

大数据时代

管理科学与系统科学 的机遇与挑战

——第十二届全国青年管理科学与系统科学
学术会议论文集

王刊良 徐迪 ◎ 主编



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

大数据时代

管理科学与系统科学 的 机遇与挑战

——第十二届全国青年管理科学与系统科学
学术会议论文集

王刊良 徐迪◎主编



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

大数据时代管理科学与系统科学的机遇与挑战——第十二届全国青年管理科学与系统科学学术会议论文集/王刊良,徐迪主编. —厦门:厦门大学出版社,2013. 11

ISBN 978-7-5615-4795-3

I. ①大… II. ①王… ②徐… III. ①管理学-学术会议-文集②系统科学-学术会议-文集
IV. ①C93-53②N94-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 236310 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门市软件园二期望海路 39 号 邮编:361008)

<http://www.xmupress.com>

xmup@xmupress.com

厦门市万美兴印刷设计有限公司印刷

2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

开本:889×1194 1/16 印张:42.5 插页:2

字数:1200 千字

定价:128.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

前 言

由国家自然科学基金委员会管理科学部和中国系统工程学会青年工作委员会主办、厦门大学管理学院承办的第十二届全国青年管理科学与系统科学学术会议, 2013 年 11 月 16 日至 18 日在美丽的鹭岛——厦门召开。

中国改革开放已经走过 30 多个年头,在我国管理科学与系统科学领域学者的共同努力和国家自然科学基金的支持下,我国管理科学与系统科学学科取得了长足的进步,与国际先进水平的差距逐步缩小,成为管理学领域的优势学科之一。全国青年管理科学与系统科学学术会议自 1991 年在西安交通大学创办以来,先后由湖南系统工程学会、上海交通大学、电子科技大学、天津大学、大连理工大学、中国矿业大学、南京航空航天大学、华南理工大学、华中科技大学等单位承办,每隔两年举办一次。每届会议都吸引了百余名青年学者和资深专家与会,对促进管理科学与系统科学领域的人才储备和培养,推动我国管理科学和系统科学的发展发挥了积极的作用,产生了重大影响;为我国管理科学和系统科学,特别是运作管理、信息管理以及系统工程领域青年学者间的学术交流、展示最新研究进展、探讨学科发展前沿提供了一个学术交流和增进了解的平台。在历届青年会议的组织者和参与者中,走出了大量管理科学与系统科学领域的杰出学者和学科带头人,成为我国管理科学与系统科学领域的重要学术交流平台。我们相信,此次会议的组织者和参与者中还将涌现出未来几十年我国管理科学与系统科学领域的学术带头人和中坚力量。

本次会议基于信息技术尤其是互联网技术迅速发展和普及的现实,以“大数据时代管理科学与系统科学的机遇与挑战”作为大会的主题。本论文集共收录 71 篇论文,分 7 个专题:(1)管理科学与系统科学理论与方法;(2)决策与预测;(3)信息管理与信息系统;(4)社交网络与电子商务;(5)物流与供应链管理;(6)技术与运作管理;(7)金融工程。收录的论文分别获得国家自然科学基金、国家重大基础科学研究计划、国家 973 重大基础科学研究计划、联合国环境署、教育部人文社会科学基金、中国工程院重大咨询项目、中国博士后科学基金、国防基础科研计划、国家软科学重大研究项目、高等学校博士学科点专项科研基金、教育部创新团队发展计划及各

省级基金的资助,较为全面地反映了我国青年管理科学与系统科学学者在相关研究领域取得的最新研究成果,具有较高的学术价值。

本次大会采用大会报告、专题研讨、分组报告等形式进行学术交流,同时邀请活跃在学术前沿的主流权威学者做主题报告,为青年学者指点迷津。他们当中的许多人就是青年会议最早和长期的组织者和积极参与者。

衷心感谢国家自然科学基金委员会管理科学部、中国系统工程学会青年工作委员会。感谢厦门大学管理学院、厦门大学出版社的大力支持。感谢中国系统工程学会青年工作委员会的各位委员、各位论文作者,以及积极推荐青年学者投稿和参会的研究生导师对本次会议的支持和帮助。

