

万卷方法

复杂性科学方法及其应用

FUZAXING KEXUE FANGFA JIQI YINGYONG

黄欣荣 著



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

复杂性科学方法及其应用

FUZAXING KEXUE FANGFA JIQI YINGYONG

黄欣荣 著

重庆大学出版社

内容提要

复杂性科学是系统科学的延伸和发展,被人誉为“21 世纪的科学”。本书通过概括、总结复杂性科学五个理论分支,创造性地提出并论述了复杂性科学方法的整体框架,提炼出涌现生成方法、维生适应方法、遗传进化方法、临界突变方法和复杂网络方法五种科学新方法。这些新方法分别论述了组织发展过程中涌现、维持、生长、突变等不同阶段的组织状态,共同解释了复杂组织的生成演化机理,是复杂组织理论的新发展。

图书在版编目(CIP)数据

复杂性科学方法及其应用/黄欣荣著. —重庆:
重庆大学出版社,2012.1
(万卷方法)
ISBN 978-7-5624-6293-4

I. ①复… II. ①黄… III. ①复杂性—科学方法论
IV. ①G304

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 150142 号

复杂性科学方法及其应用

黄欣荣 著

策划编辑:雷少波

责任编辑:李桂英 廖 可 版式设计:雷少波

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区虎溪大学城重庆大学(虎溪校区)

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆五环印务有限公司印刷

*

开本:940×1360 1/32 印张:9 字数:258 千
2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—4 000

ISBN 978-7-5624-6293-4 定价:29.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

目录

第一章 复杂性科学的方法意蕴	1
第一节 复杂性科学与科学方法论	1
第二节 复杂性方法的研究现状	6
第三节 复杂性方法的主要内容	9
第四节 复杂性方法的研究意义	14
第二章 涌现生成方法——复杂组织生成条件分析	17
第一节 涌现生成理论的兴起	17
第二节 涌现生成理论的主要内容	31
第三节 复杂系统的涌现生成方法	60
第四节 涌现生成方法应用实例:人工生命	75
第三章 适应维生方法——复杂组织维生机理分析	84
第一节 复杂适应系统理论的兴起	84
第二节 复杂适应系统理论的基本内容	88
第三节 复杂系统的适应维生方法	116
第四节 适应维生方法的分析工具:swarm	131
第四章 遗传进化方法——复杂组织演化过程分析	139
第一节 遗传进化理论的兴起	139
第二节 遗传算法的基本理论	147
第三节 复杂系统的遗传进化方法	158
第四节 遗传进化方法的应用现状	171
第五章 临界突变方法——复杂组织突变机制分析	174
第一节 自组织临界性理论的兴起	174

第二节	自组织临界性的基本理论	183
第三节	复杂系统的临界突变方法	195
第四节	临界突变方法的应用及其局限	209
第六章	复杂网络方法——复杂组织系统结构分析	211
第一节	复杂网络理论的兴起	211
第二节	复杂网络理论的构成	216
第三节	复杂系统的复杂网络方法	234
第四节	社会关系的网络分析	248
结 语		252
后 记		268
参考文献		273

复杂性科学的方法意蕴

复杂性科学是研究复杂系统行为与性质的科学,是系统科学发展的新阶段,被誉为“21 世纪的科学”,并代表着科学发展的新方向。随着复杂性科学的兴起和发展,其影响逐渐越出具体的学科领域,走向了一般的科学方法论的道路,越来越多的研究者将其当作新兴的科学方法运用于诸多的领域。复杂性方法从复杂性理论的各学科分支中发掘、提炼出具有普遍意义的科学方法,并让这些方法构成一个比较和谐、完备的方法体系。复杂性方法是随着复杂性研究兴起而诞生的新兴科学研究方法,主要由涌现生成方法、适应维生方法、遗传进化方法、临界突变方法和复杂网络方法等五种主要的方法构成。这些方法能够比较成功地解释复杂组织兴起、维生、发展等组织演化的各个阶段,是科学研究方法的新发展,并由此丰富了科学方法的理论宝库。复杂性方法可以用于解释复杂系统(特别是有机组织)的生成演化,为揭开各类组织之谜提供方法和工具,是当前复杂性哲学研究的一项具有重要意义的工作。

