

科学人文

(美) 米歇尔·沃尔德罗普 著

陈玲译

复杂

诞生于秩序与混沌边缘的科学

复 杂

诞生于秩序与混沌边缘的科学

(美) 米歇尔·沃尔德罗普 著
陈 玲 译

生活·读书·新知 三联书店

Complexity

© 1995 by Mitchell Waldrop

© 1996 Chinese simplified translation right by SDX Joint Publishing Co.

with arrangement by Sterling Lord Literistic, Inc.

and Bardon - Chinese Media Agency(International).

图书在版编目(CIP)数据

复杂:诞生于秩序与混沌边缘的科学/(美)沃尔德罗普著;陈玲译. -北京:生活·读书·新知三联书店, 1997.4 (1997.8重印)

(科学人文)

ISBN 7-108-01005-4

I. 复… II. ①沃… ②陈… III. 自然科学-思想史-通俗读物 IV. N09

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第04088号

责任编辑 倪 乐

封面设计 张 红

出版发行 生活·读书·新知三联书店
北京市东城区美术馆东街22号

经 销 新华书店

印 刷 北京京海印刷厂

版 次 1997年4月北京第1版

1997年8月北京第2次印刷

开 本 850×1168毫米 1/32 印张 16.125

字 数 307千字

印 数 07,001-17,100册

定 价 26.00元

概 述

这是一本关于复杂科学的书——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，这正是它的全部意义之所在。如果说，复杂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。比如：

为什么苏联对东欧四十年的统治会在 1989 年的几个月之内轰然坍塌？为什么苏联自身也在其后不到两年的时间分崩离析？这些当然与名叫戈尔巴乔夫和叶利钦的两个人有一定的关系。但即使是这两个人自己，也像是被他们完全无法控制的事件席卷裹挟而不能自己。这是否是因为有某种全球性的、超越个人能量的原因在起作用？

为什么股票市场会在 1987 年 10 月的一个星期一这一天之中猛跌五百多个百分点？很多评论将之归咎于股票生意的计算机化。但计算机的应用已有多多年，有没有任何答案可以解释为什么股票偏偏在那个特殊的星期一一狂跌不已？

根据化石标本的记载，古代物种和生态系统常常稳定地保持了几百万年，而后却在地质期的某一瞬间灭种或演

变为新的物种,这是为什么呢?也许恐龙是因为小行星的影响而遭到灭绝,但那时并没有那么多的小行星,还有其它因素在起作用吗?

为什么在孟加拉这样的国家,即使在实行免费节育措施之后,农村家庭仍然平均要生七个孩子?甚至村民们似乎完全清楚,由于他们的国家人口过多和发展停滞,他们正蒙受着怎样的苦难。为什么他们仍要明知故犯地要沿袭这种行为方式,使自己陷入灾难深重的境况呢?

原始的液态氨基酸和其它简单的分子是如何在四十亿年前转化为最初的活细胞的?分子是不可能随机地组合在一起的,但生命起源学家们却又津津乐道地说,不发生这样的情形是荒谬的。难道生命的起源竟是一个奇迹?抑或是液态氨基酸中有我们至今尚不知晓的致因?

为什么单个细胞在六亿年前开始组合,从而形成像海藻、水母、昆虫,最后到人类这样的多细胞生物体?而人类又为什么要耗费这么多的时间和这么大的力气来把自己组成家庭、部落、社团、民族及各种类型的社会?如果进化(或资本主义自由市场)真是完全由适者生存法则决定的,那么为什么又会发生一些与人际之间残酷竞争毫不相关的事情呢?在这个好人经常无法坚持到底的世界上,为什么会有像信任与合作这样的事?为什么尽管有各种各样的情况,但信任与合作却不但存在,而且还会发扬、昌盛?

达尔文的自然选择论如何解释像眼睛和肾脏这样精妙复杂的结构?难道我们在生命体上所发现的这些精妙得令人无法相信的组织,真的仅仅是随机进化的偶然结果吗?

