

制造系统工程

制造工艺和生产管理的综合研究

〔日〕人见胜人 著

陈榕林 吕 柱 译

李建康 校

中国农业机械出版社

译者的话

当前，从事制造工艺的技术人员往往不懂得管理技术，负责生产管理的干部又不太熟悉制造工艺。本书的最大特点就是将制造工艺（硬技术）和管理技术（软技术）融为一体，主要研究现代生产中的工艺特性，因此是一本可供机械工程技术人員、企业管理干部和大专院校有关专业师生学习现代工程技术的启蒙教科书。

本书主要阐述从原材料入厂，经过车间的转变，直到制成产品，这一制造系统的系统设计；生产的最优决策；制造的自动化（计算机辅助制造）和用计算机进行生产信息处理（管理信息系统）等内容。使读者学会和掌握制造系统工程方面的概念、基本原理、算法和软技术，以便对生产进行最优的计划、实施和控制。

本书原著为日文，后经原作者翻译成英文，于1979年在伦敦出版，我们是根据英文版本翻译的。

本书在翻译过程中，得到了中国人民解放军高级军械学校和河北机电学院各级领导的关怀及同志们的支持，得到了王志勇、张磊、孙恩江和赵强同志的帮助，在此表示衷心感谢。

由于我们水平所限，翻译不妥之处在所难免，希读者批评指正。

译者

前 言

本书是为机械工程、工业管理和生产工程专业学生编写的一部现代入门教科书，亦是供工业中从事制造工艺和生产管理工作的机械、管理和生产工程技术人员阅读的参考书。此英文版译自1975年日本东京巨立出版有限公司出版的同名日文版本，但有所修改和补充。

本书的意图是把制造或生产工艺与管理技术融为一体。制造工艺与“物质流”有关。物质流包括从原材料获得起，经过车间中的转变，直至将成品运送给用户的整个过程。管理技术主要是处理“信息流”，以便通过计划和控制有效地管理物质流。到目前为止，制造工艺方面的大部分研究都是应用机械工程学和生产工程学的原理来研究制造过程及机床设备等，而管理技术方面的工作，例如生产管理、制造过程信息的处理等一直属于工业管理和商业经营范畴。从现在起，生产或制造的研究必须是对制造工艺和管理技术的综合研究，包括硬技术和软技术。这种对制造工艺和生产管理综合的、系统的研究，称为“制造（或生产）系统工程”。

根据上述目的和对象，本书分为如下六章：

第一章制造系统的基本原理。这一章阐述制造系统的基本概念。“生产”可以理解为输入-输出系统，在此系统中把生产要素转变成经济财富，从而创造出效益。在讲述系统的概念和设计方法的同时，也阐明了“制造系统”的含意和范畴。

第二章制造过程系统。本章介绍物质流，它是制造中最重要的活动。论述了生产过程系统在变原材料为产品过程中的基本功能，并讲解了两个主要问题：生产流程计划（通过多工序制造系统有效地运行转变过程）和设备布局规划（涉及生产设备的空间配置）。此外，还讲到了产品计划和设计，以及描述零件形状和产品结构的新方法。

第三章制造管理系统。本章论述了与制造（或生产）管理系统（计划和控制）有关的数学方法。它是信息流的基础，能保证物质流平滑地进行。还阐述了生产计划、生产进程安排、生产和库存控制等最优决策方法。

第四章制造系统的优化和经济性。本章讨论了制造系统中生产活动的优化问题。在一定的生产目标和生产准则条件下，用理论方法确定单工序生产和多工序制造系统的最优切削条件（与最优切削条件有关的生产时间和成本，适用于第二、三章所讲的基本生产信息）。

第五章自动化和计算机集成化的制造系统。本章在第二章的基础上，介绍自动化和计算机集成制造系统现状，包括计算机辅助设计（CAD）和辅助制造（CAM）、计算机化的设备布局规划和自动化的生产流程计划、自动编程系统等等。此外，还讨论了自动化的经济效益。

第六章制造信息系统。本章叙述用计算机处理制造的“信息流”，是第三章的继续，也是第五章的引伸。文中阐述了制造信息的概念，讲述了计算机系统的结构和功能。关于制造信息处理系统方面，介绍了如下内容：选择切削条件的切削数据库；对生产任务多变的小批量生产车间进行有效管理的联机生产管理系统；多品种生产面向零件的制造信息系统；制造信息和生产管理的综合系统，即管理信息系统（MIS）。

在介绍上述制造系统和生产管理的概念及基本原理时，着重研究下列问题：

1. 阐明制造系统的概念和结构, 即制造系统设计, 尤其是物质流问题(第一、二章)。
2. 制造系统的优化, 即生产的最优决策(第三、四章)。
3. 制造系统的自动化, 即自动化和计算机集成化制造(第五章)。
4. 处理制造系统中的信息流, 即生产管理中的信息处理(第六章)。

本书着重讲述制造系统工程方面的概念、基础理论、算法和软件技术。有关生产设备、机器、材料、夹具和工具的硬件技术未作详细介绍, 也未涉及硬件技术的实际应用和实例。

本书可作为一个学期(半个学年)的生产工程、制造系统或其它有关课程的教科书。现在, 日本的几所大学和学院已将该书的日文版本用作大学课本。作者在大阪大学工业管理-机械工程系讲授两个学期的生产工程课; 以后他又受聘于松山爱媛大学, 在该校的生产工程和机械工程系, 短期、集中地讲授了系统工程课, 这两次讲授都是以本书为基础的。作者还在日本产业中心——东京, 为配合培训企业管理和生产工程师及经理, 用本书讲授了为期一年的生产管理课。于1976年, 作者作为临时顾问和聘请教授, 在南朝鲜汉城朝鲜高等工艺学院举办的生产工程夏训班授课, 他的备课和英语讲学笔记也使用了本书的题目和内容。

