



普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材



Advanced Manufacturing Technology

先进制造技术

第 2 版

扬州大学 王隆太 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育“十五”国家级规划教材

先进制造技术

Advanced Manufacturing Technology

第2版

主编 王隆太
参编 宋爱平 张帆
主审 沈世德



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，也是普通高等教育“十三五”规划教材。

本书从制造业的地位作用、所面临的形势任务出发，详细论述了先进制造技术的内涵和体系结构，系统介绍了先进制造技术的基本内容、关键技术和最新发展。本书内容全面、新颖，在力求保持先进制造技术的系统性和完整性基础上，更注重介绍一些适用、先进、相对成熟的制造技术。全书分为制造业与先进制造技术、现代设计技术、先进制造工艺技术、制造自动化技术、现代企业信息管理技术、先进制造模式六个章节。

本书可作为高等院校机械工程、工业工程、管理工程等专业以及与制造相关专业的教材和教学参考书，也可作为制造业工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造技术/王隆太主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2015. 5

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-50138-1

I. ①先… II. ①王… 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 (2015) 第 091995 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: 刘小慧 责任编辑: 刘小慧 周璐婷 版式设计: 赵颖喆

责任校对: 刘志文 封面设计: 张静 责任印制: 乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18 印张 · 441 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-50138-1

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书自2003年9月第1版出版以来,受到不少读者的支持和关爱,至2014年6月共进行18次印刷,累计出版9万余册。然而,由于编者的水平所限,加之近10年来科学技术迅猛发展,第1版教材无论是内容的选取、结构的安排还是语言描述等方面均或多或少地显现出一种陈旧感。近两年来,不少多年使用本教材的老师和热心的读者向编者提出了教材修订的要求,并提出了许多教材修订建议。为了满足读者的要求,适应先进制造技术快速发展的形势,编者在广泛征求和整理读者意见的基础上,对原教材进行了修订。

本书第2版修订的指导思想是:①本书第1版经多年使用,基本能够体现先进制造技术的主要内容和体系结构,本次修订在保持原有教材框架不变的基础上,就具体章节进行内容的修订和结构的调整;②各章节根据最新技术发展进行内容的补充或替代,使近十年来国内外的最新技术在新版教材中得到体现;③在力求保持先进制造技术的前沿性、系统性和完整性前提下,更注重先进、适用、相对成熟的技术;④在技术描述方面,尽可能应用具体实例,讲清每项技术是什么,用于解决什么问题以及所涉及的关键技术;⑤在语言文字方面,力求准确、通顺、简练、易懂,避免概念堆积、术语罗列,要求可读性好,便于自学。

在新版教材中,除了一般性的修改调整之外,主要改动的内容有:

第1章在内容和结构上均有较大的改动,1.1节在介绍制造业地位和作用的基础上,阐述了制造业的进步与发展,分析了当前我国机械制造业的发展现状和面临的挑战;1.2节论述了先进制造技术的内涵与体系结构;1.3节侧重介绍了云制造系统(CM)、信息物理融合系统(CPS)、先进制造业概念以及各工业国家的发展对策。

第2章对部分内容进行了补充和修改,增加一些具体应用实例和图例。

第3章删除了特种加工技术,因当前特种加工已成为常规技术,增加了3.8节再制造技术以及3.9节仿生制造技术的内容。在3.5节将快速原型制造技术改为增材制造技术,包含快速原型制造、金属零件直接制造以及经济普及型三维打印的工艺内容。在3.6节将微细制造技术改为微纳制造技术,分别就微制造和纳制造技术进行了论述。

第4章原来侧重机床数控技术、工业机器人及柔性制造技术,对制造自动化技术进行了论述,新版教材以企业车间层自动化为轴线论述制造自动化技术,包括自动化制造设备、物料运储自动化、装配过程自动化、检测监控过程自动化等自动化技术,使制造自动化技术内容更具系统性和条理性。

第5章将现代生产管理技术改为现代企业信息管理技术,系统介绍了企业经营管理层的企业资源计划(ERP)、企业流通层的供应链管理(SCM)和客户关系管理(CRM)、开发设计层的产品数据管理(PDM)以及生产制造层的制造执行计划(MES),删除了原来的及时生产和全面质量管理的内容,使教材内容与当前企业常见的信息管理技术更为贴切合理。

第6章侧重对精益生产和敏捷制造技术内容进行调整和补充,6.3节围绕精益生产的体系结构补充了及时生产(JIT)、全面质量管理(TQM)以及成组技术(GT)的内容,6.4

