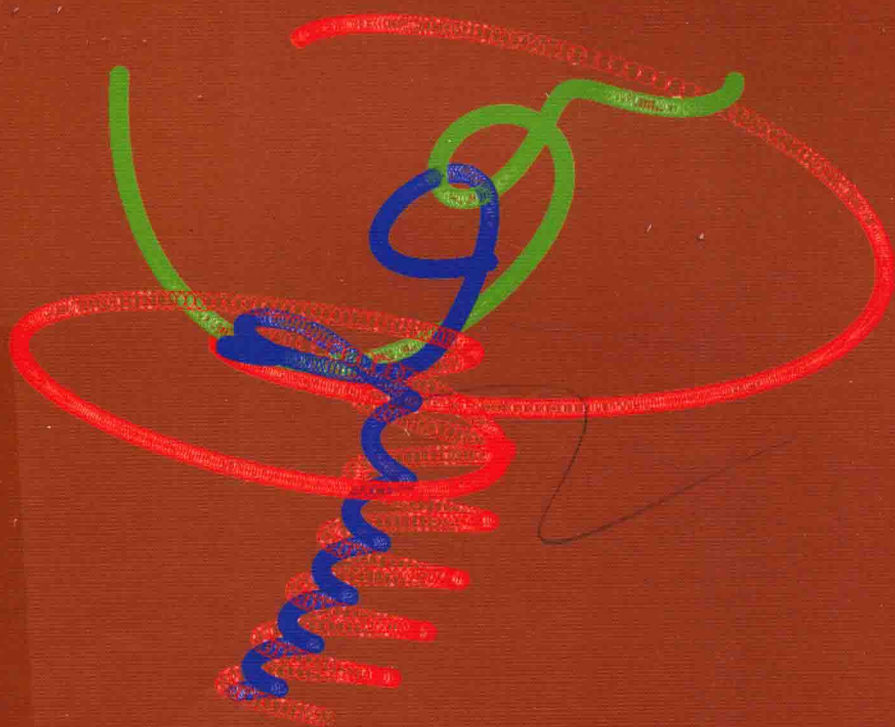


复杂性科学丛书

复杂性之美

吴今培 李雪岩 赵 云 ◎ 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

复杂性科学丛书

复杂性之美

Beauty of complexity

吴今培 李雪岩 赵 云 著



北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

这是一本富有时代感的书，也是一种方法论和认识论，比你想象中的要有趣！

探索和理解复杂性，将对人们的思维方式产生深刻的影响，帮助人们建立一个全面系统的世界观。本书通过揭示复杂性很多有趣的特性，用通俗易懂的语言介绍了复杂性理论中的基本概念、思维方法、主要工具、研究前沿和研究线索，使读者从中感受到复杂性之美，理解社会各个领域种类繁多的复杂现象。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂性之美 / 吴今培, 李雪岩, 赵云著. — 北京: 北京交通大学出版社, 2017. 7
ISBN 978 - 7 - 5121 - 3070 - 8

I. ① 复… II. ① 吴… ② 李… ③ 赵… III. ① 复杂性理论 - 研究 IV. ① N941.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 298930 号

复杂性之美

FU ZA XING ZHI MEI

出 版 人: 章梓茂

责任编辑: 郭东青

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010 - 51686414

<http://www.bjtu.cn>

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京艺堂印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170 mm × 240 mm 印张: 15 字数: 232 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5121 - 3070 - 8/N · 9

