

Chaos: Making a New Science

格雷克科普读物

混沌

开创新科学

(修订版)

美国国家非文学类图书奖提名作品

中国社科院院士郝柏林教授审校并作序推荐

一部图文并茂的大型报告文学，深入浅出地记录了混沌现象的研究历程

[美] 詹姆斯·格雷克(James Gleick) 著 张淑誉 译 郝柏林 校

高等教育出版社

Chaos: Making a New Science

格雷克科普读物

混沌

开创新科学

HUND

EXUE

美国国家非文学类图书奖提名作品

中国社科院院士郝柏林教授审校并作序推荐

一部图文并茂的大型报告文学，深入浅出地记录了混沌现象的研究历程

[美] 詹姆斯·格雷克(James Gleick) 著 张淑誉 译 郝柏林 校

高等教育出版社·北京

图字:01-2013-5232 号

CHAOS: MAKING A NEW SCIENCE

Copyright © James Gleick 1987

This edition arranged with Ink Well Management, LLC.
through Andrew Nurnberg Associates International Limited

图书在版编目(CIP)数据

混沌:开创新科学 / (美)格雷克(Gleick, J.)著;
张淑誉译. —2版(修订本). —北京:高等教育出版
社, 2014.9

书名原文: Chaos: making a new science
ISBN 978-7-04-039394-1

I. ①混… II. ①格…②张… III. ①混沌-普及读
物 IV. ①O415.5-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第051964号

策划编辑 段会青
责任印制 韩刚

责任编辑 段会青

封面设计 姜磊

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	涿州市星河印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787mm×1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	19.75	版次	2004年11月第1版
字数	300千字		2014年9月第2版
插页	5	印次	2014年9月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	42.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 39394-00

格雷克科普读物汉译本总序

詹姆斯·格雷克原是《纽约时报》科学版的记者。他 1987 年出版了畅销书《混沌——开创新科学》而一举成名，随即成为专业科普作家。他应出版社之约撰写的美国理论物理学家、1965 年度诺贝尔物理学奖获得者理查德·费曼的传记《费曼传》一书又获得成功。近几年来牛顿的大量个人笔记档案逐渐公开，揭示出这位西方科学圣人的充满矛盾和痛苦的科学生活中鲜为人知的一面，肇始了把牛顿从神恢复成人的重新认识过程。格雷克也抓住时机，撰写了新的《牛顿传》。感谢高等教育出版社把这三本书的汉译本同时奉献给国内读者。

这是三本内容和风格极为不同的书。《混沌》是一部几乎同步紧跟科学发展的大型报告文学。混沌现象的研究是 20 世纪非线性科学进展的重要方面，它在 20 世纪 70 年代中期兴起，而在 20 世纪 80 年代达到高潮。格雷克作为科学记者，采访了许多位工作在混沌研究前沿的学者，既描写了这些人的喜怒哀乐和成长经历，也介绍了他们的科学贡献。这本书对于理解混沌现象所涉及的一些基本概念，以及混沌研究对当代科学发展的影响，都有相当好的描写。

费曼是现代理论物理学发展的一位颇具传奇性的人物。他才华横

溢、放荡不羁，既作出像“费曼图”、“费曼连续积分”这样的不朽贡献，也留下许多趣事轶闻。原版超过500页的《费曼传》一书是费曼个人和科学生活的大传。从学校生活到婚恋变化，从原子弹任务中的小兵到量子电动力学的大师，书中都有堪称精彩的叙述。

牛顿是西方现代科学的圣人。300年来已经出版过大量的传记和研究作品，再写一本有特色的牛顿传记绝非易事。尘封档案重见天日，是抢写传记的大好时机。然而要把新旧素材，放到当时英国社会的历史背景中，又要让现代读者能够较为顺利地领会，作者必须下很大工夫。三本书中，《牛顿传》篇幅最小，是精心挑选的“场景”，而不可能是85年生活的流水记录。这正是这本传记的特点，希望译本能够传神。

这三本书反映出的科普作家所应具备的认真作风，也是值得借鉴的。这里说的是严肃的科普作品，而非供茶余饭后轻松消遣的读物。三本书后都有占总篇幅十分之一以上的注释、引文和索引，在《牛顿传》里几乎接近三分之一。这次高等教育出版社尽量保留了这些支撑著作质量的珍贵素材，为有志者指引了进一步研究的门径。我对此表示祝贺，并且希望此举能开我国出版科普译著的新风。

