

 21世纪工业工程专业规划教材

戴庆辉 主编

先进制造系统

Advanced

Manufacturing System



机械工业出版社
China Machine Press

21 世纪工业工程专业规划教材

先进制造系统

主 编 戴庆辉

副主编 张新敏 王卫平

参 编 张文建 杜必强 周宏明

胡开顺 叶 锋 慈铁军

付培红

主 审 张根保

机械工业出版社

本书按“制造系统—制造模式—制造技术”三个层次来介绍当代制造业的新系统、新模式和新技术，力图融制造业中的技术与管理为一体。

全书分为9章，依次介绍了先进制造系统中的基本概念；制造系统的分类、决策、建模、设计、运行和信息化等基本原埋；10种先进制造模式的发展、原理与应用；9项先进设计技术；8种制造系统的典型硬件；8项先进制造工艺技术；绿色技术、绿色产品、生态化设计、清洁化生产及再制造工程；汽车、集成电路和计算机等具有典型性的制造系统；制造系统展望。全书提供了30多个案例和310多幅图表，每章后附有复习思考题。全书还配有多媒体课件光盘，供读者选用。

本书适合作为工业工程专业本科高年级学生专业教材，也适合作为机械工程、企业管理等与制造相关专业的教材或参考书。对于制造业的技术人员与管理人员来说，本书是一本领略当代制造业全貌的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统 / 戴庆辉主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.9

21世纪工业工程专业规划教材

ISBN 7-111-17494-1

I. 先... II. 戴... III. 计算机集成制造—高等学校—教材 IV. TH166

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第113133号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑: 张敬柱 版式设计: 冉晓华 责任校对: 李汝庚

封面设计: 张新勇 责任印制: 洪汉军

北京原创阳光印业有限公司印刷

2006年1月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·14印张·544千字

定价: 34.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

序

每一个国家的经济发展都有自己特有的规律，而每一个国家的高等教育也都有自己独特的发展轨迹。

自从工业工程（Industrial Engineering，简称 IE）学科于 20 世纪初在美国诞生以来，在世界各国得到了较快的发展。工业化强国在第一、二次世界大战中都受益于工业工程。特别是战后经济恢复期，日本、德国等均在工业企业中大力推广工业工程的应用和培养工业工程人才，获得了良好的效果。美国著名企业家艾柯卡先生，是美国福特和克莱斯勒汽车公司的首位总裁，他就是毕业于美国里海大学工业工程专业。日本丰田生产方式从 20 世纪 80 年代创建以来，至今仍风靡世界各国，其创始人大野耐一的接班人——原日本丰田汽车公司生产调查部部长中山清孝说：“所谓丰田生产方式就是美国的工业工程在日本企业的应用。”亚洲“四小龙”——韩国、新加坡、中国台湾和香港地区均于 20 世纪 60 年代起步工业工程，当时正值亚太地区经济快速发展时期（我国因文化大革命而错过此次发展机会）。台湾的工业工程发展与教育是相当成功的，经过 30 年的努力，建立了工业工程的科研、应用和教育系统。20 世纪 90 年代初，全台湾 60 所大学有 48 所开设了工业工程专业，至今人才需求仍兴盛不衰。更重要的是于 1992 年设立了工业工程学门。目前，在大陆的合资企业都设有工业工程部和工业工程工程师岗位。在亚太所有地区的学校无一不广泛设立工业工程专业。工业工程高水平人才的培养，对国内外经济发展和社会进步起到了重要的推动作用。

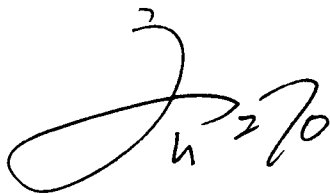
1990 年 6 月中国机械工程学会工业工程研究会（现已更名为工业工程分会）的正式成立，以及首届全国工业工程学术会议在天津大学的胜利召开，标志着我国工业工程学科步入了一个崭新的发展阶段。人们逐渐认识到工业工程对中国管理现代化和经济现代化的重要性，并在全国范围内自发地掀起了学习、研究和推广工业工程的活动。更重要的是在 1993 年 7 月由原国家教委批准，天津大学、西安交通大学首批试办工业工程专业并招收本科生，由此开创了我国工业工程学科的先河。而后重庆大学等一批高校也先后开设了工业工程专业。时至今日，全国开设工业工程专业的院校至少有 140 所。发展速度之快，就像我国经济发展一样，令世界各国瞩目。我于 2000 年 9 月应邀赴美讲学，2001 年应台湾工业工程学会邀请到台湾清华大学讲学，2003 年