节敏捷制造技术中增加了可重构制造技术的内容。

相对于第1版教材,第2版教材内容更新率达70%之多。通过内容的更新和结构的调整,新版教材将以全新的面貌呈现给读者。

本书第2版由王隆太教授主编,宋爱平教授参与第3章的编写,张帆博士参与第2章的编写。王隆太教授编写其余章节并负责完成全书统稿。

本书由沈世德教授主审。

由于先进制造技术所涉及的内容广泛、学科跨度大,以及编者的水平、经历和视野都有限,虽然已经努力,但新版教材仍不可避免地存在不足、缺陷和疏漏,在此恳请读者提出宝贵的意见或建议。

编者

于江苏扬州

第1版前言

先进制造技术是集制造技术、电子技术、信息技术、自动化技术、能源技术、材料科学以及现代管理技术等众多技术的交叉、融合和渗透而发展起来的,涉及制造业中产品设计、加工装配、检验测试、经营管理、市场营销等产品生命周期的全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力的一项综合性技术。

人类社会在步入新世纪同时也逐渐由工业经济时代步入知识经济时代,全球经济正处于一个动态的变革时期,制造业面临更为严峻的挑战。在知识经济时代,知识和技术被认为是提高生产率和实现经济增长的驱动器。因而,先进制造技术已成为制造企业在激烈市场竞争中立于不败之地并求得迅速发展的关键因素,成为世界经济发展和满足人类日益增长需要的重要支撑,成为加速高新技术发展和实现国防现代化的助推器。

为了开阔专业视野,掌握制造技术的最新发展,培养复合型人才,促进先进制造技术在我国的研究和应用,“先进制造技术”已作为众多高校在校学生的必修课程。《先进制造技术》这本教材是编者在1998年所编写的《现代制造技术》基础上重新规划、整理组织编写的。《现代制造技术》一书自出版以来,受到不少读者的关爱,同时由于新技术迅猛发展和编者水平以及知识面的限制,书中不少内容已显得过时,并发现诸多错误和不当。许多热心的读者对新教材从内容、结构、名词术语等方面提出了许多积极的改进意见和建议。为了满足读者的要求,适应我国制造业快速发展的形势,更全面地反映当前制造业的最新科技成果和现状,本书对原书进行了全面的改造和整理,充实了大量新的内容,它将以全新的面貌出现在广大读者面前。

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,具有如下的特色:①内容全面、新颖,包括现代设计技术、现代管理技术、先进制造工艺技术、自动化技术以及先进生产模式等各个方面,基本能够反映近年来国内外先进制造技术的最新发展;②作为机械工程专业后续专业课程,侧重内容的前沿性、综合性和交叉性,尽量避免与先导专业课程的重复;③注重工程应用,力求在保持先进制造技术的系统性和完整性前提下,更注重介绍适用先进、相对成熟的技术;④语言简练、朴质,避免概念堆积、术语罗列,努力讲清每一项技术是什么,应用该项技术可以解决什么问题,力求使读者对先进制造技术有一个基本的认识。

本书由扬州大学王隆太教授、东南大学汤文成教授、江苏技术师范学院戴国洪博士编写,由东南大学吴锡英教授、华中科技大学李培根教授审稿。全书共分六章,其中第一、三、四、六章由王隆太编写,第二章由汤文成编写,第五章由戴国洪编写,由王隆太进行统稿。

由于先进制造技术所涉及的内容广泛、学科跨度大,加之编者的水平和视野所限,本书存在的不足、疏漏,甚至错误在所难免。在此恳请读者提出宝贵意见。

编者
于江苏扬州

目录

第2版前言

第1版前言

第1章 制造业与先进制造技术	1
1.1 制造业的发展与挑战	1
1.1.1 制造与制造业	1
1.1.2 制造业的地位与作用	2
1.1.3 制造业的进步与发展	3
1.1.4 我国机械制造业的发展与面临的挑战	6
1.2 先进制造技术的内涵与体系结构	8
1.2.1 先进制造技术提出的背景	8
1.2.2 先进制造技术的内涵与特征	9
1.2.3 先进制造技术的体系结构	9
1.2.4 先进制造技术的分类	11
1.3 先进制造技术的发展趋势	13
1.3.1 云制造系统	13
1.3.2 信息物理融合系统	16
1.3.3 先进制造业及各工业国家的发展对策	18
1.3.4 先进制造技术的发展趋势	22
本章小结	23
复习思考题	23
第2章 现代设计技术	24
2.1 概述	24
2.1.1 现代设计技术的内涵	24
2.1.2 现代设计技术的特征	25
2.1.3 现代设计技术的体系结构	26
2.2 计算机辅助设计技术	27
2.2.1 计算机辅助设计的内涵与发展	27
2.2.2 计算机辅助设计的关键技术	29
2.2.3 计算机辅助设计的研究热点	31
2.3 优化设计	33
2.3.1 优化设计的数学模型	33
2.3.2 优化方法的分类	35
2.3.3 优化设计步骤	36
2.3.4 优化设计实例	38
2.4 可靠性设计	39
2.4.1 基本概念	39

