

教育部高等学校管理科学与工程类学科专业
教学指导委员会推荐教材

生产系统 建模与仿真

Modeling and Simulation of
Production Systems

周泓 邓修权 高德华 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部高等学校管理科学与
工程类学科专业教学指导委员会推荐教材

生 产 系 统 建 模 与 仿 真

周 泓 邓修权 高德华 编

机 械 工 业 出 版 社

本书以生产系统为对象,对系统建模与仿真的基本原理和技术方法进行了系统、全面的介绍,并辅以软件工具和应用案例的分析。其主要内容包括:系统、模型与仿真的基本概念;离散事件系统仿真基础;生产系统常用建模方法;随机数与随机变量的生成;仿真输入/输出数据分析;系统设计方案比较与仿真实验设计;面向生产系统的仿真软件及 Arena 在生产系统中的应用;基于多主体大规模复杂系统建模与仿真技术等。

本书可作为高等院校工业工程、系统工程和机械工程等专业本科生与硕士研究生相关课程的教材,也可作为有关领域管理人员及技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

生产系统建模与仿真/周泓,邓修权,高德华编. —北京:机械工业出版社,2012.8

教育部高等学校管理科学与工程类学科专业教学指导委员会推荐教材
ISBN 978-7-111-39319-1

I. ①生… II. ①周…②邓…③高… III. ①企业管理-生产管理-系统建模-高等学校-教材②企业管理-生产管理-系统仿真-高等学校-教材 IV. ①F273-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 175961 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

总策划:邓海平 张敬柱

策划编辑:易敏 责任编辑:易敏 刘静

版式设计:霍永明 责任校对:刘岚

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.5 印张·258 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39319-1

定价:29.00 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

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以生产系统为对象,全面论述了系统建模与仿真的基本原理和技术方法,并辅以软件工具和应用案例的介绍与分析,旨在使学生对系统建模与仿真技术(特别是计算机仿真技术)在生产系统领域的应用能够有一个较为全面的认识和理解,并在系统掌握相关理论知识的同时,培养和增强自身的实践意识与能力。

本书编者多年从事生产系统建模与仿真及相关领域的教学、科研工作,具有丰富的经验和完善的知识体系,并曾组织完成了多本教材的编写或翻译工作。编者长期积累的大量素材和案例资料,为本书的编写提供了重要的基础和保证。同时,在本书编写过程中,编者还注重搜集并引入国内外有关的最新教改、教研成果。

本书具有以下特色:

(1) 以工业工程专业全日制普通本科生及应用型本科生的人才培养目标为出发点,注重将本书内容与该专业整个课程体系相互融合和衔接,并充分考虑课堂教学实际的需要。

(2) 本书以生产系统为对象,以应用案例为主线,以启发式方法为手段,以培养实践技能为目的,对系统建模与仿真的基本原理、技术和方法进行了全面、系统的论述,注重激发学生的探索意识和创新意识,注重对学生实践及应用能力的培养。

(3) 本书在论述系统建模与仿真基本理论的同时,还兼顾了对本学科发展最新前沿的简要介绍。全书力求框架结构合理、体系完整、内容丰富、详略得当,具有较强的针对性。

全书的结构与内容安排如下:

第1章为绪论,介绍系统、模型与仿真的基本概念,生产系统及其基本特性,当前生产系统所面临的主要问题以及生产系统建模与仿真的主要内容。

第2~7章为基础理论部分,讲述生产系统建模与仿真的基本理论和方法。它包括:离散事件系统的基本概念与原理、生产系统建模方法、随机数与随机变量的生成、仿真数据分析、系统设计方案的比较与仿真实验设计、仿真模型的校核、验证与确认等。

第8章为软件应用部分,结合 Arena 软件,讲述生产系统建模与仿真的具体应用与案例。其内容包括:生产系统常用仿真软件概述, Arena 基本建模分析和 Arena 输入/输出分析器,以及 Arena 在生产系统建模与仿真中的应用案例等。