目 录

前言

第一章 制造系统的基本原理 1

- 1.1 生产的基本概念 1
 - 1.1.1 生产和制造的定义 1
 - 1.1.2 生产要素——生产输入 2
 - 1.1.3 生产的财富——生产输出 3
 - 1.1.4 生产过程——输入到输出的转变 3
- 1.2 系统的基本概念 5
 - 1.2.1 系统的定义 5
 - 1.2.2 系统的基本问题 7
 - 1.2.3 系统设计 8
- 1.3 制造系统的基本概念 12
 - 1.3.1 制造系统的含义和内容 12
 - 1.3.2 制造系统工程 16
 - 1.3.3 制造系统的自动化 17
 - 1.3.4 生产类型 17
 - 1.3.5 多品种小批量生产的特征 18
- 1.4 综合生产管理系统 20
 - 1.4.1 管理系统的基本功能和结构 20
 - 1.4.2 综合生产管理系统的基本结构 21

参考文献 24

辅助阅读材料 25

复习题 25

习题 26

第二章 制造过程系统 27

- 2.1 生产中的物质流 27
- 2.2 工艺过程计划 28
 - 2.2.1 工艺过程计划的范围和内容 28
 - 2.2.2 工艺过程设计 29
 - 2.2.3 工序设计 31
 - 2.2.4 最优工艺路线分析 39
- 2.3 设备布置计划 43
 - 2.3.1 设备布置计划的范围和内容 43
 - 2.3.2 系统的设备布置计划 45
- 2.4 产品设计和零件结构 49
 - 2.4.1 产品计划和设计 49
 - 2.4.2 零件的描述 51

2.4.3 产品结构及其展开 60

参考文献 63

辅助阅读材料 64

复习题 64

习题 65

第三章 制造管理系统 66

- 3.1 生产计划 66
 - 3.1.1 生产计划的范围和内容 66
 - 3.1.2 产品组合及需要量分析 66
 - 3.1.3 设备负荷计划和生产平滑 75
 - 3.1.4 批量分析 81
- 3.2 生产进程计划 84
 - 3.2.1 生产进程计划的范围和内容 84
 - 3.2.2 作业进程计划 85
 - 3.2.3 生产线的平衡 97
 - 3.2.4 工程项目进程计划——计划评审法 (PERT) 100
- 3.3 生产控制 104
 - 3.3.1 生产控制的范围和内容 104
 - 3.3.2 生产控制 (狭义的) 104
 - 3.3.3 质量管理 105
 - 3.3.4 库存管理 107
 - 3.3.5 生产维护 110

参考文献 112

辅助阅读材料 113

复习题 114

习题 115

第四章 制造系统的优化和经济性 118

- 4.1 经济生产的评价标准 118
- 4.2 单工序制造的优化 119
 - 4.2.1 基本的数学模型 119
 - 4.2.2 以切削速度的函数形式表示的单工序制造模型 121
 - 4.2.3 确定最优切削速度——无约束条件的优化 123
 - 4.2.4 确定最优切削速度——有约束条件的优化 125

4.2.5 确定最优切削速度和进给速度—— 有约束条件的优化	127
4.3 多工序制造系统的优化	132
4.3.1 基本数学模型	132
4.3.2 确定最优切削速度	135
参考文献	139
辅助阅读材料	140
复习题	140
习题	141

第五章 自动化和计算机集成化制造

系统	142
5.1 生产的自动化	142
5.2 计算机辅助设计(CAD)	146
5.3 用计算机制订布局计划	147
5.4 自动工艺过程设计	151
5.5 自动工序设计——自动编程 系统	155
5.6 自动化和计算机集成化制造	158
5.6.1 大量生产用的自动机床	158
5.6.2 数控(NC)机床	160
5.6.3 切削加工的适应性控制	164
5.7 自动装配	165
5.8 自动材料运送	167
5.8.1 材料的自动运送	167

5.8.2 工业机器人	167
5.8.3 自动仓库	168
5.9 自动检验和试验	169
5.10 全自动化系统的可能性—— 无人工厂	170
5.11 自动化的经济效果	171
参考文献	175
辅助阅读材料	176
复习题	176
习题	177

第六章 制造信息系统

6.1 信息系统的基本原理	178
6.1.1 信息的概念	178
6.1.2 信息系统	179
6.1.3 全系统和管理信息系统(MIS)	181
6.2 切削加工数据库	182
6.3 联机生产管理系统	184
6.4 面向零件的生产信息系统	187
6.5 生产信息和管理系统	190
参考文献	195
辅助阅读材料	196
复习题	197
习题	197
结束语	197

