

[丹麦] 帕·巴克 著
李 炜 蔡 勖 译

大自然 如何工作

HOW NATURE WORKS

华中师范大学出版社

大自然如何工作

——有关自组织临界性的科学

(丹麦) 帕·巴克 著
李 炜 蔡 勳 译

华中师范大学出版社
2001年·武汉

(鄂)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

大自然如何工作/(丹麦)帕·巴克 著 (中国)李炜 蔡勳 译
—武汉:华中师范大学出版社,2001.6.

书名原文:How Nature Works

ISBN 7-5622-2421-8/N·3

I. 大 II. ①巴… ②李… ③蔡… III. 自然科学—普
及读物 IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 025346 号

大自然如何工作

(丹麦)帕·巴克 著

© (中国)李炜 蔡勳 译

华中师范大学出版社出版发行

(武昌桂子山 邮编:430079)

新华书店湖北发行所经销

武汉市恒吉印刷厂印刷

责任编辑:祝翠轩

责任校对:罗少琳

封面设计:自在

督 印:姜勇华

开本:850 mm×1168 mm 1/32

版次:2001年6月第1版

印数:1-3 000

印张:7 字数:182千字

2001年6月第1次印刷

定价:12.00元

本书如有印装质量问题,可向承印厂调换。

谁又能计算出一个分子的行程呢？我们怎
能知道星体不是陨落的沙粒形成的呢？

——维克多·雨果《悲惨世界》

译者序

丹麦科学家帕·巴克(Per Bak)的划时代巨著《大自然如何工作》于1996年由纽约 Copernicus 出版社出版,该书的英文书名为 How Nature Works,副书名为“有关自组织临界性的科学”。

1997年夏季,我应德籍华裔物理学家孟大中先生的邀请,访问德国柏林大学理论物理研究所。他跟我谈到当年春季来访的巴克先生和巴克先生的书。引起我的注意并非仅以这部畅销书的书名骇世惊俗,而是其一,巴克与他的合作者汤超(Tang Chao)和克特·威逊费尔德(Kurt Wiesenfeld)于十年前在《物理学评论快报》(Physical Review Letters)杂志上发表的重要论文“自组织临界性: $1/f$ 噪声的一种解释”(Self-Organized Criticality: An Explanation of $1/f$ Noise)首先提出自组织临界性(SOC)的思想以来,竟有成千上万篇的论文援引,成为当时被引用最多的学术文献之一;其二, SOC 作为关于大自然复杂行为中的一种新的物理规律,竟能涉及如此广泛的研究领域:岩层与地貌形成,河网与海湾结构,地震与火山爆发,星震与星云塌陷,黑洞与日辉耀斑,夸克与胶子团簇,生态与物种灭绝,变异与生命进化,噪声与全球变暖,人口与环境污染,大脑与神经网络,市场与价格波动,股票与金融危机,城市与交通堵塞,等等;其三,巴克等人的 SOC 的基本思想这么简单明了,竟用不着通俗化就足以使非专业的读者看懂。于是,我把巴克先

生的英文版原著带回了中国,并与我的博士研究生李炜合作翻译,成为了读者手中的这本中文版译著。

这里,我特别感谢孟大中先生的引荐和有利的帮助。感谢巴克先生允许我们在中国出版他的书的中文版,感谢巴克先生专门给中国读者写序。巴克先生的最重要的合作者之一,汤超先生,是一位年轻有为的华裔科学家,阅读了全部中文译稿。在翻译过程中,得到了冯端院士的关心。本书的出版得到了华中师范大学出版社负责人吴柏春教授的全力支持。