第9章为提高部分,简要介绍基于多主体的大规模复杂系统建模与仿真技术的基本概念与理论方法,并结合 jES 仿真平台,介绍其在生产系统中的应用。

从完善学科体系的高度出发,进行了全方位的规划,既包括学科核心课、专业主干课教材,也涵盖了特色专业课教材,以及主干课程案例教材等。同时,为了保证整套教材的规范性、系统性、原创性和实用性,还从结构、内容等方面详细制定了本套教材的“编写指引”,如在内容组织上,要求工具、手段、方法明确,定量分析清楚,适当增加文献综述、趋势展望,以及实用性、可操作性强的案例等内容。此外,为了方便教学,每本教材都配有CAI课件,并采用双色印刷。

本套教材的编写单位既包括了北京大学、清华大学、西安交通大学、天津大学、南开大学、北京航空航天大学、南京大学、上海交通大学、复旦大学等国内的重点大学,也吸纳了安徽工业大学、内蒙古科技大学、中国计量学院、石家庄铁道大学等普通高校;既保证了本套教材的较高的学术水平,也兼顾了普适性和代表性。这套教材以管理科学与工程类专业本科生及研究生为主要读者对象,也可供相关企业从业人员学习参考。

尽管我们不遗余力,以满足时代和读者的需要为最高出发点和最终落脚点,但可以肯定的是,本套教材仍会存在这样或那样不尽如人意之处,诚恳地希望读者和同行专家提出宝贵的意见,给予批评指正。在此,我谨代表教指委、出版者和各位作者表示衷心的感谢!

齐二石

教育部高等学校管理科学与工程类学科专业教学指导委员会主任
于天津

序

当前,我国已成为全球第二大经济体,且经济仍维持着较高的增速。如何在发展经济的同时,建设资源节约型、环境友好型的和谐社会;如何从资源消耗型、劳动密集型的粗放型发展模式,转变为“科技进步,劳动者素质提高,管理创新”型的低成本、高效率、高质量、注重环保的精益发展模式,就成为摆在我们面前的一个亟待解决的课题。应用现代科学方法与科技成就来阐明和揭示管理活动的规律,以提高管理的效率为特征的管理科学与工程类学科,无疑是破解这个难题的一个重要手段和工具。因此,尽快培养一大批精于管理科学与工程理论和方法,并能将其灵活运用于实践的高层次人才,就显得尤为迫切。

为了提升人才育成质量,近年来教育部等相关部门出台了一系列指导意见,如《高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》等,以此来进一步深化高等学校的教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质创新型人才的需要。教育部高等学校管理科学与工程类专业教学指导委员会(以下简称教指委)也积极采取措施,组织专家编写出版了“工业工程”、“工程管理”、“信息管理与信息系统”、“管理科学与工程”等专业的系列教材,如由机械工业出版社出版的“21世纪工业工程专业规划教材”就是其中的成功典范。这些教材的出版,初步满足了高等学校管理科学与工程学科教学的需要。

但是,随着我国国民经济的高速发展和国际地位的不断提高,国家和社会对管理学科的发展提出了更高的要求,对相关人才的需求也越来越广泛。在此背景下,教指委在深入调研的基础上,决定全面、系统、高质量地建设一批适合高等学校本科教学要求和教学改革方向的管理科学与工程类学科系列教材,以推动管理科学与工程类学科教学和教材建设工作的健康、有序发展。为此,在“十一五”后期,教指委联合机械工业出版社采用招标的方式开展了面向全国的优秀教材遴选工作,先后共收到投标立项申请书300多份,经教指委组织专家严格评审、筛选,有60余部教材纳入了规划(其中,有20多种教材是国家级或省级精品课配套教材)。2010年1月9日,“全国高等学校管理科学与工程类学科系列规划教材启动会”在北京召开,来自全国50多所著名大学和普通院校的80多名专家学者参加了会议,并对该套教材的定位、特色、出版进度等进行了深入、细致的分析、研讨和规划。

本套教材在充分吸收先前教材成果的基础上,坚持全面、系统、高质量的建设原则,

本书由周泓、邓修权和高德华共同编写完成，并由周泓负责全书的结构设计、提纲的拟订和最终的审校工作。北京航空航天大学经济管理学院研究生白冰、张迪、张军伟、姜思思、康云鹏、黄大益等在本书的资料搜集和整理过程中做了大量的工作，保证了书稿编写的顺利进行，编者在此表示衷心的感谢。

