

何 伦 志 著

# 系统科学概论

XITONGKEXUE GAILUN



新疆大学出版社

## 内 容 简 介

本书通过对系统科学的基本原理、系统科学的形成和发展、系统分析、系统工程的内容和方法、中国系统工程的发展、系统模型和系统优化以及大系统控制、优化等专题的论述,使读者了解系统科学总的内容和方法以及系统科学在各个科学领域广泛的应用前景,为进一步深入研究和解决实际问题奠定坚实的理论基础。

本书可作为理工科大学管理工程系、经济管理系、经济系、系统工程系学生的选修教材,也可作为经济管理干部培训的教材。对有志于研究经济、系统理论的数学工作者和工程技术人员也有参考价值。

## 序

在我国方兴未艾的系统科学热潮中，何伦志同志的《系统科学概论》注入了一股炙人的热流。在我国繁花似锦的系统科学百花园中，何伦志同志的《系统科学概论》不失独树一帜。这本书的编著，颇具匠心，值得一读。

自从本世纪30年代奥地利生物学家贝塔朗非明确提出系统论的思想后，半个世纪以来，在全世界范围内获得了异乎寻常的成功。这一事实，充分显示了系统科学的重要性和强大的生命力。系统科学之所以受到人们的重视，归根到底，在于它能够较为充分地满足人类认识世界和改造世界的实践需要。列宁说：“在人面前是自然现象之网。本能的人，即野蛮人没有把自己同自然界区分开来，自觉的人则区分开了。范畴……是帮助我们认识和掌握自然现象之网上的纽结。”“网”亦可理解为系统。自然界、客观世界本来是一个“网”，一个系统。本能的人置身于“网”中，都未能认识和掌握这个“网”；自觉的人之所以自觉，则在于他已经能够运用范畴等思维工具，认识和掌握这个“网”了。简言之，只有在理性中能够自觉再现客观世界之“网”的人，才是自觉的人。这也就是说，现代自觉的人，必须实现对客观系统的系统认识。

世界即系统，事物即系统。但是，人对客观对象的认识都

有一个过程。在相当的一个历史时期中，人们只认识到事物即是事物，认为物质即是原子，原子即无结构，亦不变化，是不可分的。这种认识，反映了事物的质的规定性及其确定性，无疑是必要的。但都是有局限的。因为事物就外观的感触而言，首先呈现为一个个确定的事物。但是其内部，都是一个有结构的系统。难道原子不就是一个系统吗？现在大家都承认，原子是一个“小太阳系”，即由原子核和电子构成的系统，只不过过去的科学尚未加以认识罢了。当科学和认识在实践的基础上进一步深入，就必然要认识到事物皆为系统。因之，从认为事物即事物，到承认事物即系统，是人类认识史上的一次有重大意义的飞跃。

系统是客观的，系统方法也并不神秘。我们的祖先，实际上早就在运用系统的方法了，虽则那时总免不了带有种种朴素性。阴阳八卦相互交感衍生万物的《易经》八卦说，中医诊治中的四诊、八纲、十二经络学说，从政治、天时、地利、将帅、法制（即：道、天、地、将、法）等诸多方面所形成的整体上把握战争的孙子兵法等，无不包含看来丰富而朴素的系统思想和方法。至今造福天府人民的都江堰水利工程，直到现在还能通过载重汽车的泸沟桥，那一座座高耸入云的古塔建筑，无不是系统论思想与方法实际运用的历史见证。在我们日常的工作和生活中，都不可能是绝对单纯地只处理单独的某一件事。如果您同时面临几件事要处理，那么这先后顺序的安排、各项工作中的相互关系等，实际上已经是把各项事物当作一个小小的系统加以对待了。一国、一地区、一城市、一部门、一单位的工作安排，是一个系统。一个家庭中各方面的协调安排，也是一个系统。甚至一个小小居室的布置，也是一个系统。因之，系统方法实际上早已被

人们所广泛应用着，尽管人们有时并不觉得。

正因为是这样，就必须有人从科学的高度，把系统科学的理论和方法总结出来，也必须有人加以广为传播它。现在已经出版了一些有关系统论的著作了，而何伦志同志的这一著作可谓锦上添花。本著有它的一些特点，一者，较为系统地叙述了有关系统科学的基本原理、系统科学的形成和发展、系统分析、系统工程的内容和方法、中国系统工程的发展、系统模型和系统优化以及大系统控制等方面的问题，从中即可了解到有关系统科学各个主要的方面；二者，较为简洁，篇幅不多，在多数人工作繁忙之余，可利用有限的时间读完它；三者，较为通俗，有一般文化基础的人即可读懂，不致因系统论为新兴学科而有艰深难懂之感。较系统而又较简洁通俗，就利于系统科学的传播，不能不说是值得肯定的。故为序，以荐于读者。

