

研究生教学用书

系统科学精要 (第4版)

*Essentials of
Systems Science (Fourth Edition)*

苗东升 著



中国人民大学出版社

研究生教学用书

系统科学精要

(第4版)

苗东升 著

中国人民大学出版社

• 北京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

系统科学精要/苗东升著. —4 版. —北京: 中国人民大学出版社, 2016. 9
研究生教学用书

ISBN 978-7-300-23289-8

I. ①系… II. ①苗… III. ①系统科学-研究生-教材 IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 195333 号

研究生教学用书

系统科学精要 (第 4 版)

苗东升 著

Xitongkexue Jingyao

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)		010-62511770 (质管部)
	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	版 次	1998 年 5 月第 1 版
规 格	170mm×228mm 16 开本		2016 年 9 月第 4 版
印 张	26.75	印 次	2016 年 9 月第 1 次印刷
字 数	443 000	定 价	58.00 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	19
阅读书目	19
 第 1 章 基本概念	20
1.1 系统与非系统	20
1.2 组分与结构	22
1.3 环境与开放性	26
1.4 行为与功能	28
1.5 秩序与组织	30
1.6 整合与涌现	31
1.7 信息与熵	34
思考题	38
阅读书目	38
 第 2 章 系统论	39
2.1 系统存在论	39
2.2 系统生成论	41
2.3 系统构成论	44
2.4 系统维生论	46

2.5 系统演化论	47
2.6 系统矛盾论	49
2.7 系统认识论	51
2.8 系统方法论	54
2.9 系统价值论	56
2.10 系统消亡论	59
思考题	61
阅读书目	61
第3章 系统学概述	62
3.1 系统学是关于整体涌现性的基础科学理论	62
3.2 整体涌现性的表述	64
3.3 涌现的产生机制	65
3.4 涌现的刻画	69
3.5 涌现的实验研究	72
3.6 系统学粗框	73
思考题	74
阅读书目	75
第4章 动态系统理论	76
4.1 状态 状态变量 控制参量	76
4.2 静态系统与动态系统	79
4.3 轨道 初态与终态 暂态与定态	81
4.4 稳定性	85
4.5 目的性与吸引子	89
4.6 分叉	92
4.7 突变	96
4.8 回归性与非游荡集	100
4.9 瞬态特性与过渡过程	101
思考题	102
阅读书目	102
第5章 线性系统理论	103
5.1 线性关系	103
5.2 线性系统	105
5.3 线性系统的动态行为描述	107

5.4 线性系统的相图	110
5.5 线性系统的平庸行为	113
思考题	114
阅读书目	114
第 6 章 非线性系统理论	115
6.1 非线性特性	115
6.2 非线性系统	120
6.3 非线性系统的线性化描述	121
6.4 把非线性当作非线性	123
6.5 非线性系统的稳定性	124
6.6 非线性系统的相图	125
6.7 非线性系统的吸引子	126
6.8 非线性系统的自激振荡	128
6.9 非线性系统的非平庸行为	130
6.10 非线性系统的双稳态	130
思考题	132
阅读书目	132
第 7 章 随机系统理论	133
7.1 随机性	133
7.2 随机系统	135
7.3 估计理论	137
7.4 随机稳定性	140
思考题	141
阅读书目	141
第 8 章 自组织系统理论	142
8.1 概述	142
8.2 自组织类型	143
8.3 自组织判据	144
8.4 自组织原理	146
8.5 自组织的描述方法	149
8.6 自创生	150
8.7 自生长	155
8.8 自适应	159

8.9 自复制	164
8.10 自修复	166
思考题	167
阅读书目	167
第 9 章 他组织系统理论	168
9.1 组织 自组织 他组织	168
9.2 他组织的类型及其系统意义	170
9.3 人工他组织原理	172
9.4 他组织系统的动力学方程	175
9.5 他组织系统的动力学特性	179
9.6 能控性与能观性	182
9.7 人体系统的自组织与他组织	184
9.8 经济系统的自组织与他组织	185
9.9 社会系统的自组织与他组织	187
9.10 从控制自然到自然控制	189
思考题	191
阅读书目	191
第 10 章 混沌系统理论	192
10.1 典型系统	192
10.2 以分形几何描述的动力学特性 奇怪吸引子	196
10.3 非周期定态	201
10.4 对初值的敏感依赖性	202
10.5 确定性随机性	204
10.6 长期行为的不可预见性	206
10.7 混沌序: 貌似无序的高级有序性	207
10.8 通向混沌的道路	210
10.9 他组织混沌	211
思考题	214
阅读书目	214
第 11 章 复杂性研究与系统科学	215
11.1 复杂性研究概述	215
11.2 复杂性	217
11.3 把复杂性当作复杂性	219

