

# 系统分析 与系统模拟

李一智 主编

中南工业大学出版社

The cover features a bold, abstract design. A large red vertical bar runs down the right side. Overlaid on this are several geometric shapes: a red triangle pointing left, a blue rectangle tilted diagonally, a red circle partially overlapping a white circle, and a red line extending from the left edge. A green bracket-like shape is visible on the far left edge.

中南工业大学工商管理学院资助出版

# 系统分析与系统模拟

主 编 李一智  
副主编 曾继民  
          向文光  
          何晓洁

## 系统分析与系统模拟

主 编 李一智  
责任编辑：邓立荣

\*

中南工业大学出版社出版发行  
中南工业大学出版社印刷厂印装  
湖南省新华书店经销

\*

开本：850×1168 1/32 印张：11 字数：280千字  
1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷  
印数：0001—1500

\*

ISBN 7-81020-972-8/C·018

定价：13.00元

---

本书如有印装质量问题，请直接与生产厂家联系解决  
厂 址：湖南长沙 邮编：410083

## 内 容 提 要

本书第一篇阐述了系统工程/分析的基本概念、原理与方法论,介绍了系统评价的原则和常用方法;为适应经济分析和管理工作需要,介绍了预测技术、生产函数分析、投入产出分析及其应用。第二篇阐述了管理系统模拟的概念,随机数与随机变量的生成,以及随机系统模拟常规操作方法;最后介绍了 GPSS 专用模拟语言与系统动力学及其 DYNAMO 软件。

本书是为高等学校管理工程类专业编写的教材,也可供各级管理人员与工程技术人员自学。

# 前 言

当前,“科学管理”已经逐渐发展成为“管理科学”(Management Science),随着科学技术的发展,它的内容不断丰富;而有意识地把工业企业或部门作为一个系统,用系统论的观点来分析工业企业或部门的机制和行为,使经营决策优化或满意化,还是始于50年代的事。“系统分析和运筹学已在世界各国,特别是在工业发达国家,获得了广泛的应用。……系统分析和运筹学是用于业务问题的科学研究手段;系统分析和运筹学使用系统的方法,是一种科学方法。”<sup>①</sup>

本书定名为《系统分析与系统模拟》,主要是考虑到教学上取材的需要与方便;其实,系统模拟也可视为一种系统分析的方法。本书的内容主要是参考国家教委管理工程专业教材委员会制订的“系统工程”与“系统模拟”课程的教学基本要求而编写的;主要阐述“系统工程——组织管理技术”(钱学森语)的系统观点、原理与方法论,系统评价的方法以及企业或部门常用的系统分析方法,包含管理或经济系统的模拟(仿真)方法。考虑到决策分析当前已经获得了广泛且深入的发展,因而可以独立设课。为了避免教学上的重复,本书未能包含决策分析理论与决策支持系统的内容。使用本书时,可以根据不同专业及层次的要求取舍其内容;对管理工程专业高层次学生,在教学中希望还增补必要的最新内容。

本书第一、二、三、四(除§4.5)、七、十二章由中南工业大学工商管理学院博士导师李一智教授编写,第四章的§4.5节和第六章由向文光副教授编写,第五、十一章由何晓洁讲师编写,第八、

<sup>①</sup> 引自美国科学院国际科学技术发展局:《系统分析和运筹学——发展中国家制订政策和计划的工具》(中译本),中国社会科学出版社,1979年。

九、十章由比利时王国 Mons 理工学院博士曾继民编写。由李一智教授任主编,曾继民博士任副主编,负责全书的定稿。虽然本书内容经过多年的教学并付印过讲义,但在取材和编写上难免有不当之处,容后修正。

本书的出版获得中南工业大学工商管理学院的关心与赞助,中南工业大学出版社的大力支持,于此一并致谢。

编者

1996年8月30日

# 目 录

## 第一篇 系统分析

<b>第一章 系统科学概述</b> .....	(1)
§ 1.1 系统的概念 .....	(1)
§ 1.2 系统科学的学科体系结构 .....	(5)
§ 1.3 系统工程/分析的概念 .....	(10)
§ 1.4 系统工程/分析的科学原理 .....	(12)
<b>第二章 系统工程/分析方法论</b> .....	(16)
§ 2.1 霍尔三维结构方法论.....	(16)
§ 2.2 系统工程的步骤.....	(18)
§ 2.3 区域经济发展规划研制的方法论.....	(18)
§ 2.4 企业发展战略与规划研究的方法论.....	(24)
§ 2.5 系统分析及其程序.....	(26)
<b>第三章 系统评价</b> .....	(29)
§ 3.1 概述.....	(29)
§ 3.2 关联矩阵法.....	(31)
§ 3.3 费用-效益分析.....	(32)
§ 3.4 功效系数法.....	(34)
§ 3.5 模糊综合评价法.....	(34)
§ 3.6 层次分析法.....	(37)
<b>第四章 预测技术</b> .....	(47)
§ 4.1 预测技术概述.....	(47)
§ 4.2 专家评估法.....	(50)
§ 4.3 情景分析法.....	(55)
§ 4.4 时间序列分析.....	(57)

