

XIANDAI XITONG KEXUEXUE

xia

陈忠 盛毅华 编著

2

现代系统科学

xiandai

XITONGKEXUEXUE



上海科学技术文献出版社

现代系统科学学

XIAN DAI XI TONG KE XUE XUE

陈 忠 盛毅华 编著

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代系统科学学/陈忠, 盛毅华编著. —上海: 上海
科学技术文献出版社, 2005. 5
ISBN 7-5439-2505-2

I. 现... II. ①陈... ②盛... III. 系统科学
IV. N94

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第141497号

责任编辑: 胡德仁

现代系统科学学

陈 忠 盛毅华 编著

★

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码200031)

全国新华书店经销

江苏常熟人民印刷厂印刷

★

开本850×1168 1/32 印张20.875 字数619 000

2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

印数: 1-3250

ISBN 7-5439-2505-2 / G · 652

定价: 45.00元

<http://www.sstlp.com>

前言

系

统科学也许是人们谈论最多、评价最不一致的学科之一。一些科学史家把系统科学看作是 20 世纪后半叶创立的新兴横断学科,甚至可以作为现代科学的代表;一些哲学家们对系统哲学推崇备至,认为它不仅对传统思维方式提出了挑战,而且带来了一种新的系统科学世界图景;而一些实践家,特别是面临社会、经济、文化等复杂问题的人们,更是渴望从这里找到解决难题的灵丹妙药。于是,运用系统科学的理论、观点、方法成了一种时髦,甚至在大众媒体中时常可以找到“某某项目是一个复杂的社会系统工程”的说法。似乎只要用系统工程方法,一切难题都会迎刃而解。同时,也有一些人对系统科学持谨慎或否定的态度。如 20 世纪 30 年代,《一般系统论》初创之时,冯·贝塔朗菲用开放系统的观点来阐释生命现象,但这一做法曾被许多生物学权威视为“精神不正常”。即使到系统论成为热门理论的 20 世纪 70~80 年代,仍有不少人视之为空洞的哲学清谈。阵阵热潮之后,现在人们似乎冷静多了。在国外,系统科学尚难找到“对口”的专业;在国内,虽经多方努力,系统科学被定为我国的一级学科,但系统工程却被归入“自动控制”的范畴。该领域原来一些研究人员由于种种原因放弃它而转到其他领域,其中一些人则走向了另一个极端,甚至提出“非系统”、“反系统”的“理论”。一位研究文学的学者就宣称“文学领域中的系统科学已经寿终正寝”。虽然这只是个别人的意见,或者仅仅是学科走向成熟前的“阵痛”,但这足以引起那些正在从事系统科学和准备学习系统科学的人们对它的前途命运作一番冷静的思考。

可以相信,系统思维方式将成为 21 世纪的基本思维方式,系统理论,特别是自组织理论、非线性系统理论和复杂性态理论在未来将得到充分的发展,它的应用前景是极其广阔的。因此,对该学科的发展应持慎重态度,这是因为:

第一,系统科学像其他学科一样是一门科学,而不是能解释一切问题的“哲学神话”。因为任何一门科学都有其自身的局限和适用的“边界”,超出这个“边界”就成为谬误,即使在其适用范围,其中的一些具体结论也可能被“证伪”。系统科学主要给人们的不是现成的结论,而是解决复杂系统问题的思路、方法、原则和模型,因此,不能指望系统科学包打天下,包医百病。特别是社会经济中的一些问题,由于涉及面甚广,需要在各方面密切有效配合下才有可能得到解决,单靠系统理论或系统工程是难以见效的。

第二,系统科学目前所面临的不是如何用现成的理论指导实践,而是如何从实践中“提炼”出系统问题并发展系统理论去解决它。如果没有理论基础,只是盲目实践、急于求成,是办不好事情的。应该承认,目前介绍系统科学的文献不少,但真正能指导实践并解决问题的却并不多,其中一个重要原因就是对一些基本概念尚未完全把握。

