的学生深入学习相关专门知识提供入门基础。教学过程中也可以根据学生的知识结构和基础,对相关内容作适当的增删。比如,对于学过数字电路和微机原理的学生,可对第2章内容适当删减,只保留嵌入式微处理器。

本书第1章由唐新华编写,第2章由唐新华和张轲合编,第3和第4章由张轲编写,第5和第6章由李芳编写,第7章由林涛、陈华斌、唐新华等合编,第8和第9章由蔡艳编写,第10章由张轲、蔡艳等合编,整书由唐新华统稿整理和修改,王敏和华学明对本书做了审核。由于作者水平有限,书中存在的错误和疏漏,恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字化的概念	1
1.1.1 何谓数字化	1
1.1.2 数字化的意义	4
1.1.3 数字化的特点	5
1.2 数字化制造的基本内容	5
1.2.1 何谓数字化制造技术	5
1.2.2 数字化制造的发展过程	7
1.2.3 数字化制造的基本内容	12
1.2.4 材料制造中的数字化技术	14
1.3 数字化在现代制造业中的地位	17
1.3.1 制造业与制造技术	17
1.3.2 制造业与信息技术	18
1.3.3 数字化制造的 3 个层面	20
1.3.4 数字化制造的发展趋势	22
1.4 数字化控制系统	23
1.4.1 CNC 数控系统	24
1.4.2 PLC 控制系统	26
1.4.3 工控机组态控制系统	27
1.4.4 嵌入式控制系统	28
1.4.5 分布式控制系统	30
1.4.6 现场总线控制系统	32
第 2 章 数字化技术基础	36
2.1 数字逻辑基础	36
2.1.1 数制、转换与编码	36
2.1.2 二进制的算术运算	43
2.1.3 二进制的逻辑运算	45
2.1.4 逻辑门电路	46
2.1.5 加法器电路	52
2.1.6 其他逻辑电路	55

2.2 微处理器	60
2.2.1 什么是微处理器	60
2.2.2 微处理器的基本结构	60
2.2.3 微处理器的分类	64
2.2.4 通用高性能微处理器	65
2.2.5 嵌入式处理器	74
2.2.6 微处理器的发展趋势	85
第3章 工控机控制技术	89
3.1 工业控制计算机概述	89
3.1.1 工控机的概念	89
3.1.2 工控机的特点	89
3.1.3 工控机及系统组成	90
3.1.4 工控机主要类型	93
3.1.5 工控机主要品牌	94
3.2 工控机 I/O 板卡基础	94
3.2.1 数据采集与控制卡的基本任务	94
3.2.2 输入输出信号的种类与接线方式	95
3.2.3 板卡选择参数与接口模板名词解释	100
3.3 工控机的编程与组态	102
3.3.1 数据采集控制卡编程基本知识	102
3.3.2 数据采集控制卡硬件 I/O 控制原理	104
3.3.3 采集卡驱动程序及编程使用说明	105
3.3.4 工控机组态控制基本知识	108
3.4 工控机数据采集控制系统	111
3.4.1 数据采集控制系统的组成与功能	111
3.4.2 关于信号调理	112
3.4.3 研华 PCL724 数字量输入/输出板卡	114
3.4.4 研华 ISA 总线 PCL818L 多功能卡	115
3.4.5 远程数据采集和控制模块 ADAM4000	119
3.5 工控机的应用和发展	121
第4章 PLC 控制技术	123
4.1 PLC 概述	123
4.1.1 PLC 的产生	123
4.1.2 PLC 的定义	124
4.1.3 PLC 的特点	124
4.2 PLC 组成及工作原理	125
4.2.1 PLC 的基本组成	125

