



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

普通高等教育国家级精品教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



Advanced Manufacturing System

先进制造系统

第②版

戴庆辉 等编著



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育国家级精品教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

先进制造系统

第2版

戴庆辉 等编著
张根保 主审



机械工业出版社

本书是在国家级精品教材《先进制造系统》的基础上修订的,以“制造概论—制造系统—制造模式—制造技术”为框架来介绍当代制造业的新系统、新模式和新技术,力图融技术与管理为一体,提供“制造学”的架构。全书分为5篇18章,依次介绍了制造业的概念和发展;先进制造系统、先进制造模式和先进制造技术的基本概念;产品、客户、企业、产业、技术和系统的6个生命周期理论和产品生命周期管理;制造系统的组成、性能、决策、建模、设计和运行6项基本原理;22种先进制造模式的发展、原理与应用;17项先进设计技术;9类制造系统的典型装备;16项先进制造工艺技术;电子制造,增材制造,微纳制造,生物制造,物联网,云制造,大数据,预测制造,赛博物理系统,工业互联网,工业4.0,基于互联网的制造业,共享制造。

本书可作为工业工程、机械工程、管理工程、质量工程、物流工程等与制造相关专业的教材或参考书。对于辛勤工作在制造企业一线的技术骨干与管理骨干来说,本书是一本领略当代制造学科全貌的超值读物。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统/戴庆辉等编著.—2版.—北京:机械工业出版社,2018.2
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-58186-4

I. ①先… II. ①戴… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材
IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第239080号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:裴 泱 责任编辑:裴 泱
责任校对:潘 蕊 封面设计:张 静
责任印制:孙 炜

河北宝昌佳彩印刷有限公司印刷

2019年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·27.25印张·747千字

标准书号:ISBN 978-7-111-58186-4

定价:68.00元

电话服务

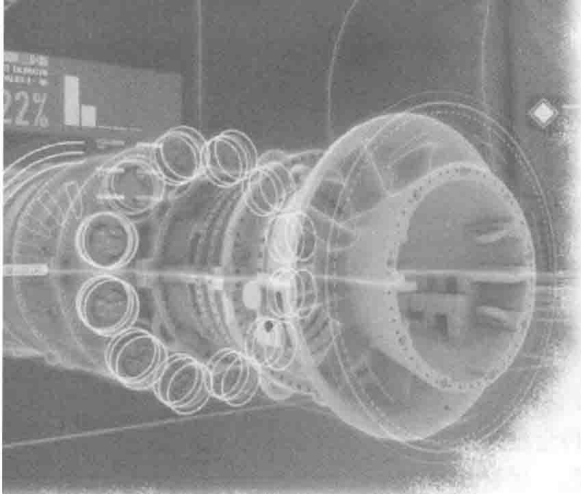
网络服务

客服电话:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

010-88379833 机工官博:weibo.com/cmp1952

010-68326294 金书网:www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版 机工教育服务网:www.cmpedu.com



前 言

《先进制造系统》第1版于2005年3月出版,2006年获评普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2007年获评普通高等教育国家级精品教材,2012年获评“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,2016年获评“十三五”国家重点出版物出版规划项目。这表明它得到了领域专家、高校教师和读者的普遍认可,取得了较好的社会效益。值此第2版面世之际,谨向本书的读者表示衷心的感谢!

当前我国制造业发生了显著变化,正面临着新的挑战:信息时代的挑战,快速响应市场竞争的挑战,全球化竞争的挑战,环境保护压力的挑战,制造全球化和贸易自由化的挑战,技术创新的挑战。步入知识经济的社会迫切需要科技成果的转化,同时,我国高等工程本科教育正发生着深刻变革,创新教育深入人心,创新人才培养更受重视。《先进制造系统》第2版正是为了适应制造业变革和制造学教学改革的新形势进行修订的。修订工作本着教材应以“学生好学、教师好用”为宗旨,坚持适用性、实用性和先进性的原则。全书保留第1版所构建的体例:先进制造系统的框架结构为“制造系统-制造模式-制造技术”;安排每个知识点采用的表述方式为“发展-原理-应用”;处理知识体系的认知思路为“概括-重点-案例”。

与第1版相比,第2版做了大幅修改,其特色主要体现在以下三个方面:

1) 教材结构的调整。考虑教学特点,以“制造概论-制造系统-制造模式-制造技术”为框架,将全书分为5篇18章,各篇明确体现本课程的知识体系,每章对应一个教学单元,能够灵活适应32~64学时,可为开展研究性教学和主动性学习提供教学素材。

2) 教材内容的增删。第1版保留的内容不足20%。删减的内容:第1版第7~9章。改写的内容:制造学的内涵外延、先进制造系统的基本概念、人性化制造、效益化制造、智能化制造、电子制造、增材制造、微纳制造、生物制造;新增的内容:我国制造业的机遇、挑战、优势、劣势、目标、路径、任务和对策,生命周期理论,绿色制造,服务型制造,六西格玛,协同制造,数字化制造,广义智能制造,五轴机床,智能机床,光刻机,绿色加工,高效加工,物联网,云制造,大数据,预测制造,赛博物理系统,工业互联网,工业4.0,共享制造等。

3) 教材内容的扩展。为了更好地把理论与应用结合起来,方便教师教学,也让学习者更好地了解先进制造系统的发展和应用,本书作者收集了上百个应用案例,书中对应章节有对应的案例标题,教师可配合PPT课件使用。案例与PPT课件可以在机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)下载。书中用“*”表示的章节是课程的必讲内容。

