

科学系统论

李喜先 等著

科学出版社

科学系统论

李喜先等著

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书主要运用现代系统概念、系统理论和系统观,从普遍存在的种类纷繁的系统中,抽象出一个极其复杂的科学系统,并把它视为一个自组织系统,研究其特性、结构、功能、进化和环境,从而形成科学系统理论,并导致若干推论或应用。

本书可供科技工作者、系统科学、科学哲学和科学社会学等研究者,科技发展战略、科技政策和科技管理研究者,以及广大科技和教育工作者参考。

科 学 系 统 论

李喜先等著

责任编辑 杜越

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

新世纪印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年4月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1995年4月第一次印刷 印张: 12 1/4 插页: 2

印数: 1-1 245 字数: 319 000

ISBN 7-03-004611-0/N·25

定价: 28.00 元

本课题研究的资助单位

国家科学技术委员会
中国科学院
国家自然科学基金委员会
中国科学院出版基金专家委员会

作者（按姓氏笔划为序）

孔德涌 李文林 李喜先
陈益升 金吾伦 胡作玄
袁向东 董光壁 鲍琳洁

前 言

1989年，在中国科学院、国家科学技术委员会、国家自然科学基金委员会和中国科学院出版基金专家委员会的资助下，我们开始本课题的研究，其成果形成两本专著：《科学系统论》和《技术系统论》。本书为前者。

本课题由李喜先负责，并进行本书框架构思和统稿。本书分上、中、下三篇，共15章。上篇由董光壁统稿，中篇由李文林统稿，下篇由李喜先统稿，各章撰稿人员如下：

孔德涌研究员撰写第15章

李文林研究员撰写第6章

李喜先研究员撰写导论、附录，第1、13、14章

陈益升研究员撰写第3、4章

金吾伦研究员撰写第9、10章

胡作玄研究员撰写第11、12章

袁向东研究员撰写第7章

董光壁研究员撰写第2、5章

鲍琳洁研究员撰写第8章

苗东升教授参加了有关章、节的讨论，董劲松为本书版面设计、文稿打印做了大量的工作，中国科学院数学研究所和中国科学院科技政策与管理科学研究所给予了多方面的支持，我们衷心地表示感谢。

本书运用现代系统概念、系统理论和系统观，研究一个极其复杂的科学系统，可以说是一种新的探索，不当之处，恳请广大读者不吝指正。

作 者

1994年10月

目 录

导 论	1
-----	---

上 篇 理 论

1 科学系统	11
1.1 科学	11
1.2 科学系统的涵义	15
1.3 科学系统的特性	20
1.4 科学系统观	27
2 科学系统的结构	31
2.1 科学知识系统的结构	32
2.2 科学认识系统的结构	38
2.3 科学社会系统的结构	44
3 科学系统的功能	54
3.1 科学系统功能概述	55
3.2 科学系统的认识功能	60
3.3 科学系统的经济功能	66
3.4 科学系统的社会功能	75
4 科学系统的环境	84
4.1 科学系统的环境概述	84
4.2 科学系统的经济环境	88
4.3 科学系统的文化环境	97
5 科学系统的进化	105
5.1 科学系统进化的判据	106
5.2 科学系统的自组织	112
5.3 科学系统的能控性	117

中 篇 模 型

6	科学系统知识增长的数学描述	127
6.1	数学模型的一般知识	127
6.2	知识增长的三种模式	129
6.3	数学描述	131
7	数学系统中的模式和力	150
7.1	数学是什么	150
7.2	数学知识演化的历史学模式	157
7.3	{MS} 进化中的若干文化模式	161
7.4	推动 {MS} 演化的力	167
8	社会科学模型	176
8.1	社会科学研究	176
8.2	社会科学系统、结构与功能	185
8.3	社会科学模型	191
9	交叉科学模型	208
9.1	交叉科学的涵义	208
9.2	交叉科学的特征	212
9.3	交叉科学知识的生长	219
9.4	学科交叉的动力学模型	223
9.5	面临的问题及发展的前景	223
10	哲学科学模型	226
10.1	哲学科学的涵义	226
10.2	哲学和科学	230
10.3	科学哲学理论	234
10.4	知识增长的蚕茧模型	251

下 篇 应 用

11	科学分类	263
11.1	一般分类概述	263
11.2	科学分类的原则	266
11.3	科学分类的方案	271

11.4	科学分类大纲	284
12	科学的未来和预测	288
12.1	科学预测	288
12.2	科学预测的实践与方法	297
12.3	预测的框架系统	301
13	论科学发展战略	307
13.1	战略思想	308
13.2	战略目标	310
13.3	战略重点	311
13.4	战略措施	311
13.5	论中国科学发展战略	312
14	论科学政策	322
14.1	政策概述	322
14.2	科学政策	324
14.3	论中国科学政策	333
15	论科学系统管理	340
15.1	管理理论	341
15.2	管理方法	344
15.3	科学系统管理	346
15.4	论中国科学系统的管理	349
	附录：系统	355