第一章 制造系统的基本原理

1.1 生产的基本概念

1.1.1 生产和制造的定义

什么是“生产”呢？一般地说，生产就是制造一些新东西^{(1.1)①}。在现代工业社会里，生产是人类最基本、最重要的一项活动。

古代，自然界是唯一的资源^(1.2)，这就是说，农耕、采矿、狩猎、捕鱼等基本生产活动都依赖于自然界。亚当·斯密〔Adam Smith(1723~1790)〕、大卫·李嘉图〔David Ricardo(1772~1823)〕和约翰·斯图尔特·穆勒〔John Stuart Mill(1806~1873)〕，被誉为经济学的创始人，他们都把生产列为创造财富的要素。他们提出了“可销售性——为市场而生产”这一概念。在此种意义上，生产着重强调的是为制造有形物的农业生产过程、提炼过程和制造过程。但是，直到19世纪末叶，威廉·斯坦利·杰文斯〔William Stanley Jevons(1831~1882)〕和卡尔·门格尔〔Karl Menger(1840~1921)〕开始使用“效益”(utility)这一概念。在经济学上，“效益”是表示满足人类需求程度的一种指标，它没有客观的判断标准，只是一个纯粹的主观概念，因此只能凭主观意识加以度量。根据这一概念，生产的含意就进一步扩大到服务，即伴随着生产进行的运输、销售和贸易等。从那时起，物质（有形）生产和非物质（无形）生产（即“服务”，这种生产在创造过程中是看不见的）之间便没有明显的区别。但从经济学的观点来看，仅仅在自由财富（free goods）和经济财富（economic goods）之间具有明显区别。自由财富不花任何代价就可无限量地获得，如空气和河水，因此不需要生产。经济财富的数量以完全满足人类的需求为限，在所要求的时间和地点不花钱就不能得到，所以必须进行生产。从这种意义上讲，供不应求为经济财富的特性。

于是可以说，生产就是创造经济财富（有形的和无形的）的效益，或意指增加经济财富的价值尺度。这种经济财富是通过转变活动把称之为生产要素的生产输入转变为生产输出的。这种转变过程是一种工艺过程，也称为生产过程（production processes）。本书主要论述与生产有形财富，即物质财富（产品）有关的生产过程。

根据上述论点，我们可以给生产下个定义：“生产是把生产要素转变成经济财富，包括有形的财富和无形的服务，从而通过增加附加价值创造效益的过程”（图1.1）^{(1.3(a))}。从图1.1可见，生产可被看成是“输入-输出系统”。

上述定义是对生产的基本解释，包括技术生产和经济生产。技术生产即转变过程，经济生产意指创造出价值高于原始输入要素的产品^(1.4)。

① 括号内的数码表示每章后面所附的参考书目和辅助阅读材料的编号。

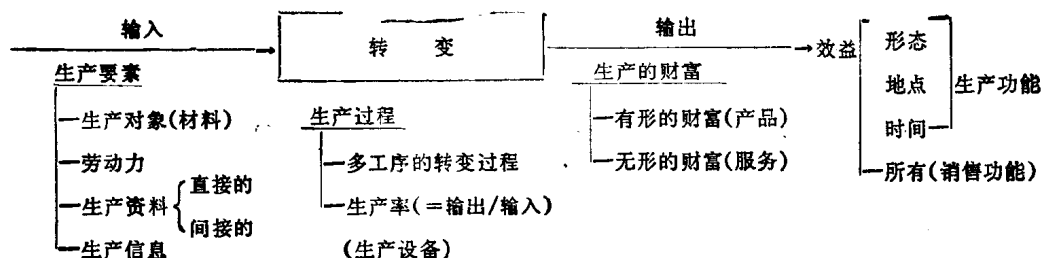


图1.1 生产的基本含意

生产是一个把生产要素转变为经济财富，从而产生效益的输入—输出系统

从狭义的技术角度来讲，生产可被理解为：“通过一系列的能量使用，将原材料转变成产品，每次使用能量都会使材料的物理和化学性质发生预定的变化”〔1.5〕。由于上述定义仅仅适用于生产输出有形财富，如制造工业和加工工业，所以生产又可以叫做制造。因为本书的读者是学习机械工程的学生和工作在工业企业中的机械工程技术人員，所以对制造和生产也就不再作严格地区分了。

1.1.2 生产要素——生产输入

生产要素是指购进的和在生产过程中用于制造物品的生产输入。从经济学家的观点来看，生产要素的传统分类，为如下三类：

(a) 土地——自然资源。

(b) 劳动——人的劳动能力（体力劳动和脑力劳动）。

(c) 资本——用于再生产的经济财富（工具、机器、厂房、原材料等）。（这是庸俗经济学观点。它是法国的萨伊从庸俗的“斯密教条”引出的生产三要素和三种报酬。地租、工资、利息分别是土地、劳动和资本的报酬，完全掩盖了资本主义剥削——译注）

这种粗糙的分类法适用于高度理想化的宏观经济模型，但不适用于对微观的具体生产过程进行详细分析。因此本书根据生产要素在制造系统中所起的基本作用，将其分为四类〔1.6(a)〕：

1. 生产对象。生产对象是完成生产活动所使用的材料，包括主要材料和辅助材料。主要材料是通过生产过程转变成生产输出（产品）的材料，如购成产品的原材料、零件等。辅助材料是加在主要材料上的材料，如涂料；或者是辅助于生产的材料，如生产过程中消耗的电和润滑油；以及用于保证生产劳动的照明和空气调节；等等。

2. 生产劳动。生产劳动是指人的能力，包括每个劳动者用于进行生产活动的体力、脑力和智力。两个人或更多的人为完成一项共同任务而结合成为团体的劳动体制，在大规模生产中尤其重要。

3. 生产资料。生产资料是指借助于生产劳动把生产对象转变成产品的手段，包括“直接生产资料”，即通常所说的“生产设备”和“间接生产资料”。生产设备直接加工原材料，例如机器、设备、仪器、夹具、工具、动力机械等。间接生产资料，例如土地、道路、建筑物、仓库等，与加工过程没有直接关系。生产对象在加工过程中消失，而生产资料可以在规定的时间内反复使用。

自从工业革命以来，生产设备迅速地朝着机械化方向发展。近代的技术革新又产生了大量的自动化制造新技术，这种发展趋势就是生产的自动化。最高水平的自动化生产则是使用计算机对生产设备进行联机实时控制。

