

支点丛书

[美] 马克·布查纳 / 著

by Mark Buchanan

刘 杨 陈雄飞 / 译

吉林人民出版社

C临界界 critical

为什么世界比我们想像的要简单





马克·布查纳是一位科学作家。1993年，他在美国弗吉尼亚大学获得理论物理学博士学位。在从事了几年非线性力学和混沌理论的研究后，他迁到英国伦敦，加入了国际科学杂志《自然》的编辑行列。此后，他为《新科学家》杂志做了两年特约编辑，在这之后，他搬到法国诺曼底的一个小村庄中，至今仍与他的妻子凯特和两条狗住在那里。

▲ 视点丛书

〈美〉马克·布查纳 著
刘 杨 陈雄飞 译

C 临界 ritical

——为什么世界比我们想像的要简单

吉林人民出版社

简 介

科学家最近发现了一条新的自然法则，其印迹几乎遍布所有领域——磁石的极细微的运动、森林火灾的蔓延、物种的灭绝、地震分布、金融市场的起落、交通的走向、城市的发展、战争的爆发，甚至服饰、音乐和艺术的趋势。无论我们看向何处，世界似乎都在一块简单的模板上塑造成型：像一个陡峭的砂堆一样，它正悬于动荡的边缘，如雪崩——在事物中遵循一种普遍的变化模式。

这一了不起的发现昭示了普遍共性的来临，这一科学的秘密存在于世界的日常事物中，马克·布查纳兼具文学家的敏锐鉴赏和科学家的一丝不苟，向人们介绍了那些探索这一法则的特立独行的研究者的故事，以及他们出人意料的观点。他告诉人们这一新的普遍原则将如何改变我们对预测学的理解，以及将如何使我们更容易地处理和控制未来。

更重要的是，布查纳在阐明普遍共性如何是一门统一的科学时，指出它也许包含一种“科学的科学”的初始，可能是人类文化和历史的一个动力。美国物理学家詹姆斯·克拉迟菲尔德说过，事实上，如果没有普遍共性背后的核心观点，“科学的事业从一开始就注定要失败。”在新世纪之初，我们看到了自混沌和复杂以来科学研究中一个最了不起的新观点的诞生——这是一个具有无限力量、美感的观点，其含义远远超出科学之外。这本书作为第一部详细证明这一发现及其影响的专著，将统一我们看待世界及自身位置的方法。

目 录

1

重要原因 /1

有缺陷的和平 /7

大火灾 /9

急转直下 /11

陡峭的边缘 /14

砂人 /16

除蝴蝶之外 /20

历史的作用 /24

2

动摇不定的游戏 /29

不确定的根据 /33

先兆不可靠 /36

天文学牧师 /38

大泥球 /42

背景的杂音 /46

3

荒谬的推理 /51

嗅出的炸弹 /55

马铃薯逻辑 /60

原因 /64

4

意外事件 /67

不规则碎片 /74

小岛和电子 /76

历史物理学 /79

对细节的记忆 /83

5

命运的绞链 /87

移动的砂粒 /90

粘附和下滑 /93
一位老朋友? /96
错误的一致性 /99
怎么会这样呢? /102
失衡的世界 /104

6

磁性 /109

关于顺序 /113
0 的故事 /116
派系的兴起 /120
深层理论 /123
临界 /127

7

关于临界的思考 /133

适当燃烧 /138
超临界 /142
相对临界 /145
稻谷:一种更好的砂子 /149

8

消遣 /157

上帝的行动 /163

寒风 /167

图书馆中的十年 /170

9

生命网 /179

山中漫游 /185

数码种族 /189

木棒和楔子 /193

进化论思考 /197

外部的影响 /202

10

内心狂热 /209

追溯基本规律 /214

难以控制的波动 /217

人群 /222

智力游戏 /225

小世界 /229

11

完全违反意愿 /237

大都市机制 /244

从赤贫到暴富 /248

12

玄妙的地震 /253

砂子的历史 /258

不仅仅是故事 /261

学习的习惯 /264

是否正常 /268

革命的物理学 /272

13

数字问题 /277

论文追踪 /281

科学的砂丘 /285

人性的本质 /289

文明及其不满 /292

严酷的推断 /295

信念的作用 /300

14

历史问题 /305

了不起的砂粒 /310

克娄巴特拉的鼻子 /313

历史游戏 /318

15

非科学预言 /323

历史物理学 /329

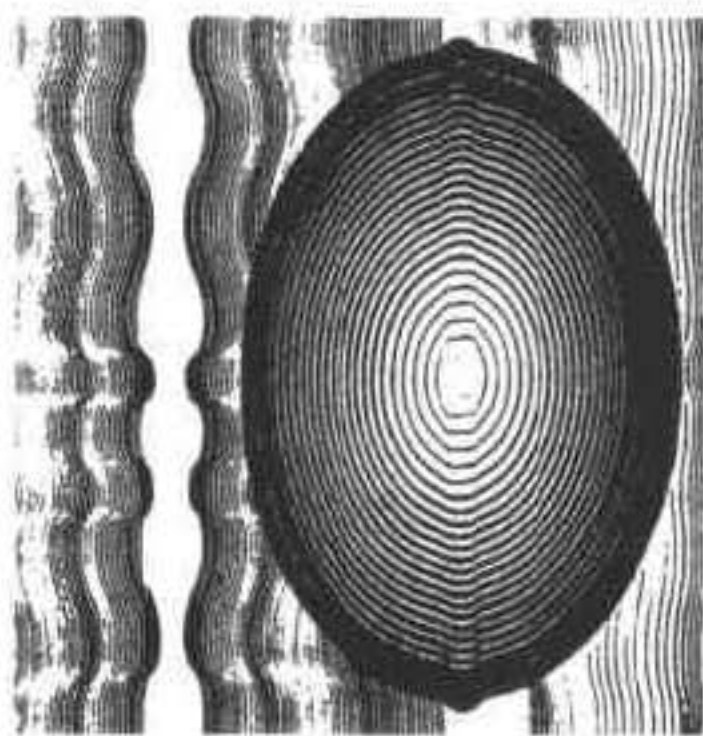
重要原因

政治不是一门关于可能性事件的艺术。它包含了在灾难和恼人事件中所作的选择。

——约翰·肯尼斯·加尔布莱斯¹

历史是一门关于永不重复的事件的学科。

——保罗·瓦莱利²



此刻是1914年6月28日上午11时，萨拉热窝一个晴好的夏日上午，一辆汽车载着两名乘客，司机拐错了弯。这辆车本没打算离开大街，但它的确拐出了大街，上了一条没有退路的窄道。这并不是一个严重的错误，在拥挤不堪、尘土飞扬的街道上这种失误是难免的。但是这位司机这天犯的这个错误却打乱了无数人的宁静生活，改变了世界历史的进程。

这辆车恰好停在了一位19岁的波斯尼亚—塞族学生加夫利罗·普林西普的前面。普林西普是塞尔维亚恐怖组织黑手党的成员，他几乎不能相信自己的运气竟如此好。他大步走到汽车跟前，从口袋里拔出一只小手枪瞄准，开了两枪。车上的两位乘客——奥匈帝国的弗兰兹·斐迪南大公和他的妻子索菲娅在30分钟内双双毙命。几小时之后，欧洲的政治格局就土崩瓦解了。

事发之后，奥地利以这次暗杀为借口，开始图谋入侵塞尔维亚。俄国保证要保护塞族人，而德国则表明如果俄国介入，他们将站到奥地利一边。仅在30天内，这种国际间威胁和承诺的链式反应便调动了大量军力，将奥地利、俄国、德国、法国、英国和土耳其等国缠入了一个死结。当5年后第一次世界大战结束时，一千万人为此付出了生命。之后的20年间，欧洲陷入了一种无奈的沉寂中，这时第二次世界大战又夺去了三千万人的生命。仅在30年内，世界就遭受了两次重创。这是为什么呢？难道只因为一个司机的过错吗？

当然，对第一次世界大战爆发的原因和根源的分析，几乎已经面面俱到。如果说是普林西普拉动了导火索的话，那么对

于历史学家 A.J.P. 泰勒来说，战争确实就像铁路时刻表，它使国家陷入一系列无以逃遁的军事准备和宣战中。正如他所说的那样，“交战国被它们的创造力所困”。³ 其他历史学家只是简单地把矛头指向德国的野心和国家的扩张欲，指出当半个世纪以前德国在俾斯麦的促进下实现统一后，这场战争就在所难免了。即使今天，还时常有关于这一主题的新作出现。⁴ 当然，我们应该记住，所有这些历史“解释”都来源于事实。

在考虑我们有多了解人类历史的自然韵律时，在判断现在我们预测未来的大致轮廓有多准时，应该记住 1914 年那个漫长、平静的下午，对于当时的历史学家来说，这场战争就像是在一望无际的天空中爆发的一场可怕而无法预测的风暴。美国历史学家克莱伦斯·艾尔沃德在第一次世界大战之后写道：“所有地狱的恶魔都在世间任意游荡，使它变成了一个屠场。由我的同时代人设计建造的历史……的完美大厦，顷刻间土崩瓦解了……我们历史学家读解的历史意义是错误的，完全错误。”⁵ 艾尔沃德和其他历史学家认为他们已经辨明了过去的正规结构，并已确信现代人类历史将沿着合理线索渐次展现。其实相反，未来似乎掌握在迷茫，甚至是邪恶势力的手中，他们正在暗处预谋着不可想像的大灾难。

第一次世界大战是世界史上无法预料的大动荡的原型，这场战争由“历史上最著名的拐错弯引起，”⁶ 人们也许会认为这种特例事件决不会再发生了。凭着事后聪明，许多历史学家认为他们理解 20 世纪世界大战的爆发原因，我们又可以清醒地前瞻。而且，我们中没有几个人——包括专业历史学家在内——现在看起来比他们更聪明。

20 世纪 80 年代中期，苏维埃社会主义共和国已经成立了将近 75 年，在世界舞台上似乎成了一个永久的国度。那时，美国明显害怕苏联在军事上占上风，只有不断努力，美国才能处于不败之地。在 1987 年，即便人们研究了历史和政治学期刊后，恐怕也很难找出任何线索推论出苏联将在半个世纪内解体，更不要说在未来的十年中了。然而，使世人愕然的是，仅在短短几年后不可想像的情况变成了现实。

一些历史学家受苏联解体的触动，得出了另一结论：民主似乎在全球扩展开来，形成一种和平持久的“新的世界秩序”——这个词至少受到西方政治家的青睐，他们高兴地宣称民主（和资本主义）最终战胜了共产主义。一些作家甚至推测我们也许已接近“历史的尽头”，⁷ 因为世界似乎已处于全球民主的某种最终平衡中，人类渴求个人尊严的实现经过几个世纪的斗争已经胜利结束了。仅在几年之后，在原南斯拉夫，战争和可怕的非人道又光顾欧洲。暂时的倒退？亦或是未来事件的第一噩兆？

毫无疑问，历史学家也可以很令人信服地解释——尽管当然是以回顾的方式——这些事件的发生原因。这种解释并没有什么不妥——从历史的本质来看，思考和解释总是在事件之后的。索伦·柯克嘎尔德曾描述过这种矛盾状况：“生活是后来被理解的，但却发生在先。”然而，这种总是在事后寻求解释的需要也表明人类事件缺少简单而可以理解的结构。在人类历史中，下一个戏剧性的插曲，下一次大变动似乎总是随时发生。

所以，尽管他们打算在历史中至少找到一些有意义的结构，但也许许多多历史学家确实很同情 H.A.L. 菲舍，他在 1935

年下结论说：“与我在历史中辨明一个情节、一个韵律、一个先决结构相比，人类要聪明、渊博得多。这种和谐不为我所知。我只见到突发事件一件接着 一件……对于历史学家来说，只有一条安全的法则：他应该在人类定数的发展中识别偶发事件和未知事件……一代取得的成就也许会在下一代中荡然无存。”⁸

读到这里，你也许会惊奇地发现，本书的观点并非源于历史，而是源于理论物理。我开篇便回忆上一世纪的主要战争，并鼓吹人类历史多变而震动的特点，这也许看起来很奇怪。历史发展遵循着一条曲折的道路，对其路径预测的尝试一直就是一大笑柄，这一点早已为人们所熟知。然而，我的目的是使你确信我们生活在一个特殊的时代，有着特殊根源的新观念正开始使你认识到历史形成的原因；认识到它何以——甚至必须——伴以剧烈的、无法预见的大动荡；以及为什么过去体验历史中的循环、发展和可理解的变化结构的努力都注定要归于失败。

有缺陷的和平

人们也许怀疑历史否定了人的理解力，因为它取决于人们无法预测的行为。将个人的不可预测性扩大十亿倍，那么历史中没有简单定律就不足为奇了。比如，没有什么会像牛顿定律一样，可以让历史学家预测出未来的轨迹。这个结论看上去很合理，然而我们在认同之前需要仔细考虑一下。如果人类历史取决于无法预测的动荡，如果即使是微不足道的事件也一定会使它的过程发生很大改观，那么它就不会成为一个独特的过程，在我们的观察中，这些特性是模糊的，少数人才刚刚开始明白这其中存在着非常深刻的原因。

神户是现代日本的宝地之一。该城位于日本最大的岛——本州岛的最南端，其港口是世界第六大港——每年的吞吐量几乎相当于全日本进出口贸易额的三分之一。神户有一流的学校，那里的居民就像是聚居在环境稳定的天堂中。这座城市完全有理由自称是一个“城市胜地”⁹：几个世纪以来，平静的日出之后又迎来了明亮、温暖的午后，继而是凉爽静谧的傍晚。身在神户，你永远不会想到，就在你的脚下，无形的力量正在酝酿着无与伦比的威力的释放。当然，除非在 1995 年 1 月 17 日上午 5:45，当平静突然被打破时，你恰巧就在神户。

在那个时刻，离日本大陆不远、距神户西南 20 公里的一处

地方,海底的几小块岩石突然裂开了。这本身并没有什么稀奇的——地壳的小规模重组每天都会发生,这是日本地表漂浮的大陆板块相互摩擦而慢慢累积的压力引起的。但是这时,作为小规模重组的断裂并没有及时停下来。最初几块岩石的断裂改变了附近其他岩石的受力,使它们也裂开了。延伸下去,其他岩石也随之断裂,仅在几秒钟内,地面裂开了一条大约 50 公里长的缝隙。随之而来的地震释放出相当于 100 颗原子弹的能量,摧毁了所有联通神户的主要干道和铁路线。在市区内,10 万多幢楼房倾斜倒塌了。地震引起的大火一周后才得到控制,失控的大火将神户港 186 个泊位烧得只剩下 9 处。最终,这场大灾难使 5 000 人丧生,30 000 人受伤,300 000 人无家可归。¹⁰

几个世纪以来,神户周围地区从地质上讲一直是一片沉寂,然而,仅在几秒钟内,就爆炸了。这是为什么呢?

日本多震一向有名。1891 年一场相当于这次 10 倍威力的地震将日本夷为了平地,1927 年、1943 年和 1948 年,在其他地区也发生了地震。正如世界各地的典型地震一样,这些大地震之间的间隔——35 年、16 年、5 年——很难形成简单、可预测的序列。如果说历史学家 H.A.L 菲舍没有看到历史中的“一个情节、一个韵律、一个先决结构”,那么地球物理学家也是一败涂地,尽管他们花了很大心血去解析地球地质活动的简单结构。

现代科学家可以极其精确地描绘遥远的彗星或小行星的运动,然而地球运动的某种形式使地震预测即使不是完全不可能,也是极其困难的。就像国际政治的结构一样。地壳易于发生偶尔并且看似不可预测的大变动。



大 火 灾

在怀俄明广阔的大角盆地以西不远处，黄石国家公园狂野、无拘束的风景一直爬升至洛基山脉。大片白杨和美国黑松构成的森林像柔软的织物一样覆盖着山坡，这里隐藏着黑熊、灰熊、麋鹿和无数不同种类的鸟和松鼠，所有动物都在这种看似原始的旷野中繁衍生息。松树盘根错节，像永远守卫的卫士一样俯视着公园。这个美国最美丽的自然公园，是 1872 年为保护生态而建的，现在每年假期它都要迎来一百多万名游客。

但是，如果说黄石公园总是一片宁静的话，它也会偶尔爆发出可怕的、狂野的暴力。每年，雷电都会在公园内引起几百场火灾。大多数只烧了不到一英亩，或者几英亩就熄灭了，而其他一些大火却烧毁了几百英亩，甚至几千英亩森林。1886 年发生了有史以来最大的森林大火，仅烧毁了 25 000 英亩的森林，所以 1988 年 6 月末，当夏日雷雨的一道闪电引燃了黄石公园南端的一小片森林时，并没有引起人们足够的重视。这场火灾被命名为“搜松”，森林服务总部开始对它的蔓延进行了控制。在一周之内，暴雨在公园的其他地方又引起了几场火灾，但还不是很严重。7 月 10 日，一场暴雨过后，几处小火还在慢慢酝酿中，但看起来都在控制之中，下周就会熄灭。事实却并非如此。

不知是由于不寻常的干燥环境，还是持续的风力，没人能说清楚，总之到7月中旬时，国家森林总部的发言人后来回忆说，“到那时为止，火势一切正常。”¹¹但是7月14日，一场大火吞噬了4700英亩森林，另一场大火蔓延了2900英亩。接着，4天之后，在一个叫明克溪的地方烧起的另一起大火蔓延了13000英亩，森林管理者们遇到的问题是专家也始料不及的。这场叫做“搜松”的火灾突然积蓄了新的生命力，仅在几天之内就吞掉了30000多英亩林地，到8月份，公园200000英亩的森林不是已被烧毁了，就是正在燃烧，在16公里高的令人窒息的烟层下面，火舌每天都会前进8到16公里。

在此之后的两个月中，来自全国的10000多名消防队员动用了117架飞机和100多台灭火器白白苦战一番，大火还是烧遍了整个公园。最终，这场大火烧毁了150万英亩林地，花费了1.2亿美元联邦灭火费，直到秋季第一场雪来临时才算是告一段落。不起眼的一道或几道闪电有时会将人们引入没有尽头的炼狱，使黄石公园历史上最严重的火灾看起来也只是像后院的烤肉野炊一样。是什么使这场火灾如此严重呢？为什么没有人预测到它的来临呢？

急转直下

1987年9月23日，全世界的投资者都拿起《华尔街期刊》，阅读一条十分有趣的头版新闻：“重金属贸易中股票价格飞涨，工业股涨至75.23点”¹²。那是一个令人难以置信的夏季，每天每周人们几乎毫不例外地会看到更大的数字、得到更多的收益。几周以前，纽约政券交易所的股价达到了新的持续高升，尽管在那之后，股价曾有所回落，但多数交易人预计9月23日的高潮会重演，这是小幅度“纠错”的自然结局，势必为进一步的收益打下伏笔。一位交易人说道：“在这样的行市中，任何消息都是好消息。行市将呈上升走势，这简直是无可非议的。”¹³

所以，两周以后，当股市10月6日开盘时，多数分析家满以为股价会升得更高。当股价出人意料地开始下跌时，最初并没有引起人们的重视。显然，多数分析家认为这只是又一次微不足道的纠错，一次由投资者对利率和美元价值把握不准而造成的暂时倒退。但是，由于某种原因，这种小幅度纠错持续了很久。到当天收盘时，股民大量抛售股票，这对于行市中乐观的“空头业者”来说，无异于一记响亮的耳光。正如有人说的，这次完全是出乎我的意料之外。我没想到会这么糟……在下午3点钟时，一切都静止了，我们开始注视着大屏

幕。电话甚至都不再响了。我们目睹了历史的形成。¹⁴

即使是这样，历史剧也才真的刚刚开始。

令人欣慰的是，媒体很快指出 10 月 6 日的下跌如果从历史背景来考察，从比例上讲，甚至还排不进 100 次最大下跌之列。所以，问题真没有那么严重。第二周，股市继续下滑，10 月 14、15、16 日连续三天损失惨重。《华尔街期刊》仍保持着极端自信，对未来充满了希望：这是许多天里的第三次大幅度下跌。但是几位技术分析家认为，星期五的萧条的大额交易也许意味着未来事态的好转。¹⁵

事实上它意味着事情更糟了。

在 10 月 19 日，黑色星期一。几周以来在几千位主要投资人心中不断积聚的微妙的忧虑，突然转变成恐惧的暴雨。当交易所上午 9:30 开盘时，一场疯狂的恐慌突然扩散开来：股票价格开始直线下跌。抛售狂潮如此汹涌，以至于到下午晚些时候，股票和债券的相当可观的价值减少了五分之一以上，5 000 亿美元从投资者的金融报表中被抹了下去。收盘时，一种恶梦般的忧郁笼罩了华尔街，因为交易人认为这一天创下了股市历史上一天股价自由下降的最高纪录。《新闻周刊》上写道：“两代人都已肯定这不可能发生，现在的感觉就像世界末日一样。”这次崩盘比邪恶的 1929 年股市崩溃还要糟糕一倍，尽管幸运的是，这一次并没有引起全球经济危机。一位亿万富翁下结论道，“是上帝在拍我们的肩，警告我们要采取一致行动。”

对于第一次世界大战和神户大地震，没有人曾作出任何预测。相反，事后不久，分析家对当时为什么会发生这种事情作

出了各种各样令人怀疑的解释。然而，即使是今天，他们也没能达成共识。正如一位华尔街资深分析家结论的那样，1987年的崩盘是一场集体快感的大风暴，那些认为“行市如机器”的理论家一直在努力地解释这一事件，猜想它如何“固定”了该系统。

最有说服力的理论就是，这次崩盘是由所谓的政券保险电脑程序引起的，从本质上讲，这些程序会在行市低靡时抛出证券……不幸的是，这一理论并没有很好地解释出为什么全世界的股市会同时崩盘，以及股价狂泄为什么会停止。它根本无法解释为什么世界上许多不进行电脑贸易的指数甚至比道·琼斯工业指数下降得更多。它还忽略一个事实，那就是整个1986年和1987年行市观察员同样严肃地一直解释着诸如政券保险之类的“安全装置到位”，股市崩盘应该是不可能发生的。¹⁶

陡峭的边缘

战争的根源应在政治和历史中寻求,地震的根源应在地球物理中,森林大火的根源应在天气变化和自然生态中,股市崩盘的根源应存在于金融、经济和人类行为的心理原则。除了明显的“灾难”和“动荡”以外,每次此类事件都有着自己独特的环境,同时,也存在着令人迷惑的相似性。仿佛在每种情况下,系统的组织——国际关系网、森林或地壳结构,或者投资人彼此关联的期望和交易观念网络——使得一次小规模震动就足以引发任意规模的反应。这些系统仿佛处于微妙不定的状态中,只在等待启动。

我们在人类历史中找到了类似的结构。化石记录显示,我们星球上的物种数量大致说来——在过去的6亿年中一直平稳地增加着。然而,至少有五次,突发的可怕的集体灭绝几乎毁灭了所有物种。发生了什么呢?许多科学家认为由较大的小行星或彗星撞击地球引起了地球气候变化。其他科学家则认为仅仅一个单一物种的灭绝偶尔会引起其他物种的灭绝,这些物种的绝迹继而又引发更多的物种灭绝,最终导致一场生态系统中大部分物种的灭绝雪崩。集体灭绝一直迷惑着生物学家和地质学家,但有一点是清楚的,如果生命结构适应力很强,完全可以自求平衡的话,事实就更难以确定了。全球生态系统总是时不时地上演突然崩溃的插曲。

在我读小学的时候，几何老师布置的最可怕的功课之一就是判断两个三角形是否相似。她会说，这里有一个三角形，又有一个小得多的三角形，以另一种方式定位。除了整体面积和方位等无关紧要的细节之外，这两个三角形是一样的吗？换言之，如果你可以把其中一个任意放大或缩小、翻个或旋转，你能够使它们完全重合吗？如果答案是肯定的，那么这两个三角形就是相似的——如果你了解了其中一个三角形，它的三个角和三条边比例的主要逻辑，你就可以理解另外一个。

三个世纪以前，伊萨克·牛顿观察到另一种形式的相似性，因而掀起了一场科技革命。当他告诉同时代的人苹果落地和地球公转的原理是完全一致的，他们一定先是不相信，后又惊愕。牛顿认识到地球和苹果同属在引力作用下的运动物体这一范畴。在牛顿之前，地面和天际之间的事件是完全不能比较的，在他以后，苹果、火箭、卫星甚至整个银河系的运动看起来都十分相像——只不过是单一的、深层过程的例子。

美国哲学家、心理学家威廉·詹姆士写道，“聪明的艺术就是要知道去忽略什么。”¹⁷本书正是在沿着学会忽略什么的科学之路所作的一次大跃进。这是有关深层相似性的发现的一本书，但这种相似性不是三角形或运动物体之间的，而是存在于影响我们生活的动荡之间，存在于动荡出现的复杂的网络方式中——经济、政治体制、生态等等。我们也许还可以加上时装或音乐品味上的巨大变化、社会动荡的插曲、科技变化，甚至伟大的科学革命。我们将会看到，所有这些事情，以及它们发生时的系统运作可以反映出几个简单而模糊的深层过程的发展方向。更奇异的是，我们可以通过几个粗浅的数字游戏而理解它们的运作。

砂 人

阿尔伯特·凯穆斯曾经写道，“所有了不起的行为和伟大的思想，其开端都是荒谬可笑的。”¹⁸1987年，当三位物理学家在纽约州布鲁克海文国家实验室的一间办公室里开始做一个奇怪的小游戏时就是这样。人们认为，理论物理学家应该探索宇宙的起源，或是解答原子或量子物理学最新的难题。但是 P. 巴克、C. 唐和 K. 威森菲尔德却在忙着其他的事：说来很简单，他们在设想如果向一个桌面一次投下一粒砂子会有什么情况发生。

物理学家喜欢提一些看起来无关紧要的问题，经过一定思考，这些问题又不是毫无价值的。从这种观点看来，砂堆游戏就是一个真正的赢家。随着砂子不断落下，似乎很显然一个大砂山会慢慢向上累积，然而，事情当然不会一直这样发展下去。砂堆不断增长，砂堆的边缘越来越陡，下一粒落下的砂粒很可能会引起一场雪崩。这时，砂堆就会滑落到更平坦的位置上，砂堆也就越变越小，而不是越来越大。结果，砂山会交替地增大或变小，它的起伏不平的剪影总是不断波动着。

巴克、唐和威森菲尔德想要弄清楚那些波动：增大和变小的砂堆的典型韵律是怎样的呢？人们认为，这是一个无足轻重的问题。然而，不停地一粒一粒投下砂子却是一件精细而累人



的事。所以，巴克和他的同事们借助计算机来找到答案。他们指示计算机向一个假想出的“桌面”上投下假想的“砂粒”，并且设定了简单的规则，规定随着砂堆不断变陡，砂粒将如何滚下山坡。这与现实的砂堆不完全一致，然而电脑却具有一个独特的优势——砂堆的增长只需几秒钟，而不要几天。游戏做起来很简单，三位物理学家紧盯着电脑屏幕，为落下的砂粒而心驰神往，观察着游戏结果。他们开始发现了一些奇怪的现象。

第一个最大的惊人之处是对于一个简单问题的答案：一场雪崩的典型规模有多大？也就是说，你应该设想下一场雪崩有多大？研究人员进行了大量实验，计算了几千个砂堆中的几百万场雪崩涉及的砂粒，寻求牵涉到的典型砂粒数量。结果怎样呢？毫无结果，就是因为没有“典型”的雪崩，有些雪崩只涉及到一颗单个砂粒；其他的则牵涉到十粒、一百粒或一千粒砂子。还有一些涉及到上百万粒砂子的大变动，它几乎会使整个砂山崩塌。仿佛随时，任何事情都有可能发生。

不妨想像一下你在街上漫步，猜测一下你遇到的下一个人会有多高。如果人的身高与这些雪崩同理的话，那么下一个人也许不到一厘米高，或者高于一千米。也许在看到之前，你就已像踩虫子一样将他踩扁了；再或许想像一下你从单位到家的路程也是如此。你根本无法计划自己的生活，因为明晚的旅行也许会只在几秒钟，也许就要花去好几年。至少可以这样说，这是极具戏剧性的一种不可预测性。

为了弄清楚为什么在他们的砂堆游戏中会出现这种不可预测性，巴克和同事们又对他们的电脑使了一个小花招。他们从

顶部俯视整个砂堆，并根据其坡度涂以不同的颜色。在相对平坦、平稳的地方涂上绿色；在陡峭、用雪崩术语讲“易于崩落”的地方涂上红色。结果如何呢？他们发现，刚开始，砂堆看起来几乎一片绿色，但是随着砂堆不断增大，绿色就开始渗进越来越多的红色。随着砂粒不断增加，分散的红色危险点也不断增多，最终密集的不稳定轮廓布满了整个砂堆。一粒砂子的奇特行为存在着一条线索：当它落到一处红点上时，会通过像多米诺股牌一样的运动使周围的红点发生滑落。如果红色网络十分稀疏，所有的危险点都彼此间隔很远的话，那么一颗谷粒的影响就十分有限了。但是，当红点布满整个砂堆时，下一粒砂子带来的后果就完全不可预测了。它也许只会带动几粒砂子随之下落，也许会引发一场包含无数砂粒的灾难性的链式反应。

看起来，也许只有物理学家才会对此产生兴趣。但是请你坚持读下去。电脑砂堆自行组织的这种极其敏感的状态被称为临界状态。物理学家在一个多世纪以前就已熟悉了这一基本概念，然而，它一直被视为一种理论上的异想天开和枝节问题，一种只有非常特殊的情况下才会出现的极端不稳定、不寻常的条件。然而，它似乎在砂堆中随着任意增长的砂粒而自然而然地、不可避免地出现了。¹⁹这使巴克、唐和威森菲尔德开始思考一个很具诱惑力的可能性：如果临界状态在砂堆中这样容易而不可避免地出现了，那么与之类似的其他什么状态能否在别的环境中出现呢？比如说是否有一种逻辑上相应的不稳定分布线布满地壳、森林和生态系统，甚至是我们的经济的更为抽象的“结构”呢？想一想神户附近最先震动的几块岩石或者引起



1987年股市崩盘的最早的股价微调吧。它们可能是在另一层次上运作的“砂粒”吗？临界状态的特殊组织能否解释世界为什么如此容易发生无法预测的大变故呢？

另外，几百位物理学家经过十余年的研究探索着这个问题，并把最初的想法不断深化。²⁰这其中有许多微妙之处和让人意想不到的进展，我们在本书中将一一谈及。但是大致说来主要信息是很简单的：临界状态的特殊而又极其不稳定的组织在我们的世界上似乎的确是无所不在的。在过去的几年里，研究人员发现它的数学模式存在于我所提到所有动荡的运动中，同时也存在于传染病的蔓延中、交通堵塞的扩散中、办公室里经理向工作人员发布命令的方式中，以及其他许多事物中。²¹各种事物——原子、分子、物种、人，甚至观念的网络似乎按照某种相似的模式组织，这一发现成为我们论述的基础。基于这种认识，科学家们最终开始探究各种各样纷繁复杂的事物背后到底隐藏着什么，并看到了他们以前从未见到的结构。

这是一个有暗示的发现，但是，在我们谈论这些问题之前，还是很有必要弄清楚什么是临界状态，什么不是。

除蝴蝶之外

“临界”(critical)一词起首于字母“c”，而与金融市场或天气之类的事物有关的词也是如此。首先有大灾难理论(catastrophe theory)，之后是混沌(chaos)，最近还有复杂(complexity)。临界状态与这些事物有什么关系吗？

如果你轻轻地推一支吸管的两端，就好像试着要压缩它，把它弄短一样，它的确会变得短一些。然而，再用力一些推，吸管会在某一处突然折断。20世纪70年代，一位叫何尼·汤姆的数学家设想出一个描述这种突然变化的理论，他把这种变化称做“大灾难”。但是汤姆的大灾难理论尽管名字很有诱惑力，但与地壳、经济或者生态系统的运动没有任何关系。在这些几千个或者上百万个因素相互起作用的事物中，整体组织和行为才是至关重要的。要理解这类事物，我们需要一个适用于相互关联事物构成的网络的理论，大灾难理论已不适用于这些事物。

早在一个世纪以前，伟大的法国物理学家亨利·潘伽利就在他的著作中提到了混沌理论，但直到20世纪80年代科学家们才认识到它的重要性。如果什么东西是混乱无序的，那么它的运动就像一个被投入弹子机的弹子一样，未来发生的事情完全取决于它在途中遇到的任何轻微的影响。例如，在每一个普



通的气球里，分子都按混沌法则运动着：即使轻轻地触动一下一个分子，不到一分钟之内气球内所有的分子都会受到影响。在地球大气环境下，混沌带给我们的是“蝴蝶效应”：这是一种似是而非的结论：现在在葡萄牙一只蝴蝶振翅飞舞也许将导致几周后莫斯科的一场猛烈的风暴。

由于这种让人难以置信的敏感性，对任何混沌系统的未来进行预测都几乎是不可能的，即使一个混乱系统的内在法则非常简单，在它看起来，也是十分反复无常的。研究人员已经发现，混沌状态的数学模式存在于从镭射到兔子繁衍的许多事物的运动中，甚至还存在于人类心脏的健康搏动中。20世纪80年代末、90年代初，一些科学家甚至希望混沌理论能够最终帮助人类理解金融市场中无常的起起落落。但是这不可能——原因很简单。

蝴蝶效应就是大多数非学术界人士对混沌概念的直观理解。不幸的是，与以往一样，这种看法又将人们引入了误区。我们应该会注意到气球内部分子运动出现混沌现象，但其出现次数是有限的。你曾经看到一只气球里面翻云覆雨吗？一只气球里的蝴蝶即使一直振翅，永不停歇，也不会得到任何回应。所以，混沌状态本身并不能解释蝴蝶为什么可以引起暴风骤雨。它的确可以解释为什么一个小小的理由很快就足以使未来情况在细节（许多分子的位置）上与设想中大相径庭了。但是，要想解释为什么微不足道的理由最终引起大变故，我们还需要别的论据。尽管我们可以说混沌可以解释简单的不可预测性，但它无法解释动荡性。

还有一个以C开头的单词：复杂。几个世纪以来，物理

学家已经在永恒不变的等式中找到小宇宙的基本法则，比如量子理论和相对论的等式。我们会注意到，既然气球中的空气在恒定条件下存在于一种平衡状态之中，那么这也是一种永恒。相比之下，由于大气受太阳光线的流动而不断被激发、刺激、填充能量，它是绝对失衡的，对于变故的产生，我们得出了一条线索：它产生于均衡和非均衡的边界状态中。如果说处于平衡状态的事物是极其简单的，那么非均衡的事物就是十分复杂的。

变故的发现以及本书的核心思想在于飞速增长的非均衡物理界，用目前流行的话来说，在于复杂系统的物理学中。通过研究在非均衡条件下从相互纠结的事物网络中产生的自然结构，我们就可以理解从翻滚的大气到人脑的各种自然现象。复杂系统的研究所涉及的都是非均衡状态下的事物，当然，在这项任务上，科学家们还刚刚起步。因而，临界状态和复杂状态之间的关系是十分简单的：临界状态的模糊性完全可以被视为复杂理论的第一个有用发现。

然而，我们还可以用另一种有效的方法来看待这一切。在逐渐认识复杂系统的过程中，科学家们似乎对一个简单的事实有了一种新的理解：历史在我们的世界中是十分重要的。对于最终由一个单细胞发展而来的生物体来说，这一点是不言而喻的。但是，如果人们不了解其形成的全部历史，就无法理解一根钢管的坚硬，或是一块断砖的不规则表面。历史对于气球并不起作用，因为在均衡状态下，一切都保持不变。但是，在非均衡状态下，历史的确是至关重要的。人们只能通过追述一片雪花在微薄的空气中的结晶过程，才能知道它的形状的每一处

细节。

这些就是非均衡物理学中的全部问题，非均衡物理学又叫做复杂系统物理学，我们也可以造一个新词，叫它历史物理学。如果说物理法则都极其简单的话，那么世界为何又如此复杂呢？为什么生态系统和经济秩序显示出与牛顿定律一样的简单性呢？答案用一个词来说，那就是历史。

历史的作用

对于处于非均衡状态下的事物，人们无法通过解永恒的方程来了解它们，所以物理学家们采取了另一种方法——用游戏来代替方程式。现在物理研究期刊上满是关于简单游戏的论文：有些旨在探索结晶过程的基础，另一些则在模拟不规则表面的形成，还有其他种种。几百篇论文各有千秋，然而，它们总体说来都像砂堆游戏一样，是有关非均衡系统的，因此从本质上讲都是很具历史性的，都对弗朗西斯·克里克曾经提到的“封冻的意外”很敏感。在砂堆游戏中，一颗砂子会随机落下。然后，砂堆就渐渐漫过那颗砂粒，将其“封冻”在里面，那颗砂粒落到该处所产生的影响也会一直持续下来。从这种意义上说，现在发生的一切永远也不会被冲刷掉，而是会影响未来的整个过程。

如果物理法则不允许封冻意外的发生，那么世界将处于一片均衡状态之中，一切都会像是气球中的气体，永远处于同样的模式和不变的条件下。但是物理法则的确允许事情的后果被定位锁住，因而改变未来发展的基础。物理法则允许历史存在。这样，临界状态的模糊性这一发现不仅是复杂理论的第一个有用发现，而且是关于历史性事件的特性的第一个深层发现，这又使我们回到了本章的开头。

从理论上讲，历史的发展可以比现实情况更具预测性。从理论上讲，历史不必依赖各种可怕的灾难。本书的任务之一就是研究人类历史的性质为什么会是这样，而不是别样的。我认为，问题的答案就在于临界状态和新的非均衡游戏科学，这门科学旨在对可能存在的历史过程进行研究和归类。如果许多历史学家已经为寻找历史的意义而搜寻着逐次的趋势和循环，那么他们是用错了工具。这些概念产生于均衡物理和天文学中，合适的工具应该在非均衡物理中，这一学科适用于对历史起作用的事物进行理解。

在巴克、唐和威森菲尔德发明他们的游戏的当年，历史学家保罗·肯尼迪出版了一本名为《列强的沉浮》的书。²²他在书中指出，世界上大规模的历史脉络是由全球政治经济体系中压力的形成和释放决定的。他的关于历史动力的观点并不支持“伟大人物”的作用，倒是更接近于本章开头约翰·肯尼斯·加尔切莱斯的话。他认为个人是时代的产物，面对强大的力量他们作出反应的自由十分有限。肯尼迪的主题从本质上讲就是：一个国家的经济实力总是自然地盈亏。随着时代的变迁，有些国家无法摆脱其经济基础已无力承载的力量，另一些则发现了新的经济力量，也就自然寻求着更大的影响。其必然结果是什么呢？压力不断增长，直到某些事物屈服了。通常，这种压力是经过全副武装的冲突而得以释放的，之后各国的影响又与其真正的经济力量达到大体平衡了。

这听上去很像是地壳运动的过程，压力在地壳中慢慢积聚又在地震中被突然释放出来；或是很像砂堆游戏的运动，在砂堆游戏中砂坡慢慢增高、渐渐稳固，又在雪崩中塌掉，这些都

不是巧合。我们将在后面看到，战争爆发与地震或者砂堆游戏中的雪崩遵循着同样的统计模式，肯尼迪可以在这个理论中为他的主题以及用来描述它的语言——找到更有力的论据。他也许已经努力用文字在历史语境中来表述临界状态的数学含义了。

无论历史学家们能够从中受益多少，个人的意义是越来越模棱两可了。因为如果世界被组织成临界状态或与之很接近的某种状态的话，那么即使最微小的力量也会产生巨大的影响。在我们的社会和文化体系中，没有什么孤立的行为，因为我们的世界是被设计好的——不是由我们，而是由自然力。因而即使是微不足道的行动也会被更大的世界放大并记录下来。由此，个人是有力量的，然而那种力量的本质反映出一种不能缩减的、现实存在的困境。如果每个个人的行为最终都会产生巨大的后果，那么这些后果几乎是完全无法预测的。在历史领域中，此刻在某个红色区域内一颗谷粒也许正要滚落。有人试图使交战各方缔结和约，他也许会成功，也许会使事态愈演愈烈；有些试图挑起争端的人也许会带来长期和平。在我们的世界上，开端与结尾并无必然联系，阿尔伯特·凯穆斯是对的，“所有的壮举和伟大的思想的开端都是荒谬可笑的。”

本书的不可回避的主题之一就是，如果人们要了解历史的脉络（或许，我们应该说，它的反脉络），他们也许就熟悉了地震发生的过程。如果说动荡和极端敏感的组织到处可见的话，人们无需费很大周折就可以找到这种组织。所以，还是让我们把人类历史和个人暂且放到一边，先来看一下无生命的简单世界。让我们进入地下，到地表下那个黑暗、沙质的世界中

仔细看一下那里发生的一切。令人惊奇的是，我们将会可在可变换的大陆的地下摩擦中，发现一个适用于上千种事物的概要模板。

注释：

1. 约翰·肯尼斯·加尔布莱斯，给 F. 肯尼迪的信，1962 年 3 月 2 日，摘自《大使期刊》，第 312 页（霍顿 - 迈夫林，1969 年）。

2. 保罗·瓦莱利，《种类之四》。

3. A.J.P. 泰勒，《第一次世界大战》（企鹅丛书，1970 年）。

4. 例如，见尼奥尔·弗格森，《战争的遗憾》（企鹅丛书，1998 年）。

5. 克莱伦斯·艾尔沃德，摘自彼德·诺维克，《那个崇高的梦》，第 131—2 页（剑桥大学出版社，1988 年）。

6. 尼奥尔·弗格森，《战争的遗憾》，第 146 页（企鹅丛书 1998 年）。

7. 弗朗西斯·弗卡雅玛，《历史尽头和最后一人》（企鹅丛书，1992 年）。

8. H.A.L. 菲舍，摘自理查德·伊旺斯，《为历史辩护》，第 29—30 页（格兰塔丛书，1997 年）。

9. 神户城风站，网址：[//www.city.kobe.jp/](http://www.city.kobe.jp/)。

10. 保罗索摩威尔，神户大地震：城市灾难，生态 1995 年。

11. 摘自罗奇·巴科,《黄石公园大火及其教训》,可在以下网址查寻: [//www.idahonews.com/yellowst./yelofire.htm](http://www.idahonews.com/yellowst./yelofire.htm)
12. 《华尔街期刊》,1987年9月23日。
13. 《华尔街期刊》,1987年8月26日。
14. 《华尔街期刊》,1987年10月7日。
15. 《华尔街期刊》,1987年10月19日。
16. 小罗伯特·普里克特,《人类社会行为的波浪原则》第373页(新古典图书馆,1999年)。
17. 威廉·詹姆士,《心理的原则》,第2卷,第22章(多佛,1950年)。
18. 阿尔伯特·凯穆斯,《系统的奥秘》(企鹅出版社,1975年)。
19. P. 巴克、C. 唐和 K. 威森菲尔德,《自发临界状态: /f 嘈音的解释》物理探索,文学 1987 年。
20. 珀·巴克,《自然的运动》(牛津大学出版社,1996年)。
21. 结果表明,巴克、唐和威森菲尔德的电脑砂堆游戏没能精确模拟的是真正砂堆中的雪崩。但是,后果并不严重——具有讽刺意味的是,与任何真实的砂堆相比,他们的电脑游戏现在似乎要重要得多,可以作为一种在许多层次上解释我们的世界运动的有趣方法。更多的请见第7章。
22. 保罗·肯尼迪,《列强的沉浮》(汉德姆书局,1987年)。

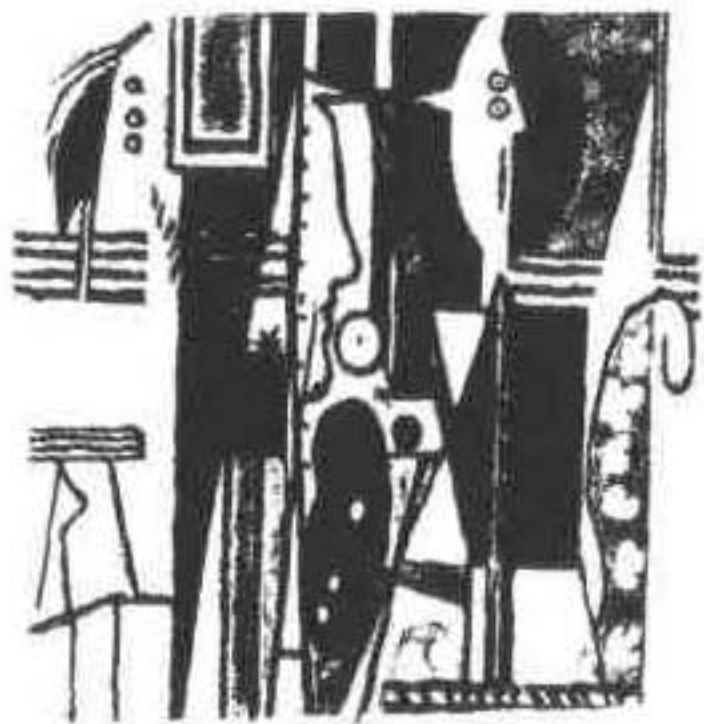
动摇不定的游戏

科学是所有成功法则的集合，其余的是文学。

——保罗·瓦莱里¹

从我最初接触地震学起，我就对地震预测和预测人有一种恐惧心理。一有地震预测，新闻工作者和普通大众就会蜂拥而上。

——查尔斯·里彻²



1990年末，任何一个走在圣路易斯市中心的人都会目瞪口呆。情况是这样的：当时离圣诞节不到一个月，按理说商店里应该拥满购买礼物和圣诞树装饰品的人，但是在1990年的这个冬天，大商场里顾客稀少，街上空空荡荡。而郊区的超市和五金店却生意兴隆，成千上万的人不是在准备欢度佳节，而是在准备挨过即将来临的一场灾难。大家不是购买礼物，而是购买饮用水和罐装食物，并存储蜡烛、手电筒、毛毯、铁锹和发电设备。报纸上铺天盖地都是这类消息：在12月份前5天的某一时刻，圣路易斯将会发生一场大地震。这似乎已经成了不争的事实。

处于近乎歇斯底里状态的不只是圣路易斯人。那年冬天，在美国整个中东部的伊利诺、阿肯色、田纳西和其他地方，人们在恐惧与兴奋中忙碌着做好准备。地方和州政府专门制订了计划以对付即将降临的灾难。许多州的学校马上就要关闭，紧急救援人员处于高度警备状态。一队队的志愿者们被组织起来，分配具体的职责：有的送水、有的建立临时医院，有的给消防员帮忙。官员们预计，在圣路易斯一处，会有至少300人死亡，建筑物损失将超过6亿美元。

这次地震是由商业顾问兼气候学家艾本·布朗宁预测的。他是一位科学家，有博士学位，也许这就是媒体很重视他的预测的原因吧，不过他拿的是生物学博士学位。布朗宁宣称在他所预测的时间里，太阳、地球和月球将会排列成一条直线，三者的联合引力将产生潮汐力。潮汐力会对新马德里断层地带的岩石产生压力，压力超过岩石承受极限就将引发地震。在密苏

里，州政府投入了 20 万美元资金进行准备工作。在圣路易斯，私房主们额外花了 2 200 万美元以加强保险。可是，1990 年大地震根本就没有发生！

在布朗宁事件的整个过程中，来自美国地质调查局 (USGS) 和当地大学的相关科学家们坚持认为布朗宁预言并无科学依据。一份报告谴责了布朗宁，而且认为：他从假设一步跃到了预测，而没有出示可靠的证据和假设考察这一中间过程，但这些才是主流科学获得成功之处。³

主流地球物理学家们与布朗宁不同，他们对地震预测抱着极为审慎的态度。这不仅是因为他们不希望预测产生不必要的社会动荡，还因为科学家在地震预测方面已经出现了一大串丢人的失败。尽管科学家们从上世纪以来一直对地震进行研究，但是几乎所有地震的发生都没有预测到。虽然日本在地震预测工作方面历史悠久、资金雄厚，仍然没有人预测到 1995 年神户地震。让人更为难堪的是，那些科学家们预言会发生，但是根本没发生的地震却为数不少，如布朗宁预测的地震。

不确定的根据

在 20 世纪 70 年代末，日本科学家们坚信东海大地震不久将袭击日本中部地。一名研究员这样说道：

许多日本地震学家、地震专家以及负责灾难预防的国家与地方官员现在确信，一场 8 级左右的大地震将会袭击日本中部位于东京和名古屋之间的东海地区……在历史上这一地区经常发生大地震，如 1854 年和 1707 年……据估算平均地震发生期为 120 年左右。从上次地震发生到现在已经有 120 多年了，因此，完全有理由相信另一场地震迟早会发生。⁴

这其中的推理很简单。在两次地震之间一定存在一种“模式化”周期。如果在某一地区从上次地震算起已经超过了“模式化”周期时间，那么下次地震就应该发生了。基于这一认识，日本政府早在 20 世纪 70 年代就建立了早期警报系统。任何异常地震信息都会使地震评估委员会召开紧急会议，决定是否应该关闭核反应堆、高速公路、学校和工厂。从那时起，日本人在每年的康图大地震（1923 年）纪念日那天都会演习如何对警报作出反应。但是几十年过去了，东海地震还是没有发生，一点地震迹象都没有。而在官方认为可能性极小的神户地区却爆发了大地震。

1976年，美国矿物局的布赖恩·加雷迪预言，两场震级为9.8级和8.8级的大地震将在1981年8月和1982年5月袭击秘鲁海岸。他还声称，一场震级为7.5级至8级的前震将在1981年6月发生。⁵当前震没有发生时，羞愧难当的加雷迪撤回了他的预言，不过秘鲁政府已经陷入恐慌之中，结果一名美国地质调查局官员不得不前往秘鲁消除政府的恐慌。⁵

近年来同样也有过许多失败的预测。在1995年，南加利福尼亚大学地质学系主任预言一场大地震将在1995年春季或夏初袭击加利福尼亚中部。⁶但这场地震根本没有发生。

以上这些地震预测都是由主流地球学科学家完成的。当然，其他人也作过失败的预测，如艾本·布朗宁。1914年，两名业余地震专家出版了一本书，宣称：

一连串人所共知、但却从未联系在一起的证据显示，1982年圣安德列亚斯断层上的洛杉矶地区将发生一场特大地震，这将是本世纪有人居住地区发生的最大地震。直接导致这场灾难的是罕见的太阳系行星直线排列。⁷

这类预测使我们想起了马克·吐温对猜测的评论：“科学是如此让人着迷。人们只需投入一点事实就可以获取大量猜测。”⁸当然，洛杉矶1982年并未发生大地震。

真正有价值的地震预测应该包括震点、时间和规模。关闭学校和工厂并使城市人口撤离会花一大笔钱，地震专家一个有价值的预测“应该有50%的可能性，准确度在一天之内，地震范围在50公里左右。”⁹并且，研究人员应该合理正确地预测地震的破坏程度，这将会给受灾地区的人们带来巨大的好处。¹⁰

我们距以上标准还有多远呢？今天的科学家掌握先进的技术，能够测量部分地壳上升、下降或位移情况，精确度在厘米以内。但是 1997 年，东京大学地球物理学家 R.J. 盖勒在回顾地震预测情况时心情不免沉重¹¹：

地震预测研究已经进行了 100 多年，但是成绩不佳。许多所谓的突破性进展经不起推敲。大量的搜寻工作并没有发现可靠的前兆……看来对即将发生的大地震进行可靠预警并不十分可能。”

如果科学是“所有成功法则的集合，其余都是文学。”那么既然没有关于地震的成功法则，我们可以得出结论：地震科学并不存在，谈到地震，就只有文学了。整整一个世纪的研究一无所获。那么，预测真是不可能的吗？

先兆不可靠

彼得·梅达渥曾指出，“任何预测若是宣称：一种理论上行得通的事物永远不会或永远不能出现，这个预测就大错特错了。”¹²当然，这种观点同样适用于地震预测。我们关于自然界根深蒂固的观点之一就是大事件决不会在“无名小地”发生。特殊不寻常的情况一定会为重要事件打下伏笔。如果市中心发生大爆炸，人们就会料定有枚重磅炸弹被事先安置在那里。

当历史学家研究过去的时候，他们想做许多事情。实际上，几个世纪以来，他们一直在争论该做什么这个问题。但许多历史学家的目标之一是，一定追溯一个重要事件——也许是一场革命战争：在某一特定时期、某一特定场景发生的大致原因和条件。识别这些情况也许可以帮助我们今后避免类似事件的发生。同样，当一场大地震发生时或一座火山突然喷发时，地质学家们希望找出答案。是什么导致了这一切？岩石中是否有什么细微变化能警告我们将发生灾难？至少，对于一些火山喷发来说，情况像是如此。例如，1980年华盛顿州至海伦斯火山的剧烈喷发就是继“可以看到的每天一厘米的地壳变形，气体和蒸气喷发以及数以千计的小规模地震”¹³之后发生的，这些现象都导致了那场崩裂山体的灾难性爆炸。因为有了这些先兆，官员们才得以在事发前一个月警告公众。

一个多世纪以来，地球物理学家们一直在寻找大规模地震发生之前可以识别的变化。这就意味着地震把它们出击发报出来，我们所要做的就是学会如何破译它们的电报。对于这种非常合理的解决办法，还有一个问题就是：没有人曾经发现可靠的先兆。一些研究人员注意到就在一场大地震之前曾有奇怪的电波在地上穿过，或者地表水位突然发生变化。其他人则看到狗或牛行动异常，观察到天气的巨大变化，或者为神秘亮光而困惑。人们可能真的见到过这些现象。但是所有——或者几乎所有大地震，应该有一个可靠的先兆。¹⁴盖勒 1997 年的回顾文章参考了 700 多份研究论文，其中许多论文称已识别了某种先兆。盖勒很难过地得出结论：没有任何一种先兆是可靠的。

天文学牧师

所以也许根本就不存在任何先兆。即使是这样，也还是会有办法来预测至少一部分地震。对于世界如何运作，我们有过其他的先见之明。我们经常希望找到简单的法则。月球、太阳、行星、时间——我们生活在一个周而复始的世界里，许多循环都有天文规律。也许有些地震也是如此吧？如果真是这样，当地震以几乎完全重复的循环出现时，我们所要做的就是地球上找出其发作的具体地点，在这一特殊地点进行预测将会容易得多。20世纪80年代中期，地球科学家们坚守着这一看似合理的理论，因此很不理智地造成了一个最令人沮丧的失败。

圣安德列亚斯断层分布在加利福尼亚州西部边缘。从空中沿着它的走向，可以很清晰地看到这是一条自北向南穿越山脉的奇异直线。以断层东部作参照，其西部地面一直在慢慢向北推移——每年二至三厘米。因此，加利福尼亚州并不是一整块土地，而是两块慢慢彼此推移的山地。由于摩擦力，这两块土地趋向于粘附在一起，因而这种推移运动通常是不显著的，这就如同当你试着把一件家具在地板上从一边推到另一边时，家具总是粘附在地板上。然而，如果你用力过猛，家具就会被推动——通常是一下子动起来。圣安德列亚斯断层的两块地壳也

是这样。它们通常粘附在一起，只是偶尔被推移，这便引发了地震。

1979年，设在加利福尼亚州门罗公园的美国地质调查局的地球物理学家威廉·贝肯和他的同事在一份关于圣安德列亚斯断层中一小段地区曾发生过的地震的报告中发现了有趣的现象，该地区在位于旧金山以南240公里的帕克菲尔得乡村的附近。那里在1966年发生过地震，另外一次地震发生在1944年，再往远追溯，该地区在1922、1901、1881和1851年都发生过地震。美国地质调查局研究人员计算了这些地震的间隔年数，发现了一个规则序列：24、20、21、22和22。看来，很难说这是一种巧合。关于这些地震，还有其他让人感兴趣的现象。地球物理学家用震级来衡量地震，这是一个诸如5或6、4的数字，可以反映出地震附近的地面颤动的幅度。或者换言之，地震释放出多少能量。¹⁵ 贝肯和他的同事注意到帕克菲尔得发生的所有地震的震级均在5.5级和6级之间。这种暗示看来很肯定——这些地震一定是产生于某一重复循环过程。他们指出，也许这种压力需要积聚二十二年达到爆发点，这时断层地区的岩石便会滑落。

全世界的地球物理学家马上都一致认为帕克菲尔得附近出现的断层就相当于黄石公园大约每小时喷一次水的那个著名间歇喷泉一样，帕克菲尔得的地震也按大致间隔时间爆发，大约每二十二年一次。既然上次地震发生在1966年，下一次就应该是1988年。地震预测界好像终于要取得一个迟来的突破了。¹⁶ 实际上，在一个世界专家小组对贝肯和其同事的预测作出评判之后，美国地质调查局主席在1985年4月5日发布了一项罕

见的公开预测，声称在五六年内将有一场地震袭击帕克菲尔得地区。¹⁷研究人员用世界上最先进的地震监控仪器，以最大的密度覆盖了那里的山地，之后便开始等待。1986年，美国国家研究局地球科学部委员会描述了科学家们的信心：

在世界上其他地区，没有任何预测可以像帕克菲尔得地震预测一样有如此高的可信度。在这段至圣安德列亚斯断层的25公里的地区……过去十年的研究表明了，在1986年和1993年之间在这里发生一次6级左右地震的可能性为95%。¹⁸

准备工作均已就绪。1987年《经济学家》中的一篇文章把帕克菲尔得称做“地球物理学家的滑铁卢”。如果地震并未按人们预想的到来，那么地震便是不可预测的，科学也就败下阵来。没有任何借口可寻，因为没有任何一件事曾被如此重重设防。”¹⁹

然而，使地球物理学家惊慌的是，事实正是如此。这只是一次严重失误的警报。尽管帕克菲尔得过去的地震呈现非常规则的链性分布，至今为止再没有5.5级至6级的地震袭击该地区。即使现在发生一次地震，也是太晚了。那个预测还是错误的。

研究人员非常人道地渴望发现某一根本不存在的所谓循环规则，他们自己便深受这种渴望的欺骗。正如位于洛杉矶的加利福尼亚大学的地球物理学家雅科夫·卡根所指出的那样，²⁰地球上许多地方遭到地震袭击，地球物理学家便在这些地方研究地震。假设它们毫无目标地袭击，无任何明确的模式可以遵循。即便如此，你也会希望偶而有一连串地震以一种十分规则

的序列袭击某一地区。既然地球上有许多地区遭受地震袭击，仔细研究各地情况就很可能在某一地区发现规则序列。这个某一地区碰巧就是帕克菲尔得。

鉴于这一连串令人恐慌的失败，地球科学家似乎真的一败涂地了，至少目前是这样的。多数地球物理学家认为可靠的先兆还有待发现，对于具体地震的准确预测还不可能实现。

大泥球

历史学家关于人类历史的观点似乎同样适用于地壳的运动。主要战争和革命并不在简单的循环中爆发，也不会预先将其出现公布出来。在它们出现之前的各种情况总是差异显著，没有人曾识别出任何可靠的先兆。正如一位历史学家曾写道：

一次又一次，历史被证明是一个未来事件的糟糕的预言家。这是因为历史不会重复其自身；在人类历史中……没有任何事件在绝对相同的条件下或以完全一样的方式发生两次。²¹

因此，地震也是如此。没有循环、没有警告、没有信号、没有先兆。只要地球高兴，随时都会开始颤动。

科学家可以预测——至少大致预测——一场飓风在何时何地登陆，以及它的破坏性有多大。只要追踪相关先兆——风暴、云、风和雨，并且在情况恶化时拉响警报就可以了。气象学家甚至可以至少提前几天很成功地预测出某一天的天气情况。但是就地震而言，科学却不能达到这种理解。这是为什么呢？

为了得到一些线索，我们需要更仔细地看一下地球内部发生着的事情以及地壳中压力和拉力的自然形成和释放。正是由于地球物理学家对地震运动了解得很多，所以他们就更为预测

缺乏成功性而感到沮丧。由于历史学家处理的是人类行为的深层神秘性，他们便会因一种纯粹的是非感而困惑。但是驱动地震发生的过程却并不神秘。它也不会涉及到量子物理学，在这一学科里，某种固有的随机因素也许会使预测完全不可想像。从理论上讲，地面上发生的一切都是被完全预先决定的，也是完全可以预测的。除了岩石相互的挤压、作用外，实在没有别的什么。

◇ 为了对我们的行星从内到外有一个直观印象，想像一只在晴朗天气里拿到外面晒干的湿泥球。经过一段时间，球的外部会被晒干，形成一个硬壳，然而其内部仍是液体泥浆。区别在于：地球内部的液体是流动的，而泥球内部是静止的。如果你有什么聪明的办法能够搅动中间的液体泥浆，使它在外层表面之下流动，这样你就做成了一个地球的简易模型。我们的星球有一层硬质外壳——地壳——覆盖着下面流动的高温物质——地幔。

这种运动是被地球内部极高的热度所驱动的。很自然，较热的物质会上升，而较冷的会下沉。²²结果，地壳便漂流在一片由地幔构成的包含巨大潜流的深海中。由于地壳是固体，它不会像下而流动的地幔一样不停地移动。相反，它裂成许多大块，它们在地球上像巨大的木筏一样滑动。在这一运动的现代理论——板块构造理论中，“板块”一词指这些地球易碎外壳的断裂块，每一块大约有几百公里厚。