在现代科学思维方式中,系统思维方式遍及着广阔的领域,成为主要的思维方式,并进一步地表现为科学思维的一个新“范式”^①。由此,我们主要运用现代系统概念、系统理论和系统观,从普遍存在的种类纷繁的系统中,抽象出一个极其复杂的科学系统,将其作为研究对象——认识客体,并把它视为一个自组织系统。

我们着意在多层次上研究这个系统,并适当采用模型,特别是数学模型来描述,以得出一些规律性的认识,使我们确立起科学系统观。

我们只有对科学系统有了深刻的系统的认识,才有利于应用这些认识,正确地推断科学发展趋势、确立科学发展战略思想、进行科技和教育改革、制定科学政策、采取战略措施,以及提高科学管理水平等。

一、科学的系统反思

从不同的观点,对科学的反思早已开始了。18世纪中叶以来,从历史学的观点,对科学的本质、科学的发展等进行反思,即从

^① 美国科学哲学家库恩(Kuhn, T. S.)提出的“范式”(paradigm)。

纵向的角度对科学进行研究，从而形成了科学史，包括自然科学史、社会科学史、哲学史和数学史等分支学科；从哲学的观点，对科学（主要是自然科学）的本质、目的、认识论和方法论等作哲学考察，即以科学为对象的哲学反思，从而形成了各派科学哲学；从社会学的观点，研究科学与社会互动，特别是研究科学的建制化、科学认识主体——科学共同体的规范等，从而形成了科学社会学；从心理学的观点，研究认识中的心理活动规律，从而形成了科学心理学等等。

我们主要运用现代系统理论的观点和方法，从多维度、多层次对科学系统进行系统反思，即科学系统的自我认识，则更能揭示科学的本质，深刻地认识科学系统的特性、结构、功能、进化和环境。这样，可增强对科学进行系统的和整体性的研究，从而形成科学系统论。我们希望进行一种新的探索，为现代系统理论研究开拓一个新领域，并试图基于系统认识论和方法论而建立一门新的科学系统学——以复杂的科学系统为研究对象的综合学科。

二、系统概念和系统理论

系统是自然界、社会和思维的一种普遍特性。系统概念是反映系统本质属性的思维形式。

在古代文化中，早已蕴含着许多关于系统的朴素思想。“系统”一词源于古希腊语 $\delta\gamma\delta\gamma\eta\mu\alpha$ ，即带有组合、整体（集合）和有序的涵义。古代系统概念已粗浅地反映了系统的本质属性。在近代，人们广泛地运用系统概念对现实世界（自然界和人类社会）进行了概括，从而建立了几类系统，主要是受机械观的影响而建立的机械系统。在现代，系统概念遍及各个领域，“系统”一词已成为当今世界上最频繁、最时髦的科学术语。而且，按不同标准，人们已从种类繁多的系统中划分为不同种类：按质量和尺度不同分为宇观系统、宏观系统、微观系统，按运动形态不同分为动态系

统、静态系统，按与环境相互作用不同分为开放系统、封闭系统、孤立系统，按克服外界干扰的能力不同分为稳定系统、非稳定系统，按物质、能量代谢不同分为平衡系统、近平衡系统、远离平衡系统，按认识程度不同分为白色系统、灰色系统、黑色系统，按时空关系不同分为并列系统、时序系统，按实体与概念的区别分为概念系统、实物系统、心理系统，按人工与自然的成分不同分为天然系统、人工系统（符号系统）、复合系统，按自然进化的不同层次分为自然系统、社会系统，按复杂程度不同分为简单系统、复杂系统、复杂巨系统、特殊复杂巨系统（社会系统）等。

由于系统理论的某些概念和术语的不确定性，从而对系统的定义也有多样性。从直觉的、整体论的观点，贝塔朗非（Bertalanffy, L. V.）认为：“系统可以定义为相互作用着的若干要素的复合体。”^①凯斯特和罗森威认为：“所谓系统，乃是一项有组织的整体，由两个或两个以上的相关联的‘个体’，或‘综合体’，或‘次体系’所构成，存在于其外在的高级系统之内，具有明确的边界者。”现代数学使用在集合上规定要素间的关系的方法定义系统。由此，从数学和分析的观点，莫萨诺维克（Mesarovic, M. D.）用集合论描述，把系统定义为关系的集合。这样，用集合论定义的系统具有更大的普适性。

