

工业工程专业新形态系列教材

# 现代制造系统

(第二版)

庄品 杨春龙 欧阳林寒 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了现代制造系统的基本知识、应用技术和研究方法,内容全面、新颖。全书共分为7章,主要内容包括制造系统的基本原理、先进制造模式、先进制造工艺技术、制造自动化系统、工业机器人及装配自动化、绿色制造、工业4.0系统。每章后面均附有思考与练习题。

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

### 图书在版编目(CIP)数据

现代制造系统 / 庄品, 杨春龙, 欧阳林寒编著. —2版. —北京: 科学出版社, 2017. 6

工业工程专业新形态系列教材

ISBN 978-7-03-051993-1

I. ①现… II. ①庄… ②杨… ③欧… 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044092号

责任编辑: 兰 鹏/责任校对: 桂伟利

责任印制: 吴兆东/封面设计: 蓝正设计

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年6月第 二 版 印张: 20

2017年6月第三次印刷 字数: 462 000

定价: 49.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



# 总 序

我国是制造业大国，但还称不上制造业强国。实现从粗放式管理向以集成化、信息化、网络化为特征的精益管理转变，是提升我国制造业核心竞争力、迈向全球制造业强国的必由之路。工业工程作为一门帮助提升产品与服务质量、提升管理水平与效能、降低运营成本、实现绿色发展的交叉学科，在我国由制造业大国向制造业强国的转变中将扮演至关重要的角色。

根据教育部高等学校工业工程类专业教学指导委员会所制定的《工业工程类专业本科教学质量国家标准》中的定义，工业工程（industrial engineering, IE）是应用自然科学与社会科学知识，特别是工程科学中系统分析、规划、设计、控制和评价等手段，解决生产与服务系统的效率、质量、成本、标准化及环境友好等管理与工程综合性问题的理论和方法体系，具有交叉性、系统性、人本性与创新性等特征，适用于国民经济多种产业，在社会与经济发展中起着重要的积极推动作用，亦可称为产业工程。

我校工业工程专业办学历史较长，是全国工业工程专业发起高校之一。1985年，在管理工程专业下设置了工业工程专业方向招收本科生。1995年，经国务院学位委员会办公室批准设立了工业工程硕士点，这是江苏省高校中的唯一的工业工程硕士点。1998年教育部调整本科专业目录后，便直接以工业工程专业名称面向全国招收本科生。1999年经国务院学位委员会办公室批准获得了工业工程领域工程硕士专业学位授予权，是国内最早获得该专业学位授予权的高校之一。2000年，工业工程成为管理科学与工程一级学科博士点的主要研究方向，至此，工业工程在我校形成了从本科至博士后完整的人才培养体系。

围绕工业工程专业人才的培养，我校建成了两个国家级人才培养模式创新实验区。2005年，工业工程被评为江苏省工业工程领域首批唯一的品牌专业，2012年，该专业被评为江苏省唯一以工业工程为核心专业的重点专业类，同年，被评为工业和信息化部工业工程领域唯一的重点专业。2015年，列入江苏省高校品牌专业建设工程进行重点建设。2011~2015年由中国统计出版社出版的《挑大学选专业——高考志愿填报指南》将我校工业工程专业与清华大学、上海交通大学同列前三甲。我校工业工程专业自成立以来，

在成长中不断进步、逐渐成熟。经过多年探索，建成了工业工程创新人才培养的“三链”（教学资源保障链、实习实践保障链、能力拓展保障链）体系，形成了“工—管—理”深度交叉的创新人才培养新模式，先后获得了两项江苏省高等学校教学成果一等奖和一项二等奖。建成了一个国家级教学团队、两个省级创新团队。我校还是江苏省机械工程学会工业工程专业委员会的主任委员单位，是全国工业工程专业教学指导委员会副主任委员单位，是华东地区工业工程教学与专业发展学会发起单位之一。