2.4.2	机械零件可靠性设计	43
2.4.3	机械系统可靠性设计	46
2.5	价值工程	49
2.5.1	价值工程的内涵与特征	49
2.5.2	价值工程的实施过程	50
2.5.3	价值工程的应用案例	53
2.6	反求工程	54
2.6.1	反求工程的内涵	54
2.6.2	反求工程的基本步骤	55
2.6.3	反求工程的关键技术	56
2.6.4	反求工程的应用举例	59
2.7	绿色设计	60
2.7.1	绿色设计产生的背景	60
2.7.2	绿色产品及绿色设计的定义	60
2.7.3	绿色设计的主要内容	63
2.7.4	绿色设计的基本原则	63
2.7.5	绿色产品实例	64
	本章小结	65
	复习思考题	65
第3章	先进制造工艺技术	67
3.1	概述	67
3.1.1	机械制造工艺的内涵	67
3.1.2	先进制造工艺的产生和发展	68
3.1.3	先进制造工艺技术特点	70
3.2	材料受迫成形工艺技术	70
3.2.1	精密洁净铸造成形技术	70
3.2.2	精确高效金属塑性成形技术	72
3.2.3	粉末锻造成形技术	76
3.2.4	高分子材料注射成形技术	77
3.3	超精密加工技术	81
3.3.1	概述	81
3.3.2	超精密切削加工	82
3.3.3	超精密磨削加工	85
3.3.4	超精密加工机床与设备	87
3.3.5	超精密加工支持环境	89
3.4	高速加工技术	92
3.4.1	高速加工的概念	92
3.4.2	高速加工技术的发展与应用	93
3.4.3	高速切削加工的关键技术	94
3.4.4	高速磨削加工的关键技术	97
3.5	增材制造技术	100
3.5.1	增材制造技术的基本原理	100
3.5.2	增材制造的主要工艺方法	101

3.5.3	增材制造技术的应用	105
3.5.4	增材制造技术存在的局限	105
3.6	微纳制造技术	106
3.6.1	微纳制造技术的概念	106
3.6.2	微制造工艺技术	106
3.6.3	纳制造工艺技术	110
3.7	表面工程技术	112
3.7.1	表面改性技术	113
3.7.2	表面覆层技术	115
3.7.3	复合表面处理技术	117
3.8	再制造技术	118
3.8.1	再制造技术的内涵和意义	118
3.8.2	无损拆解与绿色清洗技术	120
3.8.3	无损检测与寿命评估技术	121
3.8.4	再制造成形与加工技术	122
3.9	仿生制造技术	125
3.9.1	仿生制造技术的内涵及发展	125
3.9.2	仿生机构及系统制造	126
3.9.3	功能性表面仿生制造	127
3.9.4	生物组织及器官制造	129
3.9.5	生物加工成形制造	130
	本章小结	132
	复习思考题	133
第4章	制造自动化技术	134
4.1	概述	134
4.1.1	制造自动化技术的发展	134
4.1.2	制造自动化技术的内涵	136
4.2	自动化制造设备	137
4.2.1	数控机床	137
4.2.2	加工中心机床	143
4.2.3	柔性制造单元	146
4.2.4	柔性制造系统	147
4.3	物料运储系统自动化	159
4.3.1	自动运输小车	159
4.3.2	工业机器人	161
4.3.3	自动化仓库	166
4.4	装配过程自动化	168
4.4.1	装配过程自动化的现状与意义	168
4.4.2	自动装配工艺性分析	169
4.4.3	自动化装配设备	174
4.5	检测过程自动化	179
4.5.1	检测系统的作用与涉及的检测内容	179
4.5.2	检测系统的基本组成及工作原理	180