郝柏林

2004年9月25日序于复旦大学

校者前言

气似质具而未相离谓之混沌

——《易乾凿度》

混沌，这个在中外文化中渊流悠久的词儿，正在成为具有严格定义的科学概念，成为一门新科学的名字，它正在促使整个现代知识体系成为新科学。

混沌研究的进展，无疑是非线性科学最重要的成就之一。它正在消除对于统一的自然界的决定论和概率论两大对立描述体系间的鸿沟，使复杂系统的理论开始建立在“有限性”这个更符合客观实际的基础之上。跨越学科界限，是混沌研究的重要特点。普适性、标度律、自相似性、分形几何学、符号动力学、重整化群等概念和方法，正在超越原来数理科学的狭窄背景，走进化学、生物、地学，乃至社会科学的广阔天地。越来越多的人认识到，这是相对论和量子力学问世以来，对人类整个知识体系的又一次巨大冲击。这也许是 20 世纪后半叶数理科学所作的意义最为深远的贡献。然而，这一切是怎样发生的？一批不知名的热衷于“旁门左道”的人物，怎样成为新领域的先驱？格雷克的这本书以广大知识界读者为对象，对混沌科学的诞生和发展作了生动描述。

格雷克的这本书不是一本科学著作，而是一篇大型报告文学。它基于同大约 200 位科学家的谈话，写的都是真人真事。作为《纽约时报》的编辑和记者，他写出这样一本书是很不容易

的。然而，作者的态度颇为严肃。原书后面附有 24 页小字排印的说明，给出了正文中几乎每一处重要观念或引文的出处。中文译本把这些说明中的一部分移入正文，省略掉那些只是为了承认版权或致谢的文字，但是保留了全部有明确出处的引文，以便读者进一步查阅。当然，外行人写科普读物难免有不确切之处，特别是在混沌这个尚未定型的领域。我们只在必要时加了少量的校注。译校者还加了一些脚注，以方便我国读者。我们把原索引改成了中英人名对照表，并加了一个简短的中英名词对照表，其中列举了一批尚无固定译法或现有译法不妥的名词。

书中人物故事大多发生在美国，这当然与作者的环境有关。然而，混沌这桩跨学科、破传统的事业在欧洲孕育而在美国壮大，则决非偶然。我劝年轻的读者看一看第 10 章里描写的 4 位研究生，怎样在没有导师、没有经费的情况下，同其他地方的年长科学家一道成为新领域的开拓者。

我国科学工作者刻苦奋斗，在新领域里争得一席之地，但我们的工作远未达到“领导世界新潮流”的水平。这是我国整个科学事业的现状。它不是哪一位科学工作者努力多少的问题，而是整个社会现实的反映。只有富于远见的科学政策，对基础研究在事实上而不是口头上的持续支持，才能改变这种状况，也才能使我国的工业技术走上独立发展的道路。在当前的情况下，要特别警惕那种“赝科学”、“准科学”的学风，那些塞上几个新名词，没有任何严肃的数据和认真的分析，就以“现代”面貌出现的文章。混沌不是议论。这本书也不是科学著作。30 多年来已经发表了 1 万篇以上有关混沌的研究论文，200 部以上专著和文集。有志进入新领域的人，至少应当钻研其中一小部分，同时动手做实验（包括计算机实验）和进行数学分析。

译者和校者感谢丹·阿布拉姆逊在英文疑难方面给予的帮助。

郝柏林

2004 年春季

目 录

第 1 章	序曲	(1)
第 2 章	蝴蝶效应	(9)
	洛伦兹和他的玩具天气模型	
	计算机行为失常	
	长期预报注定失败	
	有序扮成随机	
	非线性的世界	
	“我们完全没有抓住要点”	
第 3 章	革命	(31)
	看得见的一场革命	
	摆钟、太空球和秋千	
	“马蹄”的发明	
	木星大红斑之谜解开了	
第 4 章	生命的盛衰	(53)
	野生种群模型	
	非线性科学, “非象类动物的研究”	
	叉子分岔和泛舟施普雷河	
	混沌电影和救世呼吁	
第 5 章	自然界的几何学	(75)
	关于棉花价格的一个发现	

逃离布尔巴基的难民
传输误差和参差不齐的海岸线
新的维数
分形几何中的怪物
“分裂层”中的地震
从云彩到血管
科学的垃圾筒
“一粒砂中见世界”

第6章 奇怪吸引子 (109)

给上帝出一道题
实验室中的转变
旋转圆柱和转折点
茹厄勒的湍流思想
相空间中的环
千层饼和香肠
一位天文学家的映象
“焰火或星系”

第7章 普适性 (141)