§ 4.5	线性回归预测模型	(76)
§ 4.6	非线性预测模型	(108)
§ 4.7	马尔可夫预测技术	(121)
<b>第五章</b>	<b>生产函数分析</b>	<b>(134)</b>
§ 5.1	有关生产函数的基本概念	(134)
§ 5.2	几种重要的生产函数	(138)
§ 5.3	生产函数与中性技术进步	(143)
§ 5.4	生产函数的应用	(151)
<b>第六章</b>	<b>投入产出技术</b>	<b>(156)</b>
§ 6.1	投入产出模型的基本形式	(156)
§ 6.2	国民经济计划测算	(168)
§ 6.3	企业投入产出分析	(179)
§ 6.4	地区经济的投入产出模型	(186)
§ 6.5	投入产出技术的其它应用	(189)

## 第二篇 管理系统模拟

<b>第七章</b>	<b>管理系统模拟概述</b>	<b>(192)</b>
§ 7.1	系统模拟的概念与特征	(192)
§ 7.2	系统模拟的主要术语与步骤	(195)
<b>第八章</b>	<b>随机数与随机变量的生成</b>	<b>(202)</b>
§ 8.1	随机数的生成	(202)
§ 8.2	随机数流的检验	(205)
§ 8.3	随机变量的生成	(209)
<b>第九章</b>	<b>随机系统模拟常规操作方法</b>	<b>(217)</b>
§ 9.1	时间步长法	(217)
§ 9.2	最短时间事件步长法	(220)
§ 9.3	模拟结果的统计分析	(224)
<b>第十章</b>	<b>GPSS 专用模拟语言及其应用</b>	<b>(229)</b>



§ 10.1	GPSS 基本概念	(229)
§ 10.2	动态实体与最常用功能模块	(233)
§ 10.3	实体的标准属性	(241)
§ 10.4	函数与变量	(245)
§ 10.5	与 XACT 参数值有关的模块	(251)
§ 10.6	模拟运行控制及有关模块	(260)
§ 10.7	设备与存贮器	(267)
§ 10.8	动态实体的复制与装配	(276)
§ 10.9	逻辑开关与测试	(280)
<b>第十一章</b>	<b>GPSS/H 简介及应用案例</b>	<b>(285)</b>
§ 11.1	GPSS/H 简介及使用说明	(285)
§ 11.2	GPSS/H 应用案例	(292)
<b>第十二章</b>	<b>系统动力学</b>	<b>(308)</b>
§ 12.1	概述	(308)
§ 12.2	系统动力学模型的建立	(309)
§ 12.3	SD 模型结构	(314)
§ 12.4	DYNAMO 软件简介	(320)
§ 12.5	SD 模型示例	(322)
§ 12.6	关于 SD 模型的有效性等问题	(324)
<b>附录</b>		
附录一	相关系数检验表	(329)
附录二	$T$ 分布表	(330)
附录三	$F$ 分布表	(331)
附录四	$DW$ 检验表	(334)
附录五	$\chi^2$ 分布数值表	(337)
附录六	RAND 公司的随机数表一页	(339)
<b>参考文献</b>		<b>(340)</b>

# 第一篇 系统分析

## 第一章 系统科学概述

### § 1.1 系统的概述

无论在自然界还是社会里,系统是普遍存在的、相对确立的事物;相关事物既自成系统,又互成系统。恩格斯曾指出:“我们所面对的整个自然界形成一个体系,即各种物体相互联系的总体。”<sup>①</sup> 由于现代化工业、农业、国防和科学技术的发展,出现了许多大而复杂的、非天然的系统,例如:各种工业企业及其生产系统和管理系统,电力系统,交通运输系统,通讯系统,农业系统,社会行政管理系统,社会经济系统,经济信息系统,(计算机)国际交互网络系统(INTERNET),环境保护系统,等等。这些系统具有系统功能和系统目标,需要对其结构组成、技术性能、运行状态、经济效果和社会效果、外部环境等方面予以综合分析研究。为此,我们首先要明确系统的概念和特征。