第十二届全国青年管理科学与系统科学学术年会组委会
2013 年 11 月

目 录

管理科学与系统科学理论与方法

论复杂性的条件、来源、效应和特征	徐迪,洪红 / 3
基于模糊证据推理的突发事件风险分析模型	李勇建,乔晓娇,畅博,王循庆 / 15
基于中国可持续发展模型的谷物供需 研究	杨阳,贺德方,佟贺丰,王静宜,屈慰双,李燕羽 / 29
“智能城市”战略经济增长的机理分析与政策建议	张晓娟,张笑峰,郭菊娥 / 44
SECI 模型的改进及其实证分析	曾德超 / 51
中国城市生活垃圾管理之回收循环系统仿真模拟	王静宜 / 58
面向社会化定制的产品配置优化	余力,王冬雪,杨小平 / 67
人际谣言传播的两阶段模型与仿真	王永忠,高慧明 / 77
组织学习仿真研究:基于小世界 网络理论扩展 March 的模型	茹保锋,张存禄 / 86
数字化环境影响纺织服装生产性服务集聚区竞争力的 路径分析	王素芬,王玲,权碧琳,周兰 / 93
基于变权分析结构的 AHP-BOCR 方案评价综合集成 新方法	孙永河,段万春,孙新乐 / 103
Bass 创新扩散模型的扩展及与中国企业管理的结合	殷实 / 110

决策与预测

我国对外贸易中虚拟人力资本的流动分析	王会娟,陈锡康 / 123
产品开发策略与资产复用模式的联合决策	吴志樵,唐加福,C. K. Kwong / 131
基于集值统计和改进 TOPSIS 的多指标群决策方法	郑汉东,王晓佳,段人羊 / 140
深度不确定环境下基于情景规划的鲁棒决策方法	陈意,胡笑旋 / 149
城市竞争力评价方法研究 ——以渤海地区和东北地区的城市为例	郭海湘,刘晓,黎金玲 / 157
基于模糊综合评价方法的武汉 2 号地铁乘客满意度评价研究	李明伟,云俊 / 166
基于多尺度组合模型的国际小麦价格预测研究	王书平,胡爱梅,吴振信 / 173
基于灰色马尔科夫模型的道路交通事故预测	崔俊啸 / 184

基于层次分析法的图书供应商服务质量评价方法	曾德宏 / 192
软件产业生产率及技术效率的关键影响因素研究	
——以全球研发 1 000 强中软件企业为例	田丹 / 202
节能减排政府补贴的最优边界分析	张国兴,张绪涛,汪应洛 / 212

信息管理与信息系统

三峡洪水调度会商中的多 Agent 协商问题研究	尹文博,祁超,王剑,王红卫 / 223
动态知识网络上的知识积累过程模型	张薇,徐迪 / 231
基于模型驱动方法的数字化合成营指控信息流建模与分析 ...	史乔,杨克巍,陆法,陈英武 / 241
车联网条件下的公共交通安全管理策略研究	李勇,谭红英 / 248
基于信息披露视角的密封拍卖和公开拍卖的比较	黄林鹏,胡二琴,赵勇 / 255
基于 AP 聚类和 SVM 敏感度分析的特征选择算法在绩效考核中的应用	李博阳 / 263
基于 BDI 的双边多属性学习与微小让步区间策略自动谈判研究	陈崇萍,曹慕昆 / 271

社交网络与电子商务

最优刺激水平对 IT 服务感知的影响的实证研究:

以 SNS 服务为例	顾睿,胡立斌,王刊良 / 283
基于动态主题模型的话题热度及演化趋势探索	曹丽娜,唐锡晋 / 297
基于天涯论坛的用户发帖行为规律研究	赵永亮,唐锡晋 / 305
基于 SVM 的百度新闻热搜词风险分类研究	胡洋,唐锡晋 / 314
基于元胞自动机的在线社交网络信息传播模型	戴晓沛,徐迪 / 326
B2B 环境下企业与顾客关系价值创造模型	朱树婷,仲伟俊,梅姝娥 / 334
虚拟实践社区中新成员知识获取过程研究	沈波,张豪,杨清萍 / 344
虚拟团队中的社会惰性	
——基于知识型团队的实证研究	闵庆飞,王晓丹,刘振华,刘子龙 / 353
B2B 网络平台企业的用户采纳模型研究	王谢宁 / 362
影响顾客选择定制产品的因素	
——基于拓展的计划行为理论	王艳芝,许垒 / 370
3G 视频通话使用意愿实证研究:基于 MST 和 SPT 的	
整合模型	张延林,林清怡,刘洪伟,莫赞 / 382

物流与供应链管理

基于 K 中心选址问题的交通小区划分问题研究	王霖青,唐加福 / 397
不同供应链协调机制下供应商产能投资决策问题研究	石丹,李勇建 / 408
基于以旧换新的闭环供应链经济与环境效益评估	夏志强,缪朝炜 / 417
有限期内考虑市场信誉对生产商产品质量决策行为的影响	李斌,张存禄 / 425
部分交易信用下的动态库存控制模型	温宗良,吴晓黎,周永务 / 432
库存模型中基于截尾正态分布的最优过程均值选择	
研究	许广繁,王晓佳,杨昌辉,吴燕燕 / 442

