

CONG JIANDAN
DAO FUZA
FUZAXING KEXUEZHILU

从简单到复杂
——复杂性科学之旅

张军 ◎ 著

 首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press



CONG JIANDAN
DAO FUZA
FUZAXING KEXUEZHILU

从简单到复杂 ——复杂性科学之旅

张军 © 著



首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

从简单到复杂：复杂性科学之旅 / 张军著. —北京：首都经济贸易大学出版社，2018.3

ISBN 978-7-5638-2749-7

I. ①从… II. ①张… III. ①科学学—研究 IV. ①G301

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第000593号

从简单到复杂——复杂性科学之旅

张军 著

Cong Jiandan Dao Fuza: Fuzaxing Kexuezhilü

责任编辑 洪 敏

封面设计  视祥志远·激光照排
TEL: 010-65976003

出版发行 首都经济贸易大学出版社

地 址 北京市朝阳区红庙 (邮编 100026)

电 话 (010) 65976483 65065761 65071505 (传真)

网 址 <http://www.sjmcb.com>

E-mail publish@cueb.edu.cn

经 销 全国新华书店

照 排 北京视祥志远激光照排技术有限公司

印 刷 北京玺诚印刷有限公司

开 本 710毫米 × 1000毫米 1/16

字 数 255千字

印 张 14.5

版 次 2018年3月第1版 2018年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5638-2749-7 / G · 406

定 价 58.00元

图书印装若有质量问题，本社负责调换

版权所有 侵权必究

前言

复杂作为一个日常生活的用词，是相对于简单而言的。不管是现象、事物还是过程，你觉得它不好理解或难以胜任，它对你就是复杂的。作为学术用词，它亦没有一致的定义，但它更侧重于现象或事物的本质而不是规模，以区别于“繁杂”。简单和复杂是很主观的东西，对一些人简单的，对另一些人却可能是复杂的，反之亦然；它们也是有时效的，过去认为是复杂的，今天可能是简单的，过去认为是简单的，今天却发现了其中的复杂之处。

繁杂的东西可能成分很多，关系很多，但费点时间和气力还是可以缕清的，而真正复杂的东西有“缕不清，理还乱”的感觉。相对于繁杂，复杂是一种本质性的东西，难以完全约简。从某种意义上，科学上已知的都是简单的，未知的都是复杂的。

复杂是从来就有的，过去有，今天有，未来还会有。对于复杂性，科学探索永远不会止步于有神论和不可知论的简单解释。本书力图弘扬一种科学精神。科学探索就是从看似复杂的现象和事物中找到规律，从而尽量将其转化为繁杂或简单，走出无知。每个时代都有科学家或因为自信或因为进展缓慢，开始怀疑科学研究是否即将终结。但每一次，就像某种宿命一样，新的颠覆性的科学发现会暂时性地终结这种怀疑，将科学研究推向新的高地。似乎今天比任何时候，科学探索都更加迫近极限：除了尚未知的领域，科学探索可能已经接近全部的科学事实。

新的颠覆性的科学在哪里？每个科学领域都在思考着这个问题。路在何方？毫不夸张地说，计算机的发明开启了科学研究的新征程。正是，山重水复疑无路，柳暗花明又一村。

计算理论的出现、计算机的发明，以及迅速发展起来的相关技术能力，不仅极大地提升了人们计算、信息管理以及辅助决策的能力，而且对科学研究的路径和方法产生了深刻的影响。它们不仅从工具的角度改善了传统研究的工作条件，更重要的是，它催生了一类基于计算的新兴研究方向，使人类产生了对自然和社会新的认知，展示了新的、过去条件下不可想象的科学愿景。