在一些地方，这些板块会面对面撞在一起。例如，这种事情，就发生在日本地下，在那里三块不同的板块正在猛烈相撞。在其他地方，例如加利福尼亚，两块板块沿着一条很长的

边界互相摩擦。在这里，太平洋板块位于太平洋的大部分地区和圣安德列亚斯断层以西加利福尼亚的狭长银色地区以下。圣安德列亚斯以东地壳属于北美板块，该板块位于整个北美地区和大西洋西半部以下。北美板块在慢慢向西偏南方向移动。同时，太平洋板块，却在向北运动。结果导致了蔓延整个断层的剧烈摩擦运动。

地震的基本形成原因很简单。正如我们已经看到的，就是当一块岩石撞到另一块岩石时产生的粘附和滑动作用。板块的不可逆转的运动是永远无法抵制的。当岩石变得扭曲变型，压力不断积聚最终越过某一临界线时，地表就会突然滑脱，地震便爆发了。在过去的 1500 万年到 2000 万年里，在圣安德烈亚斯断层中这种情况时有发生。

地球物理学家确实知道地震倾向于在哪里发生——任何两块或更多的板块发生接触的地方。如果你拿一个地球仪，在上面用黑点标出上一世纪每一次大地震的位置，你就会得到一个很独特的图案。在所有板块交界线上都有成群的黑点出现。实际上，如果你把这些点画得更密些，使得分裂的板块大致突出，它们就会形成这一星球龟裂地表的形象。

要说事情是如此简单，便有些误导。地球物理学家可不认为事情那么简单。首先，除了我刚刚提到的两种碰撞之外，在板块之间还存在着其他冲撞。在一些地方，当板块相遇时，它们或是彼此移开，给从底层上升到地壳的新的物质让路，或是一块板块滑到另一块的下面，迫使原来的地壳重新循环，重又投入到地幔的熔炉中去。地球所有八大板块以及许多小板块都被这种下层地幔流的隐性运送作用推来推去。

更重要的是，地震的引发过程就是粘附和滑动过程，而地壳的整体结构却十分复杂，这不仅仅是因为它由许多板块构成，板块又是由成百上千不同种类的岩石构成的，各种岩石都有不同的特性。在某些地区的岩石很结实，而其他地区则不然。认为地球上没有两个地震带十分相像是很妥当的。也许根本就不存在一个单纯的地震预测问题——也许这一问题对每一地震带都不同。使事情更严重的是，遍布地壳的许多断层是相互作用的，在一个断层发生的滑坡将影响其他断层。鉴于所有这些复杂情况，地震预测的不可能性难道还奇怪吗？

背景的杂音

最后使整个问题更为复杂的一点是，小规模地震一直不断爆发。我们关注的是相对罕见的大规模地震，但小规模地震可并不少见。访问一下美国地质调查局的主页，你就会发现在过去几天或几周内，甚至一小时前袭击加利福尼亚北部圣安德列亚斯断层的地震的最新记载。该组织的地震仪几乎一测出任何情况，就马上把这一资料发到网上，因为这些地震几乎都是3级以下，所以也就不会在新闻中播出。要知道，一次3级地震是一次7级地震的强度的10 000分之一。它甚至不会把一只挂在窗户上的风筝震落下来，例如，1999年8月30日，在加利福尼亚的不同地区发生了至少二十二场地震。²³其中只有一场达到3级。那就是很典型的一天。在每一场这些小规模地震中，断层上的岩石也像大地震袭击时一样向下滑落，然而这些岩石只下滑很短的距离——大约不到一毫米。

人们很自然要问一个十分明确的问题：是什么导致一场地震大而另一场地震小呢？最显而易见的答案就是在某种情况下岩石下滑作用要比其他情况下大得多。但这实际上算不上是一个答案。为什么在一些地震中下滑作用会比其他地震中大得多呢？正如我们将会看到的一样，半个世纪的研究，只能为这个问题提供一个看似矛盾的答案，所有这些正在滋长的复杂性实

际上无异于一种掩饰。也许正是它使得科学家们难以理解引发地震的过程是多么简单。

注释：

1. 保罗·瓦莱里，《文选》杂文集，第14卷，J. 马瑟斯编辑（卢特莱慈，1970年）。

◇ 2. 查尔斯·里彻，《美国地震界金属之认可》，公牛·地震界·美国1997年。

3. W. 斯宾斯、R.B. 赫曼，A.C. 约翰斯顿和 G. 雷格。《对于艾本·布朗宁预测的1990年密苏里州新马德里地的反驳》、《美国地理概况通函》，（美国政府印刷办公室，1993年）。

4. R. 理利塔克，《大规模地震对策实质和日本地震预测局》泛美经济、美国地理年。

5. B.T. 加雷迪，《地震理论之四：地震预测的大致暗示》，完全应用地理，1976年。

6. 《美国地质主席预测地震》、《洛杉矶时报》，1995年4月29日。

7. J.R. 格雷本和 S.H. 菲格曼，《木星效应》（表克米兰，1974年）。

8. 马克·吐温，《密西西比河上的生活》。

9. R.J. 盖勒，《可预测的传播性》，地震、来源、信函1997年。

10. 当然，人们总是进行一种不够具体的“预测”。我们知道，加利福尼亚和日本过去经常受到地震袭击，而在纽约州和英国，地震却很少发生。因此我们认定一些地区的地震发生机率比其他地区高。这一知识很有效地提供了地震高发区的发作密码，但并没有给出任何具体地震情况。

11. R.J. 盖勒，《地震预测：评论性回顾》，地球物理学，国际，1997 年。

12. P.B. 梅达渥，《冥王帝国》（牛津大学出版社，1984 年）。

13. 见伊恩·麦恩的评论，此人开创了题为“地震预测可能吗？”的自然观辩论。这场辩论于 1999 年春开展起来，许多世界顶级地震专家参与其中。查阅其贡献可访问：<http://www.nature.com/>。

14. 一些研究人员坚持认为几种近乎可靠的先兆已被发现，但他们的论证却可以引向谬误。例如，在自然观辩论中，一位与会者声称，所有地震中，10%—30%在发生前一周内都有前震；有些地震发生前有长达一年的前期活动；有些在发生前数年内有不断增加的片刻喷发；而另外一些发生之前则是地震平静期。”换句话说，有些地震在发生一周内有地震活动，有些在发生前一年内，还有一些发生前根本没有地震活动。在地震发生之前总会有什么事发生，即便这件事就是什么也没发生！这的确是一个可靠的先兆，但却毫无用处。

15. 反映地震全部能量的震级以对数方式运算。因此，一次 7 级地震相当于一次 6 级地震的十倍强度。

16. W.H. 贝肯和 A.G. 林德，《加利福尼亚帕克菲尔得地

震预测试验》、《科学》1985年。

17. C.F. 希尔,《国家地震预测评估局会议记录》,1985年3月29-30日。《美国地质调查局开卷报告85-507》。

18. 利用加利福尼亚帕克菲尔得地震预测取得的假定创造力,《物理学、数学和资源的使命》,国家研究局。(国家学术出版社,华盛顿特区,1986年)。

19.《明年,也许其他地区有小规模地震》,《经济学家》,1987年8月1日。

20. Y.Y. 卡根,《帕克菲尔得地震序列的审计分析和帕克菲尔得预测实验》、《地壳构造物理学》,1997年。

21. 理查德·伊文斯,《为历史辩护》,第95页(格兰塔丛书,1997年)。

22. 精确地说,地幔物质并非液体,而是固体,它是一种矿物质的集合。然而它的温度极高,是处于巨大压力之下,以至于可以像液体一样流动。这种流动速度很慢。

23. 美国地质调查局网址为: <http://www-socal.wr.usgs.gov/index.html>。

荒谬的推理

把某一未知事物追溯到成为已知事物，这是一种慰藉、一种满足。危险、忧虑、不安总是伴随着未知事物。

——弗雷德里奇·奈兹奇¹

在上一世纪，数学为人类提供的主要服务之一就是“把‘常识’放到它应在的位置上：书架上最上层标着‘要摒弃之胡言乱语’的满是灰尘的小罐旁。

——埃里克·特布·贝尔²





1811年12月16日，连续三次严重地震中的第一次袭击了位于圣路易斯东南大约240公里的密苏里州新马德里周围地区。这一次地震十分强烈，远在波士顿就可以听到由它震响的教堂钟声，它改变了密苏里州和田纳西州大部分地貌，使得密西西比河倒流。一位目击者描述道：

先是一阵仿佛是又响亮又遥远的雷声的可怕噪音，既而这噪音更粗哑、更震颤……几分钟之后整个大气中就充斥了硫磺味气体……人们发出惊恐的尖叫，他们跑来跑去，不知道路在何处，心中一片茫然——各种鸟兽的鸣吼声——倒下的树的咔嚓声，密西西比河的咆哮声——它的河水倒流了几分钟之久……构成一幅可怕景象。³

这次地震和相继又发生的另外两次地震——分别在1812年1月23日和2月7日——它们的威力之大足以塑造出一个新的湖泊。位于田纳西州距孟菲斯东北方160公里的里尔福特湖1810年时还并不存在。

和加利福尼亚一样，田纳西州也处于小规模地震的不断袭击中，这种地震又恰恰是在人类理解力之外。就其烈度而言，这些颤动无法与剧烈的新马德里地震相提并论，但如果认为它们不算地震，又似乎太主观。和所有地震一样，它们是突然的滑动运动，从地壳中释放出能量。⁴但是大小地震之间非常奇异的差别引出了一个很明显的问题。一场能释放出一千颗原子弹的能量的地震当然不会和只相当于它一亿分之一威力的地震是一回事。那么，地壳中的哪种特殊情况才能引发一场真正的

大规模地震呢？这才是关键问题。1811年的新马德里地震袭击了一个人口稀少的地区。今天一场类似规模的地震会使现代化的城市整个坍塌。

我们已经看到第一次世界大战令当时的历史学家多么迷茫，多么慌乱，这不仅是因为它给人类带来的损失，也是因为它仿佛无缘无故就爆发了。这些历史学家没有看到它的降临。当然，事过之后再推想这场灾难的种种原因就变得容易得多了。一些思想家甚至认为单纯的无聊也与它有某种关系：

许多欧洲共和国只是想打仗，因为它们已经由于和平生活中无聊和缺乏共同性而感到厌烦。大多数关于导致战争的决策统计……都没有包括促使全部国家动员起来的巨大和普遍的热情……正如一位目击者描述柏林公众中的情感时写的，“没有人彼此认识，但所有人都怀有一种热切的激情：战争、战争和一种团结感。”⁵

我们都有着“常识性”的思维习惯，希望发现各种重大事件之后的显著原因……即使它只是无与伦比的厌烦感。地球物理学家也一样，对于地震，他们现在正要放弃研究引发地震的那些地下“特殊”条件。使他们不安的是，事实表明那些规模最大、破坏性最强的地震可以根本不因为什么特殊原因就爆发。结果，对于地震来说，其预测几乎是不可能的。我们已经看到，所有这类预测尝试都归于失败了。数学也表明了这一结论。具有讽刺意味的是，这一证据直视科学已达五十年之久，而直到20世纪90年代，人们才真正开始理解其意义。



嗅出的炸弹

大多数热衷于地震预测的地球物理学家会沿着某一断层研究一个或几个片断，寻找表明近期是否有大地震再次发生的线索。假定从总体上看，上一世纪在诸如圣安德列亚斯的一个断层上发生了一定数量的岩体滑落，但其中一段却落在后面，根本没有发生多少滑落。人们也许会猜想，由于这种“滑落不足”，落在后面的那段断层就会处于很大压力之下，并且被迫与其他部分保持平衡。一些研究人员认为，他们已经在 20 世纪 80 年代在加利福尼亚很准确地识别了这一情况。美国地质调查局一份 1983 年的报告指出，1906 年旧金山地震断裂带的最南部与其北部相比，下滑幅度小得多，因此那里在最近几十年内发生断裂的可能性很大。”⁶

当科学家们以这样的精神仔细观察某一断层，之后作出一个预测时，他们实际就在宣布这一地区断层的历史、压力、拉力结构和地壳的性质，表明这里有某种酷似炸弹的东西，而且马上就要爆炸。当然，这种观点为诸如“为什么 1811 年有一场大地震袭击了新马德里地区？”这样的问题预先提供了答案。借用一个英语短语来说，地壳的一部分一定是“把裤子穿拧了”。以前，岩石并不通过小地震释放能量，而是积聚这种能量，直到最终发生突然而剧烈的爆发。几级的地震是由地壳内

百万吨级的炸弹引爆的。

根据这一观点，我们可以很合理地猜想，断层的某一地区没有遭大地震袭击的时间越久，那里就越可能很快发生地震。我们经常可以听到有人说地球上某一地区“早该发生严重的地震了”。尽管这听上去非常合理，也许甚至可以说是显而易见的，但是冷冰冰的统计数字却恰恰证明了它的反论。关于地震周期的严谨统计研究表明，一个地区越久不遭地震袭击，在近期发生地震的可能性就越小。⁷ 伦敦人经常抱怨说等 19 路汽车等了一个小时之后，三辆车又都同时到站。地震也是如此——它们总是成串发生。目前预测地震的最佳方法也许就是等一次地震发生后，马上预测下一次。⁸

在地震预测中，“嗅出炸弹”的方法并未成功。然而，也许是科学家们还没有完全掌握如何识别地壳中代表“炸弹”——也就是酝酿中的大地震的压力和拉力模式吧。地壳里的事情并不简单，判断什么是炸弹，什么不是又谈何容易。然而半个世纪以前，两名来自加利福尼亚工学院的美国地震专家却认为这种炸弹探测理论是很可疑的。20 世纪 50 年代，伯诺·盖本伯格和查尔斯·里克特证明脱离实地调查和实验室的测试，单凭挤在图书馆查阅资料是无法开展地质研究的。

众所周知，世界上有小规模地震、大规模地震，还有一些规模介于两者之间的地震。这几种地震中，哪种最常见呢？地震的典型规模是多大呢？盖本伯格和里克特希望能通过一次地震普查发现一些有趣的东西。也许大多数地震都在 3 级至 7 级之间吧，也许 2 级、5 级或 8 级的地震极为罕见吧。如果真是这样，科学家即使无法说出下次地震的时间和地点，也至少可

以判断一下它的强度可能是多少。

这两位科学家仔细阅读了上百本书和相关论文，搜集了全世界许多和地震有关的细节。他们逐一记下了所有这些地震的震级，接着计算了震级在2级到2.5级之间的地震有多少，然后又计算了震级在2.5级至3级之间的地震数目，依此类推。这样算下来，他们便得到了一组表明不同规模地震相对频率的数据。这一关系可以通过一张简单图表直观地显示出来。在看到图形之前，还是让我们先来猜想一下它该是什么样的吧。

一种可能是，我们也许猜想它会有些像钟形曲线，那条在数学界最著名的曲线之一。如果有一千名学生参加一场考试，或者如果你来到一座小城，量一下那里所有成年男子的体重，你就会发现考试分数或者体重构成了一条钟形曲线（图1）。你还得到一个平均数，也就是曲线上大多数数字所属的中央高

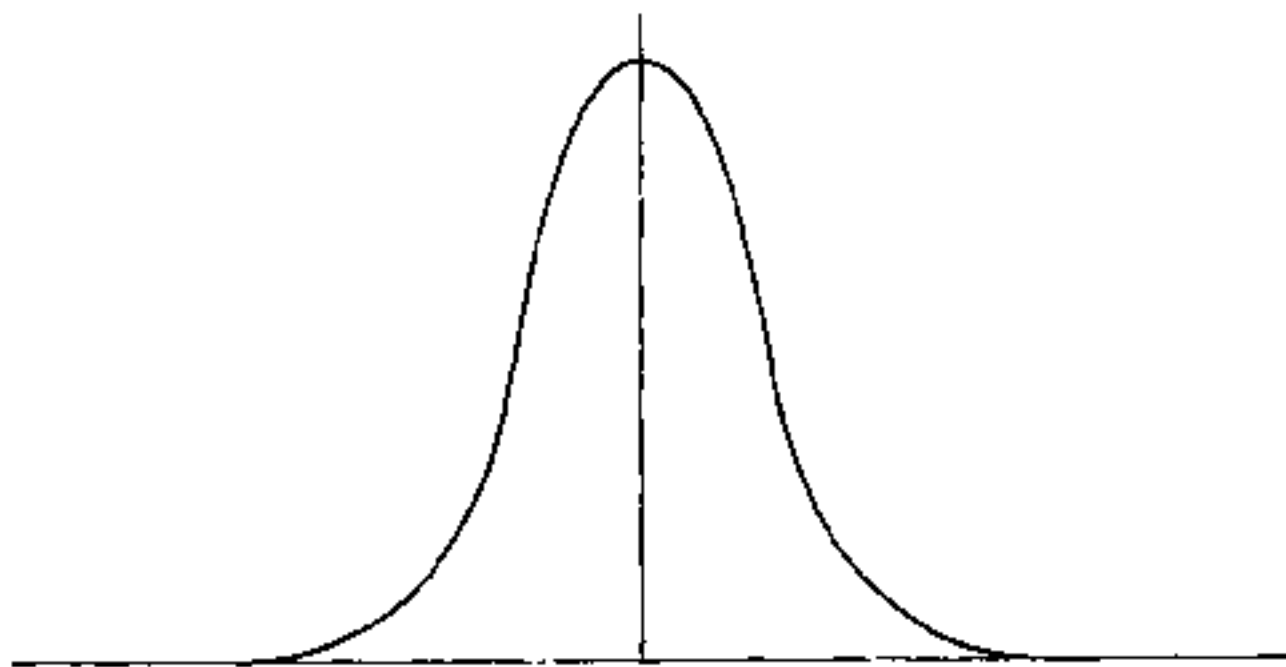


图1 钟形曲线是数学界最有名的曲线之一。称量一千个葱或苹果，给500个学生举行一次考试，或者当几千辆汽车在高速公路上飞奔时测一下其速度：在每种情况下，其数值都会开一条钟形曲线，大多数数字会很接近一平均值。如果任何事物的数字统计遵循钟形曲线，那么其数字必然集中在一个较小的范围内，与这一范围不着边际的数字很难出现。

峰。因为极高、极低的分数和体重都很少，所以曲线在高峰处沿两边急转直下。你会发现男子平均体重为 80 公斤，几乎所有男子的体重都在 63 公斤和 100 公斤之间。

如果你所测量的数据遵循钟形曲线的话，你就可以确信几乎没有一个数字会与平均值相差甚远。换句话说，这一平均值给你提供了足够的暗示。当然，你也会发现几个 120 公斤重的人，但要找到重达 200 公斤的人就纯属特例和异常了，更不要说 2000 公斤了，从智商分值到掷骰子游戏，一切都符合钟形曲线的波动，由于这条曲线似乎代表着自然界的通常情况，因此数学家们甚至把它称做一种“正常”分布。⁹ 那么地震又怎么样呢？

如果有一场典型的地震存在，那么，我们就应该设想一个类似于钟形曲线的图形，其中大多数地震都属于某一正常的平均震级。当然，事情会稍微复杂一点。比如，人们也许会发现地震并不只有一种，而是分为几个不同种类，这样的话，我们就应该在图中找到几个波峰了。但是盖本伯格和理克特发现了更为奇怪的事——根本就没有波峰。

他们又把目光转向了世界范围的地震，在加利福尼亚南部最新的一项地震研究得出了一个完全相同的没有波峰又毫无特点的图形（图 2）。这个图形只是显示出地震规模越大就越罕

见。

对于我们的问题——什么是一场典型的地震，这一法则似乎并未提供多少帮助，也似乎并不深奥。然而，这个图形的结构却非常有趣而奇特。我绘制了一个地震次数与震级相对应的图形。不要忘记，当震级上升 1 级时，地震释放的能量就要增

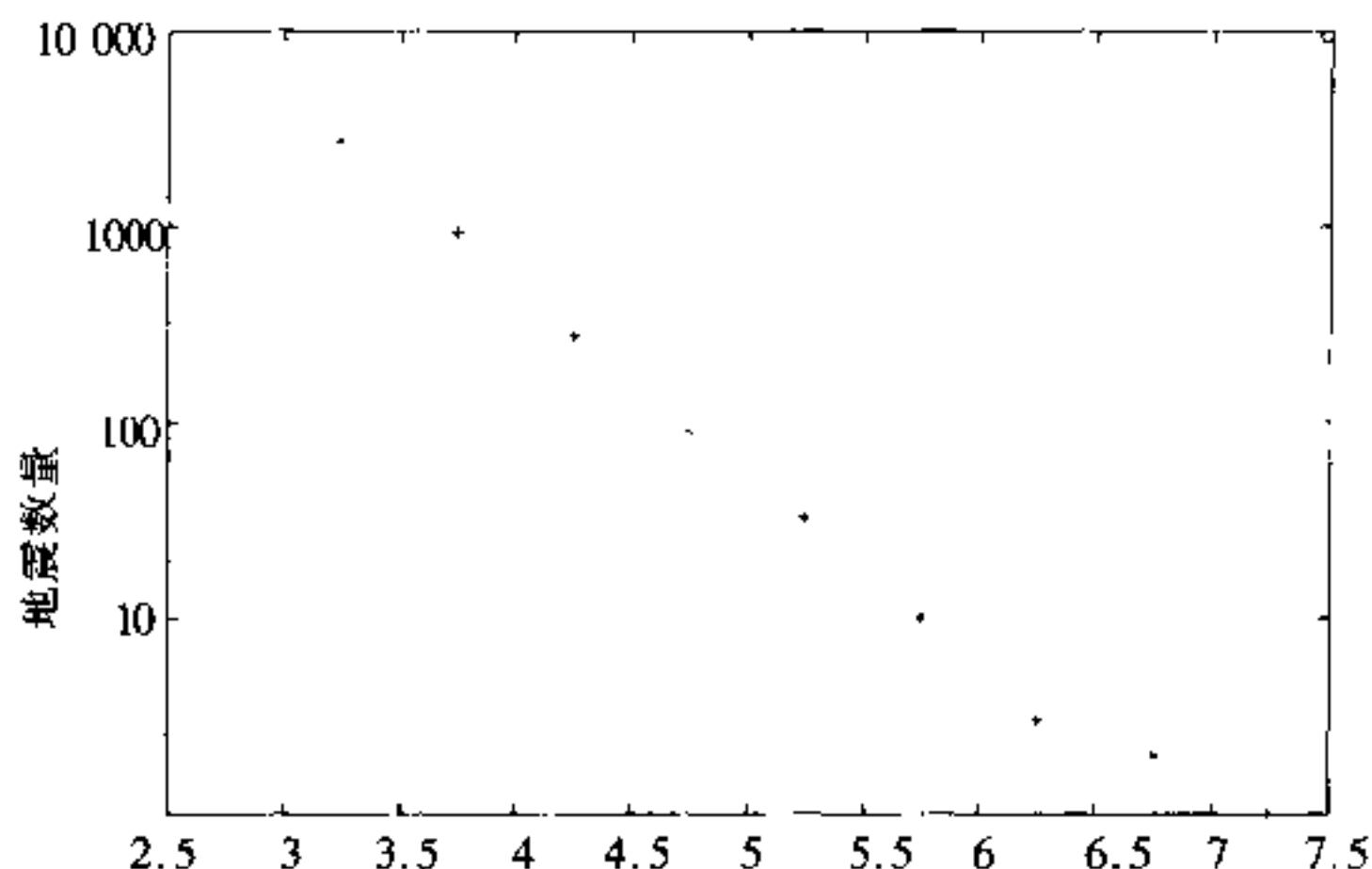


图2 每次地震释放的能量可以有很大差别。尽管如此,所有地震的统计数字却反映出一个极其简单的结构。例如,1987年至1996年间,美国加利福尼亚州南部发生了多次地震。图上的点表明在每一震级间(2.0—2.5, 2.5—3.0, 等等)地震的多少。就能量而言,每当所释放的能量扩大一倍,其数量便减为四分之一。(数据取自加利福尼亚州南部地震数据中心, www.socedc.scec.org。)

至10倍。就能量而言,盖本伯格—里克特定律可以浓缩成一条非常简单的法则:如果甲类地震释放的能量相当于乙类的2倍,那么甲类的发生频率就是乙类的四分之一。也就是说,能量增至2倍时,地震的爆发机率就降为原来的四分之一——这就是图上显示的内容。这个简单的图形适用于震级相差很大的不同地震。

物理学家把任何这类关系称为一条“能量法则”,这种法则的重要性远远超出了其简单的形式。要想知道为什么,就让我们把地震暂且放在一边,先来想一想冻马铃薯。

马铃薯逻辑

冻马铃薯就像岩石一样——很脆，在突然作用力下很容易破碎。把一个冻马铃薯朝墙上扔去，它会碎成一堆大小不等的碎块，有的和高尔夫球一样大，有的像樱桃一样大，还有的像豆子或葡萄籽一样小。哪一种才是标准大小呢？要找到答案，你也许要朝墙上扔大约一千个马铃薯，得到一大堆碎块，之后再按盖本伯格—理克特定律操作。首先，根据碎块重量将其分类。要仔细些，你也许会分出十堆不同的碎块，最小的每块重量约为一克，也有一些更小的很难处理的碎末，这些你就可以忽略不计了。现在绘制一张每堆中碎块数目与重量相对应的图。

用马铃薯碎块来代表地震，你会得到一个与盖本伯格—理克特的点阵图相似的毫无特点的图形。如葡萄籽一样小的碎块的数目相当庞大，随着体积的增大，碎块数量逐渐变小。事实上，如果你操作得十分仔细地话，你会发现较大碎块的数目以一种极规则的方式逐渐变小：每当一堆碎块的数量增至2倍时，其数目大约会减小6的因数分之一。这与盖本伯格和理克特所建立的能量关系属于一类，唯一的区别在于这次重量增倍后，数目的减小涉及到6的一个因数，而不是4。

但是先别忙——所有这些被我们忽视的极其微小的碎块又



怎样呢？它们也是冻马铃薯的碎块，确实应该被包括进来。认识到这一点，你也许要拿来放大镜，把这些碎块归成堆。这样的话，你会把范围拓展到更微小的碎块。这种尺寸的东西会是什么样呢？奇怪的是，这些碎块又是遵循着这条同样的法则。你越是往下进行，就会发现越多碎块，其数目呈规则变化：每当碎块重量减少二分之一，其数目就增大6倍。1993年，丹麦南方大学的三位物理学家做了这个实验，这就是为什么我可以指出这一能量法则关系中的数字是6而不是4。¹⁰这个实验中的碎块涵盖了从100克的一大块儿一直到只有千分之一克的微粒，这一简单的关系模式适用于所有的碎块。

我还没告诉你为什么这种关系被称为能量法则。让我们来简略地看一下。首先，我们最初的关于碎块“典型”或“正常”大小的问题暗示了什么呢？假设你的身体可以随意伸缩，咬一下手指，你就可以从樱桃般大小变成豆粒那么大，或者变成蚂蚁那么小。这将对你观察这些碎块很有帮助。无论你要看的规格有多大，你只要把自己调整成那一规模，走一走，看一看就可以了。假设开始时是豆子那么大，你可以观察一会儿，感受一下周围的景致。你会发现有些碎块大概有豆粒那么大，其他的或者大些，或者小些。也许这时，你又决定把自己缩小10倍。你将会很惊讶地发现，从小一些的视角来看，景致还是一样的。当你如豆子般大小时，你也许会注意到对于每一块跟你一样重的碎块，大概有6块比你轻一半的碎块存在。再变小些，你会发现完全一样的事情。在每种情况下，你所感受到的景致都是完全一样的，如果你记不清自己已经缩小了多少回的话，单从周围环境是无法找出答案的。

这就是能量法则关系表示的意义。冻马铃薯裂开的方式会十分复杂，事实上，你朝墙上扔去的每一个马铃薯破碎的具体方式都不尽相同。但是既然分成的每堆碎块都有一种独特的尺寸恒定性或本体相似性，那么，这个极其简单的过程中一定还有什么东西值得探究。从每一种尺寸出发，碎块的景致完全一样，就好像每一部分都是全景的一个浓缩。

换言之，对于碎块堆来说，没有哪一种规模是“优于”其他规格的，这种情况的确很特别。鸡下的蛋从来不会像篮球那么大，也不会像尘埃那么小，鸡的结构使其所下的蛋有一种内在倾向性，使之围绕一个为人熟知的、典型的、正常的规格构成一条钟形曲线。但是在形成冻马铃薯碎块这一过程中，却没有什么倾向性：物理作用很自然地适用于产生大小迥异的许多碎块（尽管，这里当然也有限度：你决不会找到比整个马铃薯还大或比一个原子还小的碎块）。

因此，能量法则关系表明根本就不存在一个正常的或典型的碎块。这一点很重要。然而，既然这一能量法则关系的适用范围很容易确定，那么我们也应该提及一点专业性较强的知识。在代数里，能量法则可以由一条抛物线来代表，其中，高度随水平跨度的某次方而变化，也就是，通过几次自身相乘而增值。例如， $\text{高度} = (\text{跨度})^2$ ，代表一条上升幅度较大的抛物线，这是一个二次能量法则。就地震而言，如果我们考察的是其能量而不是震级，盖本伯格—里克特曲线显示了释放某一能量 E 的地震次数与 E 的二次方或 E^2 成反比。这一能量法则与我们讨论过的简单关系相吻合：每当数量增大一倍时，相应的地震次数就变为四分之一（也就是 $1/2^2$ ）。



判断一个能量法则关系是否成立，只要根据所考察的事物绘制出一张分布图，再观察一下绘出的曲线是否符合这一法则的代数式就可以了。如果符合，那么对于你所考察的事物，“正常”、“典型”、“不正常”、“特殊”等词就不适用了。无论主体是什么，能量法则总是存在这种暗示。这也使我们在观察之后得出了与盖本伯格—理克特一样的结论。



原 因

马铃薯碎块堆的尺寸恒定性表明一个大碎块就是小碎块的放大。对于地震和地壳中引发地震的过程，盖本伯格—里克特法则的意义也在于此。由于地震在程度上依据能量法则分布，这种分布就是比例恒定的。没有任何证据表明大地震与小地震在来源上有任何区别。我们得到的似是而非的暗示就是，引发小地震与大地震的原因是完全相同的。从这一点来看，探寻超大地震的特殊成因并没有什么意义。与经常在我们脚下发生的小震颤相比，它们并不特别或不同寻常。

我们务必要认识到我们尚未从能量法则之外的任何其他数学形式中得出这一结论。但是对于能量法则，这种是必然的。根据盖本伯格—里克特能量法则，预测超大型地震的可能性几乎为零。事实上，整个地震预测这一课题也许就是完全误导、行不通的。这并不是说，地震科学是行不通的。在第5章里，我们将进一步解释盖本伯格—里克特法则，并且介绍一下地震科学当前研究的有趣的新方向。我们也将更深入地探讨“大地震的爆发根本毫无原因”这一奇怪事实的准确含义。

然而，在转入这些问题之前，我们应该退一步来作出一个正确判断。20世纪80年代初，各个领域的科学家完全没有认识到能量法则深远的重要性。从那以后，一场悄无声息的革命



确实在数以百计的学科专业中推翻了传统的判断。

注释：

1. 弗雷德里奇·奈兹奇，《神像的黄昏》，第 62 页（企鹅丛书，1990 年）。

2. 埃里克·特布·贝尔，《数学：科学的女皇和奴仆》麦克格劳·希尔，1940 年）。

3. 伊莱扎·布里恩，摘自《洛伦左·道的刊物》（乔舒亚·马丁，1849 年）。

4. 毫无例外，所谓的“深层地震”并不发生在易碎的地壳中，而是发生在地下深层。它发生时某一地区的岩石在巨大压力下会突然经历一种形态变化——也就是指，其分子排列的方式突然变了。这会导致岩石体积的突然变化，从而引发地震。

5. 弗朗西斯·弗卡亚玛，《历史的终结和最后一个人》，第 331 页，（企鹅丛书，1992 年。）

6. C.H. 斯高尔兹，《地震预测究竟怎么了？》《地质时报》1997 年。报告原题是：《圣安德列亚斯断层系统所选地段发生大地震的长期可能性之初步评估》，《美国地质调查局开卷报告》（1983 年）。之后不久在这一地区发生了一次地震，1989 年的龙马普利塔地震，一些研究人员把它视为少有的地震预测成功的例子。然而，其他研究人员仔细观察了龙马普利塔周围的断层，认为它和大多数其他地段在 1906 年地震中下滑的一

样多。因而最初的预测看来还是站不住脚。见罗伯特·盖勒，《地震预测：评论性回顾》地球物理学、国际，1997年。

7.P.M. 大卫斯、D.D. 杰克逊和 Y.Y. 卡极，《与上次地震间隔越久，地壳的下次发作就越迟吗？》公牛、地震界，美国1989年。

8.R. 盖勒，《地震预测：评论性回顾》地球物理学、国际，1997年。

9. 钟形曲线的广泛应用是数学家所称的“中央限定定理”的结果。这下听起来很响亮的名字指代的是一个很简单的事实：在任何情况下，如果大量独立的影响作用于某一事件的结果，那么这一事件就会符合钟形曲线。把一个骰子掷一千次，再把所有数字加在一起。现在不停地重复这样做，之后设想一下结果。你一定会发现其数字分布呈钟形曲线，以平均值 350 为中心。这一点之所以是肯定的是由于每一组一百次的抛掷都是独立于其他组的。中央限定定理是数学界一个极其锋利的钻头，但这并不是说所有事情都会符合钟形曲线。现代科学的一大发现就是没有同样多的事情与之相悖。

10. 他们不仅用冻马铃薯（当然是去皮的）来做这个实验，还用大块石膏、肥皂和其他物质做了同样的实验。每个实验的结果都十分相似。见 L. 奥德塞德、P. 迪门和 J. 鲍尔，《破碎中的自发临界状态》，地质、革命、信函——1993年。

意外事件

一门科学是指任何能使本时代的傻子比上一辈的天才知道得更多的学科。

——马克斯·戈拉克曼¹

时间就是避免所有事情都同时发生的
东西。

——约翰·阿奇博尔德·威勒²





渊

博的历史学家伊莎亚·伯林曾经把思维和文化的历史比做“伟大自由的想法的变化模式，这些想法最终将不可避免地被困于令人窒息的约束衣中。”³任何想法，无论多么美妙、多么史无前例、多么有力而灵活，最终都得面临极限。1686年春天，在伦敦，伊莎克·牛顿把他的《原理》的第一本书呈交给皇家学会。这份手稿阐述了他的关于重力定律和运动普遍定律的观点，提供了两个世纪以来清晰的科学航海的地图。但是，到了1900年，牛顿观点中暗含的决定论的精神就已成为遏制科学联想的束缚。

对于在原子的世界中不断探寻奥秘的物理学家来说，牛顿的物理观简直就是一个障碍，尽管几位科学家最终很英勇地越过障碍，创立了新的量子理论。美国物理学家理查德·费曼在谈及欧文·斯科罗丁格发明的著名的波浪等式时曾说过，“不要问它来自何处，它是从斯科罗丁格的脑袋中来的。”斯科罗丁格的发明和奈尔斯·鲍尔、渥纳和保罗·迪拉克的观点一起使科学家们重新获得了解放，使得他们看到了这个仿佛变了形的世界，到20世纪20年代末，一个混乱无序的世界又开始重新正常运转了。

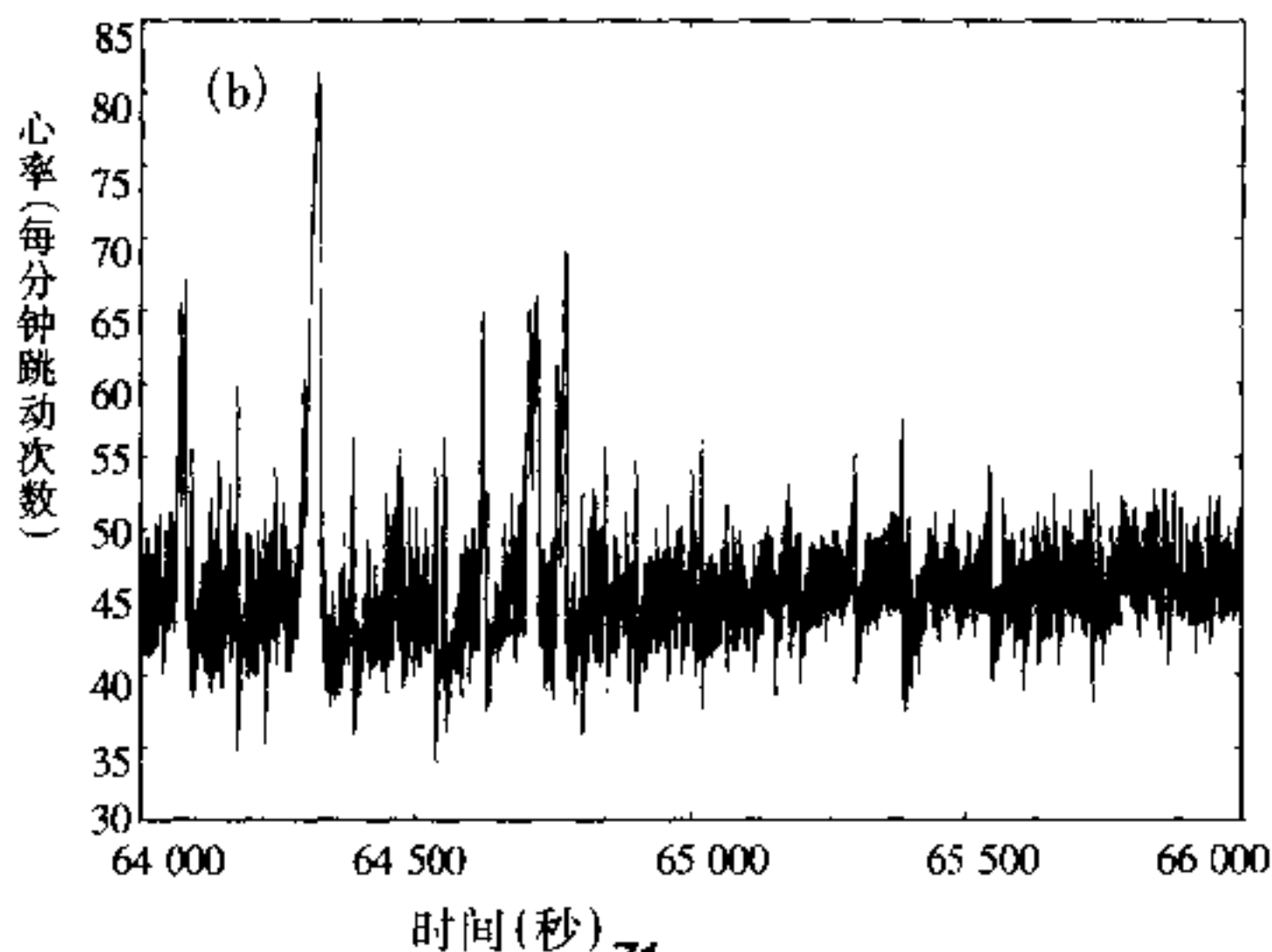
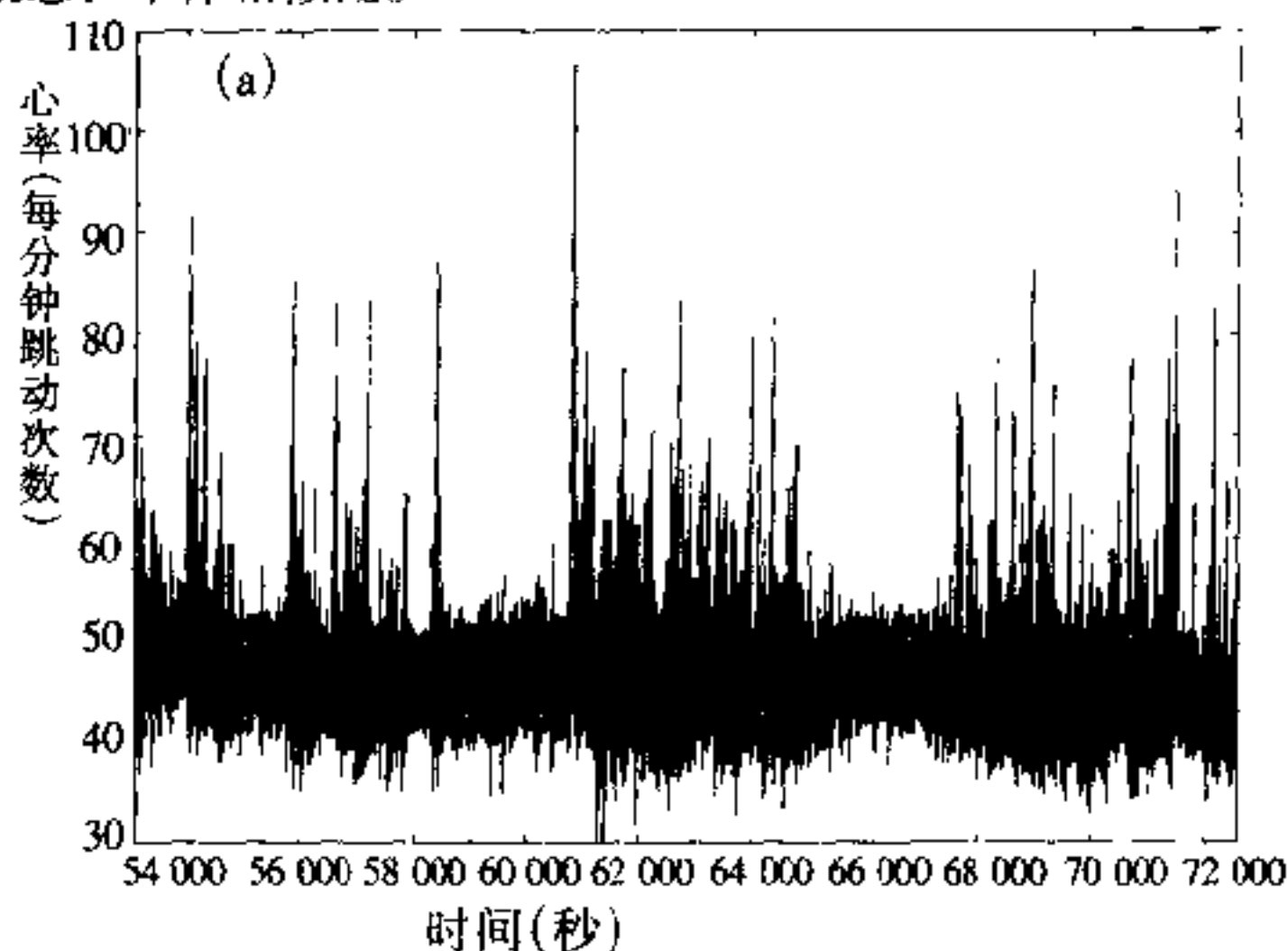
不久以前，一位为微软工作的数学家开创了一场相当规模的转化运动。1963年，贝诺特·曼德布罗特研究了在芝加哥贸易交换中棉花价格的涨落模式。棉花价格变化无常，几个月的价格记录看起来就像是起伏突兀的山脉轮廓的剪影。尽管如此，曼德布罗特还是认为他可以挖掘出隐藏在这些波动之后的规律。他注意到这一记录显示了所有时间跨度内的价格波动：

每天、甚至每小时、每分钟之内价格的波动都很频繁，而几周内或几月内的变化，则趋于缓慢、渐次。仅仅这一点还不足以令人感到惊奇和受到启发，然而曼德布罗特还发现，如果选取该记录中的一小段，比如仅一天区间，把它扩展到和整个记录一样长时，那么它们看来就十分相似了。也就是说快速波动看起来无异于长期波动，只是被挤在了较短的区间内。

不甚敏感科学家也许只会把这看做是一件怪事，继而转向其他的研究。曼德布罗特却没有这样做。他观察了黄金和小麦等其他商品的价格波动，发现了同样的模式。他又在股票和保税价值中发现了这一模式：纪录中的每一小段看起都是整个记录的大致摹本。二十世纪七十年代初，曼德布罗特调整了他的研究重点。他远离了喧嚣的市场，而埋头于自然界，研究河流、溪流分支网络的细节问题。很难想像还有什么领域比这距离金融界更远，但是就是在这一研究中，曼德布罗特发现了同样的模式，例如，他发现选取密西西比河水路网络空中快照的任何一小部分，放大后，你会发现它与整幅照片十分相像。

在它之后的十年里，曼德布罗特花了大量时间在图书馆查阅资料与科学家们在广泛的领域进行交流。这些研究最终偏离了他关于棉花价格的有趣发现。他偶然发现了类似的模式存在于山脉的不规则形状中、云的纤细形态中、碎玻璃片的锯齿状边缘和断砖的粗糙平面中以及自然界中海岸线、树木等的古怪形状中。几个世纪以来，这些不规则的形状，一直藐视着所有科学描述；事实上，他们好像完全在数学的范畴之外，也无视各项几何学的教训。然而，在一本 1983 出版的《陆标》书中，⁴ 曼德布罗特创立了一门新型几何学，从而摘下了科学家

的眼罩。他指出：一旦你知道如何来观察这些事物，它们就马上变得异常简单了。关键就在于我们在马铃薯碎块堆中发现的概念：本体相似性。



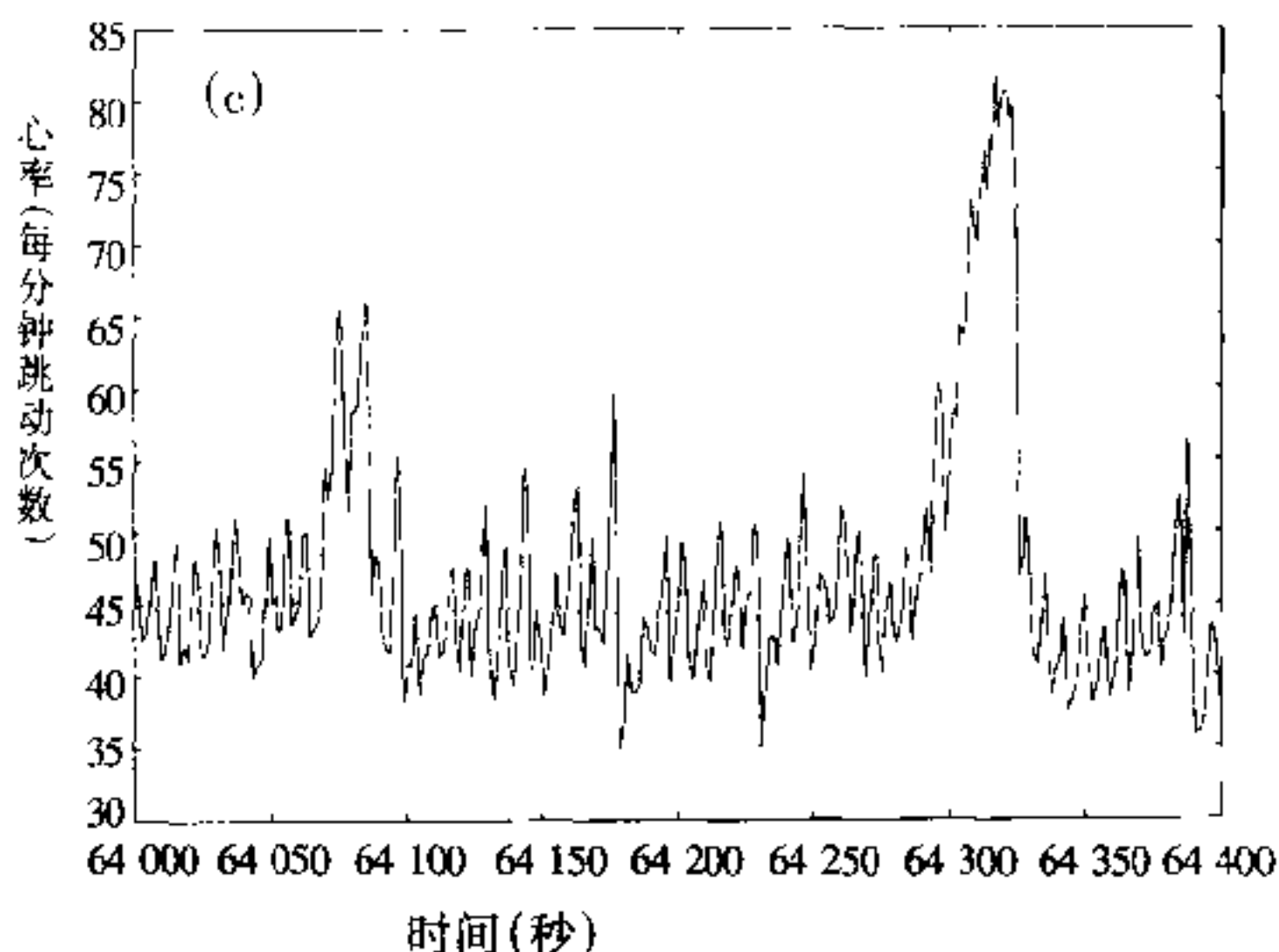


图3 不要以为你的心脏跳动和表的走动一样，对于一个健康人，甚至是一个处于休息状态中的健康人来说，两次心跳的间隔时间也是以一种疯狂而奇特的方式波动的。逐渐的上升或下降发生在几小时之内(a)，但是仔细观察一下，你会发现类似的波动在几分钟之内就会出现(b)，甚至几秒钟内。(承蒙哈佛医学院阿利·戈尔柏格供图，经许复制，特此致谢。)

科学家们现在已发现本体相似性存在于许多事物中，从遍布于地球表面的火山口到海上的浮游生物，甚至人类心脏的跳动方式。如果你认为自己的心脏就像一台调配良好的汽车发动机一样空转的话，那么你需要再仔细想一想。几年以前，哈佛医学院的心电学家阿利·戈尔柏格和附近的波士顿大学的物理学家们记录了一位自愿者一整天的心跳，然后对数据进行了周密的数学详查。首先，他们计算了每相邻两次心跳的间隔时间，得出了一万个数字。较大的数字代表心跳缓慢、间隔时间



较长的时期；较小的数字代表心跳较快的时期。

通过观察这些数字序列，戈尔柏格和他的同事们发现其中有些东西酷似曼德布罗特金融价格报告中的图形。有些起伏波动会发生在几小时之内，有些发生在几分钟之内，还有些甚至在几秒钟之内（图 c）。人体心脏似乎总是不满足于一成不变，而是不断地改变频率。戈尔柏格和他的同事发现心脏跳动同样存在着一定程度的本体相似性。如果你只剪下其中一小段并把它放大许多倍，你会发现几秒钟内的变化与在几分钟、几小时内的逐渐变化十分相似。在这种不规则性之后潜伏着某种奇怪的规律，尽管它也许与科学传统意义上所说的规律相去甚远。

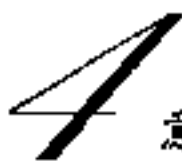
当然，这个规律会有一个名字。曼德布罗特自己发明了这个名字，从而开创了近年来最重要的科学运动之一：不规则碎片的研究。

不规则碎片

当有人要求我们想出一个几何图形时，我们中的大多数人都会想到上学时学到的欧几里得几何的基本图形，例如一条线或一个三角形。相反，一个不规则碎片形是一种完全不同的几何图形，一种具有绝对本体相似性的几何图形。如果说曼德布罗特是第一个识别自然界中不规则图形的人，那么数学家们对这个问题的研究已经由来已久了。⁵

不规则碎片形的一个简单例子是科尔曲线，由德国数学家海戈·冯·科尔于1904年发明。你可以通过叠代法画出一条科尔曲线：先划一条水平直线。然后在上面加上一个三角形的扭结，使它看上去像被一座小山分开的两个平原。然后再在两个平原和山的两边加上扭结。一直这样画下去，在每一步中，在每条线的中点加上扭结，使得图像更为细致（图4）。不需这样重复许多次，只要几次，你就可以得到一条科尔曲线。当然在纸上画出这条曲线的真实形状是不可能的，因为它是相当复杂精细的。我们只能对它的形状有一个大概的了解。

就这一图形面言，在现实世界中没有什么才是真正的数学概念上的不规则碎片形。例如，在马铃薯碎片堆中，能量法则所反映的本体相似性只适用于从大约100克到千分之一克的碎块。但是，这个范围相当大——10 000的一个因数——在这一



范围内，碎块堆确实是不规则的。在现实世界中，圆满的圆和直线是不存在的，但是这并不影响这些概念用于描绘地球的形状或光束的路线。同样，不规则图形数学为描述在所有事物形态中——以某种方式——呈现的规格恒定性提供了有用的工具。

这个“以某种方式”把我们引入了重要的一点。数学家的绝对不规则碎片形可以来自于他们的想像力。但是真正的不规则碎片形又是从哪里来的呢？曼德布罗特的不规则碎片几何学可以告诉你不规则碎片形的概念以及不同碎片形之间的区别，但是仅靠描述还不足以解释事情的来龙去脉。只是说一张风景画是一个不规则图形，并没有解释它是怎样或如何变成不规则的。正如在开普勒识别和描述了行星运动的某些规律之后很久，牛顿才解释出这一过程之后的物理原理，曼德布罗特的发现只是对更深层解释的一个号召而已。

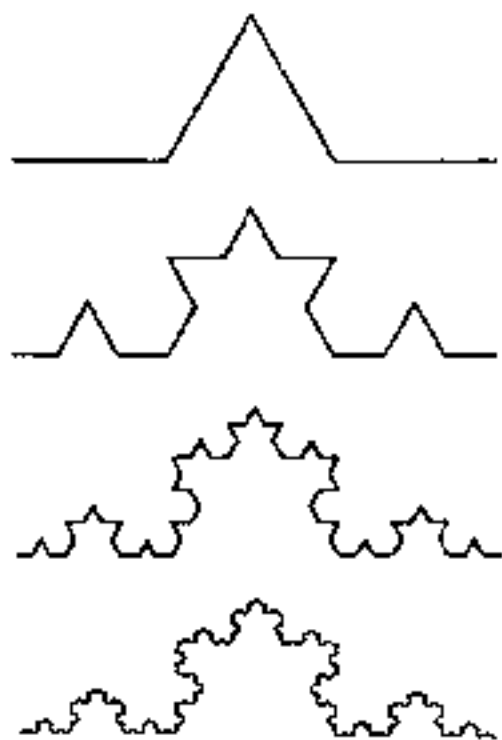


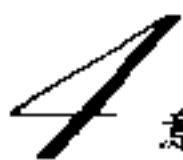
图4 科尔曲线是一个由无限叠代过程产生的不规则碎片形。这条曲线的特点就是无论你多么近地观察，总会发现相同的结构冒出来。每一小段放大后，同样又变成了整个图形。把科尔曲线放大一千倍，你还是会看到相同的结构接连出现，当然，这种不规则碎片形的本体相似性只适用于绝对数学概念上的不规则碎片，而这种碎片图形是我们无法绘制出来的，我所画的科尔曲线的图形无法绘制出极其详尽的细节，只是画到某个微小的尺寸上它就停止了，因而不是一个完全的不规则碎片形，也就只是一个大致不规则的碎片图形。

小島和电子

那么，真正的不规则碎片形是哪里来的呢？一种回答就是混沌状态，这对于不同的人有不同的意义；对于生态学家来说，混沌状态意味着每年英国南部或任何其他地方的狐狸数目会完全不可预知地涨落；对于气象学家来说，混沌状态是指一周内的天气状态是无法用电脑来模拟的；对于设计粒子加速器的物理学家来说，它意味着所考察的电子具有一种令人恼怒的逃脱机器的倾向。在第三种情况中，混沌状态以一种奇妙的方式，令人十分头痛的同时也附带产生不规则图形。

由于电子以接近光速的速度在加速器上移动，它们可以在一秒钟内绕环上亿次。很自然，使它们保持在轨道上需要一个良好的导航系统。物理学家通过不断把大块磁石置于加速器的管道上，解决了这一问题，每当电子开始偏离时，磁石就将其推回管道。但这并不总能奏效。当电子绕环一周时，它也许会在管道之内稍微偏移一点。实际上，如果这种偏移过程是混乱无序的，那么这一微小变化会迅速累加，最终引起麻烦——电子从管道边缘射出。

20世纪70年代末，美国物理学家布里安·泰勒和他的苏联同行B.V.凯里科夫各自发明了一套简单的数学模式来模拟这一过程的最基本特点。⁶ 他们的模式非常抽象——事实上，



除加速器中的电子之外，它还适用于许多东西——然而由它派生的典型概念演示了不规则图形是如何从混沌状态中诞生的（图5）。大致说来，这一概念中的“小岛屿”——变形的小环对应着管道内（也就是横断面内，就好像你站在里面，观察管道的长度）电子可以幸福居住的地方。从这些地方任何一处出发的电子可以在加速器内飞速运行几千或几百万圈而不会离开小岛的狭小范围。物理学家希望把电子保留在这些地方。反之，如果电子起源于或以某种方式进入稳定岛屿之间的广阔无限的空间的话，那就有麻烦了。这是一片混沌之海，电子将永远在其中漫游。这儿的所有电子都将很快撞到管壁上并且射出加速器。

这一概念最吸引人的地方就在于它令人难以置信的复杂性。把混沌之海中任何一部分放大一千倍，你还会发现有岛屿隐藏在其中。把任何岛屿周围地区放大，你会进一步发现小而积附属岛屿和无秩序地区；把任何附属岛屿放大，你仍会发现下一层次的附属岛屿，依此类推永无止境。混沌和稳定混合于各种规格和结构的不规则图形中。认为把粒子保留在加速器中甚至几秒钟也是很了不起的，也就不足为奇了。

因此，无秩序状态可以产生不规则图形。我们还可以举出其他上千个类似的例子。但是，这一切太抽象了，与叶脉的不规则图案，或者在阳光下晒干的泥块上生出的裂纹都相距甚远。在这些事物中，并不存在混沌状态，所以对于我们的问题：“什么导致了不规则碎片形？”，必然还有其他答案。

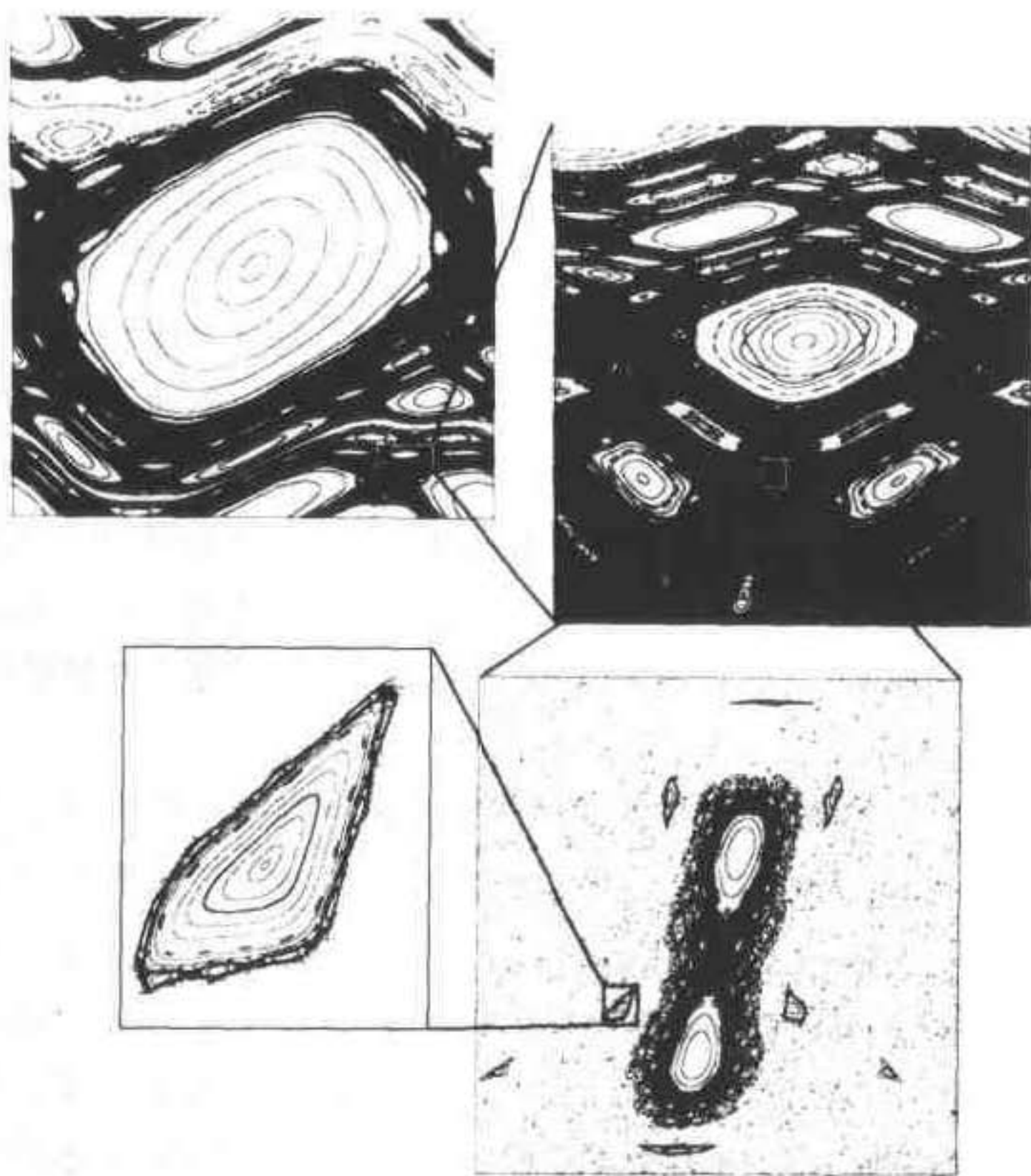


图5 凯里科夫—泰勒游戏就是在一个大方框的某处画一个黑点，然后根据这一个点的位置，再画第二个黑点。这个规则以一种非常笼统的方式描述了当一个电子在粒子加速器中绕圈时向外逃逸（挪移）的某些特征。选定你的初始方位，反复运用这个规则，你会得到不同的结果。

