

TED 演讲人 作品

a mindshare
business 与思想有关

同步

秩序如何从混沌中涌现



SYNC

How Order Emerges
from Chaos in the Universe,
Nature, and Daily Life

[美] 斯蒂芬·斯托加茨 (Steven Strogatz) 著

张羿译

四川人民出版社

同步

[美] 斯蒂芬·斯托加茨 (Steven Strogatz) 著

张羿 译

常州大学图书馆
藏书章

SYNC

How Order Emerges
from Chaos in the Universe,
Nature, and Daily Life

图书在版编目 (CIP) 数据

同步 / (美) 斯蒂芬·斯托加茨著; 张羿译. —成都: 四川人民出版社, 2018.2

ISBN 978-7-220-10695-8

I. ①同… II. ①斯… ②张… III. ①复杂性理论—研究 IV. ① TP301.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 033101 号

著作权合同登记号

图字: 21-2017-691

上架指导: 前沿科学 / 科普读物

版权所有, 侵权必究

本书法律顾问 北京市盈科律师事务所 崔爽律师
张雅琴律师

TONGBU

同 步

[美] 斯蒂芬·斯托加茨 著 张 羿 译

责任编辑: 蒋东雪 张 洁

版式设计:  李新泉

封面设计:  王 俊工作室

责任印制: 王 俊

四川人民出版社出版

(成都市槐树街 2 号 610031)

北京中联印务有限公司印刷 新华书店经销

字数 245 千字 开本 170 毫米 × 230 毫米 1/16 印张 20 插页 1

2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-220-10695-8

定价: 89.90 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容

版权所有, 侵权必究

本书若有质量问题, 请与本公司图书销售中心联系调换。电话: 010-56676356

2192715

TP521.5
6
C1-3

同步

同步系列丛书


洪启文化
Cheers Publishing



a mindstyle business

与思想有关

SKIN



谨以此书献给阿瑟·温弗里，
我的导师、精神领袖及至交好友。

SYNC



聆听同步的循环之声

宇宙的核心存在一种稳定、持续的搏动：同步的循环之声。它遍及自然界的每个尺度，小到原子核，大到宇宙。每个夜晚，沿着马来西亚的潮汐河流，成千上万只萤火虫聚集在红树林中，同步闪烁着，要知道，它们没有收到任何指挥或来自环境的暗示。上万亿个电子在超导体中步调一致地前进，使电流在零电阻的状态下流过。在太阳系中，引力同步可以将巨大的石块弹射出小行星带，飞向地球，这种流星产生的巨大影响被认为是恐龙灭绝的原因。甚至我们的身体本身也是一曲富有韵律的交响乐，通过心脏中成千上万的起搏细胞持续不断且协调一致的发射，维持着我们的生命。无论哪种情形，这些同步的壮举都是自发出现的，仿佛大自然对于秩序有一种怪异的向往。

于是，这些同步现象引发了一个深刻的思考：长期以来，科学家一直对宇宙中自发秩序的存在感到困惑。热力学定律似乎指向了对立的方向：大自然会无情地向更无序的状态、更高的熵值退化。然而，在周围环境中，我们看到的宏伟结构，如星系、细胞群、生态系统、人类，都以某种方式自组织。这个谜题困扰着今天几乎所有的科学研究。只有在少数情况下，我们才能清楚地理

解秩序是如何自发产生的。第一个例子是物理空间中的一种特殊秩序，其中涉及完全重复的结构，即当温度下降到低于冰点的时候，数万亿个水分子会自发凝结成刚性、对称的冰晶。然而，要解释时间上的秩序则存在更多的疑问，即使是最简单的可能性，即相同的事情同时发生，也被证明是非常微妙的，我们把这种秩序称为同步。

乍看上去，似乎没有什么需要解释。你和朋友在餐厅约会，如果你们两人都准时到达，那么你们的到来就是同步的。一种类似的寻常的同步是由对相同刺激的反应所引发的：一群鸽子受到汽车爆胎声的惊吓一齐起飞，在短时间内，它们拍打翅膀的节奏几乎是同步的，这只是因为它们对相同噪音的反应相同。鸽子其实并未相互沟通拍打翅膀的节奏，并且最初的几秒过后，这种同步就会消失。其他类型的瞬态同步可能会偶然出现，比如在周日早晨，两座教堂的钟声可能会同时响起，并保持一段时间，然后分道扬镳。当坐在车里等红灯时，你可能会注意到，你的车和前车的信号灯以完美的时间间隔同步闪烁，并持续一段时间。但这种同步纯粹是巧合，几乎没有关注的价值。

引人注目的是持续的同步。当两件事情长时间同时发生的时候，同步或许就不是巧合了。这种持续的同步很容易出现在人类身上，而且不知何故，它常常给我们带来快乐。人们喜欢一起跳舞，一起合唱，共同组成一个乐队演奏。完美的同步十分壮观，例如“火箭女郎”(Rockettes)啦啦队的同步踢腿，以及花样游泳运动员合拍的动作。当观众不知道下一段音乐或下一个舞蹈动作会如何继续时，艺术感就会在瞬间倍增。因此，我们也将持续的同步解释为智慧、筹划和精心编排的一种体现。