抑或在四十亿年前还有什么别的、达尔文所不了解的因素在发生作用？

生命究竟是什么？难道生命无非是一种特殊而复杂的碳水化合物？还是某种更微妙的东西？我们制造出来的像计算机病毒这样的东西究竟是什么？它们仅仅是恼人的生命的仿制品吗？或者，从最根本的意义上来说，它们真是活物吗？

脑子是什么？大脑这个普普通通的三磅重的团块，是如何产生像感情、思想、目的和意识这样不可言喻的特征的？

也许最根本的是，为什么总是有而不是无？宇宙始于大爆炸后一片潮湿的混沌，然而至此开始，就像热力学的第二定律所形容的那样，宇宙就受制于某种不屈不挠地趋于混乱、解体和衰败的倾向力。但它同时又无处不产生着结构：银河、恒星、行星、细菌、植物、动物和大脑。这又是怎么回事呢？是因为永恒趋于混乱的强制力与同样强大的趋于秩序、结构和组织的强制力之间有某种抗衡的力量？如果是这样的话，这两种力量是如何同时发生作用的呢？

乍一看，这些问题只有唯一一个共同点，那就是，它们都有一个共同的答案：“无人知晓”。有些问题看上去甚至根本就不是科学问题。但当你进一步研究它们时，你就会发现，这些问题其实有许多共同之处。比如，它们都属于一个系统，即复杂系统。也就是说，许许多多独立的因素在许许多多方面进行着相互作用。比如千百万个蛋白、脂肪和细胞核酸相互产生化学作用，从而组成了活细胞；又比如由

几十亿万个相互关联的神经细胞组成的大脑,以及由成千上万个相互依存的个人组成的人类社会。

而且,在每种情况中,这些无穷无尽的相互作用使每个系统作为一个整体产生了自发性的自我组织。人们在力图满足自己的物质需要的过程中,通过无数个人的买卖行为,无意识地将自己组成了某种经济体制,就属于这种情况。这并非是在有人负责或有意识地计划下发生的情形。又比如基因在一个不断发展的胚胎中以一种方式将自己组合成肝脏细胞,又以另一种方式将自己组合成肌肉细胞;飞鸟顺应邻居的行为而无意识地将自己聚集成群;生物体经常相互适应而得以进化,从而将自己组合成为精巧协调的平衡系统;原子通过相互化合得以找到最小的能量状态,从而使自己形成被称之为分子的结构。在所有这些情形中,一组成员单个的动因在寻求相互适应与自我延续中或这样、或那样地超越了自己,从而获得了生命、思想、目的这些作为单个的动因永远不可能具有的集成的特征。

更进一步的是,这些复杂的、具有自我组织性的系统是可以自我调整的。在这种自我调整中,它们并不像地震中的滚石那样仅仅只是被动地对所发生的事件作出反应。它们积极试图将所发生的一切都转化为对自己有利。因而人类的大脑经常在组织和重组它几十亿个神经联系,以吸取经验(总之有时是这样的);物种为在不断变化的环境中更好地生存而进化——在企业 and 工业领域的情形也是如此。市场对消费口味和生活方式的变化,对移民、技术发展、原材料价格的变化和其它一系列因素的变化不断地作出反应。

最后一点,每一个这样自我组织的、自我调整的复杂系统都具有某种动力。这种动力使它们与计算机集成电路块和雪花这类仅仅只是复杂的物体有着本质上的区别。复杂系统比它们更具自发性,更无秩序,也更活跃。然而与此同时,这种特殊的动力对离奇古怪的、无法预测的螺旋运转,即被称之为混沌的状态,却还相距遥远。在近二十年中,混沌理论已经动摇了科学的根基,它使人们认识到,极其简单的动力规律能够导致极其复杂的行为表现,譬如无数细小的碎片所产生的整体美感,或无数翻沫所形成的汹涌的河流。然而混沌理论本身仍然无法解释结构和内聚力、以及复杂系统自我组织的内聚性。

但复杂系统却具有将秩序和混沌融入某种特殊的平衡的能力。它的平衡点——即常被称为混沌的边缘——便是一个系统中的各种因素从无真正静止在某一个状态中,但也没有动荡至解体的那个地方。混沌的边缘就是生命有足够的稳定性来支撑自己的存在,又有足够的创造性使自己名副其实为生命的那个地方;混沌的边缘是新思想和发明性遗传基因始终一点一点地蚕食着现状的边缘的地方。在这个地方,即使是最顽固的保守派也会最终被推翻。混沌的边缘是几个世纪的奴隶制和农奴制突然被五十年代和六十年代的人权运动所取代的时刻;是长达七十年的苏维埃突然被政治动乱所取代的时刻;是进化过程中万古不变的稳定性突然被整个物种的演变所取代的时刻。混沌的边缘是一个经常变换在停滞与无政府两种状态之间的战区,这便是复杂系统能够自发地调整和存活的地带。

