

System Theory and Application

系统理论及应用

高继华 狄增如 编著



科学出版社

系统理论及应用

高继华 狄增如 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书梳理了系统科学的基本思想、原理与方法,目的是帮助读者建立系统科学的学科知识体系,同时还介绍了系统理论的几个前沿应用专题。

全书共分为16章。前两章简要介绍系统科学的产生发展及基本概念;第3~9章按照系统理论发展的过程,分别介绍一般系统论、控制论与信息论、运筹学与博弈论、耗散结构理论、协同学与突变论、混沌与分形、复杂网络与大数据;第10和11章介绍系统科学的研究方法,包括系统建模、系统仿真、系统评价、系统决策;第12章分类介绍不同领域的系统工程体系结构;第13~15章通过人工智能、基因工程、品牌管理等应用专题,介绍系统理论的几个前沿热点方向;最后一章是结束语。

本书适合作为自动控制相关专业本科生、研究生的系统理论入门教材,也可以作为科研人员、管理人员的系统理论参考书。

图书在版编目(CIP)数据

系统理论及应用 / 高继华, 狄增如编著. —北京: 科学出版社, 2018.6
ISBN 978-7-03-057576-0

I. ①系… II. ①高… ②狄… III. ①系统科学—研究 IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 113268 号

责任编辑: 任 静 / 责任校对: 王萌萌
责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018年6月第一次印刷 印张: 22

字数: 423 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

系统科学是以自然和社会领域的复杂系统为研究对象,探讨其机理与一般规律的新兴学科,涉及生命、生态环境、人口、社会经济等各方面,具有横断科学的性质,是国际上科学研究的前沿与热点之一。我国的系统科学在钱学森先生及其他老一辈学者的推动下逐渐发展起来,致力于探求建立统一描述的一般性复杂系统理论框架。钱学森先生曾强调系统科学学科体系的基础是创建系统学,这是一个任重而道远的任务。

系统思想源于古代人类从对自然的整体探索与认识,体现在古代人类的社会实践活动与古代辩证唯物哲学思想中。而系统科学真正作为一门科学,其学科体系被构建起来,则要归功于当代社会各项科学技术发展的一系列新成就,提供了计算机等强大的工具,使得定性的系统思想方法得到定量化描述并实现可操作性。系统科学转变了传统的科学思维方式,它从整体的角度考察并研究客观世界,强调整体与局部、不同层次间的相互联系,关注事物的演化过程,运用综合、整体、集成的方法,将科学研究的焦点转移到重视非平衡、非线性与复杂性的问题。现代科学发展的一大特点是一方面学科不断地细化,另一方面不同学科之间相互交叉融合,尤其是自然科学与人文科学跨领域的综合。现代科学的诸多新理论都被系统科学在一定程度上兼容并蓄,并改造成为自身理论体系的一部分。例如,耗散结构理论、超循环论、分形等著名系统理论分别有着物理学、生物学、数学的学科背景。经济系统学则运用系统理论研究经济学问题。从传统的分支众多的地球科学发展而来的地球系统科学将大气圈、海洋圈、陆地圈和生物圈作为一个有机整体,以系统观、整体观的综合视角研究地球系统的整体行为。系统科学在现代科学技术的发展过程中逐渐壮大,其观点又大大推进了自然科学与社会科学的结合。所以,系统科学的发展史是与整个人类社会的发展历史紧密相连的,是一门交叉的新兴科学。

当今世界科学技术发展迅猛,如何借助系统科学的思想方法与工具观察世界,推进系统科学的发展,进一步认识世界、改造世界,是一个值得我们思考的重大问题。为了让更多人了解系统科学的发展现状、基础理论以及应用前景,我们编写了这本书,试图从系统科学发展的不同阶段所关注的基本问题入手,深入浅出、全面地梳理系统科学中的基本原理和应用领域。系统科学的发展历史久远,所涉及的具体学科众多,本书中所介绍的学科内容也包罗万象,从数学、物理学、化