11.4 复杂性科学	220
11.5 复杂系统理论	222
思考题	223
阅读书目	223
第 12 章 复杂适应系统理论	224
12.1 涌现——圣塔菲的核心理念之一	224
12.2 复杂性的圣塔菲诠释：适应造就复杂性	226
12.3 复杂适应系统（CAS）	228
12.4 适应性行动者	229
12.5 CAS 的基本特性	231
12.6 适应性的刻画	233
12.7 CAS 建模与回声模型	234
12.8 CAS 理论走了多远	235
思考题	237
阅读书目	237
第 13 章 开放复杂巨系统理论	238
13.1 从系统学到复杂性研究	238
13.2 系统的新分类	239
13.3 巨系统	241
13.4 复杂巨系统	244
13.5 开放复杂巨系统	246
13.6 特殊的开放复杂巨系统	248
13.7 复杂性的系统学定义	251
13.8 从定性到定量综合集成法	252
13.9 建立系统学的新思路	254
13.10 建立开放复杂巨系统的唯象理论	255
思考题	257
阅读书目	257
第 14 章 信息学	258
14.1 系统技术科学的新划分	258
14.2 什么是信息	259
14.3 信息量	262
14.4 信息熵	265

14.5	通信系统	267
14.6	噪声	272
14.7	广义信息 全信息	274
14.8	信息载体	276
14.9	信息技术	278
14.10	哲学信息观	280
	思考题	283
	阅读书目	283
第 15 章	控制学	285
15.1	系统与控制	285
15.2	控制任务	287
15.3	控制方式	289
15.4	控制系统的数学描述	293
15.5	控制系统的性能指标	296
15.6	随机控制	299
15.7	自组织控制	300
15.8	大系统控制	302
15.9	控制技术	305
	思考题	306
	阅读书目	306
第 16 章	事理学	307
16.1	从物理到事理	308
16.2	事理通论	309
16.3	事理学与运筹学的划分	313
16.4	事理学方法论	315
16.5	事理运筹	318
16.6	事理模拟	320
16.7	事理过程	322
	思考题	324
	阅读书目	324
第 17 章	运筹学	325
17.1	运筹学方法论	325
17.2	线性规划	327

17.3	非线性规划	330
17.4	动态规划	331
17.5	排队分析	333
17.6	决策分析	335
17.7	网络分析	336
17.8	库存分析	338
	思考题	340
	阅读书目	340
第 18 章	博弈学	341
18.1	博弈分析	341
18.2	二人有限零和博弈	344
18.3	求博弈解与纳什均衡	345
18.4	从“囚徒困境”到“礼尚往来”	347
18.5	博弈与社会	349
	思考题	351
	阅读书目	351
第 19 章	模糊学	352
19.1	精确方法的局限性	352
19.2	模糊性与模糊方法	354
19.3	模糊集合	356
19.4	模糊关系与模糊推理	360
19.5	模糊截割理论	364
19.6	模糊控制	366
19.7	模糊运筹和模糊综合评判	368
19.8	模糊聚类分析	370
19.9	模糊模式识别	371
	思考题	373
	阅读书目	373
第 20 章	系统工程	374
20.1	组织管理的技术	374
20.2	部门系统工程	375
20.3	系统工程方法论	376
20.4	工程计划的统筹方法	379

20.5 实施系统工程系统——总体设计部	381
20.6 从定性到定量综合集成工程	383
20.7 社会系统工程	386
20.8 世界系统工程	388
20.9 综合集成研讨厅体系	389
20.10 大成智慧工程	391
思考题	392
阅读书目	393
第21章 复杂网络系统理论	394
21.1 网络、系统、复杂性	394
21.2 描述网络的基本概念	396
21.3 随机网络	399
21.4 小世界网络	400
21.5 无标度网络	402
21.6 从网络看社会系统的特殊复杂性	403
思考题	405
阅读书目	405
主要参考书目	406
第1版后记	407
第2版后记	410
第3版后记	412
第4版后记	413

系统科学论

系统思想的突出特点是强调整体性，倡导整体地认识事物，处理问题。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。导论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

经过数十年的评介、研究和应用，系统思想和方法已经融入我国自然科学、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

^① 参见朴昌根：《系统科学论》，西安，陕西科学技术出版社，1988。

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科学发展问题。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,真正的历史不过半个多世纪,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保留。这些意见中不无合理成分,应予重视,但也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。

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。

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问题。因此，在阐述本学科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它的评价，通过不断评价、辨识优劣而选择前进方向。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，更需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

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）。

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。按照贝塔朗菲的观点，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，不等式能刻画决策变量所受限制，它们就成为描述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交叉或边缘地段，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30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

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。

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和结论。”^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。从贝塔朗非起，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，熵有可能成为简单巨系统学的概念。能量则不同，能量平衡、能量转化动力学属于自然科学概念，不能成为系统学概念。

0.3 系统科学的体系结构

20世纪70年代初，贝塔朗非首先提出这个问题，建构了一种系统科学体系。他认为，系统科学有三个主要领域，即狭义的系统科学（系统理论）、系统技术和系统哲学，三者内容上不可分割，而在意向上有所区别。如果将系统哲学置于前面，他所讲的是系统科学由高到低的三个层次。市川淳信1977年为系统科学构建了一个具有塔式结构的体系，由顶到底顺序为系统概念、一般系统理论、系统理论各分论、系统方法论（程序+手法）和面向对象的系统处理方法等5个层次。他们的工作对发展系统科学起了积极作用。由于缺乏明确的学科体系思想，未能把系统观点应用于学科体系研究中，他们的框架都不算成功。

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

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