

中国人民大学硕士研究生系列教材

# 系统科学精要

● 苗东升 著

中国人民大学出版社

中国人民大学硕士研究生系列教材

# 系统科学精要

● 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.

北京: 中国人民大学出版社, 1998

ISBN 7-300-02576-5/G · 389

I. 系...

I. 苗...

II. 系统科学

IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 03280 号

中国人民大学硕士研究生系列教材

**系统科学精要**

苗东升 著

---

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮码 100080)

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市丰台区丰华印刷厂

---

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 12.75 插页 1

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

字数: 316 000

---

定价: 18.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

# 中国人民大学研究生教材工作委员会

---

主 任: 林 岗

副主任: 杜厚文 周新城 秦惠民

委 员: (以姓氏笔画为序)

王 彦 王 霁 刘大椿 许征帆 吴易风

胡乃武 徐 明 高培勇 曾宪义

秘书长: 高培勇 (兼)

# 总 序

在中国人民大学,很早就有过组织编写研究生教材的动议。但那时,研究生的课程体系尚欠规范。不仅各类课程基本上按二级学科(专业)设置,口径偏窄,同一一级学科甚或二级学科(专业)的课程;差异亦很大。而且,有些课程,也与本科阶段拉不开档次,教学内容重复。所以,编写研究生教材这项直接关系到研究生培养质量的基础性工作,只是在某些学科或专业做过尝试,并未提上整个学校的议事日程。

1996年4月召开的国务院学位委员会第十四次会议,是我国研究生教育的一个重大转折点。在那次会议上,明确提出了“以提高质量为中心”的研究生教育工作思路,并且,根据培养跨世纪的复合型人才的需要,相应调整了研究生学科专业目录。以此为契机,从1997年起,我们对硕士研究生课程体系进行了较大规模的改革:(1)适当加大课程教学在整个硕士研究生培养过程中的比重。(2)将本科、硕士、博士三个培养阶段的课程设置作为一个系统,通盘考虑,拉开档次。按照硕士研究生的培养目标设置课程,确定教学内容。(3)本着“宽口径,厚基础”的原则,拓宽硕士研究生的知识领域,在各个一级学科内设置所有专业通开的核心课程——学科基础课。(4)统一课程设置标准,建立一套由公共课、学科基础课、专业课和选修课等四个类别组成的规范化课程体系。

打下了较为规范化的课程体系这个基础,我们即着手组织编

写硕士研究生系列教材。所编教材的重点是：全校所有学科通开的公共课教材以及分别在各个一级学科通开的学科基础课教材。现在，呈现在读者面前的，便是我们组织编写的第一批硕士研究生教材。

编写研究生教材，本来就是一件新鲜事物。编写建立在规范化的课程体系基础上的硕士研究生公共课和学科基础课教材，难度就更大了。因此，我们迈出的这一步，既具有探索性，又具有深远的意义和影响。当然，我们深知，这一批以及今后陆续出版的硕士研究生教材，肯定存在着这样或那样的不足之处，还需在使用过程中不断充实、完善。我们也深信，只要方向明确，经过一个时期的努力，我校的研究生课程体系和教材建设将会日臻成熟。

**中国人民大学研究生教材工作委员会**

1998年3月22日

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| <b>第 1 章 系统科学论</b>   | 1  |
| 1.1 有待深入研究的课题        | 1  |
| 1.2 系统科学的对象和特点       | 3  |
| 1.3 系统科学的体系结构        | 8  |
| 1.4 系统科学与其他学科的关系     | 12 |
| 1.5 系统科学的孕育和产生       | 16 |
| 1.6 系统科学的意义和地位       | 19 |
| 1.7 建设系统科学的中国学派      | 21 |
| <b>第 2 章 系统的一般理论</b> | 26 |
| 2.1 系统 元素 非系统        | 26 |
| 2.2 整体突现原理           | 29 |
| 2.3 系统的结构            | 32 |
| 2.4 等级层次原理           | 35 |
| 2.5 系统的环境            | 37 |
| 2.6 系统的行为和功能         | 40 |
| 2.7 系统环境互塑共生原理       | 43 |
| 2.8 系统的秩序            | 45 |
| 2.9 系统的演化            | 47 |
| <b>第 3 章 动态系统理论</b>  | 51 |
| 3.1 状态 状态变量 控制参量     | 51 |
| 3.2 静态系统与动态系统        | 55 |