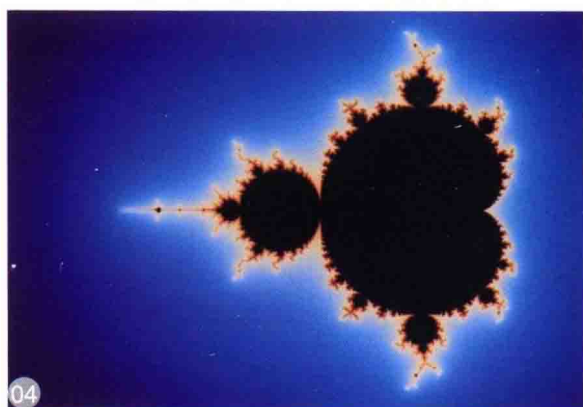
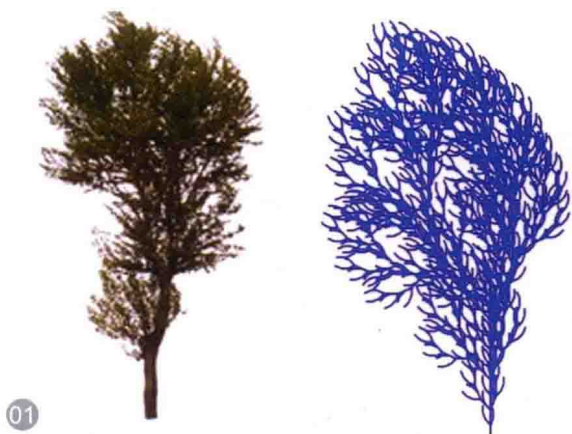
印 数: 1 ~ 2 500 册 定价: 59.00 元



插页

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。

投诉电话: 010 - 51686043, 51686008; 传真: 010 - 62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

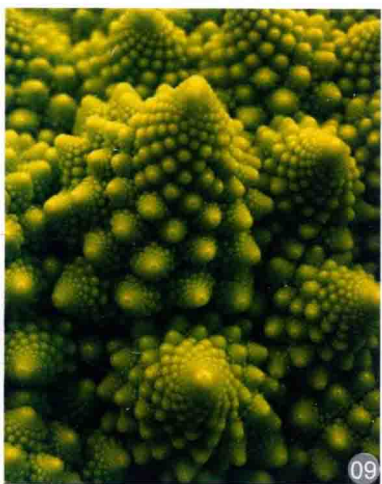
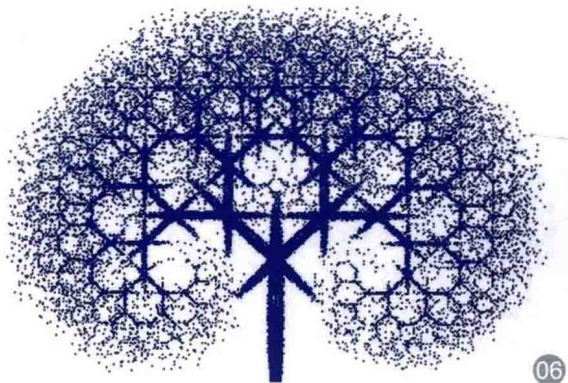
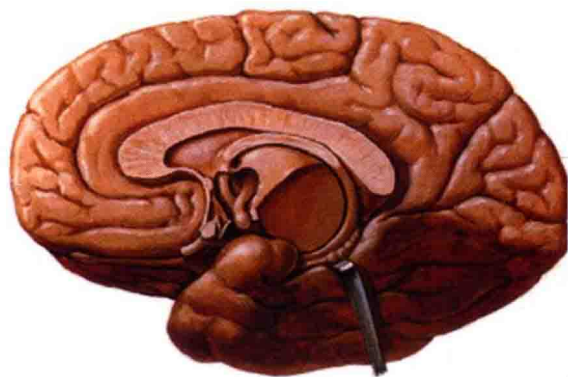
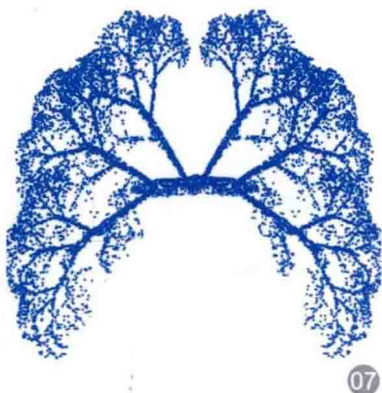