4.5.3	自动检测元件	181
4.5.4	制造过程自动检测监控实例	182
	本章小结	185
	复习思考题	186
第5章 现代企业信息管理技术		187
5.1	概述	187
5.1.1	企业信息化的内涵	187
5.1.2	企业信息管理技术体系	188
5.1.3	企业信息管理的网络环境	189
5.2	企业资源计划 (ERP)	191
5.2.1	ERP 的产生与发展	191
5.2.2	订货点法	192
5.2.3	MRP 及闭环 MRP	193
5.2.4	MRP II	198
5.2.5	ERP	201
5.2.6	ERP II	204
5.3	供应链管理 (SCM)	207
5.3.1	SCM 的产生背景	207
5.3.2	SCM 的定义	208
5.3.3	SCM 的结构体系	208
5.3.4	SCM 的管理原理	210
5.3.5	SCM 的发展趋势	214
5.4	客户关系管理 (CRM)	215
5.4.1	CRM 的产生背景	215
5.4.2	CRM 的内涵	216
5.4.3	CRM 的目标与客户对象	217
5.4.4	CRM 的体系结构及功能模块	218
5.4.5	CRM 与其他信息系统的关系	220
5.5	产品数据管理 (PDM)	221
5.5.1	PDM 的产生、定义与发展	221
5.5.2	PDM 的体系结构	223
5.5.3	PDM 的系统功能	224
5.5.4	PDM 与 ERP 之间的区别和联系	226
5.5.5	基于 PDM 的应用集成	228
5.6	制造执行系统 (MES)	230
5.6.1	MES 的产生与定义	230
5.6.2	MES 的角色作用	231
5.6.3	MES 的功能模块	233
5.6.4	MES 与其他信息系统的关系	233
5.6.5	ERP/MES/PCS 的信息集成	234
	本章小结	235
	复习思考题	236
第6章 先进制造模式		237

6.1 计算机集成制造 (CIM)	237
6.1.1 CIM 和 CIMS 的概念	237
6.1.2 CIMS 的结构组成	238
6.1.3 CIMS 递阶控制结构	242
6.1.4 CIMS 开放式体系结构 (CIMS/OSA)	243
6.1.5 我国 CIMS 技术的发展战略	245
6.2 并行工程 (CE)	246
6.2.1 并行工程概念的产生及其定义	246
6.2.2 并行工程的运行模式	247
6.2.3 并行工程的特征	248
6.2.4 并行工程的关键技术	250
6.2.5 并行工程的支持工具	250
6.3 精益生产 (LP)	251
6.3.1 精益生产的提出及内涵	251
6.3.2 精益生产的体系结构	253
6.3.3 精益生产的基本原理	257
6.4 敏捷制造 (AM)	259
6.4.1 敏捷制造提出的背景、内涵及其特征	259
6.4.2 敏捷制造企业的体系结构	261
6.4.3 敏捷化企业组织与管理	262
6.4.4 虚拟制造	265
6.4.5 可重构制造系统	265
6.4.6 敏捷制造对制造业的影响	268
6.5 智能制造 (IM)	269
6.5.1 智能制造的内涵与特征	269
6.5.2 智能加工与智能机床	271
本章小结	273
复习思考题	274
参考文献	275

第1章

制造业与先进制造技术

重点提示：本章在论述制造业地位和作用的基础上，讨论了制造业发展现状和面临的挑战；分析了先进制造技术提出的背景，阐述了先进制造技术的内涵、特征及其体系结构；介绍了先进制造技术的最新技术发展与趋势，以及当前主要工业国家的发展对策。

制造业是根据市场需求，将制造资源，包括物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等，通过制造过程转化为可供人们使用和消费产品的行业。制造业在工业化国家中占有十分重要的地位，它是工业化国家经济发展的支柱，是国民经济收入的重要来源。先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology, AMT）是集机械工程、自动化技术、计算机及其应用技术、电子信息技术等诸多技术为一体所产生的设计、工艺、加工制造、生产管理等先进技术的总称。先进制造技术是适应制造业的发展需求和全球商品市场竞争的形势下产生和发展起来的。先进制造技术广泛应用于机械制造业，推动着机械制造业的发展，从而带动其他制造业的发展；而制造业的技术发展与进步又不断补充和丰富了先进制造技术。

1.1 制造业的发展与挑战

1.1.1 制造与制造业

1. 制造

制造即为人类按照市场需求，运用主观掌握的知识和技能，借助于手工或可以利用的客观物质工具，采用有效的工艺方法和必要的能源，将原材料转化为最终物质产品并投放市场的过程。