本书第1版公开发行至至今已10多年了,先进制造的新系统、新模式和新技术的精彩纷呈,先进制造知识的日新月异,既为本书信息收集带来了丰富的资源,又给全书篇幅缩减造成了很大的困难。此次修订,历经五年,伏案匠心,殚精竭虑。为了使读者能够以最低的成本获得最大的收益,付出超常的时间和精力,也是值得欣慰的。

全书由戴庆辉教授担任总撰稿人。参加本次修订工作的还有:华北电力大学的李亚斌、慈铁军、叶锋、花广如、李东、于海龙、杜必强、张文建,唐山学院的郭彩玲博士,温州大学的周宏明教授,以及东莞理工学院的王卫平教授。沈阳工业大学的张新敏教授参加了第2版修订大纲的制定和部分内容的撰写。



信彦君、邢琳琳、王娜、范挚阳、申培钰、李红梅、王晓敏、任思思、耿晓峰、王文杰、崔婧、石万、包润民、陈玉召和崔佳宁等研究生参与了本书的资料整理工作。在修订过程中，参考了许多学者和专家的文獻，在此感谢本书所有参考文献著作者的学术贡献。

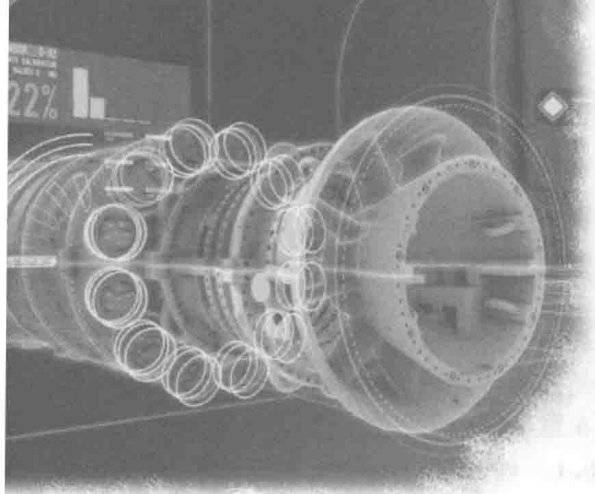
本书承蒙张根保教授的支持并担任主审。张教授对本书给出了宝贵的修改意见。特此向张教授致以衷心的感谢！在此对第1版的主审罗振壁教授表达深切的怀念。

本书可作为工业工程、机械工程、管理工程、质量工程、物流工程等与制造相关专业的教材或参考书，也可作为制造企业技术骨干与管理骨干领略当代制造学科全貌的参考书。

特别感谢读者、专家和领导给予本书持续10多年的厚爱。尽管力求第2版质量比第1版有所提高，但书中仍不免存在不足甚至谬误。对一些教学内容的整合、拆分和调整是作者对知识体系和教学设计理解的一种尝试，有待于实践检验和反馈，恳请读者不吝指正。

(邮箱: dcha6789@126.com)

作者



目 录

前 言

第1篇 制造概论

第1章 制造业	2
1.1 制造与制造业的概念*	2
1.1.1 制造的内涵及辨析	2
1.1.2 制造业的行业类别	4
1.1.3 制造业的产品类型	5
1.2 世界制造业的发展	6
1.2.1 制造业的发展	6
1.2.2 制造业的作用	9
1.2.3 世界工厂的迁移	9
1.3 我国制造业的发展*	11
1.3.1 机遇与挑战	11
1.3.2 优势与劣势	12
1.3.3 目标与路径	14
1.3.4 任务与对策	17
复习思考题	18
第2章 先进制造	19
2.1 制造的系统、模式和技术*	19
2.1.1 系统的定义与特性	19
2.1.2 制造系统的定义与演化*	20
2.1.3 制造模式的定义与演化*	21
2.1.4 制造技术的定义与演化*	24
2.2 制造学的概念与研究对象	25

2.2.1 制造学的内涵	25
2.2.2 制造学的外延	27
2.2.3 制造工程的结构*	27
2.3 先进制造的概念*	29
2.3.1 先进制造系统的概念	29
2.3.2 先进制造模式的概念	32
2.3.3 先进制造技术的概念	35
复习思考题	37
第3章 生命周期理论	38
3.1 产品与客户生命周期*	38
3.1.1 产品生命周期*	38
3.1.2 客户生命周期	42
3.2 企业与产业的生命周期	44
3.2.1 企业生命周期	44
3.2.2 制造业生命周期	48
3.3 技术与系统的生命周期*	49
3.3.1 技术生命周期*	49
3.3.2 系统与制造系统生命周期	52
3.4 产品生命周期管理	54
3.4.1 产品生命周期管理的原理*	54
3.4.2 产品生命周期管理的应用	58
复习思考题	60

第2篇 制造系统

第4章 制造系统的组成与性能	62
4.1 制造系统的组成原理*	62
4.1.1 制造系统的基本要素	62

4.1.2 制造系统的结构组成	63
4.1.3 制造系统的过程组成	65
4.2 制造系统的性能原理*	68



4.2.1 制造系统的基本特性	68
4.2.2 制造系统的性能指标	68
4.2.3 制造系统的指标关系*	70
4.3 集成制造系统	71
4.3.1 集成制造系统的发展	71
4.3.2 集成制造系统的原理*	71
4.3.3 集成制造系统的应用	74
复习思考题	75
第5章 制造系统的建模与决策	76
5.1 制造系统的建模原理	76
5.1.1 模型的概念与类型	76
5.1.2 制造系统的模型分类*	77
5.1.3 制造系统建模的目的与方法	79
5.1.4 Petri 网的原理	80
5.2 制造系统的决策原理*	82
5.2.1 制造系统的决策模型*	82

5.2.2 环境与生态文明	83
5.2.3 质量与质量管理	84
5.2.4 服务与客户满意度	87
5.2.5 时间与生产率	89
5.2.6 成本与经济性	90
复习思考题	93

