

# 上帝掷骰子吗？ ——混沌之新数学

【英】伊恩·斯图尔特 / 著

潘涛 / 译 朱照宣 / 校 陈以鸿 / 审订



· DOES GOD PLAY DICE? ·  
THE NEW MATHEMATICS OF CHAOS



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

# 上帝掷骰子吗？

## ——混沌之新数学

DOES GOD PLAY DICE?  
THE NEW MATHEMATICS OF CHAOS

【英】伊恩·斯图尔特 / 著  
潘涛 / 译 朱照宣 / 校 陈以鸿 / 审订



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

我不会相信上帝跟宇宙掷骰子,爱因斯坦如是说。秩序与混沌究竟什么关系?混沌是大众媒体炒作的怪物(蝴蝶效应),还是现实世界无处不在的实在(有条不紊)?混沌理论与其伴侣复杂性科学为何难解难分?本书为1989年英文初版的1997年增订二版,被公认为通俗诠释混沌之新科学的经典读物。微观粒子、龙头滴水、台球撞击、气候变幻、股市涨跌、心脏搏动、天体翻滚……混沌忽隐忽现,复杂漂浮不定。问题不在于上帝是否掷骰子,而在于如何掷骰子。

DOES GOD PLAY DICE?

Copyright © Ian Stewart, 1989, 1997

First published in Great Britain in the English language by Basil Blackwell 1989.

Published in Penguin Books 1990

Second edition published 1997

2016 Shanghai Jiao Tong University Press

All rights Reserved.

上海市版权局著作权合同登记号:字09-2013-969

## 图书在版编目(CIP)数据

上帝掷骰子吗:混沌之新数学/(英)斯图尔特著;潘涛译.—上海:上海交通大学出版社,2016

ISBN 978-7-313-13715-9

I. ①上… II. ①斯…②潘… III. ①混沌理论

IV. ①0415.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第247297号

## 上帝掷骰子吗?——混沌之新数学

著者:[英]伊恩·斯图尔特

译者:潘涛

出版发行:上海交通大学出版社

地址:上海市番禺路951号

邮政编码:200030

电话:021-64071208

出版人:韩建民

印制:上海万卷印刷有限公司

经销:全国新华书店

开本:787mm×960mm 1/16

印张:28.5

字数:386千字

版次:2016年5月第1版

印次:2016年5月第1次印刷

书号:ISBN 978-7-313-13715-9/O

定价:68.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56928211

## 中文版序

我很高兴获悉，上海交通大学出版社即将出版《上帝掷骰子吗？》第二版的中文版。自从本书第一版撰写以来，确定性混沌的概念——没有明显无规性的系统在其数学描述中呈现貌似无规的行为——在越来越多的科学应用中变得重要。

混沌所属的更为一般的理论，它不能与之分离的理论，是非线性动力学。这个学科包括规则的行为和模式，也包括混沌的不规则性，它对科学研究的影响日益广泛。《自然》和《科学》等顶级刊物经常发表利用混沌(或非线性动力学的某些其他领域)帮助理解天文学、生物学、生态学或神经科学中的问题的论文。混沌概念已经成为科学工具箱的标准组成部分。假如我再写本书的第三版，有许多丰富的新材料可以选用。

我认为，混沌是 20 世纪伟大的数学发现之一，它将在 21 世纪继续得到发展。混沌出现于许多科学领域和数学领域工作，运用从实验和计算机仿真到微分方程和代数拓扑学的多种方法的一批人在貌似无关的研究中。过去 50 年间，这些分离的研究分支汇集起来，对自然界许多的不规则性提供了新的、显著的理解。科学家和数学家得知，简单的、有结构的规则可以(并且往往)导致复杂的、不规则的行为。令人感到矛盾的是，这也意味着，在貌似无模式的动力学底下存在着隐模式。混沌理论家发明了新方法，帮助我们搞清楚这些模式是什么。

混沌对科学家如何思维做出了根本的改变。长期天气预报如今由运行几十个、乃至数百个仿真而产生，包含仿真开始时真实世界数据的小的无规变化。原因很简单：要避开那个著名的“蝴蝶效应”，描