学等基础学科,到当前受到广泛关注的大数据、复杂网络、人工智能等应用领域。但是其中的系统科学思维方式是清晰的,即如何处理不同学科中的复杂性现象。从平衡、线性的简单系统到非平衡、非线性的复杂系统,其中展示了哪些值得人们注意的全新现象?从少体系统的动力学到“多则不同”的涌现现象,其中蕴含了哪些值得人们推敲的哲学内容?从力求简洁明了的解析研究方法到超大规模的并行数值实验,其中发展了哪些值得人们引以为豪的技术能力?相信读者在阅读本书后会受到启发。系统科学的发展过程中,不同时代的人做出了大量跨学科的贡献。李冰父子设计建造的都江堰工程至今仍然造福于当地经济;中国古典哲学中的整体思维方式,“天人合一”的系统论概念,是世界哲学体系中的重要组成部分;大自然中的分形几何,不但从美学的角度予人启迪,而且揭示了自然界的一个基本规律——宇宙中广泛存在自相似结构;人工智能发展的突飞猛进,不会仅仅停留在围棋 AI、自动驾驶、无人超市等方面的娱乐和便利,具有超前眼光的有识之士早已通过这些系统科学应用成果的启示,开始重新审视人类的地位和结局。可以说,当任何一门具体学科开始脱离初级阶段,从简单的解析计算、线性的思维方式发展到了无法避免复杂性、综合性问题的阶段,系统科学都会成为它的重要指导思想。系统科学是一门哲学之下,具体科学之上的综合性、复杂性、前瞻性学科,具有与数学学科相类似的性质与地位。

系统科学是从科学理论和应用实践中成长起来的学科,科学性是它的重要特征。以往当我们碰到难以解决的困难时,往往会以“这是一个复杂的系统问题”来作为回避问题的托词,缺少有效的研究工具曾经是系统科学发展的一个主要困难。数学上常见的“病态”方程、超越方程,如果仅从方程的解析求解角度来说,确实是很难完成的任务,然而从系统科学的角度来看,却成为分析混沌、分形现象的理想模型。对于复杂性现象和问题的研究,打开了科学发展的新窗口,令人振奋。事实上,在系统科学发展的初期,其主要工作也是解决传统学科所无法处理的问题,这使得各门具体科学中的复杂性问题的研究成为系统科学的主要研究方向。在这个过程中,计算机技术的发展起到了重要的作用,从洛伦兹通过计算机模拟实验确认混沌现象到无处不在的计算机网络,计算机为系统科学的研究提供了重要的工具。由此,系统科学在解决具体问题上获得了更强的能力。然而,系统科学的研究内容远不止于此,对于涌现现象的研究,更多地让科学家思考自然界演化的过程,从量变到质变的本质特征,或许未来对于物质与精神的统一,就是以系统科学为突破口。20 世纪在三个领域出现了重要的自然科学进展:对于微观世界的理解产生了量子力学,对于超高速运动的思考产生了相对论,对于复杂性问题的研究则衍生出了系统科学。系统科学在科学界的地位崇高而重要。

本书从系统科学的萌芽、形成、发展过程展开,介绍了系统理论及应用的相关内容,包括自组织理论等基础理论,控制论、信息论、运筹学等技术科学,以

及各个具体的系统工程技术。希望对读者了解这一学科的知识体系有所帮助,并将系统科学的方法论应用到具体工作与生活中。系统理论应用的范围广泛,关于系统工程的例子不胜枚举。有兴趣的读者可以结合自身需求,参考各领域系统工程的相关书籍针对性地深入了解,通过实践体会系统科学的指导思想。我们相信,随着各个具体科学在复杂性研究方面的进展,高科技对于科学的促进作用会更多地集中于系统科学的相关领域。系统科学从哲学思辨到前沿科技,已经成为人类不可或缺的思维和研究学科,在未来也必将为社会的发展作出更大的贡献。