应韩国工业工程学会邀请赴韩讲学，其题目均为“中国工业工程与高等教育发展概况”。他们均对中国大陆的工业工程学科发展给予了高度的评价，并表达了与我们保持长期交流与往来的意愿。

虽然我国工业工程高等教育自 1993 年就已开始，但教材建设却发展缓慢。最初，大家都使用由北京机械工程师进修学院组织编写的“自学考试”系列教材。至 1998 年时，全国设立工业工程专业的高校已达三四十所，但仍没有一套适用的专业教材。在这种情况下，工业工程分会与中国科学技术出版社合作出版了一套工业工程专业教材，并请西安交通大学汪应洛教授任编委会主任。这套教材的出版有效地缓解了当时工业工程专业高等教育教材短缺的压力，对我国工业工程专业高等教育的发展起到了重要的推动作用。

然而，近年来我国工业工程学科发展十分迅猛，开设工业工程专业的高校数量直线上升，同时教育部也不断出台新的政策，对工业工程的学科建设、办学思想、办学水平等进行规范和评估。在新的形势下，为了适应教学改革的要求，满足全国普通高等院校工业工程专业教学的需要，机械工业出版社推出的这套“21 世纪工业工程专业规划教材”是十分及时和必要的。在教材编写启动会上，编审委员会组织国内工业工程专家、学者对本套教材的学术定位、编写思想、突出特色进行了深入研讨，力求在确保高学术水平的基础上，适应普通高等院校教学的需求，做到适应面广，针对性强，专业内容丰富。同时，本套教材还将配备 CAI 课件，相应的实验、实习教程，案例教程以及企业现场录像，实现立体化。尽管如此，由于工业工程在我国正处于快速成长期，加上我们的学术水平和知识有限，教材中难免存在各种不足，恳请国内外同仁多加批评指正。

教育部管理科学与工程类学科教学指导委员会主任
中国机械工程学会工业工程分会主任
天津大学管理学院院长



于天津

前 言

20 世纪上半叶，制造仅仅是指机械制造。电子计算机使制造从 20 世纪 50 年代开始发生了质的变化。20 世纪下半叶制造的发展过程，是由传统制造向数字化制造过渡的过程，也是由机械制造向广义制造过渡的过程。在此过程中计算机和网络技术加速与制造技术融合，数字化制造日益成为主流制造技术。特别是 90 年代以来，发达国家为提高企业竞争力，提出了先进制造技术的概念。随着制造领域研究的深入，学者们建立了先进制造系统的理论。在制造工程实践的基础上，人们对先进制造模式的重要作用达成了共识。目前的制造领域正致力于研究与应用制造的新系统、新模式和新技术。

本书从当代制造工程发展的特点出发，根据工业工程人才培养目标的要求，按“制造系统—制造模式—制造技术”三个层次来组织当代制造学科的基本内容。制造业是由一个个制造企业组成的。我们可以把一个制造企业看作是一个制造系统。制造业的实践表明，制造技术必须在与之相匹配的制造模式里运作才能发挥作用。因此，以“系统—模式—技术”的结构来组织教学内容，既符合制造系统演化的内在规律，又能够体现工业工程的技术与管理相交叉的特征。

本书是一本面向工业工程专业本科学生专业素质教育、介绍先进制造系统的基础理论和基本技术的专业课教材，旨在使学生站在信息时代的高度，从系统的观点出发，把握制造系统的本质，掌握制造模式的原理，理解先进的制造技术群，了解制造业中实用的单元技术和系统技术，为工业工程技术在我国制造业推广应用提供行业技术知识，着重培养学生的创新意识、创新精神和创造能力。