述天气的方程式的一个恼人特征的耸人听闻名字。也就是说，天气的目前状态中的微小改变，可以导致其预测的未来状态的巨大变化。诀窍在于，做出许多的预测，每一个都从略微不同的数据出发，得出哪一个预测最可能正确——以及在多大程度上正确——的统计估算。

混沌阐明了动物种群逐年的变化。混沌帮助我们搞清楚太阳系在几十亿年前是什么样子，今后几十亿年将可能是什么样子。混沌影响了我们的日常生活，不仅仅是通过更好的天气预报，比如，弹簧制造业如今使用它进行金属丝的质量控制。这些革命性变化的许多故事，都在本书中讲述。感谢潘涛博士翻译本书，使得中国读者能够看到。我希望，你读它能够像我写它一样享受。

伊恩·斯图尔特

2015年1月

于考文垂

## 第二版序

《上帝掷骰子吗?》第一版出版于1989年,当时没有序。很长一段时间,我都没有写序,因为我觉得没有人看序言,所以本书由引言开篇。这次再版,引言仍然保留,但补写了序——是啊,两个引言有点过分。你要是有了第一版,正掂量这一版内容是否足够不一样到值得购买,应该阅读第14章到第17章的部分或全部,大部分是新加的内容。你要是不读,就掏钱买吧,行吗?把书带回家之前,你可以决定是否读这篇序言。

“混沌”不光是指混乱的时髦词。在科学中如今盛行的意义上,它是一个全新的不同概念。混沌出现于确定性(即非随机性)系统以貌似随机的方式行事之时。这听上去有些悖谬,但“貌似”隐藏着许多幺蛾子。最近十年的一大发现是,混沌就像传统类型的规则行为(诸如定态和周期循环)一样常见。回头来看,混沌并没有什么特别惊人之处。从今日的视角,加上后见之明,很容易理解,混沌如何产生,混沌为何频频现身。许许多多的人,其中很多是科学家,居然还是把混沌当作奇谈怪物来谈论。抱歉,混沌不是怪物。混沌如同周期循环一样稀松平常。可是几百年来,我们习惯于周期循环,我们刚开始跟混沌打交道,还没有习惯于它。不必惊奇:混沌是非常微妙、复杂的。

自1989年以来,混沌走过了很长的路。特别是在大众媒体中,它变成了“混沌理论”。我认为究其本意而言,把混沌视为一种理论是一个错误,但我理解记者们需要一个朗朗上口的短语来概括这个领域,你还能怎么叫它呢?于是,我有时也用这个短语,尽管我总体上用它指混沌的大众形象,跟实际科学家的用法有所区别。然而,混

混沌并不是一种理论。混沌是一个概念，是一个不可与动力学的其余部分分隔开的概念。它是一个打破所有科学传统边界的理念。它是巨大拼图的一块缺块。它是影响深远的有序与无序的统一。可是归根到底，把混沌分离为理论，就好比把“骨架理论”从动物学里抽离出来一样。

确实存在一种新的理论，名叫非线性系统理论、动力学系统理论或非线性动力学：不是在其以前完全不存在的意义上，而是在它“脱颖而出”的意义上，并且在其本来意义上堪称一个理论。这往往就是人们谈论“混沌理论”时所指的意思。其实，“理论”一词至少有两个含义。一个是用于“量子理论”或“相对论”中的含义——一种关于自然如何行事的陈述。此种理论的用处，取决于它与自然匹配得足够好。非线性系统理论，是另一种意义上的理论，即具备清晰、一致同一性的协调的数学知识体。于是，并不存在关于其正确性的严肃问题：当数学错了的时候，错误往往显而易见。大问题在于：混沌这个概念能够承担新的科学洞见吗？（假如不能够，我们就必须擦去非线性动力学：你不能把彼此分开。）数学意义上的混沌理论，会变成科学意义上的新理论的基础吗？

这正是混沌变得争论不休的地方，因为它不再是核查数学、搞清楚有没有错误的事。打个比方，微积分是一个有效的数学理论，但不意味着微积分对科学的每一个应用都必然正确。假如你为月球运动建立模型时设立了错误的微分方程，那么，不管你是否正确运用微积分，你都得不到有意义的东西。假如你的理论模型产生了混沌，道理亦然：从模型到混沌的联系可能是无懈可击的，但是，从实在到模型的联系呢？