加强教学资源建设是我院工业工程专业建设的重要抓手之一。我们提出以“教材”作为教学资源建设的切入点，以教材建设牵引教学团队能力提升。为此，我们积极打造特色化精品教材，2005年与科学出版社共同策划，在全国范围最早推出了工业工程专业系列教材，并被众多高校选用，多数教材数次印刷，受到师生好评。2014年，我们又与电子工业出版社合作出版了12本工业工程领域工程硕士学位系列教材，这是我国工业工程领域工程硕士的首套系列教材。“十一五”“十二五”期间，我们组织教师编写、出版教材40余种，其中，9部教材入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材，4部教材入选“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，3部教材入选工业和信息化部“十二五”规划教材，《应用统计学》被评为国家精品教材，6部教材被评为江苏省精品教材和重点教材。一批优秀教材的出版为工业工程人才培养质量的不断提高奠定了坚实的基础。

随着教学改革不断推进，特别是互联网与多媒体时代背景对高校教育教学改革提出了新的要求，慕课、翻转课堂相继出现，同时对教材的内容与形式也提出了新的挑战，这次对系列教材进行第二次整体修订，充分考虑了这种需求的变化，参照《工业工程类专业本科教学质量国家标准》对工业工程基础课程与专业课程的要求，同时融入了作者近年来取得的教学改革成果，在修订过程中，一方面继续保持系列教材简明扼要、深入浅出、通俗易懂、易于自学的特点；另一方面力求通过数字化形式融入更加丰富的学习素材，并且大力邀请领域内有着丰富工作经验的相关企业人员参与教材的补充完善，以持续地提升教材质量，履行读者至上的承诺。

在教材的出版与使用过程中，同行们通过会议、邮件、电话、微信等多种方式给予我们许多支持与鼓励，也无私地给出了许多富有建设性的反馈意见，对此我们深表感谢！我们殷切希望广大读者在使用中继续帮助我们不断改进提升。

系列教材的再版得到了南京航空航天大学教材出版基金和江苏省高校品牌专业建设工程专项资金的资助，在此，特表深深的谢意！同时也特别感谢科学出版社的大力支持，他们不仅为教材出版辛勤地付出了许多，而且有着一种可贵的与时俱进精神。

周德群

教育部高等学校工业工程类专业教学指导委员会副主任委员  
南京航空航天大学经济与管理学院院长、教授、博士生导师

2016年5月

# 前 言

现代制造系统是集现代管理技术、先进制造技术、电子技术、信息技术、自动化技术、能源技术、材料技术等众多学科和技术的交叉、融合的综合性学科，涉及制造业中经营管理、产品设计、加工装配、质量检验、物流规划、回收利用等产品全生产周期过程。

随着市场向全球化、知识化的转变，制造业面临更为严峻的挑战。因此，为了提高市场竞争力，降低生产成本，快速响应市场需求，提高劳动生产效率，保证产品与服务的质量，降低以至消除对环境的污染和影响，现代制造系统必须向柔性化、敏捷化、可重构化、自动化、信息化、集成化、智能化、绿色化方向发展。目前，现代制造系统的规划、设计、建造与运行已成为制造科学研究与开发的热点。

本书历经十年的教学使用，获得良好反响。由于现代制造系统中的先进管理技术和先进制造技术发展迅猛，借再版之机，对教材内容与体系结构作了部分增删和修改。

修订与增加的内容如下。

第1章中增加了“制造模式的概念”“制造模式与制造哲理”“机械制造系统”“制造工程学科”“制造技术的概念”“CIMS/OSA 开放式体系结构”等内容。

原第2章和第6章整合成第2章“先进制造模式”，包括成组技术、并行工程、精益生产、敏捷制造、智能制造，并对相关内容进行增减与更新。

第3章原3.4节“微细加工技术”修订为3.4节“微纳加工技术”、增加3.4.3小节“纳米加工技术”，原3.5节“快速原型制造技术”修订为3.5节“增材制造技术”，增加了“三维打印”和3.5.3小节“增材制造技术的应用与发展”，删除了原3.5.3小节“RPM 的应用”。

