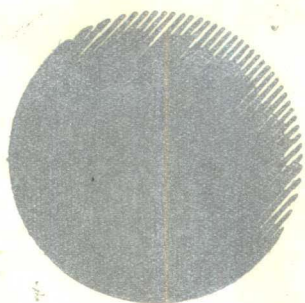


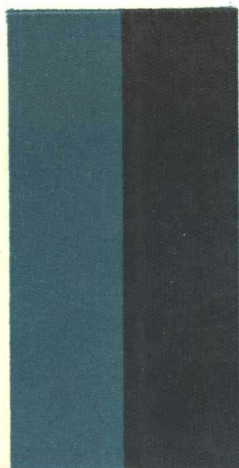
系统科学



走向二十一世纪的人需要多维的视野和崭新的知识结构《新学科丛书》以全方位的态势和准确、快速的信息,向您展示当代国内外引人注目的综合学科、边缘学科、交叉学科和分支学科。



新学科丛书



责任编辑 陈 军
封面装帧 沈蓉男

• 新学科丛书 •

系 统 科 学

邹珊刚 黄麟雏 李继宗 编著
苏子仪 马名驹 朴昌根

上海人民出版社出版、发行

(上海绍兴路54号)

新华书店上海发行所经销 上海新华印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 15 插页 2 字数 317,000

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数 1—19,000

ISBN 7-208-00071-9 / Z·7

书号 17074·43 定价 3.40 元

《新学科丛书》前言



社会主义中国正在腾飞。

腾飞的年代要求人们具有丰富的知识。

当代知识体系已呈现出多彩的态势、全新的格局——现代科学日趋高度分化和高度综合，自然科学与社会科学相互渗透和结合，出现了许多综合学科、边缘学科和分支学科。

我们正面临着知识的挑战。

为了迎接这一挑战，《新学科丛书》将以马克思主义为指导，依据我国的国情，适应社会主义现代化建设的需要，有计划地、有目的地、通俗地介绍以社会科学为主的各门新学科。

《新学科丛书》，理论性与应用性并重，学术性与普及性兼顾，力求用新思想、新材料、新形式、新语言，提供丰富的新知识和新信息，以帮助人们开阔视野，更新知识结构，掌握科学方法，为繁荣社会主义科学文化事业服务。

编 者

序

本世纪以来科学技术突飞猛进，新兴学科层出不穷。科学技术作为推动社会发展的强大力量，不仅它的成果被直接应用于生产，促进了社会经济的发展，而且科学技术作为综合的知识体系，也为我们提供了观察分析复杂多变的经济、社会、政治等现象的工具，从而帮助人们在更广泛的范围内进行科学的思考、判断和决策，在更大程度上推动整个社会的发展以及科学技术自身的进步。在现代科学技术的体系中，系统科学占有特殊的地位，它是彻底改变世界科学图景，使当代科学家思维方式发生革命性转变的最富有意义的成果之一。以系统作为研究对象的系统科学的形成和发展，以及它在各个领域的广泛应用，给自然科学、技术科学、工程技术和社会科学提供了一种跨越学科界限，从整体上分析问题、处理问题的新范式、新思想、新方法，有利于填平自然科学与社会科学之间的鸿沟，消除东西方文化的隔阂。

从贝塔朗非提出一般系统论至今已经过去半个世纪，在此期间不仅产生了运筹学、控制论、信息论、系统工程、大系统理论和系统动力学，而且还出现了耗散结构理论、协同学、超循环理论、一般生命系统论、社会系统论，以及近十年来我国学者提出的泛系分析和灰色系统理论等。根据系统研究已经取得的成

果,有可能在此基础上建立统一的系统科学体系。贝塔朗菲晚年在《一般系统论的历史和现状》一文中,曾提出了一般系统论研究的几个方面,实际上为系统科学的体系提出了一个初步的设想。我国著名科学家钱学森自1979年以来,多次发表关于建立系统科学体系的建设性意见,并参加和主持了系统科学基础理论的研究工作。《系统科学》一书,就是吸取了贝塔朗菲和钱学森关于系统科学体系的思想,力图从系统工程、系统方法理论、系统学这三个层次上,以及在带有一般科学方法论性质的、作为系统科学与哲学的中介的系统论方面,反映系统科学理论研究和实际应用的现有成果。

