

# 复杂性范式的兴起

吴彤

(清华大学科学技术与社会研究中心,北京 100084)

**摘要:** 本文研究复杂性成为各个学科新范式的状况、意义,探索了简单性思维及其局限,以及复杂性思维及其意义。表明复杂性已经成为自然科学的新范式,正在成为人文、社会科学各个领域的新范式。

**关键词:** 复杂性;简单性;范式

**中图分类号:** N031

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-5680(2001)06-0020-05

## 导言

近年来,不仅在自然科学领域,而且在社会科学、人文科学各个领域,关于复杂性问题的研究正悄然向我们走来。现在有哪一领域没有自己的复杂性问题、复杂性概念和复杂性研究呢?国际上有专门的复杂性研究机构(SFI),杂志和网络资源,光是标题与复杂性有关的书籍目前就有500多种,1999年4月2日出版的“science”特别编辑了复杂性专辑;……

以上种种情况说明,一个复杂性新范式正在各个领域酝酿成形。尽管这个范式可能在某些领域还没有成为主流范式,但是作为一种替代范式或替代范式的候补者已经不可避免。

### 一 何谓复杂性?

尽管关于“复杂性”的描述性定义约有近50种,尽管到目前为止,还没有一个公认的非常科学确切的复杂性定义,但是绝大多数各种关于复杂性的概念,都表达了这样的共识:复杂性表现为一种众多因素相互作用的状态;复杂性即“交织在一起的东西”;复杂性表达了一种不可还原的特征。复杂性思维因此是一种将区分和关联相结合的思维。

构成复杂性的特性主要包括:多连通性、分形特征(自嵌套)、非集中控制性、不稳定性、混沌性、涌现性、自组织性、分化、多样化和进化能力等。<sup>[1]</sup>是这样的一些特性构成了复杂性的功能性组分。

### 二 复杂性:21世纪自然科学新范式

#### 1. 复杂性概念使用和研究状况

今天,复杂性已经成为自然科学和技术科学领域中使用频率极高的词汇。在“Encyclopaedia Britannica”中,至少有878个条目962处涉及“复杂性”概念,除了一些条目涉及研究复杂性问题的人物外,它几乎没有不涉及的领域;另外有98个条目213处涉及“非线性”;有6处涉及“分形”等概念。<sup>[2]</sup>国际上还有专门的“复杂性”(Journal of Complexity)研究杂志,<sup>[3]</sup>它的研究领域主要包括:应用数学;数字分析;近似理论;代数方程系统;微分方程;最优化;控制理论;决策理论;实验设计;分布计算;景象和图象理解;信息理论;预测和估算;地球物理学;统计学;经济学等。另外,在INSPEC资讯、物理、电机工程尖端科技数据库中,从1969年到1999年关于“复杂性”与“简单性”的条目出现了748处,“复杂性和非线性”出现了2598处。<sup>[4]</sup>1999年的“Science”,几乎成为关注“复杂性”研究的专辑,其中包括了“太阳系外混沌的起源”(Science 1999 March 19)、“流线型复杂性”(Science 1999 March 19,生态学领域),<sup>[5]</sup>“复杂性和神经系统”(Science 1999 April 2)、“化学中的复杂性”(Science 1999 April 2)、“混沌后的生命”(Science 1999 April 2)、“生物信号系统中的复杂性”(Science 1999 April 2)、“复杂性与经济学”(Science 1999 April 2)、“复杂性、图式和动物聚合中的进化性平衡”(Science 1999 April 2)、“来自复杂性的简单教训”(Science 1999 April 2)、“复杂性与气候”(Science 1999 April 2)、“自然地形中的复杂性”(Science 1999 April 2)、<sup>[6]</sup>“宇宙的分形是什么?”(Science 1999 April 16)、<sup>[7]</sup>“生命的第四维:分形几何和机体组织的变异标