第一节 复杂性科学与科学方法论

对探索事物复杂性的研究究竟是称为“复杂性科学”还是“复杂性研究”,学术界存在一些争论。例如中国社会科学院的阚家胤赞成使用“复杂性研究”却不赞成使用“复杂性科学”。他认为道理很简单,“复杂性研究”是可能的,“复杂性科学”是不可能的。科学

仅限于研究实体、运动和关系,从未能够为研究一种“属性”建立起一门科学来。譬如“美”是一种属性,人类研究“美”至少几千年了,但美学始终属于哲学而不是科学。我们不当直接研究“复杂性”,而应当直接研究“复杂系统”,特别是某一类复杂系统。^① 苗东升也认为,复杂性并不是一门新科学,“因为复杂性研究的成果不是在相对论、分子生物学之外又出现的另一门新学科,而是所有学科领域都有自己的复杂性,都需要超越还原论,不可能把这些成果归属于某一门学科,复杂性研究改变的不是个别学科领域,而是几乎所有学科领域,所有学科领域复杂性研究的总和才是所谓‘复杂性科学’。这样说还不够,复杂性探索将开辟大量跨学科研究的新领域,它们无法划归某个现有的学科领域,也不会形成单一的学科。”^②然而,纵观自然科学文献,大量的科学家却通常都使用“复杂性科学”来指称相关的复杂性研究,并且把混沌、分形以及元胞自动机等理论研究直接称为复杂性科学。我们采用复杂性科学的说法,但并不排斥复杂性研究的称呼。

由于来自数学、自然科学和工程技术等领域以及社会科学领域大致有 50~60 种各自不同的复杂性的概念,而且目前还没有从这些概念中形成公认的统一的复杂性定义,因此,对复杂性科学的认识也就难于取得统一。正如《复杂》一书的作者沃尔德罗普(M. Waldrop)在其书的开篇中指出的:复杂性科学“这门学科还如此之新,其范围又如此之广,以至于还无人完全知晓如何确切地定义它,甚至还不知道它的边界何在。然而,这正是它的意义之所在。如果说,复杂性科学的研究领域目前尚显得模糊不清,那便是因为这项研究正在试图解答的是一切常规学科范畴无法解答的问题”。^③ 目前学界比较倾向于通过方法论来界定复杂性和复杂性科学。例如,钱学森认为:“凡是不能用还原论处理或不宜用还原论方法处理的问题,而要用或宜用新的科学方法处理的问题,都是复

① 闵家胤.“复杂性研究”和“复杂性科学”[J]. 哲学动态,2003(3):10.

② 苗东升. 复杂性研究的现状与展望[J]. 系统辩证学学报,2001(4):7.

③ 米歇尔·沃尔德罗普. 复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学[M]. 陈玲,译. 北京:三联书店,1997:1.

杂性问题,复杂巨系统就是这类问题”。^① 苗东升通过研究方法论定义了简单性问题,他说:“所谓简单性问题,指一切可以用还原论方法解决的问题,已经得到系统、全面、透彻的研究。形成完全成熟的普适方法论和具体方法的体系。新的问题还会出现,但只要循着这条路走就可以解决,至多作一些局部的调整、修正,无须作方法论的变革。”^②由此我们可以看出,复杂性或非简单性问题就是指不能完全用还原论方法论解决的问题,作为复杂性科学的研究对象的复杂性和复杂系统就是这类问题。

通过研究方法论来界定学科的领域和性质是复杂性科学的重要特色。一般来说,传统学科是以研究对象来划分的,如数学、物理学、化学、生物学、哲学、历史学、社会学、系统科学等都以研究对象来表明各自的研究范围和相互之间的区别。虽然每门学科都有自己独特的研究方法,但它们之间的区别主要在于研究对象,而不在于研究方法。可是,复杂性研究或复杂性科学不是一门具体的科学,而是分散在许多学科中,又是学科互涉的。之所以被称为复杂性科学,是由于它们所持的方法论立场都已经超越了还原论,所使用的研究方法也都已经超出了还原分析方法的界限。正如苗东升所说:“把按照方法论划分的观点贯彻到底,可否将‘简单性科学’改为还原论科学,把‘复杂性科学’改称为涌现性科学?与 reductionism 对应,可否造个英文字 emergencism?前者主要探求事物的还原释放性,后者主要探求事物的整体涌现性,代表科学探索的两个不同方向,而非高低、难易之分。”^③

虽然我们对复杂性和复杂性科学都没有一个统一的界定,但复杂性科学具有以下一些特点:

(1)它只能通过研究方法论来界定,其度量标尺和框架就是非还原的研究方法论。通过研究方法论来界定或定义复杂性科学及其研究对象,是复杂性科学的重要特征。

(2)它不是一门具体的学科,而是分散在许多学科中,是学科互涉的,从传统的分类学科到现在的交叉学科,从政治、经济、生物

①许国志.系统科学[M].上海:上海科技教育出版社,2000:299.