为了让读者了解系统理论研究的最新信息,我们特邀请国内外著名学者撰写了专稿,武汉数学工程研究所吴学谋研究员、华中工学院邓聚龙教授分别为本书第九章撰写了“泛系理论”、“灰色系统理论”两节,介绍了他们各自在国际上首先创导的泛系理论、灰色系统理论的概念和方法。尤为令人高兴的是,联邦德国斯图加特大学哈肯教授和美国加利福尼亚大学米勒教授都欣然为本书撰写了“协同学”和“生命系统理论”等节,谨在此表示深切的谢意。

本书是在集体讨论基础上分头执笔编写的,具体分工如下:

- | | |
|-----|---------|
| 序言 | 邹珊刚 |
| 第一章 | 李继宗 |
| 第二章 | 李继宗 朴昌根 |
| 第三章 | 邹珊刚 |
| 第四章 | 黄麟维 |

第五章 朴昌根

第六章 苏子仪

第七章 马名驹 邹珊刚

第八章 黄麟维 邹珊刚

第九章 米勒 哈肯 邓聚龙 吴学谋 黄麟维 朴昌根
马名驹

稿子集中后,邹珊刚、李继宗、朴昌根又对各章节进行了修改。全书由邹珊刚统编。

此书虽然反映了编著者近几年来在系统科学方面所作的工作,但在很大程度上是综合吸取了国内外的最新研究成果,并引用了许多学者的著作和论文,在此特向有关同志表示敬意和感谢。

《系统科学》一书的编写,得到了华中工学院、复旦大学、西安交大、上海机械学院以及上海人民出版社的热情支持,谨此,表示衷心的感谢!

目 录

序.....	1
第一章 系统科学的历史和现状.....	1
第一节 系统科学产生的历史背景.....	1
第二节 系统科学的发展.....	12
第三节 系统科学的研究对象、性质和体系.....	25
第四节 系统科学的地位和作用.....	38
第二章 系统与系统概念.....	46
第一节 系统的概念.....	46
第二节 系统的普遍性.....	54
第三节 系统的分类.....	58
第三章 系统的整体性.....	73
第一节 系统整体的观念.....	73
第二节 整体的加和性与非加和性.....	83
第三节 整体性原理.....	91
第四章 系统的结构与功能.....	99
第一节 系统的结构.....	99
第二节 系统的功能.....	113
第三节 系统的结构与功能的关系.....	117

第四节 不同系统之间结构变革的相关性·····	124
第五章 系统的进化 ·····	129
第一节 进化论的进化·····	129
第二节 系统进化的描述·····	142
第三节 系统进化中的质变·····	160
第四节 系统进化的机制·····	181
第六章 系统控制与信息 ·····	197
第一节 系统控制思想和理论·····	197
第二节 控制与调节·····	215
第三节 系统的自适应控制·····	225
第四节 信息与信号·····	236
第七章 系统分析 ·····	251
第一节 系统分析的概念和内容·····	251
第二节 系统的目标·····	260
第三节 系统模型化·····	268
第四节 系统优化·····	280
第五节 系统的评价·····	295
第六节 系统的可靠性和可行性·····	304
第八章 系统技术 ·····	316
第一节 系统的分解与协调技术·····	316
第二节 计划评审技术·····	332
第三节 系统的设计·····	337
第四节 预测技术·····	352
第五节 系统决策·····	363
第九章 现代系统理论 ·····	382

第一节	贝塔朗菲的一般系统论·····	382
第二节	耗散结构理论·····	392
第三节	超循环理论·····	398
第四节	系统动力学·····	406
第五节	协同学：理论与应用·····	417
第六节	生命系统理论·····	427
第七节	泛系理论·····	443
第八节	灰色系统理论·····	450
主要参考文献·····		463

第一章 系统科学的历史和现状

系统科学的兴起是本世纪科学发展的重大事件之一。二十世纪以来科学、技术、哲学和管理方面变革性的发展，是系统科学赖以形成的背景和根源。贝塔朗菲、维纳、申农、钱学森、普利高津、哈肯等人的工作为这门学科的产生和发展作出了卓越贡献。系统科学是以系统及其机理为对象，研究系统的类型、一般性质和运动规律的科学。它具有横向性、综合性、功能行为性质和方法论性质。作为一门学科体系，系统科学包括三个理论层次。在现代科学技术和哲学、社会科学中，系统科学思想和理论具有十分重要的作用和意义，它为人们认识世界和改造世界提供了富有成效的、现代化的“新工具”。