第4章修订了4.1.1小节“数控技术基础”、4.1.2小节“数控编程原理”、4.1.3小节“CNC 系统”，并对4.1.4小节“数控技术的发展”内容进行更新。

第5章修订了5.1.3小节“机器人编程”、5.1.5小节“工业机器人的现状及发展趋势”，增加了“装配的定义”。

将原第7章改为第6章“绿色制造”，增加“绿色制造运行模式框架”“绿色制造的技术体系”“生命周期评估方法”“绿色设计流程”“生命周期设计程序”“并行绿色设计的流程”“干式加工技术”，修订“绿色制造发展趋势”“清洁生产的发展与应用”。

增加了第7章“工业4.0系统”。

本书系统地介绍了现代制造系统的基本知识、应用技术和研究方法，在保持现代制造系统知识的系统性和完整性的基础上，力求体现当今国内外先进管理技术和先进制造技术的最新成果，侧重内容的前沿性、综合性和交叉性。全书共分为7章，每章后面均附有思考与练习题。本书同时提供教学课件、案例等数字化材料方便教师及学生课后拓展阅读，加深对课程知识的感性认识与理解。

本书由庄品主编，南京航空航天大学教师庄品博士编写了第1、2、4、6章及第5章的5.1节，沈阳飞机制造公司研究员级高级工程师杨春龙编写了第3章及第5章的5.2节，南京航空航天大学教师欧阳林寒博士编写了第7章。全书由庄品统稿。

本书中部分资料及数据参考或直接引用了参考文献中的内容，在此对所参阅资料的作者及机构深表感谢！本书所涉及的内容广泛、学科跨度大，书中难免有疏漏和不足，恳请专家及读者批评指正。

庄 品

2017年1月15日

# 目 录

<b>第 1 章</b>	
	<b>制造系统的基本原理</b> ..... 1
1.1	制造系统概述 ..... 1
1.2	制造工程学科 ..... 15
1.3	CIMS ..... 22
	思考与练习题 ..... 41
<b>第 2 章</b>	
	<b>先进制造模式</b> ..... 43
2.1	成组技术 ..... 43
2.2	并行工程 ..... 52
2.3	精益生产 ..... 59
2.4	敏捷制造 ..... 65
2.5	智能制造 ..... 74
	思考与练习题 ..... 79
<b>第 3 章</b>	
	<b>先进制造工艺技术</b> ..... 81
3.1	先进制造工艺技术概述 ..... 81
3.2	超高速加工技术 ..... 85
3.3	超精密加工技术 ..... 94
3.4	微纳加工技术 ..... 109
3.5	增材制造技术 ..... 114
	思考与练习题 ..... 122
<b>第 4 章</b>	
	<b>制造自动化系统</b> ..... 123
4.1	数控加工系统 ..... 123



4.2	FMS .....	148
	思考与练习题 .....	167
<b>第 5 章</b>		
	<b>工业机器人及装配自动化</b> .....	169
5.1	工业机器人 .....	169
5.2	装配自动化 .....	190
	思考与练习题 .....	203
<b>第 6 章</b>		
	<b>绿色制造</b> .....	204
6.1	绿色制造概述 .....	204
6.2	绿色产品及其评价 .....	219
6.3	绿色设计技术 .....	230
6.4	绿色生产技术 .....	244
6.5	绿色包装技术 .....	254
	思考与练习题 .....	260
<b>第 7 章</b>		
	<b>工业 4.0 系统</b> .....	261
7.1	工业 4.0 系统概述 .....	261
7.2	工业 4.0 的内涵 .....	264
7.3	工业 4.0 的关键技术 .....	275
7.4	工业 4.0 的实践 .....	285
7.5	《中国制造 2025》 .....	297
	思考与练习题 .....	309
	<b>参考文献</b> .....	311



## 第1章

# 制造系统的基本原理

制造业是将可用资源与能源，通过制造过程，转化为可供人们使用或利用的工业品或生产消费品的行业。它涉及国民经济的很多行业，如机械、电子、轻工、化工、食品、军工、航天等。可以说，制造业是国民经济和综合国力的支柱产业。