在混沌边缘发生的复杂、调整和剧变——这些共同的特征是如此显著，以至于越来越多的科学家相信，在一系列仅仅是顺理成章的科学类推之外肯定还有更多的东西存在。这场科学运动的神经中枢便是被称之为桑塔费研究所的智囊机构。这个研究所创建于八十年代中期，最初坐落在坎杨路桑塔费艺术区中一个租来的女修道院里（举办学术讨论会的地方过去是一个小教堂）。聚集在这里的研究人员虽然来自不同的阶层和背景，包括从梳着马尾巴发型的研究生到像物理学家马瑞·盖尔曼（Murray Gell - Mann）、菲利普·安德森（Philip Anderson）和经济学家肯尼思·阿诺（Kenneth Arrow）这样的诺贝尔桂冠得主，但他们都达到了一个基本的共识，那就是，他们都坚信一个将普照自然和人类的新科学——复杂理论。他们相信，近二十年来的知识热潮在神经网络、生态平衡、人工智能和混沌理论这样一些领域所取得的成果已经助使他们掌握了建立这个复杂理论框架的数学工具。他们相信，对这些新思想的运用使他们得以从过去无人知晓的角度和深度来认识这个自发、自组的动力世界。这一认识将对经济和商业行为，甚至政治行为发生潜在的巨大影响。他们相信，他们正在凌厉地冲破自牛顿时代以来一直统治着科学的线性的、简化论的思维方式。他们的突破已经能够使他们面对当今世界的最大问题。他们相信，他们正在开创的是，套句桑塔费研究所创始人乔治·考温（George Cowan）的话，“二十一世纪的科学”。

这本书就是关于他们的故事。

目 录

概 述	1
第一章 爱尔兰理念的英雄	1
第二章 老帅倒戈	59
第三章 造物主的秘密	129
第四章 “你们真的相信这套?”	184
第五章 游戏高手	196
第六章 混沌边缘的生命	276
第七章 玻璃房中的农民经济	336
第八章 等待卡诺特	385
第九章 乘胜前进	455

第一章

爱尔兰理念的英雄

布赖恩·阿瑟(Brian Arthur)独自坐在酒店吧台旁的桌边,凝视着前窗的窗外,尽量不去理会那些正在涌入酒店,早早开始享受幸福时刻的年轻上班族。窗外,金融区的水泥峡谷中,典型的旧金山雾正在转变成典型的旧金山细雨。这正适宜他现在的心情。在1987年3月17日将近傍晚的下午,他没有情绪欣赏那些铜制设备、蕨类植物和彩色玻璃,也没有情绪庆祝圣·帕特里克节(Saint Patrick's Day),更没有情绪与那些在细条子衣服上缀着绿色饰物的假扮的爱尔兰人一起痛饮狂欢。在心灰意冷的怨怒中,他只想一个人默默地喝啤酒。斯坦福大学的教授威廉·布赖恩·阿瑟,这个北爱尔兰贝尔法斯特土生土长的儿子,心情正处于低谷。

而这一天开始时却是那么美好。

这正是所有的嘲讽之所在。那天早上,当他出发去柏克莱的时候,他本来期望此行会是一个胜利的团聚:柏克莱的小伙子干得不错。他真是十分怀念七十年代初他在柏克莱的那段岁月。坐落在奥克兰北边的山坡上,与旧金山市

隔着海湾相望的柏克莱，是个充满进取精神、生机勃勃的地方，那儿到处都是各色人种，大街上人声鼎沸，洋溢着过激的思想。他在柏克莱获得加州大学博士学位。在那里，他与读统计学的博士生，高挑、金发的苏珊·彼得森相识并结了婚；他还在柏克莱的经济系做了第一年的博士后。在他的感情里，在他所有生活和工作过的地方，只有柏克莱是他的家园。

好吧，现在他是要回家了，有几分像那么回事吧。这事儿本身倒没什么重要，只是和柏克莱大学经济系主任及系里以前教过他的几位教授吃顿午饭。然而，此行将是他这些年来第一次重返柏克莱经济系，当然也是他第一次觉得自己能在学术上和他的老师们平起平坐。他已经积累了在世界各地工作十二年的经验，是一个主要在第三世界国家人口出生率方面享有盛誉的学者。他这次是以斯坦福大学经济系教授的身份重返母校——这是极少被授予五十岁以下的人的位置。而他年仅四十一岁就载誉而归。而且谁知道呢？说不定柏克莱的人会谈起请他回来工作呢。