系统的概念来源于人类长期的社会实践。今天,我们认识到,所谓“系统”(Systems),就是由相互联系、相互作用的若干部件或要素按照一定的组织、秩序结合起来,且与外界环境发生关系的,具有特定功能的有机整体;而且它本身又是它所从属的更大系统

<sup>①</sup> 引自恩格斯《自然辩证法》。

的子系统或要素；应当指出，系统工程研究的系统是可控的系统，可控系统还具有特定的系统目标(或目的)。

可控系统具有下述特征：

1. 整体性。系统总是由两个或更多个要素按照一定的结构方式结合起来的整体，而不是各要素的简单集合。任何一个系统若要保持它所具有的整体功能，则不能缺少任何一个组成要素，否则将失去它的整体功能。系统的整体性能也不是各组成要素的性能的简单堆积；即使每个要素的性能并不很完善，但它们也可能组成具有良好整体性能的系统；反之，即使每个要素的性能是良好的，但它们组成的系统却可能没有某种良好的整体性能。

2. 结构上的层次性(有序性)。任何系统的结构总是具有层次性，逐层隶属，逐层相关联，形成递阶结构。一个系统由若干子系统组成，它又从属于某个更大的系统。系统中各要素之间与各层次之间的关联结构，是因系统的不同而相异的。系统的结构方式不同，则系统的性质或行为也就不同，比如石墨和金刚石。系统的结构将决定系统的性质、行为或功能。

3. 相关性。系统的各要素是相互联系、相互影响、相互制约的。通过特定的相关性和结构，系统才能保持有某种特定的功能，这种功能在任何要素所不具备的；换言之，系统中每个要素的性质或行为决不能代表系统的性质或行为。每个要素的性能虽然可以影响系统整体的性能，但是这种影响不具有独立性，而是通过相关性，即依赖于其它要素的性能相互配合协调地施加影响。

4. 目的性(系统目标)。人造系统总有一定的目的性，特别是多层次大规模系统(如国民经济或区域经济系统)往往具有多目标，系统正是按照某种目的性而将各个要素组合起来。要达到既定的目标，系统必须具有一定的功能；系统功能的完善与否，应该通过系统目标能否实现来判断，两者是一种因果关系。

5. 环境适应性。任何一个系统都处在一定的环境中，与外界环境(自然的与/或社会的)不断进行物质、能量、信息，甚至还包括

人的交换。系统与外界环境之间具有多方面的、有时还是很重大的相互作用与冲击,因此系统必须适应环境及其变化,能够对环境作出及时的和正确的响应(或应变)。

6. 运动性和反馈。正如任何事物都处于运动状态中一样,系统也处于运动状态中,表现在系统都有输入与输出以及反馈,形成系统的流——系统运动。系统中的流有物流、能流、信息流、资金流和人流,系统本身处理这些流,对这些流加以转换;系统又通过反馈作用来调整这些流,确定下一步的策略。比如,一个企业可表示为生产要素投入→转换→产品产出以及产出对投入反馈的闭环系统;对企业产品成本也可设计出成本的闭环系统,将实际成本与目标成本加以比较,实行反馈控制,同时也可以设计出性能反馈回路、工期反馈回路等,构成复杂的反馈关系方框图。正如有人提出,系统工程问题的实质就是反馈。

在自然界和人类社会中普遍存在着各种各样的系统。为了研究系统的属性,必须对系统的各种形态加以探讨。系统形态可以作如下分类。

### 一、自然系统和人造系统

自然系统是由自然界的天然物,比如矿物、动物、植物等自然形成的系统。例如:银河系、太阳系、海洋系统、气象系统、生态系统、矿藏系统和水资源系统,等等。有些自然系统,利用现今的科学技术是无法加以控制的,或者根本无法控制;但有些自然系统,今天我们完全可以加以控制和改造。如果自然系统施以人工改造,则成为自然系统和人造系统的复合系统,譬如各地水利工程系统,矿藏开发系统。人造系统,顾名思义,就是由人工造成的各种要素所构成的系统。例如:各种物质的生产、加工的工程系统,社会经济系统,管理系统,等等。随着科学技术的发展,出现了越来越多的人造系统,其中有许多是运用科学技术认识和改造了的自然系统,即上述复合系统。随着工业及其人造系统的发展,造成了

严重的环境污染,破坏了自然生态系统的平衡。这就是必须注意研究系统的环境适应性的原因之一。

## 二、实体系统和概念系统

凡是以物质和人等实体为组成要素所构成的系统,可称为实体系统或硬系统,例如:电子计算机硬件系统,各种生产系统等。凡是由概念、原理、方法、制度、程序、数据等信息所构成的系统,可称为概念系统或软系统,例如:电子计算机的操作系统,各种高级语言的编译系统,信息(数据)处理系统,经济信息系统,科学体系,教育体系等等。