制造业一方面创造价值，生产物质财富和新的知识，另一方面为国民经济各个部门包括国防和科学技术的进步与发展提供先进的手段及装备。在工业化国家，约有1/4的人口从事各种形式的制造活动，在非制造业部门，约有半数人的工作性质与制造业密切相关。据估计，工业化国家70%~80%的物质财富来自制造业，因此，很多国家特别是美国，把制定制造业发展战略列为重中之重。美国认为，制造业不仅是一个国家国民经济的支柱，而且对经济和政治的领导地位也有着决定性影响。1987年美国国防部的一份报告指出，要重振美国经济雄风，要在21世纪全球经济中继续保持美国经济霸主地位，必须大力重振制造业。制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响，在21世纪的工业生产中具有决定性的地位和作用。

## 1.1 制造系统概述

### 1.1.1 制造系统的基本概念

#### 1. 制造的概念及分类

##### 1) 制造的概念及内涵

制造 (manufacture) 有广义与狭义之分。传统上，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，狭义的制造就是指加工。因此，制造可定义为使用一系列的能量，把原材料的几何、物理和化学性态进行预定变化，获取产品的过程。制造过程是将制造资源 (原材料、劳动力、能源等) 转变为有形财富或产品的过程。

随着社会的进步和制造活动的发展，制造的内涵也在不断深化和扩展。农业社会阶段及以前时期，制造活动主要是采用简单工具 (石器、铜器、铁器等) 的手工制造，

制造的对象主要是自然界地表层的天然物质资源。工业社会阶段，制造活动发展为采用复杂机器作为工具的机器制造，并且随着科学技术的发展，新的制造模式不断出现，如机械化流水线制造、自动化制造等，制造的对象主要是埋藏在地下的石油和其他矿产资源。今天，世界已跨入信息社会阶段，现代制造模式如柔性制造、集成制造、敏捷制造、智能制造、纳米制造、生物制造等不断涌现，制造的对象已经扩大到分子、原子，甚至是蕴藏在人们头脑中的信息、知识等无形资源。有关专家指出，下一个社会阶段将相继是纳米科技时代和生物科技时代，以分子、原子等为对象的纳米制造和以基因技术为核心的生物制造将闪亮登场，制造的主要对象将扩大到基因资源和微观领域的各种资源。专家们预言，将用纳米科技“营造自然界尚不存在的新的物质体系”，将用基因“重塑世界”。

1983年，国际生产工程学会（International Institution for Production Engineering Research, CIRP）把制造定义为：“包括制造企业的产品设计、材料选择、规划、制造的生产、质量保证、管理和营销的一系列有内在联系的活动与运作/作业。”这一定义使制造的概念突破了传统的狭义观念。1998年，美国国家研究委员会（United States National Research Council, NRC）把制造定义为：创造、开发、支持和提供产品与服务所要求的过程与组织实体。1999年，美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）定义现代制造包括产品的设计与开发、产品规划、销售和服务，以及实现这些功能所应用的技术、流程/过程及人与技术结合的途径等。2002年，美国生产与库存控制学会（American Production and Inventory Control Society, APICS）定义制造包括设计、物料选择、规划、生产、质量保证、管理和对离散顾客与耐用货物营销的一系列相互关联的活动和运作/作业。

因此，制造的概念是一个不断发展进化的概念。现代制造以社会、经济发展需求为目标，以资源和资源转换为对象，以现代制造科学与技术为基础，以制造系统为载体，以信息化、网络化、生态化和全球化为环境和背景，展现在我们面前。

## 2) 制造的分类

制造可分为三大类：基础制造、变换和制造。

(1) 基础制造，指的是获取自然资源，并把它们转换成能被其他制造业利用的原材料。

(2) 变换，指的是把基础制造的输出转换为工业产品。

(3) 制造，指的是把坯件经加工装配成最终产品的生产。

## 2. 制造模式的概念

### 1) 模式的定义

模式（mode）是某种事物的标准形式或使人可以照着做的标准样式。在社会科学中，模式是研究社会现象的理论图式和解释方案，也是一种思想体系和思维方式，如进化模式、冲突模式等。