蔡 灿 津

1988.3.28

# 前 言

近20年来，由于实际需要的推动和科学工作者的努力，系统科学这门新兴科学已经出现了群峰竞秀，百舸争流的局面。我国学者在这方面已作了大量工作，取得了许多可喜的成果。但到目前为止，还缺乏适合于广大科技工作者、实际工作者学习的直接而又详细、系统而又精简的论述系统科学理论、内容、方法的专门性著作。本书的目的就是试图满足这一急需。在本书中，我们吸收了国内外许多学者的研究成果和资料，其中包含作者本人的若干论文和讲稿。通过撷拾整理，希望能在一本篇幅不大的书里，向读者系统地介绍这门学科的基本概念、内容和方法，以期通过学习，能对读者进一步深入研究和应用系统科学的基本理论和方法有所裨益。

涉及系统科学的有关内容、方法以及与系统科学有密切联系的科学技术分支已有专论，如运筹学各分支等。故本书不作专章详论。特别要说明的是，通常人们把系统论、信息论、控制论三者并列起来同等看待，我认为只有一论，即系统论。信息论、控制论是系统论中的专门方法和应用技术。控制论所研究的是信息的传输变换，实际上是系统的信息传输变换；信息论研究的信息传输变换就是系统的相互联系、状态变换，即系统论所研究的内容。因此，在这里也就没有必要去论述它们，何况，控制论、信息论的专门著作已有不少。本书中心目的是想向读者勾勒出一幅系统科学的体系图，为读者深入这一领域奠定基础。

全书共分六章：

第一章从系统的概念出发，引出系统的特征和类型，分析了系统的理论、系统科学、系统工程之间的联系与区别，阐述了系统科学的内容。

第二章介绍了系统科学的形成和发展，系统科学的基本原理和方法。

第三章专论系统分析。概括地介绍了系统分析的概念、原则、应用范围、基本要素，系统分析的内容及其应用实例。

第四章是系统科学的应用部分——系统工程。

第五章最一般地介绍了系统模型和系统优化技术。由于系统建模和系统优化所涉及的数学方法很多（几乎涉及所有的数学分支），本书又不可能面面俱到。但不管现实问题多么复杂，也不管在建模过程中涉及多少数学方法，综合概括起来，现实中的问题无非有三类：确定性问题、随机性问题和模糊性问题；解决这三类问题的方法无非是数学规划、概率统计和模糊数学。因此本书着重介绍了规划模型、随机模型和统计模型。对大系统，特别是社会经济系统的控制和优化，是目前系统科学中急待研究的问题，就此，本书第六章结合实际问题作了专门论述。

本书既是以作者近年的若干论文和讲稿为基础形成，又为教学之急需，尽管竭力而为，仍很不成熟，权作引玉之砖。不妥之处，敬请随时指教，以便改进。

本书能与读者见面，全赖各方支持。这里，我要特别感谢我国著名系统工程专家李伯溪，数量经济学家张守一，以及蔡灿津教授；还要感谢新疆大学副校长许国禄同志，是这些前辈给予我极大的支持和热情的帮助。对编辑同志们为此而付出辛勤劳动亦深表谢意。

作者 1987年12月于新疆大学

# 目 录

## 前言

|                           |      |
|---------------------------|------|
| <b>1 系统科学</b> .....       | (1)  |
| 1.1 系统的定义.....            | (1)  |
| 1.2 系统的基本特征.....          | (2)  |
| 1.3 系统的分类.....            | (6)  |
| <b>2 系统科学的形成和发展</b> ..... | (8)  |
| 2.1 系统观的萌芽.....           | (8)  |
| 2.2 系统观的形成.....           | (10) |
| 2.3 系统论的产生.....           | (13) |
| 2.4 现代系统论的发展.....         | (14) |
| 2.5 系统科学的基本原理.....        | (19) |
| 2.6 系统科学的方法.....          | (23) |
| <b>3 系统分析</b> .....       | (25) |
| 3.1 系统分析的原则.....          | (25) |
| 3.2 系统分析的应用范围.....        | (27) |
| 3.3 系统分析的基本要素.....        | (28) |
| 3.4 系统分析的内容.....          | (33) |
| 3.5 系统分析的应用.....          | (44) |
| <b>4 系统工程</b> .....       | (62) |
| 4.1 系统工程的定义.....          | (62) |