考虑碳排放的现代物流量化研究综述	杨阳,马华伟 / 450
中小企业视角下的供应链金融信用风险评价及防范措施	李明伟,云俊 / 462
基于服务竞争的闭环供应链最优决策研究	李巍,刘康,余曼 / 468
基于 Grey-DEMATEL 的供应商成长关键成功因素分析研究	白春光 / 476
定价权转移对新产品供应链影响鲁棒分析模型	付成边,孙彩虹 / 483
我国电子商务环境下物流配送模式研究	赵守香,杨致远 / 495
大数据环境下全社会配送物流网络设计模型	甘蜜,陈思 / 501

技术与运作管理

基于集划分和行驶路径协作的车辆路径和调度问题的两阶段

启发式算法	许争争,唐加福 / 513
基于 HTN 的舰载机任务规划	王丹,祁超,王红卫 / 521
基于信息的公交管制策略研究	刘大龙,田琼 / 529
局部网络效应下竞争产品的兼容策略研究	周琦萍,徐迪,杨芳 / 544
灾后救援保障网络中的应急资源鲁棒优化配置方法	刘亚杰,贾祥,郭波 / 552
基于稳健法则的医院 CT 检查预约分配优化策略研究	纪娟娟,罗利 / 563
企业基于互联网创新的激励机制设计	
——基于众包社区的解析	庞建刚,解丽娜,张华,徐凡 / 570
项目进度绩效指数的改进研究	陈丹青,李兵 / 580
多技能资源时间窗约束下任务可拆分项目调度的 Rollout 算法	毕阳,刘振元,廖广瑞 / 590

金融工程

基于 Vine copula 方法的亚洲股市间相关性研究	张帮正,魏宇 / 603
债务网络、投资者行为与传染性风险	
——来自中国银行业与房地产业的研究发现	肖斌卿,周小超,王粟昶,李心丹 / 610
江苏省城市房价变化的调控效应研究:2010—2012	王新宇,齐雪野 / 627
我国棉花期货的定价研究:预期形成与国际期货价格的影响	张蜀林,何晓燕 / 638
期权模拟、预测与我国大豆期货价格的相关性探讨	王一多,张蜀林 / 646
基于非参数时变 Copula 模型的美国次贷危机传染分析	叶五一,韦伟,缪柏其 / 653
基于动态 Copula 和 CVaR 的投资组合选择研究	刘洁,李平,赫辉 / 661
基于 EMD 和改进 SG 方法的 GM(1,1)模型在证券二级市场的应用	邓润睿,马柏林 / 670

管理科学

⑤ 系统科学理论与方法



论复杂性的条件、来源、效应和特征^①

徐 迪,洪 红

(厦门大学 管理学院,厦门 361005)

摘 要:复杂性科学是一门适用于不同领域的工具学科,其形成和发展离不开物理、化学、生物等多个领域众多学者的共同努力。复杂性理论形成的多元化背景造成了当前与复杂性相关的术语众多、复杂性尚无确切定义的局面。为全面、深入理解复杂性,亟须建立统一的框架来研究复杂性的定义。首先,将与复杂性相关的常用理论和术语进行梳理;其次,按照复杂性的条件、来源、效应和特征对所有术语进行归类,得到复杂性理论的一般性研究框架,该研究框架可以有效解释复杂性的产生过程;最后,得出复杂性的来源在满足复杂性产生条件的前提下,通过复杂性效应的作用使复杂系统表现出复杂性特征的结论。

关键词:复杂性;条件;来源;效应;特征

Discussion about the Prerequisites, Sources, Effects and Features of Complexity

Xu Di, Hong Hong

(School of Management, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Complexity science is a fundamental tool subject that can deal with complex problems encountered in many disciplines. Complexity science enables scientists to link different disciplines together, so it's called "science for the 21st century". Nowadays, it is widely used in both natural and social science, while ambiguous definition for complexity is a serious obstacle of studying complexity. The development of complexity science is owing to the endeavor of many researchers from physics, chemistry, biology, mathematics and other disci-

① 资助项目:国家自然科学基金项目(编号:71171171);福建省自然科学基金项目(编号:2011J0138)

作者简介:徐迪,男,福建人,教授,博士生导师,研究方向:创新工程与复杂性理论、技术创新与管理, E-mail: dxu@xmu.edu.cn;

洪红,女,河南人,博士研究生,研究方向:技术经济及管理, E-mail: honghongtju@126.com。

plines, so there are tons of terminologies related to complexity (nonlinearity, randomness, emergence, adaptation, fluctuation, mutation, chaos, the edge of chaos et al). Most of terminologies are proposed by researchers based on their own research fields, making the terminologies difficult for other researchers to comprehend. In order to describe complexity accurately, the paper lists many common theories and terminologies in complexity science, and then classifies all the terminologies according to prerequisite, source, effect or feature of complexity. At last obtains a general research framework of complexity.