第6章 制造系统的设计与运行

6.1 制造系统的设计原理*	94
6.1.1 制造系统设计的过程和类型*	94
6.1.2 制造系统设计的方法	97
6.2 制造系统的运行原理	100
6.2.1 运行功能	100
6.2.2 生产计划	101
6.2.3 生产控制	103
6.2.4 演进路径*	106
复习思考题	108

第3篇 制造模式

第7章 人性化制造模式

7.1 绿色制造*	111
7.1.1 绿色制造与绿色产品	111
7.1.2 绿色制造的原理*	115
7.1.3 清洁生产	118
7.1.4 绿色再制造	120
7.1.5 低碳制造	124
7.1.6 生态工业园	127
7.2 服务型制造	131
7.2.1 服务型制造的发展	131
7.2.2 服务型制造的原理*	131
7.2.3 服务型制造的应用	135
7.3 大量定制	136
7.3.1 大量定制的发展	136
7.3.2 大量定制的原理*	137
7.3.3 大量定制的应用	140
复习思考题	141

第8章 效益化制造模式

8.1 敏捷制造	143
8.1.1 敏捷制造的发展	143
8.1.2 敏捷制造的原理*	144
8.1.3 敏捷制造的应用	145
8.2 协同制造	146
8.2.1 协同制造的发展	146
8.2.2 协同制造的原理*	146
8.2.3 协同制造的应用	154

8.3 精益生产*	155
8.3.1 精益生产的发展	155
8.3.2 精益生产的原理*	155
8.3.3 精益生产的应用	163
8.4 六西格玛	164
8.4.1 6 σ 的发展	164
8.4.2 6 σ 的原理	164
8.4.3 6 σ 的应用	171
8.4.4 精益六西格玛	173
复习思考题	175

第9章 智能化制造模式

9.1 数字化制造	177
9.1.1 数字化制造的原理*	178
9.1.2 数字化制造的应用	179
9.2 虚拟制造	181
9.2.1 虚拟制造的原理*	181
9.2.2 虚拟制造的应用	183
9.3 网络化制造	184
9.3.1 网络化制造的原理*	184
9.3.2 网络化制造的应用	185
9.4 智能制造*	186
9.4.1 智能制造的原理*	186
9.4.2 智能制造的应用	192
9.4.3 广义智能制造	193
复习思考题	197

第4篇 主体技术

第10章 先进设计技术	200	11.8 柔性制造系统*	260
10.1 先进设计技术基础	200	11.8.1 柔性制造系统的概念与类型	260
10.1.1 先进设计技术概述	200	11.8.2 柔性制造系统的组成与原理*	261
10.1.2 CAX与DFX	201	复习思考题	263
10.2 绿色设计*	202	第12章 先进制造工艺	264
10.2.1 绿色设计的内涵*	202	12.1 先进制造工艺概述	264
10.2.2 绿色选材	204	12.1.1 机械制造工艺基础	264
10.2.3 面向回收设计	205	12.1.2 先进制造工艺内涵	267
10.2.4 面向拆卸设计	207	12.2 绿色加工*	269
10.3 保质设计	209	12.2.1 干式切削加工	269
10.3.1 保质设计概述	209	12.2.2 准干式切削加工*	273
10.3.2 质量功能展开*	210	12.2.3 低温切削加工	274
10.3.3 六西格玛设计	212	12.3 高效切削加工*	276
10.3.4 保质设计的应用	213	12.3.1 高效切削加工的原理*	276
10.4 快速设计	213	12.3.2 高效切削加工的应用	278
10.4.1 模块化设计*	214	12.4 高效磨削加工	278
10.4.2 可重构设计	220	12.4.1 高效磨削加工概述	278
10.4.3 云设计	221	12.4.2 砂轮磨削加工	278
复习思考题	224	12.4.3 砂带磨削加工	280
第11章 先进制造装备	226	12.5 高能束加工	281
11.1 数控机床*	227	12.5.1 激光加工	281
11.1.1 数控机床的原理与特点	227	12.5.2 电子束加工	283
11.1.2 数控加工原理与编程*	231	12.5.3 离子束加工	285
11.2 加工中心	235	12.6 精细加工	287
11.2.1 加工中心概述	235	12.6.1 超精密加工	287
11.2.2 五轴联动机床	236	12.6.2 微细加工	290
11.2.3 并联机床	239	复习思考题	291
11.3 智能机床	241	第13章 电子制造技术	293
11.3.1 智能机床的原理*	241	13.1 芯片的设计与制造	293
11.3.2 智能机床的应用	242	13.1.1 芯片的结构与制造流程*	293
11.4 工业机器人	245	13.1.2 集成电路的设计	295
11.4.1 工业机器人的原理	245	13.1.3 硅片的制造工艺	296
11.4.2 工业机器人的应用	248	13.2 微电子加工工艺及设备*	302
11.5 自动导引车	249	13.2.1 蚀刻与光刻*	303
11.5.1 自动导引车的原理*	249	13.2.2 光刻机	306
11.5.2 自动导引车的应用	253	13.2.3 LIGA及准LIGA	310
11.6 质量检测设备	253	13.2.4 电子束光刻	312
11.6.1 自动检测与监控技术	253	13.3 计算机典型部件制造	313
11.6.2 坐标测量机	255	13.3.1 印制电路板制造	313
11.7 装配线及其平衡	257	13.3.2 CPU制造	317
11.7.1 装配线的原理与类型	257	13.3.3 硬盘制造	319
11.7.2 装配线的平衡方法	259	复习思考题	319