适用性是本书的编写原则之一。制造业一直是工业工程的主要开发与应用领域。制造系统是现代生产系统及其运作与管理的基础和代表。制造工程是工业工程研究的重要内容。在组织本书教学内容时，既考虑了工业工程专业本科生已经学习了《机械制造基础》（或《机械制造技术基础》、《机械制造工程学》），即具备金属产品制造的基础理论和基础知识；又注意了工业工程专业不可能像机械制造专业那样设置多门有关制造的专业课。本书适用于目前我国一般高校的工业工程专业及相关专业的本科生。

实用性是本书的编写原则之二。制造是一门涉及面广、应用性强的综合学科。在内容的编排上,本书注重从应用角度出发,考虑我国制造业的实况,在讲清基本概念的基础上,以注重实际应用为主。全书内容包括了20世纪下半叶以来制造领域的新系统、新模式和新技术。考虑到目前各校招收对象的多样性(入学水平和培养目标有差异),教材内容涵盖面较广,各校在实际教学时可根据招生对象、先修课程和后续课程安排等因素确定学时数,可对教材内容进行适当的取舍调整。由于本书仅是工业工程系列专业课之一,其中的内容尽量避免与其他专业课重复。在内容上也注意到有关“系统”和“管理”的内容已由工业工程其他专业课给予了充分体现,如系统工程、生产管理(或生产计划与控制)、质量管理(或控制)等。

先进性是本书的编写原则之三。制造是一门发展变化较快的学科。为了使内容符合当前学科的发展实际,反映本学科的最新成果,作者在编写过程中查阅了大量的最新参考资料。本书的制造系统在内容上既侧重于“广义”制造系统,又着眼于“先进”制造系统;不是仅局限于机械行业,而是侧重于在常规制造技术基础上的延伸与提高。

本书处理先进制造系统知识体系的基本思路是“概括—重点—应用”。即“概括”介绍各种制造系统、制造模式和制造技术,“重点”论述新系统、新模式和新技术的核心内容,特别注重它们在制造业的实际“应用”情况。本书处理制造学科每个知识点的基本方式是“发展—原理—案例”。即着眼于制造系统在国内外的“发展”,深入阐述在我国已经应用、或正在推广、或有广阔应用前景的新模式与新技术的基本“原理”,尽量提供先进制造系统、模式与技术的应用“案例”,以使学生获得分析、设计与实施先进制造系统所必需的基本知识和能力,启发和培养学生的创新意识和创新能力。

在“系统—模式—技术”的框架中,全书分为9章。鉴于有些单元技术同时具有多个特点,本书依据其突出特点将其内容归入某一章。第1~3章主要讨论制造系统和制造模式,是本书的重点内容;第4~7章以讨论制造技术为主,也涉及了制造系统和制造模式;第8章联系实际制造系统;第9章把握未来制造系统的发展趋向。除了各知识点给出了很多具体实例说明之外,全书还提供了30多个案例和310多幅图表,每章后附有复习思考题。全书还配有多媒体课件光盘,供读者选用。

全书由华北电力大学戴庆辉教授任主编并统稿;沈阳工业大学张新敏教授和东莞理工学院王卫平教授任副主编;参加编写的还有华北电力大学张文建、杜必强,温州大学周宏明、付培红,东莞理工学院胡开顺,华北电力大学叶锋、慈铁军等老师。全书编写分工是:戴庆辉执笔第1章、第2章、第3章的3.1、3.4、3.5和3.12节,第4章的4.1~4.3、4.5节,第5章的5.1和

5.7节,第6章的6.1节,第7章的7.5节和第9章;王卫平执笔第4章的4.4节和第7章的7.1~7.4节;张新敏执笔第3章的3.7节,第5章的5.2~5.6、5.8节和第8章的8.1节;张文建执笔第3章的3.6节和3.11节;杜必强执笔第3章的3.8、3.9节,第5章的5.9节和第6章的6.2节;周宏明、付培红执笔第6章的6.3~6.6节,第8章的8.2和8.3节;王卫平、胡开顺执笔第3章的3.2、3.3和3.10节;华北电力大学叶锋、慈铁军、黄继明、王菁、宋卫霞和耿翔宇等同志参与了本书编写大纲的制定、文本的编写和图稿的绘制等工作。

本书编写大纲由清华大学罗振壁教授和重庆大学张根保教授评审,两位老师为使本书成为工业工程专业的适用教材提出了重要的指导性意见。本书初稿由张根保教授担任主审。张根保教授认真仔细地审阅了全书,提出了极为宝贵的修改意见,对提高本书质量给予了重要的帮助。作者在此致以衷心的感谢!

