



普通高等教育“十五”国家级规划教材


先进制造 系统

(修订版)

刘 飞 主编

罗振璧 张晓冬 副主编

73

 中国科学技术出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

先进制造系统

刘 飞 主 编
罗振璧 张晓冬 副主编

中



工业出版社

· 北 京 ·

高等院校工业工程专业教材编审委员会

主任 汪应洛

副主任 齐二石

委员 (按姓氏笔画为序)

刘 飞 许庆瑞 孙林岩 李先正

李怀祖 宋国防 张根保 张思复

罗 平 潘鑫瀚

责任编辑 桂民荣

责任印制 安利平

XIANJINZHIZAOXITONG
先进制造系统



前 言

制造业是创造社会财富的重要支柱，制造系统是实施制造的基本功能系统，因此研究和学习制造系统的体系结构及有关技术十分必要。

随着科学技术的日新月异，尤其是信息技术的发展，传统的制造业及其制造系统正在发生深刻的变化，有关制造系统的新概念、新技术和新方法不断涌现。本教材就是从系统思维、学科综合和技术集成的角度，研究先进制造系统所涉及的新概念、新技术和新方法，其目的就是使学生对先进制造系统及其主要的先进制造技术有一个系统和基本的了解，并掌握制造系统的系统结构、制造系统设计与分析的基础知识和基本方法，从而适应现代工业工程人才培养的需要。

本书是根据作者们在先进制造系统领域多年的研究成果并参考国际上该学科的发展状况以及有关参考文献写成。其从系统、整体的角度反映了先进制造系统所涉及的基本概念、原理和技术方法，主要内容包括制造系统的基本概念、系统构成、制造系统的设计与分析、制造信息系统、制造自动化系统以及典型先进制造系统等。

本书由刘飞（重庆大学机械工程学院）、罗振璧（清华大学精密仪器系）、张晓冬（重庆大学机械工程学院）、朱焜秋（江苏理工大学电气信息学院）、奚立峰（上海交通大学机械工程学院）等5人编写。刘飞任主编，罗振璧和张晓冬任副主编。其中，第一章、第四章、第六章由刘飞和张晓冬编写，第二章及第三章由罗振璧编写，第四章1、3、4、5、6节由朱焜秋编写，第四章第2节由奚立峰编写。此外，重庆大学的杨育、曹华军等参加了本书的部分编写和审校工作，在此表示衷心感谢！

本书涉及的有关研究工作，得到国家“863”项目（编号：2001AA412160）、“十五”国家科技攻关专题（专题任务书编号：2001BA203B01-03）、国家自然科学基金重点项目（批准号：



59735100) 和清华大学 21 世纪研究院重大软课题《中国制造》的资助, 并得到诺基亚(北京)系统工厂、上海日发数字化有限公司等企业的资助与支持, 还得到中国香港工业工程师学会 IIE (HK)、上海大众汽车集团第二发动机厂和浙江玉环凯凌集团的大力支持, 在此一并表示衷心感谢!

本书已列入普通高等教育“十五”国家级规划教材, 是工业工程专业本科的专业课教材, 也可供机械工程、机电工程、管理工程等专业选用及工厂企业管理人员和技术人员参考。

由于先进制造系统是一门正在迅速发展的综合性交叉学科, 编写此书涉及面广, 技术难度较大, 加上作者水平的局限, 因此书中不妥之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编者