|            |                |            |
|------------|----------------|------------|
| 3.3        | 轨道 初态与终态 暂态与定态 | 58         |
| 3.4        | 稳定性            | 62         |
| 3.5        | 目的性与吸引子        | 68         |
| 3.6        | 分叉             | 72         |
| 3.7        | 突变             | 77         |
| 3.8        | 回归性与非游荡集       | 81         |
| 3.9        | 瞬态特性与过渡过程      | 83         |
| <b>第4章</b> | <b>线性系统理论</b>  | <b>86</b>  |
| 4.1        | 线性关系           | 86         |
| 4.2        | 线性系统           | 89         |
| 4.3        | 线性系统的动态行为描述    | 92         |
| 4.4        | 线性系统的相图        | 96         |
| 4.5        | 线性系统的平庸行为      | 98         |
| <b>第5章</b> | <b>非线性系统理论</b> | <b>102</b> |
| 5.1        | 非线性特性          | 102        |
| 5.2        | 非线性系统          | 107        |
| 5.3        | 非线性系统的动态行为描述   | 109        |
| 5.4        | 非线性系统的稳定性      | 111        |
| 5.5        | 非线性系统的相图       | 114        |
| 5.6        | 非线性系统的吸引子      | 115        |
| 5.7        | 非线性系统的自激振荡     | 117        |
| 5.8        | 非线性系统的非平庸行为    | 119        |
| <b>第6章</b> | <b>随机系统理论</b>  | <b>122</b> |
| 6.1        | 随机性            | 122        |
| 6.2        | 随机系统           | 125        |
| 6.3        | 估计理论           | 127        |
| 6.4        | 随机稳定性          | 130        |
| <b>第7章</b> | <b>自组织系统理论</b> | <b>133</b> |



|             |                           |     |
|-------------|---------------------------|-----|
| 7.1         | 概述 .....                  | 133 |
| 7.2         | 自组织类型 .....               | 135 |
| 7.3         | 自组织判据 .....               | 136 |
| 7.4         | 自组织原理 .....               | 138 |
| 7.5         | 自组织的描述方法 .....            | 142 |
| 7.6         | 自创生 .....                 | 144 |
| 7.7         | 自生长 .....                 | 150 |
| 7.8         | 自适应 .....                 | 155 |
| 7.9         | 自复制 .....                 | 161 |
| <b>第8章</b>  | <b>他组织系统理论</b> .....      | 165 |
| 8.1         | 组织 自组织 他组织 .....          | 165 |
| 8.2         | 他组织原理 .....               | 167 |
| 8.3         | 他组织系统的动力学方程 .....         | 171 |
| 8.4         | 他组织系统的动力学特性 .....         | 177 |
| 8.5         | 能控性与能观性 .....             | 181 |
| <b>第9章</b>  | <b>混沌系统理论</b> .....       | 184 |
| 9.1         | 典型系统 .....                | 184 |
| 9.2         | 以分形几何描述的动力学特性 奇怪吸引子 ..... | 189 |
| 9.3         | 非周期定态 .....               | 195 |
| 9.4         | 对初值的敏感依赖性 .....           | 196 |
| 9.5         | 确定性随机性 .....              | 199 |
| 9.6         | 长期行为的不可预见性 .....          | 201 |
| 9.7         | 混沌序: 貌似无序的高级有序性 .....     | 203 |
| 9.8         | 通向混沌的道路 .....             | 206 |
| 9.9         | 他组织混沌 .....               | 207 |
| <b>第10章</b> | <b>开放的复杂巨系统理论</b> .....   | 214 |
| 10.1        | 复杂性研究概述 .....             | 214 |
| 10.2        | 系统的新分类 .....              | 217 |