【收稿日期】 2001-04-30

【作者简介】 吴彤(1954-),男,清华大学科学技术与社会研究中心教授,博士生导师。主要研究方向:复杂系统科学哲学,自然科学哲学问题,科技与社会。

度”(Science 1999 June 16)<sup>[8]</sup>等研究论文,此外还包括了一些有关“复杂性”的通信、评论以及有关计算复杂性的文章。郝柏林院士指出,美国国会图书馆 1975 - 1999 年 2 月 25 日入藏书目中光标题里含“Complexity”一词的就有 489 种。其中涉及算法复杂性、计算复杂性、生物复杂性、生态复杂性、演化复杂性、发育复杂性、语法复杂性,乃至经济复杂性、社会复杂性等,<sup>[9]</sup>通过雅虎搜索引擎,我们发现复杂性的各种网络资源有 1660665 处(当然其中有重复,但是按 5:1 重复算,也仍然有 30 万多处)。<sup>[10]</sup>复杂性在 20 世纪末开始倍受恩宠,是该认真分析它的时候了。

## 2. 简单性思维遇到问题,复杂性思维崭露头角

强调简单性的科学正在遇到越来越大的挑战,简单性思维方式暴露出越来越大的局限性。

历史上还原论、简单性思想根深蒂固。简单性被当作客观世界和真理的基本特征,复杂性仅仅是现象。决定论的线性思维,宿命论的命定思想,几乎充斥在古代、近代每一个文献中。佛教的轮回思想是线性圆周的思维,单一的因果论是典型的线性思维,牛顿力学是简单性科学的典范,把生命和社会的复杂性还原为物理学或力学的四种力的观念,毫无疑问也是简单性的线性思维。

简单性的力量在哪里?简单性思维在剔除繁琐哲学的臆测和幻象中发挥了重要作用,我们不能否认也不应该忘记简单性思维的功绩。简单性思维在人类思维史上的确有过重要贡献,以至于物理学家把简单性看成真理的化身,看成美的标准。然而,赞美简单性这个孤岛的人们忘记了还有复杂性海洋。于是大自然原则上被看成一个巨大的确定论的保守系统;如物理学家对简单规律的信奉,完全忽略了起始条件和约束条件的复杂性,因而造成了机械决定论的、可以彻底计算的幻想模型。同样,在医学上,我们的医生和心理学家,也常常以简单性思维进行诊断,然而,医疗中的局部的、孤立的和“线性的”治疗方法,可能会引起负面的协同效应,更不必说疾病不仅涉及个体肌体,也同样涉及它所在的社区,它的生活方式。我们必须学会把人看作复杂的精神和肉体的非线性体。才能避免线性思维可能作出的不正确诊断。同样在政治领域,简单性思维导致好、坏的简单两分法,用简单性思维根本处理不了复杂的国际关系。<sup>[11]</sup>

在这个世界上,谁都希望事情简单易行,能够提纲挈领,一目了然。谁都希望把复杂的现象分解成一个个组成部分,然后一个一个解决掉它。我们的概念系统和描述系统当然愈简单愈好。这或许是必不可少的第一步,但是却可能使人误入歧途。正如埃德加·莫兰所说,如果我们不再深入一步;如果我们把起点看成终点;如果我们把充其量不过是近似的东西视为确定无疑的东西;如果我们把部分混同于整体;那我们就是采取了一种简单化的看待世界的方法,而且迟早会为此付出代价。

20 世纪 70 年代,以直接研究复杂性为对象的科学开始崭露头角。国际上出现了有较大影响的耗散结构论、协同论、突变论和超循环论,耗散结构理论的创立者普里戈金和超循环论创立者艾根曾分别于 1977 年、1967 年获得诺贝尔

奖。这些非线性理论则强调失稳、不可逆性、自组织和复杂性,使经典观念再一次受到巨大的冲击。20 世纪 80 年代出现的混沌理论、分形理论再次形成更强烈的冲击波,使得经典简单性观念遭受重创。

