

研究生教学用书

系统科学精要

(第2版)

*Essentials of
Systems Science (Second Edition)*

苗东升 著

 中国人民大学出版社

研究生教学用书

N94
108

系统科学精要

(第2版)

苗东升 著

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

系统科学精要/苗东升著. —2 版.
北京: 中国人民大学出版社, 2006
研究生教学用书
ISBN 7-300-07386-7

I. 系…
II. 苗…
III. 系统科学-研究生-教材
IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 063187 号

研究生教学用书
系统科学精要 (第 2 版)
苗东升 著

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010-62511242 (总编室)		010-62511239 (出版部)
	010-82501766 (邮购部)		010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)		010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn http://www.ttrnet.com (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		
规 格	170×228mm 16 开本	版 次	1998 年 5 月第 1 版 2006 年 6 月第 2 版
印 张	23.75	印 次	2006 年 6 月第 1 次印刷
字 数	394 000	定 价	35.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

目 录

导论 系统科学论	1
0.1 有待深入研究的课题	1
0.2 系统科学的对象和特点	3
0.3 系统科学的体系结构	6
0.4 系统科学与其他学科的关系	10
0.5 系统科学的孕育和产生	12
0.6 系统科学的意义和地位	14
0.7 建设系统科学的中国学派	16
思考题	18
阅读书目	19
 第1章 基本概念	20
1.1 系统 元素 非系统	20
1.2 系统与结构	22
1.3 环境与开放性	25
1.4 行为与功能	27
1.5 涌现与信息	29
1.6 秩序与组织	32
思考题	34
阅读书目	34
 第2章 系统论	35
2.1 系统存在论	35
2.2 系统生成论	37
2.3 系统维生论	40
2.4 系统演化论	42
2.5 系统矛盾论	44

2.6 系统认识论	46
2.7 系统方法论	48
2.8 系统价值论	50
思考题	53
阅读书目	53
第3章 系统学概述	54
3.1 系统学是关于整体涌现性的基础科学理论	54
3.2 整体涌现性的表述	56
3.3 涌现的产生机制	57
3.4 涌现的刻画	61
3.5 涌现的实验研究	65
思考题	66
阅读书目	66
第4章 动态系统理论	67
4.1 状态 状态变量 控制参量	67
4.2 静态系统与动态系统	70
4.3 轨道 初态与终态 暂态与定态	72
4.4 稳定性	76
4.5 目的性与吸引子	80
4.6 分叉	83
4.7 突变	87
4.8 回归性与非游荡集	91
4.9 瞬态特性与过渡过程	92
思考题	93
阅读书目	93
第5章 线性系统理论	94
5.1 线性关系	94
5.2 线性系统	97
5.3 线性系统的动态行为描述	99
5.4 线性系统的相图	102
5.5 线性系统的平庸行为	104
思考题	105
阅读书目	105

第 6 章 非线性系统理论	106
6.1 非线性特性	106
6.2 非线性系统	110
6.3 非线性系统的动态行为描述	111
6.4 非线性系统的稳定性	113
6.5 非线性系统的相图	115
6.6 非线性系统的吸引子	116
6.7 非线性系统的自激振荡	117
6.8 非线性系统的非平庸行为	119
思考题	120
阅读书目	120
第 7 章 随机系统理论	121
7.1 随机性	121
7.2 随机系统	123
7.3 估计理论	125
7.4 随机稳定性	127
思考题	129
阅读书目	129
第 8 章 自组织系统理论	130
8.1 概述	130
8.2 自组织类型	131
8.3 自组织判据	132
8.4 自组织原理	134
8.5 自组织的描述方法	137
8.6 自创生	138
8.7 自生长	143
8.8 自适应	147
8.9 自复制	152
思考题	154
阅读书目	154
第 9 章 他组织系统理论	155
9.1 组织 自组织 他组织	155
9.2 他组织原理	157