②③苗东升.复杂性研究的现状与展望[J].系统辩证学学报,2001(4):7.

到语言、大脑、市场、交通,几乎人类生活的每一个角落,甚至很难说清它的边界之所在。之所以被称为复杂性科学,是由于它比较一致的超越还原论的方法论立场。

(3)它力图打破传统学科之间互不往来的界限,寻找各学科之间的相互联系、相互合作的统一机制。

(4)它要力图打破从牛顿力学以来一直统治和主宰世界的线性理论,抛弃还原论适用于所有科学的梦想。

(5)它要创立新的理论框架体系或范式,应用新的思维模式来理解自然界带给我们的问题。

复杂性研究从20世纪末叶兴起,目前在国内外已成为许多学科领域研究的前沿和热点。复杂性的思想源远流长,在中国最早可以追溯到易经中阴阳五行的思想,在西方则最早可以追溯到“整体不等于部分之和”的思想。经过近代科学家与哲学家的努力,现代科学从多个方向上走向了系统思想和复杂性思维。^①

系统科学的先驱者贝塔朗菲于20世纪40年代末已经提出研究复杂性的问题。信息论创始人之一的韦弗尔(W. Weaver)在同一时期提出有组织复杂性和无组织复杂性的划分,把有组织复杂性作为系统科学的研究对象,对其后的科学发展产生了深刻影响。但总的来说,这个时期的复杂性科学尚无实质性进展。在20世纪50—60年代,系统科学获得重要进展的分支是运筹学、控制论、信息论等技术科学,研究对象基本属于简单系统,尚未触及真正的复杂性。20世纪70年代以后,关于简单系统的理论日趋成熟,系统科学才真正转向以复杂性为主要对象、试图建立关于复杂系统的一般理论,如美国的圣菲研究所的复杂适应系统理论,欧洲大陆的自组织理论,中国的开放复杂巨系统理论等。^②

复杂性科学的兴起对传统科学产生了重大的影响。它极大地拓展了科学研究的疆域,使科学从线性的、确定的、有序的传统领域扩展到非线性、不确定和无序的领域。传统科学在对自然界及其规律获得科学认识的同时,也给自己划了一个难于跨越的界限,

① 顾泽贤,范冬萍,张华夏.系统科学导论——复杂性探索[M].北京:人民出版社,2006:20-32.

② 黄欣荣.复杂性科学与哲学[M].北京:中央编译出版社,2007:3-5,151.

并把自己封闭起来。随着复杂性科学的兴起,原来认为不是科学的领域,或者科学难于企及的领域也逐渐纳入了科学研究的范围,科学的目标从原来的追求简单性走向了现在的认识复杂性。如果把科学研究的领域比作海洋,那么复杂性科学的兴起让我们认识到,传统的简单性科学只是科学海洋中的一个个孤岛,围绕着这些孤岛是更加无边无际的复杂性大海。所以,复杂性科学的兴起是科学发展的大事,难怪会被人称为“21 世纪的科学”。

系统科学在其发展的第一阶段,即系统论、信息论和控制论时期,以及第二阶段,即耗散结构理论、协同学、超循环理论等自组织理论时期,除了诞生和发展了一些新的理论之外,最重要的是它们对传统科学方法论提出了重大挑战,并都担当起一般科学方法的功能,形成了被广泛应用的系统分析方法、信息分析方法、反馈分析方法^①以及自组织方法体系^②。复杂性科学从本质上来说是系统科学的延伸和发展,因此它自然也延续了系统科学早期发展中的这个特点。