第三,对于一门发展中的现代科学来说,冷静的思考、严密的研究、同行的评议,都缺一不可。但可惜的是,长期以来,我们对国外的理论引进介绍多,分析评价少。国内除钱学森等少数学者发表了有影响的论著外,对系统论的原创性研究很少,该领域研究者相互间实质性的交流更少。这种情况已严重影响了中国系统科学的普及和发展,也影响到系统科学的实际应用。

我们同意路甬祥院长的系统科学理论框架,他提出“信息论、运筹学、控制论,20 世纪 60~70 年代兴起的突变论、耗散结构论、协同学、超循环论、微分动力系统、混沌理论等,为系统科学的发展

提供了理论基础。然而,系统科学理论框架的构建尚未真正完成。”这意味着在发展系统科学,建立系统科学的理论体系方面,还有许多艰苦的工作要做。

系统科学的飞速发展,要求不断加强国内外的学术交流。在与国外学术界的交流中,既要看到自己的不足和别人的长处,谦虚谨慎地向外国同行们学习,又要看到自己的工作成果和独到之处,决不能枉自菲薄,老当“学者”,只介绍别人的东西,不去创造和发展自己的东西。

虽然目前国内外已有不少介绍系统科学的论著,但本书作者仍想强调以下几个特色:

首先,为系统科学提出了一个概念体系和理论框架。本研究作为系统科学的基础,不仅包括现代系统科学中最基本的内容,而且包含了笔者对系统科学的见解,因此,可以作为系统科学进一步深入研究的参考。

其次,在对目前成熟理论进行综合、归纳和评述的基础上,增加了许多自己的研究成果,最主要的是关于自组织、复杂系统演化、智能系统和社会经济系统的研究。此外,将当代非线性科学、复杂性态科学与系统科学结合起来,并把这些观点、方法、模型等运用于复杂系统,特别是对社会经济系统和智能系统也作了一些探索。

第三,本书对系统科学中一些基本概念和命题进行了定义,如关于系统的基本特性和关于混沌与分形的定义等。在此基础上,本书对容易引起误解的命题进行了澄清,如在理解“整体大于部分之和”这一命题时,把系统与全体和集合混为一谈;又如把人体看作是“由原子、分子所组成的”等。

本书分为三部分,共十一章。第一部分为基础系统论,对系统科学的概貌和基本内容作了简要的介绍。这一部分共有三章:第一章绪论、第二章系统的结构、第三章系统的性态,分别介绍系统

科学的对象、特点、体系、历史和发展进展,系统科学的基本概念与分类,系统的结构、属性、功能和价值。

第二部分为复杂系统论,着重讨论复杂系统的若干基本问题,试图为现代系统科学提供一个理论基础。这里包括五章:第四章系统的复杂性、第五章系统中的混沌、第六章系统中的分形、第七章系统的演化、第八章系统的自组织与演化机制,分别讨论系统的复杂性态和非线性机制,重点对系统中的混沌运动、分形形态、自组织等复杂性态在时空上的典型表现,以及系统演化过程与动力机制做了详细讨论。

第三部分为社会系统论。这部分包括第九章信息与智能系统、第十章社会系统以及第十一章系统原则与方法,着重研究了人和人类有着特殊关系的信息与智能系统、社会政治、经济文化系统,以及与系统方法和方法论原理有关的问题。

系统科学是一个庞大的学科群,在一本书中不可能面面俱到,为避免过于臃肿,有些内容只得从略。

最后,为了不致引起误解,这里还有几点需要特别说明:

一、现代系统科学是一个正在走向成熟的学科,经过一个多世纪的发展,许多内容早已为人熟知,甚至成为“经典”(例如稳定性、协同学、混沌控制理论,以及 CA、CML、DLA、SOC、CAS 模型等),为了结构的完整和论述的需要,书中对一些公开出版的著作与论文进行了引用和摘录,并注明了文献的来源和作者。在此对被引用者表示衷心感谢。对于因作者水平所限,书中难以避免的错误表示歉意,并敬请读者,特别是同行不吝指正。