|     |                              |         |
|-----|------------------------------|---------|
| 4.2 | 系统工程的方法论·····                | ( 62 )  |
| 4.3 | 系统工程的技术内容·····               | ( 65 )  |
| 4.4 | 系统工程与各学科技术的联系·····           | ( 69 )  |
| 4.5 | 系统工程的方法·····                 | ( 70 )  |
| 4.6 | 工程学的形成和发展·····               | ( 72 )  |
| 4.7 | 中国系统工程学的研究·····              | ( 74 )  |
| 5   | <b>系统模型和系统优化</b> ·····       | ( 77 )  |
| 5.1 | 模型的定义·····                   | ( 77 )  |
| 5.2 | 模型的分类·····                   | ( 78 )  |
| 5.3 | 建立模型的步骤和方法·····              | ( 82 )  |
| 5.4 | 线性规划模型及其解法·····              | ( 85 )  |
| 5.5 | 随机模型·····                    | ( 114 ) |
| 5.6 | 统计模型·····                    | ( 147 ) |
| 6   | <b>大系统优化</b> ·····           | ( 167 ) |
| 6.1 | 处理多目标问题的基本原则·····            | ( 168 ) |
| 6.2 | 多目标优化方法的分类·····              | ( 169 ) |
| 6.3 | 数学分析法·····                   | ( 169 ) |
| 6.4 | 大系统优化·····                   | ( 184 ) |
| 6.5 | 分解——协调原理在国民经济<br>决策中的应用····· | ( 195 ) |

# 1. 系统科学

## 1.1 系统的定义

“系统” (System) 一词源于古希腊语, 有“共同”和“给以位置”的含义。虽然由于人们的理解和使用范围不同, 在含义上也往往不尽一致, 但一般认为: 系统是相互作用和相互依赖的元素集, 以集体行为完成特定功能的有机结合体。例如, 太阳系、电子计算机、城市、汽车、家庭等都是系统。系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。例如, 城市系统包含了城市交通、公用事业、土地使用和能源等子系统。子系统又有各自不同的体系结构。对系统的结构, 我们还可以运用集合论的概念加以定义:

设系统  $S$  为可识别的, 独立的各个组成部分 (或元素) 所构成的集合, 则这个系统可表示为

$$S = \{a, r\}$$

其中  $\{a\}$  指要素集

$\{r\}$  指关系集 (或称为行为模式)。  $r$  包括对  $a$  集的运算规律,  $a$  内各元素之间的相互关系,  $a$  与外部环境、约束和控制现象之间的关系。例如, 某企业生产一单位的产品需 0.5 单位的原材料, 一台设备每天只用 2 小时来生产零部件等, 都是一些“关系”。这些关系都包含在形成问题

的集  $r$  之中。因此，集  $r$  可以由一些系统元素的方程式或不等式来定义。

系统具有输出某种产物的目的，但它不能无中生有。企业所以能够生产一单位产品（输出），是因为投入了 0.5 单位的原材料才得到的。因此，对应于输出必有输入并经处理才能得到。输出是处理的结果，它是系统的目的。而处理是使输入变为输出的一种活动。一般说，这种活动由人、设备分别或结合承担。概括起来，输入、处理、输出是组成系统的三个基本要素，加上反馈便构成一个完整的系统。其简图如 1—1 所示。

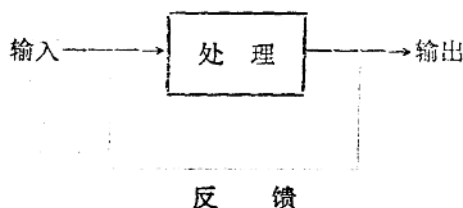


图 1—1

## 1.2 系统的基本特征

从系统的定义可以看出，系统既是相互作用、相互依赖的元素集，它就应具有以下特征。

### 整体性

系统的特性是各元素构成一个整体时才是完备的。虽然系统的组成部分各自独立，并具有各自的功能，但由于它们具有逻辑上的整体性，才能构成一个有机的整体。系统决不是各部分的简单拼凑，因为系统各元素之间相互联系的性质，决不是所有孤立元素的性质所能包括的。例如，恩格斯在