9.3	他组织系统的动力学方程	159
9.4	他组织系统的动力学特性	164
9.5	能控性与能观性	167
9.6	社会系统是自组织与他组织的统一	168
9.7	从控制自然到自然控制	170
	思考题	172
	阅读书目	172
第 10 章	混沌系统理论	173
10.1	典型系统	173
10.2	以分形几何描述的动力学特性 奇怪吸引子	177
10.3	非周期定态	182
10.4	对初值的敏感依赖性	183
10.5	确定性随机性	184
10.6	长期行为的不可预见性	186
10.7	混沌序: 貌似无序的高级有序性	188
10.8	通向混沌的道路	191
10.9	他组织混沌	192
	思考题	195
	阅读书目	195
第 11 章	复杂性研究与系统科学	197
11.1	复杂性研究概述	197
11.2	复杂性	199
11.3	复杂性科学	201
11.4	复杂系统理论	202
	思考题	204
	阅读书目	204
第 12 章	复杂适应系统理论	205
12.1	涌现——圣塔菲的核心理念之一	205
12.2	复杂性的圣塔菲诠释: 适应造就复杂性	207
12.3	复杂适应系统 (CAS)	209
12.4	适应性行动者	210
12.5	CAS 的基本特性	212
12.6	适应性的刻画	214
12.7	CAS 建模与回声模型	215

目 录

12.8 CAS 理论已经走了多远	216
思考题	218
阅读书目	218
第 13 章 开放复杂巨系统理论	219
13.1 从系统学到复杂性研究	219
13.2 系统的新分类	220
13.3 巨系统	222
13.4 复杂巨系统	224
13.5 开放复杂巨系统	226
13.6 复杂性的系统学定义	228
13.7 综合集成法	229
13.8 建立系统学的新思路	231
思考题	232
阅读书目	232
第 14 章 信息学	233
14.1 系统技术科学的新划分	233
14.2 什么是信息	234
14.3 信息量	236
14.4 信息熵	240
14.5 通信系统	242
14.6 噪声	247
14.7 广义信息 全信息	248
14.8 信息载体	251
14.9 信息技术	253
14.10 信息与系统	255
思考题	256
阅读书目	257
第 15 章 控制学	258
15.1 系统与控制	258
15.2 控制任务	260
15.3 控制方式	262
15.4 控制系统的数学描述	266
15.5 控制系统的性能指标	269
15.6 随机控制	272

15.7	自组织控制	273
15.8	大系统控制	275
15.9	控制技术	279
	思考题	279
	阅读书目	280
第 16 章	事理学	281
16.1	从物理到事理	282
16.2	事理通论	283
16.3	事理学与运筹学的划分	287
16.4	事理学方法论	289
16.5	事理运筹	291
16.6	事理模拟	293
16.7	事理过程	295
	思考题	297
	阅读书目	297
第 17 章	运筹学	298
17.1	运筹学方法论	298
17.2	线性规划	300
17.3	非线性规划	303
17.4	动态规划	304
17.5	排队分析	306
17.6	决策分析	308
17.7	网络分析	309
17.8	库存分析	311
	思考题	313
	阅读书目	313
第 18 章	博弈学	314
18.1	博弈分析	314
18.2	二人有限零和博弈	317
18.3	求博弈解与纳什均衡	318
18.4	从“囚徒困境”到“礼尚往来”	320
18.5	博弈与社会	322
	思考题	324
	阅读书目	324

第 19 章 模糊学	325
19.1 精确方法的局限性	325
19.2 模糊性与模糊方法	327
19.3 模糊集合	329
19.4 模糊关系与模糊推理	333
19.5 模糊截割理论	337
19.6 模糊控制	339
19.7 模糊运筹和模糊综合评判	341
19.8 模糊聚类分析	343
19.9 模糊模式识别	344
思考题	346
阅读书目	346
第 20 章 系统工程	347
20.1 组织管理的技术	347
20.2 部门系统工程	348
20.3 系统工程方法论	349
20.4 工程计划的统筹方法	352
20.5 实施系统工程的系统——总体设计部	354
20.6 综合集成工程	356
20.7 综合集成研讨厅体系	358
思考题	360
阅读书目	361
主要参考书目	362
第 1 版后记	363
第 2 版后记	366

系统科学论

系统思想的突出特点是强调整体性。用之于系统科学本身，就是强调不可停留于对各个分支学科的了解，而应把系统科学当作由这些分支构成的完整系统，从整体上认识和把握它。导言的任务就是对系统科学作一整体的说明。