《上帝掷骰子吗？》有两个突出的主题。其一是解释混沌的数学概念，混沌为什么既是自然的，又是不可避免的。其二是问：混沌在现实世界存在吗？为了使这个问题有意义，可以换一种说法。数学不存在于现实世界里。要紧的是，以一种有用的方式模拟现实世界。圆的几何，帮助我们理解为什么轮子圆滑滚动。可是，你在轿车上找不到真正的数学圆。你在现实世界里可以找到两只羊、两个苹果、两

个书挡,但你从未遇到“两”这样的数。于是,问题应该是:“混沌的数学概念以一种有用的方式模拟的现实世界,有助于我们理解我们所见到的事物吗?”

如果你看看科学期刊里刊载的东西,显然回答是肯定的。1995年,我参加了工业数学和应用数学学会(简称 SIAM)在犹他大学举办的关于动力系统应用的学术会议。SIAM 是世界上大多数技术先进国家的应用数学的头号职业团体,而不是极端分子的米老鼠聚集物。有五百多个数学家参加了为期四天的会议,会场上有二百多个研究报告。大约有一半是关于混沌的,或者是关于由混沌引发的论题的,诸如数据分析的新方法。所以,要是有人告诉你混沌不过是媒体的炒作,他们错了。混沌早就有了,如今才在科学意识里深深运行。当然,这个层面的活动不意味着混沌的每一个假设应用都是正确的。一旦混沌理论在一个领域得到“证明”,你就自动被迫把它推广到所有领域,此种假设(我认为此乃某些批评家如此不宽容地持否定态度的一个原因)就源于对我刚才提及的“理论”的两个含义的混淆。每一个应用,必须在其自身的科学领域内证明其价值。

《上帝掷骰子吗?》这个新版本不同于第一版,主要在于包括了关于应用的新材料。我对原版本实际上没有改动:自从它出版以来,没有发生什么需要动大手术的地方。我在原书末尾插入了全新的三章。第 14 章是关于混沌系统中的预言,那是完全可能的,取决于你想预言什么;它还讨论了多个相关议题。我列入了好几个新的应用,从变星的脉动到弹簧制造业中的质量管理。新加的第 15 章关于混沌系统的控制,一种实际应用的潜在来源,当你学会运用混沌而不是假装它不存在时何种优势会发生的案例研究。此种应用包括更加经济地操纵人造卫星,在灵巧心脏起搏器的方向上领先。

新加的第 16 章是相当臆测性的。我力求解释混沌概念如何可能导致对爱因斯坦著名问题(本书的书名)的新回答。爱因斯坦对量子力学通常以不可化约的概率性成立而忧心忡忡。量子世界的表现无规性,是否可能确实是确定性混沌?假如混沌在量子力学之前被发现,物理学的轨道是否会有所不同? 这些问题在 1989 年还无法回



答,现在却可以了。在科学文献中有一个十分特别的提议:是臆测性的,但基于坚实的发现,其中有些发现还很新。那是一个激动人心的故事,所有的配料都是好科学:只是整个搅拌是臆测性的。你不臆测,就不会积累。

我还把前面几章更新了一下。至少流体中的湍流的几个例子是由于混沌,现在是完全确定的。关于太阳系的动力学,有一些新的结果,就大大长于另一个十亿年时间,以其目前的形式似乎不存在。宇宙在比我们想象更大的尺度上是成团的。某些生态系统里的混沌,接近成为一个确立的事实。分形几何学已经取得了严肃的商业用途。数学方法已然高级到这样的程度:我们现在可以任何精度证明,气象学家爱德华·洛伦兹建立的模型确实导致混沌。这对那些认为混沌出现是由于计算机误差的正统卫道士是一个坏消息,但对非线性动力学的逻辑基础是个好消息。