本书得到了国家自然科学基金（No. 70872008；No. 71071008）和航空科学基金（No. 2010ZG51076）的资助。此外，编者还参阅了大量的文献资料，在此向这些文献资料的作者们致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中存有不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

教育部高等学校管理科学与工程类学科专业
教学指导委员会推荐教材

编 审 委 员 会

主 任：齐二石

委 员（按拼音排序）：

陈友玲	程 光	池仁勇	戴庆辉	邓修权	丁荣贵	杜 纲	方庆瑄
冯海旗	甘卫华	高举红	顾 问	郭 伏	韩同银	何 桢	洪 军
侯云先	胡奇英	贾铁军	蒋祖华	雷家骥	雷 明	李 华	刘炳辉
刘正刚	鲁建厦	吕建军	罗 党	马寿峰	马义中	马志强	梅 强
宁 凌	戚安邦	綦振平	邱菀华	沈 江	宋明顺	宋 伟	宋宇辰
苏 秦	孙明波	唐楚生	田 军	王长峰	王 成	王福林	王建民
王金凤	王雷震	王 谦	王淑英	王 旭	吴爱华	吴凤祥	相里六续
向 阳	肖 明	许映秋	薛恒新	杨 铭	余晓流	张勤生	张 新
赵喜仓	郑永前	周宏明	周 泓	周 宁	周跃进	朱永明	

秘 书 长：王 媛

副秘书长：邓海平 张敬柱

3.2.1 实体流图法的建模原理与过程	31
3.2.2 实体流图模型的人工运行	32
3.3 活动循环图法	33
3.3.1 活动循环图法的建模原理与过程	33
3.3.2 活动循环图法与实体流图法的比较	35
3.4 面向对象的建模方法与统一建模语言	36
3.4.1 面向对象的概念	36
3.4.2 面向对象分析与设计	37
3.4.3 对象建模技术	38
3.4.4 统一建模语言	39
3.5 Petri 网建模理论与方法	43
3.5.1 Petri 网的基本概念	43
3.5.2 Petri 网系统及其运行规则	46
3.5.3 Petri 网分析技术	48
复习思考题	49
第4章 随机数与随机变量的生成	50
4.1 随机数的生成及其性质	50
4.2 几种常用的随机数发生器	51
4.2.1 平方取中法	51
4.2.2 线性同余法	52
4.2.3 组合发生器	55
4.3 随机数发生器的性能检验	56
4.3.1 检验方法概述	56
4.3.2 参数检验	56
4.3.3 均匀性检验	57
4.3.4 独立性检验	60
4.4 随机变量的生成	61
4.4.1 反变换法	61
4.4.2 卷积法	64
4.4.3 组合法	65
4.4.4 舍选法	66
复习思考题	67
第5章 仿真数据分析	69
5.1 仿真输入数据采集与分析	69
5.1.1 仿真输入数据的采集和预处理	69
5.1.2 样本数据的独立性判别	70
5.1.3 分布形式假定	72

5.1.4 分布参数估计	76
5.1.5 拟合优度检验	77
5.2 仿真输出分析	77
5.2.1 系统的性能测度及其估计	77
5.2.2 终态仿真与稳态仿真	78
5.2.3 终态仿真的输出分析	79
5.2.4 稳态仿真的输出分析	80
复习思考题	82
第6章 系统设计方案的比较与仿真实验设计	84
6.1 系统设计方案的比较与评价	84
6.1.1 两种系统设计方案的比较	84
6.1.2 多系统设计方案的比较	85
6.2 方差缩减技术	87
6.2.1 方差缩减技术概述	87
6.2.2 对偶变量法	88
6.2.3 公共随机数法	89
6.3 仿真实验设计	90
6.3.1 仿真实验设计概述	90
6.3.2 仿真实验设计方法	91
复习思考题	94
第7章 仿真模型的校核、验证与确认	96
7.1 VV&A 概述	96
7.1.1 VV&A 的研究历史与现状	96
7.1.2 VV&A 的基本概念	97
7.1.3 VV&A 的基本原则	100
7.2 VV&A 的过程、技术与方法	102
7.2.1 VV&A 的过程	102
7.2.2 VV&A 的技术与方法	105
7.2.3 仿真模型验证的“三步骤”	106
复习思考题	109
第8章 面向生产系统的仿真软件	110
8.1 概述	110
8.1.1 仿真语言与仿真软件的发展	110
8.1.2 常用生产系统仿真软件介绍	111
8.2 Arena 的工作环境	115
8.2.1 Arena 的系统要求	115
8.2.2 Arena 的用户界面	116