0.1 有待深入研究的课题

经过近 30 年的评介、研究和应用，系统思想和方法已在相当程度上融入我国自然科学、社会科学、工程技术、经营管理以及其他领域广大工作者的知识结构中。从社会大众到国家领导人，从学术刊物到文学作品，都在使用系统、信息、系统工程、自组织之类术语。尽管歧见尚存，系统科学作为一门一级学科的地位已基本确立，为越来越多的人所认同。

从 1978 年起，在钱学森的带领和推动下，我国学者按科学学观点对系统科学的各个方面进行研究，涉及学科命名、定义、特点、研究对象、体系结构、产生发展的背景和道路、与其他学科的关系、在现代科学技术总体系中的地位、对社会发展的影响等理论问题。由此开辟的研究领域，可称为系统科学论。^① 与 20 世纪 60 年代以来国外同行的同类工作相比，国内系统科学论研究的规模之大、涉猎之广、探讨问题之深，都处于领先地位。通过这些工作，厘清了系统研究不同分支学科的

^① 参见朴昌根：《系统科学论》，西安，陕西科学技术出版社，1988。

界限, 清除了国外学者的混乱认识, 使系统科学成为一个具有明确含义的概念, 有力地推动了这一学科的发展。正是这些工作导致协同学创始人哈肯的如下评论: “系统科学的概念是由中国学者较早提出的, 我认为这是很有意义的概括, 并在理解和解释现代科学, 推动其发展方面是十分重要的”^①, “中国是充分认识到了系统科学巨大重要性的国家之一”^②。这些评价是实事求是的。

钱学森在这方面的主要贡献有三点: 其一, 他是我国系统科学论研究的发动者和带头人, 提供了持续的推动; 其二, 他是这一研究中主要思想观点的提出者; 其三, 他提出了系统科学论的研究方法。早在 20 世纪 80 年代初, 钱学森在倡导用科学学观点考察现代科学技术时, 就提出学科学和学科体系学的概念, 强调用系统观点研究问题。1991 年, 进一步概括出“学科系统观点”^③的概念。这些工作在我国学术界产生了深远的影响。

然而, 系统科学毕竟还很年轻, 真正的历史不过 40 来年, 以至人们至今仍难于把握其学科特性。系统科学论研究依然见仁见智, 真知灼见与似是而非的观点并存。有些学者对“我国系统科学界的泛泛而论的状况”深表担忧。有的学者批评“系统科学本身并不系统”, 甚至认为十多年的系统研究是“术语大战”。有的学者断言“系统科学是一个含糊的概念”, 提到系统科学时常常在前面加上“所谓”二字, 以示对这一概念的科学性有严重的保留。这些意见中不无合理成分, 应予以重视, 但他们明显地表现出对系统科学的误解, 有很大片面性, 造成新的认识混乱。

英国学者 P. 切克兰德提出的“软”系统方法论是对系统研究的重要贡献, 本书第 16 章有所论述。切克兰德对系统科学论的研究也颇关注。他认为, 科学文献中的系统一词有两种含义, 一是可观察的、作为复杂整体的对象实体, 一是用来感知、整理和表示人们对这些实体的认识的抽象概念。他把系统科学研究中的概念混乱归结为未能区分这两种不同用法。^④ 他的看法并未切中要害。原则上说, 一切概念都是用来感知、整理和表示人们对实体对象认识活动的观念形态工具, 并非系统科

① 许国志主编:《系统科学大辞典》, 序二, 昆明, 云南科技出版社, 1994。

② [德] H. 哈肯:《协同计算机和认知》, “中译本序”, 北京, 清华大学出版社; 南宁, 广西科学技术出版社, 1994。

③ 《钱学森致许国志的信》, 载《系统工程理论与实践》, 1993 (2)。

④ 参见 [英] P. 切克兰德:《系统论的思想与实践》, 北京, 华夏出版社, 1990。

学独有的现象。切克兰德未能抓住西方系统研究存在混乱的根源,依据他的方案无法建立系统科学的学科体系。

系统科学论的研究有待深入,有必要依据近年来的发展情况,对学术界出现的新混乱加以分析和清理,回答大家关心的若干理论问题。因此,在阐述本学科的基本内容之前先来作这一工作是必要的。从自组织观点看,系统进化离不开系统自我评价和环境对系统的评价活动,通过不断评价而选择前进方向。系统科学论研究就是系统科学发展所必需的评价活动。