复杂性科学也和早期的系统科学一样,涉及新型的跨学科的方法论。虽然人们对“复杂性”概念还缺乏严格一致的定义,但大家都意识到复杂性方法是为弥补长期占统治地位的经典科学之简化方法的不足而产生的。复杂性科学与科学方法论的关联主要表现在三个方面:①复杂性语境中的方法论反思:因为复杂性科学涉及的领域都是传统学科无法解决的问题,也就是说,传统的科学方法论在复杂性领域显得无能为力。因此复杂性科学首先就要从科学方法论上进行突破和革新,特别是要超越已经成为思维定势、占绝对统治地位的还原论,需要寻找新的方法论,以便解决复杂性的问题。复杂性科学在方法论上明确提出超越还原论,采纳融合还原论和整体论的融贯论新视野。②复杂性研究中的方法工具:复杂性科学在突破传统科学方法论的基础上,采用了一些传统科学不甚认可或不常使用的科学方法,如隐喻,有些则在传统科学方法的基础上进行了革新改造,例如模型、数值、计算、虚拟等。这些方

①魏宏森. 系统科学方法论导论[M]. 北京:人民出版社,1983.

②吴彤. 自组织方法论研究[M]. 北京:清华大学出版社,2001.

法在复杂性科学中获得了新的含义,在复杂性科学中发挥了重要的作用,并反过来又丰富了这些科学方法。③复杂性科学中的方法论意蕴:复杂性科学的内容也像系统科学一样,具有方法论的意蕴,本身也可以上升为科学方法,作为研究的工具用于其他学科的研究。复杂性科学的各个理论分支,如复杂适应系统理论(CAS)、涌现生成理论、遗传进化理论、混沌边缘理论、人工生命理论、复杂网络理论中都蕴涵着丰富的方法意蕴。用复杂性的眼光和方法去透视任何一个传统的学科领域,都可能发现传统方法难于采掘的新“矿藏”,使得老学科获得新生命。

复杂性科学从目前来说更像是一场思维方式的变革运动。在这场运动中,一切传统学科都要进行复杂性再审视,把用传统的分析还原思维遗漏、丢弃的东西重新筛选一番,从中找出分析还原方法忽视的东西。可以说,在这场复杂性运动中,以新方法论为特色的复杂性光芒照亮了分析还原方法的死角,各门传统学科又焕发了青春。所以,复杂性科学与科学方法论具有密切的联系。从科学方法论的角度来研究复杂性,从哲学的高度探索复杂性科学的方法论,是复杂性科学的重要工作和重要组成部分。

第二节 复杂性方法的研究现状

复杂性方法的研究应该与复杂性科学的发展基本同步。复杂性科学从其诞生之日起,就开始被人当作新的科学方法运用于其他的科学研究中。学者们认识复杂性科学,可能更多是因其作为科学研究新方法的角度和层面。许多学者,特别是哲学社会科学工作者,也许对处于科学前沿的复杂性科学本身没有特别大的兴趣,甚至对其高深的数学、模型等难于真正理解。他们更多是从其对科学方法论的革新与挑战,或者说是它为科学方法提供的新工具来接受、解读复杂性科学的。复杂性科学作为科学的最前沿研究能够引起哲学社会科学工作者的广泛关注和影响,就是因为他们关注到了复杂性科学的方法工具层面。

复杂性科学工作者主要对复杂性科学的具体科学内容感兴

趣,而其他科学工作者虽然注意到了复杂性科学作为科学方法工具的意蕴,并把他们广泛应用于许多研究领域,但他们对科学方法的提升和凝练缺乏兴趣,或者说他们更关注工具的应用,但不太关注方法本身。对复杂性方法本身的探索应该是哲学工作者,特别是科学方法论工作者的任务。

法国哲学家埃德加·莫兰是当代系统地提出复杂性方法的第一人,他追求在人类思想领域里实现一个关于“复杂性范式”的革命。他的复杂性方法主要是用“多样性统一”的概念模式来纠正经典科学的还原论的认识方法,用关于世界基本性质是有序性和无序性统一的概念来批判机械决定论,提出把认识对象加以背景化来反对在封闭系统中追求完满认识,主张整体和部分共同决定系统来修正传统系统观的单纯整体性原则,等等。莫兰提出复杂性思想的标志时间可以定在他发表《迷失的范式:人性研究》一书的1973年。^①随后他在《方法:天然之天性》《方法:思想观念》两部著作中更加系统地阐发了复杂性方法的内涵和应用。但是,莫兰所论述的复杂性方法其实更多的是我们上面所说的哲学和方法论层面的内容,他并没有真正论述和挖掘第三个层面,即能够作为具体的科学研究方法层面的复杂性方法,因此没有真正的可操作性。