从一个椭圆形的小块地方出发，这些点会绕一个模糊的圆运行，就像一颗行星有规律地绕太阳运行一样。然而，从阴影部分的任意一处出发，小点会无秩序地游遍阴影里每一个角落。这个怪异而自然的运动就是混沌状态的一个例子，这一游戏的一个显著特点就是规则的岛屿混于混沌之中：放大任何一小块地方，你都会发现隐藏于其中的两种区域。在任何规模上，混乱和规则都以一种本体相似的方式共存着。（位于博尔德的科罗拉多大学的詹姆斯·梅斯供图，特此致谢。）



历史物理学

◇ 另一个答案——与自然界中最常见的不规则形状更相关的答案——就是不规则图形看来是很自然地在生长或进化的过程中产生的。在某种意义上说，历史总是起着重要作用，用以理解不规则图形和能量法则的物理学就是历史物理学。但是，你不可能在图书馆找到任何历史物理学期刊，或者任何有“历史”字样出现的物理期刊。因为物理学家倾向于使用一种更专业的语言，而不是讨论重大历史事件的物理原理。为了理解这种语言、认清它与历史观念的联系，我们可以想像往一杯温水中撒入较多的盐，再搅拌一下。盐粒将溶解。在那些盐粒的再现过程中物理学历史的意义就将会显现。

在显微镜下观察，每一个盐粒都是钠原子和氯原子按一种完美的几何模式排列在一起的晶体。能量使这些原子彼此连接。然而在水中，每一个原子都受到水分子的猛烈攻击。水的温度决定了其分子的运动速度。它们运动得越快，攻击力就越大，拖拽原子的机会也就越大。如果水温够高的话，只要一小段时间，所有原子就会脱离晶体，晶体不复存在，盐被溶解，所有原子都在四周水的包围下彼此孤立地漂浮着。这是一种均衡状态，如果外部条件不发生变化，一切都将永远保持不变。在均衡状态下，历史的意义微乎其微。

现在，让我们把杯子放入冰箱，使水冷却下来。如果水温降到一定临界温度之下，盐就会重新在杯中凝结。钠原子和氯原子又重新聚合，而水分子运动速度放慢，拖拽它们的能力也下降了。⁷ 科学家们认为当水温刚刚降到临界温度以下时，新的固体在均衡状态下生成，尽管它实际上只是在近乎于均衡的状态下生成。在这种状态下，凝结过程非常缓慢，结成的是绝对晶体——像钻石一样完美无瑕的规则欧几里得几何形状。

原因在于水分子几乎有着足够的力量来破坏生成过程，但力量并不很大。如果原子只是暂时地依附，那么它很有可能再次被拉下来，而继续在晶体表面的附近浮动。它会再次依附，又再次脱离，直到最后找到适当的位置——在不断增大的晶体中的一处最佳位置，这样，通过把原子粘附在适当位置上，晶体不断增长，在这种情况下，历史的意义也并不显著，如果把实验重复一百次，你会得出完全一样的结果。

如果水温更低，远远低于临界温度，又会怎样呢？现在事情就变得有趣多了。在这种情况下，结晶的原动力非常大，晶体便在不平衡条件下不断增大。每一个暂时依附于晶体主体的原子都紧紧地粘连其上，因为水分子已无力把它拖拽下来。结果，晶体迅速增大，所有原子一个接一个地挤在一起。你可以想像出其结果——一种分子的交通堵塞，这导致固体无法生成规则形状，而是生成一种带有许多分支的复杂形状。

为了欣赏这种结构，并且理解其生成的原因，物理学家发明了一个简单的数学游戏来阐明这一过程的精髓，这个游戏可以被看成是新历史物理学的典范。尽管它的名字不很令人振奋，它被称为有限扩散聚集——但它实际上却很简单，并且操



作起来十分美妙。1984年，芝加哥大学的汤姆·威顿和利奥那多·桑德斯发明了这种聚集游戏，它是我们刚刚讨论过的结晶过程的纯粹数学翻版，那一过程的细节十分简单，我们可以通过显微镜观察到一切。

◇ 在这个游戏中，一个单一粒子在一片空旷空间的中心开始运动。另一个粒子从外界进入这个空间，沿一条狂乱、偶然、随机的路线运动。如果第二个粒子没有遇到第一个，它会照常运动下去。但是如果二者相遇，它们就会粘连在一起。接着，第三个粒子从任意方向释放进来并沿一条随意路线前进。它的命运也一样——如果它遇到中心团（也许只是一个粒子，或者现在是两个粒子）中的任何一个粒子，它都会粘附于其上。如果它没有遇到中心团，就会一直运动下去。这个游戏就是一直无规律地放入粒子，让其或粘附或错过，看粒子团最终会成为什么形状。你可以把粒子看做是钠原子或氯原子，把粒子团看做是不断增大的食盐晶体。

尽管这些规则很简单，在这种不均衡增长游戏中形成的粒子团都有着奇异的形状，完全不同于在均衡增长中产生的简单形状（图6）。原因并不难解释。在这个游戏中，当一个粒子撞上中心团时，它就粘附在那里。这是一个毋庸置疑的历史过程，其结果不可更改，因为每一结果都为以后发生的一切作了铺垫。粒子的粘附改变了中心团的形状，也使其他粒子更容易在其周围粘着。当其他粒子粘附在这里后，又使另一些粒子易于粘附。这一增长极其不稳定，随每一个微小变化而发生变化。在这个不均衡环境中，体现出历史的作用，这一点是非常重要的。

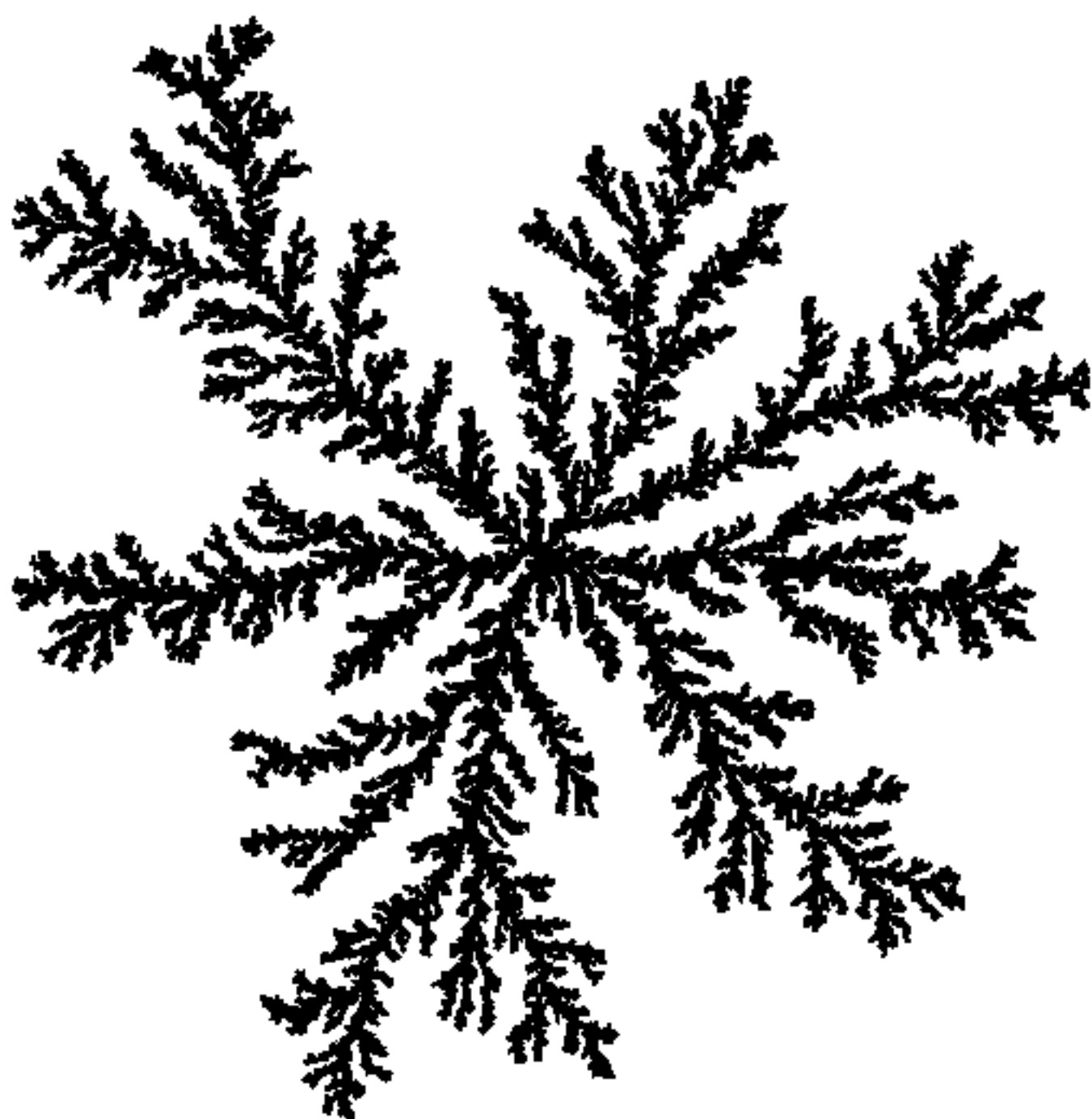


图6 在聚集游戏中，粘性粒子从远处开始作任意运动，如果碰巧遇到正在增长的粒子团，它们就会粘附上去。很长时间以后，结果就会像这幅图一样。即使这个游戏做了一百多万次，你也不会发现完全相同的结构——在精确细节上，其结果是根本不可预测的。即使如此，它也总会有相似的轮廓，并且完全符合能量法则。（奥斯陆大学保罗·梅金供图，特此致谢。）





对细节的记忆

与詹姆斯·韦特森一同发现 DNA 结构的弗朗西斯·克里克曾经指出，进化过程的精髓是“封冻的意外事件”的发生。随机的基因突变几乎总会导致一个物种丧失生存和繁殖的能力，因此生物的突变品种很容易灭绝。但是极少的具有更强适应能力的偶然突变体可以在整个物种中扩展流行开来。一旦这种情况发生，这一意外事件就被封冻定型了，该物种的所有进一步进化必须从新的起点开始。这样看来，进化是一个累加的过程，每一个封冻的意外事件都是建立在一连串过去的封冻、意外之上的，构筑了一条曲折的前进道路。这条道路饱含着历史意义，封冻的意外事件正是历史偶然性的充分体现。

封冻的意外事件同样是聚集运动的核心。正如结晶过程所演示的一样，一旦粒子增加的规则成为不可更改的，历史便登台亮相了，就像绝对偶然性一样。每一个不显著的意外事件都在不断发展的结构上永远地留下了无法涂抹的痕迹。因此，如果你再做一遍这个游戏，甚至做一百遍，你也不会得出完全相同的结果。即使如此，最终形成的复杂结构总会具有某些相同的特点。在与中心距离为 R 的面积内有多少粒子呢？对于所有粒子团来说，答案大致都一样，遵循着能量法则：每当半径 R 增加一倍，圆内所包含的粒子数增加的倍数大致为 3.25 的

一个因数。

通常这种看似简单的能量法则总是有着深刻的暗示。它暗示出粒子团是一个不规则图形，对于各个部分或次级粒子团来说，并没有典型的规则。事实上，如果你取出图形中的一部分把它放大，你会发现结果同原图形十分相像。令人惊叹的是，粒子团总是有这一特性。甚至是在产生粒子团的大量混乱的意外事件中，即使未来在每时每刻都被随机地推来转去，也总会存在可预见的特性。在这些偶然事件背后有一个毋庸置疑的法则似的过程，它不是以精确形式而是以粒子团的数字统计形式表现出来的。

这是历史性的不均衡过程自然地导致不规则形状和规格不恒定的一个例子。这种聚集运动是物理如何面对历史不可避免的偶然性发挥作用的一个范本。物理学家们现在得到的教训之一是，仅靠无休止的方程式，他们是无法理解结晶和其他历史过程的。如果只能通过一个粒子一个粒子地追踪这一精确过程的历史，才能完全理解其本质，那么方程式就毫无用武之地了。人们通过聚集游戏之类的模拟，学到了非均衡的历史物理学。

当然，聚集游戏只是一种可能，还有许多其他的可能。改变一下规则，就可以产生一种不同的历史游戏和不同的历史过程。正如聚集游戏捕捉了结晶的精髓一样，其他游戏也许会捕捉到真正历史过程的精髓。如果你相信这种可能性的话，那么我们可以回到地震研究了。

具有讽刺意味的是，作为哲学家，苏格拉底最大的成就就是承认他所知道的惟一事情就是他一无所知。正如我们在第三



章中看到的一样，地震学家也许会很明智地承认同样的事情，盖本伯格—里克特定律是一个重要的例外。这一地震统计的能量定律作为一个数学路标，指明了隐藏于其后的物理以及历史过程。它还有待解释，但科学家们最近已经发明了可以解释它的游戏。

◇ 注释：

1. 马克斯·戈拉克曼，《政治、法律和仪式》，第 60 页（梅特丛书，1965 年）。

2. 约翰·阿奇博尔德·威勒，《美国·物理》，1978 年。

3. 伊莎亚·伯林，《概念与范畴》，第 159 页（派姆莱克，1999 年）。

4. 贝诺特·曼德布罗特，《自然几何中的不规则碎片形》（弗雷曼，1983 年）。

5. 对大小相似性的几何图形的研究可以至少追溯到 1872 年德国数学家卡尔·冯·威尔斯劳斯。

6. B.V. 凯里科夫，《多维荡系统的普遍不稳定性》，《物理》1979 年。

7. 为了帮助晶体增长，你可以把一小粒盐放入溶液中来“播种”，或者把一根细线垂入溶液中来启动这一过程。这一增长会在自身力量的作用下继续。

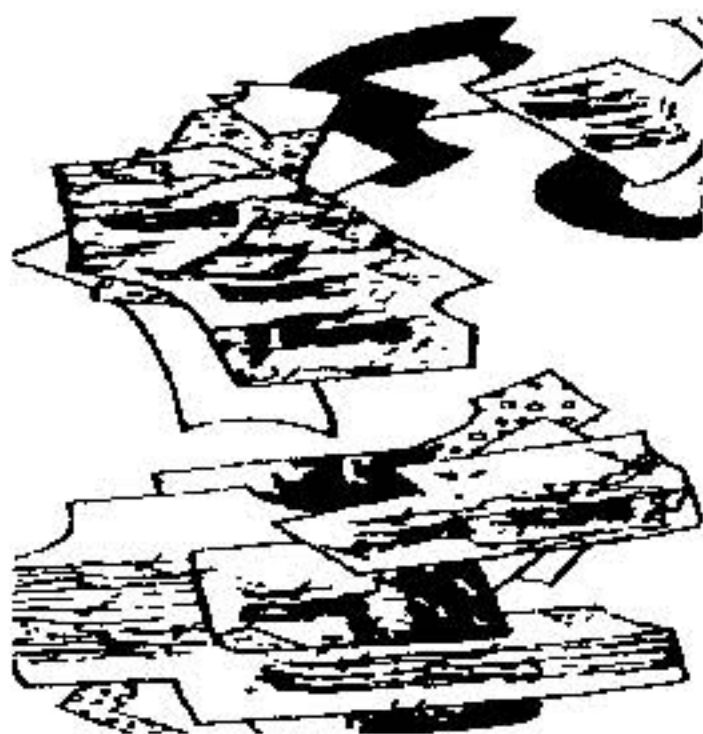
命运的绞链

科学并不试图阐明什么，甚至几乎
不试图解释什么，它只是举出范例。

——约翰·冯·纽曼¹

所有的事实都很简单——这不是一
句复合的谎话吗？

——弗雷德里克·奈兹奇²



关于圣安德列亚斯断层的事实并不简单，它更像是美国卷入越南战争、约翰 F. 肯尼迪被刺或者俄罗斯目前的政治状况。越是靠近观察，事情就变得越复杂。圣安德列亚斯断层确实是从北到南纵贯加利福尼亚的一条线。然而在主断层附近，两边的地壳，由数以千计的小断层筛过，在每一个这种小断层周围又涌现了更小的次断层，依此类推。“断层”一词实际上应该换成词组“断层系统”。直到安德列亚斯断层在旧金山附近终止时，地壳才停止了断裂。在那里奔宁和圣杰辛托断层系统取而代之，把该州更南部的地区切成薄片。加利福尼亚就像任何损坏破烂的公路上的混凝土一样，布满了道道伤痕。

地球上的每一个地震带都有着这一相同的断裂特性。然而在具体细节上总是稍有差别的。在中国、哥伦比亚、加利福尼亚和日本，断层、次断层和更小的裂缝构成了当地独特的网络。没有两地是十分相像的。那么，说地震是无法预测的还有什么奇怪吗？有些断层系统穿越山地，有些雕塑出平原或起伏的小山，还有一些将海底地壳切成薄片。一个断层有多深？这也不尽相同。有些有三十公里深，另一些只有五公里。

尽管地震会在一千种不同的环境中发生，这种复杂状况的最终结果是盖本伯格—理克特定律的惊人的简单性。20 世纪 80 年代，科学家们开始正视混沌状态问题：像悬摆一样简单的东西，在规则周期作用力下，怎么可能以一种极其不规则的混乱方式运动呢？我们在这里面临着一个全然不同的问题：地壳中所有的复杂细节和过程凑在一起怎样产生如此令人惊叹的简单性呢？为什么那些细节对此没有妨碍呢？

移动的砂粒

在通常的想像中，当独居的天才默默无闻地辛苦钻研，在狭隘的氛围内出人意料地得到某一激进的新观点或纯粹想法时，伟大的发现便有可能诞生了。据传，阿尔伯特·爱因斯坦对他的老师感到很不耐烦，他躲进瑞士泊尔尼的专利局，独自一人就把物理攻下了。然而，伟大的观点总是有着乏味的起源。借用阿尔伯特·卡穆斯³的话说，它们产生在一家饭店的旋转门道中，或是在不同领域的科学家聚在一起交换意见时。

1988年夏天的一个上午，在新汉普郡的一个小学校里召开了一次关于不规则图形的会议。就在这个特别的上午，一位地球物理学家作了一个关于地震的多少有些老套的报告。由于出席的大多数科学家不是地球物理学家，雅科夫·卡根作了一个概述。卡根简要指出了美妙的盖本伯格—里克特定律的神秘之处，提出尽管他和同事们付出了努力，他们在地震预测中还是遭到惨败。卡根同时还指出另外一个令人费解的事实——任何断层系统中的断层本身都具有一种不规则形状的特点。也就是说，不同长度的断层片段同样具有能量法则的浅显的规律性。在这种情况下，每当把所研究的断层按长度等分成两段时，你会发现每一断层的数量大致会增至7倍。⁴换句话说，较短的断层与较长的断层相比，其数目以一种非常有规律的方式

增长，根本不存在典型的断层长度。

就是那么巧，巴克就坐在听众席上。当卡根作报告时，巴克对此越来越入迷，并且开始回忆起他堆砂子的游戏。回想一下，在这种游戏中，有些雪崩只涉及到一粒砂子，有些却牵涉了数以百万的砂粒。然而这两种情况的发生都源于几乎同一原因，一切总是由一粒砂子落到砂堆的某一处开始的。如果这粒砂子使得砂堆那一点上过于陡峭，它就会滚下山坡。这也许就是终点了。但是巴克、唐和温森菲尔德发现，当砂堆到达“临界状态”后，许多砂粒就恰巧处于翻滚的边缘。更重要的是，这些砂粒连接起来形成各种可能长度的“手指”。许多手指都比较短，然而其他一些会足够从砂堆这一头伸到那一头。因此，由一粒砂子引起的链式反应可能导致任何规模的雪崩。从数学角度分析，这一特点应被看做是雪崩的绝对的能量定律。计算一下不同规模雪崩发生的频率，你就会发现从带落几粒砂子到几百万砂粒的雪崩遵循着一条规律：把所涉及到的砂粒数增大一倍，那么雪崩的发生就会减少到原来的二分之一稍少一点（更精确的说是不可可能的几率增大到大约 2.14 倍）。但是巴卡开始考虑在地壳中的情况是否与之相同呢？这个想法既有诱惑性又十分荒谬。一个有关砂粒的游戏真的会对塑造新的湖泊、吞没整个城市的剧变有什么重要启示吗？

很难看出砂堆游戏与地壳运动有什么联系。回过头来，布鲁克海文、巴卡和唐又开始了工作，他们与理论地球物理学家进行讨论，并翻阅研究文献。很快他们就发现了地震科学家若干年以前自己发明的一个游戏。不幸的是，它与砂堆游戏并不十分相像。

1967年，加利福尼亚大学洛杉矶分校的 R·布瑞芝和 L. 科泊夫努力尝试着除掉地震现象物理原理混乱的复杂性，希望以此给他们带来某种顿悟。⁵ 尽管地震在一张巨大的断层和次断层网上时有发生，并且许多断层似乎马上就要发生滑坡，布瑞芝和科泊夫却有意忽视了这一点，他们只研究一个地震。回想一下，沿着圣安德列亚斯的主断层，西部板块向北推移，而东部板块向南推移。如果处在交界的岩石没有下滑的话，那么它们就会变弯，内部拉力也随之增强。拉力越大，下滑的可能性也越大。在这种拉力的聚积和释放的过程中就产生了地震。布瑞芝和科泊夫努力用图解的方式演示地震是如何发生的。

粘附和下滑

假设有一大块木质地板，在它上面的一块同样面积的天花板像传送带一样不可阻挡地向右运动（图7）。天花板上延伸出一些活动的小杆，连接着地板上的一组木块。这个游戏是这样做的，随着天棚的移动，小杆逐渐变形，试图拉动木块。木块与地板的摩擦倾向于把它们留在原地。天棚越移动，小杆越弯曲。当摩擦力被战胜后，每一个木块，最终都会突然向前滑动。

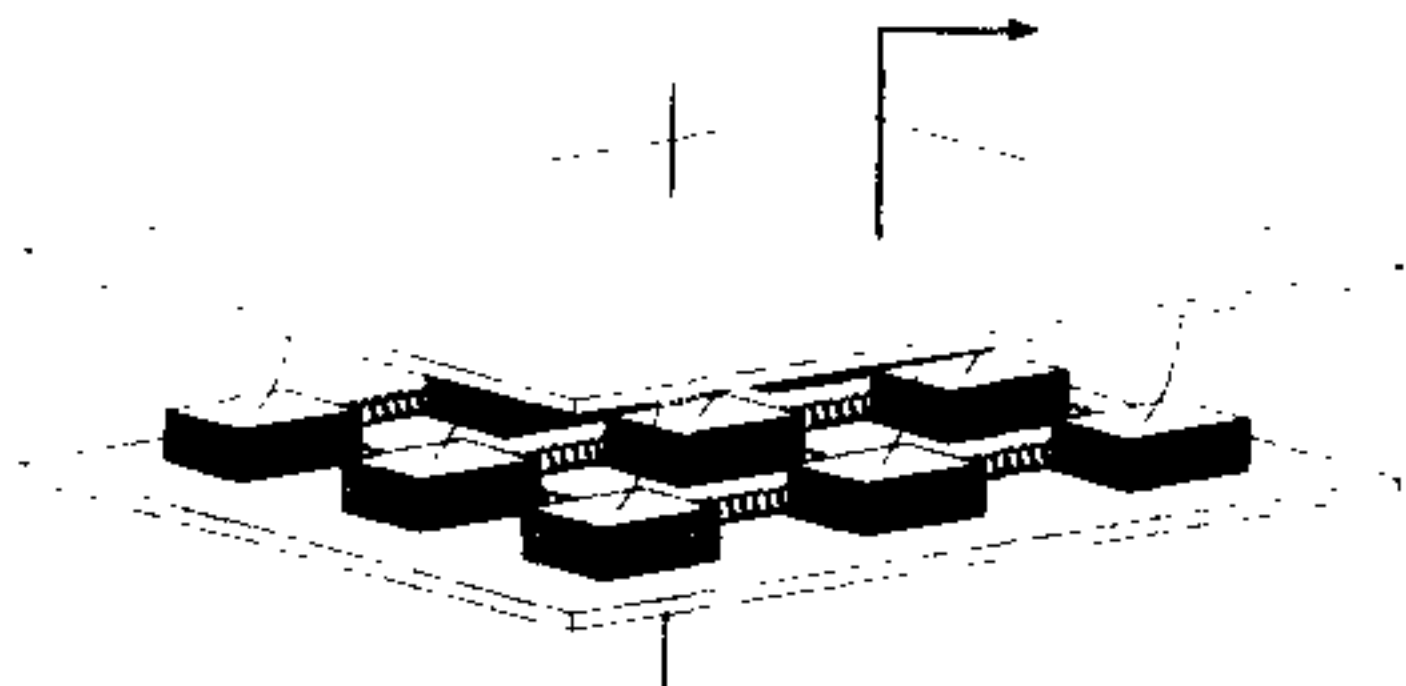


图7 布瑞芝—科伯夫的地震模型。（摘自 Z·奥拉米、H·J·贵德和 K·克里斯廷森，《在一个模拟地震的持续、非保守的松散自动装置中的自发临界状态》。物理·革命·文学，1992 年，经许复制。）

一个细节使这个游戏更为有趣：在木块之间连接的弹簧，如果没有它，木块只能彼此孤立地运动，只会走走停停。但是

在弹簧的作用下，当一个木块向前滑动时，它会推动前面的一块，拉动后面的一块。同样，如果一块木块由于某种原因，向一边滑动，它也会给其两边的木块施加一定的推力和拉力。导致一块木块滑动的全部力量，不仅来自于其头顶的活动小杆，还来自于它前后左右的弹簧。弹簧使得一块木块的运动可以影响到其他木块。

这与地震有什么关系呢？原因很简单：这个游戏旨在代表一个地质断层，只是把现实中的东西提炼出来，剩下的只有纯粹的物理学。地板和天棚代表两块大陆板块，木块与地板之间的界面代表板块的两个巨大表面。只要摩擦力能阻止木块滑动，它们就只能弯曲并积蓄能量。活动的小杆正是运用了物理中的这部分原理。木块之间的弹簧呢？岩石质地坚硬，你和我都无法用手把一块花岗岩石板像弹簧一样压缩，但当两个大陆挤压到一起时，这对它们来说简直易如反掌。假设发生了一场地震，一个断层不同地点的岩石滑落的数量不尽相同，某些地区的岩石会受到挤压，并且想要反弹。弹簧表明——岩石是有弹性的。

这个游戏只是让天棚移动，观察其结果。发生了什么呢？布瑞芝和科泊夫根据这个游戏建造了一个简单的物理模型，他们使用了一组一维木块而不是二维网络。不幸的是，他们只能以一种极粗简的方式操纵。模型、木块数量有限，观察到的滑动现象也不多。那是1967年发生的事。然而，到了1988年，巴克和唐就可以使用一台普通的台式电脑来发现布瑞芝和科泊夫只能设想的东西了。

要在计算机上模拟这个游戏，我们还需知道另一个细节。

当木块承受的力量超过一定界限时，它一定会滑动。但是一旦它开始滑动，接下来又会发生什么呢？木块的滑动距离取决于它与地板之间摩擦力的大小。摩擦越大，滑动越短；摩擦越小滑动越大。麻烦的是，没有人真正精确地掌握这一情况。然而，巴克和唐决定继续研究，他们以最简单的方式越过了这个问题：根本不理睬这个信息。

木块的运动可以用牛顿的运动等式恰当地表述出来。但是为了探究这个游戏的本质，巴克和唐用几个简单的规则，代替了牛顿的定律。假设在某一时刻，木块停留在某一特定结构上。接下来会发生什么呢？当然，对于作用力太小无法使其滑动的木块，什么也不会发生，它们只是停在原地。其他一些木块会有所运动，为了详细描述其运动方式，巴克和唐规定了一条特别规则：如果一个木块上的作用力超过滑动限界，它就会突然向前冲一下，同时，该木块上的作用力会少一单位，每一与之相邻的木块会增加四分之一单位的作用力。换句话说，每一个木块滑动时，所受作用力的部分将转移，并且平均分配给与之相邻的木块。从牛顿的定律中并不能得出这条规则，但是一个木块的运动必然会减少它的受力，增加与之相邻木块的受力，因此，这条规则至少是正确的。

一位老朋友？

这一规则的重要优点之一就是巴克和唐可以在很短的时间内对上百万块木块进行模拟操作。然而，很有讽刺意味的是，他们根本不需要这样做。因为在游戏开始之前，他们就突然有了一种似曾相识的感觉。

他们从前见过一样的情况。并没有刻意安排，但是他们的特别规则却给地震游戏赋予了一个与砂堆游戏揭示出来的完全一样的数学逻辑。在这里，语言表述的是在某一平面上滑动的木块；在那里，表述的是滚落砂堆的砂粒。然而语言背后却只有一个数学构架。因此，巴克和唐甚至根本不用做这个新游戏来进行观察——它只是一个乔装打扮起来的老把戏。

研究至此，巴克和唐终于可以谈论最终问题了：如果砂堆游戏中的雪崩遵循某一能量法则，那么它对于地震、至少对于“木块和弹簧”这一地震模型，有什么启示呢？盖本伯格—理克特定律是针对释放一定能量的地震次数的。巴克和唐推断，木块每向前滑动一下，释放的能量大致相同。因此，在这个游戏中，一场地震的“总能量”就是由一次初始滑动引发的木块滑动次数。把两个游戏作一下比较，我们发现它也是滚落的砂粒总数或者由一粒砂子下落引发的雪崩的规模。通过类推，我们知道地震中的震动遵循着与砂堆游戏中的雪崩相同的能量法

则。值得注意的是，与盖本伯格—理克特定律非常相似的针对真正地震的某种东西终于出现了。⁶

令巴克和唐既激动又惊奇的是，他们发明的简单游戏似乎解释和预言了全部地球科学最基本的法则。很可能有人会提出不很强烈的反对：在砂堆游戏中，把雪崩的规模增大一倍，它不发生的可能性就增至 2.14 倍，相反，盖本伯格—理克特定律指出当地震的规模增大一倍时，其发生机率就降为原来的四分之一。所以能量法则中的数字并不完全相同。但是与巴克和唐的成就相比，这点差异意义并不大。他们至少已经解释了能量法则的极其特殊的形式源自何处。⁷

在一次游戏中，对每一时刻滑动的木块数量的记录会呈现出一个怪异却很熟悉的图形。它像任何地震带的地震活动记录一样，看上去极不规则又似乎很随意。记录中的大地震就像沙漠中的红杉一样醒目。如果一次小地震涉及到的只是一块岩石滑坡，那么大地震也许会牵涉到上百万块。

就像大地震对于地球物理学家一样，对于不善猜疑的人来说，大的事件往往需要特殊的解释。然而，无论大小，每一种情况的最初原因都只是系统中某一处木块的突然滑动。既然木板和弹簧自发组织成一种临界状态，系统就很难平衡，任何事情都有可能发生。一块岩石的滑动也许会引发一场波及整个系统的雪崩——也就是一场灾难性地震。地震规模的不同只与最初下滑发生的精确方位有关。这就解释了为什么地震是无法预测的，以及为什么可怕的大震动可以毫无预警就突然发生。

这些结果太理想了，以至于让人无法相信这是事实——而实际情况正是如此。其他研究人员立刻对巴克和唐筛减后的游

戏版本提出了异议。他们的特殊规则遭到了异常猛烈的攻击。砂堆具有一种“保守性”：也就是，当砂粒滚下砂堆时，它们的总数是不变的。砂粒并不会消失，在地震游戏中，巴克和唐使施加在木块上的力以同样的方式发挥作用。当一个木块上的作用力大到足以使之滑动时，他们的特殊法则就把这个力均分给与其相邻的木块。所以就像在砂堆游戏中的砂粒总数不变一样，使木块滑动的总作用力也保持不变。这就是两个游戏结局一样的原因。

不幸的是，断层的真实物理原理中没有什么能使这一特殊性质变成现实的。如果地球物理学家对下滑岩石的表面摩擦法则不甚了解，他们一定也会肯定摩擦力的存在——这一摩擦应该会消耗一定的力。因此巴克—唐规则肯定是不合理的。为了回应这种异议，巴克和唐对其规则进行了修改，使事情更加现实化。但当他们修改之后，这个游戏已面目全非了。它不再等同于砂堆游戏，其能量法则也消失了。地震是无法解释的，至少现在还不能。

错误的一致性

1990年，巴克和另一位同事陈坎写了一篇关于地球和自我临界状态的很长的文章，并把手稿的草稿寄给了其他物理学家，包括在挪威奥斯陆的詹姆斯·费德。费德和他的儿子汉斯·雅各布（当时还在高中念书）一起，开始在电脑上模拟操作，试图重新得出巴克及其同事的研究结果。费德父子按论文中的所述规则拟订了一个方案，然后就开始做这个游戏。他们记录了不同规模地震发生的频率，最终当取得足够的资料后，便绘制了一份图表。正如所期望的一样，他们发现了一个能量法则。然而，令人懊恼的是，它与巴克及其同事发现的能量法则并不一样——具体数字不同。

费德父子检查了他们的电脑密码，又重新核对了巴克和陈的描述，但是似乎一切都没有出错。他们进行了更多的电脑模拟，但是仍然得出了变更后的能量法则。詹姆斯·费德十分沮丧，最后给巴克打了电话，经过长时间的讨论终于查出问题的原因：论文的最初稿有一处很小却很严重的印刷错误。游戏的一条规则被写错了。因此费德父子一直是按错误的规则进行着游戏。事实上他们做了一个不同的游戏。不可思议的是，这个新的游戏并不是乏味而没有意义的。如果说伟大的观点可以诞生在一扇“旋转门”中的话，那么重大发现也可以在印刷错误中

产生：因为这个新的游戏更进一步推进了酷似盖本伯格—里克特法则的模式，而且不具有保守性的限制。

第二年夏天，汉斯·雅各布与巴克与布鲁克海文的同事机弗·奥拉米和金·克里斯廷森合作，试图理解这一问题的成因。这个三人小组回到最初布瑞芝和科泊夫的游戏，开始追溯巴克和唐的足迹，简化游戏，但又尽量保持忠实于深层的物理原理。最后他们研究起那个棘手的问题：如何详细描述木块开始滑行后的运动。但是在巴克和唐采用令他们招惹麻烦的特殊规则的地方，奥拉米、费德和克里斯廷森发现了其他的办法，这种其他方法具有坚实的物理学基础。

沿另一块岩石滑动的岩石会产生热量。也就是说，在受力岩石中积存的一部分能量不是驱动岩石，而是使它变热。要模拟这一情况，这个游戏还需要加入一个散失能量的类似机械。奥拉米、费德和克里斯廷森很容易就发明了一条新的规则来满足这一点。他们指出，当木块向前滑动时，会因为与地板的摩擦而丧失一些能量。因此，当滑动木块的作用力降低一个单位时，与它相邻的木块增加的作用力要小于这个量，这就是摩擦所耗费的。奥拉米—费德—克里斯廷森游戏——最初是偶然发现的——终于诞生了，它以新的规则取代了巴克和陈游戏中的旧则。⁸

这个游戏还有其他的显著特点。当然，它未必一定要成为地震产生过程的绝对精确摹本。它仅旨在捕捉到给那一过程赋予特色的逻辑的最小核心。然而，如果对游戏规则的微调会导致相去甚远的结果，那么这个游戏就很难让人信服了。那么人们可能会猜测这个游戏是否可以被“调频”，使之与事实相吻

合。但是当奥拉米、费德和克里斯廷森改变每次木块滑动丧失的能量时，地震数据统计结果却并未保持不变。他们把它从10%换到20%又换到30%，能量法则没有变化。换句话说，游戏操作方式全然不受规则变化的影响。几乎所有具有这一逻辑核心的游戏都会产生盖本伯格—理克特定律。然而这个新游戏却比原有的巴克和唐的游戏更接近地震的实际情况。在奥拉米—费德—克里斯廷森的游戏版本中，每当地震规模增大一倍，其发生机率就降为四分之一——与关于实际地震的盖本伯格—理克特定律所显示的数字完全一样。

这个游戏还揭示出其他的东西。1995年，日本神户大学的物理学家基素克运用游戏的一个替换形式，做了大量的模拟操作，观察地震发生的精确次数。⁹现实世界中的地震十之八九会伴有前震和后震。这等于是说，大规模地震倾向于成串爆发，越久没有发生大地震，它发生的时间就越晚，这与我们的直觉恰恰相反，也与我们所做的游戏不相吻合。

这种聚集现象的数学标志是在一次大地震发生后，下一次大地震的等待时间的发布，这一时间分布同样遵循一条能量法则。在游戏中，如果你记录了一千次地震每相邻两次的发生时间，你会发现较短的时间出现频率更高，而且符合通常的能量法则模式：比如说等待两周与等待一周相比，不发生地震的机率会增至2.8倍，等待两个月与等待一个月、等待两年与等待一年相比，也是一样。把它与被称为奥漠瑞法则的实际地震分布进行比较：在现实世界中，能量法则中等待时间的数字不是2.8，但已相当接近，是2.6。

怎么会这样呢？

通过巴克和唐、奥拉米、费德和克里斯廷森，以及许多我没有提到的研究人员的努力，近几年，地震才最终开始得到解释。或者更确切地说，地震过程的特点不再是一个不解之谜。美国物理学家理查德·费曼告诫研究量子理论的学生不要问“怎么会这样呢？”以免掉进理解的深渊。量子世界里居民的举止未必会很合理或是一定遵照我们经典的先人之见。然而，在地震领域，我们的预测能力可能甚至比在量子世界中还小，我们目前仍无法回答这个问题：怎么会这样呢？

然而，理解与预测是两码事。事实上，在这一情况下，尽管目前科学家们做出的地震过程图解十分简单，但对它的理解却得出这样的结论：个别地震是无法预测的。地球内部的热能驱使板块运动，地壳又处于板块运动不断带来的压力之下。这一压力不断积聚，直到一个断层某一小段的岩石达到它的下滑极限，开始下滑。最初下滑的断层也许只有一毫米长。也许它只能用显微镜来观察。但接下来发生的就未必如此了，因为体现最终效力的震级与初始原因是没有关系的。

如果地震活动和地震游戏砂堆游戏很相像的话，那么一段时间以后，不同大小的岩石所受的压力和拉力就获得了临界状态的特殊组织形式。地壳被各种长度的不稳定的手指抓得遍体

鳞伤，因此，当第一块岩石在某地下滑后，很自然一切都有可能发生。一场地震也许很快就会结束，也可能最初的下滑运动给周围岩石带来巨大的压力而引起进一步的下滑。地震的最终规模取决于一个我们永远也掌握不了的极其微小的细节：第一次微小滑动发生处的那段不稳定的特殊“手指”的长度。

那么，灾难性地震的爆发事实上根本毫无原因。首先，对于这样大规模地震发生的原因有一种解释——就是地壳被调节到一种临界状态，处于大骚动的边缘。但却没有解释——在爆发之后，只是对哪处岩石发生下滑以及以什么顺序发生进行了简单的描述——第一块下滑的岩石碰巧处于最长的一根不稳定手指上，这些手指又置穿于整个断层系统。一场猛烈的震动随时可能在其中任何一处爆发。哥伦比亚大学地震专家克里斯托弗·斯吉尔兹曾经很生动地描述道，地震爆发时，仿佛“并不知道将会发展成多大规模”。如果地震自己都不知道，我们就更无从而知了。

当然，你可能会想，如果可以绘制一张压力和拉力模式的精确图表，极其详细地了解所有岩石的性质和下滑前所能承受的最大压力，等等，那么也许你就可以绘制出一张不稳定手指的地图了。但即使这样，大规模地震的预测也几乎是不可能的。在某些地方，由于岩石已被压迫到了极限，极微小的下滑马上就要发生，地壳中这样的地方不计其数。你需要对所有这些点进行监控以确保它们当中没有任何一点降临到某一不稳定的较长“手指”上。

失衡的世界

从根本上说，这本书并不是针对地震的。它是关于在各个层次上贯穿世界的变化和组织的普遍模式的。我从地震开始谈起并且已经讨论了很长时间，只是为了举例说明我们马上会在其他环境中遇到的思维方式。当谈及与地震灾难相似的金融崩溃、革命或是毁灭性战争时，可以理解我们都很渴望能辨识出这些事情发生的原因，从而可以避免其再次发生。我们很快会发现不规则图形和能量法则适用于所有环境中，这很可能是因为其力学的根本是临界状态。结果，总是渴望得到解释的人类可能只是白白付出心血，而注定要不满意。如果我们的世界永远处在突然而激烈的变化的边缘，那么，即使是在发作前不久，这些和其他的骤变也全都根本无法避免和预测。

然而，也许你对我到目前为止所说的一切都持有很大的异议。你也许会想：难道这个愚蠢的小游戏确实可以解释地壳的剧烈运动吗？应当指出，巴克和唐描述其游戏的最初论文引发了一场猛烈的抨击。为了理解地震，许多地球物理学家花费了毕生精力，极其细致地研究具体地震带和断层系统。对于他们来说，这一草率的数学途径几乎是一种侮辱，只是向理论物理学家证实了克瑞克关于数学家的言论：“我认为，大多数数学家都心智懒散，尤其不爱读实验论文。”¹⁰毕竟，有少数理论家

从没有学过地球科学的任何大学课程，却宣称他们可以用一个不包含实际地震发生时物理情况的复杂细节的一个玩具模型来解释地震。

例如，布瑞芝和科泊夫的模型就是对现实问题的一个过于简单的描述。它几乎删除了实际的断层中几何和物理性质的所有细节。地震发生在岩石中，真正的岩石中。但是这个游戏并没有提到岩石的性质，只是“几乎作为一种事后想法”承认由弹簧代表的岩石也具有弹性这一特点。而且，正如我们看到的一样，现实世界中的地震极少只涉及到一个断层，它们几乎总是牵涉到一个极其复杂的断层网络，所以，不能说一场地震发生在这个或那个断层上。下滑现象总是在许多断层和次断层上同时发生。可是，这个地震游戏只包含了一个断层。巴克和唐的删减后的游戏版本甚至更糟糕，因为它在分析木块运动中随意违反了物理规则——不可避免的摩擦作用。奥拉米、费德和克里斯廷森的游戏版本部分地纠正了这个错误，但是它几乎不是基于对物理状况的仔细分析之上的。对真正物理原理的有意篡改又怎么可能产生任何对于实际地震有价值的观点呢？这些地球物理学家得出结论：所有这些模型也许都是聪颖的游戏，但它们也只是游戏而已，它们与盖本伯格—理克特定律的神奇的一致也只能是一个毫无意义又索然无味的巧合。

今天，一些地球物理学家还持有这一异议，这有价值吗？要回答这个问题，我们也许得再深入地探讨一下具体地震的所有细节，以期找出那些真正起作用的因素。但是，细节的数量几乎是不可限量的，而且幸运的是，我们还有另外一个思路来解决对有意回避事实提出的异议。读到这里，也许你会认为，

存在于砂堆游戏和地震这些奇异行为之后的临界状态是巴克、唐和威森菲尔德在 1987 年发现的。事实并非如此。他们在自己的游戏中创造了临界状态，在发现中得出结论。但是，临界状态的科学早在几个世纪以前就有了基础。

这些基础渗透到了极其平常的事物的物理原理中去——比如，磁铁的运动，以及液体遇热汽化的分子变化。可 30 年后，这块贫瘠的土壤却孕育出了现代物理学中最具诱惑力的、最有力的观点，可这些观点却不为外行人所知。今天，这些概念使物理学家得以在地震学、人类生理学、进化生物学和经济学等广阔的领域内建立永久的阵地。

注释：

1. 约翰·冯·纽曼，《杂文集》第 6 卷，第 492 页（珀格曼，1961 年）。

2. 弗雷德里克·奈兹奇，《神像的黄昏》（企鹅，1990 年）。

3. 阿尔伯特·卡穆斯，《希塞弗斯神话》（企鹅，1975 年）。

4. 圣安德列亚斯断层的代表数据可以查阅：R·E·华某士《圣安德列亚斯断层的表面断裂结构》，摘自《关于圣安德列亚斯断层系统地壳构造问题的会议之进程》。《专家发行地质科学》R. 科圣克和 A. 诺尔（编辑）248—50 页（斯坦福大学，1973 年）。

5. R. 布瑞芝和 L. 科泊夫，地震、社会、美国。

6. P. 巴克和 C. 唐，《地震作为一种具有自我临界状态现

象》地球物理学·研究，1989年。

7. 我应该提一下，巴克和唐在寻找砂堆和地震的关联时，并不是孤军奋战。大约在同一时间，几位研究人员同时又独立地提出了类似的结论。例如，参阅 A. 索李特和 D. 菲索奈塔，《自我临界状态和地震》，欧洲物理，文学 1989 年。K. 艾托和 M. 马苏扎奇，《地震作为具有自我临界状态的现象》地球物理学研究，1990 年。

8. Z. 奥拉米，H.J. 费德和 K·克里斯廷森，《在模拟地震的持续、非保守的多孔自动装置中的临界状态》，物理。

9. K. 爱托，《进化模式不均衡状态也是一种常见地震模式》物理·评论 .E，1995 年。

10. 弗朗西斯·克瑞克，《多么疯狂的追寻》，第 136 页（威极菲尔德和尼克尔松，1988 年）。

磁 性

在我们生活的世界上，诗人、历史学家和职员都十分骄傲，因为他们甚至都不需要去学习任何科学，科学对于他们来说就是一个长长的烟囱的另一端，任何智者都不会将脑袋伸入这个烟囱的中心。

——J. 罗伯特·奥本海默¹

进行基础研究就像是向空中射出一支箭，等箭落地后再画上靶子。

——荷马·阿德金斯²



俄国物理学家派奥特尔·卡皮萨连续三十年担任莫斯科物理学院的院长，有一次去英国旅行，有人曾问他皇家学会实验室墙上画的一只鳄鱼是什么意思。他后退几步，仔细研究着这幅画，最后得出结论，说它应该被理解为一句关于科学本质的陈述。他说道：“鳄鱼无法转动脑袋，这就像科学一样，它必须带着吞掉一切的下颚不断前进。”³

1938年，卡皮萨在他莫斯科的实验室里把氮气冷却到令人难以置信的 -271°C ，只比最低的绝对零度高了 2°C 。他希望会在这种冰冻的环境中发现一些有趣的现象，这一次他没有失望。卡皮萨发现当氮气处于超低温下时，它先是变成了一种普通的液体，之后又变成了一种最最纯正的橙黄色物质——一种超液体。超液体可以像任何液体一样被倒入一支罐子中，并一直置于其中，但是如果你把它在碗中旋转搅动起来，它就会永远旋转下去。超液体缺少所有普通液体具备的物质：黏性，一种最终使所有运动停止的内部摩擦。蜂蜜的黏度很大，水的黏度不大，超液体则一点也不具备。⁴

当卡皮萨发现这种物质时，它看上去奇异而诱人，同样，那吞噬一切的下颚也并未让人惊慌失措。几年之后，一套关于超液体氮的正确理论就出台了，到1950年，它就根本不再是什么神秘的物质了。

1600年，英国物理学家、科学家威廉姆·吉尔伯特出版了一本名为《磁性》的不朽的论文，这在当时是关于普通磁铁的性质的最全面的研究。吉尔伯特的磁铁可以吸住铁钉，拖动剑和马蹄铁，可以由于不同的方向而相互吸引或排斥。他在书中

还记述了另外一个不十分明显的细节。吉尔伯特把他的一块磁铁投入了一个五金商的壁炉里，磁铁变热，发出橙色的火，令他惊讶的是，它无法再吸住铁钉了。酷热似乎使磁铁的能量失效了。

人们也许认为，吞噬一切的下顎许多年以前就已吞掉了关于磁铁的神秘之处，其实不然。对于吉尔伯特的观察的第一个适当的解释仅仅出现于 300 多年之后的 1907 年。40 年之后物理学家们才认识到这第一条理论实际上是完全错误的，又过了 30 年，他们才提出了一个更好的理论来代替它。总而言之，科学花了将近 4 个世纪才吃掉了磁铁。然而，在破解这一神秘的过程中，物理学家们得出了一条深奥的教训：世界比看上去的要简单。当人们要理解什么事物的时候，细节绝对是无关紧要的。

关于顺序

一块金属中的每一个原子本身就是一个小型的磁石，它能够指出所有方向：上、下、左、右，等等。所以，你可以把一块金属的内部想像成一队箭头。早在一个世纪以前，物理学家们就知道一块金属是否具有磁性与这支队伍的组织有关。一块金属也许在室温下被放在桌子上，也许在壁炉里被烤得吱吱作响。关键的问题是：所有这些箭头都指向哪里呢？

这些原子磁石会一个挨一个地排列起来，如果不受任何外力，它们会像一支训练有素的军队一样排列得井然有序。但是这些箭头有一个不断发难的敌人与之竞争：热。任何物体的温度都表明其内部含有无秩序的能量。在温暖的空气中，分子的飞行比在寒冷条件下更为猛烈。在固体金属中，原子并不飞来飞去，而是在固定的位置上不停地颤动，当金属遇热后，这种颤动就更为剧烈了。所以当金属原子之间的磁力努力将它们排列起来时，热量却不断地搅扰它们。在有序与混乱的力量之间展开了一场战争，战争的结果就决定了磁铁的外在表现。

如果在室温下将这块金属放在桌子上，原子磁石遇到的阻力是很小的，它们就可以排列成行。当然，每一个原子磁石的力量是极其微小的，但是即使在一小块金属中，原子的数量也会远远超过 10^{24} （也就是 1 000 000 000 000 000 000 000 000）。

这支军队协同作战会有相当的力量，这块金属足以吸住铁钉。另外，如果这块金属在壁炉中被加热发光，那么一场吱吱作响的猛烈风暴将摧毁有序的力量。如果抓拍一张快照，你会看到一支东倒西歪的军队。在这种情况下，所有小磁石的效应都抵消了，这块金属也就无法吸住铁钉了（图 8）。

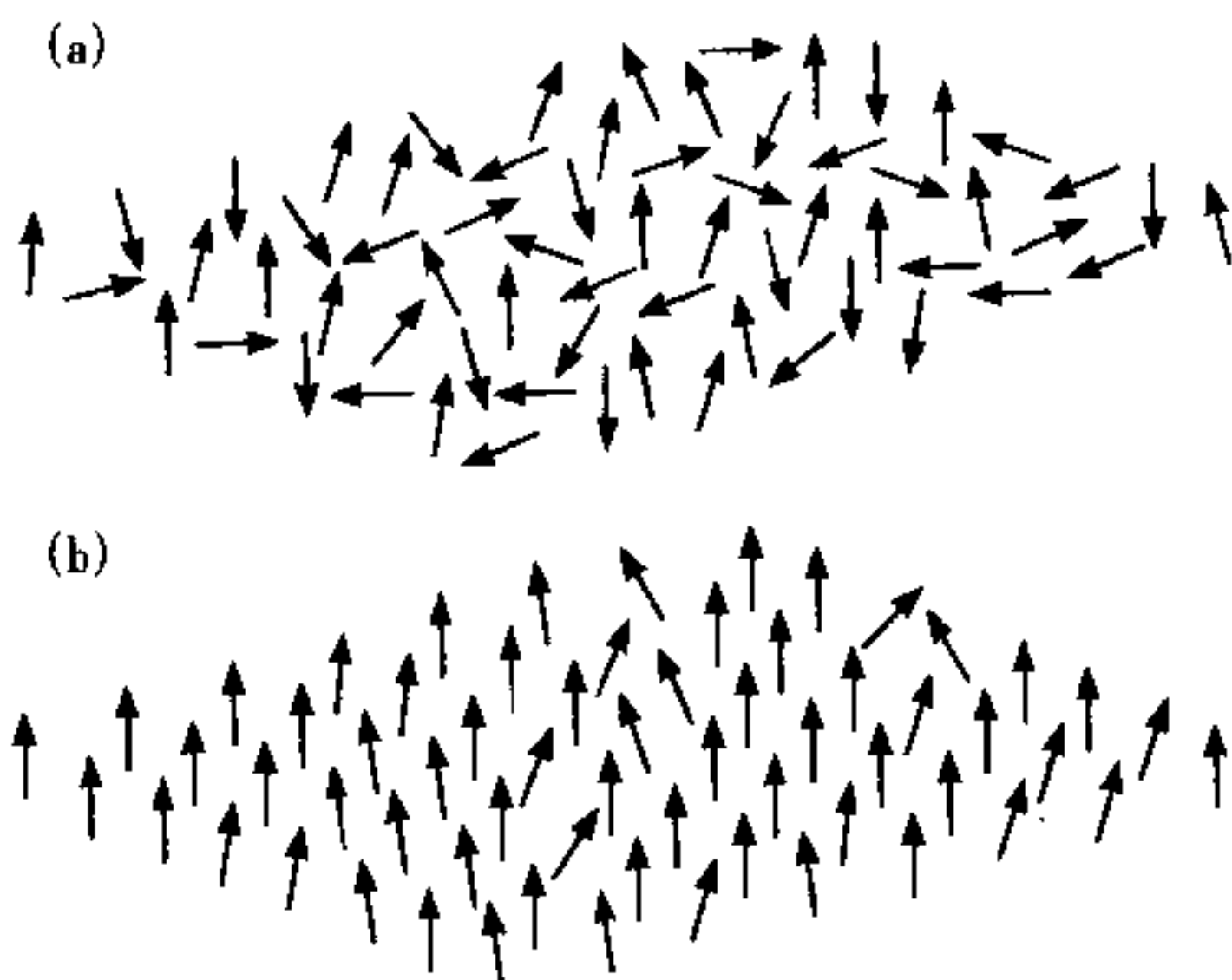


图 8 在高温下(a)，一块磁铁内部的金属磁石无法排列成行，恼人的热能推力太大了。但是，如果温度降到某一特定的关键值以下(b)，战斗就发生了转变：现在面对较弱的阻力，磁石可以组织起来，金属也就具有了磁性。

这只是被物理学家们称做阶段过渡的一个例子。当冰化作杜松子酒和滋补品时，或者当一块卵石蒸发并消散在空气中的时候，这些都属于阶段过渡：两者都是某种物质从一种形式或“阶段”过渡到另一种。在两种情况中，事物的内部运动都发

临

界

◇

生了变化，其原子或分子重新进行了组织。当卡皮萨的氦气突然从一般液体变为超液体时，他发现了另一种阶段过渡。

那么，对于磁铁来说，情况似乎更为简单了：遇冷时，有序的力量会胜出；遇热后，战斗发生了转变，混乱状态占了上风。但是，这还不是全部情况，因为它忽略了一个十分有趣的细节。在某个中间温度上，有序和混乱的力量一定会处于僵持状态。这个温度被称为临界点，金属的临界点是 770°C 。在这一温度时，箭头大军会怎样呢？某一物体既非井然有序，也不是混乱无章，而是处于两者敏感的边界上，这究竟是什么意思呢？这些问题的答案更难理解。事实上，在 20 世纪 40 年代，物理学家必须去沼泽地才能开始寻求问题的答案。

0 的故事

1941 年秋，德军正在占领包括芬兰、丹麦和挪威在内的西欧和北欧的大部分地区，挪威物理学家拉斯·盎萨格是一个幸运儿。当时，盎萨格远在美国，在他已经工作了将近十年的耶鲁大学中。也许他在努力从祖国面临的残酷现实中摆脱出来，也许他正受着无休止的好奇心的驱使。无论出于何种原因，盎萨格正在忙于解决人类面临的最复杂的运算的某些细节问题。

在每块金属中，热量的喧嚣使原子箭头无休止地一会儿朝向这边，一会儿朝向那边。既然一小块金属都会含有无数原子，要想极其详尽地预测每一个原子的运动显然是不可能的。幸运的是，盎萨格的目标要现实得多。假设你负责疏导 10 万个球迷进入一个体育场。你是不会密切关注其他任何个人找到座位的具体路线的。但是，你却想知道大致会有多少人会可能从北门进，从东门进，等等。盎萨格面对原子群也想得到与之类似的信息。忘掉这个或那个原子磁石。在临界点上，箭头的队列大体将会怎样呢？

体育馆的官员们无法计算出他们的答案：答案来自于残酷的经验。从理论上讲，盎萨格处于更为有力的地位，因为物理学家掌握有用的方法可以计算出这种平均值。被称做统计力学

的物理学分支就是关于由诸如原子或分子等大量物质组成的群落的大致行为的，其主要解决途径被称为吉伯斯公式，1902年因其发明者美国物理学家乔费阿·威勒德·吉伯斯而得名。该公式是一组与牛顿定律很相像的方程，只适用于平均值，而不适用于像行星一样的个体的运动，但是盎萨格发现，对于磁石来说，即使这条途径也帮不上他。既然每个原子磁石都会影响到整块金属中其他每个磁石的运动，那么遵循这一途径就意味着硬着头皮进入一片无法穿越的数学森林中。盎萨格一筹莫展。

然而，他决心在某样东西上运用这一途径，并采取了大胆的措施。现实太复杂了，所以，他决定将它简化一下。首先，盎萨格假定一块磁石中的所有箭头都被套在了一起，所以它们不会指向各处，而只是指向上或指向下。其次，他假定每个磁石不会对无数个其他磁石产生影响，而只会影响到其周围的几个。即便如此，还是难以运用这条途径。所以，盎萨格又从现实向前迈了一大步。和我们一样，每一块真实的磁石都存在于普通的三维空间之中。盎萨格把他设想出的磁石的生命进行了压缩，将其囚禁在一个二维空间中，在一片沼泽地中，这时磁石就像是一只挤在两片玻璃板之间的虫子一样。

为了使之形象化，你可以想像一组列在棋盘方格上的原子磁石，每个箭头都只能对其周围的4个箭头起作用。这个磁石的玩具模型无异于是对真实磁石的一种歪曲，然而盎萨格又继续着他的研究。工作依然很难开展。结果表明，统计力学的解决途径要求人们依次研究由向上和向下的箭头组成的每一个图形。即使一个一边有100块磁石的小棋盘，也有 $2^{10\,000}$ 个这种

图形，其数值相当于1后面加上几千个0。如果你要在纸上画出所有这些图形的话，那么不等画完你早就死了。即使你能够长生不老，一直画到不能动而所有的空间都塞满了纸片，你也只是万里长征迈出了第一步。

尽管如此，盎萨格还是在1940年冬天开始了计算，希望会有什么神奇的图形出现。他在多年之后回忆道，“这就是一种投资，你发现一个很好的目标，必然要争取到；在达到这一目标之前……又出现了另一个……目标一个接一个地出现，每个都令你爱不释手。”⁵ 尽管有太多的组合，但是盎萨格发现借助一些数学技巧，他可以将不同的图形归纳成几组，所以他可以一次就处理大量图形。

经过将近一年，盎萨格终于走完了这条途径。然而，令他沮丧的是，此时他发现他打开了一个数学保险箱，却发现里面还藏着另一个。他的二维磁石模型大致行为的数学解答形式还是无法清晰地描绘临界状态。又经过6年多的努力——这次是在一位有才华的年轻学生布鲁瑞亚·考夫曼的帮助下——他终于了解到一些箭头图形的更为有趣的性质。

假设在磁石群中的某块磁石X碰巧指向上。这对于离它有一定距离的另一块磁石有什么影响呢？用物理学术语来说，这是一个有关磁石之间“相关性”的问题，盎萨格和考夫曼在处于临界点上的磁石模型中发现了有趣的结果。如果磁石图形完全是随机的，那么任意两块磁石指向同一方向的机率就为50%（记住，箭头只能指向上或指向下）。而精确的计算显示出，两块磁石离得越近，它们就越有可能连在一起。

这听起来很有道理，也不太深奥。每当盎萨格和考夫曼把

两块磁石的距离扩大一倍时，它们指向同一个方向的可能性就减小大约 1.19 的一个因数。这个关系适用于在棋盘上相距 10 个、100 个或是 1 000 个格的两块磁石，也同样适用于相距 100 000 个或 1 亿个格的磁石。这是十分深奥的——因为这一结果的简明形式是一条能量法则。

派系的兴起

数字计算机被称做“自精确计时法发明以来科学方法上最重要的认识论上的进步。”⁶这是很有道理的。当然，盎萨格和考夫曼无法使用计算机，但我们却可以，它为我们提供了理解他们的能量法则的核心意思的最简单的方法。使用一台快捷的电脑，我们很容易就可以在一个坐标方格上设置 250 000 块原子磁石，并任其自由发展。主要思路就是在各种不同的温度下进行计算，并且将“向上”的磁石涂成白色，“向下”的涂成黑色，以此来显示最终图形。让我们来看一下几种典型结果吧（图 9）。⁷