乔木及其L-系统仿真图形 01

树及其IFS仿真图形 02

蕨类植物叶片及其IFS仿真图形 03

04 芒德布罗集分形图形



05
渐变与变异的分形图形

07
人肺分形结构图形

08
分形图中的秩序与随机

大脑分形结构图形

06

罗马花椰菜与黄金螺旋

09



的个体，如何在宏观层面上趋于均衡，形成结构复杂的全球市场，这就源自市场的自组织行为（或“看不见的手”），它产生自无数买卖双方的微观行为。又如，每个人都看不到互联网网络的全貌，只是简单地发布网页并将其链接到其他网页，但网络在整体上涌现出一些出人意料的宏观特性等。这些问题正是通过揭示复杂性的本质，使人们豁然开朗。

（3）本书与复杂性研究的专著不同，书中没有铺陈深奥的数学知识。因此，本书可以面向更为广泛的读者。不仅可作为本学科初学者的入门书，而且对于希望了解复杂性科学的人文科学工作者也适用。

《复杂性之美》一书，内容精当，浅显易懂，是探索复杂性的最佳通识读物。本书第一作者吴今培教授是我的良师和益友，借此书出版之际，谨向他 55 年教育和科研生涯表示诚挚的祝贺！并且相信《复杂性之美》的出版，将会为传播复杂性科学的思想和方法发挥积极作用。

科学研究好比登山，你对复杂性想不想探索一番呢？让我们出发吧。

大连交通大学校长

北京交通大学教授、博士生导师

李学伟

2016 年 6 月 18 日于北京

P 前言

reface

21 世纪，一大批空前复杂的问题摆到了人类面前，我们面临着政治、经济、社会和环境等诸多方面的挑战。科学家们正在探索这样的问题：是否存在普遍理论能够帮助我们理解种类繁多的复杂现象？复杂性研究是一门新兴的高度综合性的科学，其目的就是要回答上述问题。正如裴杰斯（H. Pagels）在其著作《理性之梦》（*The Dreams of Reason*）中所说：“科学已经探索了微观和宏观世界；我们对所处的方位已经有了很好的认识。亟待探索的前沿领域就是复杂性。”

过去用数学给出世界完美的描述，我们很陶醉，以为已经认识了世界。但世界其实很复杂，并非是线性确定性的。偶然的小情况可能累加放大为决定性的大事件，影响整个历史进程；过去认为数学方程只能在整数维下求解，但分形可以在小数维下求解，而且更精密；过去我们总是采用自上而下的分解分析方法认识问题，并长期在科学发展中发挥威力，然而复杂性研究却提出了一种自下而上的自组织涌现方法。两者看起来是对立的，但正好体现了一个完整思维。总之，复杂性研究的兴起，标志着人们对客



观世界认识的深化：从感性到理性、从特殊到普遍、从局部到整体、从简单到复杂，人类的认识以螺旋式推进发展，越来越接近世界的本原。

本书用通俗易懂的语言，深入浅出地从涌现、自组织、混沌和分形行为产生的角度来揭示复杂性的很多有趣的特性，使读者从中感受到复杂性之美，接受复杂性思维的熏陶。最后，书中还对复杂信息处理的相关内容做了介绍，让读者了解当前的一些发展动态和研究线索。与复杂性研究的专著不同，书中没有铺陈深奥的数学知识，是前沿与通俗的有机结合。因此，本书可以面向更为广泛的读者，尤其对非专业人士会有价值。

作者在撰写本书过程中，参考、引用和融合了大量国内外相关领域的文献论著及研究成果，同时也加进了作者多年从事教学科研工作的一些思考成果。作者在此对书中所涉及的专家、学者表示衷心的感谢。其次，还要特别感谢北京交通大学出版社章梓茂社长，他的悉心指导和鼎力相助，才让本书得以顺利出版。同时还要感谢责任编辑郭东青女士对本书出版所做的贡献。