本书是在21世纪工业工程专业规划教材编审委员会的领导下完成的,得到了机械工业出版社的大力支持和帮助,作者在此表示诚挚的感谢。在编写过程中,参考了许多学者和专家的文献,作者特别感谢他们的学术贡献。正是由于他们为制造业发展和建设制造强国而潜心研究与实践,才逐渐形成我国制造工程的科学技术理论与方法,同时也构筑了本书丰富的内容基础。

限于时间和水平,加之本书内容涉及面广,虽然作者已尽其所能,但书中的不妥之处在所难免,恳请读者指正。

编 者

目 录

序 前言

第 1 章 先进制造系统总论	1
1.1 制造与制造业的概念	1
1.2 制造业的发展与作用	6
1.3 我国制造业的现状	11
1.4 产品生命周期	16
1.5 先进制造系统的概念	21
1.6 先进制造模式的概念	27
1.7 先进制造技术的概念	32
1.8 制造工程学科	37
1.9 案例：全球制造业向中国转移	42
复习思考题	43
第 2 章 先进制造系统的基本原理	44
2.1 制造系统的类型	44
2.2 AMS 的组成	47
2.3 AMS 的性能原理	57
2.4 AMS 的建模原理	63
2.5 AMS 的决策属性	74
2.6 AMS 的设计原理	88
2.7 AMS 的运行原理	97
2.8 制造系统的信息化	105
复习思考题	114
第 3 章 先进制造模式	115
3.1 制造模式的类型与作用	115

3.2 并行工程 (CE)	120
3.3 敏捷制造 (AM)	125
3.4 可重构制造 (RM)	129
3.5 大量定制 (MC)	139
3.6 成组技术 (GT)	148
3.7 精益生产 (LP)	154
3.8 计算机集成制造 (CIM)	160
3.9 虚拟制造 (VM)	168
3.10 网络化制造 (NM)	174
3.11 智能制造 (IM)	180
3.12 几种制造模式的比较	188
复习思考题	193
第 4 章 先进设计技术	195
4.1 先进设计技术的定义、内容与特点	195
4.2 计算机辅助 X (CAX)	197
4.3 面向 X 的设计 (DFX)	210
4.4 模块化设计 (MD)	227
4.5 产品数据管理 (PDM)	231
复习思考题	243
第 5 章 先进制造装备及技术	245
5.1 制造自动化简述	245
5.2 数控机床及技术	246
5.3 加工中心	263
5.4 虚拟轴机床	266
5.5 工业机器人	269
5.6 装配线	274
5.7 自动导向车 (AGV)	286
5.8 质量检测及装备	292
5.9 柔性制造系统 (FMS)	294
复习思考题	302
第 6 章 先进制造工艺技术	303
6.1 先进制造工艺技术的内涵	303

6.2 快速成形制造 (RPM)	306
6.3 高能束加工技术	313
6.4 超精密加工技术	318
6.5 微纳制造 (MNM)	325
6.6 生物制造 (BM)	329
复习思考题	333
第7章 绿色设计与制造	335
7.1 绿色技术的产生与内涵	335
7.2 绿色产品	336
7.3 生态化设计 (ED)	342
7.4 清洁化生产	351
7.5 再制造工程	355
复习思考题	360
第8章 典型产品的制造系统	362
8.1 汽车制造系统	362
8.2 集成电路制造系统	375
8.3 计算机制造系统	389
复习思考题	401
第9章 制造系统的展望	402
9.1 制造业面临的变化	402
9.2 未来制造系统的发展分析	407
9.3 未来制造系统的发展趋势	411
复习思考题	423
附录 缩略语英汉对照表	425
参考文献	430

本章介绍了制造与制造业的基本概念；分析了世界制造业的发展和我国制造业的现状；给出了产品生命周期的两种概念；论述了先进制造系统、先进制造模式与先进制造技术的概念及特点；给出了制造工程的学科体系。本章为全书内容提供了基础知识。

@ 1.1 制造与制造业的概念

1.1.1 制造的内涵

制造的英文为 Manufacturing。该词起源于拉丁文词根 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发展进化。