我们认为，系统是由相互联系和相互作用（一般地是非线性相互作用）的若干要素有机地结合成特定结构，从而具有不同于各个要素独自具有的新功能的整体。

概言之，一切系统均由诸多变元的相互作用而生成；当相互作用趋于零的极限状态，可抽象为非系统。

在现代系统研究中，尚无一门统一的系统理论，只存在基于不同学科背景而形成各种各样的具体的系统理论：基于生物学和心理学等，贝塔朗非建立了一般系统论，米勒（Miller, J. G.）建

① 冯·贝塔朗非，一般系统论：基础、发展和应用，林康义，魏宏森等译，清华大学出版社，1987年，第51页。

立了一般生命系统理论，艾根 (Eigen, M.) 建立了超循环理论；基于物理学和化学，普里戈金 (Prigogine, I.) 建立了耗散结构（一个开放系统所产生的时空结构或开放系统结构）理论，哈肯 (Haken, H.) 建立了协同学；基于数学，莫萨诺维克、怀莫尔 (Wymore, A. W.)、克勒 (Klir, G. J.) 建立了数学上的一般系统理论；香农等建立了信息论，维纳等建立了控制论，而且，屈浦缪勒、法乌尔 (Faurre, P.)、德培洛 (Depeyrot, M.)、卡尔曼 (Kalman, R. E.)、福雷斯特 (Forrester, J. W.) 建立了与其有关的系统理论；基于社会学，帕森斯 (Parsons, T.)、巴克利 (Buokley, W.) 建立了行动系统和社会文化系统理论；基于经济学，乔治斯库·柔根 (Georgescu, N. Roegen) 等用熵定律研究经济系统；基于哲学，贝塔朗菲建立了系统哲学（系统本体论、系统认识论和价值观），拉兹洛 (Laszlo, E.) 建立了综合哲学，邦格 (Bunge, M.) 建立了系统主义，一些马克思主义哲学家提出了系统观。

现代系统理论，特别是一般系统论、耗散结构理论、协同学、超循环理论和混沌理论等是系统科学的基本理论部分，主要是基于实验和数学方法而建立起来的自组织理论。它们是共同揭示系统的形成、生长、运行、维持、衰老、解体以及从一种结构向另一种结构、从低层次向高层次进化的一般理论。

三、科学系统理论

我们从普遍存在的种类繁多的系统中抽象出的一个极其复杂的科学系统，是由相互联系和相互作用的科学认识要素、科学知识要素和科学社会要素有机地结合成特定的结构，从而具有不同于各要素独自具有的新功能、向新的有序结构进化的一个整体。这个对人类具有特殊意义的系统也是一种自组织系统。

我们建立的科学系统理论就是在研究这个系统的特性、结构、功能、进化和环境中形成的一种理论，也可视为一种自组织理论。

科学系统具有一系列特性，如自组织性、整体性、相关性、动态性、开放性和层次性等。

科学系统内部各要素不同的组合秩序的方式形成了复杂的结构，并有复杂的行为。在探讨科学系统的结构中，可从人类的科学认识及其产物和科学组织三个视角来考察，从而相应地建立了科学认识系统结构、科学知识系统结构和科学社会系统结构，及其低层次的等级结构序列。

科学系统的功能是其与环境系统发生相互作用所表现出的外部秩序，即是从外部来描述它的行为。科学系统的功能具有整体性，它虽以各部分的功能为基础，但不等于其简单的叠加。在科学系统中，结构与功能是同时存在和互为一体的；而且，由于其结构的多样性决定其功能的多样性；不同层次，功能各异。科学系统作为一个整体的主要功能表现为认识功能、社会功能、文化功能，以及在现代突出地表现出多种经济功能。

科学系统的环境是更大的文化系统和社会系统。而且，也可以认为，文化系统是科学系统的母系统，它对科学系统的进化直接起着决定性的作用；由于文化背景具有的时空特性，形成不同的“文化层面”和“文化模式”，相应地就伴随着产生不同形态、不同模式的科学。科学系统的环境的整体结构是以围绕科学系统为中心所联结的环境要素而构成的、多层次的复杂的动态结构，而且对科学系统产生的作用表现为一种整体效应。特别是，在与外部环境系统发生强相互作用中，最主要的莫过于技术系统（由自然技术、社会技术等构成的一个整体）。科学系统还是一种能够适应外部环境系统变化而变化的自适应系统。

科学系统的进化一般与天体系统进化、生物系统进化、社会系统进化和文化系统进化类同，都含时间和空间两个方面同具意义的同一过程。怀特（White, L. A.）认为：“在进化过程中，时