第5篇 前沿技术

第14章 微纳制造	322	第17章 制造信息通信技术	374
14.1 微纳制造概述	322	17.1 物联网	374
14.1.1 微纳系统的概念	322	17.1.1 物联网的原理	375
14.1.2 微纳制造的体系	323	17.1.2 物联网的应用	377
14.1.3 微纳制造的过程	324	17.2 云制造*	378
14.2 纳米加工技术*	325	17.2.1 云制造的发展	379
14.2.1 平面工艺*	325	17.2.2 云制造的原理	379
14.2.2 探针工艺	326	17.2.3 云制造的应用	381
14.2.3 模型工艺	328	17.3 大数据	382
14.3 纳米压印技术	329	17.3.1 大数据的发展	382
14.3.1 纳米压印概述	329	17.3.2 大数据的原理	383
14.3.2 纳米压印的原理*	330	17.3.3 大数据的应用	388
14.3.3 硅片完整压印光刻	333	17.3.4 预测制造*	391
14.3.4 纳米压印的设备	334	17.4 赛博物理系统*	393
复习思考题	334	17.4.1 赛博物理系统的发展	393
第15章 增材制造	336	17.4.2 赛博物理系统的原理	394
15.1 增材制造的发展	336	17.4.3 赛博物理系统的应用	396
15.1.1 国外增材制造的发展	336	复习思考题	396
15.1.2 国内增材制造的发展	338	第18章 基于互联网的制造业	397
15.1.3 增材制造的发展趋势	338	18.1 工业互联网*	397
15.2 增材制造的原理*	340	18.1.1 工业互联网的提出	397
15.2.1 增材制造的概念	340	18.1.2 工业互联网的内涵	398
15.2.2 基本型工艺原理	344	18.1.3 工业互联网的应用	400
15.2.3 工业型工艺原理	346	18.2 工业4.0	401
15.2.4 消费型工艺原理	349	18.2.1 工业4.0的提出	401
15.3 增材制造的应用	353	18.2.2 工业4.0的内涵	402
15.3.1 增材制造的关键技术	353	18.2.3 工业4.0的实施	406
15.3.2 增材制造的应用现状	353	18.3 制造战略对比	407
15.3.3 增材制造的应用实例	356	18.3.1 几个新概念的关系	407
15.3.4 增材制造的未来	357	18.3.2 美德制造战略比较	409
复习思考题	358	18.3.3 中美德制造战略比较	410
第16章 生物制造	360	18.4 共享经济与共享制造	411
16.1 生物制造的原理	360	18.4.1 共享经济	411
16.1.1 生物制造的概念	360	18.4.2 共享制造*	415
16.1.2 生物制造的技术体系	361	18.4.3 互联网+制造业	418
16.2 生物制造的应用*	364	复习思考题	421
16.2.1 在医学工程中的应用	364	附录	422
16.2.2 在制造工程中的应用	366	附录A 缩略语英汉对照表	422
16.3 生物3DP技术	370	附录B 数控加工编程代码及实例	422
复习思考题	373	参考文献	426

第 1 篇

制造概论

篇首导语

本篇为全书内容提供制造业与制造学的基础知识。制造业是根据市场要求通过生产将资源转化为产品和服务的行业。制造业包括所有与制造有关的企业生产机构。制造学是关于造物活动从信息表达到实物产品的学问。制造学包括制造科学和制造工程：制造科学是制造工程的理论基础；制造工程的研究对象是制造系统。每个制造企业都是一个制造系统，制造系统是制造业的基本组成实体。制造系统是制造业与制造学的纽带。先进制造系统是由常规制造系统发展而来的新系统。

本篇我们将了解制造业的基本知识；认识制造系统、制造模式和制造技术；概览制造学的学科内涵和外延；掌握先进制造系统（Advanced Manufacturing System, AMS）、先进制造模式（Advanced Manufacturing Mode, AMM）、先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology, AMT）的定义、特点、类型和演化。概念演化既是一种社会现象，又是一种自然现象，还是人类心智演变的结果。本篇还将介绍生命周期理论，以从更大的时空运用制造业的发展规律。

本篇分为以下3章：

第1章 制造业

第2章 先进制造

第3章 生命周期理论



第1章 制造业

本章主要初步认识制造业与制造学。理清制造与制造业的概念；阐述世界制造业的发展，世界工厂的迁移，我国制造业的机遇、挑战、优势和劣势，我国制造业的发展战略。本章提供了制造业的基础知识。

1.1 制造与制造业的概念*

1.1.1 制造的内涵及辨析

制造的英文为 Manufacturing。该词起源于拉丁文的词根 manu（手）和 facere（做）。这说明几百年来人们把制造理解为用手来做。随着社会的进步和制造活动的发展，制造的概念也在不断地演化。

1. 制造的含义

从“制造过程”上来看，制造的含义有狭义与广义之分。

(1) 狭义制造 狭义制造又称为“小制造”，是指产品的制作过程。或者说，制造是使原材料（农产品和采掘业的产品）在物理性质和化学性质上发生变化而转化为产品的过程。

传统上把制造理解为产品的机械工艺过程或机械加工与装配过程，如图 1-1 所示。例如，“机械制造基础”主要介绍热加工和冷加工方法；“机械制造工艺学”主要介绍机械零件加工技术和产品装配技术。英文词典对制造（Manufacturing）解释为“通过体力劳动或机器制作物品，特别是适用于大批量”。



图 1-1 狭义制造（小制造）

(2) 广义制造 广义制造又称为“大制造”，或“现代制造”，是指产品的全生命周期过程。1990 年国际生产工程学会（CIRP）给出了定义：制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。目前人们对广义制造的理解如图 1-2 所示。