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。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。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（Making of articles by physical labor or machinery, especially on a large scale）”。

（2）广义制造。又称为“大制造”或“现代制造”，它是指产品的全生命周期过程。国际生产工程学会（CIRP）1990年给出了定义：“制造是一个涉及制造业中产品设计、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（Manufacturing is series of interrelated activities and operations involving the design, materials selection, planning, production, quality assurance, management and marketing of the products of the

manufacturing industries)”。

广义制造包含了4个过程：①概念过程（产品设计、工艺设计、生产计划等）；②物理过程（加工、装配等）；③物质（原材料、毛坯和产品等）的转移过程；④产品报废与再制造过程。

广义制造有3个特点：①**全过程**。从产品生命看，不仅包括毛坯到成品的加工制造过程，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，报废产品的处理和回收，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，不只是机械产品的制造，还有光机电产品的制造、工业流程制造、材料制备等。③**高技术**。从技术方法来看，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。现代制造与高新技术是“你中有我、我中有你”的关系。

从词义上理解，制造概念的内涵目前在过程、范围和层次三个方面拓展了。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。

1.1.2 制造、加工与生产辨析

1. 制造与加工辨析

(1) **制造 (Manufacturing)**。原指通过人工或机器使原材料变为可供使用的物品，如制造机器、制造化肥等。现指产品的全生命周期过程的全部活动，包括从市场分析、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)**。是指把原材料变换成产品的直接物理过程。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) **制造与加工的比较**。从狭义制造的含义已知，制造包含加工和装配。通常认为加工与装配是并列的。加工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。由于长期以来人们并未规范“制造”和“加工”的含义，致使二者经常混淆不清。要理解“制造”术语的含义，需要根据特定的场合去判断。人们有时把“制造加工”罗列在一起使用；有时又不得不沿袭习惯的用法，例如，“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，但既已习惯，只好顺其自然。

2. 制造与生产辨析

(1) 生产 (Production)。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 (包括软件和服务等) 的输出过程。

生产过程包括四个要素: ①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。它包含每个劳动者用于进行生产活动的体力和智力。③生产资料。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、工具等硬特性。④生产信息。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。信息在生产过程中的作用将变得越来越重要。

(2) 制造与生产的比较。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^[15]; 也有的罗列为“生产制造”或“制造生产”来使用。现试从两个方面来加以区别。

1) 从词义描述的过程来看, 根据前述国际生产工程学会的定义, 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基本活动。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, 制造系统是一个生产单元^[9], 这里的制造实际上是加工与装配。

2) 从词语使用的范围来看, 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^[16]; 生产系统包括制造系统^[27]。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而言的, 包括制造业和服务业。广义的生产系统包括生产 (或服务企业中的运作/操作)、营销、财务、人事和研发等子系统。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, 较多地被用于工程技术领域; 而生产通常包含有形和无形两种产出, 更多地被用于经济管理领域。一般不能笼统地规定“制造”与“生产”的大小, 而应根据具体场合去判断其含义。

1.1.3 制造业的内涵及构成

1. 制造业的内涵

制造业是所有与制造有关的企业生产机构的总称。或者说, 它是对原材料加

工或再加工以及对零部件装配工业的总称。它有消费品制造业和装备制造业、轻型制造业和重型制造业、民用制造业和军工制造业、传统制造业和现代制造业之分。

2. 制造业的构成

一个产业部门是由许多企业构成的，它们的经济活动内容是相似的，即产品品种和服务类型是相似的，亦称为一个行业。有时一个企业也可能分属不同的行业。制造业按行业可分为机械制造、材料制造、食品制造、化工制造、石油产品制造、冶金产品制造、军工产品制造、电子产品制造、信息产品制造和民用消费品制造等。

按我国现行统计体系的划分，在工业领域中，除采掘业、电力蒸汽热水生产供应业、煤气的生产和供应业、自来水的生产和供应业之外，制造业包含其余的所有行业（见图 1-1、图 1-2）^[2]。