前两张图片（a 和 b）对应临界温度以上或以下的磁石。与预想中的一样，在临界点之上，热能占上风，磁石排列一片混乱。每一块磁石都快速地任意上下翻转，这是真正的混乱场面，图片看上去就像是没有调好的电视机上出现的静电干扰。然而，在低于临界点的温度下，几乎所有的磁石都能够朝“向下”排列起来，在这个有序的环境中，我们几乎可以看到一片纯黑。⁸这一点没有什么令人奇怪的。

现在取第二张图片，把温度提高一点，使之接近临界点。局面变得更为有趣了：当大多数磁石还仍旧粘附在一起时，几队白色的异教徒开始入侵了。继续升温，这些队伍就不断壮大

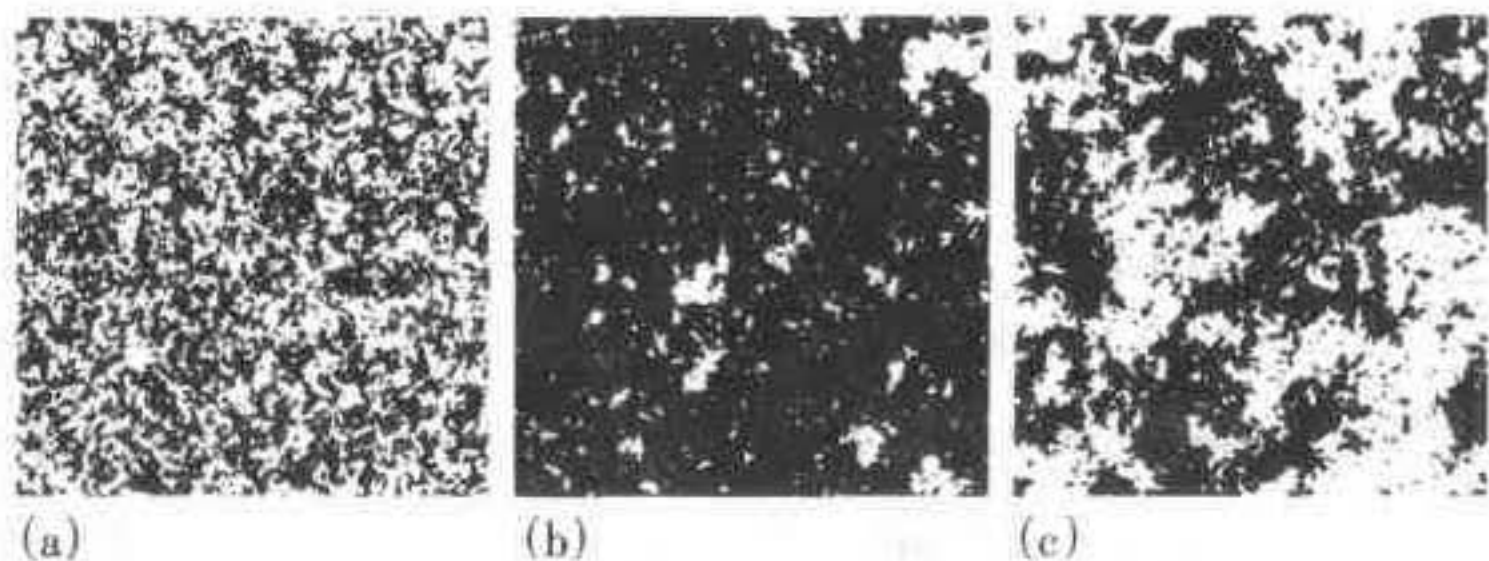


图9 在临界点以上(a),沼泽地一片混乱。原子磁石指向上(白色)和指向下(黑色)的比例相当,一块磁石的指向也不会对其周围的磁石产生任何影响。在临界点以下(b),一切井然有序,此时,几乎所有的磁石都一个接一个地排在了一起。临界点本身(c)是一个特殊的处于有序和混乱之间的交界,白色与黑色的磁石彼此交错,其所占比例也不断地变来变去。(摘自J·J·拜尼和其他人,《临界现象理论简介》,牛津大学出版社,1992年,经许复制。)

并且数量也不断增多。最后,当温度到达临界温度时(图9c),侵入的磁石所占的比重已经相当大,以至于人们可以不离开白色而穿越整个队列——或者,如果你愿意,不离开黑色也可以。这就是临界状态——磁石的状况完全处于磁性和非磁性之间。这张图片反映出了那条能量法则的涵义。

在临界点上,磁石的集结有大有小,从单个独立的到穿越整块磁石的大面积联结都有。如果我们加入更多的磁石,使整个图的面积有如美国版图一样大,那么情况还是一样的。这种集结既会有一小块,也会有从纽约到洛杉矶的一大片。我们在第3章和第4章中得知,每条能量法则的几何规律性都表明没有典型的规格,在不规则图形——临界点图像中,这一特点异常清晰。但是,一幅图片的确无法合理地描述临界状态的特点,因为它是一直不断变化的。

如果在不同的时间拍下快照，你就会看到磁石集结的联合不停地变来变去，一些解体了，而又有一些形成了。临界状态易于出现急剧的波动，总是倾向于发生突然而激烈的变化。“极端敏感”是一种保守而低调的说法。既然这支箭头大军处于两个阶段之间的悬崖之巅，总是要倒向某一边，即使最微小的影响也会把它推下悬崖。只要有一块磁石滑落了，就足以引起一场雪崩，使所有磁石都从一边转向另一边。

但是，等等——不要太激动。盎萨格是用一个连他自己都觉得荒唐可笑的模型开始研究的。我们所研究的电脑图片来自于对这个可笑的玩具的模拟：一块在沼泽中备受煎熬的磁石。如果我们让这幅图片更接近现实一些会怎么样呢？真正的磁铁会怎样？其他物质，比如说水，或者卡皮萨的氦气呢？要回答这些问题，我们需要看几个重要的数字。

深层理论

在盎萨格和考夫曼的能量法则的关系中出现的数字 1.19 是这一临界状态的数学标志。我们发现，在前几章能量法则的关系中，当规格不断变换时，都存在一个同样有规律的模式，而具体数字在每种情况中却不尽相同。把地震的规模扩大一倍，盖本伯格—理克特定律认为这级地震发生的可能性降为四分之一。把你要寻找的马铃薯碎块的体积扩大一倍，断裂的能量法则告诉你这种碎块的数量会降为六分之一。当然，每一个这种数字都对应着某种具有自我相似性的不规则结构关系。所以，为了更为详细地了解临界状态的性质，物理学家们不仅重视能量法则的形式，也很注意其中出现的具体数字。

因此，会有许多不同的临界状态存在，每种状态的临界数值都各不相同，⁹ 我们可以预想在不同物质的阶段过渡中会有不同的临界状态出现，这些物质既可以是实实在在的，也可以像盎萨格的磁石一样是想像出来的，既然盎萨格用可笑的玩具得出了数字 1.19，我们应该相信真正的磁铁会有另外一个数字——毕竟，盎萨格在制造他的模型时几乎完全忽略了事实。我们同样有理由认为，其他阶段过渡的临界状态中的数值是各不相同的。气体或液体原子之间的相互作用与两块小磁石之间的这种相互作用大相径庭。原子或分子到处乱飞，彼此相撞，

而磁石则原地不动只是改变着方向。对于超液体氦来说，量子世界的规则十分重要，发挥作用的力量也远非我们所熟知的力量。

所以，20世纪60年代，研究人员观察了许多物质，如氧、氮和一氧化碳等，从气体到液体的变化，当他们得出了完全相同的临界值时，不免大为困惑。当这些数值又出现在关于化学药品的混合和分离的阶段过渡中时，他们更是惊讶不已，这是一种与气体液化毫无相似之处的过程。最令人震惊的是，这些数值在查萨格研究的磁石模型三维版——一个极其粗糙的磁石模型，而且显然与化学药品的混合和液体的压缩毫不相干的计算中再次出现了。

到1965年时，物理学家们一直在关注一个让人几乎难以置信的可能性：不仅临界状态和集结现象出现在所有阶段过渡中，而且这种状态确切的数学性质几乎与所涉及的物质的细节毫不相干。这个观点一直都只是一种充满诱惑的模棱两可的可能，直到1970年，一位芝加哥大学的年轻物理学家才为之提供了更可靠的证据。如果说没有多少细节发挥了作用，利奥·卡达勒夫则设法研究了那几个真正起作用的细节。

在临界点上，随着集结不断扩大，会有大片组织随时在任何地方出现，它们不断涌现，之后又消失了。集结会增长到多大呢？它们又会多快解体呢？这些问题归根结底都是关于那个基本的几何问题：在一点上的有序影响要使邻近各点遵循相同的秩序到底有多难？这不是物理问题，而是一道几何题。在一块普通的三维磁石中，每块原子磁石都可以在三个不同的方向上对与之相邻的磁石施加影响。然而，在沼泽地中，可能如此

的方向已往不复存在了。

在研究不同阶段过渡的临界状态中出现的临界数字时，卡达勒夫发现，被考察事物所处的基本物理维度是起作用的因素之一。他还发现，似乎另外只有一个细节是发挥作用的，这就是个体元素的大致形状。比如，在氦气中，每个原子都像是一个小台球。它可以到处运动，却不能指向。在磁石中，原子像箭头一样，由于它们可以指向许多方向，也就可以“做”更多的事情。当个体元素有更大的选择性时，你可以想像得到，有序状态就更难从一处传到另一处了。毫无疑问，这一细节同样影响着临界状态中自我相似性的具体形式。

然而，令人难以置信的是，卡达勒夫发现其他因素似乎都没有发挥作用。¹⁰所以，抛开原子团和有关粒子发出的电荷吧，不必计较那些微粒是氧原子、氮原子、氦原子、镍原子还是铁原子。无需理会它们是单一原子，还是由几个甚至一百个原子组成的复杂分子。实际上，我们可以完全不管粒子的种类，以及它们之间的相互作用的是强是弱。这些细节对于临界状态的组织不会产生丝毫影响。物理学家们把这个大大的奇迹称为临界状态普遍性，它目前已得到了上千个实验和电脑模拟的证实。

在临界状态，有序和混乱力量势均力敌，没有哪一方是完全的赢家或输家。争斗的特点以及由此引发的不断变化的纷争也同样几乎与所研究的物质的所有细节都毫不相干。该物质的物理维度和其元素的基本形状——点、箭头等等——都起着作用。其他一概都无关紧要。

所以，让我们向抽象迈出小小的、但却很有收益的一步，

去设想一下由所有可以想像得出的物质构成的概念世界吧。这个世界将被自然地分成几个国家。这里会有“三维空间里像箭头似的事物”的国家，还会有“一维线上像点一样的东西”的国家，等等。物理学家把这些国家叫做“普遍性门类。”¹¹普遍性的奇迹是指属于同一等级的任何两种物质，无论是真实存在的，还是想像出来的，不管看起来差距有多大，一定会有完全相同的临界状态组织。

临 界

为了提到临界状态及其特性，我们将话题扯得远了点。现在，我们就要看一下它的最深层次，也是最深奥的涵义了。因为在临界状态普遍性上，自然送给科学家的那份礼物，令他们惊讶不已。

既然每个物理系统都属于某种普遍性门类，那么如果你理解了一个门类中任何一个系统的临界状态，你就马上理解了该门类的所有系统。但是应该注意：即使是像盎萨格的那种最粗糙的玩具模型也是属于这些普遍性门类的。所以要理解处于临界点上的任何真实的物理系统，你也可以把该系统所有真实的庞杂的细节统统忘掉，而只专注于属于同一普遍性门类的最简单的数学游戏。这个游戏可以不很精致，甚至可以极其粗糙。它可以违反物理定律、完全忽略真实系统的每一处细节，然而，你却可以放心，只要那两个关键条件是正确的，它就会与真实的物理事物具有完全相同的临界行为。即使最粗糙的模型的运动也会和真实物体完全相同。¹²

这又使我们回到了对地震游戏提出的那些异议中。我们在第5章中见到的木块和弹簧模型与真实的地壳并没有什么关系。就连一块真正的岩石的性质也没有在模型中体现出来，这个模型也没有尊重在现实世界中地震是发生在断层体系中，而

不是单一的断层上这一事实。再问一遍我们当时问过的问题：对真实物理状况的有意减化怎能得出对于真实地震的有价值的见解呢？如果说这一玩具模型得出了盖本伯格—里克特定律，那会不会是无意的巧合呢？

现在，我们得出了一个更深奥的观点。对于处于临界状态下的事物来说，只要我们保留几个真正重要的细节，完全可以忽略几乎所有细节，而理解其主要组织。鉴于盖本伯格—里克特能量法则以及地震在时间上的自我相似聚集性，地壳看起来是处于在时间和空间上都没有固有的典型规模的临界状态中。这一点就反驳了缺少细节这一异议。地壳的主要运动的确可能利用极为粗糙的模型得到理解，比如布瑞芝和科泊夫の木块和弹簧模型，或是由巴克和唐以及由奥拉米、弗德和克里斯廷森发明的现代版本。¹³

所以，我们已经达到了一种也许可以被称为临界思考的态度。处于临界状态下的事物倾向于表现出相似的组织，这种组织不存在于那些系统的具体细节和组成要素中，而是从这些细节背后基本几何和逻辑的极为深刻的框架中产生的。无论什么事物都会产生临界形式。所以当某一事物被认为处于一种临界状态之中时，我们就可以不必考虑大多数细节而理解其主要特性了。

我们很快就会看到，许多其他事物，例如经济、生态群落，甚至科学自身的运动，也都具有这种组织的特性。把阶段过渡放到一边，转向这些系统，我们可以预见，既然临界状态只有几种，并且界限分明，那么世界上存在的组织种类其实十分有限。表面看来大相径庭的事物也许在组织形式上极其相似。

注释：

1. J·罗伯特·奥本海默，《开明》（西蒙和斯库斯特，1955年）。

2. 荷马·阿德金斯，《自然》，1984年。

3. 摘自阿兰·麦凯，《科学引文字典》（IOP出版社，布里斯托，1991年）。

4. 这并不是关于黏性效应的一个完全合适的表述，因为它未必总会使物质运动速度减慢。汤具有黏性，这样的话，如果你转动一只汤碗，里面的汤也会马上随之旋转。如果你用超液体汤做同样的实验，液体会保持不动。几年以前，加利福尼亚大学巴克雷分校的物理学家理查德·帕克德和他的同事们在这一个完美的实验中验证了这一效果。他们把超液体倒入一个环形管中，这个环形管就像是一个被弄弯的、首尾相连的小食槽一样。之后，他们把这个环状物放到实验室的一张长椅上，它每天也会像地球一样旋转一周。因为超液体要保持原地不动，它就只得绕环流动。通过测量超液体的流动，帕克德小组就可以把地球的自转速度精确到千分之几。

5. 摘自塞瑞尔·杜博，《临界点》，第130页（泰勒和弗朗西斯，1996年）。

6. 丹尼尔·迪奈特，《达尔文的危险观点》，第174页（企鹅丛书，1995年）。

7. 图片摘自 J.J. 拜尼和其他人，《临界现象理论简介》（牛津大学出版社，1992年）。

8. 磁石指向哪个方向完全是偶然的。在一千次模拟操作中，磁石将大约有 500 次向上，500 次向下。磁石并不倾向于

朝向哪个方向。它们的最终指向取决于其随意初始状态的偶然性细节。这种状态被物理学家们称为自发对称分界。即便最初的问题是对称的，表现为向上和向下的磁石是平均的，在任意一个特殊点上，这种均势可能会被打破。

9. 为了使事情尽可能简化，我将不用通常的物理术语来表述。物理学家们并不谈论“临界数字”，而是谈论“临界指数”。两者的关系很简单。盖本伯格—理克特能量法则认为，释放能量 E 的地震次数与 E^2 成反比。所以，把地震的能量扩大一倍，其发生机率就降为四分之一。在整本书中，我都在用“4”这样的数字来确定这个或那个能量法则的简明本质。把要研究的事物的规模扩大一倍，它的不发生机率会变成多大呢？这就是我的临界数字。另一方面，临界指数指的是在盖本伯格—理克特定律中 E 上角出现的指数（冥）“2”。因此，这两个数字的关系是：临界数字等于 2 的临界指数次方，或 2（临界指数）。也许这看起来有点奇怪；我已经避免使用 1.5、1.31 至 1.6 等非整数来作为底数了，因为那会把一些人弄糊涂的。在每一情况下，使用什么数字来作为一个能量法则的底数并没有什么特别的。重要的是，存在不同的能量法则，然而所有的能量法则都具有一样特殊的自我相似性。

10. 别的几乎没有什么。在物理中，总是有一个特例。发挥作用的另一点是粒子之间的作用范围。如果相隔很远的粒子也可以相互作用的话，那么这可以把该系统从一个普遍性等级推到另一等级。

11. 20 世纪 70 年代，一个被称做“重整组”的理论最终从数学上证明了这一点，它的首创人是康泰尔大学的科奈斯·

威尔森，他也因此最终得了诺贝尔奖。人们也许会说“重整组”证实了普遍性原则。

12. 例如，1995年，苏黎士爱德诺西克工学院的物理学家们制成了一块很薄的磁石。他们把铁原子平铺成一层，之后又上面任意撒下一些铁原子，又在几处设置了第三层。结果就产生了一个粗简的盎萨格的沼泽式磁铁。这个磁铁层既不是完全的二维，也不是一种完全规则的方格式。此外还有其他一些区别。因为铁是一种金属，所以量子理论的法则表明，事实上，铁原子磁石并不是局限于某处的，相反，每一块都会以完全奇异的方式在一个很大的领域内“扩展开来”。而且，在模型中相邻的原子之间的作用是完全相同的，而在不规则的铁层中这些作用却稍有不同。尽管如此，这个粗糙的薄铁块的临界指数却和盎萨格的模型中的临界指数完全一致。维度和次序规范的维度也是一样的，这就足够了。C·H·白克和其他人，《二维阶段过的普遍性的实验证明》，《自然》，1995年。

13. 一个警告，我们在本章中见到的临界状态出现在处于两个不同阶段之间的平衡系统中。对于平衡系统，物理学家们可以用他们的通用途径来算出系统在任一温度下应如何运动，普遍性原则也以科尼斯·威尔森的重整组观点形式遵循它。对于非均衡的系统，人们还没有发现一条可以算出其平均状态运动和波动振幅的方法。结果，至今——还没有关于非均衡系统的普遍性的一般定理。然而，物理学家们发现他们研究的许多简单的非均衡模型的确属于普遍性等级。所以，某种普遍性也是适用于非均衡系统的。

关于临界的思考

科学思维的目的是在具体中见
抽象，在瞬间中见永恒。

——艾尔弗雷德·诺斯·威特罕德¹

模型的目的是为了反映资
料，而是为了使问题尖锐化。

——塞缪尔·卡林²



1942年12月2日下午早些时候，一些物理学家排成单行走进了芝加哥大学足球场下面的网球场。这次他们所做的是一个具有历史意义的实验。在一个用球场改建的临时实验室里，这个小组建造了世界上第一个核反应堆。他们在一块巨大的花岗岩上钻了一些洞，在洞中插入了一些改良铀的长棒。该项目的总策划安利克·弗米六年前发现，当铀的原子核被一个中子击中时，会分裂开来并释放出其内部的中子。这些中子通过撞击其他铀核子，在理论上可以再引起进一步裂变和核子内部中子的大量释放——一个自我维系的原子核反应。

至少，这在理论上是行得通的。这一理论同时表明，除非人们很小心，要不然反应堆会自发启动的。毕竟，即使没有刺激，铀原子核也经常会分裂，放射出中子。当条件合适时，甚至仅一个这样的中子就会引发一长串反应。为了避免反应堆在他准备好之前就开始运作，弗米在铀燃料棒之间插入了镉质的“控制棒”，它们通过搜集吸收中子和确保由单个中子触发的大规模释放能马上停止，来控制反应堆。但在今天弗米准备去掉控制，看一看到底将会发生什么。

刚过下午3点，当弗米抓住绳子的拉环，开始慢慢把镉棒拉出反应堆时，每个人都异常激动。物理学家尤金·威纳端着一瓶用来庆祝的意大利基昂蒂红葡萄酒，异常紧张又满怀希望。

当镉棒被一寸一寸提出时，一台盖格计算器开始记录反应堆偶尔发出的喀哒声，再拉出一点，那声音就变成机械枪发出的嘎嘎声了。弗米已事先用他的滑尺计算出在反应堆迅速转变

成一个巨大的链式反应前，他可以把镉棒拉出多长，下午3:36，当镉棒被拉到那一位置时，盖格计算器已经转疯了。弗米不再拉动镉棒，他把反应堆调控在临界点的微小范围内，这时一个单个中子就可以引发任何规模的大量释放。

这一事件隐含的信息就是没有什么可以自发达到临界状态，调控是至关重要的。无论是在核反应堆中还是在磁场中，创造临界状态使每一微小事件足以引发大规模持久巨变，要花费很大气力。把一块旧铁块投入壁炉中，它在升温的过程中会越过临界状态。但是要使其温度保持在 770°C ，就得仔细调控了，有一二度的差异，铁块就会错过临界点。这就是为什么1987年巴克、唐和威森菲尔德对他们简单的砂堆游戏能够自发处于临界状态，感到困惑、疑虑和震惊。他们的电脑缓慢而又随意地在一个平面上投下砂粒。砂堆不断增大、变质，之后发生了雪崩，开始只是涉及到几粒砂子，随着砂堆的增大，雪崩的典型规模也随之增大。最终，正如弗米适当调控的反应堆一样，砂堆达到临界，可能爆发任何规模的雪崩。但是巴克、唐和威森菲尔德并没有设置任何按钮来控制这一程序，临界组织自身发挥了效力。

每当他们发现一个奇迹总要给它命名，这次他们把它称做“自我临界状态”。物理学家在历史上第一次发现了一个完全不需要控制而可完美地自发组织到临界状态的事物。而且，这种组织还富有弹性。你可以伸出手来，去除一半砂堆，绝对没有问题。只要不断有砂粒落下来，它自己还会进入临界状态。你不要以为可以在砂堆中找到一块处于临界状态的磁石。对于磁石来说，这一状态是相当特殊的。但是如果一种临界状态可以

自发产生的话，就不难设想砂堆并不是自然界中惟一具有这一显著特性的事物。

伊萨克·牛顿发现了行星运动定律，结果，这些定律同样适用于彗星、雨滴、下落的苹果、卫星、直至流体和飞机以及地球上和地球以外存在的几乎一切事物。在解释受热物体发射出的光的颜色时，马克斯·普兰克发现了量子理论的基础，他的这一发现很快就扩展到物理学的每一个角落。一个重大发现问世以后，科学家会突然看到他们以前从未看到的世界。

◇ 我们已经知道，自发临界状态是地壳进行无规律又不可预测的运动的原因，地壳仿佛就处于一种临界状态之中。缓慢而又不可逆转的大陆板块漂移运动就像砂粒的下落一样，它使得地壳进入一种会发生任何规模“雪崩”的状态——在这种情况下，涉及的是在断层上相对滑动的岩石。世界上还存着与砂堆游戏同样复杂、并具有同一主要逻辑的其他事物吗？十几年来，这个问题一直笼罩着一层“争论不休的紧张气氛。”³ 物理学家还没有弄清全部答案，但是他们的发现既有趣又微妙。

适当燃烧

要弄清楚 1988 年黄石国家公园的森林大火为什么如此可怕并不容易。大火蔓延的原因、方式和地点取决于沿途树木的种类、密度以及树林与草地交织的具体结构。风力驱动大火蔓延，而雨又减缓了这一速度。这片森林详细的历史也与之有关，某些地区的树木要比其他地区老得多，这影响到它烧起来是否容易；河流之类的自然障碍，也可以缓解大火的进程；同时，大火又能把其灰烬吹到河的对岸，在前方一公里以外的地方燃起新的火种。

鉴于以上种种影响，难怪科学家们在预测森林大火上取得的成功与在地震预测方面不相上下。如果说美国林业局在黄石公园束手无策的话，这也许就是因为他们有太多的问题需要考虑了。同样，也许还有更进一步的原因。1998 年，科尔奈尔大学的地质学家布鲁斯·马拉穆德、戈莫·摩雷恩和唐纳德·特科特收集了关于上个世纪美国和澳大利亚发生的森林火灾的大量资料。一场典型的森林火灾到底有多大呢？

也许人们认为火灾的历史会表明，自然的破坏力和人类的保护努力大致处于一种僵局。为了证实这一点，马拉穆德和他的同事绘制了一个简单的图形来表明吞噬 1 平方公里、10 平方公里等等的火灾的发生频率。令人惊讶的是，他们并没有发现火灾典型规模存在的任何迹象。相反，他们掌握的关于



1986年至1995年间发生在美国鱼类和野生动物局所辖地区的4284场火灾资料显示出一个相当明确的能量法则。我们又一次发现了同样的几何关系：把火灾吞噬的面积扩大一倍，其不发生的机率就大约增至2.48倍，这一关系适用于所有规模为一百万的因子之一的火灾。换句话说，尽管大火的蔓延情况十分复杂，但当你观察不同规模火灾的发生频率时，却可以发现一个极其简单的关系——一个适用于生态大火的盖本伯格—里克特定律。

◇ 我们应该记得具有规格恒定性的能量法则表明大事件只是较小事件放大后的版本，两者的起源是相同的。特大地震并不是由特殊情况引发的，而只是地壳整个临界组织的大规模链式反应，是一种自然状态下的敏感反应，也许是不太常见的结果。科尔奇尔的研究人员发现这一点不仅在美国、澳大利亚，而且很可能在世界上其他地方，对于森林火灾都是如此的。当火灾发生时，“它并不知道会发展成什么规模。”大火会极其自然地蔓延，因为每一片森林都是一种临界状态的组织，所以一场具体火灾的发展规模在很大程度上是随机的。

能量法则本身只是一种资料，它也许暗示出大地震与小地震在成因上并没有区别，但是一个怀疑论者也许还是会对此感到奇怪。为了进一步理解能量法则是如何产生的，马拉穆德和他的同事又向前迈出了一步。在上一章中，我们设立了一个普遍原则，表明如果一个事物处于临界状态的话，那么制造一个工作原理与之完全相同的模型就并不困难。只要你掌握了运动一点一点发展这一过程的核心逻辑，你就可以抛开所有细节了。那么，对森林火灾来说，关键是什么呢？

目前就大火的蔓延而言，科尔奇尔研究人员归结出三条原则。首先，森林是由树构成的，如果不受什么影响，一定时间后，树的数量会有所增加。其次，某一地区的某棵树偶而会着火。再次，这场火会殃及附近的其他树。对于林业工作者来说，这一概要描述是对森林的一种荒唐可笑的过分简化。然而，马拉穆德和他的同事把这些原则引入了一个数学游戏，并用计算机来对游戏进行操作。

像砂堆游戏一样，森林火灾游戏是在一个坐标方格上进行的，每隔一定时间，电脑就在任意方格内种上一棵树。随着时间的推移，在整个森林不断有树任意长出，树的数量便不断增加。然而，当已经种出一定数量的树后，电脑就频繁地往任意一个方格内投下一根火柴。因此，我们让树按一个统一的频率冒出来，每一步长出一棵，并让火柴按一个较小的频率落入方格——比如说，每 200 棵或 400 棵树落一根火柴。当火柴落下后，如果落在一个没有树的方格内，它就毫无作用。如果它落在一棵树上，树就着火了。这个游戏的最后一条规则是，一旦一棵树着了火，它会在下一时间内引燃周围四个方格内的所有树。这就是整个游戏：随意长出树，使单棵树偶而着火，又让火蔓延开，如果它能办到的话。

这个模型不包含任何诸如河流或公路之类的火的障碍物。森林中不长树的空隙星罗棋布，它们就是天然的屏障。这个模型还将所有树都强行规定为一种类型。所有树的着火机率是一样的，而且一旦着火，燃烧速度也是一样的。该游戏忽视了消防队员的作用和天气的影响。由于遵照着普遍观念，游戏的操作仍然无懈可击地符合实际森林火灾的资料。马拉穆德和同事

们进行了几次模拟操作，每次操作都记下了坐标方格中某一特定地区被火烧毁的次数。像在实际森林一样，小火灾比大火灾要多。但是尽管该模型在质量上很难让人赞赏，它仍然得出了一个近乎完美的能量法则。⁴ 坐标方格的树木网仿佛能够很自然地自发调节到一种临界状态，这时，下一根火柴可以引燃一场任何规模的火灾，甚至是焚毁整个森林的大火。

◇ 鉴于这个简单游戏的惊人的一致性，马拉穆德和他的同事得出了这样的结论：地壳不是惟一能够自发处于临界状态的事物——森林也是如此，至少如果任其自便的话。这一限制条件是完全必要的。因为这个游戏还提供了另外一个有趣的细节，这甚至可以帮助美国林业局减少今后大规模灾难性火灾的次数。

超临界

黄石公园 1988 年的大火烧毁了 150 万英亩的林地。当然在临界状态下，我们没有理由去寻找重大事件发生的特殊原因。临界组织的存在本身就意味着森林就像弗米的临界反应堆一样悬在灾难的边缘，无论怎样，骇人的火灾总是会偶尔发生的。但是现在，黄石公园和其他美国公园的森林状况甚至更糟。如果弗米不停止抽出他的控制棒，反应堆会陷入一场灾难性的失控反应，每一个中子都会触发一场雪崩式的中子释放，继而增加更多的中子。那天，也就不会有人用威纳的基昂蒂红葡萄酒庆祝了。不幸的是，上一世纪美国森林的管理政策相当于在生态领域一次性拔出了控制棒，结果，目前森林虽然还没有处于灾难的边缘，但已在它几乎确定无疑的道路上前进了。这个游戏显示出其原因。

我们应该还记得，计算机很频繁地投下火柴。马拉穆德和他的同事可以控制这一频率。有时，他们让电脑每种上 100 棵树后就投下一根火柴，有时，种了 2 000 棵树后，他们才投下一根。按第一种速度，火柴下落很频繁，引起了许多火灾。按第二种速度，下落的火柴相当稀少，因而火灾发生也没那么频繁，在这第二种情况中发生的事情很有启发性：既然没有太多火灾，树的密度趋向于增大，因为没有什么来破坏它们。实际上，当相对于一根火柴要种下 2 000 棵树时，在看到一场火灾

冒出火星之前，这个游戏就一直是向坐标方格里添充树木。当终于看到火星时，其结果是毁灭性而又不可避免的——仅一棵树着起火，也会殃及整个森林。换句话说，当火灾的初始频率很低时，这个游戏就已显示出发生毁灭性灾难的明显倾向。

马拉穆德和他的同事们把这个游戏称为“黄石效应”，它解释了为什么美国土地管理局承认，尽管他们已经花了大力气控制自燃性火灾，近几年来野火却变得更频繁更凶猛，也更难以控制了。

1890年以来，美国林业局的态度已变为“无法宽恕”，即便是对于由自然原因引起的森林火灾，林业局也竭尽全力地扑灭每一场火灾。这是在森林火灾游戏中不太频繁地投下火柴，这一做法的现实版本是它看来也导致了类似的结果。

这个过程的一个意料之外的结果就是森林开始老化。⁵ 老树没有被新树所取代，森林物种的自然进化被改变了。枯死的树木、草和小枝、柴枝、树皮和树叶不断累积，结果，森林脱离了自发临界状态。问题在于火灾是保持森林处于那一状态的自然力中不可或缺的一部分，因此，由于压制火灾，森林就趋近了一种更为不稳定的状态，一种超临界状态，到处都是大密度的可燃物质。正如一位作家评述的一样，“自然母亲已经把——一个相当于世界末日的装置藏匿于森林中。”被严加保护的树林已经建立起一个由倒下的和站立的死树、枯枝、可燃的下层灌木和草构成的巨大的燃料库……只要一道闪电或是一个烟头就足以引发大量火灾。⁶

现在，美国联邦野外火灾政策局通过以往的实践已经认识到美国森林的困难状况：灾难性的野火正威胁着数百万公顷的

野地，当燃料库超过历史条件时，很可能会发生严重的永久的生态变质。⁷

结果，森林管理局不再试图控制那些较小的和中级火灾。事实上，他们现在甚至在有计划、有管理地放火，以使燃料不得储备齐全。中级火灾除去了森林中一部分危险的死木。用森林火灾游戏作比，他们降低了火传播路线上的树木密度，因此使得小麻烦不易于引发大灾难。

美国联邦野地火灾政策局得出这样的结论：“作为一种临界界的自然程序，野火必须被重新引入生态系统。”这话相当中肯——政府本身也许还没有认识到。大概要花几年时间才能作出合理的调整，甚至到那时大火还会相当频繁地发生——这在临界状态中是不可避免的。但至少，超级大火不会像在超临界状态下那么易于发生了。

森林火灾模型与普遍观念一道揭示出，大火如何蔓延的根本事实与所涉及事物的具体细节毫无关系。森林就是自发临界状态的绝好例子。在临界状态中有决定意义的不是复杂的细节，而是控制影响和如何传播的几何学的简单基本特性。

相对临界

早在 20 世纪，各界思想家就把阿尔伯特·爱因斯坦的相对论作为依据，认为一切事物的真实性从根本上都取决于观察角度。具有讽刺意味的是，爱因斯坦的理论给他本人提供的却是完全相反的信息，相对论是建立在永恒的概念之上的，换言之，其前提是即使人的视角有所改变，其对事物的深层判断仍保持不变。自发临界性观点具有相同的精髓，这也是它的力量所在：对事物运动的解释它能够以一概全，而不考虑分子、树木或构成这些事物的部分之间毫无头绪的大量细节。

在美国西北部地区，有 300 多种不同的蝗虫破坏着植被。地面上没有什么生物比蝗虫更能破坏植被了。例如，在比较典型的一年里，这些蝗虫大约吃掉了百分之二十的叶类植物，因而给草原生态带来了巨大的影响。在通常情况下，这是有益的，因为它们的觅食有助于循环土壤养分和保持植物群落的稳定性；然而有时，它们的数量会完全失控。1983 年和 1984 年，在怀俄明的黑山地区，蝗虫的数量猛增，所有草地差不多都被蝗虫覆盖了。一个多世纪以来，当局一直努力预防和控制类似事件在美国西部的发生，因为牧场主们还要依靠这些草地来放牧家畜。然而，要搞清楚重大事件的发生原因绝非易事。生态学家估计共有 200 多个因素决定了每年蝗虫的数量各不相同，其中包括季节性湿度和降雨的具体分布，以及无数蝗虫的天敌

和寄生虫的数量。

然而，1994年生态学家戴尔和杰弗里·洛克伍德（也是兄弟）开始对虫灾发生进行更严密的数学研究，他们的发现也许不会让你感到惊讶。在半个多世纪的时间里，美国农业部在艾达荷、蒙大拿和怀俄明的不同地区整理出一份年度资料显示出，蝗虫数量超过被称为“可承载能力”的一定界限的全部土地面积。大致说来，如果蝗虫的数量超过这个值（大约每平方米八只），它们仅一年的活动就足以给当地植被群落留下永久的伤痕。在这一标准上被覆盖的地区可以成为测量蝗虫侵扰面积的一个很好的尺度。通过观察几个地区虫害发生记录的统计，研究人员发现，受灾地区的分布符合一条能量法则。如果说小规模虫灾比较普遍的话，大规模虫灾则不然。然而，重要的一点是，就原因而言，二者没有实质性区别。这条能量法则说明，在某一情况下触发小规模虫灾的看似微不足道的原因，在另一情况下可能会引发破坏性极强的虫灾，因此在虫灾起始阶段对当地情况进行分析不会对评估其最终规模有任何帮助。⁸

这给虫害管理提供的教训与在林业方面十分相像。一方面，它表明即使生态学家可以完全控制那20 000个因素，他们也无法在虫灾预测方面取得任何进展。大规模虫灾的发生也许是不可避免的，这只是因为有机体和自然影响之间相互作用的密林处于一种类似于全临界的状态，悬于骤变的边缘。因此，试图预测下一次虫害的发生可能是毫无意义的。另一方面，以前抑制虫灾的努力也许是一种误导，因为这种抑制也许只是增加了大规模虫灾爆发的可能性。

类似的结构还存在于其他事物中。1996年，两名牛津大



学的研究人员罗伊·安德森和克恩斯·罗蒂斯研究了 1912 年至 1969 年间，在沙罗群岛上与世隔绝的人群中流行的天花。该群岛位于北大西洋的冰岛和挪威之间。他们发现，不同规模（传染人数）流行性天花的分布就像地震或森林火灾的分布一样，遵循着一条美妙的能量法则。用森林火灾模型进行模拟操作——用树来代表人，火代表传染——可以对观察作出令人满意的解释。⁹ 没有什么比这更能说明细节通常是无关紧要的了。人们发明这个模型，旨在解释大火如何在森林中蔓延，它不仅圆满地完成了这一使命，而且还捕捉到了疾病在人群中传播的精髓。即使树换成了人，火变成了一种疾病，令人不快的事物还是按完全一样的方式传播。

临界状态也许还可以解释宇宙中更离奇的事物的运动。被称为脉冲星的一种星星完全是由中子构成的。它们的密度非常之大——仅一茶勺的物质就比最大的摩天大楼还要重得多。脉冲星还是太空中的灯塔——每颗星在旋转时都会反射出一束光，摇曳在天空中。每当光束照过地球时，在地球上对其进行观测的宇航员，都能看到脉冲波。然而，一颗脉冲星的脉冲频率经常会突然跃升一级，仿佛它突然开始加速转动了似的。这种突增被称为脉冲星假电子讯号。

有些假电子讯号比其他一些更猛烈。也就是说，它们体现了转动速率上更大的突增。1993 年，得克萨斯大学奥斯汀分校的两位物理学家研究了一份有二十年记录的资料，发现假电子讯号的分布遵循着一条完善的、规模恒定的能量法则，而且较弱的假电子讯号比较强的讯号更普遍。¹⁰ 这是什么原因呢？他们认为，既然构成脉冲星的纯的核物质密度很大，星的表面

一定处于巨大的重力之下。实际上，重力一直在努力把这颗星压缩成更小的体积。你可以把这种力量看做大陆运动给断层施加的力。就像地壳抵制下滑运动一样，脉冲星的物质通常也会抵制这种挤压，但它们偶尔也会屈服。

在这样的“星震”里，中子自发组织成一个体积更小、密度更大的球体，因而就像冰舞者收紧双臂后会旋转得更快一样，这颗星也开始加速旋转。如果这一想法是正确的，那么脉冲星假电子讯号的能量法则仅仅表明，针对地震的盖本伯格—里克特定律适用于脉冲星之类的事物。

20世纪90年代，物理学家发现自发临界状态的特征存在于一张普通的团皱的纸、磁场通过超导体的运动、太阳风暴的偶尔爆发，甚至在交通阻塞之中。这些例子可以很容易扩展。无论一个事物是由什么物质组成的，无论要用什么物理因素对其进行描述，临界状态似乎总会存在。在某种程度上，临界状态的组织比物理更为基本。它位于物理之后，成为世界上许多事物的运动核心。

稻谷：一种更好的砂子

但它还不能囊括整个世界，一盆凉水一定不会处于临界状态，一块磁石或者在通常情况下的其他任何东西也同样不会。当然，巴克、唐和威森菲尔德从没说过万物都处于临界状态。他们希望可以用自发临界状态来描述许多事物，尤其是那些处于非均衡状态下的事物。一盆处于静止状态下的凉水是平衡的；相反，不断有砂子从天而降，砂堆就无法达到平衡。同样，地球内部的热能驱使大陆块不停地在表层漂移，使地壳无法达到平衡。

即使抛开平衡，也很容易找到没有临界概念的东西。从下面给一些水加热，如果加热很猛烈，水会突然开始运动，但是这种运动既不是无规则的又不是无法预测的，它更不会反应任何能量法则。像 1900 年法国物理学家亨利·贝纳德一样仔细地进行这一实验，你会看到一个完全六边形蜂房状排列的形成（图 10）。在每一个小单元内水会从中心涌起，从边缘落下。如果说有些事物可以自发组织成临界状态的话，那么即使抛开平衡来看，也不是全部事物都是如此。

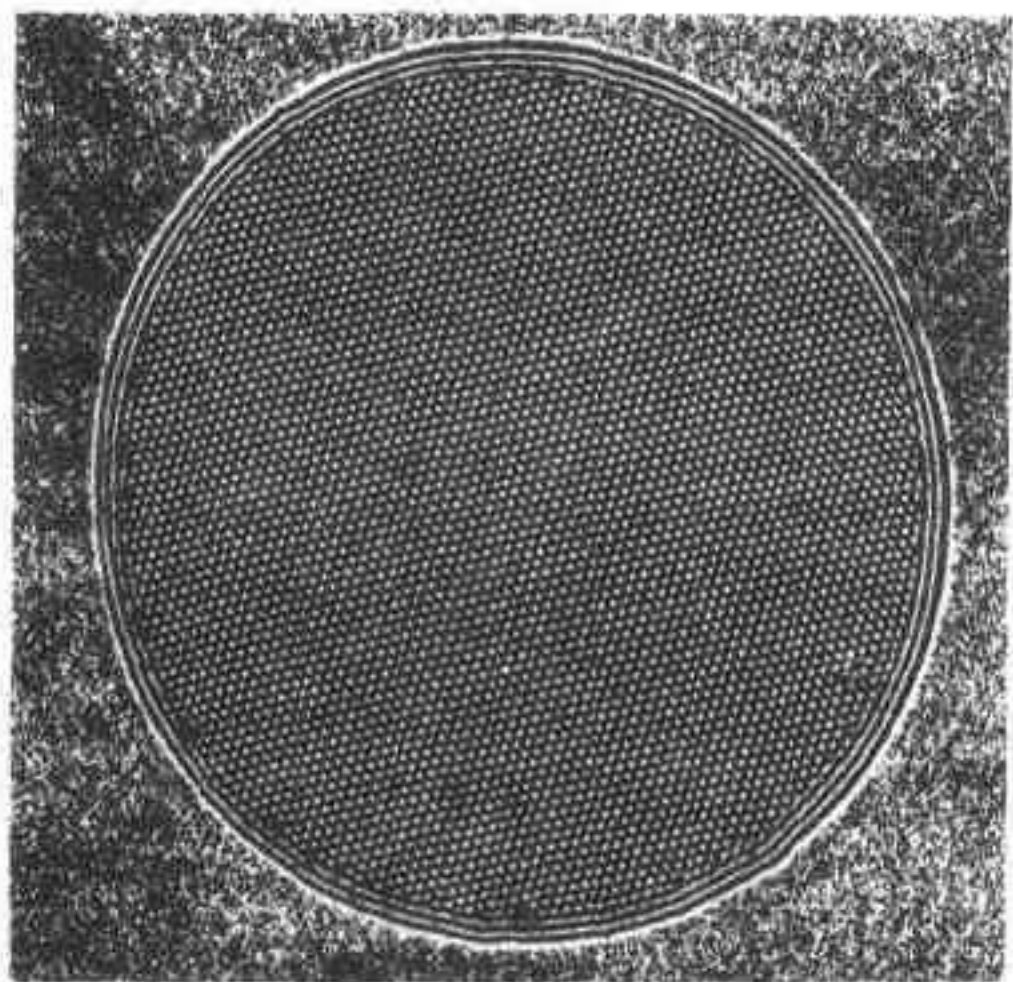


图 10 雷音—贝纳德实验中的六边形排列结构，如上图所示，液体在阴影处落下，在亮处涌起。（科尔奈尔大学伊伯哈德·伯顿斯卡兹供图，特此致谢。）

那么，什么是自发临界状态呢？它在什么时候发生，什么时候不会发生呢？我们应该还记得，巴克、唐和威森菲尔德研究了一个电脑砂堆模型——我们一直叫它砂堆游戏，而不是一个真正的砂堆。20 世纪 90 年代初，物理学家们通过周密的实验发现了一个初看起来很令人失望的现象：在真正的名副其实的砂堆中的，雪崩并不完全遵循一条真正的能量法则。结果显示，真正的砂堆运动不像砂堆游戏，倒更像森林火灾游戏：它们对于异常大规模的雪崩有一种内在的倾向。所以，如果自发临界状态确实适用于脉冲星、地壳、流行病，以及大多数森林火灾的发生方式，那么具有讽刺意味的是，它却不适用于其最初产生的环境：砂堆。巴克和同事们的电脑砂堆游戏也许的确

可以组织某种临界状态，但真正的砂堆却不然。

这一具有讽刺意味的意外发现第一次暗示了我们自发临界状态究竟如何以及何时发挥作用。1995年，伦敦的帝国学院的肯·克里斯廷森发现尽管砂堆游戏并不能描述真正砂堆的增长，但它确实描述着真正颗粒堆的增长——只是这种颗粒需要是米粒，而不是砂粒。克里斯廷森和他的同事很认真地做了一个实验，他们在两片直立的普列克斯玻璃之间的空隙中一次投下一颗米粒，结果发现雪崩的分布遵循着一个近乎完美的能量法则。¹¹

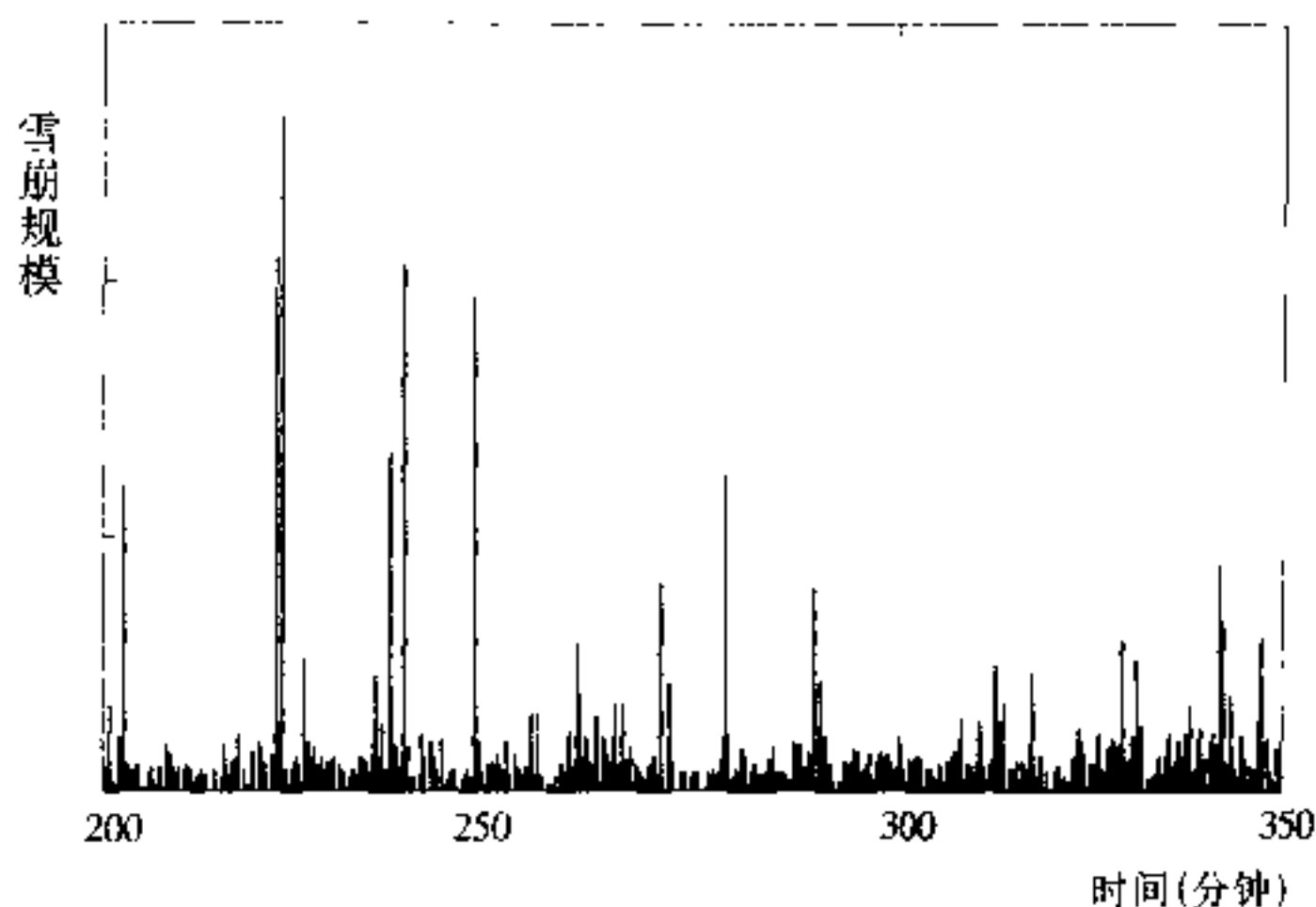


图 11 米堆实验中零星的、不可预测的雪崩记录。每一根长钉的高度表明由一颗米粒引发的雪崩的“规模”。更确切地说，相对于所有参与那场雪崩的米粒所丧失的高度来说，每一根长钉都要高一些，因此它不仅可以反应下滑米粒的数量，还可以反应其下滑幅度。（图摘自 V. 弗莱特及其他人，《米堆中的雪崩动力学》《自然》，1996 年，经许复制。）

他们也能够把处于临界状态下的事物发出的奇异又有规律的循环运动用实验方法演示出来。他们做了一个实验，记录下每一时刻下滑的米粒数量，接着用照相机拍下米堆的形状，又查出米粒的数量。结果显示出一个完全不可预测的狂乱模式（图 11）。长时期的平静被猛烈的突然发作所打断——真正的大灾难。这一事件中涉及的任何每一粒米都会吸引我们沉思。是什么使雪崩如此猛烈是很有诱惑力的。

那么，它为什么适用于米粒而不适用于砂子呢？答案似乎与惯性有关。砂粒相对要重些，也更滑。它们一旦开始滑动，就倾向于持续下滑，把整个砂堆带塌。相反，米粒则较轻，也更有粘性。所以当米粒开始下滑时，它只滑动到米堆到达下一个刚刚稳定的轮廓时就会停下来。在砂堆游戏中，巴克和同事们使砂粒的粘性很大，并且毫无惯性，因此，它们就很像米粒了。砂堆游戏本应该被叫做米堆游戏。

因此，仅仅改变下落物质可能就意味着临界状态和事物之间的不同。物质的下落速度也同样会产生这一影响。1994 年，微软研究部的杰尔夫·格林斯坦指出，只有当电脑非常缓慢地投下砂粒时，砂堆游戏才会达到临界状态。它投下一粒砂子，必须等到由它引起的雪崩完全结束后，才能再投下另一粒。一旦砂粒下投的频率加快——也就是说，如果下一粒砂子在上一场雪崩结束之前，就落了下来——临界组织就不复存在了，能量法则也是如此。

这些细微之处隐含着几条重要的暗示。巴克、唐和威森菲尔德对他们的电脑游戏不需要任何调控就可以自发组织到临界状态大为震惊。但现在看来，他们也许只是自欺欺人。砂粒需

要有粘性又较轻，而且要被慢慢投下。为了发现奇异的结果，巴克、唐和威森菲尔德似乎无意识地调控了电脑游戏，使它满足了所要求。自发临界状态似乎只存在于那些刚刚失去平衡的事物中，并且在这类事物中，每一个独立因素的运动都受控于它与其他因素的关系。

砂堆游戏中存在着调控，这一迟来的认识给最初的自发临界状态的假想带来了沉重的打击。正如巴克曾经写道的那样，自发这一概念对于“自发临界状态的观点能否用来解释现实世界，至关重要。事实上，它就是整个思想……当我们试图把砂堆推出临界状态时，它又弹回了这一状态。”¹²如果砂堆游戏必须经调控才能达到临界的话，科学家们完全可以这样做。那么，在现实世界中，怎样才能进行调控呢？

然而，这个打击并不像它看上去那么可怕。一方面，世界上几乎每一个好的理论都包含着一些经调控的数字，以使理论适用于实践。马克斯威尔的电和磁力方程式包含光速；量子理论包含普朗克常数，这些理论在现实世界中的应用不可避免地要涉及到这些数字以及电子和大量粒子。尽管粒子物理学的标准理论包含了十九个“可调”数字，它仍然不失为一个优秀的理论。一个简单的游戏如果只需调控两个方面就能够解释许多事情，那就相当不错了。

更重要的是，随后的研究阐明了调控被引入砂堆游戏的方式，指出它是以一种很特殊的方式进入这一游戏的。这种调控十分微弱，这一点专业性较强，但也许几个词就足以解释清楚了。

我们在上一章中遇到的词组“转变”是指平衡的阶段性转

变。也就是说，主要考察的事物是处于平衡状态下的，它们根据温度等优势条件采取一种或另一种组织形式。物理学家刚刚开始研究不平衡状态下事物的阶段性转变，也就是不断受外力作用下的系统。当然这是一个更为广阔的领域，因为世界上大多数事物都是非均衡的。

物理学家亚利山德罗·维斯派纳尼和巴黎物化工业高等学院的物理学家斯蒂法诺·扎佩伊，一直在研究作为非均衡阶段转变的范例——砂堆和森林火灾游戏。他们发现当这些游戏最初被发明出来的时候，发明者无意识地为它们设置了一些特点，以保证其可以到达临界点。¹³例如，在砂堆游戏中，你可以按任意频率撒下砂粒，但是只有当砂粒的投放率比其流动率小得多时，你才可以发现临界状态。要达到临界状态，砂粒的投放和流动率的比率应调为零。

真巧，调到零总比调到其他任何数要容易些。对于在平衡状态下的磁石来说，调控的焦点在于温度，应该把温度准确地设在 770 摄氏度。如果改变这一温度的 10%，磁石就会错过临界点。但是对于一个非常小的数，比如 0.0001，改变它的 10%，或者甚至把它扩大 2 倍、10 倍或 100 倍，你仍会得出一个很小的数。砂堆和森林火灾游戏调控没有磁石那样敏感。

这也许正解释了为什么“自发”临界状态似乎描述了现实世界的许多事情。它真应该被称做“相当强度的”临界状态。由于某种原因，地震和流行病似乎已经完成了必要的大致调控。我们将看到这些控制的相同因素似乎也存在于科学本身的运动中——在思想发展变化的方式中——甚至也许在人类历史中。我们还将看到在考察自发临界状态的局限时，科学家们已

经发现了自发组织的另一个过程，这一过程绝不比自发临界状态复杂，并且似乎捕捉到了许多逃脱临界状态控制之外的事物的运动方式。重要的是，这个另一种机制还完全导向了一个悬在不稳定状态边缘的世界。

在谈论这些事物之前，还是让我们来探究一个更为复杂的不寻常的例子吧，这一复杂过程是与临界状态的神秘组织共存的——地球上的生命过程及偶而爆发的大劫难。

注释：

1. 引自艾伦·J. 麦卡的《科学引文字典》（亚当希尔格，1991年）。

2. 塞缪尔·卡林，《第十一个》R.A. 菲斯克《纪念演讲》，皇家学会1983年4月20日。

3. 亨德利克·詹森，《发自临界状态》、《剑桥物理讲座系列》第148页。（剑桥大学出版社，1998年）。

4. B. 马拉穆德、G. 摩雷恩和 D. 特科特《森林火灾：自我临界行为的例证》（《科学》1998年）。

5. 斯蒂芬·派恩，《美国的火灾》（火灾史学会，1997年）。

6. 斯蒂芬·艾立林·那奈尔，《生命与死神的舞蹈》。关于森林火灾的一系列文章，可从以下网站获得：<http://www.discovery.com>。

7. 《美国联邦野地火灾政策》，可从以下网址中获得：<http://www.fs.fed.us>。

8. 洛克伍德和 J. 洛克伍德,《昆虫数量的自发临界状态之证据》,《复杂》1999 年。

9. C.J. 罗蒂斯和 R.M. 安德森,《在与世隔绝的人口控制流行病的能量法则》,《自然》1996 年。

10. R. 加西亚—析拉和 P.D. 摩雷,《脉冲是假电子讯号的规格法则》,《欧洲物理》文学,1993 年。

11. V. 弗莱特和其他人《米堆里的雪崩动力》,《自然》,1996 年。

12. 珀·巴克,《自然如何运动》,第 51 页(牛津大学出版社,1996 年)。

13. A. 维斯派纳尼和 S. 扎佩伊,《自发临界状态如何发生作用:统一的平均领域图景》,物理、革命,1998 年;另见罗纳德·迪克曼、迈克尔·缪诺兹、亚利山德罗·维斯派纳尼和斯蒂法诺·扎佩伊,《自发临界状态的途径》,路斯·艾拉莫斯(操作—数学)。

消遣

从本质上讲，一种假设一旦被人们接受，它就会把一切都作为适当的养分吸收进来，从你赋予它生命之初，它会逐渐通过你看到、听到和理解的一切不断成长。

——劳伦斯·斯图恩¹

世界上不存在无哲学的科学，只有不经检查就完全接受其哲学包裹的科学。

——丹尼尔·丹尼特²



埃尔河静静地流淌出位于美国蒙大拿州最东端的佩克堡水库，辟出一条孤独、蜿蜒的河道，一直延伸到山中。这是一片有着广阔空间的土地，在大草原和宽广的河谷中点缀着松树，奇异的、扭曲的岩石在耀眼的阳光下发出橘红和紫色的光。埃尔河穿过这些两岸露出的突兀的岩石，它们讲述着炎热的夏季和严寒的冬季在这里发生的故事，记载了风雨如何慢慢侵蚀地球。这里每天都有一些碎石变成一层极薄的沉淀物，为以往的累计记录增加新的内容。一个多世纪以来，化石学家一直在挖掘这一记录，研究其中的化石。他们在记录中读到了一个恐怖故事——世界上最大的谋杀谜案。

对于化石学家来说，回到从前就意味着研究更深的沉淀层，但是就埃尔河而言，它意味着逆流而上，回到上层岩层中去。一上午的行程就可以很轻松地跨跃一千万年。³ 在离水库不远的地方，较深的沉淀层大约形成于七亿年前，当时美洲平原还处于一片较浅的宽广海洋之下。这里是传闻中的生物和众多海洋生物的丰富的化石墓地。继续逆流而上，所见到的岩石就年轻了几百万年，那时海水已经后退，蒙大拿东部是一片森林与河流交织的郁郁葱葱的土地。人们在这里发现了植物、牙齿和兽爪的碎片，以及霸王龙与它的历史仇敌三经龙上演经典角逐的那个野蛮又令人兴奋的些许痕迹。这是世界上寻找霸王龙的最好地方，实际上，埃尔河也是地球上惟一发掘出其整套骨架的地方。然而，再沿河上行不远，事情突然发生了变化。在距今六千五百万年的沉淀中，命运似乎惩罚了奇妙的恐龙世界，沉淀物显示出突然奇异的大规模死亡。地质学家和化石学

家把它称做 KT 界限，在这一界限之上，恐龙和上千种其他物种的踪迹都消失了。

处于 KT 界限处的化石的不延续性十分明显，以至于地质学家实际上以此来界定早期白垩纪和晚期第三纪。这两个时期的分界线，也就是六千五百万年前的一段时间，在世界上数以千计的地点都有所体现。例如，西班牙北部某些地区的化石反映了菊石的戏剧性灭亡——它是 KT 界限以前，大约三亿三千万年间大量存在的、带螺形壳的海洋生物。在这一界限以下，菊石化石到处可见，在它以上却一块也没有。六千五百万年前，某种东西对它展开了彻底的谋杀。在地质史上的一瞬间，恐龙和 75% 的其他物种都突然灭绝了。⁴

发生了什么事呢？1905 年，一位研究人员评论恐龙时说道，“由于骨架重量的超大重负必然会耗尽恐龙的生命力，这一家族的短命也就不足为奇了。”⁵另一位研究人员指出，“恐龙四肢重量的增加使它们很难交配。”⁶恐龙的灭绝曾经一度被归结为它们变瞎了、贪婪的哺乳动物偷吃了它们的蛋、火山爆发使它们失去知觉、或者骤冷骤热、过早或过湿等气候的影响。⁷当然，灭绝的也不仅仅是恐龙。

在全世界的科学会议和学术期刊中，科学家们继续热烈地争论着究竟是什么几乎毁灭了这颗地球上所有的生命。几乎每个星期，会有人发表“证据”，支持这种或那种、或者反对另外一种推测。⁸但是，即使没人能肯定发生了什么，有一件事却是所有科学家都同意的：无论原因何在，它并不是极其不寻常的。仔细观察化石记录，你会发现，地球上已经多次发生毁灭性灾难了，KT 时代的灭绝还不是最糟的。

在 KT 界限下很远处，另一条戏剧性的死亡线横贯岩层，它是一亿五千万年前形成的。同样，生命记录在此突然停止了，因此地质学家用它来定义地质时代中二叠纪的结束和三叠纪的开端。1998 年，麻省理工学院的地质学家 S.A. 鲍岭和他的同事们测定了这次灭绝事件的持续时间，发现它发生于 10 000 年的较短时期内。10 000 年看起来像是很久，然而，在多细胞生命存在的六亿年的历史长河中，这只不过是一眨眼的时间。鲍岭和他的同事写道，“在过去的五亿四千万年中，这是一次规模最大的生命毁灭。”⁹ 整整 95% 的全部海洋物种死掉了，陆地上也有相当规模的损失。”