成立于1984年的美国圣菲研究所接过了“复杂性科学”的口号,由于它实力雄厚,现在被视为世界复杂性问题研究的中枢。圣菲研究所的研究对象是复杂适应系统,它提出“适应性造就复杂性”,表明它主要研究能够学习的系统在适应环境的过程中自身发生的结构和行为方式从简单到复杂的演变。圣菲研究所一方面构建复杂性科学的核心理论,如复杂适应系统理论(CAS)、涌现生成理论、混沌边缘理论、人工生命理论和遗传进化理论,另一方面,他们把这些理论当做科学的研究分析方法运用于其他研究领域,例如生物、生态、物理、化学、经济、管理、社会、文化等。他们把研究对象当作一个复杂系统,特别是复杂适应系统,然后用复杂性理论进行建模和分析。复杂适应系统的共同特征是,它们能够通过处

^①陈一壮.复杂性理论:学方法的第三个梯级[N].学习时报,2005-07-04.

理信息从经验中提取有关客观世界规律性的东西作为自己行为的参照,并通过实践活动中的反馈来改进对世界规律性的认识从而改善自己的行为方式。这反映了生物、社会等高级系统的能动的自组织机制。总之,他们不但把复杂性理论当作前沿性的科学理论,更把它们当作能够广泛应用的科学方法来用于各个领域。不过,圣菲研究所的学者们以及其他西方复杂性研究者目前还停留在复杂性理论的建构以及复杂性理论的一般应用上。他们把复杂性理论当作科学方法来运用,但没有把它提升到一般科学方法的层次,没有对科学方法本身进行归纳和提炼,更没有提出复杂性科学的方法体系。

在国内,最早提到复杂性方法的应该我国著名科学家钱学森。他与戴汝为、于景元等学者一起,提出了开放的复杂巨系统理论,并把它当作一般的科学研究方法运用于诸多领域,并由此提炼出具有—般科学方法意义的综合集成方法,这是对复杂性方法的重要贡献。随着西方的复杂性科学理论的引进和发展,许多学者纷纷把复杂性理论当作新兴的科学方法运用于自然科学、工程技术和社会科学的研究中,这从我国最早的复杂性科学论文集中表现出来,全国第一、二届复杂性科学学术研讨会的论文中也明显能够看出来。除了钱学森学派的原创性贡献外,我国对复杂性科学研究的贡献主要就是将西方的复杂性科学的各种理论运用于各个领域,从而扩展了原来的学科领域,或者让旧问题有了新的解答方案。我国哲学工作者特别是科学哲学工作者从哲学的层面或者方法论的层面对复杂性科学进行了比较系统、全面的梳理,特别是成思危、金吾伦、吴彤、颜泽贤、苗东升等学者,都或多或少地涉及过复杂性方法的探索。例如,颜泽贤、范冬萍等在《系统科学导论——复杂性探索》一书的第五篇中,就把复杂性理论运用于组织管理中,并对复杂性方法有所涉及和提升。

但是,我国学者对复杂性科学的方法论探索主要集中在其复杂性理论与科学方法论关联的第一、二层面,更多是停留在一般方法论意义的探索上,其中包括笔者自己的博士论文《复杂性科学的方法论研究》。从本质上来说,复杂性科学是20世纪中叶发展起来的以系统论、控制论和信息论为代表的“老三论”以及20世纪70