过去由于线性系统理论日趋完善,人们常用线性系统理论来处理绝大多数工程问题,并在一定范围内可以得到满意的结果,然而这却是以忽略实际系统的各种非线性因素为代价的,或者只考虑了弱非线性问题。随着科学技术的发展,线性化理论的局限性越来越明显了。因此,建立更完善的非线性系统理论并用来解释各种复杂性问题是人们对外观世界认识进一步深入的必然趋势。由于计算机技术的发展,许多长期认为是难以求解的非线性问题的定量数值分析取得了很大的成功。人们对非线性系统的研究也逐步从范例转向系统方法的研究。

现在自然科学和工程技术领域应用的非线性和分析复杂性的方法或工具主要有:

—频域分析,这是非线性系统分析的基本工具。小波分析可看成频域分析的延伸,在混沌分析中是一个有效工具;

—几何动力学,通过相图及相关的图形来描述、解释非线性系统的性质和行为,能直观地展现吸引子、吸引域和系统解稳定性的全局图景,是分析分叉和混沌的有力工具。这种方法是传统相空间理论的进一步发展,包括了 Poincaré 映射、符号动力学、分形几何以及 Melnikov 方法等;

—分叉理论是非线性系统稳定性理论的主要部分,对于普通系统和混沌系统均有重要意义。这种理论首先由 R. Thom 以突变论的形式提出,后来 M. Golubitsky 等人的工作系统地发展了这一理论。

自 1963 年 Lorenz 发现混沌现象以来,混沌研究已取得了很大的成功。混沌系统理论主要包括混沌产生的机理及预测、混沌性质与行为的描述、混沌造型、分类理论与结构理论,上述三种理论应用于混沌分析的技术以及典型混沌系统的应用性理论。

## 3. 技术创新研究中的复杂性范式

技术创新是近年来科学、技术与社会(STS)领域和技术经济学领域研究的热点问题。目前已经开始有人开始运用复杂性概念对技术创新过程进行研究。虽然就目前文献看此类还不多见,但是这种研究一开始就为技术创新研究注入了崭新的概念和活力。Robert W. Rycroft 和 Don E. Kash 运用复杂性概念研究了技术创新过程中技术的复杂性范式,他们运用简单生产/简单过程、简单生产/复杂过程、复杂生产/复杂过程等区分了技术与生产过程中的不同模式,区分了简单技术与复杂技术,分析了技术跃升与传递中的转变模式与提升模式的复杂性,研究了组织复杂性和模式变化复杂性以及网络自组织和组织学习等重要的问题。并且明确提出“技术复杂性”与“组织复杂性”等概念,<sup>[12]</sup>丰富了复杂性概念家族。

技术和科学研究的模式已经突破那种“基础研究——应用研究——开发研究”的线性转化模式,形成了“基础研究、应用和开发研究相互作用、相互紧密缠绕的模式”,国际科学研究竞争战线前移,使得发达国家日益重视基础研究,基础

研究成果向应用和开发以及市场转化的周期加快,就是这三种研究非线性互动的结果,也是科学研究和技术创新领域的复杂性范式兴起的又一个证明。

其实,关于国家创新系统的研究,何尝不是一种从简单走向复杂的思维变革呢?从荷兰学者劳埃德·雷德斯多夫的三螺旋模型(即大学—产业—政府相互作用),<sup>[13]</sup>到国家创新系统的四元相互作用体系(大学、政府、产业、研究机构)或更多元的体系概念提出和实际运作,学者和各国政府都已经意识到,技术创新与制度创新是不可分割的相互作用机制。必须在科学研究和国家创新系统的建立过程中引入复杂性概念,进行复杂性方法论的思考。

来自自然科学和工程技术领域的复杂性探索意味着什么?它表明,复杂性探索代表着要改变历来进行科学探索的简单化、还原论方法,它意味着走向以复杂性科学的世界观和方法观察、认识世界和改造世界之旅的历程已经开始。