制造的概念有广义和狭义之分：狭义制造通常是指与物流有关的将原材料转变为成品的加工和装配的生产过程，也即为人们日常生产和生活中所说的“制造”；而广义制造则包含了从市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产管理、市场营销、销售服务直至产品报废处理等在内的整个产品生命周期的全过程。广义制造的概念一般为学术界所用，本书后续所提及的“制造”一般指广义制造。

2. 制造系统

制造系统是为达到预定制造目的而构建的物理的组织系统，是由制造过程、硬件、软件和相关人员组成的具有特定功能的一个有机整体。其中的制造过程包括产品的市场分析、设计开发、工艺规划、加工制造以及控制管理等过程；其硬件包括厂房设施、生产设备、工具材料、能源以及各种辅助装置；其软件包括各种制造理论与技术、制造工艺方法、控制技

术、测量技术以及制造信息等;相关人员是指从事对物料准备、信息流监控以及对制造过程的决策和调度等作业的人员。

从制造系统的定义可知:在结构上,制造系统是由制造过程所涉及的硬件、软件以及相关人士所组成的一个统一整体;在功能上,制造系统是一个将制造资源转变为成品或半成品的输入输出系统;在过程方面,制造系统包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造实施、检验出厂、产品销售等制造的全过程。

根据制造的概念,制造系统也有狭义和广义之分。上述制造系统的定义即为广义概念上的制造系统;而狭义概念上的制造系统可认为是工厂车间内的一条加工系统,如生产线、柔性制造系统等。

3. 制造业

制造业是通过制造过程将制造资源转化为可供人们使用和消费产品的行业,是所有与制造有关的生产和服务型企业群体的总称。制造业涉及国民经济的很多行业,根据我国国民经济行业分类标准 GB/T 4754—2011,我国制造业包括农副食品加工业、家具制造业、石油化工业、医药制造业、金属制品业、通用设备制造业、交通运输设备制造业、仪器仪表等共计 31 个行业。机械制造业包含在制造业众多行业之中,根据《中国机械工业联合会大行业数据行业目录》,机械制造业被分为 13 个大行业 126 个小行业,其中包括农业机械、内燃机、工程机械、矿山机械、机床工具、仪器仪表、石油化工、食品包装机械等行业,见表 1.1。

表 1.1 机械制造业行业目录

序号	行业名称	序号	行业名称
1	农业机械工业行业	8	机床工具工业行业
2	内燃机工业行业	9	电工电器工业行业
3	工程机械工业行业	10	机械基础件工业行业
4	仪器仪表工业行业	11	食品包装机械工业行业
5	文化办公设备行业	12	汽车工业行业
6	石油化工通用机械工业行业	13	其他民用机械工业行业
7	重型矿山机械工业行业		

1.1.2 制造业的地位与作用

一个国家的国民经济产业结构通常包括农业、工业和服务业三大产业。制造业隶属于工业,即第二产业。第二产业包括制造业、建筑业、采掘业以及电力、煤气、水的生产供应业。

制造业是国民经济的支柱性产业,它不仅为现代工业社会提供物质基础,也为信息与知识社会提供先进装备和技术平台。一个国家的制造业发展状况直接影响到国民经济各部门的发展,影响到国计民生和国防力量的加强,它是一个国家创造力、竞争力和综合国力的重要体现。

在工业化发达国家,制造业能够创造 60% 的社会财富,可占有 40% ~ 50% 的国民经济收入。如 2006 年德国制造业增加值达到 4900 亿欧元,就业岗位超过 740 万个,占就业总人数的 1/5。2011 年,我国制造业产值占工业产值的比例为 86.9%,占整个国家 GDP 的比例

为 34.6%。

全球社会发展表明,制造业是一个国家经济发展的支柱,是国民经济收入的重要来源。有人将制造业称之为一个国家工业经济年代经济增长的“发动机”。制造业一方面为社会创造经济产值,生产社会物质财富,另一方面为国民经济各部门,包括国防和科学技术的进步和发展提供各种先进的工具和技术装备。在工业化国家中,约有 1/5 ~ 1/4 人口从事各种形式的制造活动。纵观世界各国,如果一个国家的制造业发达,它的经济必然稳定强大;大多新型经济体国家的经济腾飞,其制造业功不可没。