年代以来发展起来的自组织理论(“新三论”)的继承和发展。清华大学魏宏森教授全面探索了系统论、控制论、信息论的方法论意义,挖掘出人们如今熟悉的“系统方法”“反馈方法”和“黑箱方法”等,为科学方法论提供了丰富的方法工具。清华大学吴彤教授全面总结了自组织理论的方法意蕴,挖掘出内容丰富的自组织方法。但是,目前国内还没有学者像魏宏森教授对老三论的科学方法提炼和吴彤教授对自组织方法的提炼一样,归纳和提升出能够被众多学者直接引用的复杂性方法。目前的状况是,科学哲学工作者所研究的大部分还是一般性的方法论,缺乏可操作性。而那些应用复杂性科学方法的学者则有点像盲人摸象,不了解复杂性科学的全局,更不会去打造和提炼科学工具,而是直接把复杂性理论当作成熟的科学方法,因而造成了复杂性方法应用的自发性和朴素性,缺乏成熟的复杂性科学方法体系。作为系统科学发展第三阶段的复杂性科学,其内容本身也可以上升、提炼为科学方法,为其他科学研究提供新的方法工具,并为我们观察和认识世界提供新视角和新途径。如今复杂性科学取得了令人瞩目的成就,并在其他科学研究领域中得到了广泛的应用,但到目前为止还没有人对复杂性方法本身进行全面的研究,即从复杂性科学内容中提炼出相应的、具有一般方法论意义的方法工具——复杂性方法,并对复杂性方法的结构体系、主要内涵及其适用条件进行系统的总结。因此,在辩证唯物主义的指导下全面总结基于复杂性科学最新成就的复杂性方法体系,在科学和哲学两个方面都具有重要的理论意义和实际价值。它是马克思主义哲学的最新发展,也是科学哲学在现时代的最新反映。

第三节 复杂性方法的主要内容

所谓复杂性方法,就是把复杂性科学从具体的科学理论提升出来,作为具有一般意义的科学方法,用于分析和解决各个领域的问题,也就是说使复杂性科学从具体的科学内容变为科学方法的分析工具。要从复杂性科学中提炼出具有科学方法意蕴的复杂性

方法,第一步是必须搞清楚复杂性科学由哪些具体的理论构成,也就是说复杂性科学究竟有哪些理论分支。

复杂性科学并不是一门学科,而是在复杂性视野下的一群学科,是一群具有复杂性意识和复杂性思维的理论丛林。在被称为“复杂性科学”的群体中,大体包括如下若干理论^①:现代系统科学中包括耗散结构理论、协同学、超循环理论、突变论、复杂巨系统理论;非线性科学中的混沌理论、分形理论等;以及通过计算机仿真研究而提出的进化编程、遗传算法、人工生命、元胞自动机。这些可以被视为复杂性科学的内核。目前来看,复杂性的概念和思想已经开始运用于物理科学、生命科学和经济科学等各个领域,甚至在人文社会科学等其他领域也多少有些应用。这些应用可以被视为复杂性科学的研究外围。由于耗散结构、协同学、超循环理论、突变论等被归入自组织理论以及混沌理论和分形理论都已经比较成熟,这些理论已经划入系统科学发展第二阶段的自组织理论。因此,从目前来说构成复杂性科学的核心理论主要有六个:涌现生成理论、复杂适应系统理论、遗传进化理论、自组织临界性理论、人工生命理论、复杂网络理论。^②我们先来看看这些复杂性科学的理论分支给我们提供了什么样的方法工具。

涌现生成理论是美国圣菲研究所的霍兰提出来的一个复杂性理论分支,也是圣菲研究所的研究主题和基本理念。涌现理论其实就是要从科学机理上揭示出涌现是如何产生的,也就是组织的生成问题,它关注复杂性组织产生的机制,关注描述分析组织生成的工具。霍兰通过“受限生成过程”的分析,揭示出低层次的系统行为主体之间通过局域作用向全局作用的转换,行为主体之间的相互适应、进化产生出一种整体的模式,即一个新的层次,变现为一种涌现性质。这些新层次又可以作为“积木”通过相互会聚、受约束生成新的模式,即更高一层的新的系统和性质,由此层层涌现,不仅产生了具有层级的系统,而且表现出进化涌现的新颖性:新事物、新组织层出不穷。复杂性理论能够进一步对隐藏于涌现

①吴彤.复杂性的科学哲学探究[M].呼和浩特:内蒙古人民出版社,2008:11-12,6.

②黄欣荣.复杂性科学与哲学[M].北京:中央编译出版社,2007:3-5,151.