### 2) 制造模式的定义

制造模式（manufacturing mode）是指企业体制、经营、管理、生产组织和技术

系统的形态结构与运作模式。从广义的角度看，制造模式就是一种有关制造过程和制造系统建立与运行的哲理及指导思想，是制造系统实现生产的典型组织方式，是制造企业经营管理方法的模型，是提供给制造系统通用的和全局的样板，是众多同类系统模仿的典范。

因此，制造过程的运行、制造系统的体系结构及制造系统的优化管理与控制等均受到制造模式的制约，必须遵循由制造模式所确定的规律。

在农业社会阶段，制造模式是手工作坊的生产，产品设计、加工、装配和检验工作基本上都由手工完成。从19世纪中叶到20世纪中叶，产品制造过程的专业化分工和互换性技术迅速发展，制造模式是刚性生产，流水线提高了劳动生产率，降低了成本。20世纪后半叶，顾客多样化需求和竞争加剧，产品生产向多品种、小批量、缩短生产周期方向发展，刚性生产模式渐渐被柔性生产模式所代替，出现了柔性制造、计算机集成制造（computer integrated manufacturing, CIM）、敏捷制造、精益生产、可重构制造、虚拟制造、绿色制造、智能制造等。

### 3) 制造模式与制造哲理

制造哲理（manufacturing philosophy）是关于制造系统的世界观，是客观反映制造系统在人脑中的主观影像，也是人们设计或改造制造系统时所依据的基本概念、原则、思想和理论。制造模式的基础是制造哲理，是制造哲理在制造系统中的反映，制造模式反映制造系统在运行过程中所遵循的规律。

## 3. 制造系统的概念

### 1) 系统的定义

《辞海》中将系统定义为“自成体系的组织；相同或相类似的事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体”。在自然辩证法中，同要素组成一对范畴，是由若干相互联系和相互作用的要素组成的具有特定功能的统一整体；要素构成系统组成单元。《朗文当代英语字典》将系统解释为：“一组经常交互或相互关联的物体组成的整体；一个关于原则、思想和原理的有机集合，用于解释一个系统性整体的安排和运动。”

一般系统论的奠基人贝塔朗非把系统定义为：系统是相互作用诸要素的综合体。现在对于系统比较普遍的定义为：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。

### 2) 制造系统的定义

关于制造系统的定义，尚在发展和完善之中，至今还没有统一的定义。

英国著名学者 Parnaby 于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1990年公布的制造系统的定义：制造系统是制造业中形成制造生产的有机整体。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。

美国麻省理工学院教授 Chryssolouris 于1992年给出的定义为：制造系统是人、机

器和装备及物料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来定义。

(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和最小成本转变成产品。

(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。

综合以上几种定义，可将制造系统定义如下：制造系统是包含从原材料供给到销售服务的所有制造过程及其所涉及的硬件和有关软件所组成的具有特定功能的一个有机整体。其中，硬件包含人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置；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。

### 3) 机械制造系统

机械制造系统是一种典型的制造系统，它由可实现物质转化、信息传递或转换的机床、夹具、刀具、被加工零件、操作人员等组成，是具有制造功能的有机整体。诸如工业、石油、化工、仪器仪表、建筑、印刷、纺织、矿冶、农业、交通、食品、医疗、医药、家电、通信、航空航天、船舶、电子等部门的机械制造都属于这一范畴。图1-1描述了机械制造系统所涉及的领域和生产构成。