4.2.2 PLC 的工作原理	130
4.3 PLC 编程技术	131
4.3.1 PLC 编程语言	131
4.3.2 PLC 编程基础	134
4.3.3 PLC 基本电路编程	135
4.3.4 梯形图编程规则	138
4.4 PLC 控制系统	140
4.4.1 PLC 控制系统设计	140
4.4.2 PLC 控制系统与继电器控制系统的比较	142
4.4.3 PLC 控制系统与 IPC 控制系统的比较	143
4.5 PLC 主要产品介绍	143
4.5.1 PLC 主流产品	143
4.5.2 西门子 PLC 简介	145
4.6 PLC 现状和发展趋势	154
第 5 章 信号的数字化采集	156
5.1 信号概述	156
5.1.1 什么是信号	156
5.1.2 信号的分类	157
5.1.3 信号的特性	161
5.1.4 材料制造过程中的信号	162
5.2 信号的传感	163
5.2.1 什么是传感技术	163
5.2.2 传感器的定义	164
5.2.3 传感器的分类	165
5.2.4 传感器的特性	166
5.3 信号的采集	167
5.3.1 采样过程	167
5.3.2 采样定理	169
5.4 数字化数据采集系统	171
5.4.1 数据采集系统的定义	171
5.4.2 数据采集系统的功能	172
5.4.3 数据采集系统的结构	173
5.5 数据采集系统举例	181
5.5.1 基于单片机的数据采集系统	181
5.5.2 基于 LabVIEW 的数据采集系统	183
5.5.3 焊接数据采集系统典型案例	184

第 6 章 数字化信号的处理	187
6.1 数字信号基本概念	187
6.2 数字信号处理的特点	188
6.2.1 数字信号处理的优点	188
6.2.2 数字信号处理的缺点	189
6.3 数字信号处理基本方法	189
6.3.1 数字滤波(Digital Filter)	189
6.3.2 常用的数字滤波算法	190
6.3.3 数字滤波器	196
6.3.4 数据处理	197
6.3.5 运算控制	198
6.3.6 数字信号处理的实现方法	199
6.4 数字化信号的输出	199
6.4.1 数字量输出	199
6.4.2 模拟量输出	201
第 7 章 数字化信号的传输	209
7.1 数据通信概述	209
7.1.1 数据通信系统	209
7.1.2 通信系统的分类	210
7.1.3 模拟通信与数字通信	210
7.1.4 传输介质	215
7.1.5 通信方式	220
7.1.6 主要通信技术指标	221
7.2 数字化信息传输技术	224
7.2.1 数据编码技术	225
7.2.2 数据调制技术	226
7.2.3 同步控制技术	227
7.2.4 多路复用技术	229
7.2.5 差错控制技术	232
7.2.6 信息加密技术	236
7.3 基于现场总线的信息传输技术	239
7.3.1 现场总线概述	239
7.3.2 几种典型的现场总线	242
7.4 基于网络的信息传输技术	251
7.4.1 工业以太网概述	251
7.4.2 几种典型的工业以太网简介	254
7.4.3 无线网络简介	255

第 8 章 自动控制理论基础	258
8.1 引言	258
8.2 基本概念和原理	259
8.2.1 自动控制基本概念	259
8.2.2 控制系统基本方式	260
8.2.3 控制系统的分类	262
8.3 控制模型和传递函数	263
8.3.1 拉普拉斯变换	263
8.3.2 拉普拉斯反变换	266
8.3.3 控制系统的数学模型	268
8.3.4 传递函数	269
8.3.5 典型环节及其传递函数	271
8.3.6 系统动态结构图	274
8.4 自动控制系统性能	278
8.4.1 自动控制系统的基本要求	278
8.4.2 控制系统时域性能指标	279
8.4.3 劳斯稳定性判据	282
第 9 章 数字化控制方法	288
9.1 PID 控制方法	288
9.1.1 基本理论	288
9.1.2 比例(P)控制	289
9.1.3 比例微分(PD)控制	290
9.1.4 积分(I)控制	291
9.1.5 比例积分(PI)控制	292
9.1.6 比例积分微分(PID)控制	292
9.1.7 PID 参数整定	293
9.2 其他自动控制方法	297
9.2.1 串级控制	297
9.2.2 自适应控制	298
9.2.3 变结构控制	299
9.2.4 模糊控制	299
9.2.5 神经网络控制	300
9.3 材料制造过程控制方法举例	301
9.3.1 炉温的 PID 控制	301
9.3.2 弧焊过程的熔深控制	304