0.2 系统科学的对象和特点

按照钱学森的观点,各门科学都以客观世界为研究对象,依据对象来划分学科门类的传统方法不科学。在终极的意义上,我们必须接受这一观点。不过,“横看成岭侧成峰,远近高低各不同”。观察小小庐山尚且如此,研究无限多样复杂的客观世界,更须从不同的视角去观察。如物质运动的角度,数量关系的角度,等等。从不同角度观察同一对象世界,进入观察者视野的现象和事实便不同,从而形成不同的知识体系,即不同的学科门类。钱学森指出,从系统的角度观察客观世界所建立起来的科学知识体系,就是系统科学。这是把系统科学与自然科学、社会科学、思维科学等学科部门区分开来的基本标志。

但在非终极的意义上,我们可以而且需要从研究对象上区分不同学科,给系统科学以进一步的界定。贝塔朗非是最早使用系统科学这个概念的学者之一,他把这个学科定义为:“关于‘系统’的科学”^①。克勒给出进一步的表述:系统科学“指向的是关于系统的具有普遍意义的现象”,“处理的是系统问题”^②。概言之,系统科学是以系统现象、系统问题为研究对象的学科。前述钱学森的定义也包含这一思想。

什么是系统现象或系统问题?黄琳提出的概念“系统意义”^③有助于回答这个问题。我们知道,物理学只研究具有物理意义的问题,生物学只研究具有生物意义的问题,经济学只研究具有经济意义的问题,等

① [美] 贝塔朗非:《普通系统论的历史和现状》,见《科学学译文集》,北京,科学出版社,1980。

② [德] G.J. 克勒:《信息社会中二维的科学的出现》,载《哲学研究》,1991(9)。

③ 《北京大学系统科学研讨会纪要》,载《北京大学学报(哲学社会科学版)》,1989(2)。

等。“某某学科只研究具有某某意义的问题”，应当作为一条科学学原理。应用于我们讨论的范围，结论是：“系统科学只研究具有系统意义的现象或问题”。所谓系统现象或系统问题，就是具有系统意义的现象或问题。

什么是系统意义？这个概念联系着另一概念——系统性。不可把系统性与整体性当作一回事。按照贝塔朗非的观点，整体性、秩序性、组织性、目的性、演化性等，都属于系统性范畴。一切呈现系统性的现象，都是具有系统意义的现象。在现实生活和理论探讨中，凡着眼于处理部分与整体、差异与统一、结构与功能、自我与环境、有序与无序、合作与竞争、行为与目的、阶段与全过程等相互关系的问题，都是具有系统意义的问题。或者说，凡需要处理多样性的统一、差异的整合、不同部分的耦合、不同行为的协调、不同阶段的衔接、不同结构或形态的转变以及总体布局、长期预测、目标优化、资源配置、信息的创生与利用之类问题，都是具有系统意义的问题。现代科学技术和工程实践的各个领域都存在大量这类问题，用系统观点分别研究它们就形成各个领域的特殊系统理论。若撇开这些问题所涉及的具体领域的特殊性质，即撇开其特有的物理意义、生物意义、心理意义或经济意义、社会意义等，在纯粹系统意义（把对象仅仅作为系统）上研究，就是系统科学的内容。

还存在各种特殊类型的系统意义。控制学研究具有控制意义的问题。信息学研究具有信息意义的问题。运筹学研究具有运筹意义的问题。例如，一个函数表达式和一组代数不等式本来只有数学意义，如果该函数能刻画某项事理活动的功能目标对决策变量的依存关系，那组不等式能刻画决策变量所受限制，它们就成为描述该项事理活动中规划问题的数学模型，具有运筹意义。控制意义、信息意义、运筹意义，都是特殊形式的系统意义。系统科学每个分支都揭示出一类特殊的系统意义，以具有那类系统意义的问题为研究对象。被研究的问题和所使用的概念、原理、方法是否具有系统意义，是区分系统科学与其他学科的重要依据。