Keywords: complexity; prerequisite; source; effect; feature

1 引言

复杂性科学帮助人们理解了蚁群、免疫系统和经济系统等原来无法解释的复杂系统^[1],因此,圣塔菲研究所(SFI, santa fe institute)的首任所长乔治·考温将其称为“21 世纪的科学”^[2]。1999 年, Science 期刊以复杂性理论为专辑,邀请来自物理学、化学、生物学、经济学、地理学、神经科学、气象学、生命科学等领域的专家描述了各自所从事领域关于复杂性研究的进展^[3-10]。复杂性理论研究者的多元化学科背景使很多人误以为复杂性科学是一门交叉学科^[11],而实际上复杂性科学是一门工具学科,它可以用于解决不同领域的复杂性问题。来自不同领域的学者投身于复杂性理论研究,在繁荣复杂性科学的同时,也为理解复杂性、统一复杂性的定义增加了难度,不可避免地造成了与复杂性相关的术语众多、复杂性却无明确定义的现状^[1,12]。目前复杂性定义模糊这种僵局无法打破的一个重要原因就是不同学科的学者之间无法进行有效的沟通^[12],因此,亟须建立统一的框架来研究复杂性的定义。

尽管无法给出一个公认的复杂性定义,但可以对复杂性的来源、特征等进行探讨^[13]。目前已经存在这方面的研究,现有研究主要集中在对复杂性来源和特征的探讨^[13,14],关于复杂性产生条件和效应的研究相对较少,开放性是复杂性产生的前提条件已经得到很多学者的共识^[15,16],许国志和徐迪提到结构效应和规模效应两种复杂性产生的效应,其中结构效应占主导地位^[15,17]。当前对复杂性定义的研究主要是针对其中一点如来源或特征进行的,没有综合考虑,甚至存在自相矛盾的地方,如张永安认为适应性是复杂性的特征^[14],而 Prokopenko 等却将其看作复杂系统的特征^[12],因此,有必要在综合考虑复杂性条件、来源、效应和特点的基础上对现有研究进行扩展。本文首先对复杂性领域的常用理论和术语进行梳理,其次按照复杂性的条件、来源、效应和特征将这些术语进行重新归类,最后得到复杂性理论的一般性研究框架。

2 理论综述

与复杂性相关的理论很多,主要包括复杂适应系统理论、自组织理论、混沌理论、混沌边缘理论、复杂网络、复杂巨系统理论等,不同理论对复杂性有不同的理解,这些理论之间也有一定的内在联系,因此,有必要对这些理论进行简要回顾,并对相关术语进行总结。

提到复杂性,不可避免要讨论简单性,盖尔曼认为 SFI 主要从事的是关于简单性和复杂性的研究^[18]。为区别简单性和复杂性,盖尔曼考察了简单性(simplicity)和复杂性(complexity)两个词的来源,并使用有效复杂性加以区分^[19]。为了通俗说明二者的关系,盖尔曼用夸克象征简

单性、美洲豹代表复杂性,夸克是所有物质的基石,就连美洲豹这么复杂的生物也是由夸克构成的,只是构成美洲豹的夸克经过几十亿年的进化,显示出了惊人的复杂性^[18]。这个例子说明简单性通过进化可以转变成复杂性,但复杂性不能转化成简单性,否则便陷入了还原论的误区。简单性和复杂性分别是还原论和复杂性理论的指导原则,Dooley 等认为现在科学研究有还原论范式和复杂性范式两种范式可以遵循,还原论范式用来求解简单性问题,复杂性范式用来求解复杂性问题^[20]。简单性有明确的概念,但关于复杂性的定义却众说纷纭^[12]。

