
系统科学原理

苗东升 编著

中国人民大学出版社



系统科学原理

苗东升 编著

中国人民大学出版社出版发行

(北京西郊海淀路39号)

北京外文印刷厂排版印刷

新华书店经销

开本: 850×1168毫米32开 印张: 21.25

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

字数: 522 000 册数: 1-4000

ISBN7-300-00832-1

C·81 定价: 7.15元

序 言

70年代末以来，国内兴起了一股“系统热”。系统论、信息论和控制论（简称“三论”）被大量介绍，后来，耗散结构论、突变论和协同学也有了广泛介绍。为区别起见，有人提议把前三门学科称为“老三论”，把后三门学科称为“新三论”。这些称谓简明上口，合乎中国人的用语习惯，因此不胫而走，迅速在全国传播开来，但毕竟是不科学的，著名系统科学家钱学森予以了批评。在信息论、控制论之旁并列一个系统论是不适当的。系统论英文原意为系统理论（system theory）。迄今为止，只存在各种具体的系统理论，如一般系统理论、生命系统理论等等，不存在没有限制词的“系统论”（钱学森系统科学体系中的系统论除外，但它是哲学理论，且尚未建立起来）。当时国内介绍的系统论实指一般系统理论。但信息论和控制论也是系统理论，即信息系统理论和控制系统理论。40年代出现的系统理论不止三种，像运筹学、博弈论都是当时出现的重要系统理论。60年代以后出现的系统理论也不止三种，像大系统理论、超循环理论、混沌理论等都是极为深刻的系统理论。用“三论”或“六论”来概括如此丰富多样的系统理论，难免以偏概全。把系统理论按新、老来划分，也不科学。所谓“老三论”并不老，至今还在蓬勃发展。

“新三论”也不可能常新，今后还会产生更新的系统理论。如果用老与新来区分学科产生的先后，将来势必还要提出“新新三论”，“新新新三论”，等等。这只能引起混乱。正确的提法是把它们作为系统科学的不同分支，按学科特点把它们划归系统科

学体系中的适当层次或门类，做到“分门别类，共居一体”。我们高兴地看到，钱学森所倡导的这一观点正在为大多数人所接受。

大凡一种“热”，免不了有过头或失误之处。“系统热”也不例外，因而受到一些批评和责难是自然的。总结经验，克服缺点，实属必要。但公正地讲，那股席卷中国学术界的系统热在总体上应当受到充分积极的评价。一种方法和理论自发地产生长期而巨大的吸引力，是由它本身的普适性、有效性和时代性决定的。生活在系统时代、信息时代的现代人类，急需富有自己时代特色的“新工具”。系统科学适应了这种需要，理所当然地受到热烈而广泛的欢迎。用历史唯物主义观点去看，这一现象毫不奇怪。出现系统热也是好事。热者，能也；能者，动力也。有了十多年传播、普及工作的广泛成果，我国的系统研究和应用一定会向纵深发展，结出丰硕成果，并走向世界，做出领先于世界的工作。

本书作者于1960年春离开北京师范大学数学系，被分配到国防科研单位，参与某项自动系统的研制工作，接触了一点系统科学。遗憾的是，从1964年起“系统失稳”；下厂劳动，支援三线，于技校教语文，到军垦农场接受再教育，几番流离，几遭磨难。历经16年的动荡，终为一股巨涨落所驱动，越过势垒，于1979年12月来到新的稳定点——人民大学。受当时那股系统热影响，从1983年起，我又对系统科学发生兴趣。先在哲学系及人大分校向学生介绍系统科学的基本知识，后与王雨田教授等合作，在社会上做过一些普及工作。在这一过程中，深深感受到广大读者需要有比较全面而又有一定深度的系统科学书籍，因而萌发了承担这一工作的念头。

目前的系统科学是由分属不同层次的诸多学科组成的庞大体系。鉴于它们产生的不同背景和发展情况，这些学科在大学至今还是在不同的院、系、专业分别开设的，彼此之间的联系和统一