洛斯阿拉莫斯的新起点
重正化群
颜色的破译
数值实验的兴起
费根鲍姆的突破
普适性理论
退稿信
科莫会议
云彩和绘画

第8章 实验家 (169)

小盒中的氦

“固体中的非固体波动”

自然界中的流和形

利布沙伯的精巧成就

实验结合理论

从一维到多维

第 9 章 混沌的形象 (189)

复平面

牛顿法中的意外

曼德勃罗集：嫩芽和卷须

艺术和商业同科学会面

吸引域的分形边界

混沌游戏

第 10 章 动力系统集体 (213)

圣克鲁斯和 20 世纪 60 年代

模拟计算机

这是科学吗？

“长远的梦想”

测量不可预言性

信息论

从微观尺度到宏观尺度

滴水的龙头

直观教具

一个时代结束了

第 11 章 内部节律 (241)

对模型的一种误解

复杂的人体

动力学的心脏

校正生物钟

致命的心律不齐

	鸡胚胎和反常搏动	
	混沌是健康	
第 12 章	混沌及其他	(265)
	新的信念，新的定义	
	第二定律、雪花之谜和灌铅骰子	
	机会和必然	
	参考资料	(279)
	中英人名对照表	(295)
	中英名词对照表	(302)

第 1 章 序曲

1974 年，在新墨西哥州的小城洛斯阿拉莫斯（Los Alamos），警察们曾一度担忧地注意到一位夜复一夜在后街上踱来踱去的男人，他燃着的烟头红点在黑暗中飘忽不定。借着透过高原稀薄空气散落下来的星光，他会无目的地漫步几个小时。并不只是警察们感到奇怪。在国家实验室里，一些物理学家也听说他们最近来的新同事正在做每天 26 小时的实验，这意味着他的作息时间表会慢慢地同其他人错位。甚至对理论部来说，这也近乎怪诞了。

自从奥本海默为原子弹计划选中了这块世外的新墨西哥州土地以来，30 年间，洛斯阿拉莫斯国家实验室已经展布在荒凉无垠的高原上。它设立了粒子加速器、气体激光器和化工厂，荟萃了数千名科学工作者、行政管理和技术人员，同时也是世界上超级计算机最集中的地方之一。一些老科学家们都还记得 20 世纪 40 年代在峭壁边急速架起的许多木质建筑，但是对今天大多数的洛斯阿拉莫斯成员，亦即那些穿着学生式灯芯绒裤子和工作衫的年轻男女来说，第一批原子弹制造者都只是一些幽灵而已。实验室里纯抽象思维的焦点是理论部，通称 T 部，正像计算部叫做 C 部，武器部叫做 X 部。100 多位在 T 部工作的物理学家和数学家们，有良好的待遇和学术自由，没有人迫使他们去讲课和发表文章。这些科学家都有光辉而且怪僻的经历。很难有什么能使他们感到惊讶。

但费根鲍姆的情况非同寻常。在他的名下只发表过一篇文章，而且他没有去研究任何看起来会有出息的事情。他浓密的长发乱蓬蓬的，从宽宽的眉宇间往后梳去，就像那些德国作曲家的塑像一样。他的眼光急速转换，充满激情。他说话总是很快，往往丢掉冠词和代词，仿佛有点中欧腔，其实他是个地道的布鲁克林^①人。他工作时着魔似地干着。无法工作时，就散步和思考，不管是白天和夜晚，而夜晚是他最好的时光。一天 24 小时看来是太受限制了。然而他个人的准周期的实验还是停了下来，因为他发现无法再忍受每隔几天就要在日落时睡着。

他在 29 岁时已经成为出类拔萃的学者，一个专门的顾问，科学家们只要找得到他，会向他请教任何特别难解决的问题。有一天晚上他去工作的时候，实验室主任阿格纽正要离开。阿格纽是一个很有权力的人物，是当初奥本海默班子中的一员。他曾经坐在测量飞机里，陪同依诺拉·盖^②飞临广岛上空，摄下了实验室第一件产品的投放过程。

阿格纽对费根鲍姆说：“我知道你很聪明，既然如此，为什么不去解决激光核聚变呢？”

甚至费根鲍姆的朋友们也怀疑他是否曾打算做一件自己的工作。他很愿意就朋友们提出的问题即兴变魔术，但看来并没有兴趣把自己的研究集中到任何会得到报偿的问题上。他思考过液体和气体中的湍流。他思考过时间——它究竟是平滑地流逝还是像一串宇宙动画片那样跳跃？他思考过人眼有没有能力在宇宙中看见连贯的颜色和形状，而宇宙照物理学家们所知道的是变动不居的量子万花筒。他思考过云彩，有时从飞机舷窗中观察（直到 1975 年正式暂停他科学旅行的特权，理由是他滥用权利），有时从实验室后面的高山滑雪道上眺望。