第一节 系统科学产生的历史背景

系统科学的产生并不是偶然的，它是二十世纪以来在科学、技术、管理和哲学思想方面的革命与变革的必然结果。

一、技术革命：信息与控制

自从法拉第发现电磁感应现象和麦克斯韦确立电磁场基本方程式以来，电力和电子技术得到了突飞猛进的发展，并成为第

二次技术革命的中心内容。由于电子学基础理论不断发展和在近现代科学技术中的广泛应用,已在工业、医疗、军事、核物理等方面产生出许多重要的新技术和新兴电子学科。现代通讯技术和电子计算机技术就是在电子技术和新兴电子学科基础上发展起来的。1948年维纳在他的《控制论》中说:“如果说十七世纪和十八世纪初叶是钟表的时代,十八世纪末叶和十九世纪是蒸汽机的时代,那么现在就是通讯和控制的年代。电工学上曾有过一次分裂,德国人把它叫作强电流技术和弱电流技术之间的分裂,我们知道,这就是动力工程学和通讯工程学的划分。正是这个分裂把过去的年代和我们现在生活着的时代区分开来”。^①从强电流技术到弱电流技术,从动力工程学到通讯工程学,这正是现代科技革命的主流和趋势。这场革命产生了微电子、激光、光导纤维、生物工程、机器人等新技术和一系列新兴学科。特别是六十年代以来微电子技术飞速发展,对经济和社会的变革已经产生了广泛的影响。它实际上成为信息革命的先锋。

第一次产业革命在本质上是用蒸汽机(后来又是内燃机和电动机)来代替人的体力劳动,从而大大地提高了劳动生产率;新的产业革命或新技术革命在本质上则是用电脑(微处理机)使信息和电脑化的智能与机器系统紧密结合,来代替人的体力和脑力劳动,从而极大地提高劳动生产率。这就使人们作用于劳动对象的方式发生了变革。过去人们是通过动力机、传动机和工作机所形成的机器组合作用于劳动对象的;现在在机器的三个组成部分之外又创造了控制机,把原属于人脑的智力工作也

^① 维纳:《控制论》,科学出版社1963年版,第39页。

部分地转移到机器上去了。而信息的运动又成为“控制机”活动的核心,所以,确如维纳所说,信息与控制是新技术革命时代的主要特征。正是在这种历史条件下,本世纪四十年代中期几乎同时产生了控制论、信息论、运筹学、以及通讯技术、控制技术和电子计算机。

二、科学革命:统计与进化

在近代科学史上,经典力学的机械决定论统治了达三个世纪之久。它构造了一个封闭的简单的宇宙模式,其中所有事物都精确地有规律地运动着。这个宇宙模式认为,一个系统只要知道了它的初始状态,就可以根据普遍适用的动力学规律推演出它随时间变化经历的一切状态。在这种宇宙模式和自然观的支配下,科学唯一的目的是对客体进行精确地解剖,从部分直接引出整体的性质。而受整体相互作用制约的那些性质、层次之间的联系和转化,都在研究者的视野之外。十九世纪自然科学向辩证法的复归,主要是破除了自然界绝对不变的见解;然而,十九世纪的科学仍然是经典科学发展的继续,自然科学的综合主要限于科学内部的统一,对科学世界图景的认识,对联系和发展的探索仍未超出机械决定论的框架。

从十九世纪后期起,随着人类认识领域不断扩展,自然科学研究进入到大量元素组成的具有大量自由度的复杂体系,由于构成这种体系的元素数量庞大,它们呈现出复杂的随机运动,相邻元素之间,元素和整体之间都缺少固定不变的联系。在这种情况下,经典力学就显得无能为力了。这不仅因为它难以对付系统固有的复杂性,更重要的是这种复杂性导致了事物的变化