4. 生产信息。生产信息是有效地进行制造有形财富的生产过程所用的知识。所谓有效，就是指效率高，经济性好。生产信息包括生产方法在内。生产方法就是实施生产过程的技术措施，也是生产工艺的狭义概念，它要遵循包括经验法则在内的客观工程技术规律；在某些情况下，还包括生产技术，而生产技术是通过对人的训练所获得的主观技艺，它高度地依赖于经验及直觉知识。

生产信息和生产方法具有软件特性，能够有效地控制其它三种生产要素（硬件）。在计算机时代，信息在生产中的作用变得越来越重要。

1.1.3 生产的财富——生产输出

如前所述，通过生产过程得到的输出，是增加了使用价值的有形财富（产品）和无形财富（服务）。一般说来，生产的功能与供应方面有关。从生产经济学观点来看，它为生产的财富提供形态、时间和地点效益（form, time and place utilities）。例如制造汽车、电视机等就创造了形态效益；电话通讯将提供时间效益；使用飞机则提供地点效益。制造提供形态效益，而实际的分配则提供时间和地点两种效益。相反，“所有”效益是顾客或用户对使用该产品总的满意程度，它与以需求一方为基础的销售功能有直接关系〔1.7(a)〕。

所有效益（possession utility）是用户从购得的产品里得到的价值。从该价值中扣除了生产成本，便得到通过生产而加到产品上的附加价值。创造出的这种净价值可分为两类：一类是通过管理人员力图使企业达到最大利润为目的；另一类是将获得的价值用于社会福利并作出贡献的社会目的。在这个含意上，从长远观点来看，生产的宏观目的，可以认为是通过创造效益，力求达到一个时间序列内的最大净价值。

具体地说，产品价值可由以下三方面确定〔1.8〕：

- (a) 功能和质量。
- (b) 生产成本和价格。
- (c) 生产量和时间（预定日期）。

因此，用最低的成本快速制造所需功能的产品是生产的主要目的。而生产管理的作用则是为这种经济生产提供适当的生产计划。与上述三种因素有关的生产管理的专门技术是：质量控制、成本控制和生产控制（狭义的）。

由经济生产创造的效益应当是“正效益”。可是，在经过连续的生产工序把原材料变为成品的期间内，各种副产品也随之产生。其中的一些副产品会对社会有害，它将危害自然环境，并带来“负效益”，即公害。对于工程技术人员和管理人员来说，预防公害是极其重要的，可通过建立封闭式的生产系统，以及发展新的生产技术，来防止社会公害的产生〔1.6(b)〕。

1.1.4 生产过程——输入到输出的转变

生产要素的转变过程，特别是原材料变成有形财富或产品的过程，叫做生产过程。生产过程一般是由许多连续的生产工序组成的，在这些生产工序中的一系列操作，是为了产生输出而进行的工作，它们都是在各工作位置或生产设备（机器）上逐次接连进行的。在整个输

入到输出的转变过程中，产品的形态、时间和地点效益不断得到增加，这就是制造企业中的物质流 (material flow) 或称之为材料流 (flow of material)。

从宏观经济和社会的观点来看，生产的最终财富，要通过路线很长的一系列组织送到用户手里。这条路线是从自然界提取原材料开始，然后通过材料加工者和制造者等一系列的组织，连续地将原材料按最终用户所需形态转变成产品。最后，生产的产品再通过一系列批发、零售等销售商，按用户需要的时间、地点，把产品送到他们手中，于是便产生了时间和地点效益，如图1.2所示 [1.7(b)]。这个生产过程系统包括一系列的生产者和分配者，叫做逻辑系统 (logistic system) (广义的物质流)。在以后各章里，主要讲述制造厂中构成生产过程的物质流问题。

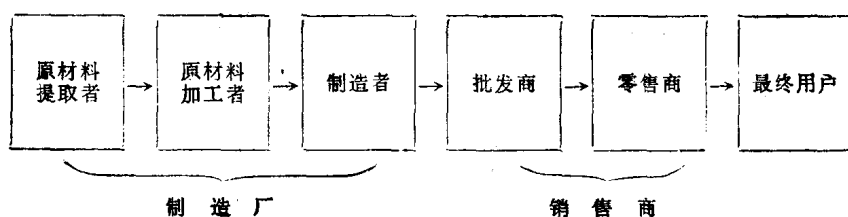


图1.2 由一系列的物质生产者和生产财富的分配者所构成的生产逻辑系统(仿制 [1.7(b)])

有效地 (经济地和高效率地) 把生产要素转变成生产的财富是十分重要的。转变过程效率的度量标准，通常叫做生产率。生产率可抽象地定义为输入和输出之比，又可解释为生产中使用的实际自然资源，与规定的时间里产生输出部分之间的数量关系。

为了准确地计算生产率，必须了解生产过程使输入和输出的数量同时发生变化的数量关系。这种关系可用生产函数表示，通常称为生产模型 (production model)。对一个单一输出过程来说，表明输入 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 和输出 x_0 之间工艺关系的生产函数是 [1.9]：

$$x_0 = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

用这个数学模型，平均生产率可计算为 $x_0/x_1, x_0/x_2, \dots, x_0/x_n$ ；每增加一个单位的可变输入量，则增加总输出量的能力称为边际生产率 (marginal productivity)，可计算为 $\partial x_0 / \partial x_1, \partial x_0 / \partial x_2, \dots, \partial x_0 / \partial x_n$ 。有关生产函数和生产率等方面的宏观研究，均属于生产经济学。

