




21 世纪高等院校教材·工业工程系列

# 现代制造系统

庄品 周根然 张明宝 编著



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

21 世纪高等院校教材·工业工程系列

# 现代制造系统

庄品 周根然 张明宝 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。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,主要内容包括:制造系统的基本原理、成组技术、先进制造工艺技术(超高速加工技术、超精密加工技术、微细加工技术和快速原型制造技术)、制造自动化系统(数控加工系统和柔性制造系统)、工业机器人及装配自动化、先进制造模式和绿色制造。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,也可作为制造业管理人员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,周根然,张明宝编著. —北京:科学出版社, 2005

21世纪高等院校教材·工业工程系列

ISBN 7-03-016168-8

I. 现… II. ①庄…②周…③张… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第094590号

责任编辑:卢秀娟 林 建/责任校对:朱光光

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年8月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张: 21 1/2

印数: 1—3 000 字数: 410 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

## 丛 书 序

教材是科学知识的载体，是教学内容和教学要求的具体体现，是教师组织教学的主要依据。教材质量与教育质量息息相关，高水平教材是培养高素质人才的基本工具。

正是基于对教材质量在人才培养过程中重要作用的认识，南京航空航天大学经济与管理学院历来十分重视教材建设工作。从20世纪80年代起，坚持组织资深教授负责编写各科教材，并且相继由著名出版机构出版了一批有影响的教学用书。教师在教材建设园地里辛苦耕耘，换来的是人才培养质量的丰硕成果。

南京航空航天大学是在国内最早开办工业工程专业的高校之一，一直是江苏省工业工程专业委员会的挂靠单位。20世纪90年代，南京航空航天大学曾与香港理工大学联合组织出版了一套工业工程培训教材，满足了当时教学工作的迫切需要，产生了一定影响。多年来，南京航空航天大学经济与管理学院工业工程专业注意加强定量方法（模型、预测、决策）类课程的教学，逐步形成了较为鲜明的定量化特色，要求学生掌握现代管理理论、方法和工具，强调学生的综合素质和实际动手能力。一些高年级学生和大多数研究生在校期间能够运用所学知识参与相关课题的研究，收集整理数据，建立数学模型，撰写研究报告。待毕业后到了工作单位，已经是具有丰富实际经验的“老手”，深受用人单位欢迎。

2004年，南京航空航天大学经济与管理学院的工业工程专业被确定为江苏省同类专业中唯一一个重点建设的品牌专业，使我校工业工程专业的社会声誉进一步提升。同时，对我们的教育质量也提出了新的更高要求。与之相应的教材建设任务也进入重要议事日程。在南京航空航天大学和科学出版社领导的大力支持下，我们组织力量着手进行这套工业工程专业系列教学用书的编写工作。可以说，这套教材的每一册都是在作者多年讲授有关课程和从事相关课题研究的基础上凝练而成的，同时也吸收了国内外学者的研究成果。在撰稿过程中，我们始终要求参加编写工作的老师们坚持读者至上的原则，在理论阐述上力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂、易于自学，对相关方法和应用技术的讨论，则力求清晰、详尽而不累赘。因此，这套教材也是一套适宜于政府部门、企事业单位的管理干部、工程技术人员和理工科学生系统学习现代工业工程方法与技术的自学参考书。

丛书的编写得到了科学出版社和南京航空航天大学教材出版基金资助，在此，我代表编委会全体同仁向支持丛书出版的领导和专家表示深深的谢意！

好的教材是在多年教学实践的锤炼中逐步形成的，需要根据教学改革、专业设置和学科发展的要求不断充实、修订、完善。殷切期望有关专家、老师和广大读者将使用这套教材时发现的问题以及改进意见和建议及时反馈给我们，以便修订时借鉴。

国家有突出贡献的中青年专家  
南京航空航天大学特聘教授、博士生导师 **刘思峰**  
经济与管理学院院长

2005年5月20日

# 前 言

现代制造系统是由现代管理技术、先进制造技术、电子技术、信息技术、自动化技术、能源技术和材料技术等众多学科和技术的交叉、融合而成的综合性学科，涉及制造业中经营管理、产品设计、加工装配、质量检验、物流规划和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、绿色化的方向发展。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、成组技术、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、先进制造模式和绿色制造。全书各章既有联系，又有一定的独立性。每章后面均附有思考与练习题。

本书由庄品博士主编。具体分工如下：庄品编写第1、3、4、7章及第5章的5.1部分；周根然副教授编写第2章及第5章的5.2部分；张明宝博士编写第6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！由于现代制造系统中的管理技术和制造技术发展迅猛，涉及内容广泛、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。