下面进一步归纳说明制造业在国民经济中的地位和作用。

1) 人们物质消费水平的提高,有赖于制造业的发展和制造技术的进步。

2) 制造业,特别是装备制造业,其技术发展水平不仅决定了一个企业现时竞争力,更将决定全社会长远效益和经济的持续增长。可以说,制造业是实现经济稳定增长的物质保证。

3) 制造业在国际商品贸易中担当重要角色。制造业商品出口在国际商品贸易中占有较大的份额,如美国制成品出口额 1995 年占商品出口总额的比例为 78%;我国 2009 年出口总额达 12016 亿美元,超过德国而成为世界第一大出口国家,2012 年中国商品贸易出口达到 2 万多亿美元,其中制成品出口在整个出口总额中占据 85% 以上的份额。

4) 制造业是加强农业基础地位的物质保障,是支持服务业更快发展的重要条件。要加快经济增长,第一产业的农业、第二产业的制造业与第三产业的服务业之间必须保持协调发展;脱离制造业的发展,农业的发展将成为空中楼阁;没有农业和制造业的发展,就不会有现代商业和服务业的发展和繁荣。

5) 制造业是加快信息产业发展的物质基础。制造业和信息产业必须相互依赖、相互促进地共同发展,没有信息产业的快速发展,制造业就不可能较快地实现高技术化;反之,若没有制造业等产业的拉动和支持,也不可能信息产业的发展 and 进步。

6) 制造业是加快农业劳动力转移和就业的重要途径。我国制造业的从业人数 1987 年为 9805 万人,2010 年仅机械制造业从业人数就达到 1752 万人,预计到 2050 年,我国制造业从业人数将增加至 1.7 亿人。当然,发达国家制造业的从业人数已呈减少趋势,但在我国最近几十年内,制造业从业人数增加的趋势不会改变。

7) 制造业是加快发展科学技术和教育事业的重要物质支撑,它不仅为科技进步和教育发展提供经费支持,还为科学研究提供重要的研究方向及先进的实验装备。

8) 制造业也是实现军事现代化和保障国家基本安全的基本保证。

1.1.3 制造业的进步与发展

18 世纪中叶由英国发起的第一次工业革命,蒸汽机问世,使人类开始以机器代替手工劳动,以工厂代替手工工场进行物质产品的生产,从而标志着近代制造业的形成。

自第一次工业革命至今的两百多年时期内,制造业在生产方式、制造技术、资源配置等方面均经历了不同的发展历程,如图 1.1 所示。

1. 生产方式

在生产方式方面,制造业经历了由初始的单件、小批量生产,到少品种、大批量生产,直至当前多品种、小批量即定制生产的生产方式转变。

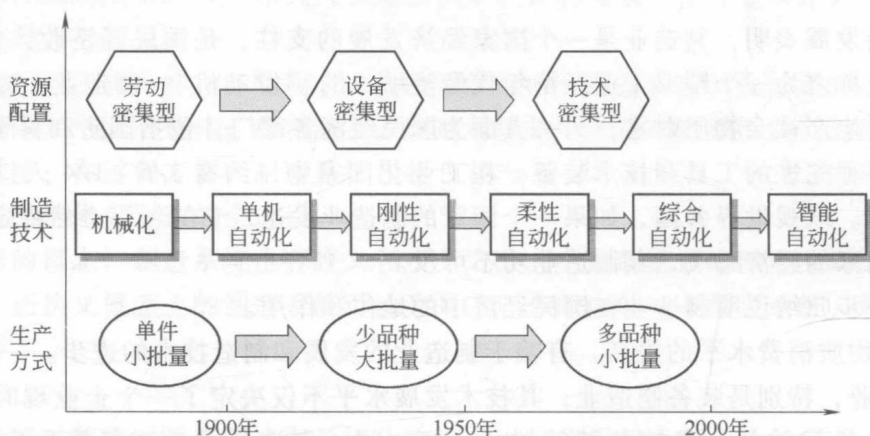


图 1.1 制造业发展历程

(1) 单件、小批量生产 20 世纪之前，制造业主要是作坊式单件、小批生产方式，以手动操作机器，生产效率低下，生产作业繁重，如何减少繁重劳动，提高机械化水平，提高生产效率，以满足市场需求，是当时制造业的核心问题。

(2) 少品种、大批量生产 20 世纪初，福特创立了第一条汽车装配流水线，标志着大批量生产方式的诞生，由于采用了专业化分工和流水作业的生产和管理方式，生产效率得到极大提高，生产成本大幅度降低，使这种生产方式在半个多世纪的发展进程中为社会提供了大量、廉价的产品，使人类的物质文明取得了突破性的进步。