本书梳理了系统科学的基本思想、原理与方法,并在此基础上依据近年的发展情况,对新的生长点进行分析与介绍,如复杂网络、大数据等前沿研究课题,有助于读者进一步了解把握系统科学与工程的研究体系。全书内容共分为16章。第1章主要概述系统思想与系统科学的产生、发展;第2章阐述系统及系统科学的基本概念;第3~5章按照系统科学发展途径分别介绍一般系统论、控制论与信息论、运筹学与博弈论;第6和7章围绕系统科学的耗散结构理论、协同学理论、突变论展开;第8章以混沌、分形为代表,介绍非线性系统在系统科学发展过程中渐进兴起;第9章介绍系统科学的新热点——复杂网络与大数据;第10和11章介绍系统科学的研究方法,包括系统建模、系统仿真、系统评价、系统决策这四个部分内容;第12章按照钱学森关于系统工程的体系结构介绍不同领域的系统工程;第13~15章结合人工智能、基因工程、品牌管理几个热点话题介绍系统理论的实际应用方向;最后一章是结束语。

本书的主旨在于梳理系统科学的基本思想、原理与方法,帮助读者建立系统科学这门学科的框架知识体系,同时了解系统科学前沿的可能生长点。谭璐编写本书第1、2、4~7章,谢玲玲编写第3、8~12章,张江执笔第13章专题一人工智能,朱艳霞撰写第14章专题二基因工程,周志民负责第15章专题三品牌管理的编写工作,最后由高继华、狄增如修订统稿。本书出版得到深圳大学高水平大学建设经费支持,在此一并感谢。

由于本领域研究发展较快,作者的水平所限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2017年12月

目 录

前言

第 1 章 系统科学研究简况	1
1.1 系统思想的萌芽与形成	1
1.2 系统科学发展过程	4
1.2.1 一般系统论	4
1.2.2 运筹学	5
1.2.3 控制论	5
1.2.4 信息论	5
1.2.5 自组织理论体系	6
1.2.6 复杂性研究	7
1.3 系统科学在中国的发展	7
第 2 章 系统科学的基本概念	9
2.1 什么是系统	9
2.2 系统与环境	9
2.3 系统的结构与功能	10
2.3.1 系统的结构	10
2.3.2 系统的功能	10
2.4 系统的状态与演化	11
2.4.1 系统的状态	11
2.4.2 系统的演化	12
2.5 系统的分类	13
第 3 章 一般系统论	16
3.1 一般系统论的产生	16
3.2 一般系统论理论概述	17
3.3 一般系统论的不足	19
第 4 章 控制论与信息论	20
4.1 控制论	20
4.1.1 什么是控制	20
4.1.2 控制论的产生与发展	21

4.1.3	控制论的基本概念	23
4.1.4	控制系统与控制论系统	27
4.1.5	控制论的主要研究方法	31
4.1.6	控制论的应用	33
4.2	信息论	35
4.2.1	信息的基本概念	36
4.2.2	信息论的产生和发展	39
4.2.3	信息论的基础知识	42
4.2.4	信息方法、信息科学与信息技术	46
4.2.5	信息论的应用	49
第5章	运筹学与博弈论	53
5.1	运筹学	53
5.1.1	运筹学简史	53
5.1.2	运筹学概论	55
5.1.3	运筹学的主要内容	56
5.1.4	运筹学的应用	62
5.2	博弈论	64
5.2.1	博弈论的产生与发展	64
5.2.2	博弈论的基本概念	66
5.2.3	纳什均衡	67
5.2.4	囚徒困境	68
5.2.5	博弈论应用领域	69
第6章	耗散结构理论	72
6.1	热力学的基本规律	72
6.1.1	什么是熵	73
6.1.2	非平衡系统的局域平衡假定:熵产生率	75
6.1.3	昂萨格倒易关系	77
6.1.4	最小熵产生原理	78
6.2	耗散结构理论的创立	80
6.2.1	创始人普利高津	80
6.2.2	非平衡系统在远离平衡区的发展判据	80
6.2.3	自组织现象	82
6.3	稳定性	85
6.3.1	稳定性和李雅普诺夫函数	85