在实际生活中,实体系统和概念系统也往往结合成复合系统。例如:管理系统,既包括各种信息又包括物质和人;教育系统,既包括各种信息又包括人和物等。

## 三、静态系统和动态系统

如果系统中某些变量是时间的函数,那么这种系统可称为动态系统。这是普遍的情形。如果表达系统的数学模型中变量不随时间而变化,那么这种系统称为静态系统;它只是动态系统的一种极限状态,即处于稳定状态的系统。

## 四、控制系统和行为系统

如果系统中有某些要素被某些控制机构(也是系统组成要素)加以控制,使其符合规定的目的或行为,那么这种系统可称为控制系统;当这种控制作用是自动发生时,称为自动控制系统。

所谓行为就是为了达到某种确定的状态或目的而执行某种特定功能的过程。行为系统就是以达到目的或状态的行为过程作为构成要素而形成的系统。

所有上述各种形态的系统中凡是人造的、或人工改造的而具有明确目标的系统,统统可认为是可控制的系统。

## § 1.2 系统科学的学科体系结构

为了掌握系统科学的知识全貌,我们有必要了解系统科学的学科体系结构。

科学技术是人类认识世界和改造世界而积累的知识结晶,随着社会的发展和科技的进步,科学技术逐渐形成一定的体系结构;而且这种体系结构的内涵也是逐渐扩大和深化的。到本世纪 40 年代以后,整个科学体系结构,被认为是由四大部门构成的,即数学、自然科学、社会科学和思维科学,其基础是哲学。

对现代科学门类,我国著名科学家钱学森认为,科学体系结构分为九大类型:自然科学,社会科学,数学科学,系统科学,思维科学,人体科学,文艺理论,军事科学,行为科学。由此可见,系统科学在整个科学技术体系中的意义和地位。

科学体系虽然可划分为上述九大类型,但并不意味着每一类型只是研究客观世界的某一部分,而应该理解为,每一类型都是面对和研究整个客观世界,其区别在于观察、研究问题的侧面、观察研究运用的手段不同。

系统科学是以系统论为核心理论,从系统的结构和功能出发去研究客观世界——系统的一门新兴科学门类。系统论是尚在形成的一个新兴学科。我们认为,系统论是研究系统内外联系、系统机制特征、系统结构功能及系统运行与演变规律的基础理论。当前,系统论(学)主要是由一般系统论、耗散结构论、协同论、突变论、自组织理论以及其它理论综合起来的一个学科。对此,钱学森教授曾指出:“我看,耗散结构理论、协同学、……都是过往云烟,留下的将是系统学。当然创造耗散结构理论和协同学的普里戈金和哈肯是大有功劳的。”

奥地利科学家 L·贝塔朗菲(Bertalanffy)在本世纪 30 年代创立了“一般系统论”,当时他曾说:“我们提出一门称为一般系统论

的新学科,这是逻辑和数学的领域,它的任务乃是确立适用于各种系统的一般原则。”一般系统论主要包含以下几个理论观点:

1. 开放系统理论。L·贝塔朗非指出:“开放系统是指同环境交换物质的系统,它的物质成分有输入与输出,有组成和分解。”“我们发现有些系统按其本身性质和定义都不是封闭的。每一种生物本质上都是开放系统。”可见,这一理论启示我们,应该从系统与其环境的关系来考察和研究系统,这样才能从整体上理解某些事物和现象。开放系统的运动,系统与其环境不断交换物质、能量,其结果从整体上看,这种运动是不可逆的,系统将不断提高其有序性。贝塔朗非也曾预言:“开放系统的某些原理仍然可以成功地广阔的领域中运用。”当前,众多厂家生产的计算机系统都纷纷宣告它是一个开放系统,但是计算机系统的开放性尚未统一定义。

2. 动态系统理论。贝塔朗非指出了机械论的被动反应观点(有机体只有受到刺激才作出反应,否则便静止不动。)的错误。并且认为开放系统都是动态系统。系统的动态性不仅表现在随着时间的推移系统内部的结构及其空间分布以及系统的各种参量会发生变化,而且还表现在系统同外部环境不断地发生物质、能量和信息的交换活动。现实的系统都是动态系统,静态系统只不过是动态系统的一种暂时或极限态。

3. 等级系统理论。等级、层次、递阶秩序是一般系统论的主要观念,贝塔朗非指出:“递阶秩序的一般理论显然是一般系统论的骨干。”等级或层次性是系统普遍具有的属性之一。任何系统都具有各自的结构和形式,但其共性是结构有序、并有多层次。贝塔朗非认为,科学研究的目标之一就在于发现种种不同层次上的组织原理。