中国科学院院士、华中科技大学熊有伦教授，中国工程院院士、石家庄铁道大学杜彦良教授，著名数学家、中南大学侯振挺教授，福建工程学院校长蒋新华教授，分别为本书写了推荐语（见封面），给予作者极大的鼓励与支持，在此特向四位专家表示衷心的感谢！

在探索复杂性的道路上，本书只是一块问路之石，引玉之砖。读者在繁忙的学习、工作之余，还能卒读这本小册子，在此作者深表谢忱。同时，热切期望能得到每一位读者的赐教与指正。

吴今培

于 2016 年 3 月 4 日

信息处理与系统理论著作

- 《复杂性之美》（北京交通大学出版社）

吴今培 李雪岩 赵云 著

- 《实用时序分析》（湖南科学技术出版社）

吴今培 著

- 《系统辨识》（中国铁道出版社）

吴今培 主编

- 《模糊诊断理论及其应用》（科学出版社）

吴今培 著

- 《智能故障诊断与专家系统》（科学出版社）

吴今培 肖健华 著

- 《现代数据分析》（机械工业出版社）

吴今培 孙德山 著

- 《系统科学发展概论》（清华大学出版社）

吴今培 李学伟 著

- 《实用元胞自动机导论》（北京交通大学出版社）

李学伟 吴今培 李雪岩 著

- 《智能车辆定位导航系统及应用》（科学出版社）

张其善 吴今培 杨东凯 著

C 目录

Contents

第1章 复杂性概要

1.1	复杂性	2
1.2	探索复杂性的意义	8
1.3	复杂性思维	9
1.3.1	整体思维	10
1.3.2	非线性思维	13
1.3.3	关联思维	16
1.3.4	辩证思维	17
1.4	复杂性思维的意义	22
	本章参考文献	24

第2章 涌现之美

2.1	涌现的含义	26
2.2	涌现的主要特征	29



2.3 涌现的启示	32
2.4 雁群的涌现行为	35
2.5 蚁群的涌现行为	38
2.6 多智能体的涌现行为	41
本章参考文献	45

第3章 自组织之美

3.1 自组织现象	49
3.1.1 旋涡	49
3.1.2 激光	50
3.1.3 化学振荡反应	50
3.1.4 人的成长	51
3.2 自组织的内涵	53
3.3 自组织的条件与机制	55
3.3.1 自组织的条件	55
3.3.2 自组织的机制	61
3.4 自组织理论的建立与发展	63
3.4.1 自组织理论的建立	63
3.4.2 自组织理论的发展	74
3.5 自组织理论研究的启示	76
3.5.1 自组织理论的哲学思想	76
3.5.2 经济系统的自组织理论	78
3.5.3 自组织理论对管理思想发展的影响	81
3.6 自组织的实践意义	84
本章参考文献	85

第4章 混沌之美

4.1 从牛顿到庞加莱	89
-------------------	----



4.1.1	钟表般的世界	89
4.1.2	国王的奖金	90
4.1.3	三体问题——初始值的作用	92
4.1.4	神秘的“三”——内生随机性	94
4.2	从哲学到科学	100
4.2.1	哲学视角下的混沌	100
4.2.2	现代混沌科学的起点——洛伦兹的实验	101
4.2.3	预测的难题	103
4.3	从浪漫到理性	104
4.3.1	隐形的翅膀——奇异吸引子	104
4.3.2	洛伦兹吸引子	105
4.3.3	洛伦兹系统族	106
4.3.4	多翼吸引子	108
4.3.5	“蝴蝶结”吸引子	109
4.3.6	“摇椅”吸引子	110
4.4	从混沌到混沌边缘	111
4.4.1	元胞自动机与 Langton 参数	112
4.4.2	混沌边缘造就完美的优化	115
4.5	回归哲学	116
4.5.1	有序与无序的对立统一	116
4.5.2	必然性与偶然性的对立统一	117
4.5.3	简单性与复杂性的对立统一	118
4.5.4	初始条件敏感性对人生的启示	118
4.5.5	混沌的美	118
4.6	结语	120
	本章参考文献	120