### 三 人文、社会科学各个领域复杂性研究及其范式的兴起

人文、社会科学领域有着比自然科学和工程技术领域更为复杂的复杂性问题,一方面,那种在自然科学领域起作用的客观复杂性仍然在起作用,另一方面,新的复杂性问题也涌现了出来。这首先是因为人文、社会科学领域已经在系统层次的意义进入到了生命系统中可以理解意义的人类系统层次上了。因此,原来在其他层次没有的意义复杂性,现在在这里凸现出来。因此,人类目的性、相互作用和组织结构、社会结构与演化等复杂性问题相互缠绕,交织,体现了从来没有过的、空前的复杂性。我们发现,复杂性的范式已经在人文、社会科学的若干领域凸出来。

#### 1. 文本、意义的哲学复杂性研究

首先,就意义而言,存在对文本意义的三种解读。

第一,文本自身意义观;即文本恒定客观意义的现象学观点。例如,现象哲学家胡塞尔认为,文本意义是一个意向性客体,它是一个先验自明、恒定不变的,存在于作家头脑中的思想客体。

现象学阅读方法持一种还原文本意义的方法,通过把作者、创作情况、作品的实际历史背景乃至读者的知识经验全都置入括号,存而不论,达成对文本的完全内在的理解,丝毫不受文本之外的东西影响。

第二,文本作者意图观;即文本意义是文本提供的客观意义和读者所赋予的主观意义的综合的解释学和诠释学观点。现代诠释学提出“视界融合”的阅读观和方法论,它承认意义的历史性,提出阅读的双向建构思想,认为作品与意义的人文关涉内在隐含了读者与历史的人文关涉,阅读是当下与历史的对话,是文本的历史视界与阅读视界、不同读者的阅读视界间的对话。

第三,文本的读者意义观;即文本不具备客观意义,意义不是来自文本,而是来自读者自身。解构主义哲学持这种观点。文本具有开放性,文本的意义是演化的。最典型的观点:意义没有确定性,它只是在无休止地漂浮。而且读者就

是复杂的。例如,艾柯把读者区分为:经验读者;隐含读者;标准读者;其次,意图也必然是更复杂的,例如,艾柯还把意图区分为:作品的意图和作者意图。以上各种意义事实上是在同一文本和意义的解读过程中交织在一起的,即复杂的复杂,是一种文本和意义的超循环形式的复杂性。<sup>[14]</sup>

那么意义复杂性的来源于何呢?话语或文字的意义之所以复杂,在于:

话语和文字背后隐藏着超语言信息,它们是:语境、背景知识、文化因素、比喻含义、俚语行话等,它包含有语用学(语境信息)、语义学(词汇有多种含义)、修辞学(隐喻)、词源学、词汇学、社会学(文化习俗)、心理学(行为意义)、文学、历史(典故)等。如汉语中的“饭桶”,未必是盛饭的桶,“眼红”未必是眼睛发红。

此外,还存在着超语言信息所带来的意义复杂性,与认识主体密不可分,这里的主体不再能够化为一般性主体。正是这点使得复杂性与管理复杂性有了本质性的区别。计算机的使用资源(空间或时间的)代价性复杂性是一种通用复杂性,而认识的复杂性则是具有个性的复杂性,这种复杂性不仅与主体间性有关,而且与主体的价值性、社会性有关。

最后,事物的意义不仅依赖于被表达的语言(编码)、传输的媒介和信息,而且也依赖于上下语境关系。简而言之,意义与传播的全部过程有关,它并不是只居住在其中一个部分或另一个部分中。作为一种结果的复杂性,不能被简单地看作这些系统孤立隔离的性质。无论哪种复杂性都更应该视为系统和它的交互作用的其他系统,包括观察者和控制者的一种联合的性质。