在近年来才受到重视。要把这些学科放在一起作为一门课程来讲，自然显得过分庞杂而离散，难免使读者有“机械汇集”之感。1985年，作者系统地学习了钱学森等著的《论系统工程》一书，对系统科学的意义、内容、性质、方法和发展方向等获得新的理解。特别是钱先生关于系统科学体系构成的论述，使我茅塞顿开，感觉到若按他的框架组织材料，用统一的观点介绍系统科学诸学科的内容，当能在一定程度上克服上述不足。从那时开始，经过四年的努力，形成了目前这个构架。

本书按照钱学森的系统科学体系框架，共分三篇。第一章是全书导论，重点介绍和论述钱学森的系统科学体系，作为全书的纲领。第一篇分三章简略介绍系统科学的工程技术的三大块，包括系统工程、信息技术和自动化技术。第二篇分四章介绍系统科学的技术科学，即信息论、控制论、运筹学、大系统理论，这是系统科学中最成熟的一部分。第三篇本应介绍系统科学的基础科学，即系统学。但系统学还处在建立过程中，建立系统学的任务也不是本书能够胜任的。根据钱学森关于如何建立系统学的论述，本篇拟从建立系统学的需要出发，介绍几种主要的系统畛论，故把篇名定为“从系统理论到系统学——系统科学的基础科学”。至于系统观（系统论），已不属于具体科学范畴，本书将不涉及。

本书拟议中的读者，是从事社会科学、管理科学、软科学和自然辩证法教学与研究的工作者和研究生，他们具备大学理工科基础，希望系统地了解系统科学。作者写作过程追求的目标是：（1）阐明系统科学各分支的相互联系，展示学科全貌；（2）阐明各分支及整个学科的系统思想和方法，但不作哲学思辨式的论述；（3）讲清各分支最基本的内容，特别是定量化的概念、原理和方法，但不大关心具体的求解计算方法；（4）阐明钱学森关于建立系统学的必要性及其途径的思想。这些目标究竟实现了

多少，要由读者来评价。

从1987年2月起，作者参加了钱学森先生倡导的系统学讨论班大班的活动。工作在各学科前沿的学者们的报告，钱先生富有指导性的妙言宏论，使作者大开眼界。写作中参阅了国内外学者的大量论著，本书仅指明了直接引用其观点的文献。人民大学张象枢教授审阅了全部书稿，提出许多宝贵意见。张金马副教授对第12、13章提出许多宝贵意见。本书能与读者见面，还得力于人大出版社领导的支持和编辑的辛勤劳动。作者在此向他们表示衷心的感谢。

由于学科跨度很大而作者才疏学浅，本书的缺点错误一定不少，恳切希望读者不吝赐教。

苗东升

1989年2月

补记：我的学生刘华杰帮助我仔细校阅了全书清样，特此致谢。

作者

1990年5月1日

目 录

序言	I
第1章 系统科学的形成和体系结构	1
1.1 从古代素朴系统思想到现代辩证系统思想	1
1.2 从哲学系统观到研究系统的科学技术	3
1.3 从各类系统研究到建立统一的系统科学	5
1.4 贝塔朗菲纲领	7
1.5 萨缪尔森心电图	10
1.6 市川悖信角塔	11
1.7 钱学森框架	13
1.8 比较	26

第一篇 系统科学的工程技术

第2章 系统工程	31
2.1 什么是系统工程	32
2.2 系统工程的基本方法	36
2.3 系统工程的一般程序	40
2.4 网络分析技术	46
2.5 部门系统工程	50
2.6 实施系统工程的系统	55
第3章 信息技术	57
3.1 什么是信息技术	57
3.2 信息载带技术	58
3.3 信息感测技术和显示技术	61

3.4	通信技术.....	64
3.5	信息处理技术.....	69
3.6	信息存取技术.....	71
第4章	自动化技术.....	74
4.1	什么是自动化技术.....	74
4.2	自动控制系统技术.....	75
4.3	自动控制元件技术.....	83
4.4	自动检测技术.....	90
4.5	计算机控制技术和机器人技术.....	91
4.6	自动化的范围.....	92