(3) 多品种、小批量生产 到 20 世纪 60 年代，随着科学技术的进步，市场与人们对物质生活的需求发生了变化，这种面向单一产品的大批量、专业化生产方式无法满足日趋主体化、个性化和多样化的市场需求。此时，制造业生产方式开始由少品种、大批量生产方式转变为多品种、小批量生产方式，即按订货组织生产的生产方式。

20 世纪 80 年代以后，这种多品种、小批量的生产方式已成为制造业的主流生产方式。

2. 制造技术

与生产方式相适应，制造业在制造技术方面走过了机械化、单机自动化、刚性自动化、柔性自动化、综合自动化几个发展阶段。

(1) 机械化 18 世纪后半叶，随着蒸汽机、工具机等加工机械的发明，揭开了近代制造业的发展史，用机器劳动代替了手工劳动，标志着以工厂式的制造业企业逐渐形成，艰难地完成了从手工作坊式生产到以机器加工和分工原则为中心的工厂式生产的转变。

(2) 单机自动化 19 世纪电气技术得到了发展，由于电气技术与其他制造技术的融合，开辟了制造业崭新的电气化新时代，实现了单个加工机械的自动化，使制造业得到了飞速发展，实现了批量生产和工业化规范生产的新局面。

(3) 刚性自动化 20 世纪初，由于内燃机的发明引起了制造业新的革命，流水生产线和泰勒式工作制及其科学管理方法得到了应用。特别是在第二次世界大战期间，以大批量生产模式组织生产，以降低成本为目的的刚性自动化制造技术和科学管理方式得到了很大的发展。例如：福特汽车制造公司用大规模刚性生产线代替了手工作业，使汽车的价格在几年内降低到原价格的 1/8，促进了汽车进入家庭，奠定了美国经济发展的基础。然而，这种自动机和

刚性自动线生产工序以及作业周期固定不变, 仅仅适用于单一品种的大批量自动化生产。

(4) 柔性自动化 第二次世界大战之后, 计算机、微电子、信息和自动化技术都有了迅速发展, 推动了生产模式由大批量生产自动化向多品种、小批量柔性生产自动化的转变。在此期间, 形成了一系列柔性制造技术, 如数字控制 (Numeric Control, NC)、计算机数控 (Computer Numeric Control, CNC)、柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cells, FMC)、柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS)、柔性制造生产线 (Flexible Manufacturing Line, FML) 等。同时有效应用系统论、控制论、运筹学等原理方法的现代化生产管理模式, 如及时生产 (Just In Time, JIT)、全面质量管理 (Total Quality Management, TQM) 等, 开始在制造业得到应用, 提高了制造企业的整体效益。

(5) 综合自动化 自 20 世纪 80 年代以来, 随着计算机技术、电子信息以及网络技术的快速发展, 促进了制造业包括设计开发、生产制造和经营管理在内的单元自动化技术的成熟和完善, 如设计开发领域内的计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助工程 (CAE)、计算机辅助检测 (CAT) 等技术; 经营管理领域内的物料需求计划 (Material Requirements Planning, MRP)、制造资源计划 (Manufacturing Resources Planning, MRP II)、企业资源计划 (Enterprise Resources Planning, ERP)、制造执行计划 (Manufacturing Execution Planning, MES)、全面质量管理等 (TQM); 生产制造领域内的计算机数控 (CNC)、直接数控 (DNC)、柔性制造单元/系统 (FMC/FMS) 和工业机器人 (ROBOT) 等。

为了充分利用各项单元自动化技术资源, 发挥自动化的综合效益, 以计算机为中心的集成技术从根本上改变了制造业的技术水平和面貌, 引发了企业组织机构和运行模式的革命性飞跃。为此, 各类综合自动化的新型制造模式不断问世, 如计算机集成制造 (CIM)、并行工程 (CE)、精良生产 (LP)、敏捷制造 (AM)、云制造 (CM)。这些新型制造模式的实践、应用和推广, 使制造业展现出前所未有的新的发展局面。

目前, 制造技术在朝着智能自动化方向发展。

3. 资源配置

同样, 与生产方式相适应, 制造业在资源配置方面也经历了劳动密集型、设备密集型和技术密集型发展阶段。

(1) 劳动密集型 是指借助简单机器和手工工具, 通过大量的人工劳动完成产品的制造过程。制造业在劳动密集型发展阶段中, 生产所用的机械设备原始, 技术程度不高, 劳动强度大, 生产效率低下。