#### 2. 管理学与经济学领域中的复杂性范式

在管理学领域,过去复杂性是讨厌的事情,人们希望把复杂性简化,例如把进入组织前的多样性的员工通过训练改造成为有统一文化的单一性员工。而今天,那种组织单一化,包括组织文化单一化、把组织看成为“文化大熔炉”,使得多样性在这个熔炉中被冶炼成为统一文化的观念,正在让位于容纳多样性文化的观念,多样性正在成为新组织的特征。例如,在组织行为分析的许多著作中,著者都表达了复杂性正在成为组织和管理学的核心要素。如何适应复杂性管理正在成为管理学的最具挑战性的课题。在MIT的标准教材《组织行为与过程》中包含了引入混沌管理的思想;传统的、简单的、机械的组织正在让位于新的组织,而新组织的最显著特点,就是具备复杂性的组织。新组织的特性也都是组织复杂性的各个部分。

占据经济学的主流思维是建立在线性模型基础上的。线性、简单性是传统经济学的范式。这些特定假设减少了经济实在的复杂性,但却带来了经济的虚假性。事实上,经济学过程不是一个可以运用线性方程描述并且可以精确预测的复杂性过程。美国经济学家W.B. Arthur通过考察经济均衡和演化动力,提出了非均衡的、演化的非线性的复杂性经济学。例如,他指出,如果一个政府今天设法减少了出生率,那么十年以后就会影响到学校的大小和多少,二十年以后就会影响到国家的劳动力,三十年以后就会影响到下一代的人

口,六十年以后就会影响到退休的人数。均衡经济学的范式同样正在受到混沌研究的冲击;非线性、自组织、小涨落被放大,经济事件被锁定,正反馈效应,报酬递增和报酬递减规律在同时发挥作用,这样的观点正在被主流经济学家所接受。<sup>[15]</sup>

我们现在看到,资本市场的演化已经可以运用混沌、分形理论的工具进行分析和解释(见彼得斯《资本市场的混沌与秩序》,一般市场的演化和计划经济的发展,也被一些经济学家运用非线性科学和信息科学的工具加以描述。<sup>[16]</sup>我们也运用自组织理论观点解释过经济学的复杂性进化过程。<sup>[17]</sup>

这表明非线性和复杂性正在成为经济学的新范式。

### 3. 政治学和社会学领域中的复杂性范式

在政治学领域,那种不是敌人就是朋友的线性思维和单一政治关系行为,那种凡是敌人拥护的我们就要反对,凡是敌人反对的我们就要拥护的观念,也同样正在让位于多样化、复杂性的观念。

从微观角度看,我们可以观察到带着意向、信仰等等的一个个个体,但是微观角度出发的政治学来管理国家却会出问题,这种观点是典型的简单性思维产物。霍布斯比较早地应用牛顿思想把国家看成是由个体组成的整体,他在《利维坦》中描绘的“利维坦”就是由无数的个体组织起来的一个“人形”整体,这是一种线性政治思维的典型。从宏观角度看,国家、民族、市场和文化的发展就不仅是其组成部分之和,而是其中有着意向性活动的人的高度非线性复杂系统的自参照性的发展。政治和历史中的单极因果关系是错误的、危险的思维方式,可能会导致教条主义、偏执主义和空想主义。那种非此即彼的思维就是简单性的形而上学思维。

事实上,国际关系的变化、混乱和动荡,小涨落激励大变化,已经成为国际关系变化的常态。用机械决定论的眼光看待世界现今正在成为过时的现象。例如,[法]皮埃尔·阿兰在米歇尔·吉拉尔主编的《幻想与发明:个人回归国际政治》一书中就表达了这种国际关系复杂性的观点。

虽然社会学很少使用复杂性词汇,但是社会学处理的层次和相互作用之多:个体、群体、组织、社会、身份、作用……,它能够回避复杂性概念吗?