编 者

2005年6月

# 目 录

丛书序

前 言

<b>第1章 制造系统的基本原理</b> .....	1
1.1 制造系统概述 .....	1
1.2 新一代制造系统 .....	11
1.3 计算机集成制造系统 .....	27
思考与练习题 .....	45
本章参考文献 .....	45
<b>第2章 成组技术</b> .....	47
2.1 成组技术的基本原理 .....	47
2.2 零件分类编码系统 .....	50
2.3 零件的分组(族)方法 .....	55
2.4 成组技术的应用及经济效益 .....	61
思考与练习题 .....	71
本章参考文献 .....	72
<b>第3章 先进制造工艺技术</b> .....	73
3.1 概述 .....	73
3.2 超高速加工技术 .....	75
3.3 超精密加工技术 .....	93
3.4 微细加工技术 .....	111
3.5 快速原型制造技术 .....	122
思考与练习题 .....	138
本章参考文献 .....	138
<b>第4章 制造自动化系统</b> .....	139
4.1 数控加工系统 .....	139
4.2 柔性制造系统 .....	167
思考与练习题 .....	191
本章参考文献 .....	191
<b>第5章 工业机器人及装配自动化</b> .....	193
5.1 工业机器人 .....	193

---

5.2 装配自动化 .....	217
思考与练习题 .....	231
本章参考文献 .....	231
<b>第6章 先进制造模式</b> .....	<b>232</b>
6.1 并行工程 .....	232
6.2 准时制生产 .....	240
6.3 精益生产 .....	246
6.4 敏捷制造 .....	250
6.5 虚拟制造 .....	259
6.6 智能制造 .....	265
思考与练习题 .....	269
本章参考文献 .....	270
<b>第7章 绿色制造</b> .....	<b>271</b>
7.1 绿色制造概述 .....	271
7.2 绿色产品及其评价 .....	282
7.3 绿色设计技术 .....	295
7.4 绿色生产技术 .....	312
7.5 绿色包装技术 .....	327
思考与练习题 .....	334
本章参考文献 .....	335



# 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。它涉及到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，产生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和装备。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，工业化国家约 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。它们认为，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，就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

#### 1.1.1.1 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以获取产品的过程。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地深化和扩展。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(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(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(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/过程以及人与技术结合的途径等。2002年,美国生产与库存控制学会(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。

### 1.1.1.2 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；要素是构成系统组成的单元。1994年版 Longman 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菲把系统定义为：“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是：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 年给出的定义是：“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。”

美国麻省理工学院 (MIT) 教授 G. Chryssolouris 于 1992 年给出的定义是：“制造系统是人、机器和装备以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，可将制造系统定义为：“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. 制造系统的概念模型

从制造系统的概念模型可以看出（如图 1-1 所示），制造系统由五大要素组成：资源输入、资源转换、控制、机制、输出。

### 1) 资源输入

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：

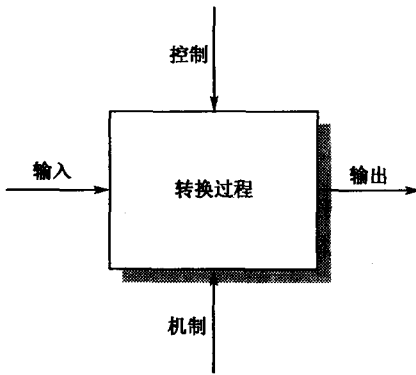


图 1-1 制造系统的概念模型

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

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

### 2) 资源转换

资源转换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

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。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。在走向知识经济时代，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上，企业文化建设的重要作用越来越凸现出来。

### 4) 控制

控制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、标准规范以及其他的有关要求和约束，如环境保护、社区要求等。

### 5) 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。

### 1.1.2 制造系统的分类

制造业的生产过程千差万别，采用什么标志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，例如产品的结构特征、使用功能、制造工艺和制造系统规模等等。从不同角度，对制造系统进行分类如下：

#### 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，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的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

单件小批生产类型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，生产对象不断在变化，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生产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

大批量制造系统的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、电视机等家用电器以及灯泡、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

备货型制造系统是指在没有接到用户订单时，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备货型生产，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

订货型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，属于订货型生产，这些产品的专用性强，大都是非标准的，有特定的用户。

## 1.1.3 制造系统的基本理论

### 1.1.3.1 制造系统的基本特性

必须用系统科学和工程的观点和方法来研究描述制造系统的概念和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包括：

(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。制造系统内的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地改变和调整，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，或者说要达到一个或多个目的。其主要目的就是要将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）的不断输入，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，不断更新和完善运行机制，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。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。

### 1.1.3.2 制造系统的各种“流”理论

#### 1. 制造系统的“五流”理论

制造系统的资源转换本质上是一个过程，是一个面向客户需求、不断适应环境变化、不断改善和进化的动态过程。在制造系统的资源转换过程中，有五种要素流在流动，极大地影响着制造系统运行的质量和发展的活力，这就是物料流、资金流、价值流、信息流和工作流，如图 1-2 所示。

##### 1) 信息流

根据类型将信息分为需求信息和供给信息。需求信息如客户订单、生产计划、采购合同等从需求方向供应方流动，这时还没有物料流动，但是它却引发物流。而供给信息如入库单、完工报告单、库存记录、提货单等，同物料一起从供应方向需求方流动。广义上讲，物料、资金、价值都是以信息的形式向人们反映。