复杂对应的英文单词有两个:一个是 complicated,指事物构成上的复杂度,如描述飞机的结构复杂就是用 complicated,这种复杂是一种主观复杂,与认知能力有关,随着知识的增加,这种复杂有可能会消除,这不是复杂性科学要研究的复杂;另一个是 complex,表示系统组成关系复杂,这是一种客观复杂,不会随人类认知能力的提高而有所改变,这种复杂才是真正的复杂,是复杂性科学的研究对象。复杂性 complexity 由 complex 引申得到,是指具有 complex 这种性质。在汉语中,可以将复杂性中的“复杂”一词拆分为复和杂两字,分别与复杂系统的结构效应和规模效应相对应:复是指系统中组分数目众多、组分的状态众多,对应复杂系统的规模效应;杂是指系统组分的属性、结构不同,对应复杂系统的结构效应。

盖尔曼认为处于有序和无序之间的系统具有最大的有效复杂性^[21],即只有处于有序和无序的中间状态,复杂系统才能够既使系统动荡涌现出新特性,又保持原有的稳定因素从而不至于陷入无序状态。朗顿将有序和无序之间的这种中间状态称为混沌的边缘^[2],混沌边缘是一个很抽象的概念,要想理解这个概念,首先应了解混沌的概念以及混沌与复杂性的联系。

“混沌”是一个古老的词语,最初的含义是完全缺乏具体形态或系统排列,在混沌学中,这一术语指看起来是随机发生而实际上却由精确法则决定的运动^[22],由气象学家爱德华·洛伦兹提出。奇怪吸引子是混沌系统的重要特征,同时奇怪吸引子理论也是混沌学的重要组成部分,该理论由法国科学家吕埃勒提出,可以用来描述运动过程非周期且难以预测的混沌系统,奇怪吸引子的一个重要特征就是分形^[23],分形是研究复杂系统的有效工具。分形理论由法国数学家曼德布罗特提出,分形的特点是自相似性,即在不同尺度下看起来的一致性^[24]。由分形理论可知复杂系统内部不同层次的组成部分与系统整体具有自相似性,即部分与整体同样复杂,因此,要处理复杂性问题必须“超越还原论”。非线性、复杂性和分形性经常在某种意义上被用作混沌的同义词^[22],约翰·霍根专门杜撰了混杂学(Chaoplexity)一词来既指混沌又指复杂性^[25],因此,有必要对这几个词进行区分。非线性是混沌的产生条件,只有非线性才可以将初值的微小变化不断放大,使混沌系统具备初值依赖性;混沌系统是一类典型的复杂系统,但二者不是等同关系,复杂系统的范围更广;分形性是用几何的方法来描述复杂性和混沌。

不同于混沌理论对复杂现象的研究,混沌边缘理论是对复杂现象产生机理的探讨,该理论由朗顿提出,最初是为了解释第一秩序相变与第二秩序相变的基本区别。第一秩序相变的特点是剧烈而准确无误,而第二秩序相变的特点就是结合了秩序和混沌,呈现一种复杂而永恒变化的状态^[2]。朗顿将第二秩序相变称为混沌边缘,是处于有序和混沌之间的状态,他认为复杂现象起源于混沌边缘。巴克将混沌边缘理解为自组织临界性,并用沙堆的例子来生动描述该理论^[26]。自组织临界性理论揭示了复杂系统的产生机理,比混沌边缘概念容易理解,正如巴克所言:“自组织理论不是复杂性的全部,但它却打开了通向复杂性的一扇大门。”^[2]考夫曼通过研究生物系统到达混沌边缘的过程提出了自组织临界条件理论,他指出:系统中组分相互作用的复杂性要达到一定程度,系统才会发生自组织并产生更高级的秩序;如果一个系统表现出各种规模的变化和骚动,且其变化规模遵循着一种幂律,那么这个系统就处于临界状态或者说是处于混沌的边缘^[2]。

复杂系统如何从有序到达混沌边缘这样一种状态呢?一种途径就是自组织。在复杂性科

学中,讨论复杂系统必提到自组织,因为复杂系统多是由自组织的,如生态系统、经济系统、社会系统等^[27]。自组织理论的产生同样具有学科多元化背景,化学家普利高津、物理学家哈肯和数学家托姆是其中的代表人物。普利高津提出了耗散结构理论,研究系统如何从混沌无序演化到稳定有序,所谓耗散结构是指当系统远离平衡态时,通过与外界进行物质、能量和信息交换而形成并维持的一种稳定化的宏观结构,即在非平衡状态下系统的自组织现象^[28]。哈肯认为系统的自组织是由子系统之间的协同运动造成的,哈肯的协同学给出了这种协同运动的条件与规律^[29]。自组织系统内部的有序转化是突变的,托姆的突变论主要研究平衡状态下临界点的突变情况,解释了自组织系统的有序转化机理^[30]。耗散结构理论、协同学和突变论都是研究复杂系统的有序转化机制问题,因此统称为自组织理论,但是研究复杂性的视角不同,耗散结构理论是从探讨复杂系统从无序到有序演化的宏观机制,而协同学和突变论则是回答这种有序结构产生的微观机制。