(2) 设备密集型 又称资本密集型, 是指在商品生产制造过程中, 资本成本与劳动成本相比所占比例较大。在设备密集型发展阶段, 使用技术装备多, 资本投入大, 剪产效率高, 而所需劳动力则大大减少。

(3) 技术密集型 又称知识密集型, 生产过程对技术和智力要素的依赖大大超过对其他的生产要素, 需要应用先进复杂的生产装备以及综合的科学技术和知识进行产品生产。技术密集型阶段的特点是, 产品生产过程是建立在先进的科学技术基础上, 劳动剪产率高, 资源消耗少, 产品技术性能复杂, 生产过程优化。

劳动密集型资源配置形式与制造业单件、小批生产方式相适应, 设备密集型资源配置形式与少品种、大批量以及多品种、小批量生产方式相适应, 而技术密集型资源配置更适应于

当前按订单组织生产的生产方式。

1.1.4 我国机械制造业的发展与面临的挑战

1. 我国机械制造业的发展

机械制造业是我国第一大工业部门,素有“工业心脏”之称。进入21世纪以来,我国机械制造业得到了快速发展。

据统计资料表明,2000年我国机械工业总产值仅为1.44万亿元,至“十五”末的2005年达4.18万亿元,“十一五”末的2010年达14.38万亿元,2012年机械工业总产值为18.50万亿元,为2000年的12.85倍,年均复合增长率达到25%。现在,我国机械工业的销售总额超过了德国、日本和美国,跃居世界第一,成为全球第一的机械制造大国(图1.2)。

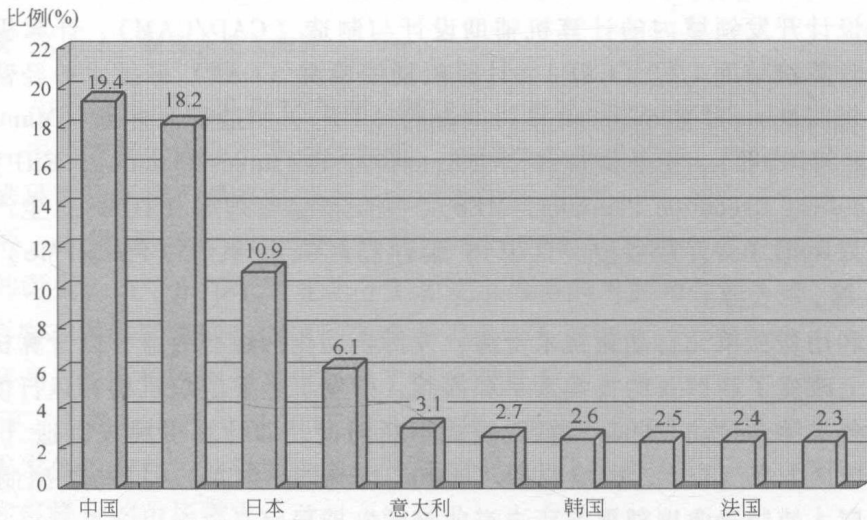


图 1.2 2010 年世界主要国家制造业产出所占比例

(来源: HIS Global Insight 数据库)

注:以2010年世界制造业产出102870亿美元为基础计算而得。

自“十一五”以来,围绕能源、材料、交通运输、农业及国防等领域发展的需要,开发出了一批具有自主知识产权的机械产品,如100万kW级超临界、超超临界火力发电机组;1000kV特高压交流输电变设备和 ± 800 kV直流输电成套设备;30万t/a合成氨设备;12000m石油钻机;五轴联动龙门加工机床,五轴联动叶片加工中心;1080t履带起重机。机械装备的国内市场自给率已经超过了85%,重大技术装备自主化取得了较大突破,保障能力明显增强。

随着重大技术不断取得突破,我国机械工业代表性产品的国际地位明显提升,高端产品所占比例逐渐提高。如机床产值自2009年以来一直位居世界首位,达153亿美元;机床行业产品结构不断优化,金属切削机床数控化率已经提高到50%以上;自2006年以来,我国发电设备产量连续超过1亿kW,占世界总产量的50%左右,遥遥领先于世界其他国家,其中超临界、超超临界火力发电机组所占比例超过40%;汽车工业实现了跨越式发展,从2000年的207万辆到2009年首次突破千万辆大关,跃居世界首位,2013年全年汽车产销分