8.2.3 Arena 中的模块	117
8.3 Arena 基本建模分析	118
8.3.1 流程图模块	118
8.3.2 数据模块	121
8.3.3 动画效果与图形绘制	122
8.3.4 设置仿真运行条件	124
8.3.5 仿真运行与仿真报告输出	124
8.4 Arena 输入/输出分析	126
8.4.1 输入分析器	126
8.4.2 输出分析器	129
8.5 Arena 在生产系统仿真中的应用	132
8.5.1 仿真问题描述	132
8.5.2 仿真模型构建	133
8.5.3 仿真运行结果	135
8.5.4 对生产能力的仿真分析	136
复习思考题	140
第9章 基于多主体的大规模复杂系统建模与仿真技术	141
9.1 基于多主体的建模与仿真技术	141
9.1.1 主体的概念	141
9.1.2 多主体系统与多主体仿真	142
9.1.3 多主体仿真建模的基本过程	143
9.1.4 多主体仿真平台介绍	143
9.2 基于 jES 平台的生产系统建模与仿真分析	146
9.2.1 jES 概述	146
9.2.2 应用案例	148
复习思考题	152
附录	153
附录 A 几种常用的概率分布表	153
附录 B 索引表	164
参考文献	170

如何理解系统、模型与仿真的基本概念？它们三者之间具有怎样的相互关系？什么是生产系统？生产系统具有怎样的基本特征？为什么要对生产系统进行建模与仿真？生产系统建模与仿真包括的主要内容有哪些？通过对本章的学习，读者可以对生产系统建模与仿真有一个初步的了解。

1.1 系统、模型与仿真

1.1.1 系统

系统一词最早出现于古希腊原子论创始人德谟克利特（Democritus，公元前 460 ~ 公元前 370 年）的著作《宇宙大系统》。在该书中，作者明确地论述了系统的含义，认为“任何事物都是在关联中显现出来的，都是在系统中存在的，系统关联规定每一事物，而每一关联又能反映系统关联的全貌”。由于系统这一概念具有十分丰富的内涵，国内外学术界从不同角度对系统进行了研究，给出了各种不同的定义，例如：

① 一般系统论的开创者贝塔朗菲（L. Von Bertalanffy）把系统定义为相互作用的诸要素的集合体。

② 美国著名学者阿柯夫（R. L. Ackoff）认为，系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素构成的集合。

③ 日本 JIS 标准把系统定义为“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的集合体”。

④ 我国著名科学家钱学森教授把系统定义为相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机体。

本书认为，系统是一组对象的集合或总和，它们按照某些规律结合起来，相互作用、相互依存，来达到某种特定的目的。例如，在制造汽车的生产系统中，工人、机器以及零部件等为生产高质量的交通工具而组织起来，一起在装配线上运作。

系统可以分为离散系统和连续系统两大类，如图 1-1 所示。离散系统是指状态变量只在某个离散的时间点集合上发生变化的系统；连续系统则是指状态变量随时间连续变化的系统。

实际上很少有系统是完全离散的或完全连续的，但对于大多数系统来说，由于某一类型的变化占据主导地位，因此会有可能将系统划分为离散的或连续的。

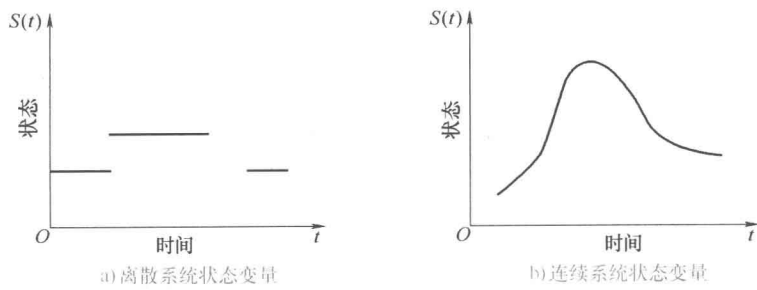


图 1-1 离散系统与连续系统

为了对系统进行描述，人们总结出系统的“三要素”，即实体、属性和活动。以某商品销售系统为例，如图 1-2 所示，所谓的实体是指组成该系统的具体对象，如经理、部门、商品、货币和仓库等；属性是指这些实体所具有的每一项有效特性，如部门的属性有人员数量、职能范围，商品的属性有生产日期、进货价格、销售日期、销售价格等；活动是指随着时间的推移，在系统内部由于各种原因而发生的变化过程，如在该商品销售系统中库存商品数量的变化、零售商品价格的增长等。