2004 年 10 月

目 录

前言 /

第一章 制造系统概论 /

第一节 制造的概念与制造原理 /

第二节 制造系统的基本概念 /

第三节 制造系统的发展历程 6

第四节 制造系统的理论体系框架 8

第五节 先进制造系统的概念和特点 11

第六节 先进制造系统的发展趋势 18

思考与练习 1 29

第二章 先进制造系统的系统结构 24

第一节 先进制造系统的决策属性构成 24

一、概述 24

二、先进制造系统的决策框架模型 29

第二节 先进制造系统的总体结构 44

一、概述 44

二、多品种小批量生产车间 47

三、项目车间 47

四、单元制造系统 48

五、流水线 52

六、连续系统 52

七、CIM系统与可重组制造系统 54

第三节 先进制造系统的功能构成 58

一、工程设计系统 58

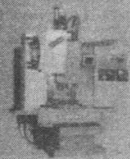
二、制造过程系统 60

三、物流系统 62

四、质量保证系统 68

五、组织结构系统 68

六、管理信息系统 72



- 七、网络数据库支撑系统 74
- 思考与练习 2 78

第三章 先进制造系统的设计与分析基础 79

第一节 概述 79

- 一、现行设计技术与实践存在的问题 79
- 二、设计小组与人员必须进行的设计活动 80
- 三、公理设计的目标与方法 80
- 四、设计的基本概念 81

第二节 基于设计公理的制造系统设计 104

- 一、概述 104
- 二、大系统的设计和分解定理 108
- 三、大型组织设计与运作定理 109
- 四、系统的维护 109

第三节 制造系统建模与分析 110

- 一、制造系统分析与功能模块的模型 110
- 二、制造企业集成建模 111
- 三、全寿命成本分析 127
- 四、制造系统的技术分析与评价 131

第四节 可重组制造系统的设计与过程建模 148

- 一、可重组性 148
- 二、基于可重组性的系统设计理论及应用 151
- 三、可重组制造系统的随机过程建模 157

思考与练习 3 165

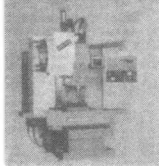
第四章 制造系统信息化 166

第一节 制造系统信息化概述 166

- 一、制造系统信息化的含义 166
- 二、制造系统的信息描述 167
- 三、制造系统信息化的实现 168

第二节 技术信息系统 169

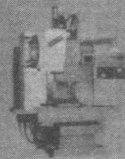
- 一、计算机辅助设计与工程分析 170
- 二、计算机辅助工艺设计 174
- 三、计算机辅助制造 177



- 四、产品数据管理 178
- 五、CAD/CAE/CAPP/CAM 集成 181
- 六、并行设计 183
- 第三节 管理信息系统 186
 - 一、企业资源规划 186
 - 二、供应链管理 192
 - 三、客户关系管理 196
 - 四、制造系统信息化案例：某瓷业有限公司管理信息系统实施及应用 198
- 思考与练习 4 200

第五章 制造自动化系统 201

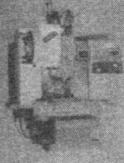
- 第一节 制造自动化系统概述 201
 - 一、制造自动化系统的概念及构成 201
 - 二、制造自动化系统的发展历程 202
 - 三、制造自动化系统的评价指标 203
 - 四、制造自动化技术的发展趋势 205
- 第二节 典型先进制造工艺 207
 - 一、快速成形制造技术 207
 - 二、微机械的制造技术 211
 - 三、微纳米制造技术 215
 - 四、外圆快速点磨法 220
 - 五、焊接机器人及其应用 222
 - 六、精密加工和超精密加工 224
 - 七、激光加工 227
- 第三节 典型先进制造设备与工业机器人 231
 - 一、数控机床 231
 - 二、加工中心 241
 - 三、DNC 系统 246
 - 四、工业机器人 250
- 第四节 柔性自动化系统 259
 - 一、柔性制造系统的定义和组成 260
 - 二、柔性制造单元 263
 - 三、FMS 物料传输系统 265



- 四、FMS 管理与控制系统 266
- 五、柔性制造自动化系统实例简介 269
- 第五节 制造自动化系统的生产计划调度与控制 271
 - 一、制造自动化系统的生产管理 271
 - 二、MAS 生产计划调度与控制体系 272
- 第六节 制造自动化系统中的监测与控制 276
 - 一、概述 276
 - 二、制造自动化系统中主要信号的检测方法 278
 - 三、制造自动化系统中监测与控制系统 279
- 思考与练习 5 282

第六章 典型先进制造系统 284

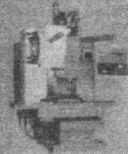
- 第一节 概述 284
- 第二节 精益生产系统 286
 - 一、精益生产的概念与内涵 286
 - 二、精益生产的特征 288
 - 三、精益生产系统的实施过程及主要措施 289
- 第三节 计算机集成制造系统 293
 - 一、计算机集成制造的概念与内涵 293
 - 二、计算机集成制造的系统构成 294
 - 三、计算机集成制造中的集成技术 296
 - 四、计算机集成制造系统的发展趋势 298
- 第四节 并行工程系统 299
 - 一、并行工程的概念与内涵 299
 - 二、并行工程的特点与效益 300
 - 三、并行工程的关键技术 301
 - 四、并行工程实施案例 301
- 第五节 敏捷制造系统 302
 - 一、敏捷制造的概念与内涵 302
 - 二、敏捷制造系统的基本特征 303
 - 三、实现敏捷制造的主要措施 304
 - 四、敏捷制造的应用案例 305
- 第六节 网络化制造系统 306
 - 一、网络化制造系统的概念与内涵 306