个体的多样性和变化性滋养着社会地位和身份的多样性,……这种个体的多样性不会由于偶然性(这是使社会解体的因素)而消散,而是以半随机的方式融合在等级制和不同的社会地位中;这给予了社会一定程度的自组织的伸缩性(有序-无序)。

社会通过建构组织,虽不断削减个人随机性、偶然性的复杂性,但却增加了社会组织的层次性,构成了整体上愈来愈复杂的、以庞大的组织复杂性为基础的社会结构。

## 四 复杂性思维的意义和方法

过于简单化从来都不会有好的、客观的、符合演化的结果,因为它把死板僵硬的外衣硬套在千变万化的事物上,因为它把自然连接在一起的东西分割得互不相干,因为它对大

自然所固有的混乱、矛盾和随机性因素持怀疑态度。复杂性思维不是不要简化的思维,更不是故意把事情复杂化的思维,复杂性思维是以新角度、新科学方法和工具为基础的对外在复杂性和内禀复杂性的简化描述,是保留事情真正的非线性性质的简化思维。

早期希腊哲学家“混沌”地猜测过混沌到有序的历程;笛卡儿玄学地提出过复杂性的涡旋宇宙演化模型;斯宾塞哲学地提出过生命结构进化的复杂性增长的观点;柏格森提出时间的复杂性演化与创造性问题;彭加勒从对三体问题研究得到了非线性结构,等等,这就是思维史中注意到复杂性或非线性的那些凤毛麟角、寥若晨星的典型。它们同样是复杂性思维方式的先驱和萌芽。

直到20世纪中叶以后,复杂性问题和非线性才受到思维发展的格外关注。20世纪后叶思维特别关注到非线性气象学蝴蝶效应研究、混沌研究、分形研究、非线性经济学研究和人类社会的复杂性研究。当然,非线性思维现在才在真正理论的意义受到重视。

非线性复杂系统的一般研究方法必须在自然科学和社会科学的结合中、在特定的观测、实验和理论条件下加以发展。复杂系统探究方式应该是一种跨学科的方法论。

复杂性、非线性解释并非万能的答案,复杂性、非线性也不是一种万能的钥匙,可以打开阿里巴巴式的知识宝藏大门。但它往往是一种更好的思考问题的方式。非线性思维比线性思维高明,第一,非线性现象远多于线性现象(KAM理论证明不可积系统的测度远大于可积系统的测度),非线性思维有其不可比拟的现实客观基础;第二,非线性思维对事物的认识,不会削去事物的本质特性,不像线性思维常常在简化过程中,把事物与其认识搞得面目全非。

### 结语:关于复杂性、非线性的研究所提出的一些非常有价值的观点

复杂性和非线性是物质、生命和人类社会进化中的显著特征。世界在演化,因此复杂性应该也必然是一种演化的性质,存在与演化在复杂性与简单性的相互关系中达到了新的统一。后演化的复杂性属性同样是基本属性的思想,这个观点充分表达了对演化实在和发展的尊重。简单性无法全面概括这个复杂性的新世界和新宇宙了。如同水不可还原为氢和氧一样,复杂性也不可还原为简单性。复杂性不可还原的思想更深刻地批判了线性思维的还原论基础。

复杂系统探究方式显示出大量的可能的进化,其方向难以预料,由随机涨落引起。全局的优化、收益函数是没有的,全局的选择函数也是没有的,其他简化的进化策略仍然是没有的,发生的只是一系列的接近分叉点的不稳定性。复杂的非线性世界没有唯一的预测和决策方法。复杂性的这些特性是极为重要的,但是复杂性并不意味着我们完全无法预测,复杂性理论告诉我们系统的短期行为还是可以预测的,例如一个股票市场可以预测的周期就不超过43个月。<sup>[18]</sup>

复杂性演化没有固定的限度。无论是在生物进化中,还是在社会文化的进化中,都没有固定的复杂性限度,只存在

不同复杂程度的吸引子,它们代表着一定相变阶段的亚稳平衡,如果一定阈值参量被达到或被超越,这些亚稳平衡就可以被打破。社会的结构稳定性也就与这些不同复杂程度的吸引子相联系。渐增的分叉导致复杂性程度增加,又进一步导致更复杂的分形和混沌。复杂性没有限度和具有相对性的思想表达的是非线性辩证法。