第 10 章 材料制造数字化系统集成范例	307
10.1 热处理炉温度控制系统	307
10.1.1 系统组成	307
10.1.2 温度测量	308
10.1.3 温度控制	308
10.1.4 数字化嵌入式炉温控制器	311
10.2 反重力铸造液态成形控制系统	314
10.2.1 反重力铸造原理	314
10.2.2 控制原理	316
10.2.3 系统组成	316
10.2.4 控制算法	317
10.3 激光熔覆增材制造系统	320
10.3.1 激光熔覆技术	320
10.3.2 激光熔覆特点	321
10.3.3 激光熔覆系统	321
10.3.4 激光熔覆应用	323
10.4 机器人材料加工系统	325
10.4.1 机器人基础知识	325
10.4.2 带视觉跟踪的机器人工作站	332
10.5 基于机器视觉的焊缝质量检测系统	335
10.5.1 焊缝质量检测系统组成	336
10.5.2 机器视觉图像处理流程	337
10.5.3 系统实际检测情况	339
附录 1 附图索引	342
附录 2 附表索引	350
参考文献	352

第1章 绪 论

1.1 数字化的概念

1.1.1 何谓数字化

数字化(digitizing, digitization)就是将许多复杂多变的信息转变为可以度量的数字、数据,再以这些数字、数据建立起适当的数字化模型,把它们转变为一系列二进制代码,引入计算机内部,进行统一处理,这就是数字化的基本过程。计算机技术的发展,使人类第一次可以利用极为简洁的“0”和“1”编码技术,来实现对一切声音、文字、图像和数据的编码、解码,各类信息的采集、处理、贮存和传输,实现了标准化和高速处理,图 1-1 为将模拟信号转化为数字信号的基本过程。当今时代是信息化时代,信息的数字化越来越为人们所重视。数字化技术一般是指以计算机的硬件、软件、接口、协议和网络为技术手段,以信息的离散化表述、传递、处理、存储、执行和集成等信息科学理论及方法为基础的集成技术。该技术适用领域非常广泛,易于与其他专业技术融合形成各种数字化专业技术。

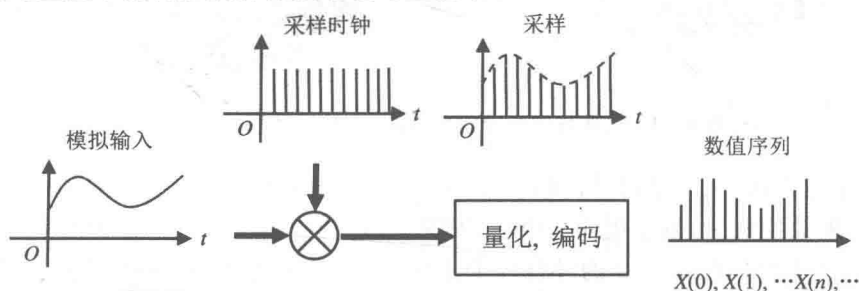


图 1-1 信号的数字化过程示意图

从现实世界看,由于以计算机技术为核心的信息和网络技术的快速发展,数字化技术已经渗入到生产和生活的各个领域。尼葛洛庞帝的《数字化生存》一书中所描述的数字化世界已在我们周围大量显现,并不断地冲击着我们的观念,改变着我们的生产和生活方式。