- 二、网络化制造系统的特点 307
- 三、网络化制造系统的功能结构和关键技术 308
- 第七节 绿色制造系统 311
 - 一、绿色制造的概念与内涵 311
 - 二、绿色制造系统的体系结构及研究内容 313
 - 三、绿色制造系统的实施 314
 - 四、绿色制造的应用案例 317
- 第八节 虚拟制造系统 318
 - 一、虚拟制造系统的概念与内涵 318
 - 二、虚拟制造系统的特点 318
 - 三、虚拟制造系统的实现 319
 - 四、虚拟制造的应用 321
- 第九节 智能制造系统 322
 - 一、智能制造系统的概念和内涵 322
 - 二、智能制造系统的特点 323
 - 三、智能制造系统的研究内容 324
 - 四、智能制造系统的应用 325
- 思考与练习6 326

英汉对照词组表 327

参考文献 328



第一章 制造系统概论

1

第一节 制造的概念与制造原理

制造业是创造社会财富的支柱产业。制造业的水平高低反映了一个国家或地区的经济实力、国防实力、科技水平和生活水准，制造业的先进与否是一个国家经济发展的重要标志。统计表明，制造业为工业化国家创造了60%~80%的社会财富，是国际贸易中主要交易物品的源泉。例如，在1700~1990年的290年中，制造货物占世界贸易总额的75%，而农业与原材料产业只占25%。各国的实践证明，一个没有足够强大制造业的国家不可能是一个先进、富强的国家，先进的制造业是人民物质文化生活不断提高和综合国力与国防力量不断增强的保证。又如：在上述290年的统计中，机器装备占世界贸易总额的35.7%，是国际贸易中第一大宗的货物。所以，各个大国一直把发展先进制造作为长期国策，譬如美国国家工程/科学院在1991年把“制造”确定为美国国家经济增长和国家安全保证的三大必保主题之一（其他两个主题是“科学”与“技术”）。

什么是制造？什么是制造业？到目前为止，还没有关于这两个概念的统一的定义。从狭义上看，人们一般将“制造”理解为产品的机械工艺过程或机械加工过程。例如著名的Longman词典对“制造”（Manufacture）的解释为“通过机器进行（产品）制作或生产，特别是大批量的生产（to make or produce by machinery, esp in large quantities）。”广义的制造和狭义的制造概念相比，“制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展。在范围方面，制造涉及的工业领域远非局限于机械制造，而是涉及机械、电子、化工、轻工、食品、军工等国民经济的大量行业。在过程方面，广义的制造不是仅指具体的工艺过程，而是指包括市场分析、产品设计、计划控制、生产工艺过程、装配检验、销售服务和管理等产品整个生命周期的全过程。例如国际生产工程学会CIRP在1983年给“制造”下的定义是：制造是制造业中所涉及产品设计、物料选择、生产计划、生产、质量保证、经营管理、市场销售和服务等一系列相关活动和工作的总称。

综上所述，对于“制造”目前有两种理解：一是狭义制造概念，指产品的“制作过程”，可称作“小制造概念”，如机械加工过程；另一是广义制造概念，指产品整个生命周期过程，又称为“大制造概念”。而制造业从广义上



理解,就是将可用资源(包括能源)通过制造过程,转化为可供人们使用和利用的工业品或生活消费品的产业,它涉及国民经济的大量行业,如机械、电子、化工、食品、军工等等。本教材所涉及的制造概念主要指“大制造概念”。

根据制造的概念,可以从以下三个方面来理解制造的原理,即制造的功能可以从下述三个方面加以实现:

(1) **制造工艺过程** 制造过程必须将制造原材料经过一系列的转换使之成为产品,这些转换既包括原材料在物理性质上的变化,又包括原材料在化学性质上的变化。我们通常将这些转换称为制造工艺过程。例如对原材料的切削加工就是一个典型的制造工艺过程。

(2) **物料流动过程** 制造过程总是伴随着物料的流动过程,包括物料的采购、存储、生产、装配、运输、销售等一系列的活动。

(3) **信息流动过程** 制造过程中,除了物料的流动,还始终伴随着信息的流动。从信息的角度,制造过程可以看成是一个信息的加工过程。一方面,制造企业捕获原始的市场信息和技术信息,通过产品设计、工艺设计、加工制造等一系列活动形成市场需要的产品,在整个制造过程中同时伴随着产品信息的处理;另一方面,制造企业通过生产计划与控制手段管理整个生产过程,使制造过程能够顺利和协调地进行,因此,制造过程中还伴随着大量的管理信息和控制信息。