广义制造包含了四个过程：①产品概念过程（产品设计、物料选择、工艺设计、生产计划等）；②物理转换过程（加工、检测、装配、试验、包装等）；③物质转移过程（销售、运输、安装、消费、使用、维护等）；④报废处理过程（产品报废、回收、拆卸、再利用、再制造、再生循环和废物极小化等）。

广义制造有四个特点：①全过程。从产品生命来看，制造不仅包括毛坯到成品的加工制造过

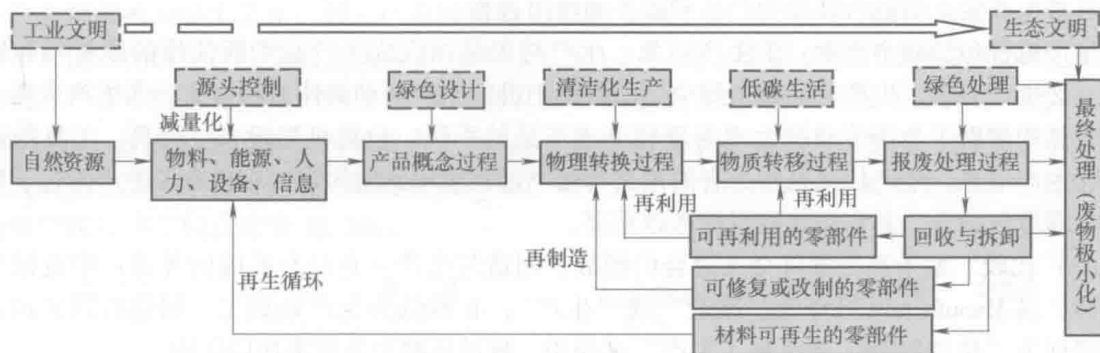


图 1-2 广义制造（大制造）

程，还包括产品的市场信息分析，产品决策，产品的设计、加工和制造过程，产品销售和售后服务，报废产品的绿色处理，以及产品全生命周期的设计、制造和管理。②大范围。从产品类别来看，制造不只是机械产品的制造，还有光机电产品的制造、工业流程型材料的制备等。③高技术。从技术方法来看，制造不仅包括机械加工技术，而且包括高能束加工技术、微纳米加工技术、电化学加工技术、生物制造技术等，还包括现代信息技术，特别是计算机技术与网络技术等。大制造与高技术是“你中有我、我中有你”的关系。④绿色化。从生态文明来看，制造是一种综合考虑环境影响和资源消耗的绿色制造模式。目前大力提倡的循环经济模式是追求更少资源消耗、更低环境污染、更大经济效益和更多劳动就业的一种先进经济模式。为适应循环经济和保持社会可持续发展的要求，绿色制造的目标是使产品从设计、制造、包装、使用到报废处理的整个生命周期中，对环境负面影响小、资源利用率高、综合效益高，使企业经济效益与社会效益得到协调优化。

从词义上理解，制造概念的内涵目前在过程、范围、层次和生态四个方面拓展了。从本质特征上认识，制造是一种将原有资源（如物料、能量、资金、人员、信息等）按照社会需求转变为有更高实用价值的新资源（如有形的产品和无形的软件、服务）的过程。

2. 制造与加工辨析

(1) 制造 (Manufacturing) 制造原指通过人工或机器使原材料变为可供使用的物品，例如，制造机器、制造化肥；现指产品的全生命周期过程的全部活动，包括市场分析、产品开发、生产技术准备（含产品设计、编制产品工艺、设计和制造工艺装备等），到产品的生产（指产品的加工和装配）、生产组织与计划管理（含物流控制和仓储）、质量保证、包装和发送以及报废后的回收和再制造等。

(2) 加工 (Machining) 加工是把原材料变换成产品的物理转换过程。它通过改变原材料（或毛坯，或半成品）的形状、性质或表面状态，来达到设计所规定的技术要求。

(3) 制造与加工比较 加工只是制造中的关键活动之一。加工系统是制造系统中一个主要的子系统。“制造”不只是“加工”。“制造”的内涵包含四点：加工前的构思与设计，加工中的加工、检测、装配和包装，加工后的营销、服务、使用、回收与再制造，管理与经营也自然应含于制造之中。由于长期以来人们并未规范“制造”和“加工”的含义，致使常有混淆不清的时候。要理解“制造”术语含义，需要根据特定的场合去判断。有时把“制造加工”罗列在一起使用。有时不得不沿袭习惯的用法，如“柔性制造系统”，其实称之为“柔性加工系统”或“柔性装配系统”更为确切。既已习惯，只好顺其自然。

3. 制造与生产辨析

(1) 生产 (Production) 生产原指人们使用工具来创造各种生产资料和生活资料的活动；现

指把各种生产要素的输入转变为产品和服务的输出过程。

生产过程包括四个要素：①生产对象。生产对象是指完成生产活动所使用的原材料和辅助材料。②生产劳动。生产劳动是指每个劳动者用于进行生产活动的体力和智力。③生产资料。生产资料是指借助于生产劳动把生产对象转变成产品的手段，包括机器设备、夹具、工具等硬性。④生产信息。生产信息是指为有效地进行生产过程所用到的知识，它包含了生产工艺、生产技术管理等软特性，其作用将变得越来越重要。

(2) 比较 鉴于当代学科交叉融合的缘故，制造与生产一直没有明确的界定；中英译文含混不清，对 Manufacture 可译为“制造”或“生产”；有的认为生产是加工、制造的同义词；有的罗列为“生产制造”或“加工生产”来使用。现试从两个方面来加以区别。