——即使精确地确定粒子的全部轨道和它们之间的相互作用力，也不能给我们提供整体知识。统计规律的发现是一个根本性的突破。它揭示了层次之间的联系，宏观热力学问题可以从微观分子的相互作用中得到解释。通过对大量元素行为的统计处理，使人们看到，大量不能作出详尽预测的复杂因素，却表现出十分确定的整体规律。这种整体的性质，如元素强度、温度、熵等等，元素之间、不同层次之间的联系形式等，不为元素单独所有，也不由它们的线性迭加所产生，这是它们相互联系、相互作用的状态和过程本身。所谓整体趋势、有序性、必然性等等正是这种关系的表现。大量事物的并存和影响是导致随机现象的根本原因。这一思想首先是从十九世纪后期玻耳兹曼和二十世纪初吉布斯关于统计物理的研究开始的。统计规律就是这一思想的集中体现。所以维纳说：“我们必须把二十世纪物理学的第一次大革命归功于吉布斯，而不是归功于爱因斯坦、海森堡或普朗克。”①

二十世纪以来，统计规律和概率思想，在科学的所有领域都得到了深化和发展，并且改变了科学认识的传统观念，也改变了人们对规律的认识。例如，在量子力学中，哥本哈根学派对薛定谔方程中的波函数作统计解释时，提出了几率波的概念，认为整体系统的单个粒子都服从统计规律。当代的计算机实验，实验室的测量和一些数学分析进一步证明，随机性能够在一定的发展过程中，作为内在的“必然的行为而发生作用”。由此，人们不再认为统计规律是我们对客观过程知之甚少的表现，而是

① 维纳：《人有人的用处》，商务印书馆 1978 年版，第 4 页。

复杂系统本身所具有的一般规律。我国物理学家郝柏林说：“自从 1687 年牛顿发表《自然哲学之数学原理》一书以来，确定论观点在自然科学体系中一直被奉为正统。概率论描述则被当作‘不得已而为之’的补充。现在事情起了变化。牛顿力学的框架里冒出了内在随机性，根本用不到什么‘大数定律’来论证随机概念。三体问题中已经有好几个随机性、‘不可预言’的实例。可以证明，这类情况不是稀有的特例，而是普遍的行为。完全确定论的描述在牛顿力学中倒限于稀如凤毛麟角的特例”。^①凡是由大量较小单元层次构成的系统的性质，结构的形成、稳定和变化的条件与过程，有序和无序之间的联系和转化，都可以用概率统计的方法去研究，统计规律把不同层次联系起来，揭示了它们之间既存在着一致和连续性，又存在着差异和间断这两种情况的统一。它们既自我依存又相互依存，每个层次的性质取决于它们的整体结构，又受制于高一层次并为高一层次提供了根据，最终反映客观世界是一个多层次、复杂结构的整体。在这个意义上，我们可以说，只有对统计规律进行深入的探讨，才会有助于我们把握当代科学思想的脉搏。统计即是系统科学的基本思想，也是它的重要数学工具。

和统计思想相联系的进化(或演化)思想也是本世纪科学思想的重要支柱。进化论作为一种科学理论是十九世纪五十年代的产物。在那富有创造性的年代里，在科学的三个领域几乎同时产生了科学的进化论，这就是克劳修斯的熵增加原理，达尔文的物种进化论和马克思的唯物史观。

① 郝柏林：《自然界的秩序和混沌》，《百科知识》1984 年第 1 期。

1850年克劳修斯指出,热不能自动从低温物体流向高温物体,即热传导是不可逆的。十五年以后他又引入一个与系统的具体要素无关的物理学态函数——熵(S),这是他最伟大的功绩。热力学第二定律用熵来表示,即在闭系统中,熵变不会小于0,即: $ds/dt \geq 0$,这就是著名的熵增加原理。按照这个原理,闭系统的熵是单向地增加的,不可逆的,如熵达到最大值,系统就处于热力学最可几状态,即稳定的热平衡态。由于熵概念的提出,自然界的进化从此就可以用物理系统本身所固有的物理的变化来说明了。不过克劳修斯的进化论实质上是退化论。在他看来,自然界由低熵状态倒退到高熵状态,即由有序倒退到无序,最后整个宇宙将要处于最混乱的热平衡态或热寂状态。他把熵原理由闭系统简单地外推到整个宇宙显然是错误的,结果导致了与达尔文生物进化论相反的结论。然而,由于熵概念的引入,科学已经可以用系统的熵的变化来研究物理世界的进化和物理事件的方向性了,时间从此不再是单纯的运动参量,而变成物理的事实。