现象中的有关因素进行发掘研究,并正在发展一些必要的工具、方法和构件以促使涌现的过程更清晰、更容易让人理解。因此,涌现生成理论为我们分析复杂组织的生成条件和机制提供了一种新的科学方法,使我们能从科学机理的层面对生命等复杂组织进行生成条件分析。涌现生成理论解决了复杂组织的发生生成问题。

复杂适应系统理论(CAS)也是霍兰提出来的一个复杂性理论分支。它的最基本思想就是“适应性造就复杂性”。我们把系统中的成员称为具有适应性的主体(adaptive agent),简称为主体。所谓具有适应性,就是指它能够与环境以及其他主体进行交互作用。主体在这种持续不断的交互作用的过程中,不断地“学习”或“积累经验”,并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式,整个宏观系统的演变或进化,包括新层次的产生,分化和多样性的出现,新的、聚合而成的、更大的主体的出现等等,都是在这个基础上逐步派生出来的。复杂适应系统理论从主体间的适应性来分析组织产生之后主体之间是如何组织在一起,并维持这个组织系统的。因此,复杂适应系统理论为我们分析生命等复杂组织的维生机制提供了方法工具。

进化计算是一系列搜索技术,它以进化原理为仿真依据,侧重于算法的研究,主要有四大流派:遗传算法、进化规划、进化策略和遗传编程。这些方法都是基于生物进化的基本思想来设计、控制 and 优化人工系统,一般将这类计算方法统称为进化计算。进化计算模仿自然遗传进化的过程,通常包括选择、重组或交叉、变异、迁移、并行实现等基本算子。各流派的区别在于实现进化过程中使用基本算子的应用比例或侧重点上有所不同,但它们都是基于自然进化过程的基本计算模型。遗传进化理论主要希望解决复杂组织的进化、发展和机理问题,为我们探索、解决生命组织的发育、发展问题提供了比较有效的方法工具。

自组织临界性和混沌边缘理论都在研究处于临界状态时系统演化的路径和特征。自组织临界性是指一类开放的、动力学的、远离平衡的、由多个单元组成的系统能够通过一个漫长的自组织过程演化到一个临界态,处于临界态的一个微小的局域扰动可能会通过类似“多米诺效应”的机制被放大,其效应可能会延伸到整个

系统,形成一个大的雪崩。临界性的特征为,处于临界态的系统中会出现各种大小的“雪崩”事件,并且“雪崩”的大小(时间尺度和空间尺度)均服从“幂次”分布。自组织临界性理论认为,多种要素相互作用的大系统能够自发地朝临界状态演化:在这种自组织临界状态,一个小的事件会导致一个大事件乃至突变。自组织临界性理论是一种新的观察自然界的方式。其基本立场是,认为自然界总是处于持续的非平衡状态,由于系统内部要素之间的相互作用,它们可以组织成为一种临界稳定的状态,即临界态。从功能机制角度看,相互作用正是系统演化行为的根源。“自组织临界性”成功地解释了包含于千千万万个发生短程相互作用组元中的时空复杂系统的行为特性。按照这一观点,许多复杂系统的行为特性可分为亚临界、临界和超临界三种状态,在正常情况下,这些系统都自然地朝着临界状态进化,然而一旦运行机制发生突变,系统就可能进入超临界状态并持续爆发大规模的“雪崩”现象。自组织临界性概念有助于刻画这种多种要素相互作用的大系统的演化行为。因此,自组织临界性和混沌边缘理论为我们分析复杂系统的状态突变提供了科学的方法工具。

复杂网络理论是复杂性科学的最新理论分支,是刚刚提出并正在探索的新理论,但已经成了复杂性科学的重要组成部分。复杂网络是对复杂系统非常一般的抽象和描述方式,它突出强调了系统结构的拓扑特征。原则上说,任何包含大量组成单元(或子系统)的复杂系统,当我们把构成单元抽象成节点、把单元之间的相互作用抽象为边时,都可以当作复杂网络来研究。复杂网络可以用来描述物种之间的捕食关系,人与人之间的社会关系,词与词之间的语义联系,计算机之间的网络链接,神经元之间的通讯反馈作用,蛋白质之间的相互关系等。复杂网络研究的内容主要包括:网络的几何性质,网络的形成机制,网络演化的统计规律,网络上的模型性质,以及网络的结构稳定性,网络的演化动力学机制等问题。复杂网络理论为我们解剖复杂组织的结构提够了坚实的方法利器。

人工生命是关于显示自然生命系统行为特征的人造系统的学科,它试图以综合方法用计算机和其他人工媒体内的类似生命行