当无意识的实体出现同步时，例如电子和细胞，它们看上去就像是奇迹。动物的协作也会让你十分震惊，如夏日的夜晚，成千上万只蟋蟀齐声鸣叫，以

及鱼群优美地游动。但更令人震惊的是，一些无意识的群体也会自发陷入同步。这些现象令人难以置信，以至于一些评论家否认它们的存在，将其归于错觉、意外或知觉错误。还有一些观察者甚至利用神秘主义对其进行解释，将同步归因于宇宙中的超自然力量。

直到几年前，关于同步的研究还是一个单独分离出来的分支，生物学家、物理学家、数学家、天文学家、工程师和社会学家分别在各自的领域耕耘，通过看似独立的方法进行探索。渐渐地，同步科学开始整合从各学科中得到的见解，这一新科学的核心是对“耦合振子”展开研究。萤火虫、行星或起搏细胞群体，都是振子的集合。所谓振子，是指自动循环的实体以或长或短的规律性时间间隔一次次重复自己的行为，例如萤火虫的闪光、行星的公转以及起搏细胞的发射。对于两个或两个以上的振子，如果某些物理或化学过程使得它们相互影响，那么则称之为“耦合振子”。萤火虫用光交流，行星通过万有引力相互作用，心脏细胞来回传递电流，正如这些例子所暗示的，大自然在利用各种可能的渠道，使得它的振子相互交流。交流的结果经常是同步，所有振子开始整齐划一地运动。

我们这些在这个新兴领域中工作的人，经常会问这样一些问题：耦合振子究竟如何自发同步？在什么条件下同步？什么时候同步不可能出现，什么时候又不可避免？当失去同步时，会出现什么样的组织形式？我们正在努力学习的一切，其实际意义是什么？

这样的问题让我沉迷了20多年，最初，我是哈佛大学的一名研究生，后来成为麻省理工学院和康奈尔大学的应用数学教授。现在，我在康奈尔大学任教，从事混沌理论和复杂性理论的研究。我对于周期的兴趣甚至要追溯到更早的时候，可以说是源自我上高中一年级时的一次顿

悟。在《科学 I》课程最初的一个实验中，迪柯西奥先生发给我们每人一块秒表和一个玩具钟摆。钟摆是一个复杂的带伸缩臂的小型装置，可以以离散的步数伸缩，类似于在海盗电影里看到的那种古老的望远镜。我们的任务是测量钟摆的周期，即它摆动一个来回花费的时长，分析摆动周期与摆长之间的关系：更长的摆臂会使得它摆动得更快还是更慢，抑或是保持不变？为了找出结果，我们将钟摆调整到了最短长度，测量它的周期，并将结果绘制在坐标纸上。然后我们又逐步增加摆长，重复实验，每次只将伸缩臂伸长一个格子。当我在坐标纸上画出第四个和第五个点时，我突然被它吸引住了，一种模式正在涌现：这些点落在了一条抛物线上。我在《代数 II》课程中学习的这些抛物线正在秘密地支配这些钟摆的运动。我感觉自己被一种惊奇和恐惧笼罩了，那一刻的启示，让我开始意识到一个隐藏的美丽世界，一个只有通过数学才能看到的世界。那一刻的感觉，我再未遇到过。

30 多年后，我仍然迷恋自然中的数学，特别是物体的周期运动，例如钟摆的周期摆动。但我不再研究单一的周期，我的探索将我带到了对许多周期性物体同时工作，即对耦合振子的研究中。我开始制作简单的模型，以代替真实的萤火虫或超导体那令人迷惑的复杂性和丰富性，用理想化的方程组来模拟它们的群体行为。我尝试用微积分和计算机观察秩序如何从混沌中涌现。这些谜团的有趣之处是，它们位于我们已知的数学的边缘。研究两个耦合振子没有什么挑战性，早在 20 世纪 50 年代，人们就理解了它们的运动。但对于涉及成百上千个振子的问题，我们仍一无所知。具有如此多变量的系统的非线性动力学超出了我们的认知范围。即使在超级计算机的帮助下，巨大的振子系统的集体行为也仍然是一个令人敬畏的未知领域。

然而，在过去的 10 多年中，通过全世界的数学家和物理学家的共同努力，

一个特殊的案例终于被解决了，由此打开了更深入了解同步的一扇大门。如果我们假设，一个给定群体中的所有振子几乎相同，而且彼此间的相互耦合也完全相同，那么其动力学特性在数学上就变得容易处理了。本书的第一部分和第二部分讲述了我与同事是如何解决这类理论问题的，以及他们的解决方案对于现实世界中的同步意味着什么：第一部分针对的是有生命的振子，如细胞、动物和人类；第二部分涉及无生命的振子，如钟摆、行星、激光和电子；第三部分涉及前沿的同步科学。我们抛开了先前的简化假设，因为这个领域现在仍有很多地方是未知的，包括振子被混沌系统取代时的情况，或振子以低对称方式耦合时的情况——它们的邻居位于三维空间中，或位于超越地形限制的复杂网络中。