例1.1 科布·道格拉斯 (Cobb-Douglas) 线性齐次函数 [1.10] 是一个非常著名的生产函数，以此函数表示输入 (劳动力 L 和资本 K) 与输出 (国民产品 P) 之间关系如下：

$$P = aL^k K^{1-k} \quad (1.2)$$

式中 a 和 K 是常数， $0 < k < 1$ 。在这种情况下，边际劳动生产率是：

$$\frac{\partial P}{\partial L} = akL^{k-1}K^{1-k} = k \frac{P}{L} \quad (1.3)$$

即，边际劳动生产率是常数 k 和平均劳动生产率的乘积，平均劳动生产率 P/L 是单位劳动力所生产的产品。

不同种类的生产率是由输入和输出的内容与大小决定的〔1.11〕。这就是说，用件数计量输出的为物质生产率；用货币计量输出的为价值生产率；还有要素生产率，诸如劳动生产率、资本生产率、土地生产率、原材料生产率等，要素生产率与每项生产要素都有关系。总生产率同生产要素的总和有关，是表达生产要素影响生产企业所达到效率的总的度量标准。

现代世界上，尤其在资本主义社会中，生产率的增长是经济不断发展的根本前提。不同国家的制造企业，其劳动生产率的发展趋势如图1.3所示。由图可见，生产率在逐年地增长。但是，自然资源的枯竭，空气的污染和公害的产生，目前已成为遍布世界的问题，可能使人类的生活面临危机。生产活动应用于使国家繁荣和民族幸福，因此要限制私营厂商单纯追求利润的思想。

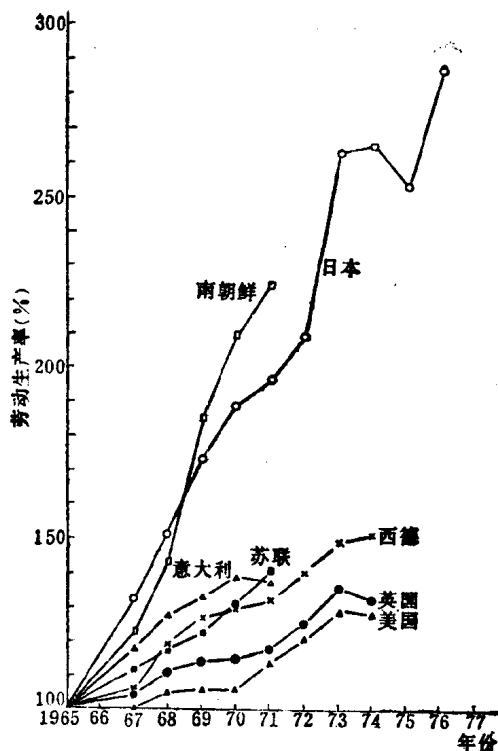


图1.3 劳动生产率的逐年增长趋势
以1963年为100% (取自〔1.12〕)

1.2 系统的基本概念

1.2.1 系统的定义

如上节所述，生产是一个输入—输出系统，所以可以采用系统方法来解决生产问题。在这一节里，将讨论系统的基本原理。

什么是“系统”呢？查阅字典可知〔1.13〕，这个词是1619年出现的，并且被定义为“一组互相关联的事物，或自成体系的组织；一组相互关联、相互结合或相互依赖事物形成的统一体；根据某种方案或计划，按顺序排列的各部分构成的整体；系统很少应用于简单的或小型的一组事物；……属于某种知识领域或信念范畴的一组原理、思想、或论点；某一领域的知识或信念被看作是一个有机的整体；是学说、结论、推测或论点的综合体……”。

系统的其它几种定义是：“系统是由一些协同执行一个预定任务的相互作用的要素所组成的整体组”〔1.14〕。“系统是实体或事物（有生命或无生命）的集合，它们获得某些输入，并被强制协同地影响这些输入，产生一定的输出，从而使输入和输出的某种函数达到最大值为目标”〔1.15〕。“系统是按某种描述所形成的计划、程序或方案。它的功能是在某一时间基准，对信息与（或）能量与（或）物质产生影响，从而在某一时间形成信息与（或）能量与（或）物质”〔1.16〕。

为综合上述定义和全面地研究系统，现将系统所特有的四个属性介绍如下〔1.17(a)〕：

1. 集合性 (ASSEMBLAGE)。一个系统是由多个可区别的单元（元件、部件、要素、

子系统[⊖]等)组成的, 这些单元可能是物质的, 或者是概念的, 可能是天然的, 或者是人造的。

例1.2 一个“制造系统”由机床、夹具、刀具和操作者等组成。

例1.3 “太阳系”由太阳、地球、水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星组成。

2. 相关性 (RELATIONSHIP)。几个单元组合在一起, 仅能叫做一个“组”。在这些单元之间必须具有相互关系或相互作用, 这样的组才能被认为是一个系统。

例1.4 受自然科学规律内在控制的关系为“物理关系”, 例如太阳系中的万有引力定律。

例1.5 “逻辑关系”主要是由定义和假设决定的, 例如生产、库存和销售的关系为:

$$\text{最终库存量} = \text{原始库存量} + \text{生产量} - \text{销售量}$$

例1.6 “制度关系”是由社会制度、法律和条例规定的, 例如:

$$\text{税收量} = \text{利润} \times \text{税收率}$$

3. 目的性 (GOAL-SEEKING)。作为一个整体的实际系统要完成一定的任务, 或要达到一个或多个目的, 只要以最高的水平实现了这些目的, 便可以说实现了系统的优化。为达到此目的, 必须能从主观上或客观上对这些目的达到的程序进行测量。可以用一些手段进行测量的目的, 称作为目标。