在西部山城的上空，云彩很少像东部那种煤灰般的低低的

① Brooklyn, 纽约市的一个区。——译者

② Enola Gay, 投掷第一颗原子弹的飞机名字。——译者

薄雾。在洛斯阿拉莫斯一个巨大的古火山口的庇护之下，滚滚的云彩弥漫天穹，形状似随机而又不随机，有时像剑锋般划一挺立，有时又排成规整的沟垄，犹如大脑沟纹一般。在暴风雨来临的午后，天空随着闪电的即将到来而发光和颤抖，耸立在百里外的云墙渗透和反射着电光，直到整个天空开始呈现出壮观的景象，像是对物理学家们提出难以捉摸的非难。云彩代表了自然界的一方面，既模糊又细致，既有结构而又不可预言。这个方面是物理学的主流所未曾涉及的。费根鲍姆平静地、没有结果地思考着这类事物。

对一位物理学家来说，实现激光核聚变是合情合理的问题；钻研微观粒子的自旋、“颜色”和“味道”是合情合理的问题；确定宇宙起源的年代也是合情合理的问题。理解云彩却是气象学家的事情。就像其他物理学家一样，费根鲍姆使用一种简短的“行话”来评价这些问题。他会说，“这种事是显然的”，指任何熟练的物理工作者通过适当思考和计算就能够理解的结果。“并非显然”，指的是那些赢得尊重和诺贝尔奖的工作。而对那些最艰难的问题，那些只有长期深入钻研宇宙奥秘才能有所领悟的问题，物理学家们备用的词语则是“深刻”。在1974年，虽然只有少数同事们知道，费根鲍姆却是在研究一个“深刻”的问题：混沌。

混沌开始之处，经典科学就终止了。因为自从世界上有物理学家们探索自然规律以来，人们就特别忽略了无序，而它存在于大气中，海洋湍流中，野生动物种群数的涨落中，以及心脏和大脑的振动中。自然界的不规则方面，不连续和不稳定的方面，一直是科学的难题，或许更糟些，是无法理解的怪物。

但是在20世纪70年代，美国和欧洲的少数科学家开始找到了无序的门径。他们是数学家、物理学家、生物学家和化学家，他们都在寻求各种不同的不规则现象之间的联系。生理学家们在人类心脏生发出来的混沌中发现了令人惊奇的有序，这种混沌曾是无法解释的猝死的主要原因。生态学家们考察了舞毒蛾总数的

升降。经济学家们发掘出陈旧的股票价格数据，并试用新的方法来分析。由此种种方面得到的启示，直接引入了自然界，包括对云彩的形状、闪电的径迹、微血管的缠结、星体形成银河星团的过程的认识。

当费根鲍姆在洛斯阿拉莫斯开始思考混沌的时候，他只是几个分散的大多互不相识的科学工作者中的一员。加州伯克利的一位数学家（斯梅尔）组织一个小组对“动力系统”开展新的研究。普林斯顿大学的一位种群生物学家（梅）正准备发表一个热情的呼吁：所有的科学家都应当注意潜伏在一些简单模型中的令人惊奇的复杂行为。为国际商用机器公司工作的一位几何学家（曼德勃罗）正在寻找一个新词来描述一族几何形状——犬牙交错，缠结纷乱，劈裂破碎，扭曲断裂——他认为这是自然界中的一个组织原则。一位法国数学物理学家（茹厄勒）刚刚作出一项有争议的断言，那就是流体中的湍流或许与一种他称为奇怪吸引子的稀奇古怪的无限缠结的抽象有某种关系。

10年之后，混沌已经成为一种迅速发展的学术运动的简称，而这个运动正在改变着整个科学建筑的结构。到处是混沌会议和混沌刊物。政府中那些负责军事机构、中央情报局和能源部的研究经费的官员，把不断增加的金钱投入混沌研究，并且为管理这种资助建立专门的机构。在每一所重要的大学和重要的共同研究中心，一些理论家们首先使自己同混沌结合起来，然后才结合到名义上的原有专业。在洛斯阿拉莫斯建立了一个非线性研究中心来协调混沌和有关问题的研究。全国各大学校园里都出现了类似的机构。