复杂性科学就是这样一种新的科学愿景。一些跨领域的科学家走到了一起，带着各自领域的科学事实，共同提出了一个重大的科

学命题：是否存在一种“复杂性”的普适规律，以便从本质上解释各种从简单到复杂的穿越过程。

复杂性科学注定是一门不简单的科学。复杂性科学采用自下而上的分析方法重新审视了物理、化学、生物、人工系统等领域的复杂现象，用计算机建模与仿真演绎了从简单到复杂的动态过程，取得了一系列科学突破。动态系统混沌、元胞自动机、复杂适应系统、遗传算法、复杂网络等研究方向逐渐确立，其理论和应用受到广泛关注。

复杂性科学的发展也日益渗透到人文社会科学领域。也是在这些领域，科学认知没有形成像自然科学那样坚固的理论基础。它作为一种新思路、新方法和新途径承载了众多科学工作者的热情和期待。过去的几十年，关于复杂性科学及相关研究的学术著作、论文和科普读物，一直保持着相当的数量和相当的热度，而实际上，复杂性科学的理论和方法依然支离破碎，想法很多，办法很少，希望越大，失望也越大，其科学性也不断受到质疑。

尽管如此，复杂性科学对未曾涉足的人来说还是充满魔力的。在遇到艰难问题的时候，特别是当所有思路都枯竭的时候，你会不会想，复杂性科学也许就是解决方案。近几年，在我参与评审的项目中，复杂性科学成为一个高频词，但深入的研究和应用甚少。在

科学的汪洋中，没有航标，我们会迷失，迷失后动力将耗尽。我写这本书，是想与大家分享我在复杂性科学领域学习和研究的心得，让曾经迷失的我与你们结伴，找到自己科学研究的航标，起航和远航。

让我们从这里开启复杂性科学之旅。

关于 本书

本书分为六章。第一章重点阐述复杂性科学的内涵和外延。第二章是关于确定性混沌，极简的动态系统表现出不可思议的随机特征；第三章论述了空间复杂性，以元胞自动机为主，简单介绍了分形理论；第四章以进化论为背景，探讨了由随机性到复杂性的自然选择，简单介绍了遗传算法、布尔网络、复杂系统网络等内容；第五章对大脑和智能进行了讨论，简单介绍了人工神经网络。第六章研究了以自主主体构成的复杂适应系统，阐述了适应性造就复杂性的观点。

作者试图在庞杂的内容中梳理出一般性的规律，但不同的复杂性视角使得这种努力变得很困难。确定性和随机性，非生命系统和生命系统，无自主性主体和自主主体是读者在研读中需要特别关注的。目前的认知到终极的统一理论还有很长一段路要走。

复杂性本来就复杂，用书籍以平面的方式去展示并不是太合适的。系统的动态性需要动态去体会，才能将理论落地到实践上。为此，作者编写了大多数模型的程序，源代码免费提供，帮助读者在阅读之余可以自己观察和体会。相信作者的这项工作能有积极的效果。

书中的引用较多，每章最后都附有参考文献。大多数引用都对原文进行了核实，尽管如此，疏漏和错误还是在所难免。书中涉及的人物也较多，在附录A中按拼音顺序列出人名和简单介绍，便于读者进行中英文对照查阅。外国学者的中文译名主要依据维基百科，没有权威译名的保留了英文名。

致谢

本书的撰写查阅了大量的资料，作者尽最大可能地标注了文献的直接引用，个别地方因出处不祥，保留了间接引用。即便如此，引用疏漏和不准确也在所难免。外文原文和人名的翻译参考了网络上可检索到的译文，还有一些是作者的翻译，仅供参考。在此对所有引文作者，已故的和在世的，表达敬意、谢意和歉意。