在上述三个方面中,工艺过程直接改变原材料的性质,物料流从“物”的方面完成制造的基本功能,信息流的畅通、有序的流动则保证生产出理想的产品以及保证生产的顺利进行。

产品及行业不同,制造过程的实现方式也各不相同。通常,制造方式可以划分为连续生产和离散生产两种方式。

连续生产也称为流程式生产,是指连续的物料流通过一系列的混合、状态变化以及成型过程从而形成一件或多件成品的制造方式。成品的最终形式可以是本质上不连续的,也可以是由于包装与运输而不再连续的。连续生产的产品包括干湿化学品、食品、药物、纸张、纤维、金属(如板、棒、管、线、薄板)等。

离散生产方式又可分为多种类型,如工程项目型生产、车间任务型生产和重复生产等。

(1) **工程项目型生产(Project manufacturing)** 也称为固定位置型生产或建设型生产。其特点是:

- 制造装备移入该产品的区域,工艺过程与元件的安装就在产品所在

地进行

- 企业的大部分生产能力和资源在某一时期用于某个单项工程。对每个单项工程要分别进行计划编制和生产管理。通常建立一个工程领导小组，负责工程项目的计划和管理

建筑工程、船舶和航空飞船等均属于这种制造方式。

(2) 车间任务型生产 (Job-shop manufacturing) 是将功能类似的加工设备组成一些工作中心 (工段或小组)，如车、铣、刨、磨、钻、锻和装配等，工件从一个工作中心到另一个工作中心进行不同类型的工序加工。其特点是：

- 对每一工作中心，通常基于主要的工艺流程来安排生产设备的位置，以使物料的传输距离最小
- 对于车间任务型生产的组织方式，其设备的使用是灵活的，加工工艺路线也可以是灵活的。因此，在以车间任务型方式组织生产时，生产计划的编制和管理必须处理大量的生产任务
- 常用订单的编制、发放和监控来组织车间任务的生产。而订单是按确定的批量、生产提前期、产品结构清单及库存状态制定的。在这种生产组织方式中，包括原材料、外购件、在制品、成品、半成品的库存管理相对复杂。预计并保证生产物料的可用性是管理的关键

这类生产方式的例子包括各种类型产品的机械制造厂、金属加工厂、木料加工厂等。

(3) 重复生产 (Repetitive manufacturing) 也称为大批量的生产。重复生产的特点是：

- 对一个特定产品的生产、所需的加工能力和工装设备是专门设定的
- 加工工艺路线是固定的，被加工的零部件以流水的方式通过工作中心或设备，而工作中心或设备按加工的先后顺序排列
- 各个工作中心生产率之间的平衡比车间任务生产型时更重要，因为它将确保流水生产的顺利进行。各个工作中心的生产率通常是设计所需生产设备的一个重要考虑因素
- 生产加工时间短，零件排队等候加工的队伍短。与车间任务型的生产方式相比，在制品库存数较少

将重复生产与车间任务生产方式区分开来的主要方法是，看生产中使用什么样的加工设备及生产零部件数量的多少。例如，采用由不同加工设备和工作中心组成的一条生产线、装配线，或者在一个加工中心以高速度的方式进行生产，例如，制造电冰箱压缩机外壳的加工设备等，这些都属于重复生



产。重复生产方式的例子通常包括成批生产的半导体、电路板、复合零件、汽车和计算机等。

应用成组技术可以使车间任务型生产更加接近重复生产。成组技术按零件分组，将加工该组零件的不同的生产设备组成一个加工单元，以期将按设备组织生产的方式转换成流水生产方式，提高生产率。应用这种成组技术的条件是成组零件有相似的工艺路线。在这种情况下，这一组生产设备可以被看成是一个工作中心或工作单元。重复生产管理的目的是使零件流快速而又均衡地通过某个加工生产线。车间任务生产管理的目的是提供一个灵活的生产系统，并处理许多不同的加工工艺路线。

在现实生产中，有些工厂的生产大部分属于重复生产，则可以强调重复生产的方法，而另一些工厂应强调车间任务生产的方法。有许多企业同时包含车间任务与重复生产两种生产类型，甚至有的企业还同时包括连续生产和离散生产类型的生产。目前，随着市场竞争的加剧和制造技术的不断进步，出现了越来越多的新型生产方式，如精益生产方式、敏捷生产方式、同步工程等。制造企业应把握市场需求、产品特点、竞争重点与自身能力，选择最适合自身发展的制造方式和生产管理方式。