同自组织理论相似,复杂适应系统(CAS, complex adaptation system)理论也是在探讨复杂性的形成机理。CAS理论是圣塔菲学派的主要指导理论,由遗传算法之父霍兰提出,该理论分别从宏、微观两种视角研究复杂性^[14];宏观方面,研究复杂系统整体的涌现性和动态性,强调的是多个元素构成系统以后,系统表现出的“整体大于部分之和”的性质^[31],以及系统整体不断随外部环境以及时间动态演化的性质;微观方面,研究主体(agent)的适应性,强调的是CAS中的主体随着经验的积累,通过不断变换其规则来适应其他主体以及周围环境的性质^[11]。

系统组分之间的非线性作用是影响系统复杂性的重要因素,因此,刻画组分之间的关系对于理解复杂系统至关重要^[33]。大量系统组分之间的相互作用关系需要用网络结构来描述,这种网络结构最早可追溯到Watts等提出的小世界网络^[34]和Barabási等提出的无标度网络^[35],这两种网络统称为复杂网络。复杂网络通过混沌边缘或自组织临界性与复杂性联系在一起,无标度网络的一些变量常常呈现近似幂律分布,而这种幂律分布正是处于混沌边缘或自组织临界状态的特性^[36]。复杂性网络为探索复杂性提供了新的途径,Barabási指出,只有讨论系统的网络结构才能理解复杂系统,从网络视角来理解生命、社会和经济等复杂系统是未来复杂性研究的重要方向^[37]。2009年,Science期刊有一期以复杂系统与网络为主题的专刊,讨论了复杂网络在生物、金融、经济等领域的应用^[38-40]。

不同于欧洲的自组织理论和SFI的CAS理论,中国学者对复杂性有自己独到的理解,提出了开放的复杂巨系统理论。复杂巨系统是指子系统数目巨大、种类众多、具有层次结构,且子系统之间关系复杂的系统,如果这个系统同时又是开放的,就是开放的复杂巨系统,如生物系统、人体系统、社会系统等^[41]。钱学森对备受争议的复杂性定义也有自己独到的见解,他从方法论上认识复杂性,概括性地提出“凡是不能或者不适合用经典还原论方法处理的问题都具有复杂性”,还指出“应把复杂性当作复杂性来研究”^[15],钱学森的这两句话对后人研究复杂性具有重要的指导意义。

表1 复杂性相关理论、术语总结

相关理论		提出者	研究领域	相关术语
复杂适应系统理论		霍兰	计算机科学	涌现性、适应性、动态性、层次性、开放性、非线性
自组织理论	耗散结构	普利高津	化学	开放性、远离平衡态、非线性、突变、涨落、正反馈、耗散结构、层次性、对称破缺、自组织
	协同学	哈肯	物理学	
	突变论	托姆	数学	

续表

相关理论		提出者	研究领域	相关术语
混沌相关理论	混沌学	洛伦兹	气象学	混沌、非线性、内在随机性、初值依赖性、奇怪吸引子、分形性、分岔、自相似性
	奇怪吸引子	吕埃勒	物理学	
	分形理论	曼德布罗特	数学	
混沌边缘相关理论	混沌的边缘	朗顿	人工生命	元胞自动机、秩序、混沌、相变、自组织临界点、自组织临界性
	自组织临界性	巴克	物理学	
	自组织临界条件	考夫曼	生物学	
复杂网络		Barabási、Watts 等	物理学	非线性、无标度网络、小世界网路
开放的复杂巨系统		钱学森等	系统工程 系统科学	开放性、规模性、适应性、动态性、不确定性、层次性

资料来源:根据相关文献整理

通过对复杂性相关理论、术语的回顾(总结如表 1 所示),可以发现不同理论、术语之间存在联系,虽然和复杂性相关的术语众多,但不外乎是表达复杂性的条件、来源、效应和特征这四种情况。因此,可以按照复杂性的条件、来源、效应和特征对这些术语进行重新分类。由于复杂性产生的多元化背景,在分类的过程中可能会遇到多个术语表达同一含义的情况,那么就需要对术语进行“归一化”处理——将所有的术语统一成复杂性科学这门学科的通用术语。