强调系统意义还有其他现实背景。系统科学越来越重视使用数学工具，用数学模型表示系统问题，给出精确解。这是系统科学走向成熟的必由之路。但同时也出现单纯追求数学工具的高深漂亮、忽视问题的实际背景和经验含义的倾向，系统意义日趋淡化。这就要求强调系统意义。

不可把系统科学简单地看作交叉科学或边缘科学。系统现象并非只出现于某些学科的边缘或交叉地段,它普遍存在于一切学科领域。系统科学是研究这类现象共性的学问。运用系统思想和方法研究物理问题、经济问题或其他问题,属于系统科学与物理学或经济学等的交叉领域,所建立的系统理论,严格地说,不算系统科学本征的组成部分,而是交叉科学。耗散结构论、超循环论、突变论、分形论等著名系统理论,对于系统科学的发展有重大贡献。但耗散结构论有强烈的物理学(特别是热力学)背景,超循环论有强烈的生物学背景,前者提出的超熵概念,后者提出的拟种概念,对于这些学科是不可缺少的基本概念,却不可能成为系统科学的概念。突变论和分形论是数学系统论,也不能简单地纳入系统科学。托姆的突变论与形态发生密切相关,大量内容无法纳入系统科学或数学。仅从几何角度研究分形现象的是数学科学,从系统角度研究分形的才是系统科学。这些理论对于建立系统学十分有价值,但它们本身还不是系统科学的本征组成部分。必须划清这些界限。我国近年来出版的一些权威性著作,如中国大百科全书出版社的《中国大百科全书·自动控制与系统工程》(1991),云南科技出版社的《系统科学大辞典》(1994),把这些系统理论算作系统科学的基本组成部分,其说不当。断言耗散结构论和超循环论已“成为系统学的一个重要组成部分”^①,尤其值得商榷。这样界定的系统科学的确是一个含糊概念。王雨田批评“系统科学的内涵与外延是不清楚的”^②,就是由这类提法中引发出来的。但问题出自这些著作的不正确表述,不是系统科学固有的毛病。由于是探索,钱学森的论述有时前后不一致,但就基本观点看,他是把这些系统理论当作系统学的建筑材料,并未把它们包括在他的系统科学体系中(见图0.3)。坚持这一表述,系统科学的内涵和外延便基本明确了,许多混乱即可消除。

应当承认,上述系统理论分别从不同学科产生出来,大都具有作为独立学科分支存在的价值,不会因系统学的建立完全失去其价值。钱学森曾认为,建立系统学之后,这些系统理论将成为“过眼烟云”^③。此论不妥。例如,耗散结构论中大量关于不可逆热力学的知识,虽不能进入系统学,但仍属于物理学的内容,不会消失。耗散结构作为科学概念即

① 《中国大百科全书·自动控制与系统工程》,174、35页,北京,中国大百科全书出版社,1991。

② 王雨田:《形成中的系统科学及其存在问题》,载《中国社会科学》,1995(4)。

③ 钱学森等:《论系统工程(增订本)》,“前言”,长沙,湖南科学技术出版社,1988。

使为系统学所吸纳,但它所包含的科学和哲学思想仍有广泛的吸引力。

宋健提出:“我认为系统科学,恐怕不能不研究能量这个基本的运动规律。从大系统巨系统来说,系统科学应该注意研究能量平衡,能量转化动力学,要和社会科学相结合,才能得出合乎客观规律的理论 and 结论。”^①从系统科学的应用及它与自然科学、社会科学的交叉发展来看,这个意见是正确而重要的。跳出一般系统研究的小圈子,探讨物质运动、社会运动、思维运动中的系统问题,从中提炼新的系统原理和方法,是发展系统科学的重要途径。蓬勃发展的地理系统科学、生态系统科学、世界系统学等学科,对系统科学发展都有推动作用。但从系统科学的学科界定角度看,这一说法可能引起新的认识混乱。正如数学与经济学结合不再是本来意义上的数学一样,与自然科学或社会科学相结合的系统研究也不再是本来意义上的系统科学。物理学家可以从事生物物理研究,但不能以生物物理学来界定物理学,因为这将使物理学成为一个含糊概念。按物理学系统理论(如耗散结构论)或经济学系统理论(如经济系统学)来界定系统科学,同样会使系统科学成为一个含糊概念。从贝塔朗菲起,系统科学家一直主张撇开物质、能量等概念,在纯粹形态上研究系统。这个主张应当坚持。宋健的议论是从评论“研究熵的运动”引发的。尽管熵概念也起源于物理学,但自申农以来,熵研究早已越出自然科学范围。熵与能量有截然不同的性质。经过提炼,熵有可能成为系统学的概念。能量则不同,能量平衡、能量转化动力学属于自然科学的内容,不能成为系统学的概念。