从过程来看，根据前述国际生产工程学会给出的定义，制造包含了生产。制造系统的基本活动是供应、生产、销售，且以销售为目标，以生产为主线，以供应为保证。产品设计属于对生产的信息供应。生产过程是制造过程中的一个环节。生产系统是制造系统中的一个子系统。但是，当采用狭义制造的概念时，制造系统是生产系统的一个组成部分，是一个生产单元，这里的制造实际上是指加工与装配。

从范围来看，制造是工程学中的一个常用术语；生产是经济学中的一个常用术语。生产是指以一定生产关系联系起来的人们利用劳动工具改变生产对象以满足需求的过程。社会再生产过程包括四个环节：生产、交换、分配和消费。生产是决定性环节。广义的生产通常包括物质财富、精神财富和劳动力的生产。工业工程作为交叉学科，从系统的角度来看，制造系统是生产系统的典型代表；生产系统包括制造系统。制造系统是相对于制造企业而言的；生产系统则是相对于所有企业来说的，包括制造业和服务业。因此，生产系统在使用范围上比制造系统大。

总之，制造与生产的区别是：制造一般仅指有形产出，即实物产品的生产，较多地用于工程技术领域；而生产通常包含有形和无形两种产出，更多地用于经济管理领域。一般应根据具体场合判断“制造”与“生产”的含义。

1.1.2 制造业的行业类别

1. 制造业的内涵

(1) 定义 制造业是指按市场要求通过生产将资源转化为产品和服务的所有企业的总称。制造的资源包括物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等。如今的制造业，既包括汽车、机车、家电等离散型制造业，也包括钢铁、化工、建材等连续型制造业。先进制造业的范畴已进一步扩大到材料制造（新材料）、生物制造等。

(2) 分类 制造企业的划分方法见表 1-1。通常，物质企业一般被组织在供应链之中，许多以供应商的身份出现于市场。产品企业要求有众多的物质企业支持，在供应链支持下完成最终产品的制造与装配。

表 1-1 制造业的划分方法

分 法	类 型	说 明
按提供产品的用途分	民用制造业	提供生产和生活产品的行业
	军工制造业	提供军事装备的国防工业
按提供产品的形态分	物质企业	把原材料和毛坯件转变成分立的半成品和最终物件的企业，如钢铁厂、化工厂等
	产品企业	把分立的半成品和物件转变成整机产品的企业，如电机厂、汽车厂等

(3) 占比 据国家统计局发布的数据，2016 年，全年国内生产总值 744128 亿元，其中，

第一产业增加值 63671 亿元；第二产业增加值 296236 亿元；第三产业增加值 384221 亿元。第二产业增加值占国内生产总值的占比为 39.8%（见图 1-3）。全年全部工业增加值 247860 亿元，工业在第二产业中的占比为 83.7%。全年规模以上工业企业实现利润 68803 亿元，其中，制造业 62398 亿元，占比为 90.7%；采矿业占比为 2.6%；电燃气水业（电力、热力、燃气及水生产和供应业）占比为 6.7%。于是，制造业在第二产业中的占比为 75.9%（见图 1-4），由此可知制造业在国民经济中的占比为 30.2%。

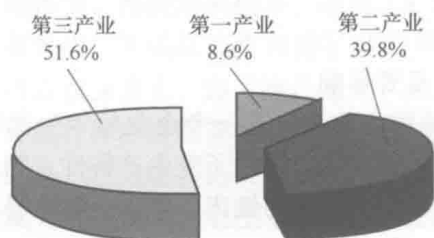


图 1-3 我国三种产业增加值的占比

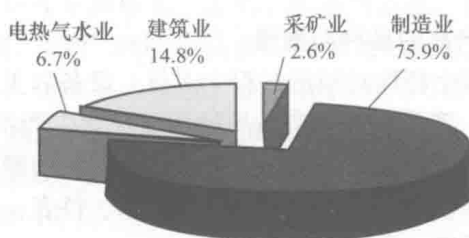


图 1-4 我国制造业在第二产业中的占比

2. 制造业的结构

21 世纪以来，我国制造业的结构包括产业结构、资本结构和组织结构。产业结构指标是指轻工业与重工业的比重，以及高技术产业增加值的比重；资本结构指标是指国有及国有控股企业、民营工业企业和“三资”企业（外商投资和我国港、澳、台商投资工业企业）的比重；组织结构指标是指大中型企业的数量。

3. 装备制造业

当今，学术界流行着制造业“二分法”。将制造业分为装备制造业和最终消费品制造业。最终消费品制造业是提供生产消费资料的企业的总称。

(1) 概念 装备制造业是为国民经济和国家安全提供装备的企业的总称。目前，装备制造业的概念可谓是我国所独有。世界其他国家包括国际组织并没有提出这个概念。它的正式出现见于 1998 年中央经济工作会议明确提出的“要大力发展装备制造业”。

(2) 构成 装备制造业是机械电子制造业八大类中扣除了有关消费类产品制造小类后的大部分行业。它主要包括金属制品业，通用设备制造业，专用设备制造业，交通运输设备（汽车、铁路、船舶、航空航天等）制造业，电气机械和器材制造业，计算机、通信和其他电子设备制造业，仪器仪表制造业，武器弹药制造业等。

我国界定“装备制造业”的范围主要是指国际产业分类标准 ISIC（联合国、世界银行、国际货币基金组织、经济合作与发展组织、欧盟等共同编制“国际经济核算体系”）中的 38 大类，即 ISIC38，包括金属产品，机器与设备制造。它相当于欧洲国家所指的“资本货物制造业”，即常说的“生产生产资料的行业”。

(3) 作用 装备制造业是“生产机器的机器制造业”，是国民经济发展特别是工业发展的基础。它的技术水平决定了相关产业的质量、效益和竞争力的高低。它带动性强，涉及面广，在工业部门中占有中心地位。因此，装备制造业是制造业的核心。