篇后语

第二篇 系统科学的技术科学

第5章	信息理论.....	101
5.1	什么是信息.....	102
5.2	信息的度量.....	105
5.3	信息熵.....	112
5.4	信源.....	127
5.5	信道.....	136
5.6	编码.....	142
5.7	率失真理论.....	152
5.8	噪声.....	155
5.9	检测与译码.....	158
5.10	信息概念的拓广.....	162
第6章	控制理论.....	169
6.1	基本概念.....	170
6.2	系统动态特性的数学描述.....	174

6.3	传递函数方法	184
6.4	状态空间方法	191
6.5	系统稳定性	207
6.6	系统的相图	216
6.7	能控性与能观测性	222
6.8	非线性系统	228
6.9	最优控制	239
6.10	随机控制	245
6.11	自组织控制	251
第7章	运筹学	259
7.1	事理与运筹	259
7.2	规划论	264
7.3	线性规划	268
7.4	动态规划	274
7.5	排队论	284
7.6	对策论	293
7.7	决策论	304
7.8	库存论	310
7.9	搜索论	316
7.10	运筹学的发展	317
第8章	大系统理论	319
8.1	定义	319
8.2	巨大系统的特征	321
8.3	巨大系统的建模与分析	324
8.4	巨大系统的控制	331
8.5	巨大系统的可靠性	334

篇后语

第三篇 从系统理论到系统学

第9章	系统学	343
9.1	什么是系统学	343
9.2	如何建立系统学	348
第10章	系统技术科学对系统学的贡献	350
10.1	动力准备	350
10.2	概念准备	351
10.3	方法准备	359
10.4	不足	362
第11章	一般系统理论与系统学	364
11.1	建立一般系统理论的必要性	364
11.2	一般系统理论的含义	367
11.3	系统概念	370
11.4	动态系统理论	373
11.5	开放系统理论	379
11.6	关于组织的一般理论	381
11.7	对系统学的贡献	383
第12章	相变理论与系统学	386
12.1	寻找物理学的自组织原理	386
12.2	相和相变	389
12.3	玻尔兹曼有序原理	397
12.4	对称破缺与序参量	402
12.5	平均场理论和临界指数	407
12.6	标度理论	411
12.7	重正化群方法	414
12.8	对系统学的贡献	418
第13章	耗散结构理论与系统学	420
13.1	两类有序结构	420

13.2	探寻新的物理学有序原理.....	424
13.3	开放性与系统有序演化.....	428
13.4	不可逆过程的建设性作用.....	432
13.5	有序之源：远离平衡态.....	437
13.6	非平衡非线性区的稳定性.....	445
13.7	有序之源：非线性相干作用.....	450
13.8	分叉与选择.....	461
13.9	涨落导致有序.....	468
13.10	与平衡相变的比较.....	472
13.11	对系统学的贡献.....	474
第14章	突变理论与系统学.....	477
14.1	突变和突变理论.....	477
14.2	势 势函数 定态点.....	480
14.3	势的局域特性.....	487
14.4	结构稳定性（单个函数）.....	491
14.5	结构稳定性（函数族）.....	495
14.6	截断与扩展.....	499
14.7	托姆原理.....	503
14.8	折叠突变与尖顶突变.....	506
14.9	突变特征 习惯.....	510
14.10	对系统学的贡献.....	514
第15章	协同学与系统学.....	517
15.1	什么是协同学.....	517
15.2	基本演化方程.....	521
15.3	不稳定性原理.....	526
15.4	支配原理.....	530
15.5	序参量原理.....	536
15.6	协同学微观方法.....	541