有一件有趣的事:巴克的英文版原著的扉页印有十九世纪法国文学大师维克多·雨果的巨著《悲惨世界》中的一段话。一开始我十分惊奇,为了使这段话的中文翻译确切,专门去图书馆借来《悲惨世界》的中文译本,共五册,是人民文学出版社1980年12月北京版的李丹先生的译作。这是我许多年以后再次阅读这本名著,并在书的第三卷第三节找到了这段话。之后,我在逛书店时,又发现了由北京燕山出版社1999年8月北京版的李玉民先生的新译作,分上下两册。在下册的第597页上写着:“谁又能计算出一个分子的行程呢?我们怎么能知道星体不是陨落的沙粒形成的呢?谁又能够了解无限大和无限小相反相成,始因在物体的深渊中回响,以及宇宙形成时的大崩溃呢?一条小虫也不容忽视,小即大,大即小;在必然性中,一切都处于平衡状态;对思维来说,真是骇人的幻象。在生物和物体之间,有奇异的关系;在这永不穷尽的整体中,从太阳到蚜虫,谁也不能藐视谁,彼此都相互依存;阳光不会将地上的芳香带上碧空,夜色也将星体的精华散发给睡眠中的花朵。飞鸟的爪子无不系着无限世界的绳索。万物化育,会因一

颗流星的出现、乳燕的破壳而变得复杂,并同样导引一条蚯蚓的出生和苏格拉底的问世。望远镜丧失效力之处,显微镜则开始起作用。哪一种视野最广呢?选择吧。”

是以为译者序。

蔡 勛

2000年1月

于武昌桂子山

给中国读者的话

为什么我们所处的世界如此复杂,而物理规律却如此简单?为什么大爆炸导致复杂性不断增加,地球上有了生命,产生了具有大脑的人类,最终形成了复杂的社会,而不是像通常的爆炸那样产生一些简单的气体粒子?我们在新世纪将要面临这样的重大问题。

关于自组织临界性(SOC)的科学表明,复杂系统在远离平衡的临界态上运作,以阵发的、混沌的、类似雪崩的形式演化,并不像通常以为的那样遵循一种平缓的、渐进的演化方式。地震、大灭绝,还有人类的工业革命和社会变革,都是这样的雪崩式演化。

这个理论是由汤超、克特·威逊费尔德和我本人于十多年前提出来的,并且已被广泛应用于诸如太阳耀斑、火山爆发、经济学、生物演化、湍流以及传染性疾疾病如麻疹的传播等现象中。从那时以来,已有成千上万篇关于这个理论的学术论文陆续发表。

用来模拟这些千变万化的现象的模型是如此简单,以至于几乎每个人只需凭直觉就能推测出模型所能展现的行为。沙堆模型展现了一堆沙中沙崩的形成。生物进化模型展现了有着相互作用的生态系统的演化。只要有一台微机,你就能够通过编程来领会由简单的局域相互作用如何导致有组织整体动力学。

我非常激动地看到我的书已经被翻译成中文。我十分感谢蔡勛教授和他的学生李炜以及华中师范大学出版社负责人吴柏春教授,因为从我的朋友及同事汤超教授那里得知,他们为这本书的付梓做了大量杰出的工作。复杂性科学还处于萌芽阶段,但我打心

底里相信它将是新世纪的科学。我真诚希望这本书能够激发中国的广大读者尤其是青年朋友们对这个新奇领域的兴趣,因为他们是这个不断进步着的、伟大的、前程远大的东方民族的精髓和希望所在。

自组织临界性不是复杂性的全部,但它或许打开了通向复杂性科学的第一扇大门!

帕·巴克

2000 年元旦

于哥本哈根,尼尔斯·玻尔研究所

汤超来信

蔡勛教授和李炜博士：

你们好！

随信附上的是我为你们的译作写的一点东西。请阅后告知是否合适，因为我好久没用中文了。如有不当的地方，我会修改。

很高兴你们给了我这次机会，让我为巴克教授的书在中国的出版尽一点绵薄之力。很抱歉我没能更早地做这件事，但愿现在还不算太晚。

祝好！

汤超

2000年6月

于普林斯顿

附：

很高兴巴克教授的这本书在蔡勛教授和李炜同学的努力下被译成了中文，使它得以和更多的读者见面。自1987年我们提出自组织临界性的概念和理论，虽然已经过去了十几年，可每当我打开这本书，那些在布鲁克海汶实验室的日日夜夜又都会浮现在我的脑海，让我怦然心跳，激动不已。

在现代科学的对象由平衡系统到非平衡系统、由简单系统到

复杂系统的划时代转变中,自组织临界性的理论是一种新思维、新尝试。巴克教授将这一理论及在一些领域中的应用以近乎说故事的方式深入浅出地介绍给大家,使此书的可读性极强。我希望此书能像巴克教授所期望的那样,进一步激发读者尤其是青年朋友们对大自然的热爱,对科学的兴趣和热情。也希望读者们能从中领略到从事科学研究的极大乐趣。