是的，那天早上他真是自视甚高。为什么几年前他不跟从经济学的主流，而去尝试构想一个对经济学的全新探索呢？为什么他不打有把握之仗，而要掺和到那些模糊不清的、半想象式的科学革命中去呢？

只因为他没有办法把这些想法从他的脑袋里驱逐出去，这就是唯一的原因。因为他无处不能看到它的存在。然而在大多数情况下，科学家们自己似乎完全认识不到这一点。但在花了三百年的时间把所有的东西拆解成分子、

原子、核子和夸克后，他们最终像是在开始把这个程序重新颠倒过来。他们开始研究这些东西是如何融合在一起，形成一个复杂的整体，而不再去把它们拆解为尽可能简单的东西来分析。

他可以看到这种情形发生在生物学领域。生物学家们花费了近二十年时间来揭示脱氧核糖核酸的分子机制，以及蛋白和细胞中其它元素的机制。目前他们已经开始探索一个最根本的奥秘：上千万亿这样的分子是怎样使自己组合成一个能够移动、反馈和繁殖的整体？亦即一个有生命的物体的呢？

他可以看到这种情况发生在脑科学研究领域。神经学方面的科学家、心理学家、计算机专家和人工智能研究人员们正努力想弄明白心智的本质：我们头颅里几十亿个稠密而相互关联的神经细胞是如何产生感情、思想、目的和意识的？

他甚至可以看到这种情况也正发生在物理学领域：物理学家们正在努力建立混沌的数学理论，无数碎片形成的复杂美感、以及固体和液体内部的怪诞运动。这里面蕴藏了一个深奥的谜：为什么受简单规律支配的简单粒子有时会产生令人震惊的、完全无法预测的行为？为什么简单的粒子会自动地将自己组成像星球、银河、雪片、飓风这样的复杂结构——好像在服从一种对组织和秩序的隐匿的向往？

这些迹象无所不在。阿瑟还不太能够把他的这种感觉用语言表达出来。据他所知，至今也还没有人能够说得清

楚。但不知怎的,他却能感觉到这些问题其实都是同一类的问题。老的科学分类正开始解体,一个全新的、整合为一体的科学正期待着诞生。阿瑟相信,这将是一门严谨的科学,就像一直以来的物理学那样“坚实”,那样完全建立在自然法则之上。但这门科学将不是一个对最基本的粒子的探索,而是对关于流通、变迁,以及模型的形成和解体的探索。这门科学将会对事物的个性和历史的偶然性有所探究,而不再对整体之外的和不可预测的事物忽略不见。这不是关于简单性的科学,而是关于,嗯,关于复杂性的科学。

这正是阿瑟的新的经济学观点的切入点。他在学校所学的常规经济学,与这个复杂的视角相差有如天壤之别。理论经济学家们无休止地讨论市场稳定和供求均衡,还把这个概念用数学等式表达出来、并证实其定理。他们就像信奉国教一样把亚当·斯密的信条奉为经济学的基础。但当他们面对经济中的不稳定状况和变化——嗯,这念头本身就使他们感到十分困扰,避之不及。

但阿瑟却已经正视这种经济的不稳定性。他告诉他的同事们,留神看看窗外吧。无论你喜欢也好、不喜欢也罢,市场是不稳定的,这个世界是不稳定的,它充满了进化、动荡和令人吃惊的事情。经济学必须将这些动荡囊括其内。现在,他相信他已经发现了能够使经济学做到这一点的方法,用一个叫做“报酬递增率”(increasing returns)的原则,或用詹姆士国王的一句译文“拥有者被施予”(To them that hath shall be given)来表述。为什么高科技公司都竞相蜂拥到斯坦福附近的硅谷安营扎寨,而不设在安·阿泊或柏克

莱？因为许多老的高科技公司已经设在那里了。即，拥有者获得。为什么 VHS 电视录像系统占据了市场，虽然从技术上来说 Beta 还略胜它一筹？因为早些时候已经有一些人凑巧买了 VHS 系统的产品，这就导致了录像店里出现了更多的 VHS 录像带，反过来又导致了更多的人买 VHS 录像放像机，以此类推。拥有者获得。