6.3.2 定态解的线性稳定性分析	88
6.3.3 Lotka-Volterra 模型	92
6.4 分岔理论	94
6.4.1 从热力学分支到耗散结构分支	94
6.4.2 分岔现象	95
6.4.3 热力学分支的失稳	97
6.5 耗散结构形成的条件及特点	100
6.5.1 耗散结构形成的条件	100
6.5.2 耗散结构现象的特点	102
第 7 章 协同学与突变论	104
7.1 协同学	104
7.1.1 哈肯和协同学的创立	104
7.1.2 序、对称性、序参量	106
7.1.3 支配原理	112
7.1.4 随机层次上讨论系统的演化	117
7.2 突变论	120
7.2.1 突变现象	121
7.2.2 基本突变类型	121
7.2.3 突变论的基本内容及应用	122
第 8 章 混沌与分形	124
8.1 混沌	124
8.1.1 混沌研究的发展史	124
8.1.2 混沌的特征	126
8.1.3 混沌控制	127
8.1.4 混沌同步	130
8.1.5 混沌的应用	130
8.2 分形	131
8.2.1 分形几何图形	132
8.2.2 分形几何图形的特征	135
8.2.3 分形的定义	137
8.2.4 分形维数	138
8.2.5 分形理论及应用	139
第 9 章 复杂网络与大数据	142
9.1 复杂网络	142

9.1.1 复杂网络发展简史	142
9.1.2 基本概念	143
9.1.3 复杂网络的类型与性质	145
9.2 大数据	149
9.2.1 什么是大数据	149
9.2.2 大数据引发的变革	151
9.2.3 数据安全	153
第 10 章 系统建模与仿真	155
10.1 系统建模	155
10.1.1 模型的定义及分类	156
10.1.2 建模的原则	157
10.1.3 建模的一般步骤	158
10.1.4 建模方法	160
10.1.5 建模技术的新进展	162
10.2 系统仿真	163
10.2.1 仿真的概念与分类	163
10.2.2 系统仿真的相似理论	164
10.2.3 仿真技术的发展进程	165
10.2.4 仿真技术的优点与缺点	166
10.2.5 仿真的一般步骤	166
10.2.6 仿真的应用	167
第 11 章 系统评价与决策	171
11.1 系统评价	171
11.1.1 评价的类别	171
11.1.2 评价的基本要素	172
11.1.3 评价的步骤	172
11.1.4 系统评价的指标体系	173
11.1.5 评价方法	174
11.2 系统决策	176
11.2.1 决策的概念及发展阶段	176
11.2.2 决策的基本要素	177
11.2.3 决策的类型及其主要特征	179
11.2.4 决策方法	180
11.2.5 决策的一般步骤	181
11.2.6 决策支持系统	182

第 12 章 系统工程概述	184
12.1 系统工程	185
12.1.1 系统工程的相关概念	185
12.1.2 系统工程学的产生和发展	186
12.2 系统工程应用领域	188
第 13 章 专题一 人工智能	198
13.1 前人工智能时期(1900~1956 年)	199
13.2 人工智能的诞生(1956~1980 年)	202
13.3 人工智能的发展(1980~2010 年)	204
13.3.1 符号学派	205
13.3.2 连接学派	207
13.3.3 行为学派	210
13.3.4 三大学派	212
13.3.5 分裂与统一	213
13.4 人工智能的现状(2010 年至今)	214
13.5 人工智能社会学	218
第 14 章 专题二 基因工程	224
14.1 基因工程概述	224
14.1.1 基因工程发展简史	224
14.1.2 基因工程研究内容	226
14.1.3 基因工程技术的应用与发展趋势	227
14.2 基因工程常用工具酶	230
14.2.1 限制性内切核酸酶	230
14.2.2 DNA 连接酶	232
14.2.3 DNA 聚合酶	234
14.2.4 其他 DNA 修饰酶	237
14.3 基因工程常用克隆载体	239
14.3.1 质粒载体	239
14.3.2 λ 噬菌体载体	243
14.3.3 大分子 DNA 克隆载体	245
14.4 DNA 的体外重组	246
14.4.1 目的基因的分离与克隆	246
14.4.2 目的基因与克隆载体的体外连接	250
14.4.3 重组 DNA 导入细胞	251