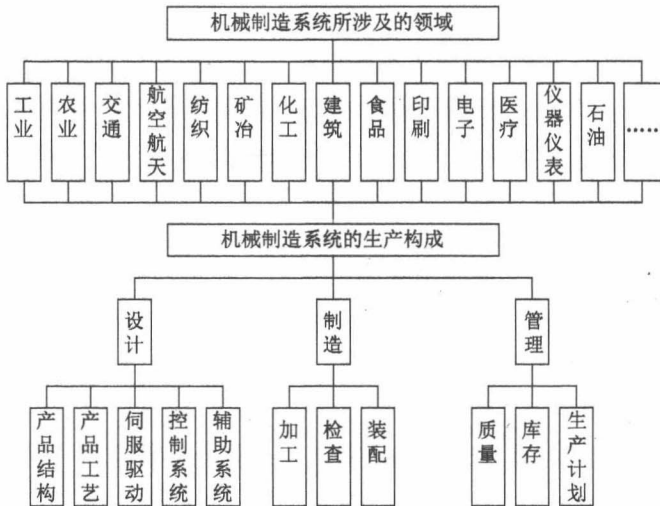


图 1-1 机械制造系统涉及的领域和生产构成

一般情况下，机械制造系统是复杂的离散事件动态系统，它输入制造资源（毛坯或半成品、能量、信息和劳动力），经过机械加工过程输出零件或者产品（成品），这个过程就是制造资源向零件或产品（成品）的转换过程。制造系统的典型结构如图 1-2 所示。



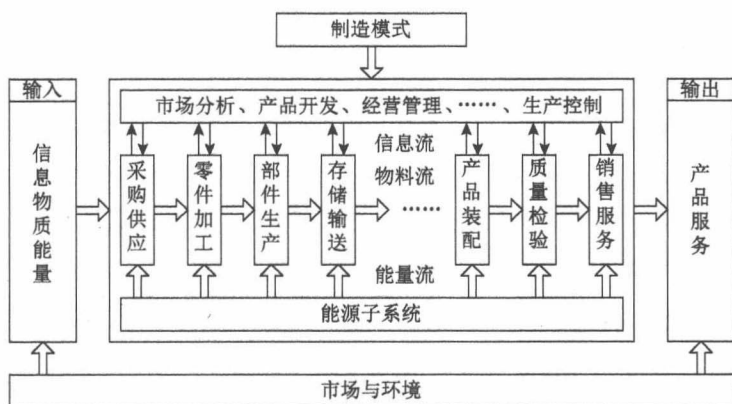


图 1-2 制造系统的典型结构

#### 4. 制造系统的基本特性

必须用系统科学和工程的观点与方法来研究描述制造系统的概念及制造系统的基本特性。制造系统是一个按规定顺序、定向的转换过程，是一个具有非线性、远离平衡态、有耗散特征的动态开放式系统。

制造系统的基本特性如下。

(1) 集合性。制造系统是由两个或两个以上的子系统组成的集合体。

(2) 相关性。制造系统内各子系统是相互联系的。集合性确定了制造系统的组成要素，而相关性则说明这些组成要素之间的关系。制造系统中任一要素与存在于该制造系统中的其他要素是互相关联和互相制约的，当其中某一要素发生变化时，其他相关联的要素也需要相应改变和调整，以保持系统的整体最优性。

(3) 目的性。制造系统是一个整体，要完成一定的制造任务，或者说要达成一个或多个目的。其主要目的就是把制造资源转变成产品或财富。

(4) 环境适应性。一个具体的制造系统，必须具有对周围环境变化的适应性。外部环境与系统是互相影响的，两者之间必然要进行物质、能量或信息的交换。制造系统应是具有动态适应性的系统，表现为以最少的时间去适应变化的环境，使系统接近理想状态。

(5) 动态性。制造系统总是处于生产要素（原材料、能量、信息、技术等）不断输入，产品不断输出的动态过程中。硬件、软件、人、组织等处于不断变化和发展之中，制造系统要不断适应激烈的市场竞争和市场需求变化，不断更新与完善运行机制，重组制造系统结构，不断向更高形式发展。

(6) 反馈性。制造系统在运行过程中，其输出状态（如产品质量信息和制造资源利用状况）总是不断地反馈回制造过程的各个环节中，从而实现制造过程的不断调节、改进和优化。

(7) 随机性。制造系统中有很多随机因素，从而使制造系统具有很强的随机性。例如，制造系统对产品的市场需求、产品的制造与装配质量等均有随机性，因而给制造系统的控制带来很大的难度。