类似的大灾难分别在距今四亿四千万、三亿六千五百万和二亿一千万年前袭击了这颗星球。这三次大规模灭绝和 KT 以及二叠纪灾难一起构成了所有灭绝记录中的五大灭绝事件，就像 1836 年、1838 年、1868 年、1906 年和 1989 年爆发的大地震主宰了旧金山地区的地震史一样。查尔斯·达尔文曾写道，“根据进化论，那种认为在连续的灾难期间地球人类已被一扫而光的旧观念正在逐渐被人们摒弃。”¹⁰ 这显然不对。如果说生命结构很稳定并且变化缓慢的话，历史记录则恰恰相反。五大灭绝只是生命突然停止中最显著的例子。在它们之间，还有无数小规模集体灭绝。地球上的生命似乎在承受着偶然的灾难性崩溃。

当然，并非每一次灭绝都是集体灭绝。进化论生物学家估计，有几十亿种不同的物种曾经一度进入生命历史进程中。然而，今天只有几千万种存在，这意味着历史中全部物种的 99% 现在都已绝迹了。灭绝是进化中一件非常自然的事情，所

以有人曾说，根据最初概算，一切都是要绝种的。结果证明，全部物种中只有 35% 是作为集体灭绝的一部分绝种的。“背景”灭绝几乎占全部灭绝的三分之一。但它们却无法解释集体杀戮的高潮。在这一偶然大灾难的奇怪记录之后究竟隐藏着什么呢？





上帝的行动

保险业用“上帝的行动”这个词组来指代那些完全超出任何人的预见力之外的事故和灾难，没有人应该为此受到责备。如果龙卷风用你家的屋顶玩飞盘游戏，或者闪电把你崭新的波尔舍型跑车当做了火把，你就是“上帝的行动”的受害者。你很不幸地遭到破坏性力量的袭击，保险公司会对你作出赔偿。这应该是无可非议的。

大多数科学家从集体灭绝中，而不是从一般性的历史事件中发现与“上帝的行为”类似的结果。我们持续的生存有赖于一个平稳、随和的环境。我们需要氧气、适合的温度、充足的水和食物、不太多的辐射，等等。如果环境出现了严重问题，生物就要受苦。那么，对于大多数科学家来说，解释集体灭绝就意味着找出环境的问题所在及其原因。

当然，环境出现问题的方式会有一千种，但是有两类情况被认为是特别重要的，而且一种比另一种更为猛烈。

1980年，加利福尼亚大学伯克利分校的物理学家卢伊斯·阿尔瓦瑞兹领导的一个科学小组提出，KT灾难是由一颗巨大的小行星或彗星与地球剧烈冲撞引起的全球范围大气变化的直接结果。¹¹一位研究人员写道，“它的直径为十公里，每秒钟运行十几公里，其运动能量相当于世界上所有核武器一万倍的破坏力。”¹²这一冲撞会使岩石蒸发，在地面上炸出一个四十公里

深的洞，使无数微小岩石微粒和极细的尘埃穿过大气，发射到宇宙中。这些微小粒子重返地面后，会烤焦距撞击处一千多公里范围内的空气，“煮熟、烧焦、点燃、自焚所有没有避在岩石下或洞中的树木和动物……整个森林都被点燃了，席卷大陆的大火吞噬着大地。”¹³但这只为真正杀手的到来作了铺垫。遍布上层大气中的尘埃会把太阳遮住数月，给地球带来无尽的黑夜。植物会枯萎，冬眠动物会饿死。这种蹂躏会破坏食物链，使它像卡片搭建的房屋一样倒塌，最终连最凶猛的肉食动物也绝迹了。

如果这种观点看起来很像科幻小说的话，我们倒有许多证据来支持它。首先，科学家不是在一处而是在全球一百多处KT界限的岩层中发现了大量稀有元素——铱。地球形成之初，当它还是一个滚热的熔化的小圆团时，较重的元素落入了地心。铱就是这样一种元素，它在地壳上十分稀少。那么，它是如何进入KT层的呢？小行星和彗星含有大量的铱。看来无论是什么撞击了我们的行星，它所含的铱都漂浮在上层大气中，逐渐进入地球，最终降到地面进入KT层。科学家们测量了KT界限处的钨、铼等其他稀有元素的含量，它们的含量比率与在小行星和彗星中一样。

如果这还不够有说服力，在阿尔瓦瑞兹和他的同事们提出他们的撞击推测的十二年后，另一组科学家在墨西哥的尤卡坦半岛上发现了一个巨大的坑。¹⁴你可能会站在这个被称为芝克库鲁伯的大坑的顶部，却根本不知道它的存在，因为它被埋于地下1.5公里处。然而，坑的直径将近180公里。1992年，它的年代被估算了一下，结果显示，它形成于距今六千五百万年

前。

这个观点并不是没有问题。大坑的存在这一事实暗示出曾经发生过巨大的冲撞。铱的沉淀物和其他证据表明这一冲撞的物理影响传遍了整个世界。但是这就足以引发一次集体灭绝吗？有人指出，阿尔瓦瑞兹和他的同事们 1980 年长篇论文的主体部分“局限于一次冲撞的地理和物理证据，以及冲撞带来的物理结果。而冲撞引起的生物结果的讨论却只占了半页纸的篇幅。”¹⁵原因很简单“没有什么真正线索来证明冲撞确实给整个星球的生命带来了什么影响。”

更重要的是，一些物种灭绝了，而另一些则安然无恙地度过了危险，这一点很令人费解。正如阿尔瓦瑞兹小组的一名成员所承认的，“许多小型陆地动物活了下来，包括哺乳动物、鳄鱼和乌龟之类的爬行动物。没人真正明白为什么这些动物逃脱了灭绝。”¹⁶使事态更为扑朔迷离的是，以往的大冲撞并未见得有什么害处。1998 年，加利福尼亚理工学院的肯·法利和其他研究人员发现了充分证据证实，北西伯利亚的一个直径为 100 公里的大坑与美国切萨皮克湾人口处的 85 公里深的洞形成于同一时代。两者都形成于三千五百万年前，当时太阳系的彗星袭击了地球。化石记录显示当时并未出现任何异常现象。¹⁷

鉴于这些突出的问题，不是所有人都认为恐龙的灭绝是由一块从天而降的、致命的岩石造成的。科学们也正谈论着其他一些观点。恐龙当然不是独自生活在地球上的。几年前，芝加哥大学的地质学家利·万·瓦伦注意到，仅在 KT 界限标记着，几十万年前哺乳动物才开始兴旺发展起来，也许是它们将恐龙

强行挤出了自然界。一些化石学家认为这场战斗也许还受到不断变化的气候的影响，因为那时恐龙温暖的郁郁葱葱的栖息地正在变为更适合哺乳动物的凉爽的森林。同一次气候变迁也可能导致其他许多物种的灭亡。也许这次冲撞与白垩圣殿灭绝毫不相干吧？

寒 风

发生在二亿一千万年前、二亿五千万年前、三亿六千五百万年前和四亿四千万年前的其他的集体灭绝又怎么样呢？对于这些事件，还没有人找到相应年代的火坑。当然，也许化石学家以后会找到的，但是目前，他们中的大多数人怀疑是某种其他的力量发挥了作用，比如说气候的突然变迁。约翰斯·霍普金斯大学的斯蒂文·斯坦利认为，“有一个简单的事实可以使得气候变化很可能成为集体灭绝的总体原因，那就是全球气温变化可以相对容易地淘汰无数物种。”¹⁸

毕竟，每一种生物都适合于特定的气候。例如，当气温降低时，生物需要向赤道迁徙以寻找其适应的气候，或者适应新的较冷的环境。但是有些生物无法迁徙，因为它们或是受到山脉、大湖或海洋阻碍，或是生活在并不向南延伸的森林中的树上。同样，如果气温下降过快的话，一种生物也许无法很快适应温度，也就只得灭绝了。

在距今二亿五千万年前最严重的一次灭绝——二叠纪灭绝中，全球温度的确突然降低，同时还出现了其他一些征兆。其中之一就是海面水位明显下降。当海面水位降低时，海水从大陆上退去，使大陆架的辽阔面积暴露在空气中。这些大陆架包含无数有机物质，当其与空气发生化学反应时，会消耗大量氧气。里兹大学的化石学家保尔·威格纳尔预计这一反应将使氧

气含量降到只相当于今天二分之一-的水平。他下了这样的结论：“二叠纪——三叠纪集体灭绝是生物因窒息而死。”¹⁹

关于这些影响中哪一个更重要，或者它是否有可能在其他主要灭绝事件中也发挥作用，科学家们还没有达成共识。一些化石学家指出，有一个剧烈的火山活动时期曾向空中喷放了数不尽的尘埃。还有人注意到集体灭绝背后蔓延全球的干旱的作用。假想的原因列几页纸也列不完，你也许会猜想这些观点到底与事实联系得多紧密。总之，在距今六千五百万年、二亿一千万年或二亿五千万年前，地球上肯定发生着某种不寻常的变化——气温或海平面上升或下降、火山爆发、太阳的紫外线辐射量增大，等等。任何一种变故给全球生态系统带来的后果还主要有赖于推测。因此，人们考察了这么多潜在的原因也就不足为奇了。正如化石学家大卫·罗普猜测的那样：“难道导致物种灭绝的所有可能原因，只不过是个体构成威胁的一系列事件吗？”²⁰

然而，几乎所有的科学家都认为，集体灭绝是由破坏有机物生存环境的冲击和变动联合造成的。看来，正是这一点使集体灭绝在一直普遍存在的背景灭绝中异常突出。在正常时期里，正常的进化运动总是左右摇摆，不时地把一种或另一种物种推向没落。但是，这些时期被外界入侵打乱。化石学家戴维·杰希隆斯奇曾说过，“背景和灭绝的政权交替塑造了生命历史中大规模进化的结构。”²¹或者，正如理查德·利基和罗格·莱文描述的世界生态系统的结构变化一样：

“那一结构中包含两种形式，物种慢慢消失的背景灭绝和蕴藏主要生命危机的快速灭绝。大多数生物学家认为在背景灭



绝时期的主导力量是自然选择，竞争在其中起了重要作用。”²²

大多数生物学家认为进化本身不能够引起巨大的动荡。进化在持续着，但也存在着由外界冲击引起的动荡。这是一幅简单而令人满意的图景，然而它看上去却存在一个严重的问题。

图书馆中的十年

芝加哥大学的杰克·塞普科斯奇是一位喜欢在图书馆里，而不是野外进行研究的化石学家。他不去挖掘化石，而是探究别人已经发现的化石中隐含的信息。这位 20 世纪 70 年代哈佛大学的毕业生，着手把书本和研究论文中以及他与朋友和其他化石学家们的谈话中摘录出来的资料统统记在笔记本上。他要干什么呢？原来，他要编制一个巨大的目录，以显示有机物群落的发现和灭绝时间。

一提起进化，人们十有八九会想到物种。而塞普科斯奇却不是这样。生命之树的粗壮树干让位给较细的树干，在此之上生出了较小的树枝，老枝让位给新枝，直到最小的嫩枝长出——这就是物种。科学家们非常明智地给不同的级别贯以不同的名称。“属”是几个紧密联系的物种的集合，“科”是指一组相关联的属。1982 年，塞普科斯奇发表了化石记录的第一部分——关于数千个科的起源和灭绝的庞大的统计数据库。这只是他前进路上的一站。又经过十年的搜集，他建立了一个包含大约 40 000 个不同属（全部都是海洋无脊椎动物）的数据库，这些属分属 5 000 个不同的科（每科大约含八个属）。

塞普科斯奇选择海洋无脊椎动物——例如海绵或珊瑚——因为它们构成了化石记录的绝大部分。当 1993 年完成这项工

作时，研究人员得到了一幅关于过去的六亿年间地球上的生命如何兴盛和衰亡的缩微图片。²³塞普科斯奇的努力激发了同行们进一步的钻研，不久，加里斯托尔大学的地质学家迈克尔·贝纽恩建立了一个记录7000个科的有机物的起源和灭绝时间的独立数据库，这一次包括海洋和陆地动物。²⁴

在我们来认识这份资料的价值之前，还是有必要提一下收集资料的艰辛。“图书馆中的十年”，可以让我们对文献资料的巨大数量有所了解，但它并不能暗示出研究人员在开展这项工作中面临的棘手的问题。²⁵一个问题就是“近期拉力”。曾经生存过的有机体中只有极少的一部分最终形成了化石，大多数只是死去，尸体腐烂，这就是生命的全部内容。但是在那些确实形成化石的生物之中，越晚形成的化石越有可能不受触动面保存到现在。所以，化石记录不可避免地要倾向于现在。

接下来是“专著”效应。如果说没有多少化石被保存到现在的話，那么被研究人员真正发现的就少之又少了。因此，一定有许多化石未被发现。如果一位精力充沛的研究者就地质历史的某一时期，开展一次不寻常的彻底研究，化石记录将最后显示出一个光点，就好像物种数量突然增大了一样。塞普科斯奇和本顿决定在属和科这一层次上而不以物种来研究生物灭绝，这个决定本身就很令人懊恼。

在物种层次上进行研究显然有利于更好地掌握物种来去的有关情况。但是，化石记录十分稀少，这就造成了麻烦。假设你已经鉴定出某个物种的一些化石的年代，并试图推断出该物种是何时灭亡的，你也许会选取所有化石中最年轻的一块来作推断。然而，如果你只有几块化石，那么你的推断就未必准

确。1982年，加利福尼亚大学戴维斯分校的地质学家菲尔·西格诺尔和杰里·莱普斯指出，任何人都不可能仅凭几块化石而判断出该物种灭绝的大致时间。你得出的更可能是它出现和消亡的大致中间的时间。结果，你推断的物种灭绝时间要比实际情况早得多，而且你拥有的化石越少，错误也就越大。这种被称为西格诺尔—莱普斯效应的现象还有一个被戏称为莱普斯—西格诺尔效应的逆命题，后者影响着对物种起源时间的推断。选取年代最古老的一块化石作为依据会使你推断的物种起源时间晚于实际时间。

我们已经知道，匮乏的化石记录会使物种看起来比实际情况起源得更晚，消亡得更早。幸运的是，更多的化石可以减小这种错误。这也是为什么塞普科斯奇和后来的本顿决定不研究物种，而是从生命树的高层属或科的层次上入手。在这一层次上开展研究，他们可以集中不同物种的化石，从而更精确地推断出任何特定群落的起源和消亡时间。在收集资料时，他们花费了很大精力来纠正近期拉力、专著效应和其他已知的思想倾向，就像历史学家并不仅以表面价值，而要带有一定健康的怀疑成分来判断文件。结果，塞普科斯奇和本顿的资料反映了我们关于地球过去生命真正结构的最佳图景。

正如我们已经看到的，物种灭绝的正统观点认为存在着两种灭绝：由正常的进化过程引起的背景灭绝和由气候变迁、小行星相撞或者生物圈的其他冲击引发的集体灭绝。塞普科斯奇和本顿的资料的大致图解似乎支持了这种观点。在每一地质时期内灭绝的科的数量记录表明，相对平稳的结构不时地被突然灾变打乱（图12）。巨大的灭绝在其余时段中显现出来。但是

我们以前也听说过这种情况。标绘出不同规模物种灭绝的发生频率完全是另外一回事。

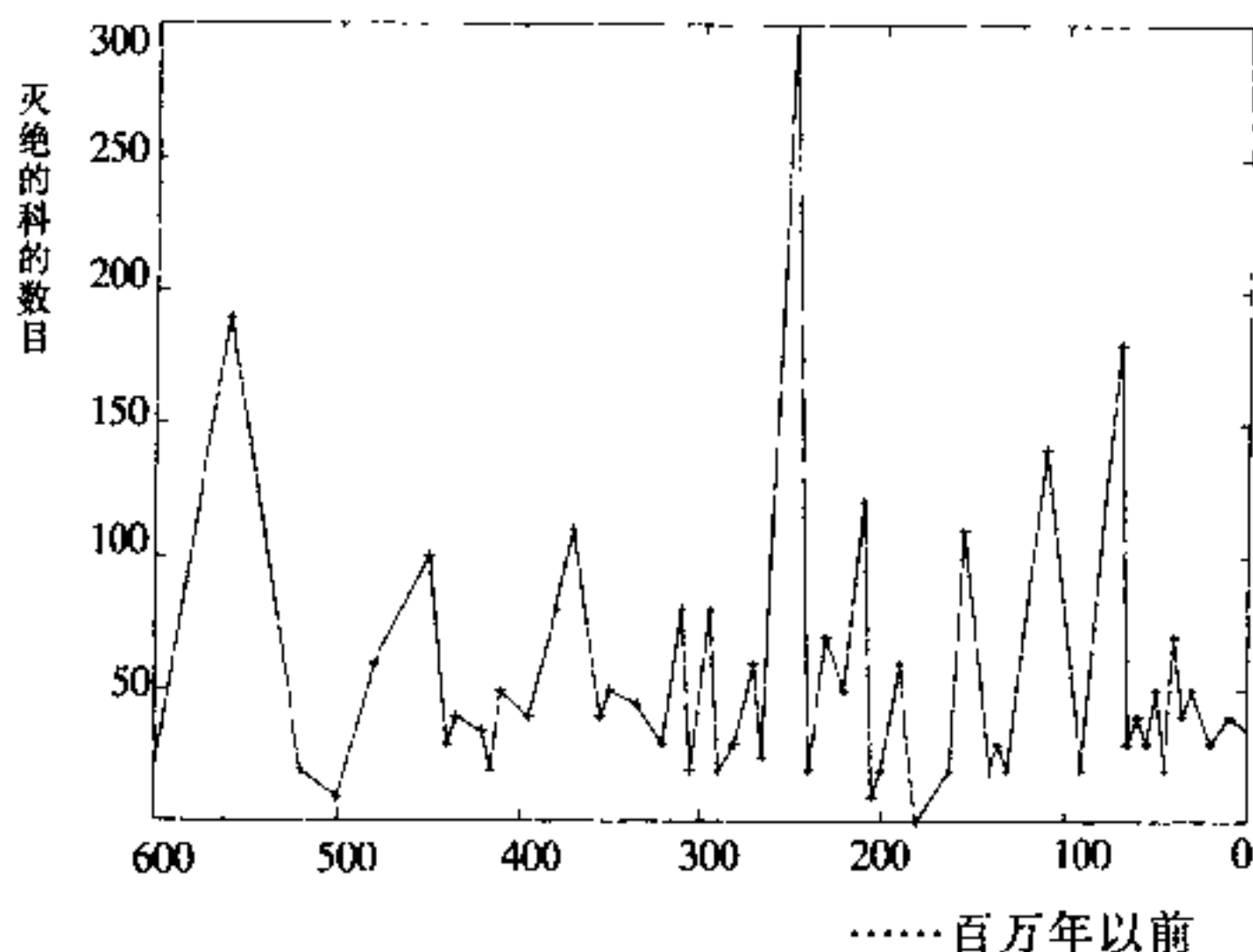


图 12 集体灭绝的记录。每一个高峰代表在每一不同地质阶段消亡的科的数目。五个最大的高峰代表了最大的五次集体灭绝，最后一个是六千五百万年前毁灭恐龙的那次灭绝。

1996 年，物理学家理查德·索尔和苏珊娜·曼鲁贝尔更仔细地研究了塞普科斯奇的资料，发现不同规模（灭绝的科的数目）物种灭绝的分布遵循着能量法则。事实上，这种情况下的规则结构与地震中的结构完全相同：如果把所考察的灭绝规模扩大一倍，它发生的机率就减为四分之一。这一符合能量法则的规律适用于从只涉及到几个科的灭绝到毁灭上千个科的恶性事件。

突发的严重事件通常会暗含重大原因吗？每一次不寻常的

灭绝事件一定有一个同样不寻常的原因吗？在前几章中，我们已经看到近几年来这种偏见已在地震和森林火灾之类的情況中遭到了抨击。集体灭绝的极其简单的曲线模式暗示出，科学家们认为这些“突发”的事件十分特殊，也许犯了一个非常严重的错误。如果你划出一条时间曲线的陡升线，以标示不同的灭绝事件发生的时间和规模，毫无疑问最长的陡升线看上去“显然”是代表很特殊的事件。但是，当同一份记录以不同的方式表现时，其中最大的事件看起来也没有什么显著之处。能量法则观点暗示出集体灭绝未必就是进化进程中的特例。他们也许并不是远在天边的上帝的杰作，而只由进化中最普通的规则带来的无法避免的结局。

注释：

1. 劳伦斯·斯图恩，《特雷斯特兰·沙迪》（华尔华兹版本，1996年）。

2. 丹尼尔·丹尼特，《达尔文的危险观点》，第21页（企鹅，1995年）。

3. 在蒙大拿东部寻找化石的最佳描述是彼得·沃得的《进化的终结》（威顿菲尔德和尼克尔森，1995年）。

4. 也许并不全都如此。现在化石学家认为一部分恐龙度过了那一时期，继而进化为现代的鸟。因此，地球上还是有恐龙存在的。

5. F.B. 路米路，《变化中的动量》，美国，《自然》，1905

年。

6.F. 诺珀斯卡,《英国恐龙记录》第四部分:《剑龙》,单本小说。地质:磁石,1911年。

7.M. 本顿,《碰撞的科学方法论:恐龙灭绝研究的历史》,进化生物 1990 年。

8. 这使我想起《生活》前的任编辑约翰·马德克斯运用心理学的部分。马德克斯不赞赏那些给自己的文章置以“……之证明”的题目的作者,他一直主张文章的题目应该描写它真正建立的事实,而不是那些用来暗示其他情况的事实。如果作者反对的话,他们也确实经常如此,马德克斯也可以保留题目中的“……之证明”字样,条件是清晰明了,题目必须被认为“……之无结果的证明。”我相信没人会接受。

9.S.A. 鲍岭及其他人,出版《矿石地质年代学二叠纪末大规模灭绝的速度》,《科学》,1998 年。

10. 查尔斯·达尔文,《物种起源》,第 321 页(企鹅,1985 年)这并不是藐视达尔文。如果说今天我们可以非常舒服地谈论更微妙的进化模式的话,达尔文处在进行一场战斗的说服他同时代的人进化是一种现实。正如斯菲文·斯且利指出的,“达尔文必须向他的读者保证进化的进程极其缓慢,这才能反驳那些反对他的理论的人,这些人反驳他的原因是他们可以在农家的园中亲眼见到人工选择,却无法在自然界中观察到自然选择。”见斯蒂文·斯且利,《宏观进化论》(约翰斯·霍普金斯大学出版社,1998 年)。

11.L.W. 阿尔瓦瑞兹、W. 阿尔瓦瑞兹、F. 阿撒罗和 H.V. 米歇尔,《白垩纪—第三纪灭绝的来自地球外的原因》,

《科学》1980年。

12. 沃尔特·阿尔瓦瑞兹《技术和毁灭的火山口》，（企鹅，1997年）。

13. 沃尔特·阿尔瓦瑞兹《技术和毁灭的火山口》，（企鹅，1997年）。

14. 具有讽刺意味的是，这个大坑实际上在阿尔瓦瑞兹和他的同事们发表他们关于由冲撞引起的灾难性灭绝的第一篇论文时就被发现了。1981年，进行石油勘探的研究人员绘出了这一地点的地图，并判定它是世界上最大的撞击坑。但是他们当时并不知道阿尔瓦瑞兹的观点。科学家们又花了十年来取得联系。

15. M. 本顿，《撞击中的科学方法论：恐龙灭绝研究的历史》，1990年。

16. 沃尔特·阿尔瓦瑞兹，《技术和毁灭的火山口》，（企鹅，1997年）。

17. K.A. 法利、A. 蒙塔纳瑞、E.M. 舒马克和 C.S. 舒马克，《始新世晚期彗星雨的地球化学证据》，《科学》，1999年。

18. 斯蒂芬·M. 斯坦利，《灭绝》，第40页（W·H·弗雷曼，科学美国图书馆，1987年）。

19. 保尔·威格纳尔，《新科学家》，1992年1月25日，第55页。

20. 大卫·罗普，《劣质基因还是坏运气》，第112-113页（W-W. 努顿，1991年）。

21. 戴维·杰希隆斯奇，背景及集体灭绝：宏观进化王国的选择。《科学》，1986年。

22. 理查德·利基和罗格·莱文,《第六次灭绝》,第 62 页(威顿菲尔德和尼考尔森,1996 年)。

23. J.J. 塞普科斯奇,《图书馆中的十年:新资料肯定化石学结构》,《化石学》,1993 年。

24. M.J. 本顿,《生命史上的变异与灭绝》,《科学》,1995 年。

25. 在这一题目上,我得益于一篇评论文章 M.E.J. 牛曼和 R.G. 帕尔漠,《物种灭绝的理论模式:评论》,圣诞·费论文写作学院(1999 年)。

生命网

一个文明人的首要责任就是要
随时准备改写百科全书。

——厄姆伯托·埃科¹

事情应该尽可能地简单，但不
可以更简单。

——阿尔伯特·爱因斯坦



20 世纪 70 年代末，一次小规模的生态灾难即将在英国南部绿草茵茵的乡野爆发。成群的野兔吞噬着上万英亩肥沃的良田。幸运的是，英国政府已准备了一套安全方便的解决办法。兔瘟病菌几乎毫无例外地在所有兔子体内都能迅速繁殖，它不会置它们于死地，但会使受感染的兔子变得懒洋洋的，因而降低其觅食速度，并且使它们容易遭到食肉动物攻击。当局解释说通过引进兔瘟，他们可以控制野兔的数量，使之无法对乡村生态造成不利影响。当然，事情并非如此简单。

兔瘟确实使野兔数量在几年内急骤下降。然而，同时，牲畜价值下降了，农场上的牧养动物对于农场主来说变得相对的不再有吸引力。随着牧养动物和吃草的野兔的减少，英国南部地里的草长得比以往更高了，这听起来并不非常可怕。但是有一种叫做 MS 的蚂蚁很快大批死亡了，因为它们在矮草中繁殖迅速，但在较高的草中，生命力却不很强。这种蚂蚁与一种叫做 MA 的蓝色大蝴蝶有一种特殊的关系。当这种蝴蝶产下卵后，蚂蚁把它们运进洞穴，孵化出幼虫，并一直将其培育成成虫。不幸的是，在 20 世纪 70 年代这种蝴蝶的种群已经岌岌可危了，当蚂蚁数量下降时，这种蝴蝶的数量便也骤然下降。兔瘟的引入使草增高、蚂蚁减少，并使这种美丽的蓝色蝴蝶在英国完全绝迹了。

这种出乎人类意料之外的生态链式反应绝不少见。为了探究某一生态系统的结构，生态学家经常做这样的实验，他们除掉一种特定的肉食动物，然后观察这对其主要猎物的影响。你也许会认为，结果是很容易预测的：除去肉食动物，其猎物的

数量会有所增加。但是，1988年，加拿大几埃尔夫大学的彼得·尤德兹斯发现事实并非如此。²通过研究十五个不同的生态系统，他发现连结物种的间接途径数量巨大、结构复杂，除掉一种肉食动物，即使对于它最直接的猎物来说，其影响也多半是不可预测的。例如，除去捕食某一特定老鼠的鸟，也许最终会导致这种老鼠数量下降。如果这种鸟更偏爱该老鼠的某些直接竞争对手，那么没有这种鸟，老鼠对手数量的增加会比老鼠的增加快得多，老鼠种群便受到了危害。通过这种间接途径，一种有机物的数量变化可能会产生各种各样无法预见的后果，甚至会给看似与之毫不相干的物种带来影响。³

一次更近的也是更复杂的研究得出了一个类似的结论。每年，北美鸟类调查局都要统计出美国和加拿大600多种不同鸟类物种的数量。这项调查已经开展了三十多年，提供了关于所有这些物种数量浮动的大量详细资料。1998年，加利福尼亚大学圣巴巴拉分校的生态学家蒂莫西·基特和波士顿大学的物理学家吉恩·斯坦利利用这个数据库计算了每一个物种每年数量变化的速度。一种鸟的数量也许会在一年内上升10%，而第二年又下降15%。看到这些变化，在种群增长率上，基特和斯坦利做了盖本伯格和理克特在地震密度方面所做的事情。也就是说，他们查看了记录，计算出一种变化率相对于另一种变化率的出现频率。

那么，对于鸟类种群来说，典型的增长（或者减少）率是多少呢？值得注意的是，这样一个典型增长率并不存在。如果最常见的变化就是没有变化的话，那么向上或向下变化的可能性都要渐次减小，并且二者都遵循同一能量法则。基特和斯坦

利得出结论，“对于这里考察的物种，不存在种群规模浮动的典型幅度。”换句话说，我们不仅无法预测出下次变化的方向，是向上或向下，而且甚至不能预测其大致幅度。

当然，这和我们在临界状态中看到的规模恒定完全一样，当某一事物处于两个阶段之间时便会产生这种状态。事实上，在评定他们的研究成果时，基特和斯坦利认识到规模恒定是发生在临界点上的，因而他们把这一结果与阶段过渡学直接联系起来。

这些无生命系统中，每一个微粒都直接作用于与之相邻的微粒上，这些相邻的微粒再施力于各自的相邻微粒，所以，这种相互作用可以传播很远，从而带来能量法则的普及。与之类似地，某一生态系统中的物种直接作用于一些（而不是全部）其他物种，这些物种同样又作用于其他物种，因此，相互作用得以“传播”。⁴

如果生态系统处于一种临界状态，那么大规模的剧变就有可能发生，并且我们会发现无规模限定的传播到处都是。那么，你很可能会猜想：这与我们在上一章中遇到的集体灭绝的能量法则有什么关系吗？集体灭绝的发生可能只是生态系统内部独立作用的结果吗？这是一个令人费解的问题。

然而，基特和斯坦利的资料反映的是原因和效果之间的生态链。这些资料涉及到相互作用的不同物种群落，并且可以显示出就在一二代内有机物数量发生的显著变化。生物学家把这种快速生态动态与那些极其缓慢的、只有经历许多代才能显见的进化变化进行了对比。进化改变的不仅仅是数量，还有有机物的特点——倾向于生成更长的喙、更漂亮的羽毛、或者是尾

鳍上的斑点。既然化石记录的时间跨度非常大，就某一生态系统的普通内部作用而言，任何对集体灭绝所作的解释实际上都应该注重进化结构，而不是生态。

当然，进化完全可以使一个物种归于灭绝。当条件变化时，一个物种也许无法适应。那么，也就很容易设想，既然没有任何物种是孤立存在的，一个物种的灭绝也许会导致另一个物种的灭绝，这一灭绝又会相应地引发另一灭绝，从而触发了一场传播很远的、致命的大规模灭绝。有什么证据能够表明这种失控的灭绝与集体灭绝有任何关系吗？正如我们将要看到的那样，答案是肯定的。几位科学家开始渐渐怀疑，全球生态系统不仅在生态上，而且在进化进程上都被调控到了临界状态，有时仅仅一个物种的灭绝就可以触发一场殃及全系统的大劫难。

山中漫游

斯图尔特·考夫曼是一名医生，但他考虑问题的方式更像一位物理学家，而且几乎只研究生物问题——不是诸如确定另一种蛋白质或基因排列之类的小问题，而是大问题。20 世纪 80 年代中期，考夫曼在费城的宾西法尼亚大学提出了一个关于地球生命起源的全新观点。在那之前，所有的理论推测都认为，生命起源是一个极其不确定的事件，几十亿年前混沌初开时，一群有繁殖能力的分子出现了。一旦可繁殖个体的差异性生存的进化机制开始运作，这种运作就是持续进行下去。但是，它最初是如何开始的呢？所有的估计都一致表明，自从宇宙形成以来，并没有足够的时间以产生分子。

考夫曼设计了一个简单的数学游戏来模仿在早期地球上不同种分子之间的相互作用，通过做这个游戏，他取得了一项有趣的发现。一些分子起着催化剂的作用——也就是说，它们促使其他分子加速化学反应。例如，分子甲也许可以很大地提高分子乙和丙聚到一起产生分子丁的机率。考夫曼研究了发生反应的分子之间任意的网状模式。如果这类分子的数量极其有限，这种混沌的化学反应就不会出现任何特例。但是他发现，当这类分子的种类增多时，在这种网状模式中一定会出现一种被他称做自动催化组的东西。这是一种可以靠自身的努力改善境遇的次分子组。分子甲可能有助于催化丁，丁可能有助于产

生戊或巳，它们转而又催化丙和庚，依此类推。最终，在这一反应链的末尾，壬和癸也许可以催化甲和乙，并完成这一循环，从而，每一个分子都可以被另一个分子所催化。

如果每一个分子集合中都存在这样一个良性循环的话，那么我们就不必设置任何自动催化组了。令人惊讶的是，考夫曼发现如果在混沌状态下的分子种类足够多的话，这种循环就一定会存在。分子种类并不一定要非常多。像我们以前提到的磁石一样，随着分子种类的增多，分子混合物会呈现出一种从迟缓到活跃的自然阶段过渡。这种阶段过渡奠定了一个全新理论的基础，在这一理论中，生命的起源不再是不确定的，而是毋庸置疑的。

受到这种思维方式的启发，考夫曼把注意力从生命起源转移到了它发展的韵律中去了。也就是——生态系统复杂环境中的进化。当然，这个问题是极其复杂的，因为每个物种所处的环境是从不固定的。物种间相互作用——他们以对方为食物、为领地而竞争、形成合作习惯，等等——一个物种在逐渐进化时会改变其他物种的进化条件。为了理解这一问题，生物进化学家花了许多时间来考虑地形——不是真正的地形，而是被叫做适应地形的一种起伏的数学平面。这些平面，直接或间接地出现在每一次关于进化本质的激烈争论中——考夫曼的平面也不例外。

进化是通过变异、选择和繁殖的三种行为来完成的。例如，在任何兔子种群中，有些兔子比其同类视力更好、跑得更快、或者反应更灵敏，这就是变异。这些更健康的兔子多半比体质差些的兔子活得更长，生出更多的后代，这就是选择。因

为父母将其基因传递给后代，所以下一代中健康兔子的比例，几乎一定比上一代大——繁殖的结果。结果，这一群落的整体健康水平就慢慢提高了。

适应地形的概念帮助我们更准确、更直观地感受到这种变化。在生物学术语中，一个有机体的颜色、速度、力量、智商，等等构成了它的表现型，表现型决定着适应性。现在设想一个二维坐标方格，使其上每一个点都对应一种不同的表现型，在这个坐标方格上划一个波动的地形，令每一个高度都代表那种表现型中每一个体的适应程度（图 13）。地形随着表现型的变化而上下浮动。这就是适应地形。

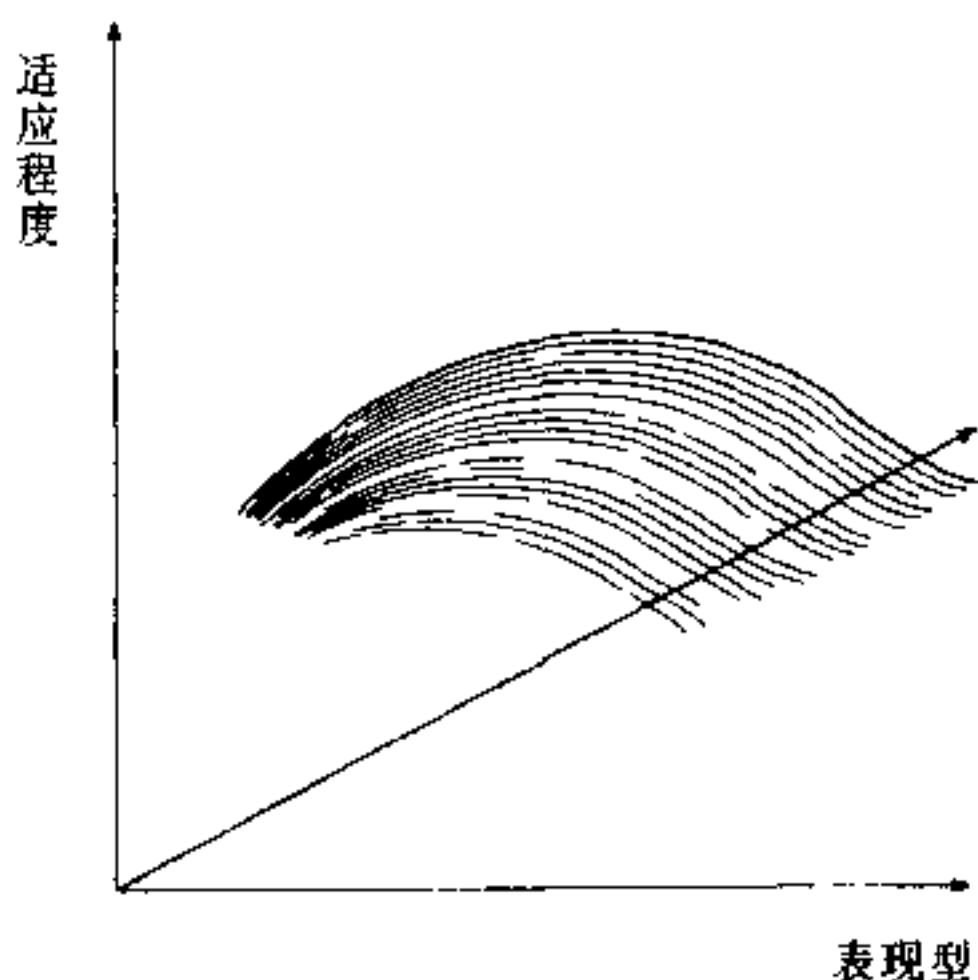


图 13 适应地形中只有一个波峰。

从这一地形来看，进化就像在爬这些小山的种群一样。一些不适应的兔子也许就像在适应的山谷中飘浮的由点构成的云朵一样。有些兔子会被吃掉，有些会继续繁殖，经过一代之

后，这朵云会产生一朵新的云。新的云朵一代一代地代替旧的云朵，由于不稳定的基因和无规律的突变，云朵也许会把几个点抛到比以前更高的位置。因为这些更健康的个体产生出更多的后代，云朵将向山上飘移，直到到达一个最高点。

到目前为止，我好像一直在说适应地形的形状只取决于所要考察的有机体。但是，它当然也受其他许多因素的影响，包括气候情况和与该生物体相互作用的树、鸟和细菌等所有其他物种的特点。一个青蛙种群也许处于其适应地形的局部高峰上，但是，如果一种以青蛙为食的蛇突然来到这一地区，青蛙的适应地形就要发生变化，它们会发现自己陷入了更深的适应山谷中。许多青蛙会葬身蛇腹。但是青蛙种群会很好地逐渐进化，发展出某种伪装，并且达到另一个局部适应高峰。

所以，由于物种之间的互应效应，任何一个物种的进化变化可能引发另一物种的进化变化。鉴于这种理论上的可能性，考夫曼猜想这种共同进化是否可以产生某些有趣的效果。不幸的是，生态系统的相互联系极其复杂，以至于没人能了解任何现实生态系统中物种适应地形的实际形状。然而，在上一章中，我们看到了磁铁的运动原理最终不是通过研究实物，而是通过研究过于简化的模型或游戏才得以了解的。由于普遍性的存在，这些游戏甚至最终描述了处于两阶段之间临界点上的实物运动的十分精确的图景。

在共同进化的情况中，考夫曼和他的同事 S·约翰逊决定采取一种类似的解决方法。

数码种族

为了使问题简单些，他们用 0 和 1 组成的序列来代表不同物种，并且设计了解一个计算机程序来了解这类物种的适应地形的动态以及它们在地形中的位置。对于每一个物种，他们都选择了最能反映实际适应典型特点的地形——尤其是包含许多高峰和低谷。考夫曼和约翰逊还让物种以尽可能简单的方式相互作用，因而，一个物种的进化变化可以影响另一物种适应地形。虽然大多数实际细节并不存在，他们仍依据共同进化的核心逻辑把事物组织起来。然后，他们便让电脑开始工作了。

开始时，他们的生态系统并没有出现什么有趣的事情。所有的物种都逐渐发展直到到达适应高峰，情况就是这样——再没有任何变化，这个游戏很是乏味。随着对游戏的熟悉，考夫曼和约翰逊认识到通过调控他们的生态系统——尤其是其波动幅度——他们可以使进化变得更为活跃。他们发现，当每一物种的地形不很平坦、又不至于太崎岖时，并且当一个物种对另一物种地形的影响恰到好处时，这一生态系统的运作与砂堆游戏一样。某一物种的进化变化可能触发一场生态系统中从只包含几个物种到几乎涉及到所有物种的共同进化的雪崩。⁵

事实上，在进行了很长一段时间的游戏之后，他们发现这种根据涉及的物种数量来评定雪崩的分布符合一种能量法则的模式。然而，在考夫曼—约翰逊系统中，至少当它经过适当调

控后，进化是不存在标准规模的。当一个物种逐渐进化时，这也许只是一次独立事件，也许会引发上百万其他物种也进行进化。更重要的是，在这个生态游戏中进化事件的记录与集体灭绝的记录十分相像——长时期的表面平静，不时被突然爆发的活动所打断。就像弗米处理他的反应堆一样，考夫曼和约翰逊已经把他们的生态环境调到了临界点。

这个游戏肯定给生物界中的共同进化提供了一个过于简单的观点。即使是这样，普遍性原则暗示出对于任何组织到临界状态的事物，大多数细节的作用都微乎其微。1993年，似乎是为了证实这一点，巴克和金·斯奈潘——他们二人都在哥本哈根的奈斯·鲍尔学院任教——发现，通过一个共同进化的、甚至更简单的游戏可以得出几乎完全相同的结果。我们还是应该较为详细地看一下他们的游戏，因为它可能是人们想出的共同进化的最基本的框架。为了观察它源自何处，我们需要再考虑一下适应地形进化的本质，爬山运动只是其中的一部分。

大多数真正的地形都多少有些崎岖不平，高矮不等的山峰中点缀着低谷，适应地形也是如此。结果，进入山中的种群不大可能爬到山峰中的至高点。相反，它几乎一定会沿着无数较小山峰中的一座向上攀登，然后被困在山头上，就像一个没带地图却试图攀登崎岖山脉的登山者。一旦这个物种到了那里，除非跳到最近的一座更高的山峰上，否则它就不可能爬得更高。这样的一次跳跃将花去多长时间呢？

要做到这一点，这一物种中的一些成员需要作“之”字形攀登，横越介于两山之间代表较差适应性的死谷。在每一代中，云朵都会向谷内投下几个新的变异品种。由于适应性较

差，这些变异品种通常只能活一代或两代。然而在罕见的情况中，一个品种会存活四或七代，甚至十代。最终，在这样的情况在某一代中发生的一连串极为罕见的遗传事件会使一系列变异品种越过山谷，在另一座附近山上的福地产下后代。这些后代和它的子孙不断繁殖攀登，最终将把整个种群带上更高的山峰（图 14）。进化论预计随着两峰之间距离的增大，这种跳跃所需时间会急骤增长。⁶

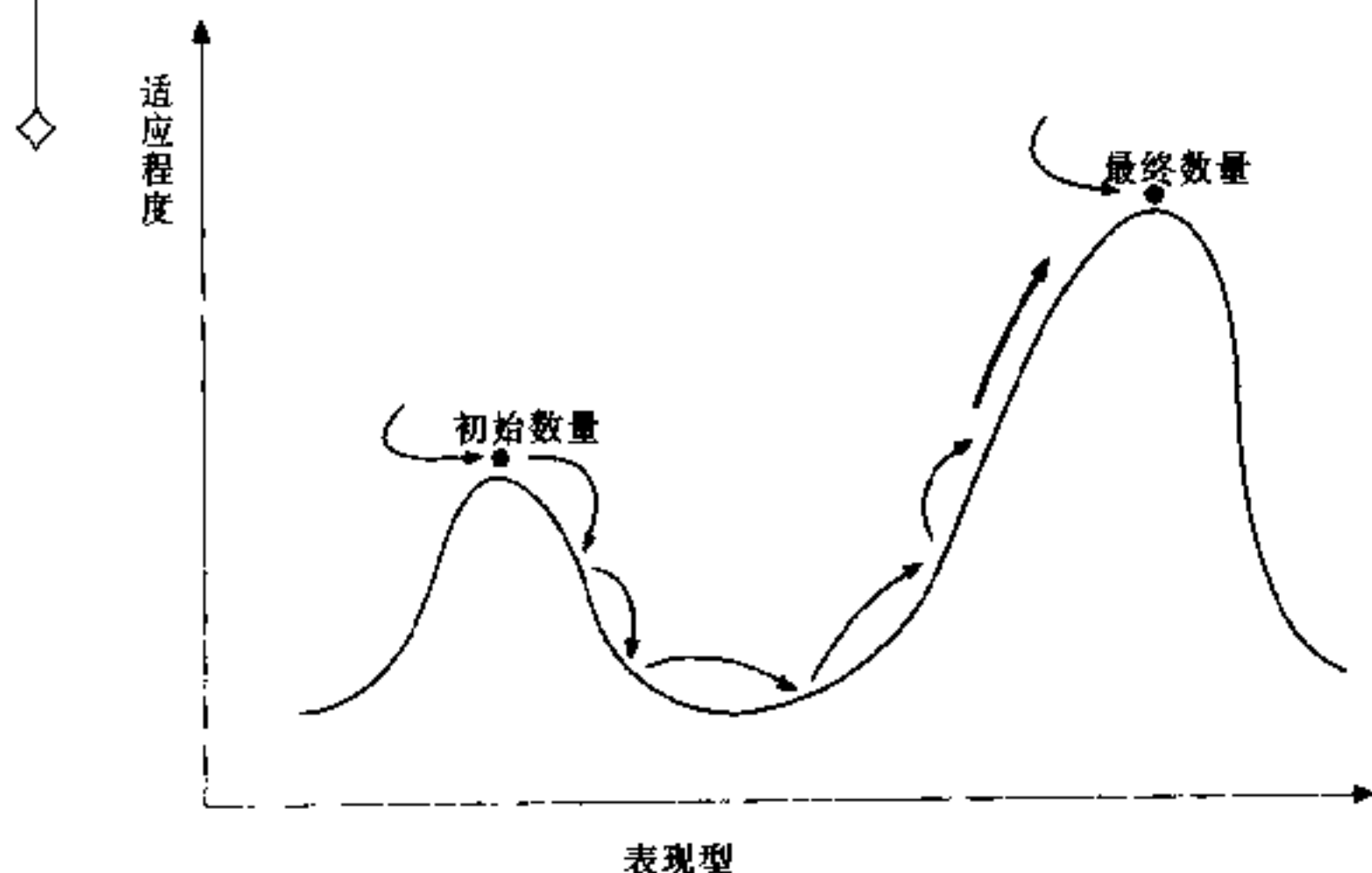


图 14 一个渴望到达适应山峰的群落只能通过突变越过介于两山之间、代表较差适应性的低谷。

换句话说，如果一个物种面临着一次较短的跳跃，它会在适当的时间内完成。如果它面对的是一次很长的跳跃，那么你就可以把它忘在脑后了——它会在那座山峰上被困很长的时间。巴克和斯奈潘充分利用了这一观点。他们认为，每一个物种在爬进山中后，都会爬到某一个局部山峰上，并且受两山之

间的峡谷的阻碍而无法移向更高的山峰。峡谷的宽度恰恰反应出物种向前进化的难度以及完成跨越将用的时间。由于在物种跳跃之前，一切都将保持原状，这些峡谷的宽度——每一个物种对应一个峡谷——就变得至关重要了。所以，巴克和斯奈潘把注意力完全集中到这些数字上，而忽略了其他的一切。

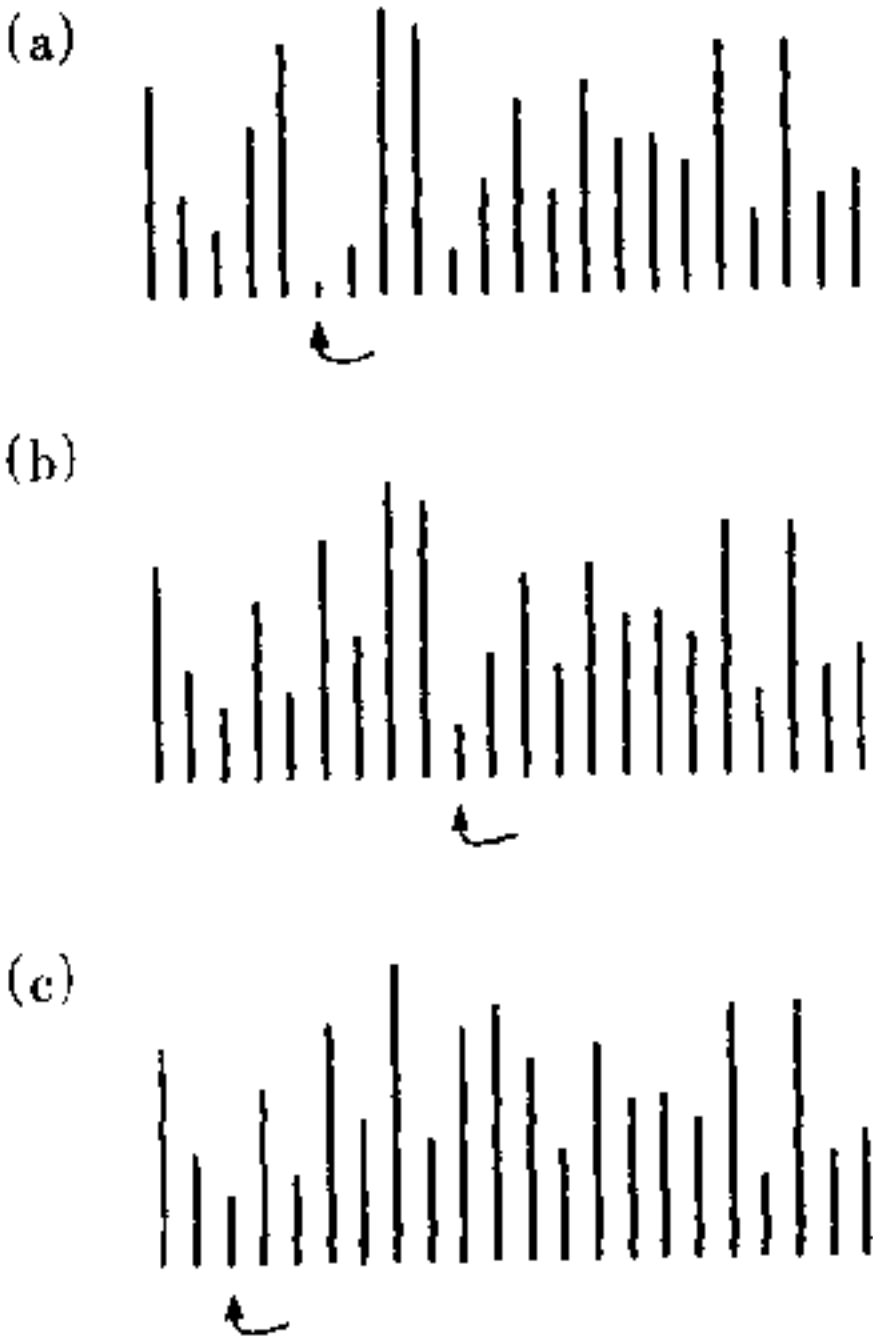


图 15 巴克—斯奈潘游戏的规则。从初始状态 (a) 开始的最短竖线 (以箭头标出) 和它左右两边的两条竖线都被新的任意长度的竖线取代了。每一次进化的连续过程 (b、c) 都用更长的、新的竖线取代了原来最短的，所以，全部竖线的长度就逐渐增加了。

临

界

◇

— — — — —

木棒和楔子

为了从他们的视角更直观地反映生态系统的状态，我们可以想像一捆木棒，使木棒长度分别与物种面临的不同的峡谷宽度相对应。为了进一步进行分析，巴克和斯奈潘假定这些木棒的长度在 0 和 1 之间。这个生态系统须按两条规则进行进化。既然较短的跳跃比长距离跳跃发生的机率大得多，那么最先跳跃的几乎一定是面临最窄的峡谷的物种。当这个物种完成了一次跳跃之后，发现自己处于一座新的山峰上，因而又面临着一个新的峡谷，这个峡谷或宽或窄没人能预料。所以，第一条规则是：找到处于最短的木棒上的物种，用另外已有的长度在 0 和 1 之间的任意木棒代替它。这条规则描述了物种如何自身不断进化。

共同进化的精髓在于物种相互作用。为了简便起见，巴克和斯奈潘假定每一种生物只能和左右两个最近的物种相互作用。当一个物种进化时，它打扰了邻近两物种的适应地形。它们原来处于山峰上，却突然滑了下来，所以，只得快速发展以达到新的山峰。这样它们就面临着新的峡谷。由此产生了第二条规则：当最短的木棒被换成任意长度后，其左右两边的木棒也要换成任意长度。做这个游戏时，你首先要随意选出一大捆长棒和短棒，来代表某一状态下的生态系统。反复重复这一过程，会发生什么情况呢？

最初，短棒数量较多。但是，由于每次最短的木棒和其周围两根棒都会被替换掉、木棒的整体长度就会增加。结果，所有木棒的长度都变为 $2/3$ 或者更大。此时，生态系统已经达到了一种相对稳定的状态，所有物种都面临着很宽的峡谷。现在生态系统需要等待很久才能迎来下一次进化跳跃。然而，在这一排木棒的某一处，有一根最短的木棒。如果等待的时间足够长，对应这根木棒的物种将跳到一座新的山峰上。

这一次单独的进化跳跃会改变一个物种的木棒，并且把它相邻的木棒改成新的任意长度。事实上，这三根木棒也许都会变得相当长，在这种情况下，生态系统又会被困于一种长期等待的环境中。但是在这三根新木棒中，很可能有一根比 $2/3$ 短得多（图 16）。如果是这样的话，那么对应这一木棒的物种，面对一个较窄的峡谷，又将马上进行跳跃。所以你可以把这根木棒和与之相邻的两根换成新的木棒。同理，这些新木棒中的一根很可能会很短，从而很快引发进一步的进化跳跃。通过这种形式，一场进化雪崩将席卷整个生态系统，直到最后，所有木棒的长度都碰巧大于 $2/3$ 。此时，雪崩已经停止了，所有物种又一次而对着宽阔的峡谷，到下次雪崩爆发还需等待很久。

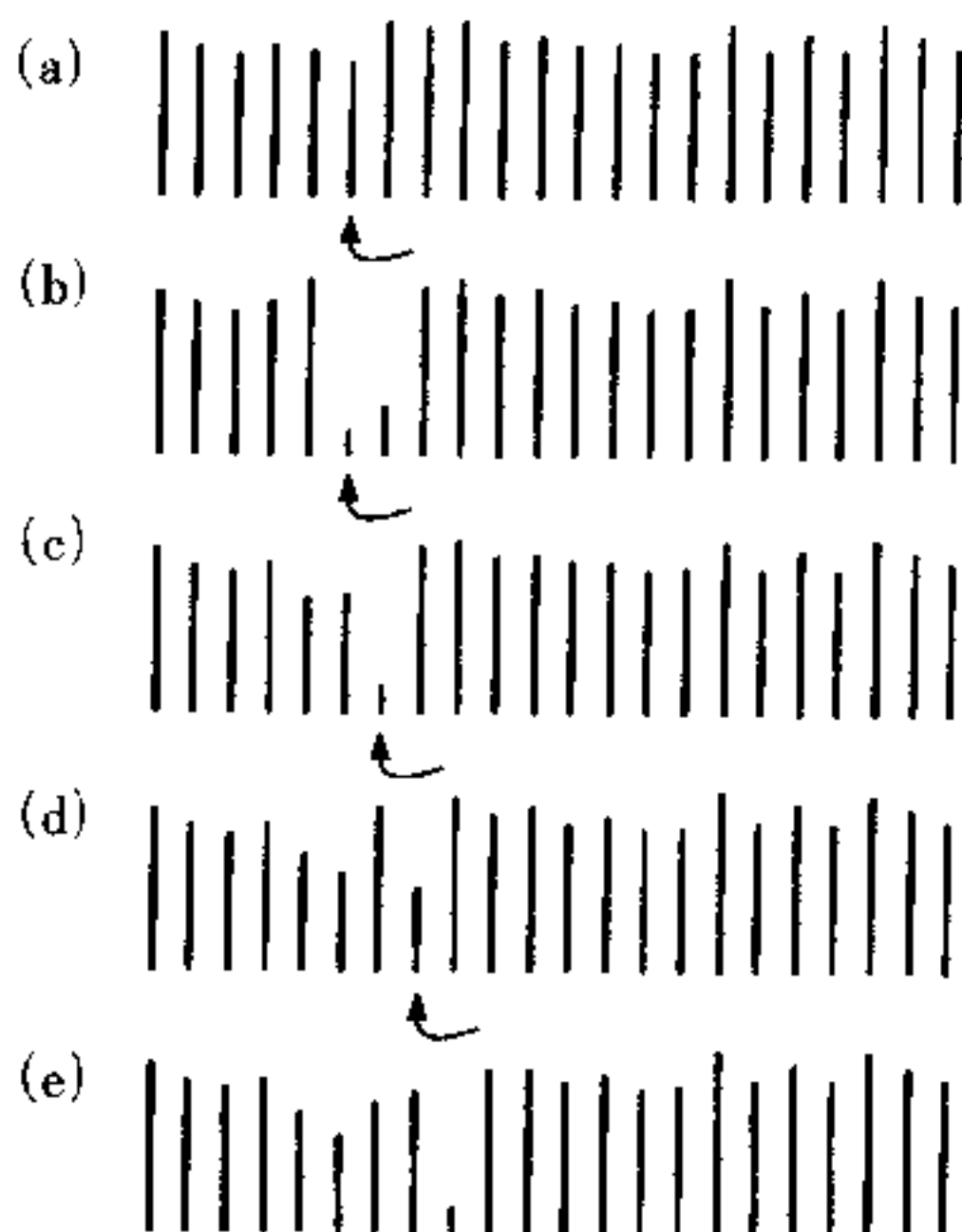


图 16 巴克—斯奈潘游戏中的雪崩。当一切稳定下来，所有木棒的长度都增至 $2/3$ 或者更大后，生态系统就处于一种临界状态中。这时，替换最短的木棒极有可能会触发一场席卷整个生态系统的替换雪崩。

所以，巴克—斯奈潘生态系统逐渐进化到一种所有物种都很难进一步进化的状态中。与此同时，即使某一物种的一步进化也可以使其他物种的状态变得不稳定，并且可以引发一场迅速席卷整个生态系统的进化的链式反应，直到系统再次稳定下来。尽管隐没了许多细节，考夫曼—约翰逊游戏在根本上有着与之相同的特点。两个游戏都表明生态系统的普通进化运动会

无法避免地引起没有明确原因的剧烈变动。这会是集体灭绝的真正原因吗？

很自然，生物学家由于各种原因批评了这两个游戏。⁷它们的确是对生命现实的过于简单的再现。正如我们以前看到的，根据普遍原则，反对一个模型的有效性是没有必要的。⁸然而，这两个游戏都存在着现实缺陷。例如，看了以上的讨论，你会发现两个模型都没有提到“灭绝”这个词。实际上，它们是不包含灭绝的共同进化的模型。当一个物种期望从一座山峰跃到另一座山峰时，它并不会灭绝，只是改变了表现型。雪崩也只是进化活动中的雪崩。

然而，很可能会有人反驳说，在一场进化巨变中，如果有一百种生物被迫转移到新的适应山峰上，一定有一些物种由于无法转移，而归于灭绝。如果这场巨变涉及到一千或一万个物种，相应会发生更多的物种绝灭。这就产生了一个物种灭绝的能量法则，同时也是进化雪崩的能量法则。很难说这是一个无懈可击的论证，但它确实很值得赞赏。总而言之，这些游戏表明全球生态系统处于一种临界状态之中，同时暗示出——但只是暗示——集体灭绝也许只是少见、但确实可能、并且自然的正常进化结果。同样，这两个游戏都只是对这个问题的解决做的最初尝试。

进化论思考

几章以前，我引用了生物学家弗朗西斯·克里克从个人经历中得出的结论：“大多数数学家都是心智懒惰的。”⁹我可以想像，他会对巴克、斯奈潘以及其他任何能从木棒构成的简易生态系统的结果中发现任何有价值的东西的人发表相同的评论。同样，克里克会对什么对“真正的”科学很重要、什么不重要持有更极端的观点。

他和哲学家丹尼尔·丹奈特曾经就理论简化在科学中，尤其是在模拟大脑工作的尝试中的价值进行了争论。进行这一工作的一种现代方法是基于中子网络之上的——由相互作用的“中子”构成的简单的数学网络，像真正的中子一样，这些中子在受到网络中其他中子的适当激发时便会释放出能量。除此之外，这些模型中的中子与真正的中子再没有别的相同之处。它们是理论家的中子，因为它们很简单，理论家才得以了解由中子构成的网络的特点，如果每一个单个的中子都极其复杂的话，那他们就不会取得任何进展了。克里克对这一整套研究方法的本质都持否定态度。丹尼尔·丹奈特曾说过，“这些人也许是优秀的工程师，但是他们研究的却是可怕的科学！这些人主观地忽视了我们已掌握的中子相互作用的知识，所以，他们的大脑功能模型毫无用处。”¹⁰