14.4.4 重组子的筛选和鉴定	254
14.4.5 克隆基因的表达及其产物的检测	256
14.5 转基因动物技术	261
14.5.1 转基因动物技术的研究现状	261
14.5.2 转基因动物技术的主要用途	264
14.5.3 存在问题和发展前景	267
14.6 转基因植物	268
14.6.1 植物基因工程研究内容	268
14.6.2 转基因技术在植物中的应用	269
14.6.3 植物基因工程的发展现状	272
14.7 基因工程药物	273
14.7.1 基因工程药物发展概况	274
14.7.2 基因工程药物种类	275
14.8 基因芯片	277
14.8.1 基因芯片的分类、工作原理和流程	277
14.8.2 基因芯片应用	278
14.9 基因工程安全与规范	280
14.9.1 转基因技术的成就与风险	280
14.9.2 转基因生物与食品安全	282
14.9.3 转基因生物与环境安全	282
14.9.4 转基因生物技术存在的争议	283
14.9.5 基因工程的安全管理	285
第 15 章 专题三 品牌管理	287
15.1 品牌的概念	288
15.1.1 品牌的定义	288
15.1.2 品牌的作用	290
15.2 品牌管理流程	291
15.2.1 切纳托尼的八步品牌管理流程	291
15.2.2 戴维斯的十一步品牌资产管理框架	292
15.2.3 凯勒的战略品牌管理流程	294
15.2.4 本书的观点	294
15.3 品牌识别	297
15.4 品牌定位	300
15.5 品牌体验	304

15.5.1 体验类型	304
15.5.2 体验媒介	306
15.5.3 体验矩阵	311
15.5.4 创建品牌体验的步骤	312
15.6 品牌延伸	314
15.7 品牌组合	320
15.8 品牌更新	324
15.9 品牌国际化	326
第 16 章 结束语	329
参考文献	332
附录: 科学家中外译名对照表	335

第1章 系统科学研究简况

系统科学是20世纪40年代后发展形成的一门综合性横断科学，它从系统的角度考察并研究客观世界。系统科学以自然和社会领域的复杂系统为研究对象，运用综合、整体、集成的方法，特别强调定性分析与定量计算的结合，提出了层次、涌现、适应等概念，并大量使用计算机工具对系统状态加以描述，对系统演化过程进行分析，它的发展大大推进了自然科学与社会科学的结合。21世纪，人类社会的发展迈向新的目标，系统科学也面临着新的机遇和挑战。

系统科学作为一门新兴科学，自然也有其孕育、产生、发展和成熟的过程。系统思想的产生最早可以追溯到原始社会，古代人类认识周围的世界就是从对自然的整体认识开始的，这种整体性的观念可以看作系统思想的某种体现。而系统科学真正作为一门科学，其学科体系被构建起来，则要归功于当代社会各项科学技术发展的一系列新成就，现代科学的诸多新理论都被系统科学在一定程度上兼容并蓄，并改造成为自身理论体系的一部分。系统科学是一门交叉科学，它的内容不仅涵盖了自然科学（包括数学、物理、化学等）的多个领域，而且涉及工程技术的多个部门，还与社会科学和哲学的不少学科存在联系，因此，系统科学的发展史是与整个人类社会的发展历史紧密相连的。

系统科学改变了人类的思维方式，从传统的单个对象转变为以系统整体为着眼点，把握系统之间的相互联系，进一步推进科学技术的发展。系统科学在工程技术、社会生产以及管理领域等方面取得了十分显著的成就。例如，美国阿波罗登月舱的研制、我国农村流动人口社会融合问题的研究、企业品牌管理等。

系统科学形成与发展有几个重要阶段：系统思想的萌芽、经典系统科学理论、现代科学发展对系统科学发展的贡献、系统科学的体系结构。

1.1 系统思想的萌芽与形成

系统的概念不是人类生来就有，它来源于古代人类长期的生产、生活等社会实践经验。古人在进行农事活动时，将农耕作业与种子、土壤环境、气候环境等多个因素相互联系构成一个整体行为。《管子》地员篇、《诗经》中的农事诗《七月》、秦汉时期《汜胜之书》等均有辩证的叙述。传统中医理论从“望闻问切”到针灸、按摩、熨帖等治疗方法，无不体现将人体作为一个与外界有联系的开放性整体。