本书的撰写主要是利用作者工作之余的碎片时间完成的，历时大约1年时间。在这期间，漫长的写作得到了家人的暖心支持，在此向我的妻子范玮和女儿张京表达由衷的感谢。

本书的编辑、校对和出版得到了出版社杨玲社长和薛捷的编辑团队的特别呵护，他们的敬业精神和出版情怀对作者是一种无形的

激励。我的博士生滕宇帆同学参与了校对工作。在此一并向他们表达深深的谢意。

本书的出版得到了北京市科研创新团队项目的支持。

目录

1

导论 / 001

1.1 科学的新愿景 / 003

1.2 什么是复杂性科学 / 009

1.3 涌现即复杂性 / 013

1.4 哲学思考 / 017

1.5 研究方法和手段 / 019

1.6 质疑与未来展望 / 024

参考文献 / 026

2 动态系统的确定性混沌 / 031

- 2.1 逻辑斯蒂映像 / 033
 - 2.2 混沌理论的出现 / 038
 - 2.3 逻辑斯蒂映像的进一步分析 / 041
 - 2.4 复杂性从何而来 / 046
- 参考文献 / 050

3 空间复杂性和元胞自动机 / 053

- 3.1 分形——混沌的空间形状 / 055
 - 3.2 湍流——未决的科学问题 / 059
 - 3.3 生命游戏 / 063
 - 3.4 元胞自动机——空间的概念模型 / 067
 - 3.5 沃尔弗拉姆的工作 / 070
 - 3.6 虚拟蚂蚁 / 075
 - 3.7 宇宙就是计算 / 078
- 参考文献 / 080

4 从随机性到复杂性 / 083

- 4.1 物种起源和进化论 / 085
- 4.2 基因和DNA / 089
- 4.3 随机性、复杂性和进化系统 / 092
- 4.4 进化计算和遗传算法 / 095
- 4.5 自组织——免费的秩序 / 101
- 4.6 布尔网络 / 106
- 4.7 关于幂函数关系——幂律 / 108
- 4.8 复杂网络理论 / 111
- 参考文献 / 113

5 智能和神经计算 / 119

- 5.1 大脑、智能、人工智能 / 121
- 5.2 情感、心灵、意识和其他 / 126
- 5.3 大脑的生物学机理 / 130
- 5.4 生物神经网络 / 133
- 5.5 人工神经网络 / 137
- 5.6 科兹威尔的模型 / 140
- 5.7 生物学的启迪 / 141
- 参考文献 / 144

- 6 适应性造就复杂性 / 147**
 - 6.1 动物的群体现象 / 149
 - 6.2 谢林的种族隔离模型 / 152
 - 6.3 爱尔·法罗酒吧 / 157
 - 6.4 糖域模型与生成性社会 / 161
 - 6.5 复杂适应系统 / 165
 - 6.6 分析方法——多主体系统方法 / 168
 - 6.7 经济学与复杂性 / 173
 - 参考文献 / 178

附录A 人物 / 183

附录B 源代码介绍 / 205

附录C 名词索引 / 207

导论

1

最伟大的科学成就来自于对表面上复杂的自然进行细微的观测和优雅的简化，从而揭示其内在的简单性。而我们所犯的最愚蠢的错误却又常常是因为对现实的过度简化，接着发现它远比我们所认识的要复杂。

约翰·巴罗^[1, 2]

在已有的科学领域，过去的一个世纪或更长时间内，研究重点更多地放在系统的分解、找到组成部分，然后试图尽可能分析它们的每个细节。特别在物理学领域，这种方法取得了足够的成功，迄今组成日常系统的基本成分已经完全清楚。但是这些成分共同作用所产生的总体行为，以及我们过去从总体行为中观察到的最明显的特征依然几乎是完全的谜团。

史蒂芬·沃尔弗拉姆^[3]

科学已经探索了微观世界和宏观宇宙，我们对它们的基本知识已经有很好的了解，伟大的未探索的前沿就是复杂性。

海因茨·佩吉^[4]

我认为下个世纪（21世纪）将是复杂性的世纪。我们已经发现了物质的基本定律和理解了所有的正常情形。我们不知道的是这些定律如何共同起作用和在极端情形下会发生什么。但是我希望在本世纪某个时间找到一个完整的统一理论。

霍金^[5]