我怀疑没有什么生物学家、物理学家和科学家会总是停留

在这种层次上。如果牛顿不是忽略了关于地球的每一个细节知识，而只关注一点——它的质量受重力影响，那么牛顿也许永远不会了解地球的运动。他没有为地核和地幔的存在而烦恼，也没有在意由于潮汐的作用海水在地表晃来晃去。严格地说，他并不在乎这颗星球上的每棵树的确切位置和质量会被引入他的计算中。牛顿认为所有这些都不足以造成区别，在这一点上，他是正确的。¹¹即便是晃动的海水也不会给一年的时间长度造成一分钟的改变。

因此，考夫曼—约翰逊和巴克—斯奈潘游戏的实际问题就是他们是否忽略了太多细节。如果是，又忽略了多少。要回答这个问题，你可以把那些细节加进去几个，看它们是否能使结果产生很大变化。结果证明，没有很多细节，这些游戏也可能会奏效。如果说他们以共同进化的雪崩的能量法则形式记录了进化的自我相似性——这本身就绝对是一项很了不起的成就——那么，能量法则中表现出来的确切数字并不能与事实完全吻合。例如，在巴克—斯奈潘游戏中，每当物种灭绝的规模增大一倍，它不发生的机率就变为 2.14 倍，然而，化石记录显示，其真实的发生机率会降为四分之一。考夫曼—约翰逊游戏中的具体数字也存在类似的问题。所以，如果说这些游戏记录了一种临界状态的存在，以及生态系统的高度敏感性，那么它们的细节却有失真实。

到目前为止，在应该把什么细节加回到游戏中的问题上，科学家们还没有达成共识，但是麻省理工学院的物理学家卢依斯·阿马拉尔和波士顿大学的物理学家马丁·梅尔提出了一种很值得注意的可能性。巴克—斯奈潘生态系统的一个奇怪的特点

就是，所有物种都有着同样的本质，不存在猛兽或猎物。真正的生态系统当然是有层次的：物种之间存在着食物链，有些物种在上层，有些则接近底层。1999年，阿马拉尔和梅尔发明了一个更注重食物链存在的简单游戏。他们的模型确实不比巴克和斯奈潘的复杂多少，但准确无误地得出了能量法则的精确数字形式——这证明了食物链的存在是一个很重要的细节。

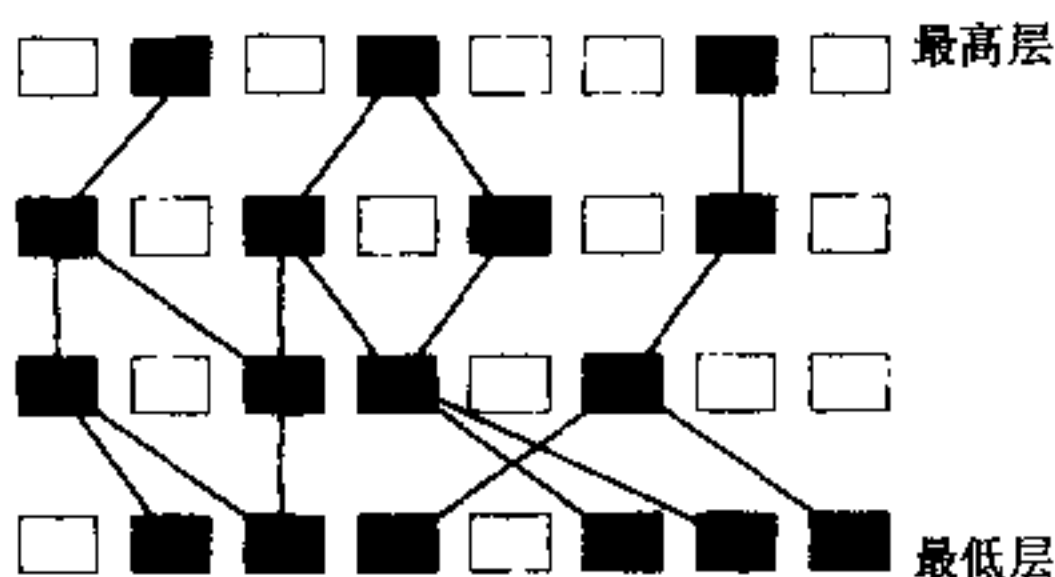


图 17 阿马拉尔—梅尔的食物链。在一个层次上的每一个物种都以下一层中的一个或多个物种为食。最底层上的物种灭绝会沿食物链引发进一步灭绝的雪崩。

在他们的游戏中，一个生态系统有六个层次，从最高层的肉食动物到最低层的猎物。在每一层次上，有一千个生态龛：也就是可以被某一物种占据的位置。假定一个层次上的每个物种都以下一层上的一个或几个物种为食。开始，阿马拉尔和梅尔在最下层的一部分生态龛内填上物种，并让它们按照几条简单的规则开始进化。

在每一步时间进程内，每个已存在的物种都有一定可能会产生一个新物种，并让它占据本层次上、或与之相邻的层次上的任意一个空着的生物龛。这就使得低级生物最终扩散开来，

填满了食物链。每一个新生物种自动选择下一层中的几个物种来作为食物（图 17）。同时，在每一步时间进程内，最底层的一部分物种会逐渐灭绝。你可以把这些个别物种灭绝归咎于气候变迁、一些肉食动物的过于热切的补食需求，等等。这一点根本不成问题——生物学家知道个别的物种灭绝可以由许多种不同原因导致，在阿马拉尔—梅尔游戏中重要的是接下来发生的事情。最底层的一个物种灭绝会影响上一层的物种。较高层次上的一部分物种会发现，它们通常作为食物的所有物种都消失了。在这种情况下，这些较高层的物种也会随之灭绝。这一影响将沿着链条向上传递，因为上层物种同样会发现它们所有的食物来源都已断绝。

从本质上讲，这个游戏随意制造了一张食物网，允许底层的几个物种在任意时刻绝迹，再将这些影响向上传递，使之波及整个食物网。

这个看似普通的过程却产生了令人震惊的结果。食物链可以很自然地自发组织到临界状态，这时在底部附近的一次不显眼的物种灭绝就足以触发一场任何规模的后继灭绝的雪崩。更让人惊讶的是，每当一次灭绝的规模扩大一倍时，它发生的机率就减为四分之一，这与真正的化石记录完全吻合。

因此，看起来生态系统正常的内部运动——以一种或另一种形式——可能确实是集体灭绝的原因，而临界状态的组织则是生态系统的一个主要内部特征。它似乎不仅决定着系统的短期生态动力，而且还影响着它们的长期进化运动，导致了在化石记录中发现的独特图案。把物种灭绝按其表象分为集体灭绝和背景灭绝，这也许完全是一个谬误。

然而，这种观点还有美中不足。《新科学家》中一篇文章的作者曾经宣称“任何问题，无论多么复杂，当你正确地审视它时都会变得不再复杂了。”¹²他正可以举集体灭绝的例子来证明自己的观点。

外部的影响

处于临界状态、并且有待于发生剧烈波动的全球生态系统的模型在概念上是简洁的，并且与化石记录完全吻合。但是，为了使你对关于集体灭绝的起源的当前思考有一个公正的认识，我应该谈一下另外一个理论游戏的令人迷惑的结果，因为这个结果得出了完全不同的结论。

1995年，科尔·奈尔大学的物理学家马克·纽曼发明了一个简单的物种灭绝游戏，在这个游戏里物种之间根本不会相互作用。¹³换句话说，它完全脱离了内部生态动力，而假定一次物种灭绝的真正原因是外部对它的冲击。正如我们在上一章中看到的，多数化石学家认为这些冲击表现为气候变迁、小行星相撞，等等——是集体灭绝真正的罪魁祸首。纽曼的模型对理解这个老观点起到了一定作用。

在巴克和斯奈潘的启发下，纽曼尽力把由外力导致灭绝这一逻辑简化到了最基本的形式。在他的游戏中，地球上的每个物种都有一定的存活性——衡量物种在外界冲击下的存活能力是一个0和1之间的数字。同样，我们又可以设想出一排木棒。纽曼想像有一组连续冲击力撞击着地球，每个力都对物种施以任意压力——0到1之间的一个数字。你可以把每一个压力想像成组成木棒集合的任意一根衡量棒。所有不够长的木棒都被拿掉，由长度在0到1之间的新的木棒来代替它们。新木

棒代表着因普通进化而填上空白生态龕的新物种。

生态系统的这种不断筛选，易于剔除大多数存活性较差的物种——它使木棒变长。纽曼还假定在冲击的间隙，一小部分存活性较好的物种（对应没被剔除和替换的长木棒）会改变它们的存活性。这其中的逻辑很简单。物种的进化是为了适应它们身边的环境条件，而不是为了迎接冰川期、小行星碰撞或火山爆发。一个物种越来越适应周围环境，当突然面对外部巨变时便很难存活。因此，当进化在冲击的间隙发生时，物种的存活性将发生或高或低的变化。纽曼将一小部分剩余木棒换成了新的任意长度的新木棒，以此来显示这一影响。

这就是整个游戏。你可以用一捆任意长度的木棒开始做这个游戏，但要遵守这些规则。游戏中惟一可调控的特点就是撞击生态系统的冲击力的大小。这些力是任意的，你可以随意选择大小冲击力之间的相对比例。可以有許多冲击力释放出接近1的压力，而只有几个压力接近0，反之亦然。这个游戏最显著的特点是，其运动显示出与普通性很相似的特点，因为无论我们选择哪一种冲击力分布，游戏都以同一方式运作。其系统自行组织，所以下一个作用到系统上的压力产生的效果是无法预测的。也许只有几个物种会绝种，也许几乎所有物种都会灭绝。实际上，这个游戏得出了一个物种灭绝规模分布的能量法则，它与化石记录完全吻合。

这个简单游戏的深刻意义在于，它表明冲击力分布的实际细节对灭绝记录没有多大影响。气候变迁、火山喷发和小行星或彗星的偶尔相撞一定会对世界生物群落造成影响。然而我们却并不了解这种或那种冲击的确切后果，这种冲击的发生频

率，以及它们的破坏力。我们也许会对了解它们对地球生物的长期影响不抱任何希望。但是根据纽曼的研究，似乎不需要对确实袭击地球的冲击力了解太多，我们就可以计算出它们的长期后果。不需要了解什么信息，我们就可以知道一些情况。

当谈到集体灭绝时，一切都变得越来越混乱了。鉴于纽曼的游戏，集体灭绝的根源究竟在于外部还是内部冲击也不得而知。当前，在这一领域上所作的研究的目标之一就是对这些游戏作进一步探究，观察它们在数学表象上的细微差异是否可以在化石记录中探测出来，从而使问题得到解决。即使纽曼的游戏无法使我们得出一个关于集体灭绝的大胆的最终结论，但它却奠定了本书的广泛主题之一的的基础。

我们已经看到许多事情确实可以自发组织到临界状态。但是，非均衡物理中所包含的却远不止是对自发临界状态概念的所暗示出的内容。从技术上看，纽曼的游戏无法自发组织到临界状态。然而，它的确体现出能量法则、不规则碎片形，以及同样的极端敏感性，表现为一次普通的一般打击就足以引发比它大得多的剧变。更重要的是，在临界状态下，这种敏感性会在极其广泛的条件下自然而然地产生。在那些失去均衡状态的事物和历史发生影响的事物中，会有一些模糊的特征不断出现。

正是这些事物使一门新兴学科的发展成为可能——一门用来调试历史上所有学科背景的理论学科。在地球物理学和生物学中，这些观点已经显现出来。但是历史涉及的范围更为广泛，尤其是它几乎涉猎到人类的各项活动。不幸的是社会变化是很难精确计数的。政治革命和新式浪潮影响了我们每一个



人，但要像测定磁石波动和地壳振动那样对之进行精确测量却很难办到。

我们可以从分析金融市场入手，在这一领域中，几十年来，股票和债券的价格一直每隔几秒钟就被记录一下，那里有惊人的大量数据，在这一环境下，我们应该转回到第1章中提出的问题：地震，集体灭绝和股市崩溃在什么意义上属于相关事物呢？

注释：

1. 厄姆伯托·埃科，《善于无意中发现新奇事物的天赋》，第21页（威顿菲尔德和尼克尔森，1999年）。

2. 彼得·尤德兹斯，《扰乱实验中观察到的生态相互作用中的未定状态》，《生态》，1988年。

3. 关于这一点，查尔斯·达尔文曾经推断，“在一个地区，猫科动物的大量存在也许会决定……那一地区某些花的密度。”老鼠喜欢搜查大黄蜂的巢来寻找食物，因此，老鼠数量增多会导致黄蜂数量减少。猫喜欢吃老鼠。因此，猫的数量增多会减少老鼠的数量，而增加大黄蜂的数量。由于蜜蜂给红色三叶草和紫色、金色三色紫罗兰传粉，有更多的大黄蜂就意味着有更多的花。通过这种未预料的但又相当直接的途径，英国人在家喂养猫的嗜好，给他们带来了更漂亮的花园。见乔斯琳·基瑟《老鼠和蛾子——以及淋巴疾病？》，《科学》，1998年。

4. 蒂莫西·基特和吉恩·斯坦利，《北美饲养鸟类物种动力

学》，《自然》，1998年。

5. 斯图尔特·考夫曼和 S. 约翰逊，《处于混乱边缘的共同进化——成对的适应地形、悬垂状态和共同进化的大量涌现》，1991年。另：斯图尔特·考夫曼，《秩序的起源》（牛津大学出版社，1993年）。

6. 例如，假设每一个罕见的遗传事件在一年内的发生机率为1%。那么，迅速连续发生3次的机率就是1 000 000分之1，连续10次的机率就是 10^{20} 分之1。随着跳跃距离的增大，完成长距离跳跃的可能性就急骤下降了。

7. 巴克在描述这个模型时，经常不很明显地谈到“一个物种的适应性”。为了使讨论变得更简单，他用勾号的长度来代表“物种适应性”，而不是用一个物种进一步发展所需跳跃的距离来代表。这相当于一块给公牛的红布，因为适应性——至少对于多数生物学家来说——不是一件可以适当地被分配给物种的财产。正统的（虽然也是有争议的）观念认为既然进化发生在个体层次上，那么适应性就只适合于个体。然而，在这一点上批评巴克—斯奈潘游戏是毫无意义的，因为在该游戏的正常形式中，并没有提及物种的适应性。

8. 由于巴克—斯奈潘游戏看起来是查尔斯·达尔文自己最初设想的一个游戏的在数学上极好的课本。达尔文在《进化论》中写道，“自然的面貌可以被比做一个高低不平的平面，有一万个尖锐的楔子紧密地排在一起，并被不断地向内捶击，有时会是一个楔子被击中，有时是另一个。”和达尔文一起想像一下，几个楔子被向上打入木质屋顶。每一个楔子代表一个物种，它的深度代表物种的适应性。木头不是一种绝对有序的



材料，因此，每一个楔子将受一种不同的固定力“维持”位置上。有些将被固定得更牢，不易进一步捶入。现在假定那个捶击楔子的人随意走动，先是轻轻敲打楔子，然后加大力量直到一个楔子终于动了。它将很有可能是受到最小固定力的那个楔子。捶击之后，它将被埋进更深，并且受到一种新的固定力作用，这个力与以前的相比或许强或许弱。捶击者又开始工作了。如果我们再进一步假设，当楔子被捶动时，它的运动也会改变与它相邻的楔子的固定力——达尔文一定这样认为——既然一个木楔的存在改变了其周围木头的压力，这也是一个相当合理的假设，那么这个游戏便完全重塑了巴克—斯奈潘游戏。

9. 弗朗西斯·克里克，《多么疯狂的追寻》，第 136 页（威顿菲尔德和尼克尔森，1988 年）。

10. 丹尼尔·丹奈特，《达尔文的危险观点》，第 101 页（企鹅，1995 年）。

11. 当然牛顿只是想发现基本运动定律。如果他是在往月球上发射火箭的话，他一定需要考虑更多的细节。

12. 保罗·安德森，《新科学家》，1969 年 9 月 25 日，第 638 页。

13. 马克·纽曼，《自发临界状态：进化以及灭绝化石记录》——皇家·社会，1996 年。

内心狂热

年复一年，经济理论家接连创造了许多数学模型并且详细地研究了它们的表面特点；计量经济学家使各种可能形式的代数功能与同它完全相同的数据相匹配，而没有再向前发展，或者对真正经济系统的结构和运作进行系统的感性理解。

——威塞利·伦蒂夫¹

佐伯曼定律：经济越差，经济学家就越优秀。

——艾尔弗雷德·佐伯曼²



在经济学家中流传着这样一个笑话：“经济学家就是领着薪水而对经济作出错误预测的、受过训练的专业人士。”另一个笑话说：“在最近发生的五次经济衰退中，经济学家已成功地预测出了九次。”如果这些笑话一点不反应真实情况的话，当然也就毫无幽默可言了。1995年，“英国经济”咨询处把三十多家英国顶级经济预测团体最近所作的预测数字卡片进行了比较，这些经济预测团体包括财政部、国家研究所和伦敦商学院。伦敦商学院的约翰·凯在《金融时报》上总结了咨询处的发现资料：

有一个由来已久的笑话说：“关于经济未来的不同观点就像经济学家一样多。”事实却正好相反。经济预测者……总是都同时讲着大致相同的事情。他们的一致程度着实令人震惊。……他们的话几乎总是错的……在过去的七年中，经济学家达成共识的预言没有猜中任何一次最重要的经济发展——20世纪80年代消费繁荣的力度与平息，20世纪90年代经济萧条的深度与持续、或者1991年以来经济的大幅度持续下滑。³

当然，英国经济很难预测，这并没有什么奇怪的，也不是这些学院中的经济学家驽钝。年复一年，在全世界，各国经济预言家都在做着贡献，然而其结果却只能被称为一次失败预测的齐奏。1993年，经济合作与发展组织（经合组织）分析了1987年至1992年间美国、日本、德国、法国、意大利和加拿大政府，以及国际货币基金和经合组织自己所作的预测。他们得出了什么结论呢？这项分析不仅显示出这些组织的每一项预测都极端不准确，而且表明，如果丢掉了所有复杂的经济模型

而只是简单地判断每年的数字都会与上一年持平，他们倒会对滞涨和国民生产总值作出更好的预测。⁴一位备受尊敬的金融分析家在概括上一世纪的预测时作了这样的结论：当经济学家、卓越的投资人和引用他们的话的记者在对任何涉及到钱的事情作出预测时，他们并不是不时地出错，事实上他们从来就没有正确过。”⁵

然而，主流经济学家似乎很信任政府和中央银行通过调节“政策杠杆”驾驭经济的能力。在《华尔街期刊》和《金融时报》上，经济学家、商界人士和政府的金融部长们一直在无休止地争论如何最好地调节公众消费税率之类的问题。当然，这种观点也许会有一定的正确性：如果联邦储备银行明天把利率提高几个百分点，这似乎极有可能成为美国经济的一个发展障碍。同理，降低税收将推动消费。⁶同时，我们也很容易看到，一些经济学家有时对经济的可控制性过于乐观。1998年，麻省理工学院的一位经济学家在评论活跃的美国经济时写道：

“这一发展将一直持续下去；美国经济在未来几年内都不会出现萧条。我们不希望、不需要有萧条，所以也就不会有……我们掌握了使当前发展持续进行的工具。”⁷

如果事实果真如此的话，为什么我们从前经历过萧条呢？如果经济这么容易控制，为什么经济学家无法更好地作出预测？混乱的1987年，股市暴跌又怎能突然来临，弄得人们猝不及防？它究竟又是怎样发生的呢？

与经济可以被控制这一盛行的观点相匹配的是，深信任何突然剧烈的振动一定有某种确切的、可识别的原因。我们在第1章中看到，对于1987年的股市暴跌，许多分析家把矛头指

向了电脑化贸易。正如人们把 1929 年的股市暴跌归咎于超额借贷一样。1997 年，也是在事后解释中，经济学家指出，巨大的外债是经济奇迹突然发生的根源，于是就出现了令人难以置信东南亚“虎势”经济。

由于有为数众多的人参与各种经济，每个人都怀有自己的个人观点和战略、希望和理解，还有同样多的公司和组织，都在为各自独立的目的而竞争，预测经济未来的难度就可以理解了。同样，我们已经在前几章中见到了类似的模式。因此，在被吓得举起双手，并且把所有这种不妥协归咎于人为原因之前，我们有必要先看一下是否有一种更简单的理解。正如我们已经看到的一样，大地震、森林火灾和集体灭绝都只是在非均衡系统中普遍存在的、可以预想的大规模变动。为避免这些事件的发生，人们被迫改变了自然法则。

当然，探索经济领域就要脱离物理和生物法则。你无法用数学方法去捕捉一个真人的智商或奇想，更不要说上百万人，甚至无法模拟他们最初级的情感、梦想和愿望。与磁石和严格按物理法则运动的地壳不同，人类的行动是有所选择的。同时，观念、感情、愿望和期待是很容易传播的，正如一块极微小的磁石会影响与其相邻的磁石的阵营，一个人或一家公司的行为也会影响到别人或其他公司。我们对临界状态又了解多少呢？我们知道，其组织与所涉及的事物的本质的确毫无关系，而只取决于影响从一个事物传播到另一事物的方式。

临界状态也会潜伏在人类社会系统的运作中吗？华尔街每天都会产生大量数字，由于临界状态是以一种数字模式表现出来的，金融市场就为寻找这一状态提供了一个良好的场所。

追溯基本规律

在经济可以被明智地改良、调节和控制这一普遍观点背后，存在着一个被称为“有效市场假说”的经济理论核心观点。尽管一位经济学家最近把它称做“经济理论史中最明显的谬误”⁸，其他许多经济学家仍继续毫不犹豫地接受着它。⁹这一观点认为市场中的每个人总是按他们首要的自我利益行事的。更重要的是，正如最近一位作者在其论文中描述的那样：

投资者大军无法控制自己的贪婪，他们争相欣然获取即便是最小的可利用的信息优势，在这一过程中，他们把信息纳入市场价格，并很快丢掉了引发其行动的获利机会。¹⁰

该观点认为，如果一种股票价格过低，人们将大量收购它，以便以后抛出赚钱。随着需求的增加，价格不断上涨，直到股票不再便宜，均衡状态也就重新恢复了。

在一个有效的市场中，供给与需求完全相符，价格总是反应适当的价值。也就是说，价值符合内在的“基本规律”。如果你赢得了股份，你就会获得效益，股票的真实价值——一个讲道理的人愿意为其出的价——应该取决于该公司未来发展、获利和支付丰厚红利的现实期望。因此，纽约股票交易所的价格应该反映出股票真实价值的基本事实。如果一家公司犯了一个愚蠢的错误，或者如果法律有所修改而使它处于一种竞争的不利状态之中，那么基本规律就会被改变，它的价格也应该下

跌。

基于这种观点，经济学家们欣然承认，市场价格应该温和而不规则地上下波动。没人能预测出价格将如何变化，因为“刚见报的”信息会通过影响内在的基本规律而引发这种变化。会有什么新技术进步或公司政策中的妙计即将诞生呢？然而，随着新信息的渐渐涌入，价格应该作相应变化，并且，总能将经济带回均衡状态中，也就是平衡中。

在这个有争议的观点中，经济就像是一盆水。在极微小的层次上，水中发生的一切都是一团糟，每个分子都在做着各种各样的疯狂运动。但在均衡状态中，所有这些显微镜下的混沌都被综合了。把水盆倾斜一下，你会很容易地判断出水将重新平稳下来，因为它遵循着物理法则，会寻求一种均衡。与此类似地，在经济中，例如拉动杠杆以增加利率，将打乱市场中每一个有推理能力的人的操作。由于借贷利益下降，每个人和公司都会多借、多花一些钱。这会刺激经济，而这种状态，很快就会通过高产出之类的现象而重新达到均衡。

但还有一个问题：没有什么均衡思想能够对诸如 1929 年和 1987 年股市暴跌之类的巨大而突然的变故作出令人满意的解释。是什么导致了 1987 年道·琼斯工业平均指数的市值在一天内下跌了 22 个百分点以上呢？道·琼斯工业指数是少数几家分散在各个领域、并可显示整体经济活力的公司的股票平均值。正如一位经济学家指出的那样：很难相信，基本规律上的一项突变竟会使代理商在半天内也就认识到未来利润会下降 20% 以上。然而，这就是对于全球股市 1987 年事件，我们所要争论的问题。¹¹

面对这种令人难以置信的观点，大多数分析家谴责前面提到的计算机贸易。许多人似乎都对这个特别的解释深信不疑，甚至确信由于问题已经解决，不会再有危机发生。1998年，两位知名经济学家在《华尔街期刊》上针对这种电脑贸易程序写道：“结构脆弱的根源即使没有完全、也已被大体上纠正了……1987年发生的惊险事件几乎不可能重演。”¹²

然而，过去十年中进行的数学研究却得出了不同的、令人不大舒服的结论。数字显示，突然剧变根本不是完全不可能发生，而是事实上无法避免的，市场价格的大波动与有效市场假说所代表的一切完全不符，它们似乎产生于自然、内在的市场运作，因而即使没有“结构脆弱的根源”或基本规律的突然改变来引发，它们也会时不时地突然爆发。原因也许很简单：市场与均衡状态还相距甚远。

难以控制的波动

1900年，一个名叫路易斯·巴彻列尔的法国人向巴黎的高等师范学校全体教职员工提交了一份题为“投机的理论”的一篇奇特的专题论文，巴彻列尔的专题论文并未引起教师们的重视，他最终也没能在那里谋得一个学术职位。¹³

也许教授们只是因为他没有针对理论或实验物理的传统题目之一开展研究，而感到失望。与他们的愿望相悖，巴彻列尔试图构想出价格运动的数学理论。

假设今天，一磅棉花的价格是10英镑。一个月后的价格又会是多少呢？当然，谁也无法肯定。这是一个有关统计和概率的问题。巴彻列尔指出，如果你以一个月为周期多次记录棉花价格的变化，这些变化将会形成一条我们在第3章中见到的钟形曲线（见图18）。既然钟形曲线适用于自然界中的许多事物，这看来也不失为一个很好的推测。从整体看来，价格涨落持平，曲线的波峰跨越零点两边，很可能“毫无变化。”我们应该记得，钟形曲线的两边下降得非常快。这与巴彻列尔的观点——价格变化比较显著，极少有某种典型模式存在——正好相符。

巴彻列尔认为，从总体上看，价格是在悠闲地“随意漫步”，每个月的数字都会以很小的量向上或向下浮动，这个数学图像产生的图表与真实价格图表惊人地相似。巴彻列尔无疑

应该在他的教师委员会上得到更多的尊重。

实际上，直到半个多世纪以后，他的价格浮动理论才第一次出现有麻烦的迹象。

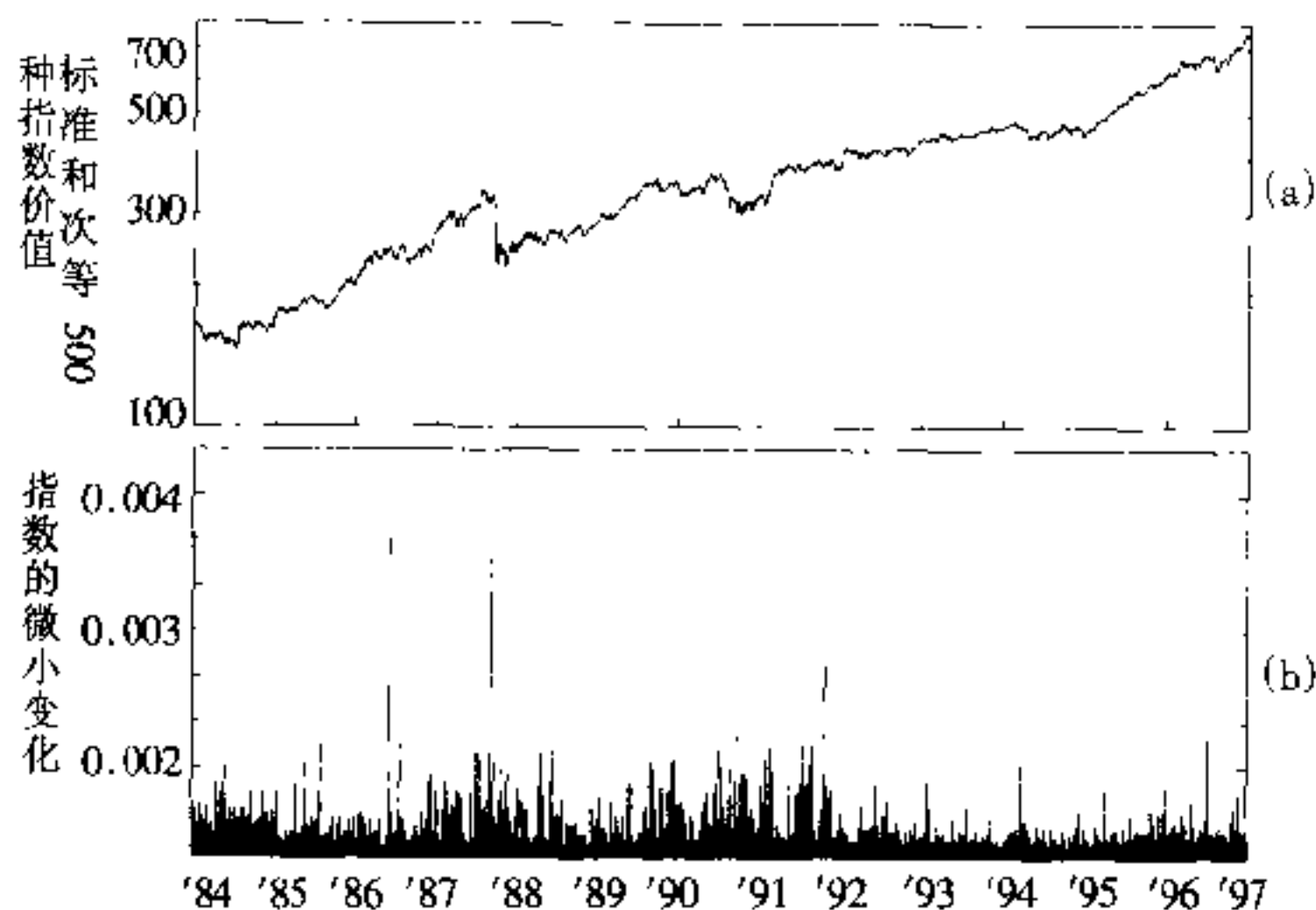


图 18 1984 年至 1997 年标准的和次等的 500 种股票指数（标准和次等 500 种）每分钟价值 (a) 表现为，在一渐增趋势上存在着无数小的起伏。要把这些浮动清晰地表现出来，我们可以忽略其趋势，并且不考虑在任意时间间隔内价格是涨是落。这样就产生了一个只显示每分钟间隔内发生的价格变化（以百分比形式）的整体模式的图形 (b)。（图像摘自 Y·刘及其他人的《价格浮动无性的统计特点》，物理·评论·E，经许复制。）

正如我们前面看到的，1963 年，曼德布罗特开始追踪棉花价格的涨落，他在研究自我相似性的独特结构时受到羁绊，这也使他最终开创了不规则几何学。如果把价格变化的任何一

小段记录延展开来，它又会同整个记录十分相像。这是自我相似性的一种体现方法，但是曼德布罗特还发现了第一种。巴彻利尔认为价格上下变化确实是无常的这一观点是正确的。曼德布罗特发现如果这个月中价格上涨一点的话，这并不意味着下个月它更有可能继续上涨，还是下跌。价格的确是在随意漫步。但是当曼德布罗特研究那些无规律变化的规模分布时，他观察到结果一点也不像巴彻利尔的钟形曲线。¹⁴相反，他发现价格变化遵循一个能量定律。因此，不像巴彻利尔假设的那样，价格变化并没有一个“标准规模。”

20 世纪 90 年代，研究人员利用计算机对全世界的股票和外汇市场中的价格浮动进行了一次彻底调查，在所有情况中都有相同的发现：能量定律和剧烈变动都没有固有的规模。例如，1998 年，波士顿大学的物理学家吉恩·斯坦利领导了一个研究小组，分析著名的标准和次等的 500 种股票指数的浮动。¹⁵这个指数建立在纽约政券交易所中五百家公司的股票价格的基础之上，是整个市场的惟一尺度。斯坦利和他的同事们研究了从 1984 年到 1996 年的 13 年间每隔 15 秒种记录的价格——令人难以置信的总计四百五十万个资料点。这些年间的指数呈现出一种漫长、缓慢的上升趋势，伴随着无数不规则的起起落落（图 18a）。

为了体现出这种浮动，我们可以忽略其趋势，并且不考虑在任意时间间隔内价格是涨是落。这样就产生了一个更清晰的图形，只显示出每分钟间隔内发生的价格变化的总体规模（图 18b）。这个图像显然具有一种钉子的特点。斯坦利和同事们仔细观察了这些价格波动后，发现每当价格变动的规模扩大一

倍，其发生机率就变为原来的十六分之一。要知道重要的不是这个能量法则中的数字，而是其规则的几何形式，因为它意味着在大、小变动之间没有质的不同。

这条能量法则暗示出，典型的浮动是不确定的，因此我们没有理由认为向上或向下的最大摆动有任何异常。这些也只是正常的商业活动而已。认为突然、巨大的变化需要解释，这种观点并不能站住脚——这与我们的直觉相抵触。科学家有时称能量法则的分布有着“粗尾巴”，因为与钟形曲线相比，能量法则曲线的两边并不是迅速下降的。其分布的两边对应着很极端的事件，当某个事物按能量法则运动时，极端事件就不是完全不可能的。事实上，把它们称做“极端的”甚至也是不妥当的。

一个类似的能量法则模式反映出标准和次等指数中每分钟、每小时和每天的浮动以及几千家独立公司的股票价格的涨落。¹⁶其他研究人员在其他股市¹⁷和外汇市场¹⁸中发现了类似的能量法则波动，因而大幅度波动似乎是各类市场中的一个普遍特色。研究“原始”价格变化只是探寻波动的一个方法。

斯坦利小组还将他们的注意力转向了行市的不稳“涨落”，这是一个衡量价格狂乱程度的尺度，也是股市投资者关注的另一个量值。他们的计划就是记录以分钟为单位的 price 变化。

再将这一记录分割成几个小时的“窗口”。那么，你就可以算出每个窗口内每分钟价格浮动是多么猛烈而有活力，从而了解到这些浮动自身是如何增强和减弱的。一张涵盖标准和次等指数的这些数字的图表，显示出行市在有些时候比另一些时候要平稳得多（图 19）。为使问题进一步深入，你甚至可以观

察一下这种不稳涨落中的浮动——也就是，行市在紊乱时期和平稳时期相互转换的活力和不稳定性。同样，研究人员在这里发现了关于恒定的能量法则：行市的浮动中，不存在典型的紊乱状态。甚至不稳涨落本身也是极其不稳定的。¹⁹

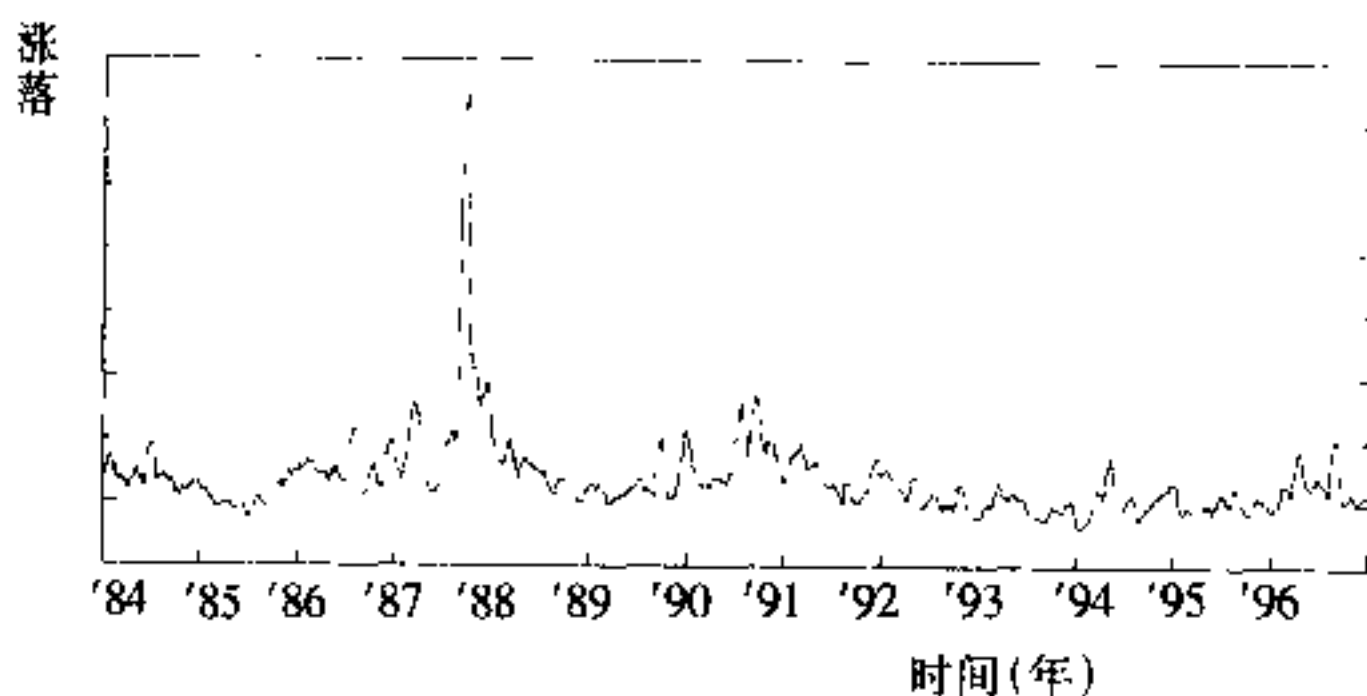


图 19 以分钟为单位的价格变化规模。平均一个月的间隔可以让我们看到行市波动是否有的时候比其他时候更为猛烈。它一定会起到这种作用，波动的幅度甚至也相差悬殊。（图像摘自 Y·赖粤及其他人，《价格波动无常变化的统计特点》，物理·评论·E，1999 年。经许复制。）

所有这些紊乱的浮动都违反了有效市场假说和行市处于均衡状态这一概念。在均衡状态下，浮动应该像巴彻列尔认为的那样：很小。是什么使浮动这么大呢？

人 群

正统观念认为，人们总是判定自己合理的个人利益并以此来指导行动的。对于一个不是经济学家的人来说，这听起来很奇怪。正如经济学家保罗·奥米罗德描述的那样：在正统经济理论中，在任何具体市场中的代理商……就是允许他们的行为受其他人行为的直接影响……而且无论其他人如何行动，他们的爱好和倾向都被视为是不变的。²⁰

要了解这一观点的荒谬，我们应该考虑一下拥有几十亿美元资产的广告业。它完全超越了所谓广告商只是为我们提供信息、以便于我们作出更好选择这种幼稚的认识。广告会产生良好效应是因为我们都被影响和控制了，而且更重要的是，一旦我们受到影响，我们的观念和行为又会继续影响别人。引用奥米罗德的一个例子来说，在开明的自我利益面前，无数个人的行为是自觉而合理的吗？或者说是否可能存在一种在人群中传递、累积的兴趣的雪崩呢？时尚的力量是很值得重视的，然而，传统经济学却甚至不承认它的存在。

一些影片——或者汽车、书籍、风靡一时的唱片等——的极大成功也许就是类似的某种兴趣的雪崩。1994年，一份叫做《多样化》的贸易报汇编了1993年一百部最流行电影的票房总收入资料。一张收入与档次（就流行程度而言）的对比表显示出一个两边较宽的能量定律，这意味着影片的成功与否

是很难预测的。²¹1993 年最流行的影片的票房收入相当于前 100 位影片票房收入的四十倍还多，尽管后者也曾在当年风靡一时。为什么呢？我们中的许多人在去看一部影片之前，甚至在我们对它还不太了解之前，就已经知道，我们是否想要去看，我们以某种方式，通过报纸新闻或口头传播，而形成一种观点。很难否定当人们得知其他入对一件事物很感兴趣时，他们也会被这种时尚所感染，而对之产生强烈的兴趣。这不是一种理性的选择，而是人们之间非理性的相互影响。

1999 年，一对欧洲研究者猜测类似的效果是否会与折磨金融市场的巨大变动有关。波恩大学的经济学家托马斯·卢克斯和卡利亚瑞大学的电子工程师米歇尔·马彻西开始研究价格的统计性质是否能反映外部影响——正统理论所要求的基本规律的变化——或者是否由“参与者的相互作用”带来的。他们采用了一种我们很熟悉的方法来开展研究——将股市简化到一个极其简单的游戏，并且用计算机来帮助他们了解其运作。

想像出一个只有一种股票的政券交易所和买卖这一股票的一定数量的交易人。在现实生活中，交易人采用的战略范围很广。尽管如此，卢克斯和马彻西假定任何时候交易人的思维只能被固定在三个大组之一。基要主义者是那些只买进低值股票——价格暂时低于其真实价值的股票——并卖出超值股票的交易人。与基要主义者相对，乐观主义者认为市场价格一直在上涨，因而想买进股票，进行明智地投资。悲观主义者则认为市场价格一直在下跌，因而想抛出股票以减少损失。后两组交易人并不关注基本规律，而是认为他们所想的正是市场的行情。

游戏操作如下：卢克斯和马彻西假定这种股票具有一定的由基本规律决定的真正价值，并且这一价值按巴彻利尔最初预见的方式温和地浮动。基要主义者严密注视着这些浮动和实际价格，相应地买进、卖出。

乐观主义者和悲观主义者却忽视了基本规律，而很注意实际价格的跌落趋势，但股票的实际价格当然未必与其基本价值完全一致。最终，是交易人在市场中的相互作用产生了股票的实际价格。在每一时刻，都会有一定人数的基要主义者、乐观主义者和悲观主义者，他们想要买进和卖出股票。股票的需求越大，实际价格越高；供给越大，价格越低。

到此为止，只要考虑到人们确实在猜测着股票价格，所有这些就都与正统经济学相符了。这个游戏的关键来自于另一个假设：人们可以彼此影响。

智力游戏

既然人们可以彼此影响，卢克斯和马彻西将交易人分成基要主义者、乐观主义者和悲观主义者的分配就不是固定的。即使是信念最坚定的人也会受其他人的行为、或者无法忽视的强劲势头的影响。如果市场价格在一定时间内持续上升，一个坚定的悲观主义者也许会转变为一个乐观主义者。一个金融基要主义者也许由于价格长期、平稳的爬升而确信行市正在经历一个真正的持续的趋向，并且不利用这个机会就太傻了。卢克斯和马彻西把这一点纳入他们的游戏，假设每一时刻，每个交易人都可能会改变他或她的主意。例如，如果乐观主义者多于悲观主义者，那么人们就普遍认为市场会继续兴旺。由于一些人会受其他人观点的影响，这就使得更多交易者可能很快成为乐观主义者。如果价格在一段时间内一直下跌，某些乐观主义者也许会从中解脱出来，成为悲观主义者或基要主义者。

从本质上看，卢克斯和马彻西用简单的规则模拟交易人如何买进和卖出股票以及他们的贸易行为如何最终确定了股票价格，他们的这些规则中还包括了人们根据别人的行动改变自己的战略的可能性。结果表明，这一点本身就足以使股票价格作过山车运动。卢克斯和马彻西在电脑上进行这个有一千个交易者的游戏操作时，坚持让基本规律作轻微浮动，以保持钟形曲线图形。这些浮动使得股票价格也具有相应轻微涨落的本质。

但是除了市场的同倍运动之外，同时还存在看起来偶尔无缘无故发生的大变动、大规模拉锯战或崩溃。卢克斯和马彻西测量了这些浮动的统计数据，发现它们几乎与真正市场中的数据完全一致，并且具有自我相似性；所有时间比例尺的结构，以及与实际情况很相像的价格变化分布：一个对大变动十分敏感的能量法则。²²

这个游戏的核心内容不只是一个人对其他人施加影响的可能性。然而，基于这一特点，交易人的网络就可以自发进行组织，以至于倾向乐观的微小的不平衡就会导致股票价格上涨，这又会使更多的交易人感染到乐观情绪，而使不平衡加剧。相应地，价格就在一个行为和反应的自我维系的链条中越涨越高。最终，这个链式反应结束后，也许还会倒过来进行。几个基要主义者也许会认为股票价格超出其价值很多，因而抛出股票，引起价格的小幅度下降。几个交易人突然变成了悲观主义者，这使得价格进一步下跌。这种下跌浪潮也许是暂时的、小规模或者会持续较长时间，甚至可能将价格带回到起点。

所有这些都与传统经济观念相去甚远，传统经济学认为任何大幅度市场变化的背后都存在着全局麻烦、政治事件、政府决策，等等。在现实世界中，交易人用“速击”和“拉锯战”来表达，并且称行市具有某种情绪。在卢克斯和马彻西的游戏中确实如此，因为其中所有的交易人都有自己的情绪。由于情绪是可以相互影响的，行市从本质上看似乎总能自发组织到临界状态，在这种状态下，任何一时希望或怀疑都会被无限放大。金融家伯纳德·巴鲁克曾经指出：

“就其本质来看，所有经济运动都是由从众心理支配的。”

如果不对从众心理给予适当的重视……我们的经济理论，还有许多有待提高之处……在我看来，侵扰人类的周期性变故一定折射出人类本质中某种根深蒂固的特性……这种力量是完全触摸不着的……然而理解了它就足以对以往事件作出公正的评判。”²³

巴鲁克借鉴了卢克斯和马彻西的模型，他的观点似乎反映了行市波动的数学现实。尽管人类比磁石、米粒、或者地壳板块要复杂得多，我们却都易受影响，结果，大规模集体运动就很普遍。人类社会——至少在金融市场环境下——似乎也具备临界状态这种混乱的、不停变化的特点。结果，预测市场运动也许真是不可能的。一个投资人情绪的改变也许会引发几乎所有投资人情绪变化的浪潮。

这一点对于普通投资人来说意味着什么呢？情况是不容乐观的。我相信多数人知道——或者应该知道——行市运动在上下方向上看来是完全不可预测的。尽管我们可以对于牛市和熊市进行准确预测，尽管你可以从报上得到一些消息，数学分析表明无论行市近期有什么表现——上周、上个月或去年——未来的价值涨落还是无法确定的。这只能暗示出行市不可预测性或者说动荡性的现实存在。价格波动的能量法则表明，即使是即将发生的变化的大致幅度也是无从预测的。在已被组织到临界点的市场中，即使是最严重的股市崩溃也是可能发生的普遍事件——尽管我们并不真的希望它们发生得太过频繁。即使未出现任何暗示，明天的市值也可能会下降 20%。这类事件不需要任何特殊情况作为诱因。

政府有可能使我们摆脱这种灾难吗？这个想法似乎不大可

能实现，因为我们甚至不能看到其来临。然而，近几年来，经济学家一直在至少对这个想法进行着反复推敲，以便政府对经济进行控制，并通过把它调离临界点来减小其动荡性。以经济学家詹姆斯·托宾命名的所谓托宾税是一项对所有投机业务征收的税——也就是基于对行市倾向的纯粹投机，而不是以基本规律中的实际情况为基础的一套规则所决定的所有投机业务。这种想法也许会劝阻投资人去顺应潮流，从而降低了影响传播的力度。没人知道它是否会奏效——也许投资人只会简单地按照规则改变自己的行为，而市场还处于临界状态。这种税收也几乎一定会对市场产生有害影响，比如降低贸易总额——毕竟，这个税收对许多正在运作的交易极为不公平。设立托宾税是否合理呢？正如卢克斯认为的那样，一个严肃的经济学家会说，“我不知道。”

我们可以只是追踪这些狂乱的波动。社会网络——在市场中和其他地方——结构中的有些东西甚至比我们研究的任何物理系统都更易受动荡的影响。

小世界

◇ 1967年，一位名叫斯坦利·迈尔格拉姆的美国心理学家进行了一个独特的实验。迈尔格拉姆给堪萨斯州和内布拉斯加州不同的人寄了一系列信。他解释说，每封信都是最终写给他在波士顿地区的一位证券经纪人朋友的。迈尔格拉姆并没有在信上写上他朋友的地址，只是写了他的名字和职业。任何收到信的人为确保信的平安都要把它寄给自己本人认识的、并且他们认为更有可能认识迈尔格拉姆的这位证券交易人朋友的某个人。几乎像奇迹一般，迈尔格拉姆发现每封信都大约分六个步骤到达了其特定目的地。也就是说仅在六步骤之内，人们就找到了某些真正认识这位波士顿证券经纪人的人，之后这些人又把信直接寄给了他。

因此就产生了“六度分离法”这一观点，它现在已成为一个看起来既不可信又很迷人的流行概念。地球上的人口已超过60亿。然而，据称我们每个人都是通过一条不超过六个人的一系列交往而彼此联系起来的。

如果这个观点属实，那当然很难解释你在泰国或阿拉斯加旅行或往赞比亚打电话时，为什么可能会遇到或发现某个认识你从前论文导师的妻子、你最好的朋友的父亲、或者你岳母的美发师的人。这些真是几乎不可能的巧合吗？如果是，那它们为什么又会频繁发生呢？或许，迈尔格拉姆是对的，至少就人

类而言，这个世界真的很小吧。1998年，科奈尔大学的数学家邓肯·瓦兹和斯蒂夫·斯特罗加兹投入了图形理论的研究，力图解决这一问题。

对于数学家来说，一个图形就是由线连结的点构成的坐标方格。它可以很好地代表人们（点）以及人们间的联系（线）。你也许并不期望从点和线中学到什么东西，但你完全可以有所收获。在可能存在的图形中的一个极端是任意图形，它可以通过任意选两个点并用线把它们连结起来构成。其结果就是一张像意大利面条一样缠结的示意图（图20a）。另一个极端是规则图形，相邻两点之间极其有规律地联结在一起，使该图形最终看起来很像一张鱼网或一个栅栏（图20b）。

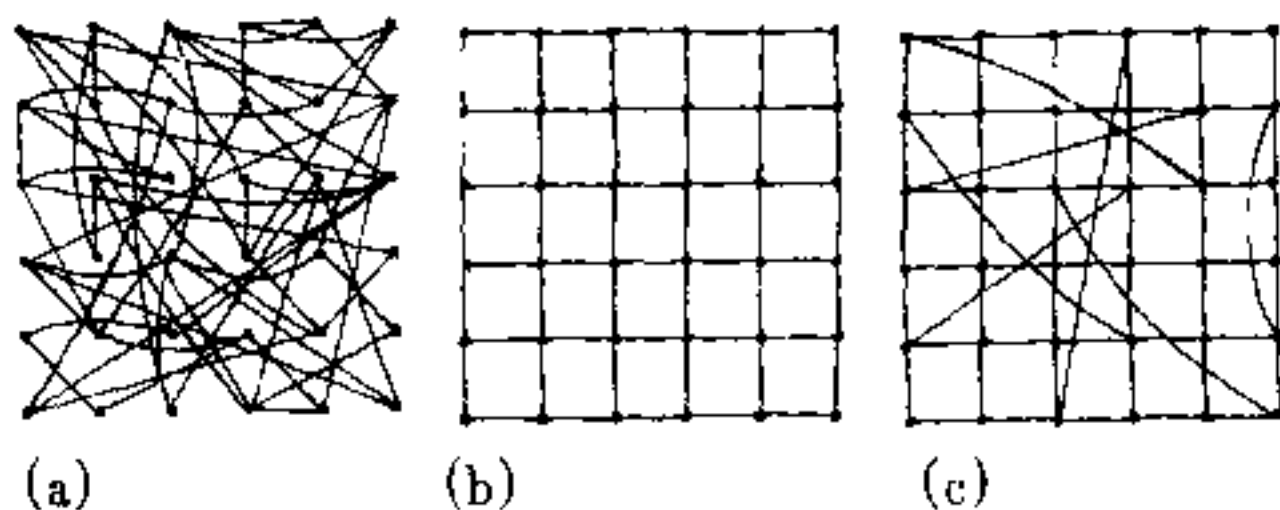


图20 在一个任意图形中，你可以只在几步内就到达任何一点（a），然而在一个规则图形中，你就需要走更多步（b）。小世界图形介于这两个极端之间。

在一个任意图形上移动是很容易的。例如，如果你从一边的一个点出发，只需几步就可以到达另一边的任何一点。这是因为，图上几乎一定有某条端点靠近这两个点的长距离连线，通过走这条捷径，你就可以很快从一边到达另一边。与之相对应，规则图形不具备这种小世界的性质，因为图中没有捷径。

一路上你都只能走小步。那么现实世界的社交网与任意图形很相像吗？如果是这样的话，这也许可以解释为什么迈尔格拉姆的信会到得那么快。但是这里却有一个很大的障碍。

想一想你自己的社交圈：许多朋友与你要好，而且彼此之间关系也不错。这在朋友网中是很自然而典型的。在社交图中，代表你的朋友许多点不仅与你连结，彼此之间也有联系。规则图形具有这种聚集特性，但任意图形却没有。在任意图形中取出一点，并认定所有点都与它有单线联系，这些点散布在图中各处，并且极少彼此联系。如果社交网与一个任意图形很相像，那么就不会存在一群朋友。

由于任意图形的小世界性质，它们似乎模拟了现实交际网的令人难以置信的联通性。如果在这两个极端之间不存在另一组图形的话，这就将是一个相反性质的结合。想像一下你重新设计一张规则图形，去掉几个较短的连线，将其换成任意长距离的连线（图 20c）。瓦兹和斯特罗加兹研究了这些变化的效果，发现这几条捷径没有对图中的聚集产生多大影响。然而，它却对从任意一点走到另一点所需的平均步数意义重大。也就是说，只需几条捷径就可以将一张规则图形变成仍然具有聚集性的小世界图形，在这个图形中，只需几步就足以使你到达任何一点。²⁴

为了验证现实社交网是否会按这一方式进行组织，瓦兹和斯特罗加兹很奇怪地转向了表演界。要找到朋友网的有用数据并不是那么容易的。但是在半个多世纪内，谁在哪部影片中出演了角色却是有案可查的。设想出一个图形，用点代表每一个演员，用线连结曾经在某部影片中合作的演员。人们普遍认

为，每一位曾经在美国影片中担任过角色的演员在这张图中距离演员凯文·贝肯——尽管不是担任主角，但却因演过很多戏而臭名远扬——不会超过四步远。埃尔维斯·莱斯利与贝肯相距只有两步远，因为他曾与沃尔特·马修合演过《克里奥尔王》（1958年）而马修与贝肯在《肯尼迪》（1991年）中合作过。

瓦兹和斯特罗加兹发现贝肯并不十分特殊，因为整个网络具有小世界的性质。每一个演员通常都是在三四步内与任何一个演员发生联系的。尽管这个数字也许会作些许改变，但是所有社交网络大概都有这种同样的小世界特色，这似乎正是我们每个人如何从莫尼卡·莱温斯基到主教的任何人仅仅只通过“六次握手”就可以联系起来的数学秘密。但是，这里还存在着一条更深层次的信息。

现实社交网的小世界特性使得迈尔格拉姆的信件传递得很快。瓦兹和斯特罗加兹还在小世界网络上模拟了传染病的传播，发现他们比在规则网络中传播要快得多。更重要的是，只需几条便捷的连结就足以使它传播开去。这一点令人们不安地得到暗示，只要几个长途旅行者将危险的疾病从远方带来或带到远处去，这些疾病就可能传遍全世界。

信息的传播又怎么样呢？正如我们在本章中看到的一样，金融市场内心狂乱，看来是因为一个投资人的观点和预期会影响其他人。金融市场中交易人之间社交和商务关系的小世界特性只会有助于说明这种影响的范围可以无限扩大。事实上，它也许只是使临界状态的狂乱浮动更易于在市场中显露出来。由于小世界网络的概念刚刚才被发现，它对于各类社交网运作的最终影响还有待观察。

在这一点上，我可以想像出一些读者会在猜测他们是否被愚弄了。人们也许不难相信，出现的数学概念或磁石的物理原理可以解释地壳、森林和生态运动的一些重要特点。这些事情绝对都属于物理和生物科学的范畴。但是，认为人类也许也遵循临界状态法则不是有些过分了吗？任何组织的普遍原则怎能适用于按照自己的自由意志行事的人呢？难道金融市场浮动的能量法则模式有可能暗示出行市处于临界状态之外的其他东西吗？

在第 12 章中，我们将进一步看到临界状态可以适用于科学运动的方式以及世界历史的特点。因此，在转入那些题目之前，我们应该稍作停顿，考虑一下这些非常合理的问题。这正如我们将看到的一样，自主意愿不会脱离临界状态的看似不可避免的性质。当谈到能量法则时，临界状态或与之十分相像的状态似乎只能是其惟一可行的解释。

注释：

1. 威塞利·伦蒂夫，《给编辑的信》，《科学》，1982 年 7 月 9 日。
2. 艾尔弗雷德·佐伯曼，《保护》，1983 年 10 月 5 日。
3. 约翰·凯，《水晶球的裂纹》，《金融时报》，1995 年 9 月 29 日。
4. 《社会组织经济展望》，1993 年 6 月。
5. J. 罗斯查尔德，《空投业者手册》，（约翰·威雷，1998

年)。

6. 同样，即使是作这类简单而明显的预测也不是很轻松的。一项 1997 年的研究要求五家英国顶级经济模拟小组来对经济如何对公众消费的价值增长作出反应并进行说明。结果表明了即使在这种看似简单的问题上，他们也无法在理论上达成共识。不同的小组不仅得出了不同的数字，甚至在经济产量将整体提高还是下降这一问题上，他们也没有取得一致意见。见保罗·奥米罗德，《蝴蝶经济学》，费伯，1998 年。

7. 鲁菲格·道恩希什，《永远的发展》，《华尔街期刊》，1998 年 7 月 30 日。

8. 罗伯特·斯凯勒引自小罗伯特·普瑞克特，《人类社会行为的波状原则》（新古典图书馆，1999 年）。

9. 如果正统经济组织宣称预测是可能实现的，却又遭到如此惨败，那么，为什么它没有因为毫无用处而被取消呢？值得称赞的是，一位分析家指出，失败时，他们并不摒弃自己所喜欢的理论关系，因为这将破坏该工具的效用。当新大脑皮层还不知道或没想太多问题时，它就更容易对解释进行推理。那就是为什么一天在牛市中，它可以被用于解释日经中的股价上涨为何使美国股票行情看涨（它是一个表明日本经济衰退不会加深，因此不会波及到美国的信任投票），而第二天它又可以用于解释日经中的股价下跌为何使美国股票行情看涨（那笔钱将会流向更广阔的市场）。小罗伯特·普瑞克特，《人类社会行为的波状起伏原则》（新古典图书馆，1999 年）。本章大量借鉴了普瑞克特对于现代经济思想的严厉批判。

10. J.D. 德本摩和 A. 洛，《金融开拓者：进化和有效市

场》，桑塔·费学院工作论文，(1999 年)。

11. 艾伦·柯麦，引自保罗·奥米罗德，《蝴蝶经济学》，第 16 页，(费伯，1998 年)。

12. R.E 利顿和 A.M. 桑托梅罗，《华尔街期刊》，1997 年 4 月 19 日。

13. 约翰·凯斯菲，《飞越华尔街》，《新科学家》，1997 年 4 月 19 日。

14. 小贝诺特·麦德切罗特，《商业》。

15. P. 格彼克瑞施南、M. 梅尔、L.A.N. 阿马哈尔和 H.E. 斯坦利，欧洲·物理，1998 年。

16. 温塞利奇·普莱罗及其他人。独立公司价格浮动的分布图。路斯·艾拉穆斯电子邮寄（传导—数学）1999 年 7 月 11 日。为了在术语上精确些，我不应该用“价格浮动”这个词，而应该说市场资本化。标准和次等 500 种指数不是 500 家公司股票价格的平均值，而是一个比重的平均值，股票越看好的公司所占份额越大。与之类似的是，独立公司的研究要考查一定数量的波动，这是按比重的股票数量所乘得的股票价格。当然，所有这些都没有改变市场有大幅度波动的结论。

17. R.N. 曼托格纳，《征税步法的广泛普及和米兰证券交易所》，1991 年。

18. O.V. 派克菲克及其他人。《外汇率的统计研究、价格变化绘制法规的实验证据，以及当天分析》，J. 银行金融，1995 年。

19. Y. 刘及其他人，《价格波动无常变化的统计特点》，物理·评论·E，1999 年。

20. 保罗·奥米罗德,《蝴蝶经济学》(费伯,1998年)。

21.D. 索奈特和 D. 扎顿韦伯,《研究的经济反馈:帕瑞托定律及其应用》,格斯艾·拉穆斯电子邮寄(传导—数学)1998年9月27日。

22.T. 卢克斯和 M. 马彻西,《金融市场中随机多代理人模型的调节和临界状态》,《自然》,1999年。

23. 伯纳德·巴鲁克,摘自小罗伯特·普瑞克特,《人类社会行为的波状原则》,(新古典图书馆,1999年)。

24. 瓦兹和斯特罗加兹,《“小世界”网络的集合动力》,《自然》,1998年。

完全违反意愿

获得自由的能力是无限的，获得自由的能力只是任务。

——安德烈·盖德¹

东西无论是好是坏，把它打碎有时总是令人愉快的。

——派奥德·朵斯托洛夫斯基²



一些读者也许会感到一丝疑虑。上一章的观点难道不自相矛盾吗？人类最宝贵的财产——我们的自由意愿又怎样呢？我认为，在写文章时，我能够选择自己喜欢的词，也可以换另外一些词。你认为你的交易人和投资人都是独立而思想开放的，他们可以在任何一天从一千种不同的证券、票据或其他备选项中选出任意一种，进行买卖操作，或者什么都不做。人们不是米粒或砂粒，可以按预定规则运动。