混沌创造了特殊的计算机使用技术和各种特殊的图像，从而抓住了复杂性背后的古怪而精致的结构。这门新科学产生了自己的语言，亦即分形和分岔，阵发和周期，叠毛巾微分同胚和光滑面条映象等等高雅的行话。这些是新的运动要素，正像在传统的物理学中，夸克和胶子是物质的新要素一样。对一些物理学家说来，混沌是过程的科学而不是状态的科学，是演化的科学而不是

存在的科学。

现在这门科学正在举目四望，看来混沌无所不在。上升的香烟烟柱破碎成缭乱的旋涡。旗帜在风中前后飘拂。龙头滴水从稳定样式变成随机样式。混沌出现在天气行为中，出现在飞机飞翔中，出现在高速公路上阻塞的汽车的行为中，出现在地下管道的油流中。不管在什么介质中，这些行为都遵从新发现的同样的定律。这种认识已经开始改变企业经理作保险决定的方式，改变天文学家看待太阳系的方式，改变政治理论家谈论紧张形势导致武装冲突的方式。

混沌打破了各门学科的界限。由于它是关于系统的整体性质的科学，它把思考者们从相距甚远的各个领域带到了一起。一位负责科学资助的海军官员对一批数学家、生物学家、物理学家和医生说：“15年前，科学正陷入专业化越来越细的危机。由于混沌，专业化的过程戏剧性地倒过来了。”混沌所提出的问题使科学上业已公认的工作方法失效。它强烈主张复杂系统有普适行为。第一批混沌理论家们，亦即使这门学科发动起来的那些人，具有共同的敏感性。他们注视着图样花纹，特别是那些同时在不同尺度上出现的图样花纹。他们对随机性和复杂性有特别的爱好，喜欢参差不齐的边缘和突然的跳跃。混沌的信徒们——他们有时自称是信徒，是皈依者，是福音传教士——思索决定论和自由意志，思索演化，思索有意识的智力的本质。他们感觉到，他们正在扭转科学中简化论的倾向，即只从系统的组成零件夸克、染色体或神经元来作分析的倾向。他们相信自己是在寻求整体。

新科学的最热情的鼓吹者们竟然宣称，20世纪的科学只有三件事将被记住：相对论、量子力学和混沌。他们主张，混沌是本世纪物理科学中第三次大革命。就像前两次革命一样，混沌割断了牛顿物理学的基本原则。如同一位物理学家所说：“相对论排除了对绝对空间和时间的牛顿幻觉；量子论排除了对可控制的测量过程的牛顿迷梦；混沌则排除了拉普拉斯决定

论的可预见性的狂想。”在这三大革命中，混沌革命适用于我们看得见、摸得到的世界，适用于和人自己同一尺度的对象。日常经验和真实的世界图像成为合情合理的探究目标。人们长期有一种感觉，只是不常公开表露，即理论物理已经同人类对世界的直觉偏离太远。谁也不知道，这是富有成果的异端，还是直截了当的邪说。但是，有些认为物理学正走进死胡同的人，现在把混沌当做一条出路。

在物理学内部，混沌的研究是从一潭死水中产生的。在 20 世纪的大部分时间内，主流曾是粒子物理，它在更高更高的能量、更小更小的尺度和更短更短的时间范围内探索物质的构造模块。除粒子物理之外，就是关于自然界基本力和宇宙起源的理论。然而，还是有一些年轻的物理学家越来越不满足于这种最有声望的科学方向。科学的进展开始显得缓慢了，新粒子的命名无济于事，理论体系乱糟糟。随着混沌的到来，比较年轻的科学家们相信，他们正在看到整个物理学开始改变航向的端倪。他们觉得，这个领域已经被高能粒子和量子力学炫目的抽象概念支配得太久了。

身居剑桥大学牛顿讲座席位的宇宙学家霍金，1980 年作了题为“理论物理看到尽头了吗？”的演讲。在对他的这门科学作估量时，霍金就物理学的大部分说了一番话：

“我们已经知道支配日常生活中我们所经历的每件事的物理规律。……现在要用庞大的设备和巨额的金钱来做我们不能预言其结果的实验，这件事本身就是对理论物理长足进步的称颂。”

然而霍金认识到，从粒子物理的角度理解自然规律，并没有回答如何把这些规律运用到任何哪怕是最简单的系统。在两个粒子环绕加速器赛跑后相撞的云雾室里，可预言性是一回事；而在洗澡水晃荡的简易浴缸里，或在地球天气中，或在人类大脑里，那完全是另一回事。

霍金的物理学，在获得诺贝尔奖和争取大量金钱作试验方面很有效，常常被称为一场革命。有时人们觉得一切都在“大统一