前言与致谢

自组织临界性是观察大自然的一种新方法。其基本的图像是,大自然在某处永久地偏离平衡,却又被组织在一种稳定状态中——一种临界状态:各种事情都能按照完全确定的统计规律发生。自组织临界性的科学的研究目的,是为了回答这样的基本问题,即大自然为什么是复杂的,而不是像物理规律所显示的那样简单。

自组织临界性解释了大自然中存在的看来相当复杂的某些普遍存在的结构。分形结构和灾变事件是其中较为常见的两种表现形式。其应用范围可以从脉冲星和黑洞的研究到地震和生命的演化。理论中一个有趣的结论是,灾变会无缘无故地发生。不需要任何外部的触发机制,大灭绝也会发生,譬如火山爆发或者陨石撞击地球(尽管理论上不能排除这些现象实际发生的可能)。

自从我们于1987年首先提出这个思想以来,已有2000多篇关于自组织临界性的论文发表,这使得我们的论文成为那个时期在物理学领域被引用最多的文献。《大自然如何工作》是针对这个课题的第一部著作。其基本思想很简单,实现理论所采用的大多数的数学模型也不复杂。只要稍微懂一点计算机的操作并拥有一台PC机,任何人都可以自己建立模型去证明其预言,通常不需要高于普通高中的数学知识,有些计算机程序可以从Internet网上获取。某些沙堆实验做起来不太费力,也不用花太大的代价,读者自己都可以试一试。与物理学中的其他课题不一样,用不着通俗化,自组织临界性科学的基本思想已简单到足以为非专业的读者

所理解。

许多朋友和同事在我从事研究和完成本书两方面都给予了帮助。科学变得非常有乐趣——我特别要感谢 Kurt Wiesenfeld 和 Chao Tang, 我与他们合作建立了初期的思想;感谢 Kan Chen, Kim Christensen, Maya Paczuski, Zeev Olami, Sergei Maslov, Michael Creutz, Michael Woodford, Dimitris Stassinopolous 和 Jose Scheinkman, 他们参加了随后的研究, 并把这个思想引入生活, 应用到大自然的许多不同现象。感谢 Elaine Wiesenfeld 画了图 1 沙堆所示的自组织临界性的标志图; Ricard Sole 画了图 9 的牵狗图; Arch Johnston 提供了图 2; Jens Feder 和他的小组提供了图 6 以及他们的米堆实验图, 图 15~17 和图片 4; Daniel Rothman 和 John P. Grotzinger 提供金斯山峰形成的照片, 图 18; Peter Grassberger 提供沙堆模型的办公室式样, 图 13; Paolo Diodati 提供斯特诺波利的声辐射测量的原始图, 图 23。图片 1 中令人印象深刻的沙堆的计算机作图和图片 6~8 的“生命游戏”出自于 Michael Creutz 之手。

还有许多人帮助我提高了这份手稿的文字质量, 遗憾的是在听取更广泛的意见时, 作为科学读物的准确和简洁未能做得更好。首先, 我要感谢 Maya Paczuski 和 Jim Niederer, 他们花了大量时间帮助组织材料, 并完善叙述。我的孩子 Tine、Jakob 和 Thomas 检查了手稿作为非专业著作的可读性, 根据他们的建议, 我对几处表述模糊的章节作了修改。最后, 我还要感谢 Copernicus 书屋的 Jerry Lyons, William Frucht 和 Robert Wexler 在手稿完成的每一步所给予的巨大帮助。