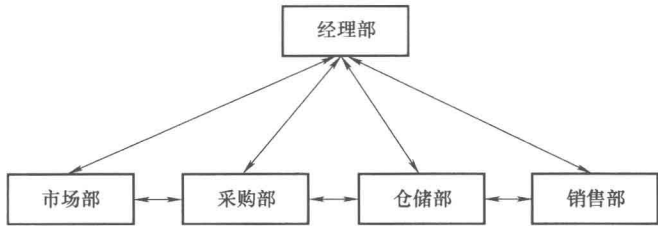


图 1-2 商品销售系统

尽管世界上的事物是相互联系的，但当对某一对象进行研究的时候，总是要将该对象与其所处的环境区别开来。因此，在定义一个系统时，首先要明确系统的边界。边界确定了系统的范围，边界以外对系统的作用称为系统的输入，系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。

系统边界的选取，有时依赖于研究的目的。举例来说，在工厂系统中，控制订单到达的因素可以被认为是处于工厂的影响之外，因此属于环境的一部分。然而，如果考虑供应对需求的影响，则在工厂输出和订单到达之间将会存在一种关系，而这一关系必须被认为是系统的一个活动。

1.1.2 模型

模型被定义为“用于研究目的的系统的表示”，是对现实世界的一种抽象。它描述了现实世界中实际系统的某些主要特点或属性，具有以下三个方面的特征：

- ① 它是对现实世界一部分的抽象或模仿。
- ② 它由与分析问题有关的因素构成。

③ 它表明了有关因素间的相互联系。

一般来说,模型可以划分为图形与实物模型和数学(分析)模型两大类。数学模型是使用符号标记和数学方程来对系统进行描述的。仿真模型则是系统的一类特殊数学模型,它又可以被进一步划分为静态的或动态的、确定性的或随机的、离散的或连续的,如图1-3所示。

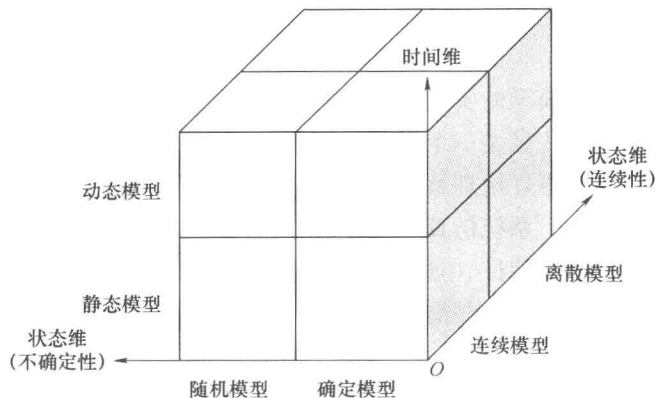


图 1-3 仿真模型分类

从定义上看,一方面,模型是系统的简化;另一方面,又要求模型必须足够详细,以便能够对真实的系统得出有效的结论。开发模型的目的是用模型作为替代来帮助人们对原物进行假设、定义、探究、理解、预测、设计,或与原物的某一部分进行通信。为了研究、分析、设计和实现一个系统,需要进行实验。实验的方法基本上可分为两大类:一种是直接在真实系统上进行;另一种是先构造模型,通过对模型的实验来代替或部分代替对真实系统的实验。传统上大多采用第一种方法,随着科学技术的发展,尽管第一种方法在某些情况下仍然是必不可少的,但第二种方法正逐渐成为人们更为常用的方法,其主要原因在于:

① 系统还处于设计阶段,真实的系统尚未建立,人们需要更准确地了解未来系统的性能,这只能通过对模型的实验来了解。

② 在真实系统上进行实验可能会破坏系统或引发故障。

③ 需要进行多次实验时,难以保证每次实验的条件相同,因而无法准确判断实验结果的优劣。

④ 实验后,系统难以复原。

⑤ 实验时间太长或费用昂贵。

因此,用模型来进行实验已经成为科学研究与工程实践中不可缺少的手段,日益为人们所青睐。

1.1.3 仿真

1961年,摩根扎特(G. W. Morgenthater)首次对“仿真”进行了技术性定义,即仿

真是指“在实际系统尚不存在的情况下，对系统或活动本质的实现。”接着科恩（G. A. Korn）于1978年在其所著的《连续系统仿真》一书中将仿真定义为“用能代表所研究的系统的模型做实验”。1982年，斯普瑞特（J. Spriet）进一步将仿真概念的内涵加以扩充，将其定义为“所有支持模型建立和模型分析的活动即为仿真活动”。奥伦（Orén）在1984年在给出了仿真的基本概念框架“建模—实验—分析”的基础上，提出了“仿真是一种基于模型的活动”的定义，这被认为是现代仿真技术的一个重要概念。

综上所述，系统、模型和仿真三者之间有着密切的关系。系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真通过对模型的实验以达到研究系统的目的。

从应用的角度来看，仿真是一个设计和建立实际系统或所设想系统的计算机模型的过程，以便通过数值实验来更好地理解系统在给定条件下的行为。现代仿真技术大多是在计算机支持下进行的，因此，系统仿真也往往被称为计算机仿真，即借助于专门的计算机软件来模仿实际系统的运作或特征（通常随时间变化），进而来研究各种不同的系统模型的方法。尽管也可以用它来研究一些简单系统，但只有在研究复杂系统时，其威力才能真正地得以充分发挥出来。

计算机仿真包含了系统建模、仿真建模和仿真实验三个基本的活动。联系这三个活动的是系统仿真的三要素，即系统、模型和计算机（包括硬件和软件）。三者之间的关系可用图1-4来描述。

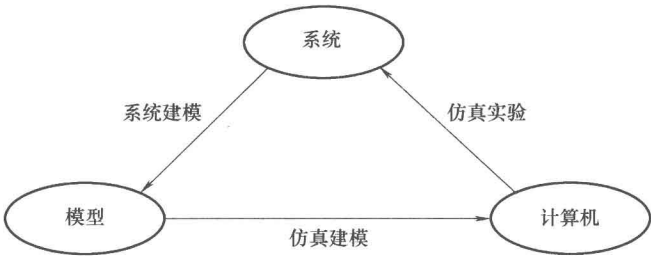


图 1-4 计算机仿真的要素与内容

注：该图来源于肖田元，张燕云和陈加栋（2000）。

1.2 生产系统及其建模与仿真分析

1.2.1 生产系统的基本概念

从系统的角度来考察产品的生产过程，就得出了生产系统的概念。按照国际生产工程科学院（CIRP）对生产系统所下的定义，生产系统是“生产产品的制造企业的一种组织体，它具有销售、设计、加工、交货等综合功能，并有提供服务的研究开发功能”。在这一定义的基础上，人们进一步地把供应商和用户也作为生产系统的组成部分纳入其中。

生产是一切社会组织的基本活动之一。作为企业系统的一个子系统,生产系统体现为一个有序的把各种生产要素的输入转换为产品的输出过程。它包括以下三个基本的组成部分:

(1) 输入(或投入)。它主要是指加工对象及其他生产要素,如原材料、资料和能源等。

(2) 转换过程(或生产过程)。它是指如何进行实体上的转换,如制造;如何进行位置上的转换,如运输;如何进行服务上的转换,如医疗及娱乐等。

(3) 输出(或产出)。它是指系统通过转换过程形成并输出的结果,如一种有形的产品或者无形的服务。

生产系统的基本框图如图 1-5 所示,方框内表示的即为一个生产系统,方框外表示生产系统所处的外界环境。整个生产过程分为三个阶段:①决策和控制阶段,由工厂最高决策层根据生产动机、技术知识、经验以及市场情况,对所生产的产品类型、数量等作出决定,同时对生产过程进行指挥与控制;②产品设计和开发阶段;③产品制造阶段,在此阶段必须从外部输入必要的能源和物质(如材料等)。经过上述三个阶段的生产活动,系统最后输出所生产的产品。产品输出后,应及时地将产品在市场上的竞争能力、质量评价和用户的改进要求等信息反馈到决策机构,以便使其及时地对生产作出新的决策。