一旦你熟悉了这种观点，就不难相信临界状态的主要逻辑存在于简单的物理事物中，例如颗粒堆、甚至地壳的岩石中、或者森林中的树木，在这些事物中都有明确的物理法则控制着运动的传播。当断层的某一处压力过大时，那里的岩石就会下滑，将压力顺次转移到别的岩石上。在这种情况下，就不需要考虑像思维或情感那样不可名状、反复无常的东西了。但是，一旦有人牵涉进去，事情就没那么简单了。对于影响传播与否，人们会有自己的决定。所以，尽管我们得到了一些数学上的证据，但是仅凭这一点就假定临界状态与人类世界有某种关系，难道不是过于唐突吗？

从第12章开始，本书的后四章将研究在科学和人类历史条件下的临界状态，看它是否能够阐明在那些环境中的纷乱事件的起源。所以，我们需要简单考察一下自由意愿问题，看它是否确实是数学规律入侵人类世界的一种不可逾越的障碍。正如我们将要看到的那样，答案很清楚，甚至很显然是否定的。我们很容易相信，尽管英国的每个人都在是否结婚这个问题上作出了决定，但是英国的结婚率还是一直缓慢而平稳地下降。

因而，个人自主意愿根本无法昭示出上千或上万人的行动中确定的数学模式的出现。然而，我们还有更好的办法来达到这个目的。

当你置身于任何大学校园壮丽的楼群中时，你将会发现宁静而空旷的空间——广场和公共绿地、草坪和绿草茵茵的宁静处，这些地方不断提醒人们这里充满利于学术传播的开明气息。同学们聚在这些地方，坐在阳光下，或者吃午餐、睡觉、读书，或者只是思考。但是如果他们愿意，就完全可以上一堂关于人类行为的数学课。这些地区的建筑师通常会铺设带急转角度的人行道以方便人们走路，但很多叛逆的学生会按自己的意愿走，经过一段时间以后，便踩出了一条条曲折的小路。

这些小路连接没有人行道相通的地方，拼凑成的奇特的网络，就像斯图加特大学中的那样（图 21）。物理学家德克·海尔宾经常走在这些小路上，1996 年，他开始猜想是否可能发现它们的演变法则。小路的形成是可以预测的吗？每个同学在穿越这种地区时，当然都是自由选择路径的，而不必追随别人。海尔宾和他的同学们很快发现，尽管如此，这却不能预示出小径会按像行星运动规律发展下去。

这些小路的形成原因是很容易理解的，因为个人也许确实会遵循他们以前自主意愿的要求，而同时又具有某种倾向。设想一块还没有形成任何小路的公共绿地或广场，人们在穿过这块空地时，当然是朝着他们想去的方向前进——到另一边的——家酒吧，或者更远处的一间教室去。很少有人会绝对沿一条直线走。我们也希望走最容易的路，绕开石子，避开崎岖或泥泞的地区以及湿草，他们通常会走铺好的甬路。当然，在甬路上

走也不总是令人满意的，因为这样到达酒吧会让你沿着整个广场的边缘绕道而行。要是果真如此，口渴的人可就进退维谷了。



图 21 斯图加特大学校园内发展起来的路径系统。（图片取自斯图亚特大学德克·海尔宾处，经许复制，特此感谢。）

当然，并不是所有人都要去酒吧。但是其他人在是留在甬路上还是走人未经践踏的草地这个问题上，也面临着类似的选择。首先，没有别的可说的，每个人只能下定决心。但是随着人们不断作出选择并付诸实践，事情就有了变化。当一个人踏入草地将草踩倒后，这条独特的路线对于其后的步行者来说就变得更具有吸引力了。一个人走上这条小路带来的区别是微不足道的，但是在一千个人走过之后，一条新路就开始形成了，这又会诱使更多的步行者放弃甬路。过了一定时间，这条新路已完全成形，人们甚至会像牛一样不假思索地走上这条路，它也就永远留在了那里。

这就是小路形成的大致情况。但是海尔宾和他的同事们发现，这一情况实际上构成了一个理论的坚实的基础。只需几个简单的方程就足以描述，平均看来，每个步行者如何试图在较短和较容易的路径之间达到一种平衡，草如何在人们走路时被踩在脚下，以及这如何损坏了草皮，改变了其他步行者可选择的路径布局。要运用这些方程，你需要指定所研究的草地的几何特点，最受青睐的几个目的地的位置，每天从每一边进入草地的人数，等等。然后，利用计算机模拟上万人次穿过草地，你就可以看到小路在哪里出现了。

结果显示，小路的出现位置与现实世界中的情形大体一致。对于与斯图加特大学绿地相似的条件，研究人员发现方程式详细地说明了一个美妙的系统，其中有三条路向绿地中心延伸，并且在那里交叉成一个由短道构成的中央三角形，这与真实情况十分相像。这些方程不仅推导出这个图形，还为理解其形成原因提供了一定的帮助。每天穿越任何一块绿地的人是有限的。因此，它所能包含的路径总长度也是有限的，人们践踏草地所造成的破坏程度是一定的，那些不常使用的小路上又重新长出了草。结果，在这一限制下，形成的小路就产生了一个“最适宜的”系统；就是其布局尽可能使人们可以在既短又好走的路上走动。

当然，这个理论演示只是一个开始。通过运用这些方程，设计者们可以选择绿色空间的大小和形状，并且可以按人们的倾向设置建筑物和水泥甬道。这种设计需要收集一些重要的实际信息，例如该地最受欢迎的目的地的位置，以及每天穿越空地的人数。现在看来，人类路径是无可非议地按照海尔宾及其

同事的方程式中的具体定律来形成的。³

这个例子与临界状态毫无关系，我想它只是为了表明个人自主意志完全可以和集体活动中令人震惊的规律性共存。斯图亚特大学独特的道路网，是几千人按各自的意愿自由行动的产物，但它却符合非常简单的数学规则。

大都市机制

要寻找造成城市面积不同的原因就得绞尽脑汁理解无数社会和经济力量，并掌握大量历史和地理事实。在美国内战期间，南部邦联在弗吉尼亚的里士满建立了首都。今天，里士满是一座拥有 900 000 人口的城市，然而如果邦联真的取得了独立，这座城市完全可能会变为现在的五倍大。首都华盛顿特区不断发展兴盛，芝加哥作为东西各州的主要枢纽繁荣起来，美国中西部诸如彼得堡和克利夫兰等城市，则作为钢铁工业的主要中心不断发展壮大。相反，弗吉尼亚的夏洛特城现在仍基本上没有任何主要工业——尽管靠近华盛顿，却仍然很小。

鉴于影响城市发展的力量错综复杂，并且人们也会出于很私人的原因从一地迁至另一地，我们也许会对在城市研究中发现什么数学规律不抱任何希望了。然而，1997 年，柏林的弗雷兹·哈伯学院的 D·扎奈特和 S·曼鲁比亚发现，事实并非如此。忘掉芝加哥、孟菲斯或克利夫兰等美国城市历史的全部细节，一起观察所有城市，你就会发现规律。

扎奈特和曼鲁比亚利用美国 2 400 座最大城市的有关资料，计算了人口大约在 100 000、200 000、300 000，等等，一直到九百万的城市数量，在最后一等中只有纽约一个城市。换句话说，他们像盖本伯格和理克特处理地震那样，处理了城市，并且发现了类似的结构。数字显示，像亚特兰大——人口



为四百万的一座城市，美国有四座城市人口为其一半。辛辛那提就是其中之一，对于每一个辛辛那提来说，又有四座城市人口减半，依此类推。这个完善的几何结构一直涵盖到只有10 000人左右的最小的市镇，所以，尽管所有这些市镇是出于一千种原因，作为一百万种相互竞争的影响的结果而发展起来的，它们在整体上都符合一个简单的数学定律。

鉴于人们有在城市之间往返移动的自主选择，这种极其规则的分布，着实令人惊讶。扎奈特和曼鲁比亚没有结束对美国城市的研究，并同时考察着世界上2 700个最大的城市和瑞士1 300个最大的社区。在每项研究中，他们都发现了完全相同的能量法则分布，仿佛这是人们聚集成城市的过程的普遍结果。扎奈特和曼鲁比亚指出，出现同样的分布是很令人震惊的。

三组资料对应着完全不同的人口统计、社会和经济条件，事实上，世界城市资料旨在反映发展中国家的情况，美国是一个经济发达的年轻国家，而瑞士历史悠久，但人口却相对来说十分稳定。换句话说，在人类层次上存在着一个普遍规律。所有这些区别根本不会影响到发展起来的大、中、小城市的相对数量。⁴

这个能量法则分布暗示的内容同其他的一样：美国及其他地区的城市不存在“典型”规模，特大城市的出现没有任何特殊的历史或地理原因。城市的发展属于一种我们已经见到的临界过程，处于极其不稳定状态的边缘。你也许会想像，当一个城市刚刚建立时，鉴于地理位置、工业等因素，其发展规模是注定的。但是，这条能量法则指出，在一个城市建立之初，

根本无法判断其未来的发展规模。在纽约、墨西哥城或东京刚刚建立时，大概没有任何不可逆转或极其特殊的条件。如果你能够改写历史或者使其重演，世界上无疑还会有大城市存在，只是在不同的地点，换了其他名字。即便如此，城市能量法则的分布仍将保持不变。

所以，对于人类来说，可能存在着一个数学关系式。它当然无法告诉你每个人有何作用，但却可以判断出在无数种分布中哪种更可能出现。更重要的是，这个数学式并不复杂，扎奈特和曼鲁比亚可以运用一个只有两个特征的极其简单的游戏而捕捉到城市发展的精髓。由于人们搬家、生孩子等决定是很难预料的，因此他们假定，任何地方每年人口的变化是随机的——这是一个条件。他们也有理由认为，像纽约城之类的大城市的人口流动的大概数目要比得克萨斯州卢伯里那种小地方的大。扎奈特把这一点也引进了他们的游戏，假定某一地区每年人口变化的大致数目与当地已有人数成正比，换句话说，人数越多，人口流动越显著。⁵

同样，人们由于寻求更大空间、更便宜的房屋和其他优越条件，而倾向于从人口密集地区流向人口稀疏地区。后一影响将有利于调节人口，消除城市压力，使一定范围内人口趋于平衡。但是，在这种不比砂堆游戏复杂的条件下，扎奈特和曼鲁比亚发现，这种调节作用无法与波动相匹配。人口波动不断激发人口的变化，以至于城市聚集的人群的发展成为必然，而城市规模的能量法则也被改写。所以，你可以忘记所有经济因素和地理限制。世界上城市的发展过程在某种程度上要比你想像的容易得多。

这种简单性还可以继续扩展，因为人们居住的任何特定城市还有明确的结构。在空中拍摄的伦敦或柏林的夜景照片呈现出决然不同的景致，区别在于它们的具体细节。但是经过仔细观察，你会发现这些景致实际上是一种不规则图形。在任何城市内部，散居着或大或小的人群，这种聚集也遵循着一条能量法则。因此，人群聚集没有一个“典型”的规模，人们的整体定居存在着一种自我相似性，任何包含着更小的单位的小块聚集区放大后都与整体十分相像。

因此，尽管所有城市都不尽相同，但它们又都十分相似。城市就像处于临界点上的二维磁石一样是不规则的。具有讽刺意味但也许还不很让人惊讶的是，目前已知的用来描述任何城市内人口布局的最好方法就是运用阶段转移理论的简单游戏。⁶

从赤贫到暴富

普遍性所表达的内容之一就是理解一切事物，这通常意味着略过表面细节而探查深层逻辑。正如我们已经看到的那样，城市中人们聚居的方式根本不取决于他们作为人的本质。这也许多少有些无礼，但在聚集的细菌群落中或者在落于棚顶的烟尘颗粒的集合中，会有类似的布局由于类似的原因而出现。它们还出现在其他地方，钱在我们的口袋里和银行账户上存起来——或者，通常是存不住——的方式中。

为什么有的人富有而有的人贫穷呢？同城市问题一样，原因很多，任何答案当然都要涉及到人们的出身、他们受教育的情况，等等。但是，尽管人们之间存在着各种优势、劣势和个人能力的差异，我们却可以发现一个简单的模式，如果你计算一下全美国有十亿美元的人的数目，你会发现有五亿美元的人数是它的四倍，有两亿五千万美元的人数又会增大四倍，依此类推。如果这个特殊的模式只适用于某一时期内在某一政府治理下的某个国家，那么，你也许会认为这是一种由政府政策造成的奇异巧合，而对之不甚重视；但是，这种相同的模式却适用于英国、美国、日本和几乎地球上的每一个国家。

2000年初，法国物理学家马克·梅扎尔和琼·菲利普·布彻用与扎奈特和曼鲁比亚差不多的方式对这一模式进行了解释。假设每人每年的财富按任意比例增加或减少。“没问题”的投



资是不存在的，所以，一个人每年赚得的收入必然是不确定的。但是，这些不确定的变化的程度，应该和这个人的财富成正比，因为与穷一些的人相比，富一些的人可以作更多的投资——所以也就赚得或赔得更多。再假定每个人通过为其他一些人工作，在他们的公司中投资等方式促进了这些人财富的增长。这些基本的假设条件是无可非议的。梅扎尔和布彻发现，在一个只包含上述影响的简单游戏中，明显地呈现出财富的能量法则分布。⁷



所以同样，尽管人们通过自己的决定、猜测、计划和方案相互作用，却还是产生了一个十分规则的模式。并且那种模式似乎与人作为人的本质没有太大关系，而更像是任何相互作用的集合易于产生的普遍组织形式。这种思维方式不会让我们预测出谁会变富而谁不会，但它确实已经开始解释我们所说的金钱流动和聚集的“基本物理”。

我希望鉴于这一点，我们显然没有理由认为个人意愿可以介入有关人类集体的数学。认为它可以介入，只是无视单一物理——原子、人等的法则和这些事物的集体之间的区别。在物理中，这两种情况都有着类似于法则的规律：在一块金属中的磁石按确定的简单的法则运动，大量磁石间的相互作用会以金属本身的形式产生同样有规律的法则。在人类社会，也许并没有关于个人的法则。但这并不意味着其他许多领域也不存在法则。

也许有些人会考虑这些能量法则能否用其他方式解释，只是相同的模式不在相同的地方出现还不足以断定是同样的原因在起作用。如果你院子中的树在一夜之内全倒了，你也许会认

为那棵树倒了是因为它的根已经腐烂了，另一棵是被你爱惹事的邻居拽倒了的，你可以为其他每棵树找到让它毁灭的原因。或者相反，你可以寻求一个更简单的解释：由于昨天有一场可怕的暴风雨，而所有树碰巧又都倒向同一个方向，你也许会猜想它们都是被风吹倒的。

同样，对于出现所有这些极其简单的能量法则，最简单的解释就是某种普遍过程在发挥作用。鉴于我们已经知道普遍性存在于由许多相互作用的因素构成的系统中，并且无论这些因素的细节如何，它都以同样的方式发挥作用，因而，这种观点就更具诱惑力了。更重要的是，在非均衡物理领域之外，没有什么诀窍能产生能量法则。

注释：

1. 安德烈·盖德，《道德沦丧》，第7页（随意书局，1970年）。

2. 派奥德·托斯妥洛夫斯基，《地下记录》，第41页（企鹅，1972年）。

3. 德克·海尔宾、J. 凯尔斯科和 P. 摩尔纳，《模拟人类路径系统的发展》，《自然》，1997年。

4. D. 扎奈特和 S. 曼鲁比亚，《城市发展的间歇性作用：大规模城市形成模式》，物理·评论·文学，1997年。

5. 更确切地说，扎奈特和曼鲁比亚假定，在他们的模型中世界上每个地区的人口每年按任意比例上下浮动。也就是



说，人口变化是没有规律的，但是每年上下浮动的数目与已知人口数成正比。这一点很合理：纽约人口变动的大致数量显然要高于得克萨斯州卢伯里的人口变动数量。

6. 在城市发现的数学模式实际上要比我所提到的深奥得多。每个城市还会出现具体模式，当人们研究柏林、克利夫兰或莫斯科时，会发现它们的数学印记是一样的。我们所认为的城市形状中人口的散居方式遵循一种不规则的布局，并且可以很容易通过运用阶段转移理论的数学模型来把握。见 H.A. 马克斯、S. 哈夫林和 H.E. 斯坦利，《模拟城市发展布局》。1995 年。另见迈克尔·巴迪和保罗·洛林雷，《不规则城市》（学术出版社，1994 年）。

7. J.P. 布彻和 M. 梅扎尔，《经济简单模式中的财富凝结》，2000 年 2 月 24 日。

玄妙的地震

历史无法预见性地创造法则。对于过去的理解也许会对目前情况有所帮助，因为它使我们增进了对人的本质的认识，给我们以灵感——或者警告——或者对在特定环境下发生特定事件的可能性进行准确率极低又不失为合理的辩论。然而，这些都无法使人们预测出永恒的科学规律。

——理查德·伊万斯¹

最终，我们目前相信的一切都将被推翻。那么，我们相信的事情就绝对应是虚假的。我认为……我们惟有相信非真实的事物。

——马克斯·格翁尔



究竟是什么引发了第一次世界大战？如果说是塞尔维亚恐怖分子加夫利罗·普里诺普导致战争突然爆发，那么是什么深层力量加速了被当时许多人看做是“注定要落到人类头上的最大灾祸”呢？² 战后的历史学家对此持有不同观点。在美国，历史学家西德尼·费把矛头指向国际系统的运作，包括秘密军事保证的复杂关系和解决纠纷的政治手段的欠缺。³ 在俄罗斯，毫无疑问，布尔什维克主义得把战争归结为一种资本主义世界的自然没落。其他许多历史学家认为其真正原因无外乎德国的背信弃义。美国历史学家理尔斯·比尔德嘲笑这种普遍观点的幼稚，将之称为“主日学校的理论”：

三个纯真无邪的男孩——俄罗斯、法兰西和英格兰——毫无侵略野心，却在他们去主日学校的路上突然遭到两个一直在暗中图谋不轨的彻头彻尾的恶棍——德意志和奥地利——的攻击。⁴

后来的历史学家没有接受与查尔斯·比尔德同时代的哈利·艾尔默·巴尼斯的与之相反的观点，他们也同比尔德一样，认为上述观点有些过于简单了。巴尼斯似乎就是要证明严谨的历史学家会报有迥然不同的观点，他结论道：

世界大战惟一直接的责任应由法国的和俄国来负，两国的罪责应大致等分。其次——在法国和俄国之后——是奥地利，虽然她从未想挑起什么欧洲战争。最后，我们应该把德国和英国放在最末的位置上，在1914年的危机中，两国都反对参战。也许德国民众比英国人民更倾向于采取军事行动，但是……1914年德国国王爱德华·格雷爵士为维护欧洲和平作出了更大的努力。⁵

今天，对于那场战争的最终原因还没有一个统一的说法。历史学家在其他许多事件的原因上也没有最终明确地达成一致，比如，美国内战、1066 年诺曼人占领英国，等等。这也不足为奇。毕竟，我们没有权威的历史法则，没有历史方程，甚至没有研究人员在解释这个或那个事件时可以遵循的深层的基本原则。在重力法则中，物理学家发现了对行星运动的主要解释和星群的形状。但是，历史不像物理。在历史中，封冻意味着不断改变着未来的发展场景，所以，历史学家惟有回过头来追述历史。

要解释 1944 年秋天，艾森豪威尔的联军为什么会驻扎在莱茵河岸，我们必须提起第一次世界大战和最终德国屈辱的战败，还要提到希特勒 1933 年掌权，德军在法国和西欧其他地区连战连捷，以及他们最终在俄国的失败。我们不能忽略美国的租借计划，它为英国和俄国提供了重要的战略物资，还有日本偷袭珍珠港，这使美国最终参战。我们还必须考虑到在战场上发生的无数事件，比如希特勒在 1940 年 5 月 14 日下达的那条重要指令，就是这条有决定意义的命令在汉斯·古德瑞恩将军的第一坦克师在距敦克尔克仅 15 公里的时候，阻止其继续前进。假使希特勒没有发布这条命令，古德瑞恩的装甲兵就会俘虏或歼灭整个英国远征军。只要改变以上一个或者一千个其他事实，艾森豪威尔恐怕就不会到莱茵河了。

这些事件中哪个最为重要，哪个无足轻重呢？这时，历史学家的个人品味就起了作用。有些历史学家在政治秘密活动中寻找重要事件的真正原因，有些则把目光投向了经济、社会或文化力量的相互作用，还有一些更看重希特勒、斯大林等个人

对事件的决定性影响。所以，即使经历了同样的事件、阅读了同样的材料，历史学家还是会得出不同的观点。

这是历史学家们竭力解决的、不可避免的问题之一。然而，为了得以论证，让我们假设所有的历史学家都会达成共识；在考察任何事件时，每位历史学家在进行了充分的研究之后，都会得出完全相同的结论。这条结论真正解释了什么呢？它能够涵盖一切、对诸如第一次世界大战之类的极端事件作出解释吗？它又无法解释什么呢？让我们把现实的历史暂且忘掉，在一个更为简单的历史背景下考察一下故事叙述吧。

砂子的历史

假设有一位砂堆世界的历史学家，他的王国有一天被一场猛烈的雪崩夷为了平地。这位历史学家也许会用下面的话来进行解释：

一个星期以前的一天，天刚黑，一颗砂粒落到了砂堆大西边一个原本就很陡的地方，麻烦就这样开始了。这粒砂子引起了一场小小的雪崩，几粒砂子向东边滚落。不幸的是，砂堆的西边并没有平稳下来，而这几粒砂子落脚的地方原本已经很陡了。很快，更多砂粒开始下滑，整个夜里，雪崩不断升级，到第二天早晨，局势已经完全无法控制了。回想起来，这也没什么可大惊小怪的。一周以前，一粒要命的砂子落下来，引出了一连串事件，这场灾难吞噬了砂堆，也殃及了我们自己在东边的后院。如果西边的当权人士有点责任感，他们就会把最初那个地方的砂子运走一些，那就什么事也没有了。现在，我们只有祈祷这种灾难不要再重演了。

这种叙述会让那位历史学家和所有受到那场灾难影响的人感到很有趣，但是它解释了那场灾难发生的原因了吗？在砂堆中，无论大小，每一场雪崩都可以通过描述每一粒砂子的运动而得以“解释”。这证明砂粒遵循着粒子物理学的法则。但是，还有一个更深层次的问题：一颗砂粒怎么能引发一场摧毁整个砂堆的灾难呢？

那位砂堆物理学家认为这一叙述指出了导致灾难的西部特殊条件。有人疾呼，“要是有人提前采取行动，把一些砂子从最初的地方运走就好了！”然而，这最多也只是一种聊以自慰的假设。在那粒砂子就要落下的地点附近，事先进行的任何调查都不会提供任何不寻常的、先导性的细节。如果说那儿的砂坡很陡的话，整个砂堆的其他地方也同样很陡，而落在这些地方的砂粒并没有引出什么不寻常的事来。为能预见灾难的发生，我们的历史学家就需要几乎完全掌握砂粒在整个砂堆中的落点，并且具有无敌的运算能力，能够计算出一粒砂子落在每一点上的后果。只有到了那时，他才可以信心十足地说：“没错，如果一粒砂子落在了西边的危险点 X 上，那一定会引发一场巨大的灾难的。”

另外，也许只要把一粒砂子从最初地点挪走就可以防止那场灾难的发生，但人们事先却不会知道该挪哪粒砂子以及运到哪里。如果西边的当权人挪走了几粒砂子，也许他们几星期之后还会很沮丧。因为他们也许会发现落在砂堆上另外一处的一颗砂粒引发了一场破坏性极强的雪崩，究其原因就在于他们挪动的那些砂粒。这样的话，这位历史学家就会埋怨西边导致了一场灾难，而不是没能避免一场灾难。

不幸的是，我们这位历史学家的叙述只是点到了一连串具体的事件，而没能触及这些事件背后深层的历史过程。这种叙述只适用于历史上的巧合性意外事件，它还是无法回答为什么所有的雪崩规模都不小这个问题。要弄清楚为什么一粒砂子会引发一场大变故，人们需要理解那些贯穿砂堆的不稳定的长手指。只有这样，历史学家才会对历史有更深层的理解——这种

理解不仅指发生了什么，而且包括为什么具有那一普遍特点的事件必然会发生，并且一定还会再次发生。

当然，当我们谈到人类历史时，没有人被迫只局限于叙述。但是，历史学家们怎样才能掌握更深层的东西呢？

不仅仅是故事

最终是由 19 世纪伟大的德国历史学家利奥鲍德·冯·郎克确立了叙述的统治地位，他把历史学家的任务确定为只是表述 *wie es eigentlich gewesen*：事情的真相。⁶ 对于一些历史学家来说，这还远远不够。40 年前，牛津大学历史学家爱德华·哈莱特·卡伤心地说：

德国、英国甚至法国的三代历史学家都高喊着“*wie es eigentlich gewesen*”冲向了阵地，并把它当做了一条咒语——像大多数咒语一样，这使他们从自己思考的恼人的义务中解脱了出来。

哈莱特·卡认为，不只讲述具体事例，而是探究其中的一般性规律才是研究历史的真正意义：

正是对语言的运用使得历史学家可以像科学家一样得出一般性规律。伯罗奔尼撒战争和第二次世界大战很不相同，两者都很有特点。但是历史学家把它们都叫做战争，而且只有迂腐的人才会反对。当吉本把康斯坦丁确立基督教和伊斯兰教的兴起称为革命时，他是在将不同的事件进行一般性概括。当现代历史学家写到英国、法国、俄国和中国革命时，也是同理。历史学家真正感兴趣的不是特殊事件，而是特殊事件中的共性。⁷

那么，特殊事件中的共性是什么呢？历史的普遍化又是什么呢？历史学家们无疑会提出许多观点来，但是最显要、最基

本的一条却是由美国历史学家康那斯·理德在半个多世纪以前提出来的。理德指出，历史研究中最重要的一条经验就是：

除非我们警觉到不断重新调整的必要性，否则我们就会创造出一种调整不良的条件，而这正是革命不可或缺的前奏，无论那场革命是采用俄国的形式还是意大利的形式……我认为，历史学有一种行使这一职能的重要的社会功能。⁸

换句话说，某种内部压力——理德的“调整不良”的聚积是所有革命风暴的前奏。或许，像托马斯·卡莱尔在谈到法国大革命的起源时说的那样：

饥饿、衣不蔽体和噩梦缠身压抑着 2 500 万颗心，这才是法国革命的主要动因，而不是哲学提倡者、有钱的业主、乡绅的受挫的虚荣心或矛盾的哲学。所有国家的所有革命也都如此。⁹

历史学家认为，调整不良是革命的前提条件，并且必定是所有社会中一切突然的、急剧变化的前奏，无论这些变化有什么特点、规模如何。¹⁰这个观点同时暗示出，调整不良和随之而来的人们的沮丧必须达到某种激烈的界限，社会体系才会崩溃。换句话说，这种沮丧必须超出另一位历史学家所说的“那种最有力的社会力量——惰性”。¹¹即使所有社会的某些成员一定总是对现有秩序不满，革命当然也不是每天都会发生。

历史的这种普遍性似乎既显然又模糊，其定义既毫无意义又完全正确。但是，与砂堆的基本物理相比，这一观点既有建设性又很令人迷惑。在砂堆上，只有当某一点的砂堆变得很陡，再落下一粒砂子就会使它超过承受极限时，才会有雪崩发生，砂子开始下滑。同理，在地壳中，“调整不良”的压力在

岩石中积聚，直到最终突然在地震中释放。如果理德提出的普遍化确实具有普遍意义的话，那么我们还是有理由认为，革命战争和其他剧烈的社会动荡都会同样以我们曾多次见到的对动荡的敏感来反映一个潜在的历史过程的运动。

我们将在下一章中再次讨论这种可能性。但是，在我们跃入整个人类历史奔腾的河流之前，最好还是先简单地畅游一下它的一条支流：科学的历史。如果人类历史真有一个普遍的特点，那么这应在它的每一个具体方面都有体现。20世纪60年代，科学历史学家托马斯·库恩出版了一本了不起的书，它一下子彻底地推翻了关于科学家如何工作的大多数流行的观点。我们将看到，库恩明确地把科学视为一个背景，在这一背景下，这种压力的全面积聚和释放对历史的进程和性质具有明显的影响。作为理解战争和政治革命的根源的步骤之一，我们应该看一看科学革命的背后。

学习的习惯

在 19 世纪末，科学仍旧十分粗浅。科学家被普遍认为几乎具有超人的能力，因为他们思想开放、理智、客观，能够遵循科学方法的万无一失的原则。人们普遍认为，科学家们假想出事物可能的运动存在方式，用客观事实进行检验，只保留那些“符合事实”的观点。所有不符合的观点都一律会像嚼过的口香糖一样，被丢弃一边。

当然，科学的确是产生和检验观点，并通过与自然的对话使之确立的，它绝不会被什么当局告之“事情是怎样的”。理查德·费曼曾经说过，“科学是专家们不知道的观念”，也许，有人会再加上一句，通过仔细调查使之变得为人们所熟知。但是，就算这是真的，认为科学家是由理智、客观和开通的神圣的三合体驱动的一种机器人，也未免太天真了。科学家也是人，既然所有科学都发生在研究人员的生活空间中，科学家们就会相互影响。20 世纪 50 年代，一些历史学家开始发现这种简单的可能性会产生重要的后果。

例如，历史学家迈克尔·波利安尼在详细地研究了在现实中科学如何发展之后，得出了结论，科学家并不像你认为的那样，真的开通、理智。相反，他发现：

关于事物的本质一定总存在一种显著的、被人们所接受的

科学观点……一种坚定的假说……一定很盛行……认为与这一观点相悖的任何想法都是错误的。这些观点即使无法得到解释，也会被丢弃一旁，希望最终会证明它是错误或不切题的。¹²

波利安尼发现，科学家们并不总是开通的，他们经常闭目塞听。他们并不总是一直去寻找证据来验证自己的观点，而是经常在证据主动送上门时也于事无睹。

在哈佛大学，库恩对科学中几个最富戏剧性的事件进行了长期历史研究，包括哥白尼革命以及与相对论和量子理论的诞生有关的动荡。在每一事件中，他发现当科学家们被合理客观地断定缺少事实依据时，他们都没能适当地摒弃旧的理论。库恩注意到，科学家们在任何时候似乎都能在情感上固守着一套观点，他们从不会想要摒弃这些观点，除非它们对于其要描述的自然“调整不良”已变得异常突出。

回想起来，所有这些都不足为奇。毕竟，科学家不是超人，甚至在他们进行科学研究时，也不会与别人有那么大差别。他们与常人一样心存偏见、盲目无知，总是希望世界是一个样子、而不是另一个样子。当然，这也并不意味着科学毫无用处。事实上，它似乎在起作用，而且作用还很大。但是，它怎样起作用呢？如果科学家总是拒绝丢弃他们看好的观点，科学又如何得以发展呢？作为一位赞同卡尔的寻找历史普遍性的观点的历史学家，库恩开始了对这些问题的回答，并在1962年出版的他的经典之作《科学革命的结构》一书中完成了这一任务。

库恩把范例的定义作为他认为在历史上科学更为现实的形

象的结构中心。范例是一个被证明正确的某种科学观点或实践的具体例子。用库恩的话说，它们是：

被人们接受的真正科学实践的例子——包括法律、理论、应用和乐曲等各方面——它们提供了一定模式，从这些模式中产生了科学研究的具体、固有的传统。¹³

把牛顿的方程和它们在行星运动中的数学应用放在一处，你就得出了一个范例。再比如，马克斯威尔的电磁方程加上将它们应用到无线电波、发电机等中的实际法则也是一个范例。量子理论的原则和实践代表着另一个范例，而且数以千计的物理学家每天都要以它为基础。把范例想像成一连串“好主意”，有了它，科学家就可以解释一些一直以来都很神秘的事情。¹⁴没有范例，科学家就会在自然现象的苍茫大海中溺毙，而无法判断哪些事实是重要的、哪些不是。科学家们在培训时学到了各种范例，也就通过例子学会了怎样进行科学研究。这些观点告诉科学家们宇宙是由哪些物质构成的——原子、波、量子场，等等——确定了这些物质运动的基础。结果，他们使得科学研究十分机械化。作为范例的“好主意”为科学家提供了基础，结果，科学家们满怀极大的热忱，把自己交付给了范例。

所有科学范例的集合构成了一种好主意的体系，它们被科学家的集体承诺粘附在一起，固定在其位置上。最显著的范例也是最基本的好主意，和量子理论、相对论、进化论，等等。但是，在这个体系中还有无数个小一些的好主意，这些观点在某些领域完全得到了证实，它们指导科学家怎样去解某种方程，或者提示他们哪种实验步骤会产生好的结果，等等。所有这些观点一同构成了科学最核心的结构，是波利安尼所说的

“被人们所接受的事物的本质的科学观点”。

然而，科学的主要任务是获得更多的知识，也就是，使好主意的体系更充实、更完整。如果科学指的是学习，那么这个体系就很难保持不变，库恩确认了它可以变化的两种基本的、但却大相径庭的方法。



是否正常

即使有一连串观点使世界在某些方面看起来是合情合理的，我们也还是有大量的工作要做，以发现这些观点的确切所指。例如，目前许多物理学家正在努力解决声音发光之谜，这是一个奇怪却极好演示的现象，指集中到焦点上的声音可以使水发出五彩的光。尽管这个谜已经困扰了人们几十年，但是人人都认为——也许是正确地——将化学、量子理论和流体物理学加到一起就完全可以把它解释清楚。换句话说，这项任务就是确认科学家们已经确立的观点，并且显示它们如何解释有趣的现实生活。

库恩把这叫做正常的科学，也就是意在详尽地说明范例的活动，以找出其观点暗含的全部内容。这也许像是一种简单的发展。这种科学十分保守，因为它不对任何范例的好主意提出质疑，而是坚信被人们接受的对事物本质的认识可以用来理解几乎一切事情。正如库恩观察到的一样：

正常科学……无论是历史的，还是在当代的实验室中的……似乎试图把自然强行塞入由范例提供的事先做好的、不是很灵活的盒子中。正常科学绝不想唤起新的现象；事实上，它对那些不适合这个盒子的现象总是视而不见的。¹⁵

正常的科学工作旨在壮大好主意的体系，使之涵盖更多的自然现象，填补所有空隙，并逐渐使之成为一个完整的、没有接缝的整体。

但是，不是所有的科学都是正常的。科学家试图使这一体系朝着一个或另一个方向发展，并努力填补某一空缺，而他们也许会发现有些现象就是不“适合这个盒子”。两条或者更多的好主意也许并不一致，这个体系的不同部分也许配合得并不得体。这些问题给正常的科学带来了麻烦，也引起了给库恩的第二种科学变化——科学革命——作铺垫的调整不良。

到 19 世纪 70 年代，正常的科学工作已把牛顿定律和在其基础上发展起来的经典物理学视为权威，慕尼黑大学的教授甚至告诫年轻的物理学家马克斯·普朗克“没有什么可以发现了”。英国物理学家罗德·凯尔文同样指出，“物理学的未来事实须在小数的第 6 位上进行查找”。然而，几年之后，理论家们就得出了一个令人不安的结论，经典物理的原则在逻辑上暗示出，所有物体总是放射出一定量的光，这是一条被称为“紫外线灾难”的荒谬理论。大多数科学家认为最终会有一位聪明的研究人员把这个谜解开，而这些经典的观点也就可以得到平反。但是，经过几十年的不断失败，事情开始变得越来越糟，尤其是许多同样棘手的问题甚至把调整不良推到了极限。

如果一个范例通常给科学家提供基础的话，那么它的毁灭也会带来可以想像的沮丧。20 世纪 20 年代，物理学家沃尔夫冈·波利被经典范例的谜团所困扰，他写道：

此刻，物理又一次处于极端混乱之中。一切对于我来说都太难了，我希望我只是个电影喜剧演员或这样的什么人，而从

没有听说过物理。¹⁶

但是，当正常的科学搁浅的时候，它还是为科学家们提供了一个机会。正常科学是保守的，认为范例式的观点是绝对不可变通的。结果，只有严重的调整不良带来的压力才会迫使科学家考虑到要挖出或丢掉一些好主意，并且重新构筑他们的基础。正如库恩指出的那样，这是科学的一个普遍结构：

正常的科学不断地误入歧途。当它超出正轨时——也就是，当科研界再也无法回避那些推翻科学实践的现有传统的异常现象——科学家就会开展大量调查，并最终达成新的共识，这就是科学实践的新基础。使科研人员的认识发生变化的不寻常的事件就是……科学革命。它们是对正常科学传统活动的打破传统的补充。¹⁷

在 20 世纪 20 年代的物理界中，沃勒·黑森伯格、颞文·斯克罗丁格和保罗·迪拉克受爱因斯坦、普兰克、奈尔斯·鲍尔和路易斯·德布罗格利的思想的启发，推翻了学术界的界限，奠定了量子理论的全新基础。经过一次这样不寻常的事件，科学家们又有了一个可以发展的有力的范例，即使这个体系已被改变得面目全非了，正常的科学还是会继续的。我们应该把波利的惊惶与他几个月后重新获得的自信比较一下，那时黑森伯格在创造一个新的量子范例的努力中初战告捷：

黑森伯格的机械又使我对生活充满了希望和喜悦。它当然还不能解决谜团，但是我坚信它还会向前发展。¹⁸

表明情绪的词是“发展”。因为正常的科学就像是在熟悉的领域发展，稳健而自信。

库恩的观点，概括说来就是，正常的科学不断地对现有的

好主意的体系进行填充和扩展，决不试图彻底改变科学家看待世界的方法。然而，具有讽刺意味的是，这种正常研究本身却不可避免地产生了异常事件和矛盾，并会导致在这种现存的概念体系中内部力量的增长。当这种调整不良达到一定限度时，该体系以及以此为基础的正常的科学就崩溃了。这时，科学家们发现，他们不能再靠积累和扩展向前发展，而只能拆除并且重建某一部分现存的体系。

◇ 这种重建绝对无法独立完成。正如在地壳中，几块岩石的下滑会改变周围岩石的受力，并会引发一系列进一步的变动，一部分体系的重建也需要附近领域的进一步变化。同样，这些变化也会需要其他领域的进一步变化。比如，原子的量子理论的创立表明，固体、液体和气体的科学理论一定得被同样重建。

革命的物理学

库恩的科学图景具有广泛的影响力。历史学家彼得·诺维克就《科学革命的结构》一书写道：很难再指出一部具有同样影响力的 20 世纪美国学术力作；在历史书籍中，没有能真正与之媲美者。¹⁹

这也许是因为库恩的著作并没有罗列事实，而是体现出适用于所有科学变化的普遍性。他在“受传统桎梏”和“打破传统”的变化模式之间的紧张关系中发现了深层历史过程的关键因素。但是库恩并不懂数学物理学，否则他也许会判断出这一过程有多深、多普遍。如果说库恩结构的基本成分看来都很眼熟的话，这也没有什么奇怪的——它们与地震运动的基本成分十分相像。

由于摩擦使岩石原地不动，地球大陆板块的缓慢运动并不能直接使地壳发生重组。大陆板块的运动只是使岩石处于压力的作用之下。只有当这种压力不断积聚并超过一定限度时，岩石才会突然而猛烈地移动、重组。同样，正常的科学在好主意的体系中不断积聚压力。正像波利安尼指出的那样，科学家的群体产生出一种“思维摩擦”，只有当这种压力越过一个限度之后，科学观点的系统才能在一场革命中得到改变。

这样看来，正常的科研工作就像是大陆板块的漂移，科学

革命就像是地震。我们还可以打一些其他的比方。我们都知道，地震没有典型的规模。当最早的那几块岩石下滑时，它们也许改变附近其他岩石的受力，所以引发进一步下滑，因为地壳自然地处于一种临界状态，所以每一次连续下滑会连带多少岩石是完全无法预知的，没有典型规模的地震。科学革命也会是这样吗？

我们用阿尔伯特·爱因斯坦、伊萨克·牛顿、查尔斯·达尔文和沃勒·黑森伯格这些名字来代表伟大的、惊天动地的科学革命。但是，库恩在1969年给新版的《科学革命的结构》撰写的附录中强调，这些革命本不一定有广泛的后果或包含重要的观点。物理学的一个小小的分支，或者甚至一个研究小组里的几个科学家就可以在其主要研究的观念的结构中进行一场革命式的变动。即使是一支小组，如果他们依赖的观点一直无法产生结果，那么他们也许会经历同样基本的变化模式：

一半是由于我选取的例子、一半是由于我对有关群体的本质和规模认识不够，本书的几位读者得出结论说，我关注的主要或者完全是主要革命，比如与哥白尼、牛顿、达尔文或爱因斯坦有关的那些革命……对我来说，革命就是包括某种重新进行的集体承诺的一种特殊的变化。但是，它不必是一次大规模变化，也不必让某一独立群体以外的人认为具有革命性，这个群体也许会由不足25人组成。只是因为这种科学的哲学文献很少得以确认或讨论的变化不断以这种小规模出现，所以，革命式的、而不是累积的变化才急需被理解。

所以，库恩自己认为，革命与正常科学的差异在于是打破传统，还是维护传统的特点。革命推翻一部分旧的观念体系，

正常的科学只是为它添砖加瓦。库恩的讨论暗示出，革命可能没有典型的规模：科学的动力是没有大小之分的，好主意的体系也许像地壳一样处于一种临界状态之中。但这些还只是可能。比喻并不能证明什么。怎样才能找到更有力的证据呢？

注释：

1. 理查德·伊万斯，《为历史辩护》，第 61 页（格兰塔丛书，1997 年）。

2. J.E. 詹姆生，摘自彼得·诺维克，《那个远大梦想》（剑桥大学出版社，1988 年）。

3. 西德尼·费，《世界战争的起源》（马克米兰，1949 年）。

4. 查尔斯·比尔德，《世界大战的英雄和恶棍》，《当代历史》，1920 年。

5. 哈利·艾尔默·巴尼斯，《世界战争的起源：战争罪恶问题的介绍》，（学者出版社，1990 年）。

6. 理查德·伊万斯，《为历史辩护》，（格兰塔丛书，1997 年）。

7. 哈莱特·卡，《历史是什么？》，（企鹅丛书，1990 年）。

8. 康那斯·理德，摘自彼得·诺维克，《高尚的梦想》，第 192 页（剑桥大学出版社，1988 年）。

9. 托马斯·卡莱尔，摘自爱德华·哈雷特·卡，《历史是什么？》（企鹅丛书，1990 年）。

10. 事实上，当康耶斯·瑞德在作上面摘录的评论时，他

指的只是国内或国际政治的危机。他在 1937 年写下了这段话评论美国历史界的一场危机，当时美国教育学家要求课程中增设社会研究，历史界因而处于很大的压力之下。很保守的历史学家都为此而震怒了。而瑞德指出挖掘根源只会创造出更大规模革命性变化的条件。

11. 彼得·诺维克，《高尚的梦想》，第 192 页（剑桥大学出版社，1988 年）。

12. 迈克尔·波利安尼，《全神贯注的潜在理论：科学中的权威有利有弊》，《自然》，1963 年。为清楚起见，我把中间句子的语序作了一些改动。

13. 托马斯·库恩，《科学革命的结构》，第 10 页（芝加哥大学出版社，1996 年）。

14. 库恩经常谨慎地说，一个范例涉及的不仅是理论观点，还包括其他一些清晰的和暗含的概念和实践，所有这些都适用于自然的观点。所以，认为一个范例是“一串好主意”并不是绝对正确的。然而，这却使讨论更简单一些，这些条件在后面都并不重要。

15. 托马斯·库恩，《科学革命的结构》，第 24 页（芝加哥大学出版社，1996 年）。

16. 沃尔夫冈·波利，《转折点》，摘自《20 世纪的理论物理：沃尔夫冈·波利的回忆录》（M. 费兹和 V.F. 威斯科甫夫编辑），第 22 页，（相互科学，1960 年）。

17. 托马斯·库恩，《科学革命的结构》，第 6 页，（芝加哥大学出版社，1996 年）。

18. 沃尔夫冈·波利，《转折点》，摘自《20 世纪的理论物

理：沃尔夫冈·波利的回忆录》（M. 费兹和 V.F. 威斯科甫夫编辑，1960 年）。

19. 彼得·诺维克，《高尚的梦想》，第 526 页（剑桥大学出版社，1988 年）。



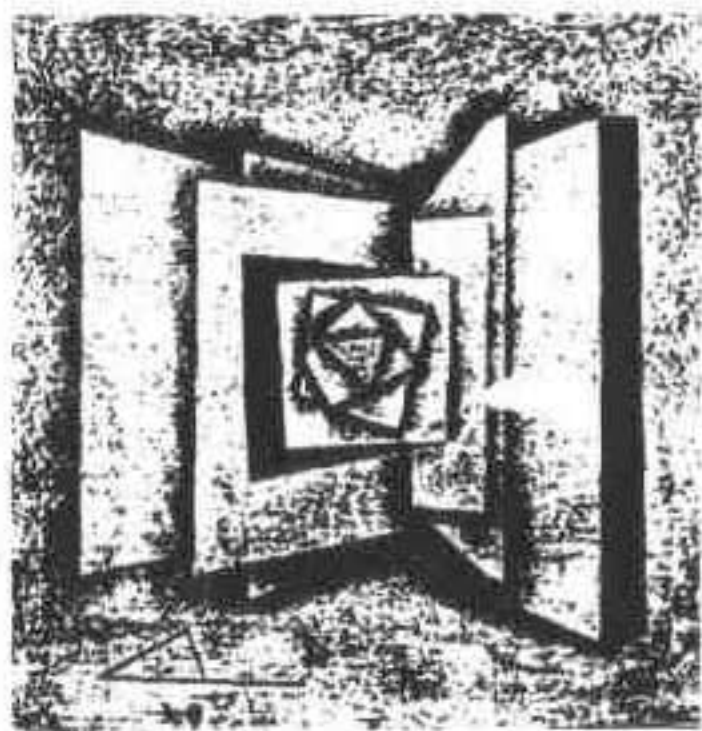
数字问题

科学……无法不侵犯社会上的其他领域而规规矩矩地存在；双方都没有可防犯的边界。

——约翰·克拉舍·普西斯¹

在历史上，没有什么比革命更能引起人们的兴趣了。

——艾德华·哈莱特·卡尔²



难以理解的事物是很难用严格的数学方法来把握的。我们完全可以把灵敏的探测器布满加利福尼亚的群山，从而监测圣安德列亚斯断层附近大陆板块的粘附和下滑运动，但这是另外一回事。地壳的崎岖不平的板块是实实在在、任你测量的；相反，科学观点网络却存在于极不易触及的科学家自己的思维和记忆中。尽管如此，库恩仍在《科学革命的结构》一文中提出了下面这条令人很感兴趣的建议：

如果每一次科学革命都会改变该社会的历史观的话，那么这种观念的改变应该影响革命后教科书和研究出版物的结构。这种影响——在研究报告中作为脚注出现的科技文献的分布变化——应该被视为革命爆发的一种索引而加以研究。³

库恩并没有进一步阐述他的观点，但其意图已不难体会。任何一位科学家都是专攻某一特定的科学领域的——粒子物理学、遗传学、宇宙学，或其他——每当他们发表论文时，其引言会使作者的观点符合该专业的权威观点。这些引言以某种间接方式将该领域的研究论文联系在一起，从而反映出观点网络的结构，虽然这种观点本身存在于人类思维的空灵氛围中。

我们想要研究这一网络变化的实质，幸运的是，引文恰好为我们提供了开展这一研究的方法。我们可以从地球物理学家那里得到一点暗示。在地震中，地质科学家用地震的震级来测定地面震动的强度。震级反过来反映出地壳的岩石结构中发生的物理重组的程度：大地震比小地震更易于改变地貌。正如我们在前面提到的那样，盖本伯格和里克特是通过研究许多地震震级的统计资料才发现了这条极其简单的能量法则的，该法则

暗示出所有地震从本质上讲都是一样的。震动最初总是从一个断层某一小段上岩石的下滑开始的。但是，地震的最终烈度却取决于其发生地点，而不是诱因；取决于它是否只是引发了远处岩石的一小串下滑运动，还是触动了一根足以带来剧烈地壳运动的长长的“不稳定手指”。

依此类推，每一篇科研论文都是某些观点的集合，当它在已存在的观点网络中找到适当的位置时，总会引起一场或大或小的变动。它也许是一篇理论论文，比如瓦兹和斯图加兹的小世界论文。这篇论文描述了数学图形和社会网络特性的鲜为人知的关联。到目前为止，这一全新观点已改变了其他科学家的一部分观念和研究兴趣，一些科学家撰写论文，进一步探索小世界图形的数学性质，其他人已开始将基础的数学理论应用于理解疾病的传播等领域。

判断这样的一篇论文中的观点能最终激发出多少进一步的科研活动还为时尚早，但有一点却十分肯定，那就是这些科研活动的相关论文多半会引用这篇小世界论文的原文。因此，要测定某篇论文引发的学术地震的整体规模，我们需要计算一下它被后来其他论文引用的次数。只收录一条引语的论文不会带来科学观念网络的大幅度重组，而包含一千条引文的论文则会引发巨大变化。

当然这只是一种大致测定论文产生的最终影响的方法。我们也会像盖本伯格和理克特一样问这样一个问题：一篇论文被引用的典型次数是多少呢？也就是说，当一种新观点诞生以后，它可以引发的学术地震的典型规模是多大呢？

论文追踪

◇ 幸运的是，要追溯一篇论文的引用历史并不困难。《科学引用索引》记录了 20 世纪 60 年代以来每篇科研论文的引用情况。随意选出一篇 1967 年 12 月发表的关于量子场理论的论文，你就可以查出从论文发表之日起谁在文章中引用了它。1998 年，波士顿大学的物理学家西德尼·雷德纳进行了这项调查，不是只针对一篇论文，而是针对 1981 年发表的 783 339 篇论文。他的确应该考察若干年以前发表的论文，这样在此之后那些旁征博引的论文才有时间得以完成。否则，得出的数字将不会真正反映出每篇论文引起的反响。

雷德纳考察了他选定的论文的统计数据，开始时发现了一个十分严肃的事实：其中整整 368 110 篇是根本从未被引用的。这些论文中的观点几乎没有在观念网络中引起任何可觉察到的反响。然而，在考察了影响力更大的论文之后，雷德纳发现了更有趣的东西。对于摘录了一百多条引语的论文来说，其引文的分布遵循着一条规格恒定的能量法则：如果观念网络可以像砂堆游戏或地壳一样被组织到临界状态中，其能量法则就可想而知了。被多次引用的论文当然要比不大被引用的论文少。但是，雷德纳发现论文引用的递减遵循着一个极其规则的模式：把论文的被引用次数增加一倍，这类论文的数量就会大约降为

八分之一（图 22）。因此，根本没有一篇论文被引用的典型次数，引申开来，每篇论文最终足以重组观念网络的典型级别也并不存在。⁴ 这暗示了什么呢？

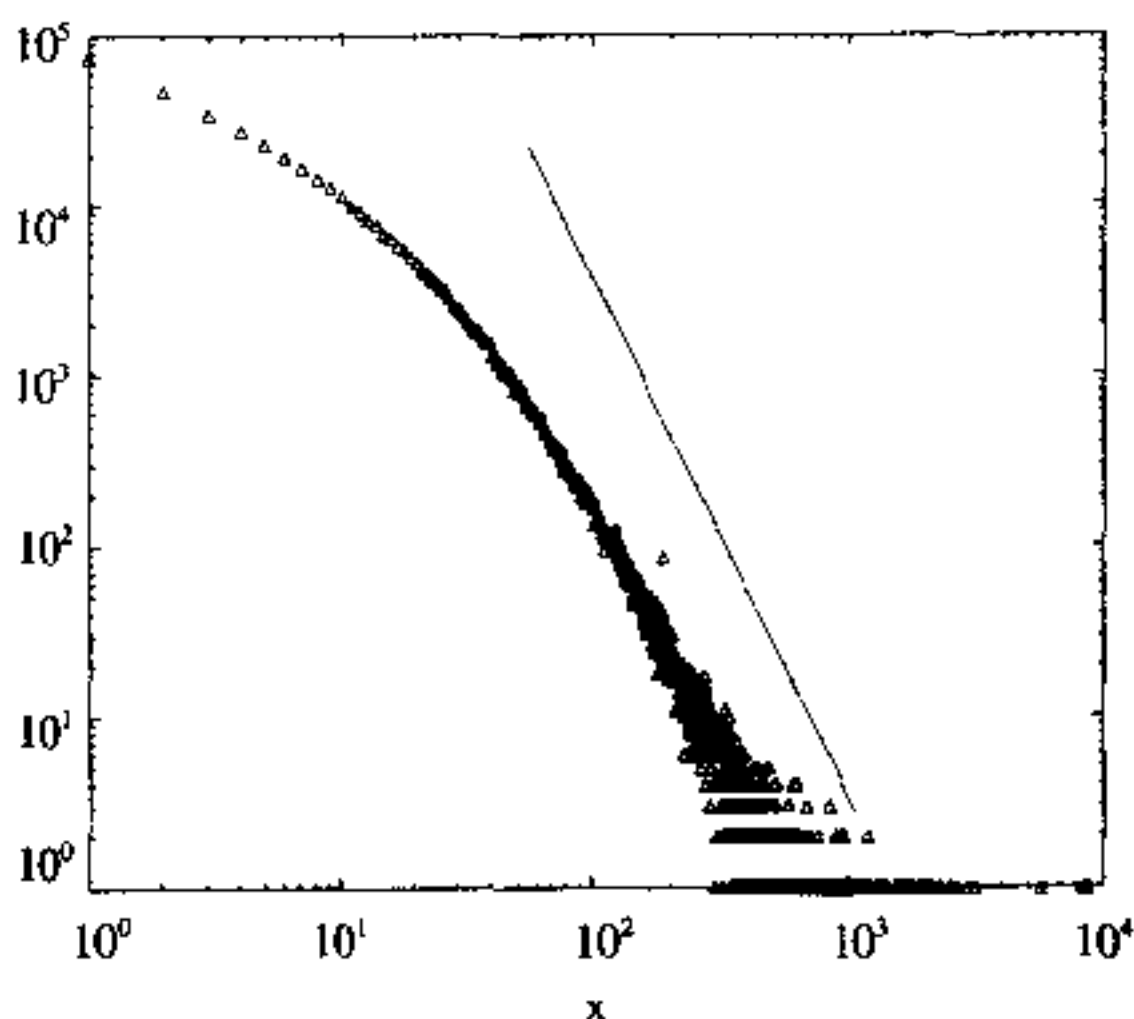


图 22 按照被引用次数分布的研究论文。（摘自西德尼·雷德纳，欧洲·物理 J·B，1998 年。经许复制。）

我们在前面研究集体灭绝时已经看到大规模灭绝在其他作为背景的普通灭绝中十分突出。从表面看来，这两种灭绝似乎起源于完全不同的原因：也许是相对于普通进化作用的外部冲击。然而，结果表明这种区分是一种错觉。我们也在地震研究中发现了同样的情况：尽管我们一直在努力探究大地震背后的特殊原因，但是盖本伯格—理克特定律却暗示我们根本就没有什么特殊原因。于雷德纳的统计数据表明，科学本身也许存在着很相似的东西。库恩暗示，小革命与大革命都可能发生，并

且两者都是“冲击传统”的事件，他也只能认识到这一点。但是雷德纳的引用能量法则是盖本伯格—理克特定律的科学动荡版本，它暗示出在深层意义上，大小科学革命之间是没有真正区别的。

库恩的里程碑式的分析和这条“学术性”盖本伯格—理克特定律暗示出，科学知识的结构像地壳和其他许多事情一样也是处于临界状态的。如果是这样，科学家就会有始料不及的发现，因为观念结构以这种方式组织起来，即使是最微小的偶然发现也会随时、毫无预警地触发一场剧烈变革的多米诺骨牌式的链式效应。预测这种革命几乎是不可能的，因为每一个新观点的最终影响不是过多地取决于它本身内在的深度，而是取决于它碰巧符合科学观念网络的某一部分。

人们把爱因斯坦的名字与科学史上最伟大的一次革命联系在一起。但是，爱因斯坦的革命源自他对马克斯威尔等式的奇异特性产生的困惑，该等式将光描述为一种电磁振动。他发现无法因为这些简单的等式而把光波假设成静止不动来进行研究。就是这个微小的概念上的矛盾，或者说只是一种好奇最终引发了物理界持续了几百年的重新修正，产生了相对论，之后又通过无数途径，产生了核能和原子弹。

类似的例子还有很多。1900年，普兰克发现了一个可以解释炽热燃烧物体发出的颜色的公式，为了得出这个公式，他不得不假定当光与物质相互作用时，能量的传递只能有微小的不连续的部分完成。当时，普兰克认为这只不过是一个能带来正确答案的廉价的技术手段，其原因也不见得正确。他和其他人都丝毫没有意识到这个技术手段几乎毒害了整个物理学，并

最终导演了量子物理学那场令人震惊的革命。

从临界状态的视角来看，大的变革未必有很独特的原因。它们只是一个处于临界状态的系统的可以想见的大波动而已。

科学的砂丘

这并不等于是说科学家之间的能力就没有差异，爱因斯坦只是平庸之辈，或者说他在 1905 年发表的关于相对论的论文中的见解并不深奥。整个观念领域的雪崩总是通过观念在人的头脑中的传播实现的。因为一个人产生某一观点后，很可能会进而引发其他的观点，当仔细考察了这些新观点后，又可能会继续联想到其他观点。让我们一同来回顾一下盎萨格关于他研制二维玩具磁石的描述：

这就像是一次投资，首先你想出了一个很好的范例，当然要以此为模板进行操作；在操作完成之前……又想出了第二个……范例一个接一个地冒出来，每一个都好得让人无法舍弃。⁵

同样，爱因斯坦是在本人认识到马克斯威尔等式的独特性后，才开始自己的革命的，但这场雪崩最终在爱因斯坦的头脑中结束之前，已经发展了很久。也许没有科学家会像爱因斯坦那样独自完成这样大的课题。那么人们也许会认为伟大的科学家未必一定要有引起科学变革的深奥观点，但一定会选取有这种潜质的观点，并将这一潜质变为现实。在地球上，岩石因受到在地壳上积聚的巨大压力的作用而自行下滑。在砂堆中，重力使砂粒滚落。但是，科学变化只能通过科学家的不懈努力才

能实现。伟大的科学家都独具慧眼，能够在观念结构中识别那些具有多米诺骨牌式的潜质，或是至少具有相当发展前景的观点，并且有能力、有热情实现从潜质到现实的转化。

那么，我们会得出什么结论呢？19世纪时，人们总是将科学比做一个建造知识宝塔的过程。科学家队伍就是一支建设大军，他们每人都为渐高的宝塔添砖加瓦。库恩的历史和哲学研究表明这种观点是何其过分简单。科学并不是靠简单的累加发展起来的。有时，一块新砖被加到塔上时，已有建筑上的严重错误会暴露出来，以至于科学家不得不推倒一部分塔身，再重新开始。

依据雷德纳的能量法则，我们可以使这一形象更为具体。理论家头脑中冒出来的新观点和实验员进行的每一项观察都可以被看做加到知识之山上的一颗谷粒。它也许会粘附到知识山上，仅仅促进了其结构的增长，也许会将知识山的一部分置于某种压力之下，以至于发生观点的滑坡。这种滑坡可能很短暂，也可能比较漫长。正如针对引文的无典型规模的能量法则所反映的那样，这种雪崩并不存在一个固有的或常见的规模。极微小的变革就如同我们脚下时常发生的微弱地震一样，它们每天都会发生，却极少会受到专业领域科学家的关注，对于其他人更是毫无作用。相反，正如我们了解的那样，巨大的变革会使科学大大改观，并且只要适当的思想出现在适当的位置，这种变革就会随时爆发。

在上一章的开头，我们看到了一些用于理解体现历史作用的事件，其表述方式还存在许多缺陷。在任何由偶发事件主宰的事物中，每一个微小的变故都会使未来的发展道路发生无法

挽回的转变，因此，在解释复杂事态的原因时，人们无法找到简单的、决定性的法则。人类历史就是这样，砂堆游戏和地壳运动也是如此。然而，后两种情况显然还有更多内容。我们知道，这些事物具有临界状态的特点，该状态表现为极其简单的统计法则：无规模限定的能量法则，这些法则体现出系统固有的极端敏感性，却又无从判断下一次事态的大致规模。所以，这些系统中的连续事件也许是无法预测的，但这并不等于说任何事都无法预测。我们只可能在许多连续事件产生的统计模式中发现历史发挥作用的法则。