这样的例子不胜枚举。阿瑟确信，报酬递增率指出了经济学未来的发展方向。在未来的经济学里，他和他的经济学同事们将和物理学家、生物学家们共同致力于对这个杂乱无序、充满剧变、自发自组的世界的理解。他确信，报酬递增率将会成为一个全新的、截然不同的经济学的基础。

但是很不幸，他运气不佳，没能让其他人相信他的报酬递增率。在斯坦福大学他的圈子之外，大多数经济学家都觉得他的想法很离奇古怪。经济学专业刊物的主编们告诉他，他的关于报酬递增率的讨论“不是经济学”。在学术讨论会上，很多听众十分愤怒：你竟敢说经济不是均衡的！这些猛烈的攻势使阿瑟深深领教了挫败感。他显然需要同盟者，需要能够打开思想、听他说话的人。这个愿望和他所有想回家的念头一起，成为他重返柏克莱的理由。

所以他们就都坐在学部的俱乐部里吃三明治。汤姆·罗森堡(Tom Rothenberg)，曾经教过他的教授之一，就免不了问他这样的问题：“告诉我，布赖恩，你这一向都在研究些什么？”“报酬递增率。”阿瑟给了他一个短促的回答，作为这个话题的开头。经济系主任阿·菲什洛(Al Fishlow)面无表情地看着他。

“但据我们所知，报酬递增率并不存在。”

“而且，即使它存在，我们也不得不宣布它不合法。”罗森堡笑嘻嘻地抢过来说。

然后他们就都笑了，并不是恶意的，只是自己人之间开个玩笑。这只是件无关紧要的小事。但这笑声不知怎地却整个儿粉碎了阿瑟虚幻的期望。他呆坐在那儿，在这一打击下噤不能言。这是两位他最敬重的经济学家，但他们根本不听他说话。阿瑟突然感到自己既天真又愚蠢，像一个因为知之甚少，所以才会相信报酬递增率的雏鸡。柏克莱之行粉碎了他最后的希望。

在接下来的午餐中，他几乎再没有注意到别的事情。当午餐结束，大家礼貌地互告再见以后，他钻进他那部老旧的富豪车，经海湾大桥开回了旧金山市。他在第一个出口下道，驶往英巴卡德罗，在他看到的第一家酒店门口停了下来。他走进了这家酒店，在四周点缀着蕨类植物的环境中开始认真地考虑是否要整个儿地放弃经济学。

当他差不多快喝完第二杯啤酒的时候，他发现这家酒店已经开始变得非常嘈杂了。那些雅皮士们正来到这儿大举庆祝爱尔兰守护神的节日。嗯，也许该是回家的时候了。在这里坐下去肯定不会有任何结果。于是他站起来，走出了门，钻进他的车里。濛濛细雨仍在不停地下着。

他在佩罗·阿尔脱的家，是旧金山市南三十五英里处靠近斯坦福的一所郊区公寓。当他终于将车开进家门前的车道时，已经是日落时分了。他肯定是弄出了一些响声，他的妻子苏珊打开了前门，看着他穿越草坪：这是一个瘦长的、

头发过早灰白的男人，看上去衣衫不整，极其疲惫厌倦，一如他目前的心情。

“嗨，柏克莱之行怎么样？他们喜欢你的主张吗？”她站在门口问。

“糟糕透了。没人相信报酬递增率。”阿瑟答。

苏珊·阿瑟以前已经见过她的丈夫从学术论战中惨败而归的情景。“嗯，我猜如果每个人一开始就都相信它，那就不会是一场革命了，是吗？”她尽力找安慰的话来说。

阿瑟看着她，在那一天里第二次被震得哑口无言。旋即他就无法自控地大笑了起来。

一个科学家的教育

布赖恩·阿瑟操着贝尔法斯特人特有的柔软的升调说，在贝尔法斯特，当你做为一个天主教徒长大以后，一种叛逆的精神自然而然地在你的性格中形成了。这并不是因为他确切地感到过被压迫。他父亲是个银行经理，他的家庭是个地道的中产阶级家庭。他亲身被卷入的唯一的一起宗派事件发生在一个下午，当他穿着教会学校的校服往家走的时候，一伙信基督教的男孩子向他扔砖头和石块。有一块砖头击中了他的前额。（当时前额上的血流进了他的双眼，挡住了他的视线——但他狠狠把那块砖头扔了回去。）可他并不认为基督教徒真的就是魔鬼。他的母亲就曾经是基督教徒，与他父亲结婚后改信天主教。他也从来没感到自己