在家庭生活和娱乐领域,从变频空调、洗衣机、平板电视、家庭影院等家电产品到 iPad 平板电脑、手机等无线通信产品,从数码相机、DV 摄像机、MP3、MP4 到 GPS 汽车导航仪,等等,如图 1-2 所示,无一不是采用了以计算机为核心的数字化技术,从而使这些产品的操控方式及与人类的交互方式发生了巨大的变化。以汽车驾驶导航为例,它的出现使人们的驾车出行变得非常简便,同时也为即将面世的自动驾驶汽车提供了技术基础,图 1-3 是以汽车导航为目的全球定位系统(GPS)工作原理。

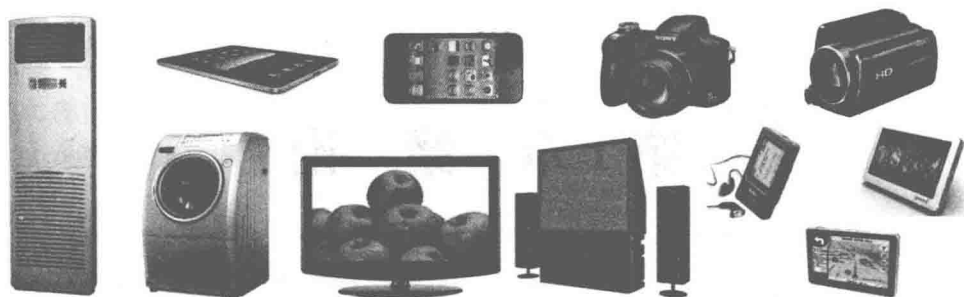


图 1-2 家庭生活和娱乐领域数字化产品

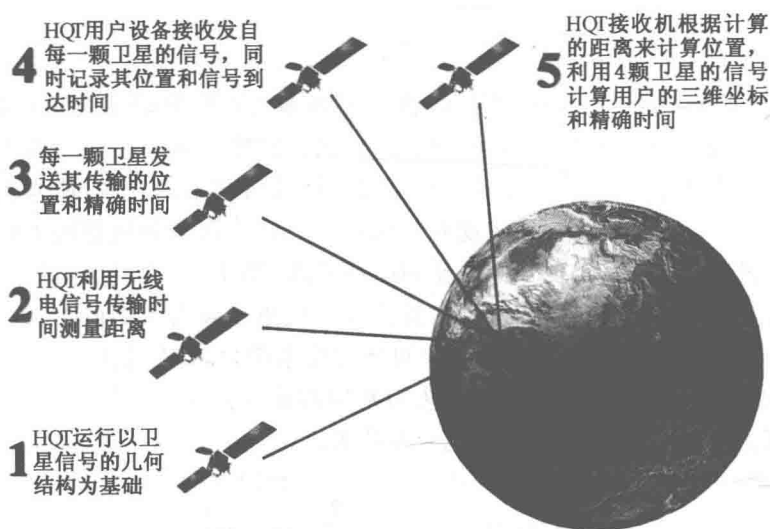


图 1-3 汽车导航全球定位系统(GPS)工作原理示意图

在生产制造领域,从产品的设计到制造,从工艺流程的优化到生产过程的控制,从各类数控加工设备(如数控机床、数字化加工中心、工业机器人等)的应用到产品的检验、测量和质量监控,数字化技术的应用使产品的设计周期更短、生产效率更高、加工精度更准、产品质量更好、性能更稳定。