《黄帝内经》强调了人体各器官之间的有机联系、生理与心理以及自然环境的联系。战国时期的李冰设计建造的都江堰就是系统科学思想的一次伟大实践，主体工程与附属工程相辅相成，形成一个协调运作的统一整体。我国古天文学家通过天体运行与季节变化的联系，编制出历法与二十四节气。这些古代农事、医药、工程和天文知识，在一定程度上反映了朴素的系统概念在古代人类活动中的自发应用。这样的系统概念同时表现在古代中国和古希腊的哲学思想中。古代唯物主义哲学思想家把自然界当作一个统一体，从承认统一的物质本原出发。赫拉克利特（Heracleitus）是古希腊辩证法奠基人之一，他在《论自然》一书中提到“世界是包括一切的整体，它不是由任何神或人创造的，它的过去、现在和将来都是按规律燃烧着、按规律熄灭着的永恒的活火”。中国春秋末期思想家老子提出自然界的统一性思想。中国老庄哲学的“天人合一”的世界观、“天下万物生于有，有生于无”、“道生一，一生二，二生三，三生万物”也是系统思想的一种体现。北宋的王安石提出，天一生水，地二生火，天三生木，地四生金，天五生土，五行，天所以命万物者也。认为世界的演化顺序是：先由天地生出五行——水火木金土，再由五行生出万物。南宋学者陈亮则试图用“理一分殊”的思想，从整体角度来解释整体与部分的关系，称“理一”是天地万物的理的整体，“分殊”为这个整体中每一事物的功能。这些可以看成整体观点、运动变化观点及综合观点等系统思想的具体表现。这些哲学思想包含了系统思想的萌芽。但是存在着一定的缺陷，对整体中的各个细节未能深入了解，因而缺乏对整体性和统一性的深刻认识，只有笼统直观的结果。

随着生产力的发展，15 世纪下半叶近代科学兴起，人们开始着重于了解自然界事物具体细节，通过实验、解剖观察等独特的分析方法研究各个部分和要素。物理学、化学、天文学、生物学等学科逐一从自然哲学中分离出来，分门别类地进行研究，各学科由此获得了迅速的发展，确立了机械论与科学方法论。18 世纪，英国技术革命与法国大革命进一步解放生产力，促进近代科学的发展。这期间出现了形而上学的哲学思维，只关注个体，忽略了总体的联系。

到了 19 世纪上半叶，自然科学取得了巨大进步，尤其能量守恒、细胞学说与进化论这三大发现使得人类对自然过程的相互联系有了更高的认识。这使得孤立看待事物发展的形而上学思维方式不再适用，人们需要将不同个体细节辩证地联系起来作为一个整体考虑，因此系统思想重新受到重视并进一步发展。19 世纪的自然科学“本质上是整理材料的科学，关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学”。马克思和恩格斯的辩证唯物主义认为：物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义蕴含的物质世界普遍联系、运动变化以及整体性的思想，就是系统思想。

20 世纪初,以相对论、量子论和微观物理学的创立为标志,开创了人类历史上一次最伟大的科学革命。全新科学知识的建立,奠定了现代科学技术飞跃发展的基础,人们对自然界所持有的许多固有观念也得到改变。生产力的迅速发展推动着人类社会的进步。社会实践活动趋于大型化和复杂化,这就要求系统思想方法在整体上能够定量地协调处理多个体、多层次的系统行为,用以解决种种更为复杂的实际问题。

20 世纪中期,科学技术在计算机、航天航空、生物、信息等领域的辉煌成就使系统科学从一种定性的哲学思维发展成为专门的科学。一方面,科学技术使系统思想方法定量化,成为一套具有数学表达形式、能够定量处理系统中各要素联系与演化发展的科学方法;另一方面,电子计算机的出现,为定量化系统方法的实际应用提供了强大的计算工具。

第二次世界大战前后是定量化系统科学迅速发展的时期。为了取得全局上的优势,进行更为精确的定量分析,满足新式装备研究、作战技术改进等实际工作的要求,许多定量的系统科学方法与技术成功地运用于战争分析,其中不乏出现一些新的概念与方法。战后,科学工作者回到和平环境,将定量化的系统方法应用到政治、经济、工程等领域大型复杂的系统问题,进一步在理论上将其提高升华,从而一时间涌现出了横跨自然科学、社会科学和工程技术的“学科群”。于 20 世纪 40 年代出现的系统论、运筹学、控制论、信息论都是早期的系统科学理论。