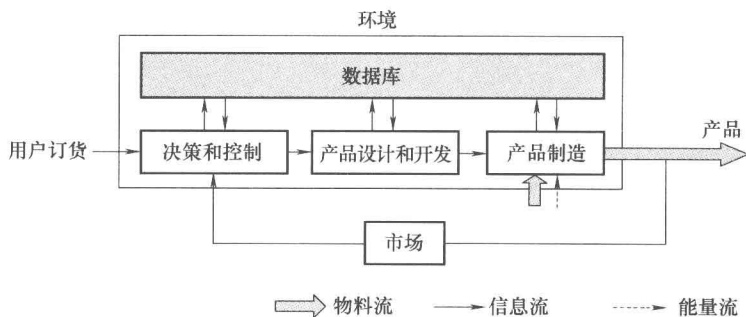


图 1-5 生产系统的基本框图

注:该图来源于沈斌、陈炳森和张曙(1999)。

整个系统由信息流、物料流和能量流联系起来。信息流主要是指计划、调度、设计和工艺等方面的信息;物料流主要是指从原材料经过加工、装配到成品的过程,包括检验、油漆、包装、储存和运输等环节;能量流主要是指动力能源系统。

根据企业生产经营活动各方面的具体目标和活动内容,生产系统一般又可划分为供应保障子系统、计划与控制子系统和加工制造子系统等。

1.2.2 生产系统的特性分析

作为一类特殊的复杂社会系统,生产系统具有如下的几个基本特性:

(1) 集合性

生产系统是由多个可以相互区别的要素（或子系统）所组成的。

(2) 相关性

生产系统内各要素是互相联系的。构成生产系统的各要素（或子系统）正是通过这种联系，形成了生产系统的相对稳定的结构。

(3) 目的性

任何一个实际的生产系统，都是为完成特定的生产任务而存在的。或者说，它要实现一个或多个既定的目标，如盈利。

(4) 环境适应性

一个具体的生产系统，必须具有对周围环境变化的适应性。生产系统应是具有动态适应性的系统，表现为以最少的时间延迟去适应不断发展变化的环境：①生产系统总是处于生产要素（如原材料、能量和信息等）的不断输入和产品的不断输出这一动态过程中；②生产系统的各构成要素或子系统及其内部结构也处于不断的动态变化发展中；③特别是在激烈的市场竞争中，生产系统总是处于不断发展、不断更新、不断完善的过程中，以适应生存环境。

(5) 反馈特性

生产系统在运行过程中其输出状态如质量信息和生产资源的利用状况等，总是要不断地反馈到生产过程的各个环节中去，从而实现产品生命周期中的不断调节、改进和优化。

(6) 随机特性

生产系统中有很多偶然性的因素（如产品市场需求的波动等），使得生产系统表现出随机性的特性。这为解决生产控制等问题带来了极大的困难。

1.2.3 当前生产系统面临的主要问题

当前，随着经济全球化与市场竞争的日趋激烈，企业生产系统也逐渐呈现出柔性化、自动化、集成化、智能化及市场导向化的发展趋势。在生产系统，尤其是大型复杂的生产系统中，其规划设计和运行管理正面临着越来越多的问题，如由于系统本身的复杂性难以评估设计风险、系统适应性差和系统运行过程中生产调度困难等。引发这些问题的原因主要在于：

① 在新生产系统的设计过程中，业务流程缺乏有效的辅助设计与验证分析手段，系统内各业务部门和设计、物流、销售等部门之间的关系以及各种决策过程对整个生产系统的影响缺乏定性与定量分析。

② 在制造单元设计过程中，对于初步设计方案缺少一个验证、分析与比较的工具，如生产能力和生产周期的测度、关键设备的数量和各种资源的分配与利用率的计算以及物流情况的合理性分析、设备故障对整个制造系统的影响等，都需要作一些事前的分析与比较。

③ 在生产系统的运行过程中，生产计划和调度的合理性缺乏合理的验证手段，往往