##### 2) 物料流

任何制造系统都是根据客户和市场的需要，开发产品，购进原料，加工制造出成品，以商品的形式销售给客户并提供售后服务。物料从供应方开始，沿着各

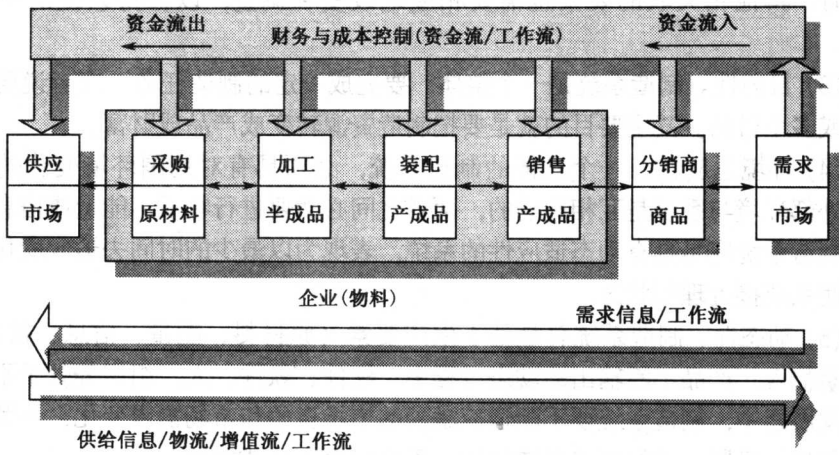


图 1-2 制造系统的“五流”示意图

个环节向需求方移动。这是最显而易见的物质流动。

### 3) 资金流

物料是有价值的，物料的流动引发资金的流动。企业系统的各项业务活动都会消耗一定的资源。消耗资源会导致资金流出，只有当消耗资源生产出产品出售给客户后，资金才会重新流回企业系统，并发生利润。一个商品的经营生产周期，是以接到客户订单开始到真正收回货款为止。为合理使用资金，加快资金周转，必须通过企业的财务成本控制系统来控制各个环节上的各项经营生产活动；通过资金的流动来控制物料的流动；通过资金周转率的快慢来体现企业系统的经营效益。

### 4) 价值流

从形式上看，客户是在购买商品和服务，但实质上客户是在购买能提供效益价值的商品和服务。各种物料沿各环节移动，是一个不断增加其技术含量的或附加值的增值过程。

### 5) workflow

信息、物料、资金都不会自己流动，物料的价值也不会自动增值，它们都要靠人的劳务来实现，要靠企业系统的业务活动—— workflow 来带动。 workflow 决定了各种流的流速和流量，企业系统的体制组织必须保证 workflow 畅通，对瞬息万变的环境做出响应，加快各种流的流速（生产率），在此基础上增加流量（产量），为企业系统谋求更大的效益。

由上可见，通过过程重组和优化特别是五种要素流的合理配置和协同运作，可改善和提高制造系统的过程特性。这里涉及到企业流程重组的各种理论和方法。



## 2. 机械加工系统的“三流”理论

机械加工系统作为制造系统中的一个特例，在运行过程中，无时无刻不伴随着“三流”的运动，即总是伴随着物料流、信息流和能量流的运动。机械加工系统的“三流”示意图如图 1-3 所示。

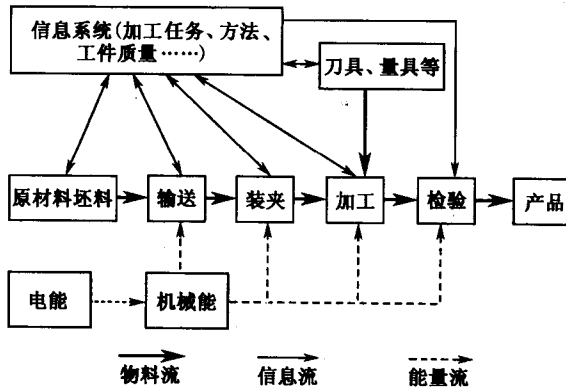


图 1-3 机械加工系统“三流”示意图

### 1) 物料流

机械加工系统输入的是原材料或坯料（有时也包括半成品）及相应的刀具、量具、夹具、润滑油、冷却液和其他辅助物料等，经过输送、装夹、加工检验等过程，最后输出半成品或产品（一般还伴随着切屑的输出）。整个加工过程（包括加工准备阶段）是物料输入和输出的动态过程，这种物料在机械加工系统中的运动被称为物料流。

### 2) 信息流

在机械加工系统中，必须集成各方面的信息，以保证机械加工过程的正常进行。这些信息主要包括加工任务、加工工序、加工方法、刀具状态、工件要求、质量指标、切削参数等等。这些信息又可分为静态信息（如工件尺寸要求、公差大小等）和动态信息（如刀具磨损程度、机床故障状态等）。所有这些信息构成了机械加工过程的信息系统，这个系统不断地和机械加工过程的各种状态进行信息交换，从而有效地控制机械加工过程，以保证机械加工的效率 and 产品质量。这种信息在机械加工系统中的作用过程称为信息流。

### 3) 能量流

能量是一切物质运动的基础。机械加工系统是一个动态系统，其动态过程是指机械加工过程中的各种运动过程。这个运动过程中的所有运动，特别是物料的