二、现代系统科学又是一个正在迅速发展的学科,虽然在本书写作的过程中作者力图完善而又增加了许多新的内容,但还是难以跟上系统科学快速发展的步伐,许多新的内容没有能在书中得到反映,其中尤其值得提到的是本次世纪之交,复杂网络和混沌同步方面的突破性进展,揭开了系统科学历史的一个新篇章。本书

没有包含这些新的内容。但这并不等于它们不重要,不应纳入系统科学的视野,恰恰相反,我们相信,也热切地期待着人们(当然也包括本书作者)能在后续的著作中得到充分地反映。

三、编著本书的宗旨是试图根据笔者对现代系统科学理解,着重讨论其基础理论和思想方法,因此书中包含了许多作者个人的观点和看法,将这些并非全都得到公认的观点和看法提将出来,目的在于引起思考,把系统科学的研究引向深入。同时,笔者的另一个目的是为对系统科学有兴趣的读者提供一个较为完整的理论体系,尽管这个体系耗费了作者多年心血,并且自认为有其道理,但也可能,甚至必然引起争议,而这也是作者所期望的。所以希望有关学者和同行不吝赐教。

作者

2005年5月

目 录

前言	(1)
----------	-------

第一篇 基础系统论

第一章 绪论	(3)
--------------	-------

1.1 系统科学的新时代	(3)
--------------------	-------

1.1.1 科学探索重点的转移与科学范式的改变	(4)
-------------------------------	-------

1.1.2 科研工具与科学方法的创新	(5)
--------------------------	-------

1.1.3 科学与社会关系的变革	(6)
------------------------	-------

1.2 系统科学的对象与问题	(6)
----------------------	-------

1.2.1 系统科学——关于整体的科学	(7)
---------------------------	-------

1.2.2 整体不同于部分和	(7)
----------------------	-------

1.2.3 整体生存于环境之中	(9)
-----------------------	-------

1.2.4 整体的四大问题	(10)
---------------------	--------

1.3 系统科学的四大特点	(10)
---------------------	--------

1.3.1 基础性	(10)
-----------------	--------

1.3.2 前沿性	(11)
-----------------	--------

1.3.3 综合性	(12)
-----------------	--------

1.3.4 实用性	(13)
-----------------	--------

1.4 系统科学的体系	(13)
-------------------	--------

1.4.1 基础系统论	(15)
-------------------	--------

1.4.2 复杂系统论	(16)
-------------------	--------

1.4.3 系统技术与方法	(17)
1.5 系统定义与系统公理	(19)
1.5.1 系统的特征	(20)
1.5.2 系统定义	(25)
1.5.3 系统“公理”	(26)
1.5.4 系统科学的概念体系	(27)
1.6 系统的分类	(29)
1.6.1 系统分类的原则	(29)
1.6.2 按组成分类	(30)
1.6.3 按大小分类	(31)
1.6.4 按属性分类	(32)
1.6.5 按动态特征分类	(34)
1.7 系统的描述	(35)
1.7.1 定性描述	(35)
1.7.2 定量描述	(36)
1.7.3 系统模型	(37)
1.8 系统的环境	(39)
1.8.1 系统与环境的边界	(40)
1.8.2 环境的层次	(40)
1.8.3 环境的保护	(41)
1.8.4 环境的发展	(42)
1.9 系统科学的由来与发展	(42)
1.9.1 系统思想的渊源	(43)
1.9.2 古代的系统思想	(44)
1.9.3 近代科学中的系统思想	(49)
1.9.4 系统科学的创立	(51)
1.9.5 非线性系统与复杂系统研究	(57)