例1.7 制造系统有效地把生产要素转变成生产的财富 (产品), 这就达到了通过对原材料添加价值来创造高效益的目的。

例1.8 商业管理系统协调组成系统的各职能部门, 并调拨给这些部门可以使用的有限货源, 其目的在于达到诸如最大利润、扩大市场占有、稳步地发展、公共服务等组织目标。

4. 环境适应性 (ADAPTABILITY TO ENVIRONMENT)。一个具体的实际系统必须能适应其周围事物或外部环境的变化。外部环境的变化与系统是互相影响的, 所以它们之间也必然要互相进行物质与 (或) 能量与 (或) 信息的交换。能用这样的方法自我控制, 即使在外部环境变化的情况下, 也能始终保持最优状态的系统, 则叫做适应性系统 (adaptive system)。该系统具有动态适应性, 能够做到以最少时间延迟适应环境变化, 使系统接近于理想状态。

例1.9 人是个完善的适应性系统。

例1.10 商业系统是一个适应性系统, 在艰难的外部情况下 (竞争者、销路、工业上的交往、政治和经济状况、国际动向等), 为了达到预定的目的, 必须做出恰当的决策。系统经常对其周围环境产生反作用, 以便使未来的行为更加有效, 例如进行商品广告、交易等商业活动, 以增加市场潜在的需求。

在上述讨论的基础上, 系统的基本定义可归纳成如下四个 (1.6(c)):

1. 抽象 (或基本) 定义。基于系统的集合性和相关性, “系统是一个既具有相互联系, 又可识别的诸单元的集合”。在这个定义下, 出现了一般系统理论[⊖], 它从理论上、逻辑上和推理方面对事物进行考虑和讨论。

⊖ 子系统是系统的一部分, 由几个单元所组成。

⊖ 参见如 (1.S1)、(1.S2)、(1.S3) 和 (1.S4)。

2. 结构(或静态)定义。在系统四个属性的基础上,“系统是一个由相互联系、可识别的若干单元组成的集合,并在一定的外界环境下,能达到规定的一个或多个目标”。

3. 转变(或功能)定义。从系统的环境适应性这一属性来看,环境对系统的作用是输入(包括意料不到的“干扰”);相反,系统对环境的影响是输出,如图1.4所示。根据这点来看,“系统从它的环境中得到输入,再把输入转变为输出,将输出交付周围环境,与此同时力图使转变的生产率达到最大值”。

4. 程序(或动态)定义。输入—输出系统中的转变过程是由许多彼此有关的阶段组成的,每个阶段均完成一定的工作。通过接连地完成与各个阶段有优先关系的工作,整个任务也就完成了。因此,“系统就是一个程序,即能完成所有重复任务的一系列按时间和逻辑安排的步骤”。

在我们的生活中,系统的概念和方法变得越来越重要,这是有一些原因的。第一,最近象管理、经济、政治和国际事务等所有的机构、团体,都向着大规模和综合性方向发展,因此已经很有必要同周围环境联系起来,系统地考虑每一事务,才能实现其预定目的和职能。在生产中,也应对包括原材料采购、生产、库存、销售和分配的综合系统考虑周全,分析透彻,只有这样才能达到生产目的。从整体系统优化的观点出发,为协调系统的各个组成部分,以逻辑和哲学的见解为基础的系统方法,自然是必不可少的。否则,就有陷入相反方面——“混乱”的危险。

第二,在过去的20年,由于计算机的发展,较以往用更短的时间收集、贮存、处理和传递大量数据与信息的能力已大大加强,这样就加速了用计算机系统对复杂的问题和情况进行信息处理。

第三,优化技术,例如运筹学、管理科学、系统工程学和模拟技术已经得到发展。借助于这些软科学或软技术、系统的思想和优化,为定量地解决大规模系统和问题,作出合理而又符合逻辑的决策已成为可能。系统工程学为此目的已经作出了重大贡献。它是同大规模人工系统的最优设计、建立以及实施有关的一门技术。由于利用科学定律和经验法则,使这种人工系统在经济上也是合理可行的。

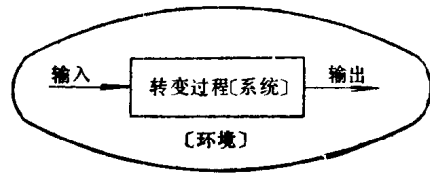


图1.4 系统从其环境中得到输入,再把输入转变成输出,将输出交给环境(系统的转变定义)

1.2.2 系统的基本问题

如图1.4所示,系统可以看成是输入I经过转变T,产生输出O;这个输入—输出的关系,可用下式表示:

$$T(I)=O \quad \text{或} \quad T:I \rightarrow O \quad (1.4)$$

在集中研究上式和图1.4时,与系统有关的问题均可归入下列各类之一〔1.18〕:

- (a) 系统分析:弄清T、I和O的内容。
- (b) 系统运行:给定T和I,求O。
- (c) 系统转向:给定T和O,求I。
- (d) 系统综合或识别:给定I和O,确定一个适当的T。

(c) 系统的优化：取I、0或T，确定一个最优的评价标准。

1.2.3 系统设计

(一) 系统设计的基本依据。系统设计的目的是，在规定的评价标准下，应用有关系统的科学原理和经验法则，组成一个新的有用的系统（静态结构和操作程序）。

系统设计的基础是“操作性”〔1.17(b)〕。在考虑系统设计问题时，系统的组成部分可分为两类：一类是能按设计者意愿控制的可控变量；另一类是设计者不能控制的不可控参数。具有可控变量的系统称可控（或控制论）系统。通过适当地选定可控变量值，就可达到系统的目标。在某些情况下，这个“操作性”是不受限制的，而在另外一些情况下，则受到限制或约束。