20 世纪 70 年代,创立了耗散结构理论、协同学、突变论、混沌与分形等理论。它们都是以探索大自然的复杂性为研究目标,跨越学科从不同角度揭示复杂现象的规律性,将这些学科统称为非线性科学。几乎涉及自然科学与社会科学的各个领域,改变了人们对客观世界的思维方式和方法,不仅具有重大的科学意义,而且有着广泛的应用前景。非线性科学推动了 20 世纪 80 年代后期系统科学研究的进展,被誉为 20 世纪的第三次科学革命。

20 世纪 80 年代中期,复杂性的研究热潮在国际上兴起。非线性科学与复杂性研究在系统科学的发展中占据了重要地位。耗散结构理论与协同学理论通过吸收非线性科学的成果,在 20 世纪 80 年代又有了新的突破。1984 年,圣塔菲研究所(Santa Fe Institute, SFI)的成立标志着复杂性科学开启科学研究的新篇章。这是一个以物理学家默里·盖尔曼(Murray Gell-Mann)、菲利普·安德森(Philip Anderson)以及经济学家肯尼斯·阿罗(Kenneth Arrow)三位诺贝尔奖获得者为首的一批不同学科领域的著名科学家组织和建立的研究中心,位于美国新墨西哥州。其宗旨是开展跨学科、跨领域的复杂系统、复杂性研究。他们认为事物的复杂性源自简单性,是在适应环境的过程中产生的,称为“复杂适应性”。科学家运用自组织、混沌、涌现以及复杂适应系统理论来解释现实生活中经济系统、生态系统、社会系统、免疫系统、神经系统等领域非线性复杂性现象。

1.2 系统科学发展过程

系统科学的发展经历了几个阶段,从20世纪30~40年代形成的一般概念到40~60年代形成的运筹学、控制论、信息论、博弈论以及管理科学这些实用方法的研究,再到60~80年代基础学科发展的新理论,如耗散结构理论、协同学理论、突变论、混沌与分形,80年代后进入复杂性研究,探索系统科学的基本原理与方法论。

贝塔朗菲(L. von Bertalanffy)提出“一般系统论”(general system theory)的概念,标志着明确地将系统作为直接的研究对象。

运筹学、控制论、信息论是早期的系统科学理论,按照我国著名科学家钱学森的观点,它们属于技术基础层次上的科学理论。同期出现的系统工程、系统分析和科学管理则可以看成是系统科学的工程运用。

从20世纪70年代开始,系统自组织理论体系逐步建立,包括耗散结构理论(1969年)、协同学(1969年)、超循环理论(1979年),非线性科学与复杂性研究开始(80年代末)。混沌理论、系统演化、系统学习、复杂适应性系统开始备受关注。自组织理论体系的诞生推动了系统科学的发展。之后的发展朝向复杂系统的研究,其中就包括了开放的复杂巨系统这个新领域。

1.2.1 一般系统论

1937年,在芝加哥大学的哲学讨论会上,美籍奥地利理论生物学家贝塔朗菲第一次提出了“一般系统论”的概念。早在1924~1928年,他多次发表文章表达一般系统论的思想,提出生物学中有机体的概念,强调把有机体作为一个整体或系统来研究。随后在发表的《理论生物学》(1932年)和《现代发展理论》(1934年)中提出用数学模型来研究生物学的方法和机体系统论的概念,把协调、有序、目的性等概念用于研究有机体,形成研究生命体的三个基本观点,即系统观点、动态观点和层次观点。1945年,贝塔朗菲在《德国哲学周刊》上发表了《关于一般系统论》一文,对系统的共性作了一定的概括,由于正值战争时期,没有引起人们的注意。之后,贝塔朗菲在美国讲学和参加专题讨论会时进一步阐明了一般系统论的思想,指出不论系统的具体种类、组成部分的性质和它们之间的关系如何,存在着适用于综合系统或子系统的一般模式、原则和规律,并于1954年发起成立一般系统论学会(后改名为一般系统论研究会),促进一般系统论的发展,出版《行为科学》杂志和《一般系统年鉴》。其代表作是1968年出版的《一般系统论:基础、发展与应用》一书,总结了一般系统论的