图 1-4 所示为汽车的数字化三维设计,图 1-5 至图 1-7 所示为各类数字化加工设备。

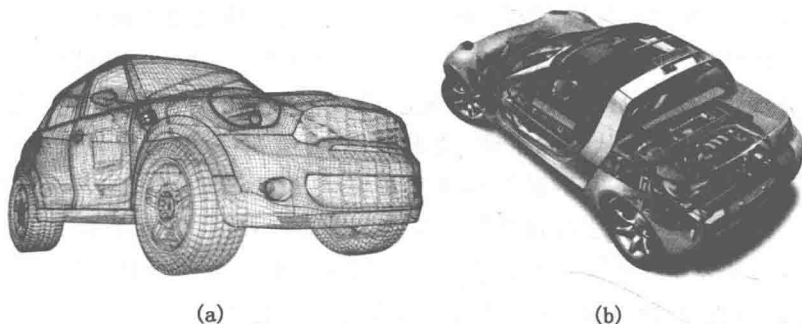


图 1-4 汽车 CAD 三维设计模型

(a) 线框模型; (b) 3D 模型

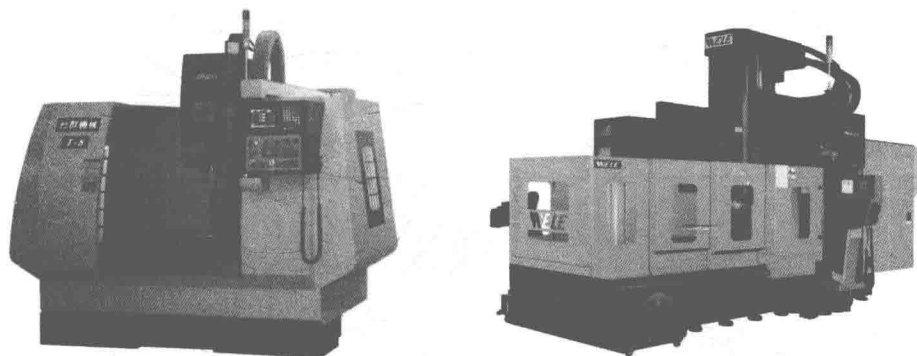


图 1-5 数控加工中心

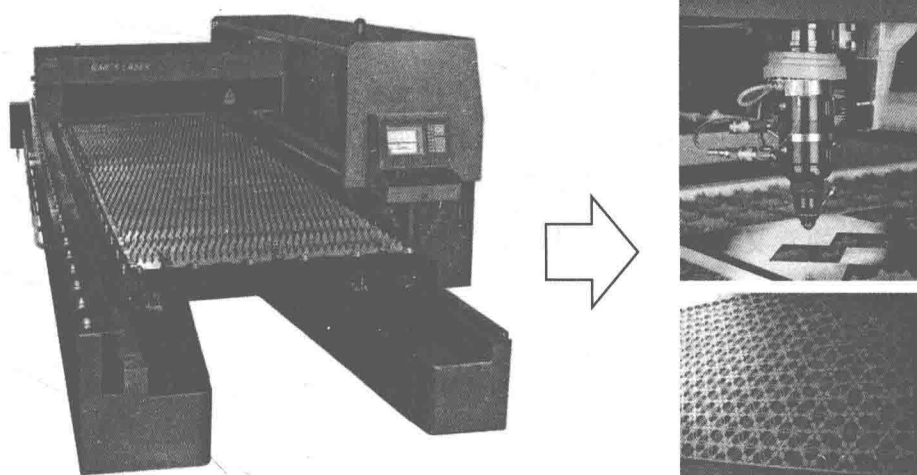


图 1-6 数控激光切割机

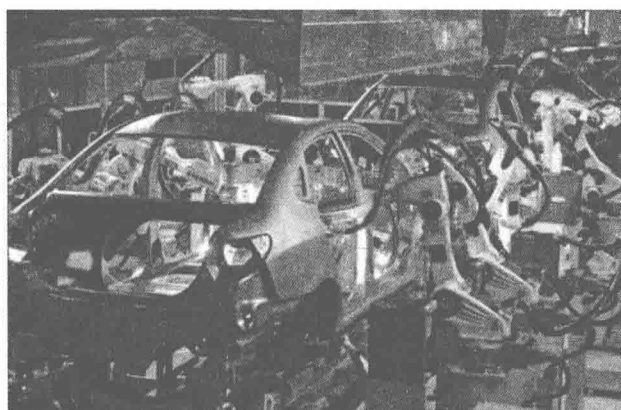


图 1-7 机器人焊接汽车生产线

数字化还体现在各领域各部门的信息管理上,无纸化办公已成为各级政府部门、各企事业单位人事信息管理部门、生产管理部门的发展方向,通过数字化的信息管理,使信息的传递更快捷、管理更有序、效率更高,也更趋于环保。数字化企业是现代企业运行的一种新模式,它将