15.7	组织与自组织.....	547
15.8	结构有序演化：确定性描述.....	554
15.9	结构有序演化：概率性描述.....	562
15.10	协同学宏观方法.....	566
15.11	对系统学的贡献.....	570
第16章	混沌理论与系统学.....	575
16.1	一维映射的分叉与混沌.....	576
16.2	二维映射的分叉与混沌.....	587
16.3	连续动态系统的分叉与混沌.....	593
16.4	分维.....	599
16.5	分形.....	604
16.6	奇怪吸引子.....	608
16.7	保守系统的混沌.....	613
16.8	什么是混沌.....	620
16.9	通向混沌的道路.....	625
16.10	对系统学的贡献.....	627
第17章	超循环理论与系统学.....	633
17.1	生命起源的分子自组织阶段.....	633
17.2	循环与超循环.....	635
17.3	达尔文系统.....	640
17.4	错误阈值与进化.....	644
17.5	超循环动力学.....	647
17.6	超循环进化原理.....	650
17.7	对系统学的贡献.....	654
第18章	结束语：再谈系统学.....	657
18.1	系统科学的三次综合.....	657
18.2	关于建立系统学的条件.....	658
18.3	关于系统学理论框架的构想.....	660
18.4	系统学的学科地位.....	663

第1章 系统科学的形成和体系结构

在阐述系统科学的学科内容之前，我们先用一章的篇幅对从古代系统思想到现代系统科学的演进作一简单述评，然后介绍和评论几位学者关于系统科学的性质、体系和发展途径的观点，重点介绍钱学森的观点。我们力图以钱学森关于系统科学体系结构的观点为纲统率全书，揭示系统科学不同分支间的内在联系。

1.1 从古代素朴系统思想到现代辩证系统思想

人类在生产活动中一开始就同各种自然系统打交道。在生产活动中，人们不得不结成一定的生产关系，也就是在一定的社会系统中进行活动。自然界和社会固有的系统性通过实践而反映到古人的头脑中，逐渐孕育出原始的、含糊的系统观念。刚刚萌发的系统观念又被人们不甚自觉地运用于生产活动和社会活动中，并在实践和认识的不断反复中得到充实，经古代杰出思想家的总结，从而形成了直观的、素朴的古代整体论或系统论。在西方，最著名的代表人物是赫拉克利特、德谟克利特和亚里士多德。德谟克利特在公元前5世纪左右写过一本名为《宇宙大系统》的书，这本书已经失传，但从书名可推断他的系统思想已经达到很高的水平。我国古代思想家在系统思想方面所达到的高度绝不亚于古希腊学者。《易经》和《老子》就包含有丰富的系统思想。中医的整体性思想，至今还为现代西方医学所不及。当代著名系统科学家普利高津对中国古代学者的系统思想深表赞许，他预言，“西方

科学和中国文化对整体性、协和性理解的很好的结合，这将导致新的自然哲学和自然观。”^①普氏的这段话是公允而有见地的。

但是，无论在古希腊或古中国，人类的认识都没有进步到对客观对象的分析和解剖，真正的自然科学尚未产生，关于客观世界的科学知识还零散而混杂地包括在哲学之中。由于对客观世界的总联系没有在细节方面得到证明，古代的系统思想只能是直观的，很大程度上是想象的。随着近代科学的兴起，力学、天文学、物理学、化学、生物学一个个从哲学中独立出来，创造出分析、还原、观察、实验等科学手段，把自然界的细节从总联系中抽象出来，对其分门别类地加以研究。科学不断地把研究对象还原为更深层次的元素，知识领域不断分划为更多更专门化的分支，使人们对客观世界的了解越来越深入、精细。但同时也形成了撇开总体联系来考察事物和过程的形而上学思维方式，堵塞了人们从了解部分到了解整体、洞察普遍联系的道路。在知识领域迅速向纵深扩展的同时，忽略了横向的沟通。在对局部的了解越来越精细的同时，对总体的了解越来越零碎、模糊。尽管少数卓越思想家（如莱布尼兹）表现出很高的系统思想认识，但总的说来，近代的系统思想水平低于古代学者。还原论、机械论取代素朴的整体论、系统论而成为近代科学中处于支配地位的思维方式。

19世纪上半叶，以能量转换、细胞学说和进化论三大发现为突出代表，自然科学得到了重大发展，从而人类有可能在了解自然界的细节的基础上来认识自然过程的相互联系和整体性特征，能够依据自然科学提供的事实，以近乎系统的方式描绘出一幅自然界普遍联系和永恒发展的总画面。科学本身充分揭示了客观世界的系统性。马克思和恩格斯对这些自然科学的最新成果作了哲