第二章 系统结构	(59)
2.1 结构的概念	(59)
2.1.1 结构的定义	(59)
2.1.2 结构的实例与问题	(62)
2.2 元素与要素	(63)
2.2.1 元素	(63)
2.2.2 要素	(65)
2.2.3 基本元素	(66)
2.2.4 子系统与分系统	(69)
2.3 关联	(69)
2.3.1 关联的数量	(70)
2.3.2 关联的性质	(70)
2.3.3 关联的强度	(72)
2.4 内部秩序与整体构型	(73)
2.4.1 序的概念	(73)
2.4.2 整体的拓扑构型	(77)
2.5 系统的层次	(82)
2.5.1 时空与数量层次	(83)
2.5.2 微观、中观与宏观	(85)
2.5.3 层次分化的效率原则	(86)
2.6 元素组合与内部协调	(87)
2.6.1 元素组合	(88)
2.6.2 组合模型	(90)
2.6.3 关系协调	(91)
2.6.4 协调度	(93)
2.6.5 协调与共振	(94)
附录 米勒的生命系统理论	(98)

第三章 系统的性态	(102)
3.1 系统的整体性	(102)
3.1.1 系统的属性	(103)
3.1.2 系统的功能	(104)
3.1.3 系统的价值	(105)
3.2 系统的形态	(106)
3.2.1 系统的外形	(107)
3.2.2 系统的模式	(108)
3.2.3 形态的拓扑量	(109)
3.3 系统的稳定性	(110)
3.3.1 李亚普诺夫(Lyapunov)稳定性	(112)
3.3.2 渐近稳定性	(113)
3.3.3 大范围稳定与轨道稳定性	(113)
3.3.4 线性稳定性分析	(114)
3.3.5 李亚普诺夫直接法	(120)
3.4 系统的结构稳定性	(123)
3.4.1 等价性	(124)
3.4.2 结构稳定性	(125)
3.4.3 函数族的结构稳定性	(128)
3.5 系统的受控特性	(131)
3.5.1 可观察性	(131)
3.5.2 可控制性(controllability)	(134)
3.5.3 鲁棒性(robustness)与灵敏性	(135)
3.6 系统的主动性	(136)
3.6.1 系统的目的性	(137)
3.6.2 适应性	(139)
3.6.3 适应控制(adaptive control)	(141)

3.6.4	自主性	(142)
3.6.5	选择性	(145)
3.7	系统的标度性与临界行为	(146)
3.7.1	相变与临界指数	(147)
3.7.2	标度性与标度理论	(148)
3.7.3	重正化群方法	(150)
3.8	系统的随机行为	(153)
3.8.1	随机性的几个概念	(154)
3.8.2	朗之万方程	(155)
3.8.3	福克——普朗克方程	(158)
3.8.4	主方程	(160)
3.8.5	实例——舆论形成	(163)

第二篇 复杂系统论

第四章	系统的复杂性	(169)
4.1	复杂性的概念	(171)
4.1.1	客观(内禀)复杂性	(172)
4.1.2	主观(认识)复杂性	(176)
4.2	复杂性的测度	(178)
4.2.1	数学结构的复杂度	(178)
4.2.2	描述复杂度	(181)
4.2.3	计算复杂度	(184)
4.2.4	兰帕尔——齐夫(A. Lempel, J. Ziv)复杂度	(187)
4.2.5	纵向复杂度与横向复杂度	(188)
4.2.6	不确定性的测度	(189)
4.3	复杂系统	(196)

4.3.1	一般复杂系统	(196)
4.3.2	复杂系统的一般特征	(198)
4.3.3	动力系统的复杂性	(201)
4.4	两个复杂系统模型	(204)
4.4.1	元胞自动机模型(CA)	(205)
4.4.2	耦合映象格子(CML)	(213)
4.5	复杂适应系统	(222)
4.5.1	复杂适应系统的特征	(223)
4.5.2	复杂适应系统(CAS)模型	(226)
4.5.3	回声(ECHO)模型	(229)

第五章 系统中的混沌

(231)