最后,混沌理论的伴侣现在现身了,称为复杂性理论。混沌理论告诉我们,简单系统可以呈现复杂行为;复杂性理论告诉我们,复杂系统可以呈现简单的“突现”行为。不提及复杂性理论,如今对混沌的讨论就不完整,所以我把它放在最后一章。复杂性理论的确充满争议,但它给沉闷乏味的、老式的线性理论带来了新鲜空气。我坚信:未来几十年,目前还在摸索的复杂性理论家的那种思维,将在几乎所有科学活动的领域都证明有根本性的意义。我并不认为复杂性理论掌握了答案,但我认为它确实为这个问题提供了非常有意义的视角,此种视角又为寻找答案指明了新的道路。

我不想把混沌兜售给你。我不是寻求皈依的新宗教的先知。我不希望你信仰——只需思考。我所做的不过是,尽我所能以可理解的形式,把你混沌的目前进展和未来潜力做出自己的判断的信息,呈现给你。我哪怕是在臆测时,也力求清楚明白。其余时间,我把思想或结果以有待发表的严肃科学和数学文献的形式呈现。那并不意味着它们都必然正确,而是表明它们是可疑的……

现在我恐惧地知道了人们不读序的原因:那些序没意思,不是吗?可是,我还没有告诉你关于混沌的所有新应用呢——地球熔融

内核中的混沌,北极光中的混沌,时空深层结构里的混沌,编码理论和通信中的混沌,歌剧歌手嗓音中的混沌……

就此打住。

伊恩·斯图尔特

1996年1月

于考文垂

## 引言 是钟表还是混沌？

你信仰掷骰子的上帝，我却信仰完备的定律和秩序。

——爱因斯坦给玻恩的信<sup>①</sup>

有一种理论认为历史周而复始地演进。但是，人类活动的进程好比螺旋上升的楼梯，是在新的层次上经历一周的。文化变迁的“摆的摆动”并非简单地反复重演同样的事件。姑且不论上述理论正确与否，反正它成了一个引人注目的隐喻。本书的论题正是叙述一个这样的螺旋环：混沌<sup>②</sup>让位于秩序，秩序又产生新形式的混沌。但在这种“摆的摆动”过程中，我们不求破坏混沌，而图驾驭混沌。

在我们人类遥远的过去岁月中，大自然被当作变幻莫测的造物，物质世界的缺乏秩序被归咎于操纵它的法力无边、不可理喻的诸神的随心所欲。混沌泛滥成灾，规律无法想象。

几千年间，人类逐渐认识到，大自然有许多可以被记录、分析、预言和利用的规律性。到18世纪，科学在揭示自然界的规律方面成就斐然，使得不少人以为尚待发现的定律寥寥无几。亘古不变的定律精确而永远地规定了宇宙中每一个粒子的运动：科学家的任务乃是针对人们感兴趣的任何特殊现象阐明这些定律的意义。混沌让位于钟表世界。

但是，世界运动不息，我们的宇宙观亦随之而发展。如今，连我们的时钟都不用发条装置制成，为什么我们的世界却应当如此呢？

---

① 引自《爱因斯坦文集》第1卷第415页，许良英、范岱年编译，商务印书馆，1976年。引自爱因斯坦1944年9月7日给玻恩的信。——译者注

② 或译浑沌。——译者注

随着量子力学的诞生，钟表世界业已变成一张宇宙彩票。诸如放射性原子衰变这样的基本事件，都被认为决定于偶然，而不是决定于定律。尽管量子力学取得了非凡的成功，它的概率特征却还没有被普遍接受。这篇引言的开头引述了爱因斯坦(Albert Einstein)<sup>①</sup>在给玻恩(Max Born)<sup>②</sup>的信中提出的著名异议。虽然爱因斯坦指的是量子力学，可是他的哲学也代表了整个时代对经典力学所取的态度，而在经典力学中，量子不确定性是无效的。对偶然性而言，骰子的隐喻完全适用。确定性给不给偶然性留一席之地呢？

爱因斯坦对量子力学的看法是否正确，尚待分晓。然而我们的确知道，经典力学世界甚至比爱因斯坦想象的还要更加不可思议。他力图突出偶然性的无规性与定律的确定性之间的差别，这一点是大有疑问的。上帝或许能在掷骰子的同时，创造出定律完备和秩序井然的宇宙万物。

循环在更高的层次上轮回。因为我们开始发现，那些遵循不变的、精确的、定律的系统并不总是以可预言的、规则的方式运作。简单的定律可能不产生简单的性态。确定性的定律会产生貌似无规的性态。秩序能孕育出自身特有的混沌。问题与其说在于上帝是否掷骰子，不如说在于上帝怎样掷骰子。