### 1.1.2 制造系统的分类

制造业的生产过程千差万别,采用什么标准来对制造系统进行分类,是研究制造系统的重要问题。根据划分制造系统类型的目的,分类标志应该采用能反映制造过程主要特征的那些因素,如产品的结构特征、使用功能、制造工艺和制造系统规模等。从不同角度,可对制造系统进行如下分类。

#### 1. 按制造工艺类型分类

(1) 离散型制造系统:机械制造、家具制造、服装、电子设备制造行业的生产过程均属这一类型。制造工艺的特点是:它的产品是由许多零部件构成的,各零件的加工过程彼此是独立的,制成的零件通过部件装配和总装配最后成为成品。离散型制造系统生产管理的特点,除了要保证及时供料和稳定的加工质量外,更重要的是要控制零部件的生产进度,保证生产的成套性。因为如果生产的品种、数量上不成套,只要缺少一种零件,就无法装配出成品来。另外,如果在生产进度上不能按时成套,那么由于少数零件的生产进度拖期,必然会延长整个产品的生产周期,以至延误产品的交货期。同时,还要蒙受大量在制品积压和生产资金积压的损失。

(2) 连续型制造系统:化工、炼油、造纸、水泥等是连续型制造系统的典型。制造工艺的特点是:工艺过程是连续进行的;工艺过程的加工顺序是固定不变的,生产设施按照工艺流程布置;生产对象按照固定的工艺流程连续不断地通过一系列设备和装置,被加工、处理成为成品。对于连续型制造系统生产管理重点是要保证连续供料和确保每一生产环节在工作期间都正常运行。因为任何一个生产环节出现故障,就会引起整个生产过程的瘫痪。由于连续型制造系统产品和生产工艺相对稳定,通常采用各种自动化装置,实现对生产过程的实时监控。

#### 2. 按生产批量分类

(1) 单件小批量制造系统:单件小批量制造系统生产的特点是产品对象基本上是一次性需求的专用产品,一般不重复生产。因此生产中品种繁多,生产对象不断变化,生产设备和工艺装备必须采用通用性的,工作地的专业化程度很低。生产过程属于单件小批量制造类型的企业以重型机器制造、大型发电设备制造、远洋船舶制造等企业为典型代表。

(2) 批量制造系统:批量制造系统生产的对象是通用产品,生产具有重复性。它的特点是生产的品种较多,每种品种的产量不大,每一种产品都不能维持常年连续生产,所以在生产中形成多种产品轮番生产的局面。这一生产类型的典型企业是机床制造厂、机车制造厂等。

(3) 大批量制造系统:特点是生产的品种少,每一种品种的产量大(或单位产品劳动量和年产量的乘积很大),生产过程稳定地、不断重复地进行。一般这类产品在一定时期内具有大且相对稳定的社会需求量。例如,电冰箱、电视机等家用电器及灯泡、电池、轴承等标准零部件。

### 3. 按生产计划分类

(1) 备货型 (make-to-stock, MTS) 制造系统: 是指在接到用户订单时, 经过市场预测按已有的标准产品或产品系列进行的生产, 生产的直接目的是补充成品库存, 通过维持一定量成品库存即时满足用户的需要。例如, 轴承、紧固件、小型电动机等产品的生产属于 MTS 生产, 这些产品的通用性强, 标准化程度高, 有广泛的用户。

(2) 订货型 (make-to-order, MTO) 制造系统: 是指按用户特定的要求进行的生产。用户可能对产品提出各种各样的要求, 经过协商和谈判, 以协议或合同的形式确认对产品性能、结构、质量、数量和交货期的要求, 然后组织设计和制造。例如, 锅炉、船舶等产品的生产, 属于 MTO 生产, 这些产品的专用性强, 大多数是非标准的, 有特定的用户。

### 4. 按层次结构分类

(1) 单元级制造系统: 是组成更高效制造系统的基础, 其主要任务是实现给定生产任务的优化分批, 实施制造资源的合理分配和利用, 控制资源的活动, 高效地完成给定的全部生产任务。产品的物理转换都是由单元级制造系统来实现的。