第二节 制造系统的基本概念

由上述讨论可知，“制造”并不是简单的加工过程，而是一系列具有相互联系的活动的集合，如何保证这些活动相互协调、整体最优，则必须从系统的角度来研究“制造”。从系统的角度而言，“制造”的功能是通过制造系统来实现的。

什么是制造系统呢？要明确制造系统的概念，首先要明确系统的概念。系统工程的有关理论指出，“系统”是由相互作用和相互依赖的若干组成部分按一定规律结合而成的具有特定功能的有机整体。系统由两个或两个以上的要素（组成部分）构成，这些要素可以是单一、不能再分的基本单元，也可以是能继续细分，由其他次一级要素构成的集合。构成系统的要素各自具有自身的特性和内在规律，但它们彼此之间相互联系、相互影响、有机地结合在一起，由此形成了不同于任一组成要素的整体，并体现出整体特性和整体功能。系统强调的是各组成要素有机结合，对外呈现综合性的整体功能，而不是各要素功能的累加。系统的各要素组成一个整体，如果系统的整体性受到破坏，就不再成为系统。例如，计算机的各要素 CPU、存储器、显示器、键盘、鼠标、软件程序等，通过配置而彼此联系，构成协调运行的整体时，



它显示出计算机系统的整体功能；而当将计算机拆卸成一个个分散的零件后，就丧失了其整体功能，这时就不再成为一个计算机系统。

根据上述“制造”和“系统”的定义和内涵，下面讨论制造系统的定义和内涵。

关于制造系统的定义，尚在发展和完善之中，至今还没有一个统一的定义。现列举国际上比较权威的几个定义作为参考。

英国著名学者帕纳比（Parnaby）1989年给出的定义为：“制造系统是工艺、机器系统、人、组织结构、信息流、控制系统和计算机的集成组合，其目的在于取得产品制造的经济性和产品性能的国际竞争性。”

国际生产工程学会（CIRP）于1990年公布的制造系统的定义是：“制造系统是制造业中形成制造生产（简称生产）的有机整体。在机电工程产业中，制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能。”

美国麻省理工学院（MIT）教授 G. Chryssolouris 于1992年将制造系统定义为：“制造系统是人、机器和装备以及物流和信息流的一个组合体。”

国际著名制造系统工程专家、日本京都大学人见胜人教授于1994年指出：制造系统可从三个方面定义：①制造系统的结构方面。制造系统是一个包括人员、生产设施、物料加工设备和其他附属装置等各种硬件的统一整体；②制造系统的转变特性。制造系统可定义为生产要素的转变过程，特别是将原材料以最大生产率转变成为产品；③制造系统的过程方面。制造系统可定义为生产的运行过程，包括计划、实施和控制。

综合上述的几种定义，可将制造系统定义如下：

制造过程及其所涉及的硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置，以及有关软件包括制造理论、制造技术（制造工艺和制造方法等）和制造信息等组成了一个具有特定功能的有机整体，称之为制造系统。

以上定义可看成是制造系统的基本定义。根据所研究问题的侧重点的不同，借鉴人见胜人教授的观点，制造系统还可有以下三种特定的定义：

(1) 制造系统的结构定义 制造系统是制造过程所涉及的硬件（包括组织人员、设备、物流等）及其相关软件所组成的一个统一整体。

(2) 制造系统的功能定义 制造系统是一个将制造资源（原材料、能源等）转变为产品或半成品的输入、输出系统。

(3) 制造系统的过程定义 制造系统可看成是产品的生命周期全过程。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、回收处理等各个环节的制造全过程。

由上述制造系统的定义可知，机械加工系统可看成是一种制造系统，它



由机床、夹具、刀具、被加工工件、操作人员、加工工艺等组成。机械加工系统输入的是制造资源（毛坯或半成品、能源和劳动力），经过机械加工过程制成产品或零件输出，这个过程就是制造资源向产品（成品）或零件的转变成过程。一个正在制造产品的生产线、车间乃至整个工厂可看作是不同的制造系统；柔性制造系统和计算机集成制造系统均是典型的制造系统；另外，一个新产品的开发、一个技术改造项目、一个与制造有关的工程项目、科研课题以及它们所涉及的硬件和软件，从某种角度说，也可以看成为不同层次的制造系统。本书则侧重于从制造企业整体的角度来讨论制造系统。