间和空间交融一体，不可分割。”^① 系统的进化是普遍存在的、一种秩序的展开过程。一般地说，在达尔文建立了进化论后，探索其它系统进化的共同观点和方法都基于与其进行类比。现代几种自组织理论为建立统一的系统进化论奠定了基础。科学系统是一个开放的自组织系统，在外部与环境系统发生相互作用，在内部由于各要素之间的非线性相互作用，使其从一个定态转变到另一个更远离平衡的定态，即从一种低级有序结构转变到另一种高级有序结构，不断地向高层次、复杂化和自组织化方向进化。在严格的意义上，对科学系统的进化要应用一般系统普适的系统进化方程描述，这种方程的一般形式是非线性随机偏微分方程：

$$\dot{q}(r, t) = N(\alpha, q(r, t), \nabla, r, t) + F(t)$$

其中， N 是一个非线性函数，是自组织系统所必需的确定性的驱动力； F 为随机性的涨落力。这表示系统在这两种力的共同作用下进化的状态。 q 为依赖于空间矢量 $r(x, y, z)$ 和时间 t 的状态矢量， $q_j = n_j(r, t)$ ，表示状态变量数目很多； α 为控制参量，表示系统受外环境的影响而远离平衡态； ∇ 为哈密顿算子，是为考虑系统在连续扩展的非均匀条件下的扩散或传播等因素。这是一种非常复杂的方程，可以用来描述任何系统，要作普遍讨论几乎是没有任何希望的。但对于不同的系统，可忽略一些项，使方程具有简单的形式。但是，即使这样，用于描述科学系统的进化也绝非容易。所以，我们着意在实际需要而讨论：科学系统进化的判据，包括科学理论进化的判据、科学认识进化的判据和科学社会进化的判据；科学系统的自组织，包括科学理论的自生成、个体认识的自主性和科学社会的自治；科学系统的能控性，包括科学目标化、科学认识的调节原理和规范的科学论证。对于科学系统进化的研究，在科学哲学、科学史和科学社会学中已提出了种种进化模式。雅布隆斯基 (Yablonsky, A. I.) 在《系统研究》一书中，主要基

① 怀特，文化科学——人和文明的研究，曹锦清等译，浙江人民出版社，1988年，第11页。

上远离平衡态的开放系统现代热力学理论，对开放系统的科学发展提出了定性和形式化的发展模型。

四、科学系统的模型

模型是塑造实在的工具。我们所使用的言词乃是最基本的模型。

为了研究复杂系统，一般地要采用建立模型的方法。模型是真实系统的精神映象或概念，即对对象系统的抽象和简化，略去非本质的要素，抓住少数主要的要素，从而形成一个比真实系统简单、而主要方面与真实系统的特性、结构、功能、行为等一致或拟一致的真实对象系统模型。

科学系统的建模要达到足够的准确性和有效性绝非易事，特别是，许多概念的量化是极端困难的。不过，在许多方面可与生物系统等类比，并可利用生物数学等的成就来建立类似的数学模型。在科学系统的建模中，最重要的是建立数学模型——抽出对象系统的主要变量及其关系，并由公式、方程或逻辑表达式等组成的某种数学结构表示出来。

科学系统理论的核心是自组织理论，这是建立数学模型的基础。为此，我们主要采用确定性（动力学）模型和随机性模型，并使两者结合起来。在我们主要考虑的动力学模型中，主要有：封闭模式，包括连续的动力学模型和离散的动力学模型；开放模式，包括流动模型、沃尔特拉（Volterra）方程表示的捕食者-被捕食者系统的模型、传染模型和竞争（不同理论或学科之间的竞争）模型。其次，我们也对科学系统的进化进行概率论描述，建立了随机性模型，并以符号逻辑（数理逻辑）的发展为例，其特性与用传染模型所得的结论具有一致性。

在科学系统的建模中，我们还对数学科学、社会科学、交叉科学和哲学建立了模型。

五、科学系统理论的应用

我们建立的科学系统理论和模型具有应用的意义。实际上，下篇就是上、中篇的展开，称为若干应用或推论，其中在中国科学中的应用属于特殊条件下的应用。这些包括：科学分类；科学系统未来发展趋势；科学发展战略，含论中国科学发展战略；科学政策，含论中国科学政策；论科学系统管理，含论中国科学系统管理。

最后，在附录中，简要地论述了系统概念、系统定义、系统分类、系统特性、系统功能、系统环境、系统关系、系统行为、系统进化，以及现代几种系统理论，包括一般系统论、耗散结构论、协同学和超循环理论，供参考。