|               |            |            |
|---------------|------------|------------|
| 10.3          | 巨系统        | 219        |
| 10.4          | 复杂巨系统      | 222        |
| 10.5          | 开放的复杂巨系统   | 225        |
| 10.6          | 复杂性的定义     | 228        |
| 10.7          | 综合集成方法     | 229        |
| 10.8          | 研讨厅体系      | 232        |
| 10.9          | 建立系统学的新思路  | 234        |
| <b>第 11 章</b> | <b>信息学</b> | <b>238</b> |
| 11.0          | 系统技术科学的新划分 | 238        |
| 11.1          | 什么是信息      | 240        |
| 11.2          | 信息量        | 242        |
| 11.3          | 信息熵        | 246        |
| 11.4          | 通信系统       | 249        |
| 11.5          | 噪声         | 255        |
| 11.6          | 广义信息 全信息   | 257        |
| 11.7          | 信息的特征与实质   | 261        |
| 11.8          | 信息技术       | 264        |
| 11.9          | 信息与系统      | 267        |
| <b>第 12 章</b> | <b>控制学</b> | <b>271</b> |
| 12.1          | 系统与控制      | 272        |
| 12.2          | 控制任务       | 274        |
| 12.3          | 控制方式       | 277        |
| 12.4          | 控制系统的数学描述  | 282        |
| 12.5          | 控制系统的性能指标  | 285        |
| 12.6          | 随机控制       | 289        |
| 12.7          | 自组织控制      | 291        |
| 12.8          | 大系统控制      | 294        |
| 12.9          | 控制技术       | 298        |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| <b>第 13 章 事理学</b> | 301 |
| 13.1 从物理到事理       | 302 |
| 13.2 事理通论         | 304 |
| 13.3 事理学与运筹学的划分   | 308 |
| 13.4 事理学方法论       | 311 |
| 13.5 事理运筹         | 314 |
| 13.6 事理模拟         | 316 |
| 13.7 事理过程         | 319 |
| <b>第 14 章 运筹学</b> | 323 |
| 14.1 运筹学方法论       | 323 |
| 14.2 线性规划         | 326 |
| 14.3 非线性规划        | 330 |
| 14.4 动态规划         | 331 |
| 14.5 排队分析         | 334 |
| 14.6 对策分析         | 336 |
| 14.7 决策分析         | 340 |
| 14.8 网络分析         | 342 |
| 14.9 库存分析         | 344 |
| <b>第 15 章 模糊学</b> | 348 |
| 15.1 精确方法的局限性     | 348 |
| 15.2 模糊性与模糊方法     | 351 |
| 15.3 模糊集合         | 353 |
| 15.4 模糊关系与模糊推理    | 359 |
| 15.5 模糊截割理论       | 364 |
| 15.6 模糊控制         | 366 |
| 15.7 模糊运筹和模糊综合评判  | 369 |
| 15.8 模糊聚类分析       | 372 |
| 15.9 模糊模式识别       | 373 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| <b>第 16 章 系统工程 .....</b>   | <b>376</b> |
| 16.1 组织管理的技术.....          | 376        |
| 16.2 部门系统工程.....           | 377        |
| 16.3 系统工程方法论.....          | 379        |
| 16.4 工程计划的统筹方法.....        | 382        |
| 16.5 实施系统工程的系统——总体设计部..... | 384        |
| 16.6 综合集成工程.....           | 387        |
| <br>主要参考书目.....            | <br>392    |
| 后记.....                    | 393        |

# 第 1 章 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,就是强调对这一学科作整体的认识和把握,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。本书第一章的任务就是对系统科学作一整体的说明。

## 1.1 有待深入研究的课题

经过近 20 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统中的地位、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。<sup>①</sup>与 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

---

<sup>①</sup> 参见朴昌根:《系统科学论》,西安,陕西科学技术出版社,1988。

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”<sup>①</sup>，“中国是充分认识到了系统科学巨大重要性的国家之一”<sup>②</sup>。

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 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，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”<sup>③</sup>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 30 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。

---

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 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）。

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 13 章有所论述。切氏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。<sup>①</sup> 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。

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做这一工作是必要的。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须的评价活动。

## 1.2 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

---

<sup>①</sup> P. 切克兰德:《系统论的思想与实践》, 北京, 华夏出版社, 1990。

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。贝塔朗菲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”<sup>①</sup>。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”<sup>②</sup>。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”<sup>③</sup>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

---

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

② 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)。



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。控制学只研究具有控制意义的问题。信息学只研究具有信息意义的问题。运筹学只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，如果该函数能刻划某项事理活动的功能目标对决策变量的依存关系，那组不等式能刻划决策变量所受限制，它们就成为描述该项事理活动中规划问题的数学模型，因此具有运筹意义。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。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