4. 生命系统理论。对生命本质的解释,在历史上有过机械论和活力论之争。贝塔朗非认为这两种理论都没有为解释生命本质指引正确的方向,他提出了机体论,即只有把生命看做整体、有组

织秩序和有机体的运动,才能解释生命的新陈代谢、自调节、生长和目的等现象。贝塔朗非还主张把机体论应用到行为科学和社会学等广阔的领域。

比利时物理学家 I·普利戈金(Prigogine)于 60 年代末提出了“耗散结构理论”,因此他于 1977 年获得诺贝尔化学奖。耗散结构论是研究系统从无序到有序转化的机理、条件和规律。为了了解耗散结构论,这里首先引述一些基础知识如下:

(1)退化与进化。在物理学中对无机界的孤立系统研究,获得了热力学第二定律:任何一个孤立系统都朝着均匀、简单、消除差别的方向发展,即是“退化”。最有代表的是克劳修斯的“热寂说”,即是:宇宙中万事万物最终都要发展到一种均匀状态,温度、压力等均匀,宇宙将进入一个死亡、寂寞状态。

生物学的研究又产生了达尔文的“进化论”,即一切生物在与环境斗争、争生存的过程中,不断地由低级、简单向高级、复杂进化。

普利戈金面对上述两种观点感到疑惑:物理系统的退化与生物系统的进化表现为两种世界,难道这两种世界之间具有如此巨大的鸿沟?若果,那么又怎么解释有机生命和智慧之果为什么恰好是产生于无机界的发展?

(2)系统状态有平衡态和非平衡态。平衡态是其物理量时不变,也不产生物理量的宏观流,如热流。非平衡态是其物理量不均匀;它又可分为:近平衡态或线性平衡态,是指偏离平衡态较小的非平衡态;远离平衡态或非线性平衡态,其内部热力学参量极不均匀、相互作用又属非线性关系,是属偏离平衡态比较大的非平衡态。

(3)熵与熵增大原理。克劳修斯提出了熵的概念,熵是热量被温度除的商,即  $S = Q/T$ 。在热力学中,熵是状态混乱度的函数,熵越大越混乱,越无序,熵愈小愈有序。热力学第二定律即熵增大原理,它表明孤立系统熵增大过程是不可逆的,其数学表达式为熵



流  $dS \geq 0$ , 热能只能从高温体流向低温体, 一直达到平衡, 熵达到最大值为止。

普利戈金的耗散结构论认为系统可以划分为三种不同性质的系统: ①孤立系统, 是指系统与外界环境不发生物质、能量交换的系统; ②封闭系统, 是指与外界环境有能量交换但无物质交换的系统; ③开放系统, 是指与外界环境有能量和物质交换的系统。

普利戈金指出, 任何系统的总熵流  $dS$  可表示为

$$dS = d_e S + d_i S$$

式中  $d_e S$ ——系统与外界环境交换物质和能量引起的熵流;  
 $d_i S$ ——系统内部自发产生的熵流, 按热力学第二定律,  
 $d_i S > 0$ 。

- 在孤立系统中, 显见  $d_e S = 0$ , 所以

$$dS = d_i S > 0$$

系统的总熵增加, 无序度增大, 系统不可能产生新的有序结构。

• 在开放系统中, 系统处于非平衡态时, 可能存在如下两种情形: 第一种是在近平衡态时, 由于内部熵流  $d_i S$  较大,  $d_i S > 0$ , 而且它离平衡态偏离较小, 故  $d_e S \approx 0$ , 即使有较小的负熵流  $d_e S$ , 但是最终还是抵抗不了系统内部的熵流  $d_i S > 0$  的破坏, 最终仍形成  $dS > 0$ , 系统最终趋向平衡态, 也不可能产生新的稳定的有序结构。第二种是在远离平衡态时, 由于系统不断地从外界环境获取物质、能量, 给系统带来负熵流  $d_e S < 0$ , 当物质、能量交换达到某种临界值以后, 负熵流达到某种程度时, 将导致负熵流  $d_e S$  抵抗  $d_i S$ , 使得总熵流  $dS < 0$ , 其结果是有序性增加远大于无序性增加, 于是新的结构将能自发地形成, 这种新结构普利戈金命名为耗散结构。它是由于耗散了环境提供的物质、能量而自发形成的一种有序的结构。所以说, 非平衡是有序之源。在现实生活中, 我们可以到处发现耗散结构: 一座城市, 一个企业, 各种生命体, 都是一个耗散结构。