3 复杂性的条件

复杂性的产生需要一定的前提条件,只有具备这些前提条件,复杂性才可能产生。复杂性产生的前提条件有两个:多元性和开放性。

(1) 多元性

复杂性存在于复杂系统中,一个系统之所以被称为系统,必须具备一个以上元素,系统的这种性质就是多元性。至于系统中存在多少个元素才称得上是多?不同的学者有不同的理解:海利津提出“需要两个或更多”,卡斯蒂认为“具有中等数目”,齐磊磊认为至少具有三个子系统的系统才可能是复杂系统^[13]。达到构成系统的条件即具有一个以上元素就可以称之为“多”,只要构成系统那就有可能是复杂的,而不一定要达到足够规模。多元性是系统的必备条件,而系统又是复杂系统的前提条件,因此,多元性是系统复杂性产生的基本条件。关于多元性,CAS 理论进行了探讨,霍兰认为适应性造就复杂性,主体之间的相互适应带来了系统整体的复杂性^[11],单个主体不存在相互作用,所以 CAS 中一定具有不止一个主体,满足多元性条件。

(2) 开放性

系统的开放性是指系统能够与外界进行物质、能量和信息交换,具有开放性的系统是一个“活”的动态系统,只有这类系统才可能是复杂的^[15,16]。CAS 理论和自组织理论都强调了开放性的重要性:CAS 必须是一个开放系统,只有开放,系统内部的主体才能根据外部环境改变自身的规则、行为以适应外部环境的变化^[11],开放性是 CAS 存在的前提条件;自组织理论中耗散结构形成和维持的一个前提条件就是系统必须是开放系统,孤立系统和封闭系统都不可能产生耗散结构,生物系统、社会系统是典型的耗散结构,它们的共同特征就是要与周围环境进行物质和能量的交换,以此维持系统的稳定和有序^[28]。因此,开放性是复杂性产生的一个前提条件。

4 复杂性的来源

“来源”一词的基本解释是事物所从来的地方或事物的根源。追根溯源,从复杂性的非普适性定义和特征描述中分析出复杂性的产生根源,对于复杂性的进一步研究至关重要^[13]。复杂性的来源主要有规模性、非线性、适应性、层次性、随机性、混沌边缘和多态性等。

(1) 规模性

规模性既指系统内部组分的数量众多,又指组分的种类众多。复杂巨系统是一类典型的具有规模性的复杂系统。规模性是复杂性的一种来源,系统组分的规模巨大可以通过规模效应为系统带来复杂性。蚁群正是一种我们熟悉的源于规模性的复杂系统,单只蚂蚁的行为很简单,遗传天性促使他们寻找食物、抵抗入侵者、释放化学信号并对其他蚂蚁的化学信号作出简单回应,然而蚁群的行为却复杂得惊人,以至于现在科学家都无法弄明白蚁群的群体行为:蚂蚁的简单个体行为如何形成庞大而复杂的群体行为?蚂蚁之间如何通讯?蚁群作为一个整体如何应对环境的变化?因此,生物学家弗兰克斯将蚁群的群体行为称为“集体智能”,将蚁群称为由简单蚂蚁构成的“复杂超生物”^[24]。

在复杂性的来源中,大部分学者倾向于关注非线性、层次性等通过结构效应带来复杂性的来源,忽略了规模性也是复杂性的一种来源,中国学派对此进行了探讨,复杂巨系统的“巨”字特别强调了组分数量的规模性,明确将规模性作为复杂性的一种来源。

(2) 非线性

线性和非线性都是数学概念,线性的含义是将各部分的值相加能得到整体的值,如果一个函数是线性的,对其变量赋予任何值,函数的值都只是这些值的加权求和,如 $3x+5y+z$ 这个函数就是线性的^[11]。与此相对,非线性是指整体不再等于各部分之和,如生物学家研究种群数量通常采用的逻辑斯蒂模型(logistic model)就是非线性的^[24]。

CAS 理论、混沌理论、自组织理论、复杂网络等都讨论了非线性,多是将其作为复杂性产生的来源。在 CAS 理论中,霍兰虽然将其当作 CAS 的一个特征,但他也认为这种非线性特征是复杂性产生的内在根源,因此,非线性是复杂性产生的重要来源。复杂系统中必须包含非线性动力学过程,如自组织理论中提到的正负反馈机制等,这种非线性的相互作用,能够使系统内的组分产生协调作用和相干效应,从而使系统由“混沌”走向“有序”,如果系统中各组分之间的相互作用只有线性作用,那么只会引起系统量的变化,而不会有质的变化^[28]。Phillips 总结了非线性为复杂系统带来的几种非线性行为如混沌、动态不稳定性、分形、多重均衡、怪引子和自组织等^[23]。