《自然辩证法》中介绍的拿破仑所说的“两个马木留克兵绝对能打赢三个法国兵，一百个法国兵与一百个马木留克兵势均力敌，三百个法国兵大都能战胜三百个马木留克兵，而一千个法国兵总能打败一千五百个马木留克兵”。这就是说，对于一个系统，即使每个元素良好，如果整体性能差，仍然不是一个好的系统；而一个系统中各部分并不优越，但它们作为一个总体被统一起来，却可以具有优越的功能。系统的特点就是要做到使总体功能大于其各组成部分的功能之和。

应当注意的是，在研究系统时，不应当简单地用孤立的分解方法。这是因为，具有整体性质的系统，一旦拆开，那就不是原来的系统了。比方说，用解剖方法研究人体，所得到的只是个别已停止活动的器官的知识，而不是人体系统特性的知识。

系统整体性可用下面这样一个公式来表示：

$$N_s(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \approx Na_1(Q_1) + Na_2(Q_2) + \dots + Na_n(Q_n) \quad (1)$$

式中  $Q_1, \dots, Q_n$  分别为组成系统的各个元素  $P_1, P_2, \dots, P_n$  的定量表示（测度），可以用它们代表系统各元素。 $Na$  表示系统的“性质”（功能）， $Na(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$  即是  $Na(P_1 + P_2 + \dots + P_n)$ ， $Na_i(Q_i)$  即是  $Na(P_i)$ 。

机械集合的非系统性可以当做系统性、整体性的极限情形，这时（1）式不等号换为等号。

### 关 联 性

系统的关联性可分为内部关联性和环境关联性。所谓内部关联，是指系统内各元素之间一定存在相互作用、相互依赖的有机联系。互不关联的要素不能构成系统，联系是一种

客观存在的特征，系统中，任何一部分（或元素）的变化都会影响其它部分（或元素）的状态。如人体系统的子系统（元素）：消化系统、神经系统、循环系统、呼吸系统……它们之间存在有机联系。中医学上谈“五脏、六腑”相通就是讲它们之间的有机联系。

系统内部各元素  $Q_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 之间的关联性可用下式表示：

$$\frac{dQ_i}{dt} = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_{i-1}, Q_{i+1}, \dots, Q_n) \quad (2)$$

式中  $f_i$  表示“关系”。

“独立性”则是关联性的  $f_i$  中只含  $Q_i$  的极限情形，机械集合中各元素相互独立，系统内往往也包含某种独立性。

所谓环境的关联性，是说任何系统都存在于一定的外界环境之中，因而系统必须适应外部环境的变化。如对于一个企业系统，它必须认真研究原料、动力供应、市场需要……对其生产、流通等环节的影响。

系统的环境关联性事实上就是系统内部与系统外部的相互联系和影响、制约。自然，这种关联又可看作更大范围系统中的内部关联性。如果将环境视为更大范围系统中的一个元素，则系统的环境关联性也可用 (2) 式表示。其中  $Q_i$  还可以更换为系统的特性  $S_i (\sum Q_i)$ ，使式子表述整个系统与环境的关联性。

### 目 的 性

为了达到一定的目的，系统都具有一定功能，如电力系统，其目的是向用户提供电能，因而它就必须有以下的功能：通过锅炉将煤炭的化学能转变为燃烧室中的热能，再变为高温高压汽形式的热能；通过热机将热能变为机械能；

……变为远距离用户得以方便使用的电能（这里仅说明“功能”）。以系统的结构为基础，把系统的行为予以展开就形成了系统的功能。系统之间的区别主要表现在功能的不同。凡系统均有结构，结构决定功能。人工系统是根据系统的目的来设定其功能的，而自然系统虽有功能但无目的。如地球的海陆变迁，月亮按一定周期绕地球旋转，就没有什么目的（但仍有一定功能）。对这类情况，只存在人们对它的适应。

我们研究系统，是为了通过调整系统内部、外部各因素之间的联系，更好地实现系统的某种目标，力争达到最优目标。

系统的目的性功能  $B$  可以表示为：

$$B = f(E, C, R) \quad (3)$$

其中  $E$  表示环境， $C$  表示元素， $R$  表示关系。

人们实现目的，争取最优目标，主要就是调整关系  $R$ ，并通过改变  $R$  来改变  $E$ 、 $C$ ，最后影响  $B$ 。人本身则既可以是系统元素  $C$  的一种，又可包含于环境  $E$  之中。事实上，人和系统内部、外部各因素之间的关系，也正是  $R$  的重要内容。

以上特征，基本上概括出了一般系统结构的形式。一般来说，人们把系统的目的性功能作为决定系统结构的出发点，把关联性作为系统结构的主体骨架的内涵特性，把整体性作为系统内部综合协调的表征。因此，系统特征的形态化，构成了系统结构的具体形式。