0.3 系统科学的体系结构

20世纪70年代初,贝塔朗菲首先提出这个问题,建构了一种系统科学体系,即贝塔朗菲纲领。贝氏及其他西方学者的类似工作,对发展系统科学起了积极的作用。由于缺乏明确的学科体系思想的指导,未能把系统思想应用于学科体系研究中,他们建构的框架都不成功。

20世纪80年代初,钱学森重新提出这个课题,在明确的学科系统观点指导下,探讨现代科学的总体系和各门科学的体系结构。现代科学技术是一个庞大的知识体系,由不同门类组成。既然都是知识系统,都是从实践中总结出来的,不同的门类应当具有某种共同的体系结构。自

① 宋健:《加强基础研究,逼近科学前沿》,载《中国软科学》,1995(4)。

然科学是历史最久、发育最成熟的学科。通过解剖这只“麻雀”，钱学森发现自然科学有三个层次：工程技术层次，如水利工程、电气工程等；技术科学层次，如水力学、电工学等；基础科学层次，如物理学、生物学等。自然科学又通过自然辩证法这座桥梁与哲学联系起来。图 0.1 给出它的结构模式。再考察其他学科，发现这种模式是共同的。由此提出著名的“三个层次一座桥梁”的学科体系一般框架，如图 0.2 所示。属于工程技术层次的学科提供直接用于改造客观世界的知识，技术科学层次的学科提供指导工程技术的理论，基础科学层次的学科提供指导技术科学的理论，再通过相应的哲学分论而上升到哲学层次，并接受哲学的指导。

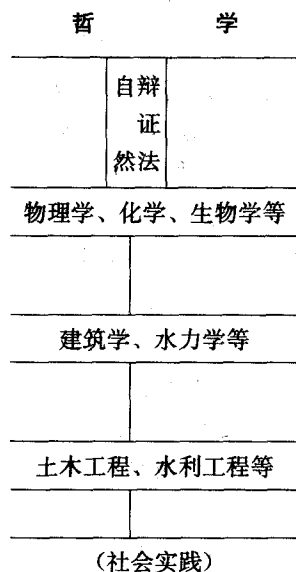


图 0.1

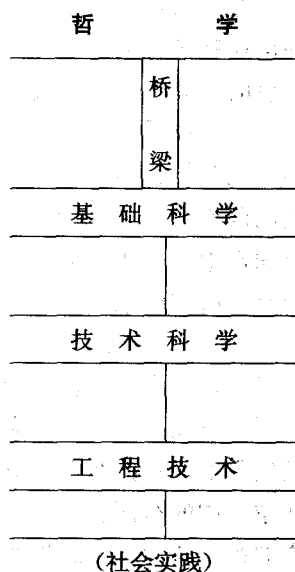


图 0.2

把这个一般框架用于系统科学，钱学森重新界定了已建立的学科分支，发现系统科学已具备工程技术（包括系统工程和自动化技术，是否包括信息技术尚有争议）与技术科学（包括运筹学、控制学、信息学）两个层次，但基础科学层次仍是空白。他由此提出尽早建立系统科学体系的号召，指出关键是填补基础科学层次的空白，并把它命名为系统学（1981）。图 0.3 总结了这些思想。

王雨田把系统科学界定为“一门新的基础科学”，这个提法不妥。上述钱学森关于系统科学体系的论述可以消除这种混乱。系统科学是一