信息技术、现代管理技术和制造技术相结合,并应用到企业产品生命周期全过程和企业运行管理的各个环节,实现产品设计制造、企业管理、生产过程控制以及制造装备的数字化和集成化,提升企业产品开发能力、经营管理水平和生产制造能力,从而提高企业综合竞争能力。图 1-8 所示为某公司的产品全生命周期管理系统。

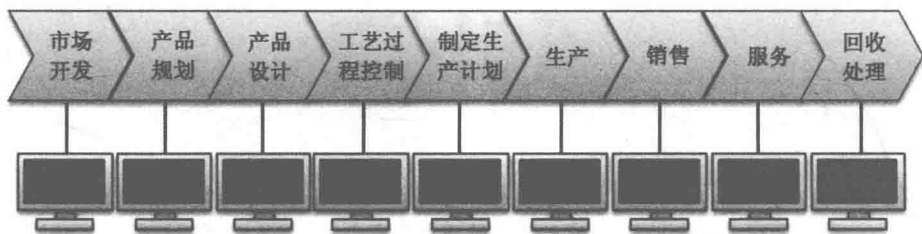


图 1-8 某公司的产品全生命周期数字化管理系统

在社会服务和文化教育领域,医院、银行的数字化信息管理使机构的运行效率大大提高,差错率大大减小,高等院校数字化图书馆的建立使文献资料的查询更加方便,图书和文献资料的收藏量大大提高,多媒体教学的推广使课堂教学变得更生动,信息量更丰富。由此可见,数字化已经影响并正在影响社会生活的各个方面。

1.1.2 数字化的意义

数字化的意义至少体现在以下几方面:

其一,数字化是数字计算机的基础。数字计算机采用了极为简单的“0”和“1”对一切信息进行编码,若没有数字化技术,就没有当今的计算机,因为数字计算机的一切运算和功能都是用数字来完成的。如果现实世界复杂纷繁的信息无法转换成数字化信息在数字计算机上进行处理,计算机也就没有了用武之地,也就不会促进计算机以如此快的速度发展。

其二,数字化是多媒体技术的基础。数字、文字、图像、语音,包括虚拟现实,及可视世界的各种信息等,实际上通过采样定理都可以用 0 和 1 来表示,这样数字化以后的 0 和 1 就是各种信息最基本、最简单的表示。因此计算机不仅可以计算,还可以发出声音、打电话、发传真、放录像、看电影,这就是因为 0 和 1 可以表示这种多媒体的形象,还可以产生虚拟的世界,因此用数字媒体就可以代表各种媒体,就可以描述千差万别的现实世界。

其三,数字化是软件技术的基础,是智能技术的基础。软件中的系统软件、工具软件、应用软件等,信号处理技术中的数字滤波、编码、加密、解压缩等等都是基于数字化实现的。例如,图像的数据量很大,数字化后可以将数据压缩到十至几百倍;图像受到干扰变得模糊,但可以用滤波技术变得清晰。这些都是经过数字化处理后所得到的结果。不过对于声音的处理方面,有人认为对声音数字化就是把声音搞得支离破碎,破坏了声音的连续美,所以 CD 的音质即使使用电子管放大器也比不上黑胶唱片。

其四,数字化是信息社会的技术基础。数字化技术还正在引发一场范围广泛的产品革命,各种家用电器设备,信息处理设备都将向数字化方向发展。如数字电视、数字广播、数字电影、DVD 等等,现在通信网络也向数字化方向发展。有很多人把信息社会的经济说成是数字经济,这足以证明数字化对社会的影响有多么重大。