这些法则捕捉到许多而不是一个叙述的普遍特点，从而反映出操纵每一串连续事件的深层历史过程的性质。奇怪的是，科学的历史动力之后也存在着这样一条法则。在科学家的研究方式中，在他们的观点彼此影响、最终产生全新观点的过程中，存在着一种自然的组织形式，它使得最初的微不足道的原因可能会无限扩大。学术地震法则反映出，尽管在这一情况下，这些影响只是空间的纯粹的观念，它们也是极易“传播”的。

当然，观念影响的不仅仅只是科学。从城市规化到剧院，人类活动的方方面面都存在相互作用的权威观念（应该包括实践、科技，等等）的生态系统。艺术、时装或音乐也都一样。当一个新的观点诞生时，它如果能在已有的观念结构中占有一席之地就势必会产生深远的影响。因此通过类比，我们可以猜想出几乎任何领域都会像科学一样按照类似的统计法则、以同样的分散节奏发展。总会有一些时候一切似乎都已解决，能做的事情已经全部完成了。但是偶而，某一旧观点的微小的意外

发展——一开始绝不激烈——却足以触发一场重新思考的浪潮，最终将演变为一场颠覆世界的革命。

我们甚至可以更大胆地猜想，我们可以在更宽广的巨大历史长河中发现临界状态的能量法则的标记。

人性的本质

曾经有人问英国首相温斯顿·丘吉尔：一个立志成为政治家的年轻人应该具备哪些素质。丘吉尔回答道：

他应该有能力预测出明天、下周、下个月、乃至明年会发生的事情，还要能够事后对他的预测失实作出合理的解释。⁶

历史当然是无法预测的。在这一点上，几乎所有政治家和历史学家都已达到共识。然而，多数人仍坚信人类事务的过程绝不会无缘无故地倒转或失控。当战争爆发，或者革命或经济剧变的喧嚣吞没整个国家时，历史学家断言这类事情像疾病一样，其原因是可以识别的。我们可以看到，在上一章关于第一次世界大战的问题上，我们并不总能达成一致意见——除了在常识和本次研究的目的上。

当然，要接受反面情况会让人很不舒服：世界会无缘无故爆发大变革，即使局势十分和缓，其后也会隐藏着蓄意破坏社会结构或国家关系的看不见的力量，它会在近期给人类带来巨大的灾难。然而，在这本书的开头，我指出，理论物理学正开始为一些问题提供暗示，例如，为什么历史没有规律可循，尤其是，为什么它必然无规律地时常受到间歇的、无法预测的变故的袭击。读到这里，读者也许才会开始明白，事情为什么会是这样。最后，再次从整体上理解人类历史将有助于对于库恩

的科学图像以及其后暗含的关于人类思维本质的观点作出最终的评价。

库恩的主要成就在于证明：即使科学家像其他人一样为人性所累，科学也会照常发挥作用。科学家根本就不是超理性的机器，相反，他们带着盲目的野心、偏见、成见和怯懦，渴望寻求一种绝对人性的确定。在每一个范例中，我们都会看到，科学家先是发现一个用以解释一部分世界的逻辑结构，他们会把它视为思维基础并依附于此——直到这一逻辑的分歧和矛盾变得极其显著，他们才不得不摒弃传统，继而转向其他值得赞赏的观念。

仅仅这些还不足以产生科学革命的临界状态和能量法则。但是雷德纳的能量法则教会了我们有关科学变化的其他一些知识。在砂堆游戏中，当砂堆的一部分坡度过陡时，砂粒便会下滑，直到砂堆再次处于刚过临界点之下的状态。也就是说，当一次雪崩为砂堆减少压力时，它同时仍使砂堆处于临界状态中的不稳定边缘上；最终，这就引出了隐藏在这类没有标准规模的雪崩之后的力量。地壳运动也是如此，直到岩石间的摩擦刚刚足以使下滑停止之前，这种岩石滑落运动会一直持续下去。

关于引用的能量法则告诉我们，科学家思维的动力也是与之大致相同的。科学家们如果被迫改换理论地基上的几块砖头，他们是不会不计后果地拆掉整幢房子的，而只会对地基进行最必要的修改。就像砂堆游戏一样，它会使观念结构自然保持某一状态，并且各处压力都几乎处于破裂点上，这时，下一次小规模危机也许会由于多米诺骨牌效应而引发一场极其浩大的革命。简言之，是思维的摩擦力使观念网络没有发生大的变

革，是思维的好奇心使它处于压力之下。这两种影响相互作用，就像地震中大陆运动的摩擦力和不断受到的推压一样。正是这种竞争最终产生了变革的临界状态和能量法则。

当然，科学家不仅渴望某种确定性，同时也不愿打破传统。在这一点上，科学家便显示出了人性的本质，人类的这种行为在各种情况下都是共通的。这些观点暗示出库恩所描述的普遍变化的模式也许比他料想的要复杂得多。不难发现，这一逻辑纲要在历史描述中到处都是。



文明及其不满

我在第一章中提到，历史学家保罗·肯尼迪指出，列强之间相互作用的大规模历史动荡在很大程度上是由国家利益驱使的压力的一种自然形成和释放。肯尼迪认为：

在国际事务中起主导作用的国家之间的力量对比从来都不是一成不变的，这主要是由于不同社会发展速度有快有慢，给社会带来不同发展的科技和组织突破有先有后。例如，1500年以后，远程炮舰的出现和大西洋上贸易的兴起给全部欧洲国家带来的好处并不是一样的——对一些国家的推动远大于其他国家。同样，蒸汽和煤的发展，以及这种发展所依赖的金属资源提高了一些国家的相对实力，因此也就相应地降低了其他国家的实力。⁷

这种自然变化使一些国家的力量超越了其经济基础的承受限度；其他国家找到了新的经济力量，因而寻求更大的影响。压力必然会不断增长，直到它最终超越某一极限——也就是由某一暂时的、极其偶然的危机引起的一些变化。通常，这种压力会在武力冲突中得到释放，之后每个国家的影响才能与其真正的经济力量达到大致平衡。

任何国家内部不同团体和个人的相互关系大概也可以按一个与之大致类似的模式来描述。没有任何社会是一成不变的，

当社会发生变化时，也许是由于历史偶然性，一些团体会变得比其他团体更有权势，因而激化了内部问题——经济、种族及其他。每个社会都有依附传统的结构——社会习俗、道德禁律、阶级结构、法律，等等——旨在保持稳定，调节成员内部的纠纷。但是仅有这种依附传统的结构有时是不够的。正如科学并不全是正规的一样，政治也并不全是通常的政府形式。库恩本人曾提出了这个类比：一种渐增的意识开创了政治革命的时代……现在的机构已无法解决由它们营造的环境带来的部分问题。同样，一种渐增的意识开创了科学革命的新时代……目前的范例在它曾起到示范作用的自然界的一个方面的发展中已失去了效用。在政治和科学的发展中，一种可以导致危机的失效感是革命的先决条件。⁸

尽管如此，由于人类渴望平稳，那些权贵和现有制度的受益者尤甚，直到冲突和不满越积越多，最终越过了临界线，现有机构的结构才会被打破。直到人们的积怨很深，他们才会起来革命。人们不会激进地反对在他们看来不公正的法令，除非这些法令让他们极其不满。回忆一下我们在第12章中引用的美国历史学家康尔斯·丽德的话：

除非我们对经常调整的必要性有一个清醒的认识，我们才会创造出必然导致革命前奏的条件，而无论这次革命是采取俄罗斯的形式还是意大利的形式……我认为对历史的研究会产生某种很重要的社会效应。

我们应该把丽德的结论同美国西部森林管理员取得的经验比较一下；这些森林管理者也正同样关注着自然发生的小规模火灾给森林带来的不断调整的益处。阻止这类调整只会使事情

变得更糟。

所有这些观点都还不足以使人信服。无论“国际关系网”还是任何社会的社会结构都不是那么容易捕捉的。尽管如此，在这两种结构中形成某种的压力正在累积，这一点是无可非议的。同时，当这种压力积聚起来时，它不会总是（或者说不经常）因这种“调整”而马上释放。压力必须累积到一定程度，才会引起变化。每一社区内部的传统就是社会摩擦的有力形式。因此，压力不断聚积，摩擦又使结构保持原状，直到最终摩擦力不敌压力败下阵来。

我们已经多次提到，当构成系统的各种不同成份都倾向于自发组织到临界状态时，这一过程就会自然进行。在这一条件下，某一处压力的突然释放会引发一场蔓延整个系统的压力释放的雪崩吗？要证明在任何社会系统中情况果真如此并不容易。然而，如果事实确实是这样的，那么我们就可以料定世界必定会遭受大战的摧残，任何社会都要经历激烈的变革，事变会经常无缘无故地发生。

令人感兴趣的是，人们目前已经掌握了些许数学证据，表明世界确实是按这种方式组织起来的。

严酷的推断

沃尔德·多斯妥夫斯基从他过去的研究中得出了 一条简单的经验：

他们打呀、打呀、打呀；他们现在在打，过去在打，今后还会打……所以你看，你可以对世界历史随意点评……有一点除外，那就是，不要说世界史是合乎逻辑的。⁹

最恐怖的战争都很显眼。它们像大地震和集体灭绝一样，看上去十分特别。但是，它们真有什么特别之处吗？也就是说，大规模战争是可以被某些人慧眼识别的特殊条件触发的吗？

在科学中，引文的记录严格描述了观点结构的变化，我们至少可以在这一过程中加入一些大概数字。在通史中却很难做到这一点。然而，20 世纪 20 年代，英国物理学家莱斯利·理查德森研究了 1820 年至 1929 年间的 82 场战争。理查德森在所有评定战争规模的方法中，选取了最明显、也是最严酷的一种：死亡人数。他遵照盖本伯格—理克特的程序，分别算出死亡人数在 5 000 至 10 000 之间和 10 000 至 15 000 之间的战争次数，依此类推，然后将数据制成一张图。他按照这种方法操作下来，绘制出一条曲线，显示着不同规模战争的爆发频率，并且找到了一条简单的能量法则：每当死亡人数增加一倍，相应规

模战争的发生次数就降为四分之一（图 23）。这与盖本伯格—理克特法则完全一样，我们也可以得出类似的结论：对于战争而言，没有典型规模，把战争分成小冲突和大灾难是毫无意义的。所有战争都遵循着一条平缓的曲线，它暗示着所有战争的根源都大致相同。

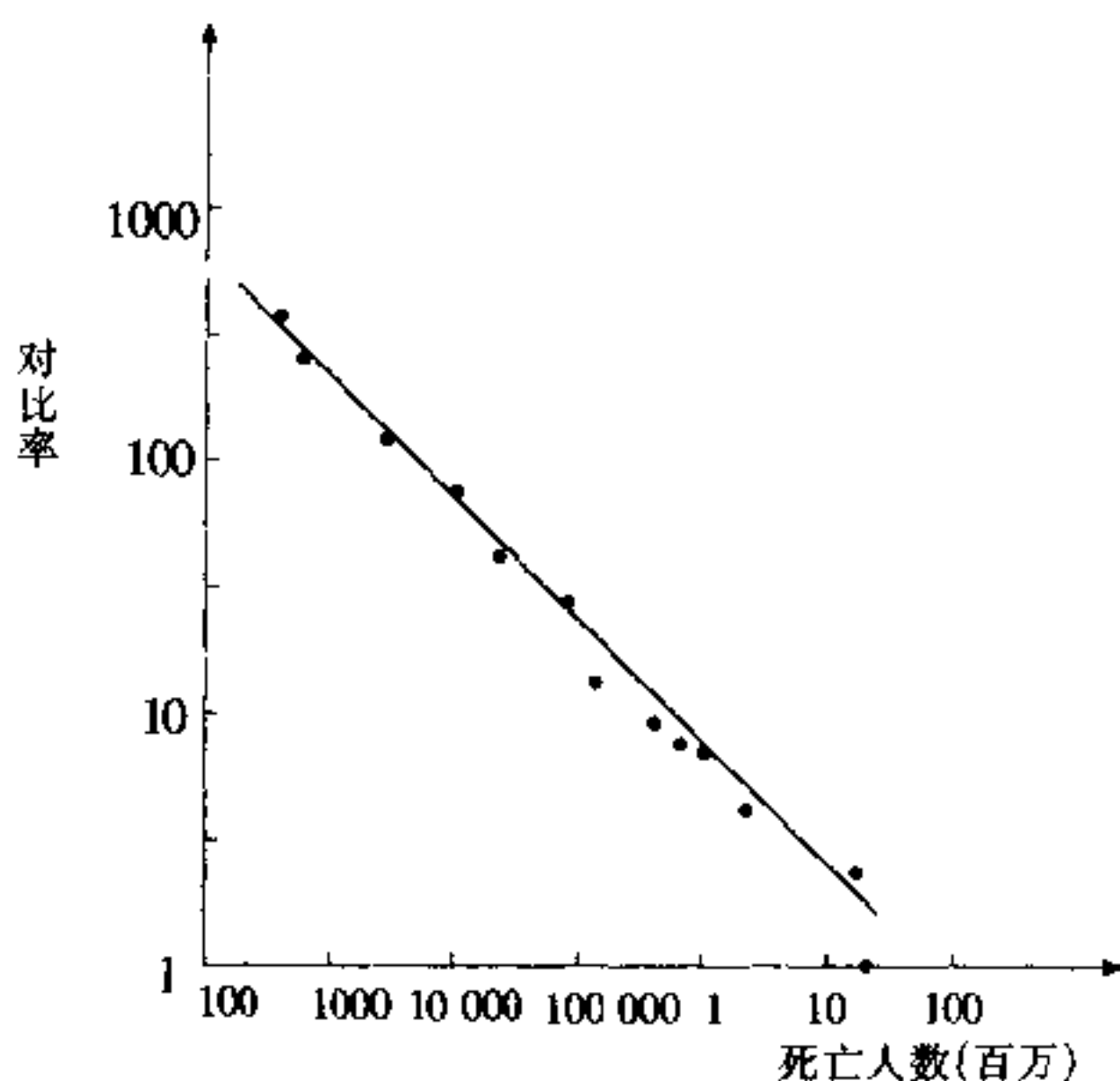


图 23 用死亡人数表示的死亡对比率

今天的世界人口当然要比几个世纪以前，甚至一世纪以前的人口多得多。因此，也许有人会对理查德森的分析方法提出强烈的反对：由于现在有更多的人可以卷入战争，这条能量法则不就很显然会表明近期冲突已变得更为致命吗？这项反对很有道理，然而，即使当研究人员弥补了人口变化的差异后，他们仍然得出了类似的能量法则。例如，20 世纪 80 年代，肯塔

基大学的杰克·莱韦研究了从 1495 年的威尼斯联盟战争开始到 1975 年的越南战争之间的所有战争，并且将理查德森的研究方法改为以死亡人数与当时欧洲人口的比例为标准来衡量战争规模。换句话说，他把战争的规模定义为人口的损失比例。尽管如此，他仍得出了一条能量法则，¹⁰只不过较确切的数学模式稍有改变：以这种方法统计，每当战争规模增大一倍时，其发生机率就降为 2.62 分之一。

所有战争都是由冲突引起的，这一点当然是不言而喻的。但是，这条能量法则暗示出，一场战争爆发之初，并不“知道它会发展成什么规模”——其他人也不得而知。总会有某些地区，不同团体之间的分歧、竞争、猜疑或仇恨由于某种原因超越一定限度，双方便准备拿起武器。协商团体之间纷争的传统结构已被打破，人们便诉诸残酷的武力来解决问题。这种破裂是否会呈蔓延之势，这场战争是否会愈演愈烈取决于周边地区是否也恰巧处于断裂点上，以及这个麻烦是否有可能波及其他人、其他社区、其他国家。当然，这一点本身对于我们来说并不陌生。每位国际事物分析家所关注的正是一个地区的麻烦也许会引起其周边地区的“动荡”，并且来自联合国、北大西洋公约组织和其他类似的组织的国际反映主要意在消除这种动荡。

这条能量法则对于我们来说却是全新的，它指出世界政治和社会结构倾向于自发组织到不稳定状态的边缘，战争以一种极其特殊的方式传播，以至于其最终规模几乎是无法预见的。能量法则的这种规模不定特性表明，在战争之初，没有什么明显的证据暗示出它的最终演变结果。彼此关联的组织把我们牢

牢地束缚在国家和社区内，因而，战火就像森林火灾或砂堆游戏中的雪崩一样蔓延开来。

事实上，科尔奈尔大学的物理学家唐纳德·特科特指出，莱韦于欧洲战争的能量法则中出现的数学 2.62 与森林火灾游戏的数字十分接近，后者应在 2.5 至 2.8 之间。因此，得出森林火灾游戏捕捉到了战争蔓延方式的精髓这一结论是很有诱惑力的。正如特科特推测的那样：

战争爆发一定就像森林着火一样。也许一个国家侵略了另一个国家，或者也许一个很有前途的政客被暗杀了，战火进而蔓延到周边地区的亚稳定国家。这些亚稳定性区域也许是指中东国家（伊朗、伊拉克、叙利亚、以色列、埃及等等）或者前南斯拉夫（塞尔维亚、波斯尼亚、克罗地亚等等）……有的战争规模很大，有的则较小。但是，其发生频率和规模的分布却遵循着能量法则。就世界秩序而言，小规模冲突可能会，也可能不会演变为世界大战。稳定和动摇的影响是十分复杂的。¹¹

鉴于战火和森林大火蔓延方式惊人的一致性，无怪乎历史学家无法在像第一次世界大战一样的冲突的原因上达成共识。那些提出“国际系统瓦解了”的模糊观点的人至少也许是正确的。战争的根源大概不是任何特殊的动因，而是存在于人类关系结构的整体之中——社会学的、经济的和政治的——这种组织使恶性影响得以“撒播”。

事实上，一位悟性很高的历史学家竟将第一次和第二次世界大战比做两次地震，不过我们还没有认识到他此举的英明之处：

1914 年到 1945 年是欧洲的多事之秋，它填补了 19 世纪末

的长期和平和“冷战”的更长的和平时期之间的空白。这就像大陆板块的运动和最终地震期的到来一样。它们包括了 1914 年至 1918 年的最初军事动荡，四大帝国的冲突，俄国社会主义革命的爆发，十几个新兴主权国家的出现，几十年间的武装休战，法西斯侵战意大利、德国和西班牙，以及 1939 年至 1945 年的第二次大规模军事灾难。¹²

信念的作用

对于其他重要事件，例如革命，我们很难找到任何有价值的数学证据。中国、法国和俄国的革命是异常血腥的，然而南非和前苏联显然没用暴力却也完成了同样深远的变革。因此，按死亡人数进行统计并不是权威的。而且，革命的政治性不需要太强。革命的范畴可以涵盖艺术和音乐、社会风俗和工作习惯、科技革命，等等。但是，在所有重要的社会变革之后，最终存在着一个简单的驱动力：人们之间彼此影响的能力。正如我们前面在金融市场中看到的一样，这一特点虽然十分突出，但效果却不很显著。

人们总是会效仿他们的朋友、邻居、家人或同事而买某些特定商品，接受某种观点，在投票中支持某一方，或是上街进行抗议游行，这是司空见惯的。1989年12月，成千上万的罗马尼亚人涌上街头，反抗尼古拉·齐奥塞斯库的统治。如果说他们是分别下定决心采取这一行动，这简直是不可思议的。所有集体行动都是从小事发展、膨胀起来的，随着几个人的行动感染其他人，运动就像病毒一样传播开去。在金融市场中，集体行动会导致股票和债券价格的急剧波动。在政治舞台上，它们会把政府推上或拉下台、加速革命到来，或使国家卷入战争。

这一点毫无疑问，并且几个世纪以来，历史学家一直在就此进行讨论。就像一个社会的斗争无疑会牵涉到其他社会一样，历史学家深知，大规模的社会运动不是由一个人而是由许多人的集体效应触发的。用卡尔的话说：

所谓史实实际上就是有关个体的事实，但不是个人的独立行为，也不是个体判断自己行事的真实或假想的动机。它是关于个人在社会中相互关系和社会力量的事实，这些社会力量源自个人行为，其结果却与个人意志不尽相同，有时甚至与之完全相悖。¹³

对于卡尔来说，集体动力是历史的核心。然而，在他写下上面这段话时，他不会知道这些动力至少在理论上是源自临界状态的，从根本上说是无规律可循的。

从这个角度更容易理解集体运动是如何开展的。历史学家们如果要理解某一场特定的革命，就势必要研究其产生的社会条件。要理解什么使一个人拿起武器参加罢工或者决定不生孩子，历史学家的确需要参透那个人的心思，衡量一下他对应的所有社会压力 and 影响。只有以这种方式，科学家才会逐渐认识到是什么引发了一场革命，因为在多数情况下，许多人的行为是有章可循的。但是，历史学家确实还需要知道各种影响是如何传遍整个人群的。要想弄清楚为什么集体运动并不罕见，为什么历史既有趣又多样，我们需要了解临界状态的性质。

20 世纪 20 年代，鲍尔几乎因量子理论的不确定原则而过于兴奋，这一原则表明，对一个量子粒子进行观察必然会破坏其性质。他甚至进而撰写论文，指出这条原则将被扩展应用到社会科学或心理学中，因为在这些领域中，观察者同样会不可

避免地给被观察者的行为带来影响。早在鲍尔之前，其他思想家已试图借助自己对爱因斯坦的相对论的完全错误的理解把物理观点转用到人文学上。爱因斯坦本人认为这种尝试是精神变态的：

我认为目前流行将物理规则运用到人类生活的潮流不但是错误的，还是应该受到谴责的。¹⁴

然而，量子理论和相对论都是以永恒的方程为基础的，历史无法以任何方式涉足其间。与之形成鲜明对照的是，在我们见过的砂堆游戏和其他简单游戏中，历史的作用是至关重要的。如果临界状态的特点能够对由相互作用的事物如何传播以及有序、混沌或变化如何发展作出更深的解释，那么我们可以毫不夸张地假定，社会学家和历史学家甚至会认为它是一个很有价值的概念。如果我们不太忘乎所以，不试图得出太多的经验，临界状态也许确实可以就人类历史给我们提供一些暗示。

注释：

1. 约翰·克拉舍·普西斯，《政府和社会》（约纽大学出版社，1954年）。
2. 艾德华·哈莱特·卡尔，《历史是什么？》第二版注释（企鹅出版社，1990年）。
3. 托马斯·库恩，《科学革命的结构》，（芝加哥大学出版社，1996年）。
4. 西德尼·雷德纳，物理 J.B 1998年。

5. 摘自西里尔·多姆，《临界点》，第 130 页（费勒和费朗西斯，1998 年）。

6. 选自艾伦·麦凯的《科学引文字典》（亚当·希尔格，1991 年）。

7. 保罗·肯尼迪，《列强的兴衰》（随意书屋，1987 年）。

8. 托马斯·库恩，《科学革命的结构》，第 92 页（芝加哥大学出版社，1996 年）。

9. 沃尔德·多斯妥夫斯基，《来自地下的注释》，（企鹅丛书，1972 年）。

10. J.S. 莱韦，《现代列强系统中的战争 1495 - 1975》，第 215 页（肯塔基大学出版社，1983 年）感谢布鲁斯·玛拉穆德向我推荐莱韦的著作。

11. D.L. 特科特，《自发临界状态》，报告·进展·物理，1999 年。

12. 诺曼·大卫斯，《欧洲》，第 900 页（派姆利科，1997 年）。

13. 艾德华·哈莱特·卡尔，《历史是什么？》，第 52 页（企鹅丛书，1990 年）。

14. 摘自彼得·诺维克，《那个圣洁的梦》，第 139 页（剑桥大学出版社，1988 年）。

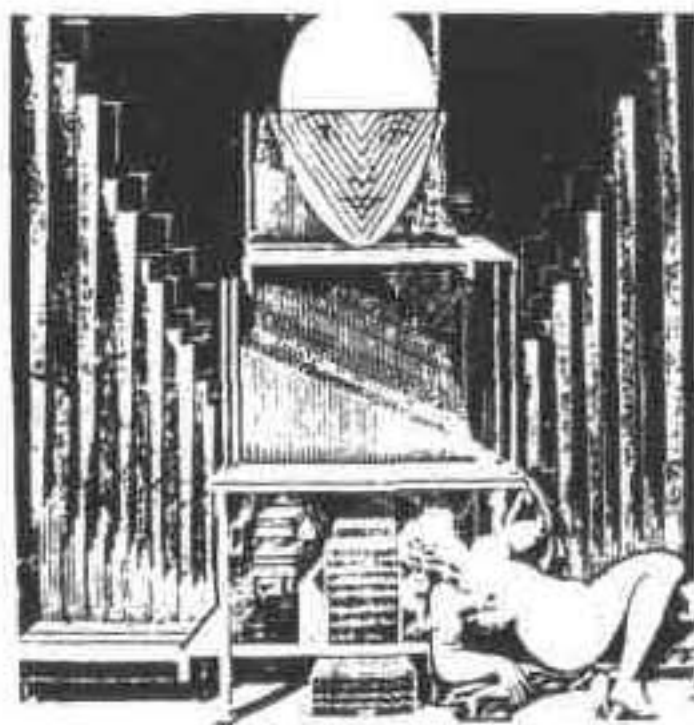
历史问题

历史学家一直错误地试图预测未来。生活与科学不同，它充满了太多的惊奇。

——理查德·伊旺斯¹

如果人们一直发问，就永远没有愚蠢的问题，也没有傻瓜。

——查尔斯·普罗特斯·斯坦米兹²



著名的英国历史学家托马斯·米莱利创造性地提出“历史是伟人的传记”。对于持有这一观点的历史学家来说，是阿道夫·希特勒发动了第二次世界大战，迈克黑尔·戈尔巴乔夫的独立智慧结束了冷战，马哈特玛·甘地为印度赢得了独立。这就是历史中的“伟人”理论：认为特殊的人群几乎独立于历史主流，并“凭借他们的伟大”而把个人意志强加于历史之上。³

这种诠释历史的方法无疑具有一种感染力，当然部分原因在于它们似乎使过去变得异常简单。如果希特勒的偏执是第二次世界大战的最终原因，我们就知道战争是如何开始的以及该把它归咎于谁。我们还会知道今后如何避免这类麻烦。如果当希特勒还是个婴儿时有人把他勒死在摇篮里，世界就不会有战争，数以百万计的人会因此而幸免于难。按照这种观点，历史要比我们按其他方法研究起来容易得多，因为历史学家完全可以忽视其他人，而只关注几个主要演员的行动。

然而，许多历史学家并不赞同这一观点，而是将它看做是对现实历史的一种嘲弄。阿尔顿男爵在1863年的时候写道：“在人类历史观点中，对个人的兴趣最易产生错误或偏激的看法。”⁴同样，爱德华·黑莱特·卡将历史上的“伟人”理论驳斥为“天真”、完全代表“历史思考的最初阶段”：

与其分析共产主义的根源和性质……不如把它称做卡尔·马克思的“脑力劳动的产物”来得容易，与其研究布尔什维克革命深远的社会原因不如把它归咎为尼古拉二世的愚蠢或德国的财富，与其把本世纪的两次世界大战看做国际关系系统的某种深层次的冲突，不如将它们视为威廉二世和希特勒的个人邪

恶。⁵

对于爱德华·黑莱特·卡来说，历史上真正重要的力量来自于大概由个人引发的社会运动，但是其重要之处都是在于有众多的参与者。他结论道：“历史在很大程度上就是一个数量问题”。⁶

当然，了不起的男人和女人确实存在，他们在历史上有举足轻重的影响。事实上，即使是集体运动也是有领袖的。但是对于抱有这种渐增信念的历史学家来说，认为是这些领导精心策划了历史却是错误的。没有人是在真空中生活或思考的，每个人都在很大程度上受到其他人的影响。结果，没有人像他表面看上去的那样，是一个完全自主、独立的演员。正如法国历史学家德·托克格维耶说的那样：

在所有文明人中，政治科学创造、或者说至少形成了普遍观点，在这些普遍观点中又诞生了政治家必须探讨的问题，以及他们设想和创造出来的法则。政治科学形成了一种社会上的统治者和被统治者共同呼吸的学术气氛，并且两者都极不情愿地从中得出了各自行动的准则。⁷

因此，当大人物被牵涉到重大事件中时，他们并不能推动事态的发展。相反，中心位置本身比占据这一位置更重要，因为这是巨大的社会力量发生碰撞的地方，正是在占据这种关键位置的过程中人们才变得伟大。

例如，让我们考虑一下希特勒。如果他被杀死在摇篮中，或者在他掌权之前就死去了，那么还会有战争吗？根据“英雄史观”的观点，答案都是否定的，但是，那些把集体的力量视为卓越超群的历史学家会把这个问题看得复杂得多，他们也许

会同意剑桥历史学家理查德·伊旺斯的观点，伊旺斯认为在德国的社会和政治背景下，即使希特勒和纳粹没有上台，战争终究还会爆发：

在始于 1929 年的经济大萧条结束后，魏玛共和国生存的机会是很小的，而一个由弗兰兹·冯·帕潘之类的人建立的极右独裁……或者霍亨索伦君主的复辟……将几乎一定会引发一串与现实类似的事件：重整军备、修改《凡尔塞条约》，显露出从未有过的精力和决心，表现出 1914 年至 1918 年间德国战争中明显昭示的征服动力。⁸

认为数学物理学能解决“伟人”是否决定历史进程的纷争的观点是愚蠢的。历史绝对要比任何砂堆更复杂。然而，研究砂堆可以帮助我们更容易地识别在考察历史和理顺其脉络时出现的错误。

了不起的砂粒

假设我们在第 12 章中遇到的研究砂堆的历史学家取得了卓越的成就，在晚年时，他受命撰写一篇有决定意义的文章《砂子世界的历史》。我们的这位历史学家很可能会从德国历史学家伦珀尔德·冯·兰克那里得到启发，1878 年，兰克以八十三岁的高龄，开始撰写他的著作《世界历史》，当他在八年后谢世时已完成了不下十七卷。要完成这样一部庞大的历史专著，我们的历史学家需要考虑每次雪崩的发生情况和最终结果。鉴于任务量异常庞大，也许他会采取比较实用的办法，也就是主要关注最大的雪崩，而将小规模雪崩留给其他胃口小些的历史学家去研究。因为就给砂堆造成的影响而言，大雪崩是极其显著的。事实上，真正的大雪崩可以带下数以百万计颗砂粒，而绝大多数雪崩只牵涉到几粒砂子（在砂堆中起主要作用的那些砂粒）。从这一点来看，砂堆的历史与大规模社会运动有许多相近之处。但是，这还是没有回答这个问题：砂堆历史学家如何解释这些大规模运动呢？

我们的历史学家不久还会判定某些个体砂粒发挥着极其重要的作用。很显然，同行们会指出，1492 年，一粒名叫格雷纽勒·哥伦布的英勇无比的砂粒引发了一场巨大的雪崩，最终将砂粒带到地球各处，从而改变了整个世界的面貌，改写了后

世的历史。这些同行还会谴责某人引发了一次臭名昭著的灾难，使东方的一半砂粒发生了下滑。对于每一项重大事件，他们都会找到那粒起触发作用的砂粒。他们也许会结论道，这些砂粒才是历史的真正原动力。

◆ 尽管我们的历史学家倾向于对此，但他（个人性格的细节的观察者）一定会注意到在那个二级世界中每个砂粒都是彼此完全相同的，所以任何一颗都可以成为了不起的砂粒。结果，尽管我们从心理上竭力想确认引发重大事件的了不起的砂粒，这种观点还是不可取的。我们的历史学家知道砂堆总是处于临界变化的边缘，因而逐渐认识到在砂堆上总会有几处地方即使在那里加一粒砂子，也不会产生改变整个世界的效果。然而，这些砂粒之所以特殊，就是因为他们碰巧在适当的时间落到了适当的位置上。在临界世界中一定会有几个重要的角色，而有些砂粒势必会占据这些位置。

人类历史也是如此吗？毋庸置疑，有些人由于个性和智力因素，比其他人更有影响力。然而，至少在理论上，我们的世界有可能存在于一种临界状态之中。在这个世界中，即使人们在能力上是相同的，总会有一些人，他们的日常行为也会产生十分严重的后果。他们也许并不自知，其行为的传播潜力也许能随着历史的发展而得以展现。这些个人会被渐渐视为伟人和极其重要的大规模社会运动的创造者。他们中的许多人也许确实很特别。但是，这并不意味着他们的伟大之处可以解释所引发的事件的重要性。

人们就像一定会寻找大地震或集体灭绝的根源一样，也会努力找出重大历史事件之后的伟大人物。但是，砂堆历史学家

却会最终完全否定历史中的“了不起的砂粒”的理论，并给研究人类世界的同行提出类似的建议。我们的历史学家也许会同意乔治·威尔海姆·弗雷德里克·海格尔的观点，海格尔认为：

一个时代的伟人是指那个能用语言反映其时代主旨、向世人传达这一主旨，并且完成这一使命的人。他的行为是该时代的核心和精髓，他实现了这个时代。⁹

按照这种观点，事件的重要意义是无法追溯到某个相关个人的伟大之处的。相反，一个人之所以杰出、伟大，是因为他具有一定能力可以宣泄被压抑的力量——时代的意志——因而能使更为巨大的力量发挥出作用。

在科学领域中，爱因斯坦是一位一流的天才。正是由于他的天赋，他可以把从马克斯威尔的方程中得出的暗示呈现给世人。但是，相对论的革命性并不在于爱因斯坦的天赋，而在于它代表了思维结构的一场巨大的雪崩。即使科学家从生理角度上讲都是一样的，这种革命性的创举还是会由几个特殊的科学家来完成。借用生物学家爱德华·O·威尔森的话说，“天才是许多人集体智慧的产物，只不过被贯以几个人的名字，使他们容易被辨识。”

在人类历史上，概括说来，有很大影响的个人的能力似乎更多地取决于社会系统的特殊组织。结果证实，不仅对于个人行为来说情况是这样的，许多怪异的历史事变亦是如此。

克娄巴特拉的鼻子

盖斯大屋·弗洛伯特曾写道，“记录历史就像是喝下一片海洋的水，而只排出一小杯的尿。”¹⁰每个历史事件都涉及到许多纷繁庞杂的事实，而历史学家在真正动笔之前，都要从中选出一小部分值得一提的历史事实。他们知道希特勒小的时候穿过什么衣服，也知道玛格丽特·撒切尔夫人吃过多少次炸鱼和薯条，但这些都不是历史史实。在浩如烟海的事件中，历史学家掌握的真正推动历史进程的重要事件和潜在的倾向却少之又少。

然而，还有一个问题。正如亨里·波温加利所指出的那样，“事实是不会说话的”。它们不会像鲸鱼一样浮出海面，表明自己的价值。为了判断哪些事件具有历史意义，哪些没有，历史学家会将自己的价值取向加于其上。那些认为政治影响普遍高于经济力量的历史学家会将注意力集中于政治事实上，而无视其他事件。另一位历史学家也许就截然相反。爱德华·黑莱特·卡指出所有历史学家都“着了魔”，读者应保持清醒的头脑：

当你读历史文献时，一定要听其弦外之音。如果你没有听到任何弦外之音的话，那么不是你耳背就是那位历史学家毫无水平。事实绝不会像鱼贩子货摊上的鱼一样明摆着。它们就像是在一片广阔、高深莫测的海洋中游弋的鱼。每位历史学家的

收获将部分取决于他的运气，但他选择的海域和运用的技法占着相当大的比重——这两点当然取决于他要钓的鱼的种类。¹¹

与事实选择和个人的独立性相关联的是另一个令人困惑的问题，历史学家称为“克娄巴特拉的鼻子”的历史难题。马克·安东尼疯狂地爱恋着克娄巴特拉，因为她的美貌，安东尼不惜率舰作战，最终在阿克提尔姆之战中败在了屋大维手里。关于那场战争的起源及其导致的后果——包括罗马帝国的发展的任何正规记录都少不了要提到克娄巴特拉的美貌。丘吉尔还曾说起过一件同样离奇的事：20世纪20年代，希腊国王被他养的一只宠物猴所咬，不久后就死去了。丘吉尔对继而发生的一系列事件，乃至最终希腊与土耳其的战争，发表评论说：“这只猴子的这一口咬死了二十五万人。”如果一直有微小的细节不断切入到较大的画面中，并且使势态发生急剧变化的话，那么历史学家如何才能判定每件事的意义呢？处于这种进退两难之境，历史学家要想把重要史实从大背景中分离出来就更困难了。

几乎所有历史学家都曾对此发表过议论，卡当然也不例外，我们应该看一下他对于如何判定事情的意义提出的建议，因为直至今今天历史学家们还在不断地对其进行探讨。卡认为，事件是按一个自然的等级序列排列的。假设，某一位罗宾逊先生穿过一条马路到一个不大引入注目的转弯处去买香烟时，不幸被一个喝醉酒的司机撞死了。他是因什么而死的呢？卡在那些可以被总结的原因中寻找着有价值的信息。如果罗宾逊不想抽烟，那他就不会被撞死了。这种观点当然成立。因此，他对香烟的需求就是这次事故的一个原因。然而，这并不是一个普

遍原因，因为一般来说，对于香烟的需求并不会使人遭车祸。相反，酒后驾车和不很显眼的弯道——导致罗宾逊死亡的其他原因是较为普遍的。酒后驾车和不太引人注意的弯道的确会使路人被撞倒，因而可以被视为事故的主要原因。同样，某人的鼻子或猴子咬人虽然会起到推波助澜的作用，但决不是使国家卷入战争的普遍意义上的原因。对于卡而言，历史主要是针对普遍原因的，因为这些原因可以给人类提供教训。

鉴于这一点，卡将历史事件的原因分成两个部分：第一部分为历史的真实材料；第二部分为奇异的故事。这种分法听起来很合理。但是在历史试验田砂堆中，我们又如何进行划分呢？假设，一粒砂子落到西面的某一处地方，砂堆的这处地方十分陡峭，因而这粒砂子引起了一场小规模雪崩。我们的砂堆问题历史学家注意到这个普遍原因：凡是一颗砂粒落到陡坡上，都会引起一场雪崩。这一点既合理又极富洞察力。到目前为止，一切都进展顺利。

但是，假设另一粒砂子落到别处，引发了一场巨大的、波及整个砂堆的动乱。历史学家还会指出砂粒下落处的砂堆坡度是引发雪崩的原因。但是，又是什么使这一原因变得如此显著呢？要解答这个重要的问题，我们需要考察导致砂堆上爆发雪崩的一系列复杂事件。结果，我们的历史学家也许会发现要找到一个具有普遍意义的原因是很困难的，一个由一千件相关事件组成的序列绝不会原原本本再发生一遍。

有些历史学家把第一次世界大战的根源归结为国际系统的崩溃，同样，砂堆问题历史学家会认为，一粒砂子就足以触发一场灾难性的、奇特而富有悲剧色彩的砂堆结构。这种观点也

许确实是正确的，但是如果它同时意味着这些“奇特的条件”是特别而不寻常的，那么这种思维方式便是一种误导。我们都知道，在砂堆游戏中，这些条件是很典型的，总会有一粒砂子碰巧落到适当的位置，继而引发一场巨大的雪崩。

如果理查德森和莱韦的关于战争规模分布的能量法则可以为我们提供任何暗示的话，那么人类历史也是如此，因为国家内部和国家之间的政治结构也是处于临界状态之中的。也许在局部层次上，要找到绝好的普遍原因就容易得多了，例如，丽德的“障碍调整”总是紧随着任何社会群落一部分传统结构的瓦解。丽德的概括与砂堆问题分析员的看法简直是异曲同工，在砂堆问题上，陡坡被认定是引起砂子下滑的原因，而在森林火灾中，人们认为一棵着火的树可以将附近的树引着。但是，为什么有些革命或战争的影响微乎其微，而有些则发展成社会剧变呢？在这个问题上，普遍的原因似乎更难找到。即使是对于世界大战这类臭名昭著的事件，历史学家也许最终也只能把它的根源归结为某人的鼻子或猴子咬人，又或者司机转错弯，然后再追溯接下来发生的一系列事件。也许，这就是他们在第一次世界大战的起源上很难达成共识的原因吧？这类事件的惟一具有普遍意义的原因也许就在于临界状态的潜在组织，这使得此类动荡不但可能而且势必会发生。

如果事实果真如此的话，那么克娄巴特拉的鼻子带来的问题就是千真万确的了，英国哲学家迈克尔·奥凯斯荷特也许是对的：

每一个历史事件都是必要的，我们无法对必要事件的重要性加以区分。没有一件事是完全反面的，它们多多少少都会起

到推动作用。认为一个独立的、被勉强划分出来的事件（因为没有历史事件可以完好地从其背景中划分出来）是起决定作用的，从原因和解释上来看，所有事件的连续过程……不是很差或历史意义模糊，而是完全没有历史意义……把整个事件的原因归结为某一先前事件而不是其他事件完全是随机的……原因和效果的严格概念……在历史解释中似乎是不存在相关性的。¹²

在临界状态的历史中，意外事故是完全无法预测的。从一个角度来看，战争的爆发显然是由于人们只能通过暴力才能解决分歧，或者甚至是因为他们喜欢血腥。但是从另一个更为抽象的视角来看，大战爆发也许只是因为人们集体的态度、观点和行为与悬于磁化与非磁化之间的磁石的波动一样。而我在前面几章的论述中都没有证实这一点。很可能“实际”信息仅在于此。

历史游戏

历史上的典型问题是：事情变成什么样了？海格尔和卡尔·马克思认为，历史就像一棵树的成长，朝着某种成熟的、稳定的末端状态向前发展。在这种情况下，随着人类接近处于历史终结的稳定社会，战争和其他混乱的社会事件会变得越来越少。或者，历史也许像历史学家阿诺德·托就此曾指出的那样，相当于绕地球旋转的月球的运动，是周期性的。托由此认为文明的兴起和衰亡是一个注定要按规律无限重复的过程。一些经济学家认为在经济领域存在着规则循环，几位政治学家怀疑这种循环使得战争的爆发也遵循相应的节奏。当然，历史也许反而是完全随意的，毫无规律可循的。这些都是历史学家认为事情如何变化的最普遍的可能性。

然而，这些还不是问题的全部。从原则上讲，确认事物的变化方式不是一个历史问题，而是一个物理问题。20世纪80年代，物理学家们发现，即使是非常简单的东西也会以极其复杂的方式运动。设想一个完全以规则方式上下移动的平台，就像游乐园中的那种，假设你从平台的上方投下一个弹性很好的橡胶球，接下来的问题是：球在平台上弹了十次之后，还会弹起多高？如果平台是静止不动的，这个问题就很容易解决：这个球会大致弹回到最初下落时的高度。但是由于平台是运动

的，要回答这个问题实际上是不可能的。因为手在投球时，即使最轻微的颤动也会在小球随后的弹跳中被放大数倍，并且在弹起几次之后，小球的弹跳高度就会变得完全不同。加之平台的运动，小球的运动轨道就变得极其不稳定，对其每次弹跳所作的记录看上去狂乱而不规则，完全是混乱一片。

然而，有些事物的运动看上去是完全随机的，而实际则不然。这是变化的另一个范畴，对于历史来说则不大适用。混沌理论解释极其简单的事物——例如，弹跳的小球所做的运动怎么会看起来异常复杂。如果你知道小球这次跳起的高度，那么通过数学运算就可以得出下一次的高度。在任何时候，你都无需确切地了解小球的状态。虽然由于这个游戏的混沌性使得它十分有趣，但这还是一个很简单的游戏。

然而，历史是复杂的。在历史中，许多人有许多态度、许多观点和许多记忆。人类历史就是同一时代下，许多男人和女人的故事，是一个集体的历史，所以，与此相关的物理也具有集体性质。要判断一块磁铁在任何时候的内部状态不能仅凭一点知识，而要掌握无数磁铁原子的运动信息。磁铁是极其复杂的。但是，如果说混沌状态告诉物理学家绝对简单的事物看上去可能会很复杂的话，那么临界状态则告诉他们极其复杂的事物可以以异常简单的方式运动。正如我们在第6章中看到的那样，任何处于两阶段之间的临界状态的物质，其基本组织不大取决于所涉及的各要素的具体特性。在事物中存在着一种具有深远意义的普遍性，它使得我们确切地了解到具有共同基本逻辑的简单数学游戏代表的无数不同的集合体。

要使一块磁石达到一种平衡的临界状态，需要精确的调制和大量的实验室工作。但是，现代物理学取得的最深层的发现之一就是：临界状态总是自发地在不均衡系统中产生。尽管物理学家们确实还在努力确定这一状态的出现条件，但这并不必然——事实上也没有影响到科学在其他领域利用这一突破。历史学家也是如此。

像混沌状态一样，临界状态连结了规则和无序之间的概念上的鸿沟。通过激变反映出的倾轧和狂乱波动的变化结构既不是完全随机的，也不是可以很容易预测的。这是一个普遍的、可以理解的结构，它无法完成细节描述，而只能在统计数字中得以显现，并且似乎令人类头脑充满了感性错误。长时期的平静突然被骤变打破，这既不正常，也不符合定律，然而事实的确如此。这似乎就是这个世界的普遍特性。

注释：

1. 理查德·伊旺斯，《为历史辩护》，第 62 页（格兰塔丛书，1997 年）。

2. 摘自艾伦·麦凯的《科学引文字典》，（亚当·希尔格，1991 年）。

3. 爱德华·黑莱特·卡，《历史是什么？》，第 54 页（企鹅丛书，1990 年）。

4. 摘自爱德华·黑莱特·卡，《历史是什么？》，第 47 页（企鹅丛书，1990 年）。

5. 摘自爱德华·黑莱特·卡，《历史是什么？》，第 46 页（企鹅丛书，1990 年）。

6. 摘自爱德华·黑莱特·卡，《历史是什么？》，第 49 页（企鹅丛书，1990 年）。

7. A·德·托克格维那，《美国民主》（1852 年）。

8. 理查德·伊旺斯，《为历史辩护》，第 133 页（格兰塔丛书，1997 年）。

9. 乔治·威尔海姆·弗雷德里克·海格尔，《右翼哲学》，第 295 页（英文翻译，1942 年）。

10. 摘自理查德·伊旺斯，《为历史辩护》，第 62 页（格兰塔丛书，1997 年）。

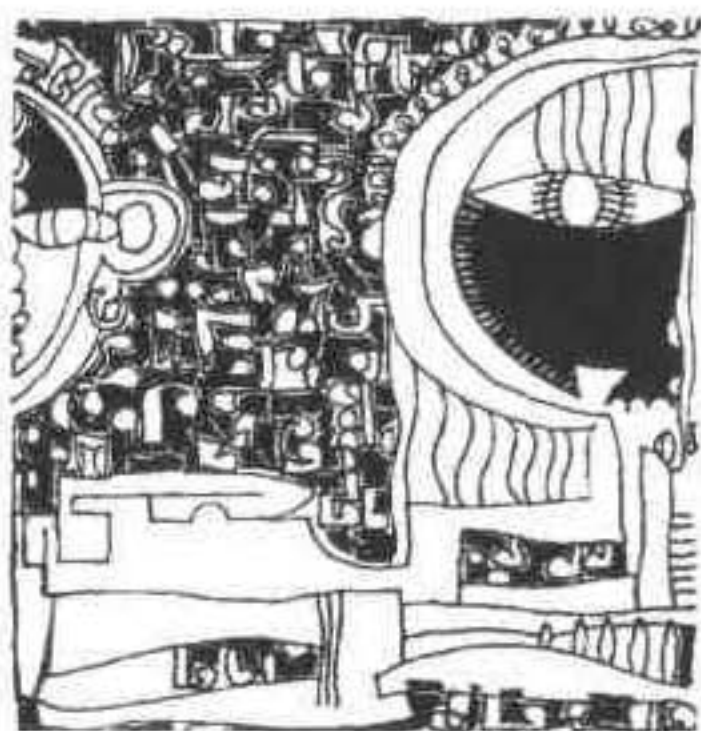
11. 爱德华·黑莱特·卡，《历史是什么？》，第 23 页（企鹅丛书，1990 年）。

12. 摘自尼阿尔·弗格森，实际历史：针对过去的“混沌”理论，《实际历史》（N·弗格林编辑），第 50 页（毕加德，1997 年）。

非科学预言

我将很简练。但还不会像萨尔瓦多·戴利那样简练，他做了世界上最短的演讲。他说，“我的话很简洁，到此就结束了。”接着就坐下了。

——E.O. 威尔森，在宾西法尼亚州立大学的开篇演讲¹



有人由于对历史着迷而成了历史学家。历史学家赫伯特·巴特菲尔德说过，“历史事件的本质中有某种东西，它总是出人意料地把历史的进程转到某一方向上去。”历史是令人着迷的。但这是为什么呢？它怎么会不乏味呢？

毫无疑问，未来总是不断地产生出十分新奇的事物。人类历史有些像生物进化：现有的东西总是同时以新的方式产生出未来的事物，而在此之前并没有与之相似的东西存在。在历史中有许多无法确定的潮流，其中最显著的一条便是我们的科学理解和世界的技术困扰的增长。前所未有的物件、过程和可能性不断应运而生。但是，正如我们前面看到的一样，地球生命的历史之所以有趣不仅是由于物种种类的新颖多样。生命结构有趣的临界状态的狂乱波动发生在集体灭绝以及影响到生态系统中各种物种数量的巨大变动中。

如果处于遍布全球的、相互交织的文化网中的人类革命果真如此的话，那么也许这一点就是历史并不枯燥的部分原因。为了便于集中到所讨论的事情上，还是让我们再来想一下磁铁吧。设想一下，你生活在磁铁世界中，其温度处于临界点之下。所有磁铁都向着同一个方面靠近，很少有偏离这一点的。你所有的朋友都在做着同样的事，生活是漫长、单调而空虚的。这个世界中的历史有着固定的法则和无休止的宁静，而缺少逆转时空的变化：历史十分乏味。事实上，根本就不存在什么历史，因为一种完全重复的记录不是历史，而是没有历史。

现在，假定温度比临界温度高出许多，所有磁石都狂乱而随意地来回摇摆，一块磁石在任意时刻的运动与其周围磁石毫

不相关。在这个癫狂的世界中，我们的朋友什么也指望不上，没有丝毫持续性，毫无秩序可言，过去将是一次对绝对随机变化的毫无意义的记录。同时，这也是一个百无聊赖的世界，因为你对它惟一可说的就是——它是随机的。

如果温度被定于接近临界温度的话，会出现多么有趣的现象啊。突然，某一块磁石对其周围磁石产生了很大影响，但还不足以让它们取得一致。你的社会现在将充满各种规模的群落，其相互关联以一种既不很有秩序也不很随意的方式不断变化着。你会偶尔注意到一些由一块或几块磁石引发的大规模运动，这些运动将出人意外地席卷整个世界。在经历了一段任意时间的平静之后，另一场大规模运动转向了其他方向，前一段历史也告一段落了。没有任何一场运动是对过去事件的简单重复，每一种变化在细节上都和过去有所区别。

你还会发现自己的行动对于在你的世界中将要发生的事情在潜质上产生着巨大的影响，其他人的行动也将对你产生未必必然、但却是深远的影响。回顾历史，你会发现一个有趣的模式，有序和混沌始终以一种让人困惑又令人兴奋的方式相互交织着。事情看起来发展平稳并且可以预测，正在此时，一场大的变革又即将颠覆整个世界。历史将十分有趣。

这能否提示我们，为什么我们自己的人类世界是很有趣的呢？我们已经得到了一些暗示，我们的世界在许多层次上的确呈现出砂堆或处于临界状态中的磁石那样同样的波动，此时事物的影响具有一种巨大的“扩张”能力。如果这个世界的社会和政治结构真是以这种形式构筑的，我们就得学会应付意外情况了。我们现在生活在一个相对和平的时代。这种相对平稳可

能会持续又一个世纪，也或许我们会在五年内看到另一个世界——谁也无法肯定。你所属的国家也许会存在 500 年、亦或 30 年内就灭亡了。如果世界处于临界状态之中，我们就可以调查局部原因，判明政治和社会原因如何导致各处的历史变化。但是，如果任何事件的最终影响都取决于其细节如何交织在一起构成“不稳定手指”，触遍整个世界，那么，人们几乎不可能看透未来。任何潮流都很难长存，我们惟一可以预测的就是未来将继续逃脱我们的控制。这也许就是历史之所以有趣的原因：它既不是静止不动的，也不是任意变化的，而是在两者之间达到一处极不稳定的平衡，因而像砂堆一样总是处于剧变的边缘。

古生物学家和进化生物学家史蒂夫·杰·戈尔德曾正确地观察到：

我们尤其会被那些未必是真实的事物而打动，这些事物由于反复酝酿的可以识别的原因而不断出现。相反，二分法出现的极端——确实的、不可避免的随机——通常在我们的心理上没有什么影响，因为它们无法控制历史的代理人和目标，从而被选定或被排斥，无缘重返历史。但是，随着聚集的不断深化，我们也被牵涉进去了，大家共同分享胜利的的喜悦和失败的苦楚。当我们认识到实际结果未必一定如此，事情发展过程中的任何一个选择性变化都将完全改变其发展方向时，我们就捕捉到了独立事件的一般法则。我们可以对每一细节加以讨论，为其悲痛或狂喜——因为每个细节都具有变化的能力。聚集是对最近事件通过命运之神进行控制的承认，这是一个失去了对马蹄铁需求的王国。²

在我们的世界中，每一个微小的事件都被记录了下来，其影响足以改变整个世界。世界的面目未必一定如此，它也可以被改换成另一番天地。

临
界
◇



历史物理学

几位历史学家开始认识到物理的确恰如其分地提出了一个全新的概念体系。正如牛津大学历史学家尼阿尔·费格森所写的一样：

本世纪以来，许多历史哲学家一直在争论历史是否是一门“科学”，他们似乎并没有认识到科学的定义已是十九世纪的老古董了，并且，如果他们曾经留意一下那些从事科研的同行真正在做什么的话，他们就会奇怪——也许甚至高兴地发现他们问了一个不该问的问题。因为现代自然科学发展的一个显著特点就是：它们在特点上已经完全历史化了。³

费格森指出，混沌理论是历史学家一个重要的概念工具，被用作调解灾祸和突发事件的分歧。混沌状态的确显示出即使是对于一个真正具有绝对决定意义的过程，在初期的些许变化也会导致不同的结果。然而，正如我们已经看到的一样，混沌状态缺少的正是集体行动这一重要观念。在历史上，不是只有几种力量在发挥作用，这样的力量数不胜数。要理解历史中可能出现的典型结构，我们需要掌握许多独立事件相互发生作用的历史学体系。

这里涉及的是非均衡统计物理学的领域。在这种体系中，要想做出精确预测显然是不可能的，然而，在独立事件中平衡

这种混沌状态的却是极其规则、十分简单的统计法则——比如我们多次见到的能量法则。它们体现出特定事件后隐藏的深层历史过程的特点。历史学家不应该从混沌状态中寻求指导，而应该转向普遍性——一个几乎神奇的发现，即在非常宽范的条件下，由各种彼此关联的事物构成的体系在运动中表现出的普遍性质。

在远古时代，人们通常把大的事件归结为神的行为。用一位历史学家的话说：

每当原因与结果不相称，或者平常的解释还很不够时；每当突发事件或一个离奇的猜想使得事与愿违时；每当通常不被考虑的外来因素……使事态发生惊人转变时。每当这类情况发生，人们就会……相信是“上帝”主宰了一切。这个世界的进程让人无法理解，人们感觉历史是结果，而不是人为产物，当他们无法理解或掌握自然的运动时，必然产生的依附感，自然事件的神秘感……所有这些事情都让人们真切地感觉到世事多数由神来主宰。⁴

今天，我们仍然受到大战和革命的冲击，尽管现在我们不会再像古人尊崇神明一样对它们持有一种形而上学的安慰感。我们知道历史是个体之间相互作用的产物，每个人都具有交战与和平相处的潜力，在个人行为的神秘海洋中，汹涌的海浪不断涨起，将我们卷走。当人们意识到这种浪潮是不可逆转的时候，就不会感到安全和幸福。但是，它至少使人们进一步认识到，喧嚣的人类进程未必是极恶毒的人类狂野的产物，而是普通人性和简单数学的产生的结果。

物理已经进入了一个神奇的纪元。正如加利福尼亚大学圣

巴巴拉分校的物理学家詹姆斯·朗格尔在 1997 年所写道的那样：

在历史上第一次，我们掌握了解答那些从前一直困扰智者的难题的工具——实验设施以及计算和定义概念的能力……我没有任何时候会比现在对物理的学术活力抱以更大的希望。⁵

朗格尔在评述从理论上应如何理解一个历史过程时说道：这里指的不是人类历史，而是雪花的极其复杂的形状的形成过程。在稀薄的空气中，雪花像冰一样结晶，其形成过程就是历史发挥作用的最佳例证。最巧的是，当我完成这最后一章时，恰巧坐在窗前，窗外便是法国阿尔卑斯山脉的一片山坡，此时一场高山猛烈的暴风雪已使山地变得一片银白。雪花的数量之大确实让人震惊，但是更让人称奇的是没有两片雪花是完全一样的，然而，它们又都具有普遍特点。几个世纪以来，这一直是一个不解之谜。但现在，这已不再神秘，科学已经发达到足以解释雪花的形状的程度。

非均衡物理学是物理学家新的研究前沿，从研究期刊的所有历史性游戏和现在物理学家已将其应用于上百种事物来看，朗格尔对物理的“学术活力”充满信心就不难理解了。当然，这还只是一个开始。事实上，我在本书中提到的所有研究，无论是地震或灭绝科学，雪花的科学，科学本身，还是人类历史学，都仅代表由历史发挥作用的事物的科学之最的开端。

托尔斯泰在他的小说《战争与和平》中曾提出过这样的问题：“战争和革命为什么会发生？”也许物理学家仅按他们自己的独特方式、凭过于简单的抽象的倾向，是很难帮助历史学家改进其答案的。

我们并不知道一切。我们唯一知道的就是为了产生一种或另一种结果，人们将自己按某种特定的方式组织起来，我们认为这就是人的本质，这就是一条法则。

注释：

1. 摘自邓肯·瓦兹，《小世界》（普林斯顿大学出版社，1999年）。

2. 斯蒂芬·贾·戈尔德，《美妙人生》，第284页（企鹅出版社，1991年）。

3. 尼阿尔·费格森，针对过去的“无序”，《实际历史》（N·费格林编辑）第72页（毕加德，1997年）。

4. 赫伯特·布特菲尔德，《历史的起源》（尤尔·梅希思，1981年）第200页，另见尼阿尔·费格森的《实际历史》，第20页（毕加德，1997年）。

5. J.S. 朗格尔，《非均衡物理学》；摘自《物理中的重要问题》（普林斯顿大学出版社，1997年）。

图书在版编目(CIP)数据

临界/(美)布查纳著;刘杨,陈雄飞译. —长春:吉林人民出版社,2001.8

ISBN 7-206-03855-7

I. 临… II. ①布…②刘…③陈… III. 科学知识—普及读物 IV. Z228

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 059049 号

临界

著 者	马克·布查纳	封面设计	翁立涛
责任编辑	刘文辉	责任校对	阎 勇
出 版 者	吉林人民出版社 0431—5649710 (长春市人民大街 124 号 邮编 130021)		
发 行 者	吉林人民出版社		
制 版	吉林人民出版社激光照排中心 0431—5637018		
印 刷 者	长春市恒源印务有限公司		

开 本	850×1168 1/32	印 张	10.75
版 次	2001 年 8 月第 1 版		
印 次	2001 年 8 月第 1 次印刷		
字 数	230 千字	印 数	1—5 000 册
标准书号	ISBN 7-206-03855-7/G·1178		
定 价	19.80 元		

如图书有印装质量问题,请与承印工厂联系。

科学佳作 科学力作 科学妙作

支点丛书

肖 凡 / 主持

第一批 6 种

魔鬼出没的世界

[美] 卡尔·萨根 / 著

宇宙

[美] 卡尔·萨根 / 著

自私的基因

[英] 理查德·道金斯 / 著

相同与不同

[美] 洛德·霍夫曼 / 著

找寻逝去的自我

[美] 丹尼尔·夏克特 / 著

命运之神应置何方

[美] 戴维·林德利 / 著

第二批 3 种

谜米机器

[英] 苏珊·布莱克摩尔 / 著

机会的数学原理

[英] 约翰·黑格 / 著

超越爱因斯坦

[美] 米切奥·卡库 詹妮弗·汤普逊 / 著



责任编辑/刘文群
封面设计/靳立涛

“我的目的不在于让人们明白，为什么历史是它现在的这个样子；它为什么必定伴有巨大的、难以预料的骤变；为什么以往人们寻找历史变迁的周期、进程和模式的所有努力都必然注定会失败……

科学家们终于开始了解各种纷乱的事物背后的东西，开始看到从前不为人所知的真正发挥效力的模式。”

——马克·布查纳

ISBN 7-206-03855-7



9 787206 038556 >

ISBN 7-206-03855-7

C·1178 定价：19.80 元