5.1	系统中的非线性	(231)
5.1.1	线性关系与非线性关系	(232)
5.1.2	非线性特征	(236)
5.1.3	非线性科学的范例	(242)
5.1.4	非线性与复杂性	(246)
5.2	混沌运动	(247)
5.2.1	随处可见的混沌	(249)
5.2.2	混沌的定性特征	(253)
5.2.3	混沌的定义	(255)
5.3	混沌的定量测度	(260)
5.3.1	宽带功率谱	(260)
5.3.2	正的李亚普诺夫指数	(262)
5.3.3	分数维数	(266)
5.3.4	各种熵测度	(266)
5.4	保守系统中的混沌	(269)

5.4.1	刘维定理(Theory of Liouville)	(269)
5.4.2	不可积系统与 KAM 环面	(271)
5.4.3	KAM 定理	(274)
5.4.4	不稳定环面与 Poincare-Birkhoff 定理	(276)
5.4.5	一个典型实例——太阳系中的混沌	(281)
5.5	耗散系统中的混沌	(282)
5.5.1	奇怪吸引子	(282)
5.5.2	虫口模型、周期分叉与切分叉	(285)
5.5.3	阵发混沌	(289)
5.5.4	通向混沌的道路	(291)
5.6	混沌控制	(292)
5.6.1	OGY 控制法	(293)
5.6.2	偶然正比反馈技术(OPF 技术)	(297)
5.6.3	混沌控制的物理机制	(301)
第六章	系统中的分形	(303)
6.1	分形的概念与意义	(303)
6.1.1	分形的概念	(303)
6.1.2	各种分数维数	(306)
6.1.3	奇怪吸引子的分形维数	(315)
6.1.4	分形的定义	(316)
6.2	分形类型	(318)
6.2.1	数学中的分形	(318)
6.2.2	自然界中的分形	(322)
6.2.3	社会经济中的分形	(326)
6.2.4	分形的分类	(329)
6.3	分形生长	(329)

6.3.1	受限扩散凝聚(DLA)模型	(330)
6.3.2	动力学集团凝聚(KCA)模型	(334)
6.3.3	似分形晶体的生长	(337)
6.3.4	准晶体的分形结构	(339)
6.3.5	渗流模型	(343)
6.4	分形集合与多分形	(344)
6.4.1	Julia 集	(345)
6.4.2	Mandelbrot 集	(346)
6.4.3	分形集的相关原理	(347)
6.4.4	多分形	(348)
6.5	分形的测量与计算	(349)
6.5.1	分数布朗运动	(349)
6.5.2	Hurst 指数与 R/S 分析	(351)
6.5.3	相空间重构	(352)
6.6	分形与系统的自相似性	(355)
6.6.1	相似与自相似	(355)
6.6.2	系统的自相似性	(357)
6.6.3	自相似的起源	(358)
6.6.4	自相似的意义	(359)
6.6.5	特征形态与系统基因	(362)
6.6.6	SOC 与 $1/f$ 噪声	(362)

第七章 系统的演化

(364)

7.1	演化与进化	(364)
7.1.1	演化的含义	(365)
7.1.2	演化方向与时间箭头	(368)
7.1.3	进化的判据	(371)
7.1.4	进化的必要条件	(376)

7.2 演化的标度	(379)
7.2.1 结构标度	(380)
7.2.2 属性标度	(385)
7.2.3 行为标度	(387)
7.2.4 形态标度	(388)
7.2.5 信息流量标度	(392)
7.3 系统的创生	(393)
7.3.1 创生的条件	(394)
7.3.2 整体性的涌现	(396)
7.3.3 创生的过程	(399)
7.4 系统的发展	(402)
7.4.1 发展的方向	(402)
7.4.2 发展的阶段	(404)
7.4.3 发展的条件	(408)
7.4.4 发展的动力	(408)
7.5 系统的消亡	(413)
7.5.1 消亡过程	(413)
7.5.2 趋极过程	(415)
7.5.3 极值状态	(418)
7.5.4 趋极的意义	(422)
7.6 群体的进化	(423)
7.6.1 群体的进化模式	(424)
7.6.2 群体生态模式	(427)
7.6.3 宇宙演化的模式	(430)

第八章 系统的自组织与演化机制

8.1 系统的自组织	(434)
------------------	-------