第三节 制造系统的发展历程

人类的制造活动最早追溯到新石器时代。在新石器时代，人们制造石器作为劳动工具，制造处于一种萌芽的阶段。到了青铜器和铁器时代，为了满足以农业为主的自然经济的需要，制造系统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进行原始的制造活动。

到18世纪中叶，瓦特发明蒸汽机后，制造业取得了历史性进步。机械技术与蒸汽动力技术结合，出现了火车、轮船、由动力驱动的纺织机械和金属切削机床等，产生了第一次工业革命，近代工业化大生产开始出现。而后，直流发电机和三相异步电动机的发明，标志着电气化时代的开始。电作为新的动力源大大改变了机器结构和生产效率。这一阶段出现了以经验管理为主的原始机械工厂为代表的制造系统。但是在19世纪末以前，制造系统的总体水平仍然很低，其主要体现在生产力水平低下、生产过程简单、分工不专业和生产规模小等方面。

到了19世纪末20世纪初，内燃机的发明引发了制造业的又一次革命，制造业进入了以汽车制造为代表的大批量生产时代，出现了流水生产线，分工日趋明确，工厂的管理也从经验为主的管理方式向以泰勒管理方法为代表的科学管理方式转变。为了降低成本，特别是降低劳动力成本从而获得高效益，制造业形成了“规模效益第一”的生产方式，这种大量生产方式一直持续到20世纪60年代。刚性大规模生产线就是这一阶段典型的制造系统模式。

进入20世纪70年代后，随着市场竞争的加剧，大规模生产方式开始逐步向多品种、中小批量生产方式转变。电子信息技术的发展，特别是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。

到80年代，随着世界经济和人们生活水平的提高，市场环境发生了巨大



的变化。一方面表现为消费者需求日趋主体化、个性化和多样化；另一方面则是市场竞争日趋全球化和激烈化。这一时期内，基于先进的计算机技术和自动化技术，发展各种先进的制造技术，从而优化制造系统的 T（Time，交货或新产品上市时间）、Q（Quality，产品质量）、C（Cost，产品成本）、S（Service，服务），成为制造系统赢得竞争的主要手段。这些制造技术主要包括：CAD（计算机辅助设计）、CAPP（计算机辅助工艺规划）、CAM（计算机辅助制造）、DNC（直接数字控制）、FMS（柔性制造系统）、MRP II（制造资源计划）、GT（成组技术）等。

90年代以来，信息技术，尤其是网络技术的发展给世界带来了巨大的变化，全球经济一体化进程打破了传统的地域经济发展模式，市场变得更加广阔。在这种时代背景下，快速响应瞬息万变的市场需求成为了制造系统赢得市场竞争的焦点。同时，世界正处在由资源消耗型的工业经济向信息知识为基础的知识经济转变的重要历史时期。知识经济在很大程度上是由高知识附加值的产品来体现，产品创新是知识经济的一个重要标志。在这种情况下，组织结构相对固定、制造资源相对集中、以区域性经济环境为主导、以面向产品为特征的传统的制造系统模式已与之不相适应，全球性的、以灵活敏捷的组织形态与控制机制，快速响应市场需求变化的新一代制造系统模式纷纷涌现并得到长足的发展，如并行工程（CE）、智能制造（IM）、敏捷制造（AM）、虚拟制造（VM）、网络化制造（NM）、现代集成制造（CIM）、全能制造（HM）等制造系统模式。近年来，随着全球环境的日益恶化，制造业对于环境所产生的影响已不容忽视。如何使制造业尽可能少地产生环境污染是当前制造科学面临解决的重大问题，因此，以绿色制造为代表的环保型制造系统也受到了广泛的关注。

纵观上述制造业的发展历程，我们可以将其发展划分为以下三个阶段：前期工业经济时代、发达工业经济时代和知识经济时代。每一时代的制造系统特点如表 1-1 所示。

(1) 在经济模式上 从规模经济→速度经济→知识经济发展；与经济模式相对应，在生产要素上，则从劳动力密集型→设备与资本密集型→信息与知识密集型发展。

(2) 在生产方式上 从少品种大批量的规模生产→多品种小批量生产→个性化弹性批量生产的发展；与生产方式相对应，在制造工艺及装备上，从可互换制造→刚性与柔性流水线→柔性自动化与智能自动化发展；制造技术则从机械化→机电一体化与自动化→网络化与智能化发展。