恰当地选定系统的可控变量值，就能以最高的效能标准实现系统的目标。但这要以优化判断作为基础，并且要通过此系统的优化来实现。

从优化的意义上看，表达系统的基本结构，对系统设计来说是很重要的。这是由上述的四个属性和以下两个要素决定的：

(a) 系统的目标，靠诸单元组成的系统的功能来实现。

(b) 系统的约束，分为内部约束和外部约束。它们是由系统本身的结构和系统与外部环境之间的关系所造成的。

这两个要素均可用模型加以描述〔1.7(c)〕。模型就是用适当的语言和表达式对某一真实情况或状态的抽象表示。既然模型是对实际事物的明确描述，一般地说，它不会象实际事物那样复杂，但重要的是要使模型能充分而完全地接近于实际中所要研究的问题〔1.19〕。以下是在研究生产和制造时可使用的主要模型：

1. 实物模型。实物模型是用立体方式表达的模型。科学家和工程师经常使用按比例缩小的模型，例如在风洞里用缩小尺寸的飞机机翼，或在水池里用缩小尺寸的船进行尺寸分析，工厂设计中用抽象的方法研究车间设备的布局等都是实际例子。

2. 图式模型。以图表、图形、表格、曲线等形式对实际情况进行描述，称为图式模型。形状、尺寸、位置、流程、轨迹等等，都在图上表示出来，例如设计图、流程图、工艺过程图表、Gantt图（也叫施工进度表）、PERT网络、收益平衡图和决策树等。用这些图式模型有助于进行决策，因为它们在一步步导出近似最优解的过程中，常常是有用的。

3. 数学或解析模型。这种模型是用函数表达式把系统高度抽象，是最精确的表示方法，也是进行系统优化分析最有效的一种方法。通过使服从约束条件的目标函数最大化或最小化，上述两个要素可典型地表示如下：

$$\text{最大化：} \quad g(x, y) \quad (1.5)$$

$$\text{约束条件：} \quad f(x, y) = 0 \quad (1.6)$$

$$x \leq x \leq \bar{x} \quad (1.7)$$

式中 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是在系统设计中要决定的可控决定变量， $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ 是事先给定的不可控参数， $\underline{x}$ 是 x 取值的下限， $\bar{x}$ 是 x 取值的上限。式(1.5)是系统设计中要使之最大化或最小化的效能指标（包括技术指标，如最大强度以及经济指标，如最低成本、最大生产率、最高利润等）。公式(1.6)表示可控变量与不可控参数之间关系的函数约束，如结构关系、动力学法则等。公式(1.7)是可控变量的区域约束，例如尺寸范围、

资源限制等。

这样,从分析的观点来看,系统优化是确定决定变量值 x ,因此目标函数(1.5)在(1.6)和(1.7)的约束条件下,就会达到最大值或最小值(有约束条件的优化);也经常存在没有约束条件的情况(无约束条件的优化)。满足约束条件的决定变量值叫做可行解。最优解是目标函数最大化或最小化时的可行解。无约束条件的优化比有约束条件的优化容易实现,因为要使式(1.5)最大化,我们仅应确定 x^* (最优解),即:

$$g(x^*, y) \geq g(x, y) \quad (1.8)$$

在实现有约束条件的优化时, x^* 应当满足:

$$f(x^*, y) = 0, \quad \underline{x} \leq x^* \leq \bar{x} \quad (1.9)$$

同样,在这种情况下,最优解通常是以

$$x^* = \psi(y) \quad (1.10)$$

形式给定。式中 ψ 是个决定函数,称作决定规则,依此可确定优化算法,这样就可用有限的计算步骤求得 x^* 最优解。最近,出现了种种优化技术,可用以推导决定规则或优化算法。它们是:

(a) 函数极值法。这是最经典的优化方法,包括用于有约束条件问题的微分法、拉格朗日乘子法(Lagrange multipliers)及用于泛函的变分法等。

(b) 数学规划法。这是在进行最优决策时起重要作用的现代优化技术。包括线性规划(LP),它使受到线性约束的线性函数最大化或最小化;非线性规划,处理非线性目标函数和约束条件;整数规划,处理整型值决定变量;动态规划,这是基于最优性原则的多级决策过程;以及其它。

(c) 网络理论。这是借助于使用网络或图形的解题方法,包括工程项目规划法(project scheduling techniques),如计划评审法(PERT)、关键路径法(CPM)和图形评审法(GERT),这些方法都同可行性与(或)最优性检查有关,以便计划完工时间与(或)成本;还包括最短路径和最大流量问题的网络流分析;还有流程和多品种小批量生产车间的调度理论,以及装配车间的生产线平衡等。

(d) 最大值原理。这是通过把优化问题化为哈密顿函数(Hamiltonian function)的最大值问题,来导出优化的必要条件。

(e) 函数解析。这是基于函数空间和函数变换的概念及其应用,解决优化问题的现代化数学方法。

(f) 隐数法。凭借有效地减少计算步骤,得到最优解的迭代法,其中包括分支限界法、字典检索法、排列搜索等。

本书将要应用和介绍上述的某些优化技术。

4. 模拟(或计算机)模型。模拟是构造实际情况的模型,用计算机程序语言表达它在一个时间系列内处理构成模型的参数、变量、约束条件和方案。这种方法有助于正确地作出决定和制定政策,它是通过高效地和经济地确定系统的形态、结构、运行程序和决定规则,从而满足系统的目标。