这是一个重大发现，它的意蕴必将对我们的科学思维形成强大的冲击。从混沌的观点来看，预言(或可重复性实验)的概念焕然一新。我们过去以为简单的事物变得复杂了，与测量、可预言性和验证(或否证)理论有关的一些令人困惑的新问题产生了。

相反，我们过去以为复杂的事物倒可能变得简单了。看来无结构的、无规的现象实际上可能遵循着简单的定律。确定性混沌自有其一定的规律，并且带来了全新的实验技术。大自然中不乏一些不规则性，其中有些不规则性，可以证明是混沌之数学的物理表现形式。流体的湍流，地球磁场的反转，心搏的不规则，液氦的对流模式，

---

① 爱因斯坦(1879~1955)，德国-瑞士-美国物理学家。——译者注

② 玻恩(1882~1970)，德国-英国物理学家。——译者注

天体的翻转,小行星带中的空隙,虫口的增长,龙头的滴水,化学反应的进程,细胞的代谢,天气的变化,神经冲动的传播,电子电路的振荡,系缆于浮筒的船只的运动,台球的反弹,气体中原子的碰撞,量子力学的内在不确定度——这些仅是已应用过混沌之数学的问题中的一部分。

这是一个崭新的世界,一种新的数学,在认识大自然中的不规则性方面一个举足轻重的突破。我们正目睹着它的诞生。

它的未来不可限量!

# 目录 | CONTENTS

- 001 中文版序
- 003 第二版序
- 009 引言 是钟表还是混沌?
  
- 1 第1章 混沌出自秩序
- 3 无理的论理
- 5 钟表世界
- 8 向土卫七旅行
- 12 混沌
- 13 计算器混沌
- 18 印度教与机械维护技术
  
- 20 第2章 万应方程
- 21 宇宙旋转
- 22 来自希腊的齿轮
- 24 中心的太阳
- 26 摆的摆动
- 30 引力和几何学
- 31 世界的体系
- 33 钟声和笛声

- 35 风和波
- 36 被分析抛弃
- 37 当铺里的数学
- 38 重新表述时期
- 39 市场中的纠纷
  
- 41 **第3章 误差定律**
- 42 赌博收益
- 44 平均人
- 46 遗传天赋
- 49 技术转移
- 50 荷兰混沌
- 51 省掉一个范式？
  
- 54 **第4章 最后一个通才**
- 56 心不在焉的沉思者
- 57 数学奥斯卡
- 59 橡皮动力学
- 61 疯也似地奔向四面八方
- 63 永恒的三角关系
- 65 一个拓扑学问题
- 67 天体混沌
  
- 70 **第5章 单向摆**
- 72 你要是不能胜，就骗
- 75 能量面上的几何学

- 78 非象类动物学
- 81 把它卷起来……
- 84 比摩擦更奇妙
- 85 多维传奇
- 91  $n$  维空间中的动力学
  
- 93 第 6 章 奇怪吸引子
- 94 光阴似箭
- 96 汇
- 97 源
- 97 鞍
- 99 极限环
- 100 典型地,正是如此
- 102 旋转一只猫
- 103 洞见,而不是浅见
- 105 结构稳定性
- 107 吸引子
- 109 包绕映射
- 111 混沌的足迹
- 113 庞加莱截面
- 116 纬垂中的螺线管
- 120 康托尔干酪
- 122 真正的混沌
- 123 嘲讽对话



## 125 第7章 天气预报厂

125 辉煌的失败

126 气候象棋

127 在零和无穷大之间

128 百万次浮点运算

131 本质上的数学家

133 勇于自做对流

135 拥有计算机的好处

137 蝴蝶效应

141 拍打那只蝴蝶

144 拉伸和折叠

## 147 第8章 混沌的制法

148 拉伸和折叠

149 从雷达到马蹄

151 动力学波伦亚酱

153 磁阱

154 千层饼

156 在比顿之外

158 逻辑斯蒂映射

159 定态区

160 周期倍化级联

162 混沌中的秩序

164 大蚤,小蚤……