对系统这三大特征，我们还可以用系统模型来描述。我们用  $P_s$  表示系统整体功能，用  $\sum p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ ，其中  $p_1, p_2, \dots, p_n$  ( $n \geq 2$ ) 分别表示系统各组成部分。

的功能，每一部分，例如  $p_1$  又可以按上述模式进一步展开，

$$p_1 = C_1 O_1 \sum p_{1m} (\sum p_{1m} = p_{11} + p_{12} + \dots + p_{1m}) \quad m \geq 0$$

式中， $O$ —表示组织起来的各部分由于相互联系、相互作用，引起系统总功能的变化，我们把它称为组织效应。

$C$ —表示环境对系统功能的制约。

显然，系统模型就可以表述为：

$$P_s = C O \sum p_i$$

模型中， $\sum p_i$  反映了系统的集合， $O$  反映了系统内元素间的关联性， $C$  反映了系统的功能及其与环境的密切关系， $P_s$  反映了系统是一个功能整体。

### 1.3 系统的分类

系统是以不同的形态存在的，它们在不同的条件下表现为不同的类型。系统一般可作如下分类：

#### 自然系统和人工系统

自然系统是由自然物构成的系统，如生物系统、植物系统、太阳系统、生态系统等等。自然系统是人工系统的基础，它通常构成环境系统。人工系统是指为达到人类所要求的某一目的，由人所建立的系统。它包括人们从加工自然物中获得的工程系统和制定的制度、组织、程序等所组成的社会系统以及跟人们对自然现象和社会现象的科学认识而建立的科学体系和技术体系，都是人工系统。

#### 实物系统与概念系统

实物系统又俗称硬系统，它的组成要素是具有实体的物

质。如由设备、资源、能源和人工组成的生产系统、工厂建筑系统等。概念系统又称软系统。它是由科学概念、原理、方法、制度、程序等非物体所组成的系统。如计划系统、决策系统、代数系统、评价系统等是概念系统。

### **封闭系统和开放系统**

封闭系统是指与外部环境无任何形式的物质、能量和信息交换的系统；反之，与外部环境有各种交换关系的系统则为开放系统。一般说来，社会经济系统均为开放系统。

### **静态系统和动态系统**

静态系统是其固有状态参数不随时间改变的系統，静态系统是动态系统的基础，它没有动态系统的输入、输出过程。动态系统一般有人为的干预，而且需概念系统的配合。

此外，系统还可以分为对象系统、过程系统、控制系统、因果系统、目标系统等。

显然，系统的形态和特征常常具有多重性，各类系统之间也往往相互交叉、渗透。系统无论从时间和空间来看，都是普遍存在的。系统的变化、生存和发展与物资的存在和运动是不可割裂的。如天体系统、自然系统、生态系统的演化可追溯到非常遥远的年代。自从人类社会产生以来，随着生产力的不断发展，与人类的社会和经济发展密切相关的人造复合系统也不断地从低级向高级、从简单到复杂逐渐深化发展。总之，无论什么系统，它们总是在矛盾着的相互联系和互相作用中产生、发展和成熟。组成系统的各有关要素的衰亡，意味着系统使命的完成或中止。旧系统的灭亡标志着新系统的创生。一切系统的发展过程，都严格遵循着系统运动的这种基本规律。



## 2. 系统科学的形成和发展

20世纪科学发展史上的伟大创举，是一般系统论、系统方法和系统工程，构成了一大门类的新兴学科——系统科学。现在，系统科学正以她理论的一般性、方法的科学性、应用的广泛性矗立于科学技术知识的宏大体系之中，它对现代科学和社会的发展正在产生极其深刻的影响。

系统科学虽是本世纪的产物，但它与整个科学技术发展一样源远流长。

### 2.1 系统观的萌芽

· · · 贝塔朗非指出：正象科学与其它领域中的每一个新观念一样，系统的概念也有一段漫长的历史。用一种系统的思想和观点去看待现实世界，早在古代就已萌芽。这种早期的萌芽无论在中国或古希腊、古罗马都不乏例证。

在古希腊，朴素辩证法的奠基者赫拉克利特（约公元前540—前480年）在其《论自然界》一书中认为，世界是包括一切的整体。并认为世界万物是在永不停息的火的变化中作有规律、有秩序的运动。古代原子论的创始者德谟克利特（公元前460—前370年）对物质的结构作了分析，认为一切事物都是由原子和空虚组成。他的《世界大系统》一书，是