(2) 车间级制造系统: 通过生产计划将上层输入的加工订单分解为可执行的工序计划。在生产过程中, 进行生产调度和控制。它的功能主要有: 完成物料处理的活动, 包括运输、储存、加工及测试检验等; 进行车间生产的管理、生产作业计划、生产调度和控制。

(3) 企业级制造系统: 又称为工厂级制造系统, 它可以达到在全厂范围内生产管理、机械加工和物料储运过程全盘自动化, 并由计算机系统控制。

(4) 全球制造系统: 利用全球异地的资源来制造市场所需产品, 资源和信息的共享通过全球互联网进行。全球制造的特点是制造工厂和销售服务遍布全世界, 全球化的产品通过网络协调运作, 把分布在世界各地的工厂和销售点连接成一个整体。

## 1.1.3 制造系统的组成

### 1. 制造系统的基本要素

从制造系统的基本模型可以看出 (图1-3), 制造系统由六大要素组成, 即输入、转换过程、机制、约束、反馈和输出。

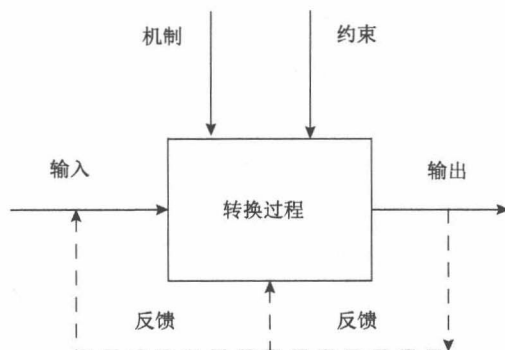


图 1-3 制造系统的基本模型

### 1) 输入

资源输入是实现转换功能的必备和前提条件，主要有两大类。

(1) 有形资源，如土地、厂房、机器、设备、能源、动力及各种自然资源和人力资源等。

(2) 无形资源，主要有管理、市场、技术、信息、知识、智力资源及企业形象、企业文化、产品品牌、客户关系、公众认可等。

### 2) 转换过程

主要是依靠物理的或化学的原理，把各种输入转换成输出的过程。衡量转换的优劣主要有五大指标（TQCSE），即时间（time）短、质量（quality）优、成本（cost）低、服务（service）好、环境（environment）清洁。

### 3) 机制

主要是支撑企业实现资源转换的各种平台，如硬件平台、软件平台、战略平台、知识平台、文化平台等。

(1) 硬件平台。主要指生产设施、设备和系统等，如生产线、设计系统、试验系统、信息网络等基础设施，是企业系统的最基本的物质平台。

(2) 软件平台。除计算机软件外，还泛指管理思想、管理模式、管理规范、政策法规、规章制度等。

(3) 战略平台。战略平台指采用的竞争战略、制造战略，如敏捷竞争战略及其相应的敏捷制造模式。

(4) 知识平台。在知识经济时代，企业更加重视人的作用，更加重视知识的生产、分配和使用，建立了一套全新的知识供应链和知识管理系统；开发、管理和利用知识是先进制造系统的另一重要战略，只有那些能更快地把信息的海洋转换为有用知识的企业才能战胜竞争对手。

(5) 文化平台。知识时代，企业间的较量更多地表现为企业的整体科技素质和更深刻的文化内涵，企业文化建设的重要作用越来越凸显出来。

### 4) 约束

主要是指企业的外部约束控制，如国家的方针政策、法律法规、标准规范及其他的有关要求和约束，如环境保护、社区要求等。

### 5) 反馈

制造系统在运行过程中，其输出状态（如制造资源利用状况、产品质量反馈和顾客反馈）的信息总是不断反馈到制造过程的各个环节中，从而实现产品全生命周期中的不断调节、改进和优化。

### 6) 输出

输出是企业系统的基本要素，也是企业系统存在的前提条件。现代企业系统对社会环境的输出至少应包含以下三种类型。

(1) 产品，包括硬件产品和软件产品。

(2) 服务，包括售前服务、售后服务、技术输出、人员培训、咨询服务等。

(3) 信息，包括质量信息、价格信息、运输信息、生产计划信息等。