^① I. 普利高津：《从存在到演化》，载《自然杂志》第3卷第1期，第415页。

学的概括，创立了唯物辩证法。辩证法关于普遍联系的观点和永恒发展的观点是系统思想最核心的内容，现代系统论以至整个系统科学是对这一核心观点的论证、展开、具体化和进一步发展。这样，如钱学森所说，系统思想终于“在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式”^①，完成了从经验到哲学思维的发展。

1.2 从哲学系统观到研究系统的科学技术

人类对世界系统性的新认识不能停留在哲学形式上，不能光抽象地论述系统思想，需要有具体研究系统的科学方法，特别是定量化、数学化的方法，需要建立关于系统的一般理论，并把系统方法具体化为人类改造世界的工程技术。我们从本世纪的科学技术发展中清楚地看到这一进程。

首先是理论自然科学从形而上学思维向辩证思维的“复归”。恩格斯所指明的这一历史进程，在20世纪中叶达到高潮。天文学、物理学、化学、生物学、心理学等都从研究个体事物转向研究系统事物，在继续发展分析-还原方法的同时，提出发展整体的、综合的方法。整体性、结构性、组织性、动态相互作用等系统问题和系统概念几乎同时在各个研究领域提了出来。热力学第二定律、玻尔兹曼有序性原理、爱因斯坦的相对论和大统一理论、贝塔朗菲的理论生物学、格式塔心理学等等，就是从不同领域内产生的系统理论。

数学也经历着同样的发展。集合论是一种研究整体性的数学理论。公理化方法是研究形式化系统的强有力的系统方法。布尔巴基学派试图在结构概念（他们讲的结构就是系统）的基础上统一数学，把数学内容归结为代数结构、拓扑结构和序结构，推进

^① 钱学森等：《论系统工程》，湖南科学技术出版社1982年版，第78页。

了数学研究中的系统方法。建立在集合论基础上的、广泛使用公理化方法的现代数学，本质上是研究系统的数学，为定量地描述系统提供了丰富的思想和有力的工具。

推动对系统作具体的科学研究的更大动力，直接来自现代人类的社会实践。做工作，办事情，处理事务，这些历来被视为只可凭经验处理而无需科学理论的事理问题，在现代社会中日益大型化、复杂化，单凭经验越来越无法处理了。科学思想在本世纪的重大发展之一，就是人们认识到必须把事理问题纳入科学考察的范围，制定相应的理论、方法和技术。从本世纪初以来，不同的事理问题，如随机服务问题（爱尔朗）、工厂经营管理问题（泰勒）、策略性竞争问题（波莱尔）、投入产出问题（列昂捷夫）、新武器配套使用问题（兰彻斯特）等等，相继被当作工程问题，用系统观点和系统方法加以处理，取得了显著的效果。系统工程这种新技术在许多实践领域应运而生，迅速推广。这种新颖的观点和有效的方法，给人们的思想带来巨大的启迪。更重要的是，它的实际效益大大激发应用系统方法和技术的产生，推动了系统研究全面而蓬勃的发展。

在上述背景下，从本世纪中叶起，国际上涌现出一系列有关系统研究的新兴学科。它们或者产生于自然科学（如一般系统论、生命系统论等），或者产生于社会科学（如管理科学、决策理论等），或者产生于工程技术（如信息论、网络理论等），或者产生于多学科交叉领域（如运筹学、控制论等）。其中，有的以一般系统为对象，有的以某类广泛存在的系统（如事理系统、通信系统等）为对象，有的侧重于系统方法的应用研究（如系统分析、系统设计等），有的侧重于系统问题的理论研究，有的从哲学高度来概括系统研究（如拉兹洛、邦格、鲍勒等人代表的研究领域）。系统研究如此繁荣兴盛的局面表明，“马克思主义先进思想所总结出来的系统概念孕育了近60年的时间，到本世纪中