第5章 分形之美

5.1	分形的思想史与起源	125
5.1.1	古代哲学中的自相似	125
5.1.2	历史的维度观	126
5.2	分形的定义与分维的科学意义	127
5.2.1	分形的科学定义	127
5.2.2	分维及其意义	131
5.3	分形的自然之美	135
5.3.1	大自然中的分形	136
5.3.2	人体中的分形之美	141
5.4	分形的哲学之美	144
5.4.1	分形简化和事物的新方法——迭代法	144
5.4.2	分形中的辩证之美	147
5.4.3	分形美学	152
5.5	结语	155
	本章参考文献	156

第6章 复杂信息处理

6.1	不确定信息处理	158
6.1.1	两种对立的科学观：机械决定论与辩证唯物论	160
6.1.2	不确定性的数学描述	162
6.1.3	随机不确定性的数学处理方法	167
6.1.4	模糊不确定性的数学处理方法	172
6.1.5	粗糙不确定性的数学处理方法	177
6.1.6	结语	184
6.2	大数据处理	185
6.2.1	大数据时代翩然而至	185



6.2.2	大数据时代的新思维	188
6.2.3	大数据时代的商务智能	194
6.2.4	云计算、物联网与智慧城市	200
6.2.5	大数据面临的机遇与挑战	203
6.3	复杂系统建模	204
6.3.1	建模方式的演变	205
6.3.2	解析计算与规则计算	206
6.3.3	复杂系统主要建模思想及代表性工具	208
6.3.4	复杂系统的一般建模流程	213
6.3.5	复杂系统建模的难点	218
本章参考文献		219
后记		220

1. 简单性与复杂性

重复使用简单规则，可形成或称为复杂的有序或性状，例如，一维演化：

$$x_{n+1} = 2x_n \quad (1.1)$$

在这里， x_n 只有一个变量 x_n ， $f(x)$ 是一个已知函数，给定初始值 x_0 ，利

用数学归纳法可证明 x_n 是 x_0 的函数，即由 x_0 决定 x_n 的值。可证明 x_n 是 x_0 的函数，即由 x_0 决定 x_n 的值。

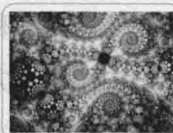
如果 x_n 是 x_0 的函数，那么 x_n 是 x_0 的函数，即由 x_0 决定 x_n 的值。

回到一维演化，由 x_0 决定 x_n 的值，即由 x_0 决定 x_n 的值。

重复使用简单规则，可形成或称为复杂的有序或性状，例如，一维演化：

第 1 章

复杂性概要





在人类的大脑中，吸引人们关注的，往往是直线，而非曲线；是整数，而非分数；是整齐划一，而非参差不齐；是确定有序，而非神秘莫测。但是，现实世界是纷繁复杂的、非线性的，又是动态变化的。在某一瞬间，它是一种状态，但到了下一时刻，它又是另一种状态。谁也不知道它要到什么地方去，根本无法精确地预测，也算不出平衡点。它是自组织的，始终处于进化之中。它同时演化出了统一性和多样化。正是由于这些原因，我们栖息的世界才如此变化万千，异彩纷呈。同时，我们本身也是从动态复杂系统中进化而来，被复杂性所塑造，并且处于复杂系统的结构之中。总之，今天世界的发展变化，无论是宏观领域还是微观领域；无论是生物的繁衍进化，还是人类社会的延绵发展，我们处处见到的都是不断增加着复杂性和多样化的过程。实际上，我们是生活在一个复杂性的世界之中，生命和物质在这个世界里不断演化。为此，科学不再局限于理想化和简单化情形，而是要反映现实世界的复杂性。

1.1



复杂性

什么是复杂性？

它是一个很难说清楚的概念，目前尚无统一的定义。从 19 世纪以来，科学上熵与信息这两个概念曾经令人难以说清，今天复杂性则是第三个难以说清的概念。虽然复杂性是一个不易把握的概念，但是，它的一些基本特征还是可以把握的。

复杂性的基本特征如下。