1944年,著名物理学家薛定谔出版了《生命是什么?》一书,在熵原理的基础上,用热力学和量子力学理论来解释生命的本质。他指出,无生命物质中可具有周期性晶体结构,然而生命物质却以非周期性晶体结构形式出现,前者简单,后者复杂。“两者之间结构上的差别,就好比一张是一再重复出现同一种花纹的糊墙纸,另一幅则是巧夺天工的刺绣。”^①他认为生命是靠“负熵”来维持和发展的,它可以从环境中获得“有序”以维持自身组

^① 薛定谔:《生命是什么?》,上海人民出版社1973年版,第5页。

织。薛定谔对生命本质的研究，其意义在于开拓了用物理语言描述和分析生命本质的一个新方向。虽然他也没有解决热力学第二定律(熵增加原理)和达尔文生物进化论之间的矛盾，但他提出“负熵”概念却为这一问题的解决打开了思路。为六十年代以后系统自组织理论的发展奠定了重要的基础。

深入下去，目的性也重新进入了科学概念体系中。达尔文在进化论上的伟大革新，主要在于他承认进化并非是一种拉马克式的高而更高，好而又好的自发上升的过程，而是这样一种现象，“生命体其中表现出了(甲)多向发展的自然趋势和(乙)保持自己祖先模式的趋势。这两种效应的结合就铲除了自然界中乱七八糟的发展，同时通过‘自然选择’的过程淘汰掉了那些不能适应环境的有机体。其结果就留下了多少能够适应环境的生命形式之剩余模式(residual pattern)。按照达尔文的见解，这个剩余模式便是万有的合目的性的表现”。^①这就是马克思所说的达尔文“不仅第一次给了自然科学的‘目的论’以致命的打击，而且也根据经验阐明了它的合理意义”之所在。以后，由法国生物学家克劳德·贝尔纳开创的，美国科学家坎农发展了的稳态理论，揭示了生物目的性的内在机制，而维纳的研究，则进一步指出，稳态是由负反馈实现的，因此，“一切有目的行为都可以看作需负反馈的行为”，据此，维纳把机器与动物类比而创立了控制论。

三、哲学革命：有机论代替决定论

科学上的新思想、新概念和综合化、整体化的趋势，必然在

^① 维纳：《人有人的用处》，商务印书馆1978年版，第26页。

哲学上得到反映。早在十九世纪二十年代,科学还远没有发展到今天的水平,无产阶级革命导师马克思、恩格斯就已经立足于当时的科学成就,提出了一种崭新的自然观——辩证唯物主义自然观,把世界看成是一个运动、进化、发展着的整体;同时,他们把人类社会作为一个有机的系统的整体来研究,发现了它的运动规律并着重分析了资本主义阶段上的具体形态和规律性。从这以后,特别是本世纪以来,即使是唯心主义哲学家,也不能面对新的科学思潮而无动于衷。

英国实证主义哲学家和社会学家斯宾塞从唯心主义立场出发接过生物学中的进化论和有机论,创立了所谓“社会有机论”,把社会看作是一个进化的、虽然没意识却有器官和组织的有机的整体或“超有机体”。法国生命哲学的创始人柏格森强调了物理学时间和进化论及生物学时间的不同。前者是可逆的,其中没有新生事物出现;后者是不可逆的,其中不断地出现新生事物。他把生物系统描述成积聚能量而不是消耗能量的;是创造差别而不是趋于平衡化的;是建立秩序、结构和组织,而不是造成混乱、衰退和无组织的。柏格森令人信服地阐明了反熵趋势是生命体的一个重要特征。

二十世纪二十年代,英国著名哲学家怀特海提出了过程哲学或有机体论,强调从整体上研究机体的结构、个性和相互关系,研究造成有机体存在和变化的条件。他认为机体的根本特征是活动,活动表现为过程,过程就是机体各个因素之间的有内在联系的、持续的创造活动,它表明一机体可以转化为另一机体。与此同时美国统计学家劳特卡、俄国哲学家和生理学家波格丹诺夫都把社会设想为有机的系统。波格丹诺夫在他1925