系统优化并非都是容易的。倘若由于理论上不可能、时间耗费太多、经济上不合理等原因，不可能实现优化时，就需要进行优化可能性的研究，而不去推导可行解。所寻求的解达到（不必超过）一定程度的“期望性”或“满意性”，使得决策人对于达到系统的目标感到满足，这种解则叫做“满足解”。这种决策是以西蒙（H.A.Simon）制定的满足判据为基础的，而决策者对按这种判据确定的近似最优解感到非常满意。实现这一途径的有效方法是试探法，或叫做试探规则〔1.20〕。这是一种可以减少解决问题过程中试探次数和减少出错的方法，它通过逐次地减少高级问题的当前状态和低级可解问题水平之间的差距，来解决问题。至今尚没有为这一过程建立起统一的程序。但是，用计算机高速模拟人的思维过程的方法，对解决这类复杂问题是十分有效的。

系统设计就是通过创造性地思维来解决问题的，其中优化基本上是寻求解决结构简单的问题，而近似优化则是用试探法来解决结构复杂的问题。

（二）系统设计的基本方法。系统设计的基本方法有两种：归纳设计法和演绎设计法。归纳设计法是一种分析的方法，它通过对现存系统实际状况的识别和研究，从而得出一个理想系统的通解。演绎设计法则是一种公理化的方法，它首先以普遍性的规律和原理为基础，设计一个理想系统，然后从理论上导出可行解或最优解。

纳德勒（G.Nadler）〔1.21〕认为“工作设计”是从理想系统的概念出发，用于探索性的设计工作系统的一种演绎设计法。这种设计法获得成功的关键就在于：怎样确定功能，如何提出理论上的理想系统，以及怎样使之成为在实际中可用的、在技术上可行的理想系统。

下面将介绍使用模型进行最优设计的方法〔1.6(d)〕。

（三）系统设计——模型分析最优设计法。该设计方法是系统设计的一般方法，它包括下面的三个阶段和十个步骤，如表1.1所示。此方法对解决一般问题和进行最优决策都是有效的，这时便可从几个计划方案中选出一个最好的方案。

表1.1 利用模型分析进行最优设计，是系统设计的一般方法(参见〔1.6(d)〕)。这个方法对解决一般问题和进行最优决策都是有效的

阶 段	说 明	步 骤	项 目
I	问题分析过程	1	问题认识
		2	要素分析
		3	信息收集
II	问题解决过程	4	模型制作
		5	模型验证
		6	决定分析
III	评价过程	7	预测分析
		8	运用
		9	效果评价
		10	修改与再设计

第一阶段 问题分析过程

〔步骤1〕问题认识。系统设计者运用创造思维能力、直觉认识和判断能力来鉴别设计问题范围，从而明确设计的技术要求。

〔步骤2〕要素分析。识别并列设计出设计问题中的要素。在这一步骤中，区分可控要素与不可控要素、定性要素和定量要素是非常重要的。可控要素和定量要素在最优系统设计中起着重要作用。

〔步骤3〕信息收集。这是为下一阶段解决问题所需的数据和信息进行收集工作。收集“客观的”、“可计量的”数据和信息是很重要的，这些数据和信息应和尽可能多的与系统相关的事件有关。

第二阶段 问题解决过程

〔步骤4〕模型制作。在这一步骤中，将制作一个适当的模型，用于表示上阶段已明确了的问题，从而在“模型世界”里有助于最优设计和最优决策的进行（参见图1.5）。模型仅包括“现实世界”中实际事物的主要事项（要素及它们之间的关系）。好的模型能使最优设计和最优决策顺利完成，这样，当系统一旦建立和运行时，就能达到预期的目标，也能对系统的未来状态加以预测。

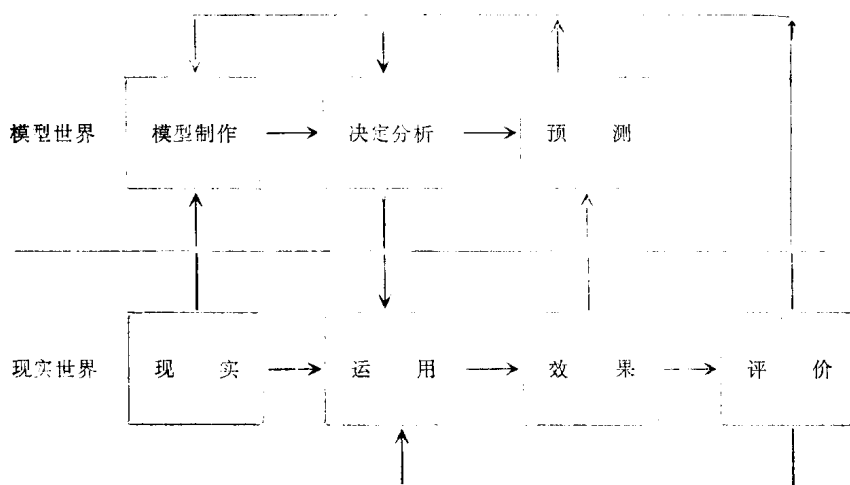


图1.5 这个模型用于最优系统设计和最优决策过程

通过在“模型世界”中的决定分析，就能在“现实世界”中建立和运行已设计的系统。模型分析的优点是，在系统运用之前，便能预测出系统的效能

〔步骤5〕模型验证。这是指用归纳法或演绎法，对上一步骤中所制作的模型进行效能的测试和验证。

〔步骤6〕决定分析。这是通过分析系统模型来得出满足系统设计目标的解（系统结构和运行程序）。只要有可能，则根据优化判据去寻求最优性，得出最优解。如果得不到最优解，可根据满意判据，探求其近似最优解。

第三阶段 评价过程

〔步骤7〕预测分析。在系统设计中，使用模型的优点之一是可以预测运用阶段中系统的