1.1.3 制造业的产品类型

制造业包含多种门类和多层中间供应商，为全社会提供大量的整机产品和零件产品。

1. 制造业的产品分类

制造业的产品分类见表 1-2。限于篇幅，本书主要讨论离散性产品的制造系统。

表 1-2 制造业的产品类型

分 法	类 型	说 明	举 例
按产品的 宏观用途分	生产资料（装备）	由企业购买用于生产过程的产品	机床、工业机器人、集成电路
	生活资料（消费品）	直接由消费者购买的产品	运动鞋、微波炉
按产品的 构成形态分	离散性产品（装配性产品）	由离散的零件组成、可装拆的产品	机电产品
	连续性产品（流程性产品）	不是由零件组成的、不能拆卸的产品	钢铁、纺织品、化工产品
	混合性产品	兼有离散性和连续性两种特点的产品	药品、食品、饮料和烟酒

2. 产品的品种和批量

这两个特性对制造过程中人员、设备和工艺组织有重要影响。

(1) **产品品种** 产品品种是指企业生产不同产品的种类数量。若一个企业每年生产很多种产品，则被认为是多品种生产。每个企业的产品品种在一定程度上决定了其生产特性。制造业的产品品种很多，如汽车、飞机、机床、仪表、模具等。机床可细分为铣床、磨床、钻床等，其每一种还可进一步细分。

(2) **产品批量** 产品批量是指企业在单位时间里成批生产的产品数量，其分类见表 1-3。

表 1-3 产品批量的分类

类型	批量/(件/年)			举例	特 点
	重型件	中型件	小型件		
小量 生产	≤5	≤20	≤100	电厂汽 轮机	产品的品种繁多而生产量少。为保证最大柔性，生产设备通常是通用的，设备一般按工艺专业化原则进行布置，通常要求工人有较高的技巧，柔性高，生产率低
成批 生产	>5 ~ 1000	>20 ~ 5000	>100 ~ 50000	机床	分两种情况：①不同产品之间有“硬”差异，按批量组织生产和装调工具，设备按工艺专业化原则布置；②不同产品之间只有“软”差异，应用成组技术组织生产，设备按零件族布置，每一组设备都能完成一种零件族的生产，从而使设备能适应具有“软”差异的产品
大量 生产	>1000	>5000	>50000	汽车	常按流水线方式组织生产；产品的预期市场需求量非常大，产品可以长期连续生产，生产率高，柔性低

调查表明，产品的品种和批量之间成反比。当一个企业生产较多品种的产品时，其产品批量往往较小；而企业从事单一产品的制造时，其产品批量通常较大。

3. 装备制造业产品的分类

按装备功能和重要性，装备制造业产品分为三大类。

(1) **重要的基础机械** 重要的基础机械即制造装备的装备，主要包括数控机床、工业机器人、大规模集成电路及电子制造设备等。

(2) **重要的机械、电子基础件** 重要的机械、电子基础件主要包括先进的液压、气动、轴承、密封、模具、刀具、低压电器、微电子和电力电子器件、仪器仪表及自动化控制系统等。

(3) **重大成套技术装备** 重大成套技术装备主要包括能源、交通、化工、金属冶炼轧制、汽车、飞机、医疗卫生、环保、军事等装备。

1.2 世界制造业的发展

1.2.1 制造业的发展

制造业的发展可以分为三个时代：古代、近代和现代。

1. 古代制造业的发展

古代没有清楚分类的制造业，也没有较为系统的制造业发展史料。恩格斯在《自然辩证法》中讲道：“直立和劳动创造了人类，而劳动是从制造工具开始的”。大约600万年前人与猿分离，是由于人学会了双足行走和用手制造并使用工具，这是人类进化的关键一步。动物所做到的最多是搜集，而人则从事生产。人类最初制造的工具是石刀、石斧和石锤。

原始的工具制造是人类社会制造业的最早萌芽。随着狩猎和采集技术的改进，人们制造的工具日趋精细，种类越来越多，出现了有组织的石料开采和加工，形成了原始制造业。在1万年前新石器时代，人类从采集和狩猎转向耕作和畜牧。到了5000年前青铜器和之后的铁器时代，自然经济以农业为主，为了满足需要，制造以手工作坊的形式出现，主要是利用人力进行纺织、冶炼、铸造各种农耕器具等原始制造活动。图1-5所示弓形钻是公元前3000年以前（史前期）的重要工具。它由燧石钻头、钻杆、窝座和弓弦等组成，可用来钻孔、扩孔和取火。弓形钻后来又发展成为弓弦钻床（见图1-6）和弓弦车床（见图1-7）。



图 1-5 弓形钻

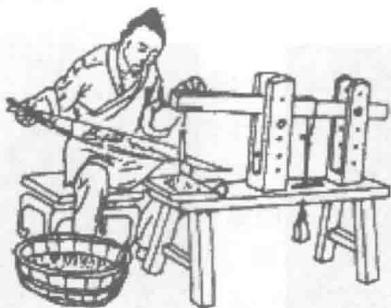


图 1-6 弓弦钻床

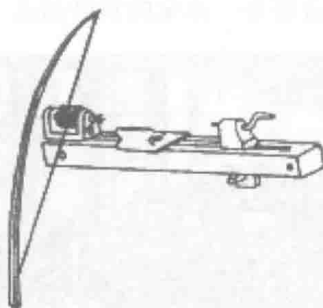


图 1-7 弓弦车床

2. 近代制造业的发展

18世纪蒸汽机的发明给制造业提供了动力，制造了满足不同行业需求的各种机器，初步形成了传统的大机器制造系统。到19世纪，工业革命继续发展，生产规模逐渐扩大，产品需求对制造材料的质量要求提高，使早期的传统制造系统与社会发展和需求产生矛盾。19世纪发明和完善了新型冶炼技术、内燃机技术、电气技术。近代中国规模最大的制造系统是江南制造局（见图1-8），从1865年成立到1891年已拥有13个工厂，它制造了中国第一艘近代兵轮，炼出中国第一炉钢液，最早引进国外先进技术。