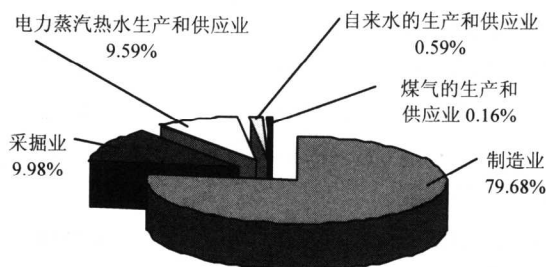


图 1-1 2002 年全国工业构成

（按全部国有及规模以上非国有工业企业的工业增加值分析）

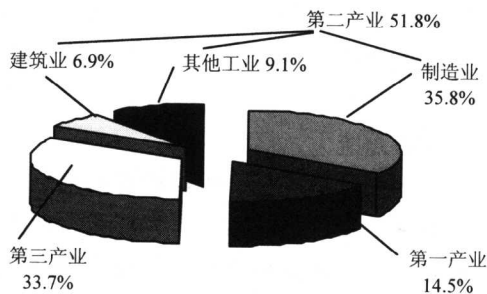


图 1-2 2002 年我国第一、二、三产业分布

据统计，工业化国家中约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动，非制造业部门中约有半数人的工作性质与制造业密切相关。2002 年我国制造业有 28 个行

业（见表 1-1）。

表 1-1 我国制造业的 28 个行业

序号	轻工纺织制造业的行业名称	序号	资源加工工业的行业名称	序号	机械电子制造业的行业名称
1	食品加工业	11	印制业、记录媒介的复制	21	有色金属冶炼及压延加工业
2	食品制造业	12	文体教育用品制造业	22	金属制品业
3	饮料制造业	13	石油加工及炼焦业	23	普通机械制造业
4	烟草加工业	14	化学原料及化学制品业	24	专用设备制造业
5	纺织业	15	医药制造业	25	交通运输设备业
6	服装及其他纤维制品制造业	16	化学纤维制造业	26	电气机械及器材制造业
7	皮革、毛皮、羽绒及其制品业	17	橡胶制品业	27	电子及通信设备制造业
8	木材加工及竹藤、棕、草制品业	18	塑料制品业	28	仪器仪表及文化办公用机械制造
9	家具制造业	19	非金属矿物制造业		业
10	造纸及纸制品业	20	黑色金属冶炼及压延加工业		

可以将这些行业归为三类：①轻工纺织制造业；②资源（包括原材料和能源）加工工业；③机械电子制造业。在我国它们分别占整个制造业的 30.54%，33.48%，35.98%。前两类是对种植、养殖产品和采掘业产品（如矿石、煤、石油等）进行直接加工的企业，后一类是对经过加工的采掘业产品的进行间接加工的企业。由表 1-1 可见，随着人类生产力的发展，制造业的内涵在范围方面大大拓展了，制造业涉及的工业领域远非局限于机械制造，同时还包括了机械、电子、化工、轻工、食品和军工等国民经济的大量行业。

机械电子制造业可分为装备制造业和消费品制造业。**装备制造业**是为国民经济和国防建设提供投资类产品企业的总称。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。

美国国家研究委员会（NRC）把制造企业分为两大类：①物质企业。即把原材料和可重复利用的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。物质企业所用的制造系统一般被组织在供应链网络之中，许多以供应商的身份出现于市场。②产品企业。即把分立的半成品和物件转变或装配成整机产品的企业。产品企业要求有众多的物质企业支持，在供应链网络支持下完成最终产品的制造与装配。这类企业的制造系统主要是某些关键部件（如汽车发动机、车身等）的制造和总装系统。

@ 1.2 制造业的发展与作用

1.2.1 制造业的发展

制造业的发展可以分为3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，为了满足以农业为主的自然经济的需要，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1-3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形钻床（见图1-4）和弓形车床（见图1-5）。公元953年我国已能铸造重达40t的特大型铸件，如河北沧州铁狮子（见图1-6），长5.3m，高5.4m，宽3m多。



图 1-3 弓形钻



图 1-4 弓弦钻床

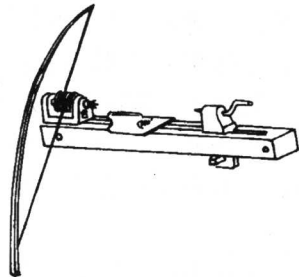


图 1-5 弓弦车床

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业及其制造技术体系。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，使早期的传统制造技术体系与社会发展和需求之间产生矛盾。19世纪发明和完善了新型冶