实际上,这个世界并不稳定,它充满了解构和结构、发散和内聚、以及复杂系统自我组织的内聚性进化、动荡和令人震惊的事情,复杂的世界既可预测又不可预测;复杂性正在被解读;复杂性的世界是一个令研究者不断产生新发现和激动的世界。复杂性的研究还远远并未完成,复杂性的范式也还在形成中。跨入 21 世纪的人类将在 20 世纪人类思想巨人的肩头,努力探索客观世界的各种复杂性,建构符合复杂性世界的复杂性认识论和方法论。

### 【参 考 文 献】

- [1] 见“Encyclopaedia Britannica”系统科学条目关于复杂性的解释。
- [2] <http://www.eb.com>.
- [3] <http://www.apnet.com>.
- [4] <http://www.tsinghua.edu.cn>.
- [5] Science, 1999, March 19.
- [6] Science, 1999, April 2.
- [7] Science, 1999, April 16.
- [8] Science, 1999, June 16.
- [9] 郝柏林. 复杂性的刻画与“复杂性科学”[J]. 科学. 1999 (3): 3 - 8.
- [10] <http://www.vahoo.com>.
- [11] K. Mainzer, Thinking in Complexity, Springer - Verlag, New York, 1997, 本书到处可见这种论述,已有中译本,曾国屏译,中央编译出版社,2000. 在再版著作中,作者又增添了关于交通和网络复杂性研究。
- [12] Robert W. Rycroft and Don E. Kash. The Complexity Challenge: Technological Innovation for the 21<sup>st</sup> Century. London; New York: Pinter, 1999.
- [13] 三螺旋模型来源于 <http://www.itoi.ufjf.br/thelix.htm>.
- [14] 见艾柯等著. 诠释和过度诠释[M]. 北京:三联书店, 1997. 11.
- [15] W. B. Arthur, Positive feedback in the economy, scientific American, February 1990, 262 p. 92 - 99.
- [16] W. B. Arthur, S. N. Durlauf, D. A. Lane, Eds., The Economy as an Evolving Complex System 11, Addison - Wesley, 1997.
- [17] 吴彤. 生长的旋律——自组织演化的科学[M]. 济南:山东教育出版社, 1996. 自组织方法论研究[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [18] E. E. 彼得斯. 资本市场的混沌与秩序[M]. 王小东译. 北京:经济科学出版社, 1999.
- [19] David Ruelle. Chance and Chaos, Princeton, Princeton University Press, 1991 p. 136 - 149.
- [20] <http://www.Sciencemag.org/>. Science, 1999 April 2. “复杂性”研究专辑,包括 Complexity in Chemistry, Life after Chaos, Complexity and the Nervous System, Complexity in Biological Signaling Systems, Complexity and the Economy, Complexity and Climate.
- [21] [美] M. 沃尔德罗普. 复杂[M]. 陈玲译. 北京:三联书店, 1997.
- [22] F. Cramer, Chaos and Order——The Complex Structure of Living Systems, VCH, New York, 1993. 已有中译本,柯志阳,吴彤译. 上海科技教育出版社, 2000.
- [23] W. B. Arthur, Positive feedback in the economy, scientific American, February 1990, 262 p. 92 - 99.
- [24] W. B. Arthur, S. N. Durlauf, D. A. Lane, Eds., The Economy as an Evolving Complex System 11, Addison - Wesley, 1997.
- [25] K. Mainzer, Thinking in Complexity, Springer - Verlag, New York, 1997.
- [26] [美] D. Ancona. 组织行为与过程[M]. 孙菲译. 沈阳:东北财经大学出版社, 汤普森国际出版集团. 2000.
- [27] D. Byrne, Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction, New York, Routledge, 1998.
- [28] 小威廉姆·E·多尔. 后现代课程观[M]. 王红宇译. 北京:教育科学出版社, 2000.
- [29] M. 吉拉尔. 幻想与发明:个人回归国际政治[M]. 北京:社会科学文献出版社, 1999.
- [30] E. E. 彼得斯. 资本市场的混沌与秩序[M]. 王小东译. 北京:经济科学出版社, 1999.

(责任编辑 郭晋风)