(3) 适应性

从生物学的角度讲,适应就是生物体调整自身来适合环境的过程,CAS 理论将该术语的范围扩大,把学习与相关过程也包括进来。适应性指 CAS 中的主体随着经验的积累,通过不断变换其规则来适应其他主体及周围环境^[11]。主体的这种适应性是复杂动态模式的主要根源,因此,适应性是复杂性的一个来源。

自组织理论中的自组织(self-organize)与适应性在根源上有一定联系,都是强调从无序到有序以及对周围环境和和其他组分的适应过程,这两个术语强调的本质一致,只是不同学派的命名不同。由于自组织理论的研究处于复杂性研究的初级阶段——系统论阶段,圣塔菲的研究处于真正意义的复杂性理论阶段^[31],所以将自组织统一成适应性。

(4) 层次性

层次性是指系统中的组分不止一层,可以自顶向下细分为很多层次,涌现性的一种解释就是高层次具有低层次没有的特征,不同层次具有不同水平的涌现性,不同层次的组分可以通过涌现效应涌现出不同的新质^[15],因此,层次性是复杂性的一种来源。

西蒙认为系统的复杂性是由系统的多层次带来:复杂系统由子系统构成,子系统下面又有更小的子系统,可以不断向下细分^[32]。霍兰对层次性的理解与西蒙有相似之处,但研究视角不同:霍兰重在研究复杂性产生的过程,将层次性理解为自底向上的涌现,西蒙重在研究复杂系统的结构,将层次性理解为系统自顶向下的分解^[42]。两者研究的一个共同点就是都将层次性看作复杂性的重要来源。

(5) 随机性

随机性通常与无序性、不确定性、无规律性和不稳定性联系在一起,客观上讲,随机性是在一个过程中出现的干扰,改变这个过程偏离常规的运动;主观上讲,随机性表示主体对客体的不可预见性和不可决定性。随机对应的英文单词有两个,一个是 randomness,一个是 stochastic,为了避免混淆,盖尔曼认为“stochastic”表示随机过程,而“randomness”表示随机过程产生的随机结果——随机比特串^[18],因此随机性对应的英文单词应该是 randomness。

一般认为随机性是复杂性的来源,甚至有人将随机性等同于复杂性,塞思·劳埃德提供的关于复杂性定义的清单中就包括了随机复杂性^[25]。从直觉上推测,越随机的系统肯定越复杂,但是由于复杂性测度方法的不同,结果并非如此^[21]:算法复杂性强调的是系统的随机性,认为系统越随机越复杂;而盖尔曼认为最大的有效复杂性诞生于有序(规则性)和无序(随机性)之间,这与混沌边缘理论一致。虽然这两种观点有对立的地方,但是随机性是复杂性的来源这一点是一致的。

(6) 混沌边缘

混沌边缘是处于混沌与秩序两种状态之间的一种中间状态,又叫自组织临界态。在这种状态下,系统的各个元素、组分处于一种活动状态,此时系统通过突变可以产生复杂性,保持系统处于混沌边缘状态是系统得以生存和发展的关键^[2]。混沌的边缘不止是简单的介于完全有秩序系统与完全无秩序系统的中间区域,是自我发展进入的特殊区域,在这个区域中,系统会产生出类似生命的现象和复杂的行为表现^[2]。根据盖尔曼的有效复杂性理论,最大的有效复杂性诞生于规则性(有序)和随机性(无序)之间^[21],CAS的运作需要介于有序与无序之间,生命在这里才能发生演化,因此,处于混沌边缘的系统具有最大的有效复杂性。混沌边缘并不复杂,处于混沌边缘的系统要经过突变产生不确定性的结果才变成复杂的。因此,混沌边缘是复杂性的一种来源。

(7) 多态性

系统的多态性不仅指系统中的组分具有多种状态,还指系统组分在不同状态下的交互会产生不同的结果。这种多态性可以通过规模效应给系统带来复杂性,使系统的状态随时间变化表现出动态性特征,还可以使系统涌现出许多新特性。多态性这一术语,虽然没有理论明确提出,但是有的理论如CAS理论表达了这层含义。

5 复杂性的效应

效应的本意是由某种动因所产生的一种特定科学现象,引申为物理或化学作用所产生的效果。对复杂性产生效应的研究重在复杂性产生机理的探讨,研究从复杂性的来源到复杂性特征