目 录

第一章 复杂性与临界性	(1)
物理定律是简单的,大自然是复杂的	(3)
叙述与科学.....	(7)
复杂性理论能解释什么?	(9)
灾变遵循一种简单的模式.....	(12)
分形几何.....	(19)
$1/f$ 噪声:时间中的分形	(22)
兹波夫定律.....	(25)
幂次定律与临界现象.....	(27)
处于平衡态的系统不是复杂的.....	(28)
混沌不具有复杂性.....	(30)
自组织临界性.....	(32)
第二章 自组织临界性的发现	(34)
科学在布鲁克海汶.....	(34)
$1/f$ 噪声从何而来	(37)
苏珊·库珀·史密斯的狗模型.....	(38)
关于耦合摆.....	(40)
运用简单模型的哲学:关于球形奶牛	(42)
摆变成临界的.....	(46)
第三章 沙堆模型	(51)
沙堆模型.....	(54)
沙堆世界中的生命.....	(61)

我们能用笔和纸计算出幂次定律吗?	(65)
第四章 实际沙堆与地貌的形成	(67)
真实的沙	(68)
挪威的米堆	(71)
维克斯基的土崩实验:分形的本源	(77)
喜马拉雅沙堆	(79)
岩渣的沉积	(80)
地貌学:偏离平衡的地表	(82)
第五章 地震、星震及日辉	(87)
地震的自组织	(90)
一处印刷错误导致了重要进展	(95)
斯特诺波利附近的隆隆声	(99)
地壳是临界的	(101)
脉冲星频率突增与星震	(102)
黑洞与日辉	(104)
第六章 “生命的游戏”:复杂性就是临界性	(107)
第七章 生命是自组织临界现象吗?	(115)
圣大·菲研究所	(116)
沙堆与断续平衡	(119)
相互制约调节的适应性图像	(120)
第八章 简单进化模型中的大灭绝与断续平衡	(130)
我们能效仿达尔文吗?	(133)
周日下午的一个科学方案	(135)
寒冷地带的生命	(145)
与实际数据相比较	(145)
关于恐龙和陨石	(153)
但特·查尔沃的进化游戏	(154)
自组织临界性与加亚假说	(156)

重新来一次进化·····	(157)
第九章 断续平衡模型理论 ·····	(162)
什么才算理论? ·····	(162)
进化模型的随机近邻形式·····	(164)
自组织过程·····	(168)
临界态·····	(170)
重访生命游戏·····	(171)
重访地震·····	(172)
第十章 大 脑 ·····	(176)
为什么大脑应当是临界的? ·····	(177)
猴子问题·····	(178)
大脑与江河网·····	(181)
第十一章 关于经济和交通阻塞 ·····	(184)
平衡经济像水·····	(184)
真实经济像沙·····	(186)
临界经济的一个简单模型·····	(188)
波动和灾难不可避免·····	(192)
交通阻塞·····	(193)
人名英汉对照 ·····	(199)

第一章 复杂性与临界性

宇宙怎样以大爆炸中产生的几种基本粒子开始而以生命、历史、经济和文学告终？这个问题虽然很少被问到，却亟待回答。为什么大爆炸不形成粒子的一种简单的气体或凝聚成一个巨大的水晶体呢？我们对周围的复杂现象习以为常因而想当然地没有寻求更深层次的解释。实际上，到目前为止，科学上很少致力于了解宇宙为什么是复杂的。

我认为自然界的复杂行为反映了有许多分支的大型系统会朝着均衡的临界态发展的一种趋势，这种方法偏离了平衡，而且微小的扰动可能导致大大小小的雪崩。大多数的改变是通过灾难性的事件而不是通过遵循一种平和渐变的路线来实现的。朝着这种非常微妙的态的演化并没有受到任何来自外部因素的影响。这种态之所以建立起来仅仅是因为系统中的单个元素之间的动力学相互作用：这种临界态是自组织的。自组织临界性是目前所知道的产生复杂性的惟一的普遍机制。

为了不至于太抽象，让我们看一看海滩上的孩子让沙粒缓缓流下而形成一堆沙的场景(图 1)。开始的时候，沙堆是平的，沙粒在附着的位置上靠得很近。它们的运动能够用它们的物理性质来理解。堆沙的过程在继续，沙堆变得越来越陡，很少有沙粒沿着沙堆滑动。随着时间的推移，沙粒的滑动越来越大。最终，一些滑动的沙粒甚至跨越了整个沙堆或沙堆的大部分。在这一点上，系统远离了平衡，因而它的行为不再能用单个沙粒的行为来描述。雪崩形成了自身的内部力量，而这一点只有从对整个沙堆的性质的