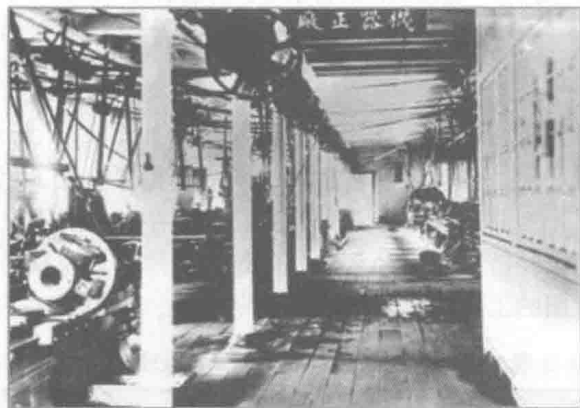


图 1-8 江南制造局的机器厂（1865年）

在20世纪上半叶，源于兵器工业和汽车工业的大量生产方式，以流水线为典型，显著提高了生产率，创造了制造业的辉煌。20世纪20~30年代的制造系统是机群式生产线，即按工序特征组织生产。20世纪40~50年代，制造系统以能量驱动型的刚性生产线为代表，其特点是高生产率、刚性结构，很难适应产品的品种变化。以机电自动化为基础的制造自动化在该时期达到了较高水平。市场需求、科技和生产力发展水平，决定了近代制造业的发展重点主要是以机床、工艺、刀具和检测为主体的机械制造技术。由于在这种生产方式中把人和机器等同地发挥效能，也

引发出新的矛盾。

3. 现代制造业的发展

第二次世界大战后，市场需求模式发生重大变化，制造模式和制造技术必然随之发生变化。1948年电子计算机融入制造领域。1952年美国推出了数控机床并很快得到工业应用。世界开始迈进了数字化制造时代。20世纪60年代是计算机技术和制造技术扩大融合的年代。20世纪70年代，随着市场竞争的加剧，大量生产方式开始逐步向多品种、中小批量生产方式转变。大规模集成电路的出现，各种工艺技术及装备的进步以及自动化技术的发展，为多品种、中小批量的生产方式提供了技术支持和装备支持。20世纪80年代基于先进的计算机技术和自动化技术，发展了各种先进的单元制造技术。图1-9和图1-10所示为我国1985年引进的首条柔性制造系统，可加工直流伺服电动机的四大类（轴、盘、壳、架）14种零件。20世纪90年代计算机和网络技术的飞速发展及与制造技术融合，数字化制造日益成为主流制造技术，制造工程开始了向制造工程与科学的过渡，更新与扩大了制造系统的学科基础。自20世纪以来，制造业发展的总趋势是走向制造服务一体化的和谐制造。

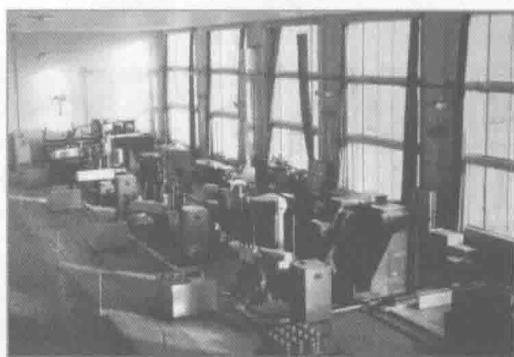


图 1-9 我国引进的首条柔性制造系统 (1985年)



图 1-10 柔性制造系统中的两台加工中心

4. 制造业在社会历史中的发展特征

从历史发展的大阶段来看，人类已经走过了原始社会、农业社会、工业社会等几大社会阶段，正在迈向信息社会的新阶段，如图1-11所示。纵观历史，制造业经历了工具化、机械化、电气化、自动化、信息化、网络化和智能化。“化”意是转化，质或状态的变化。

当前我国制造业是工业化进程中的主体。工业化主要是指工业（特别是其中的制造业）在国民经济中成为经济主体的过程。简单地说就是传统的农业社会向现代化工业社会转变的过程。我国的工业化总体上处于后期阶段，2020年左右基本实现工业化（见表1-4）。

表 1-4 发达国家与中国的工业化时间表

国家	耗时/年	工业化初期	工业化中期	工业化后期
英国	200	1750 ~ 1870年	1870 ~ 1914年	1914 ~ 1950年
美国	135	1820 ~ 1900年	1900 ~ 1948年	1948 ~ 1955年
日本	65	1955 ~ 1960年	1960 ~ 1965年	1965 ~ 1973年
韩国	33	1970 ~ 1985年	1985 ~ 1990年	1990 ~ 1995年
中国	70	1950 ~ 1980年	1980 ~ 2010年	2010 ~ 2020年

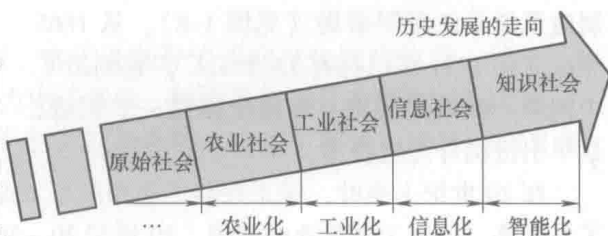


图 1-11 社会历史发展走向

现在我国提出了新型工业化的概念。所谓新型工业化，就是坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，就是科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到