同步是一次尝试，我们希望将跨越学科、大洲和几个世纪的科学家所构造的庞大知识体系融合到这个学科中。理解同步所需要的科学知识借鉴了一些20世纪最伟大的思想家的研究成果，这些名字中的许多都是家喻户晓的，其余的也应算作此类，他们是物理学家阿尔伯特·爱因斯坦、理查德·费曼、布赖恩·约瑟夫森（Brian Josephson）、藏本由纪（Yoshiki Kuramoto）；数学家诺伯特·维纳（Norbert Wiener）、保罗·厄尔多斯（Paul Erdős）；社会心理学家斯坦利·米尔格拉姆（Stanley Milgram）；化学家鲍里斯·别洛索夫（Boris Belousov）；混沌理论家爱德华·洛伦茨（Edward Lorenz）；生物学家查尔斯·切斯勒（Charles Czeisler）、阿瑟·温弗里（Arthur Winfree）。

我个人的研究贯穿整个故事的始末，这不是因为我对自己的历史地位有着任何幻想，而是因为我想让读者感受到，在科学的战壕中工作是怎样一种体验——曲折的探索、碰壁的苦楚、新发现的兴奋、从学生到同事再到导师的蜕变。为了向广大读者传达数学的魅力，我完全回避了方程式，转而在日常生活中的比喻和图像来阐述核心思想。

我希望，当你看到自然世界中同步的惊人多样性，以及如何用数学的力量来解释它时，我们可以一同分享其中的兴奋。同步既古怪又美丽。说它古怪，是因为它似乎违背物理学定律，但事实上同步经常以稀奇古怪的方式依赖物理学定律。说它美丽，是因为它奉献了一场宇宙的芭蕾，表演的舞台从我们的身体蔓延到整个宇宙。同样，它也非常重要。我们对同步的基本理解已经催生了诸多科技奇迹，例如全球定位系统、激光，以及世界上最灵敏的探测器。医生无须手术就可借助探测器确定癫痫患者大脑中的病变组织，工程师用它来检查飞机机翼上的微小裂缝，地质学家则用它来定位深埋地下的石油。通过研究同步消失时的现象，数学家正在帮助心脏病专家追踪肌纤维震颤的原因。要知道，每年都有成千上万人死于这种现象引发的心律失常，它发病突然，没有征兆，即使没有心脏病病史的人也会患病。这只是我们今天所能做到的一部分例子，都源自我们日益增长，但仍十分基础的同步知识。

在职业生涯中有机会与如此多才华横溢、富有创造力的天才合作，我感到非常幸运。这里记述的研究是我和他们共同努力的结果。他们是我的导师阿瑟·温弗里、理查德·克罗瑙尔 (Richard Kronauer)、查尔斯·切斯勒、南希·科佩尔 (Nancy Kopell)，我的同事伦尼·米洛罗 (Rennie Mirollo)、保罗·马修斯 (Paul Matthews)、科特·威森弗尔德 (Kurt Wiesenfeld)、吉姆·斯威夫特 (Jim Swift)、凯文·科莫 (Kevin Cuomo)、奥本海姆 (Al Oppenheim)、蒂姆·福里斯特 (Tim Forrest)；以及我先前的同事渡边真也 (Shinya Watanabe)、邓肯·瓦茨 (Duncan Watts)。感谢如此了不起的同伴，伴我走过探索同步的荒野之旅。

其他一些科学家也通过各种方式帮我改进了这本书。杰克·考恩 (Jack Cowan) 分享了他于 20 世纪 50 年代末在麻省理工学院对诺伯特·维纳的深情回忆，并讲述了双凹陷谱线背后的故事，这从未提过但很人性化的故事深深启

发了我。卢·佩科拉 (Lou Pecora) 提供了极为详尽的关于他和汤姆·卡罗尔 (Tom Carroll) 发现混沌同步的记载。吉姆·索普 (Jim Thorp) 用他的智慧和幽默向我解答了关于电网的问题。锡德里克·朗伯瑞特 (Cedric Langbort) 友好地为我翻译了惠更斯关于钟摆同步的信件。乔·伯恩思 (Joe Burns)、埃里克·赫佐格 (Erik Herzog)、克里斯·洛布 (Chris Lobb)、查利·马库斯 (Charlie Marcus)、拉贾什·罗伊 (Raj Roy)、乔·高桥 (Joe Takahashi) 对早期的书稿提出了富有深刻见解的意见。玛吉·纳尔逊 (Margy Nelson) 用她的科学判断与艺术天赋的独特融合为此书制作了插图。我要特别感谢的是阿瑟·温弗里, 感谢他富有感染性的快乐情绪以及他对同步的精通, 总之, 感谢他在最困难的情况下, 凭借英勇、惊人的慷慨, 努力地从头到尾通读了书稿。

感谢琳迪·威廉斯 (Lindy Williams)、史蒂芬·田 (Stephen Tien)、赫伯特·惠 (Herbert Hui)、汤姆·季洛维奇 (Tom Gilovich), 以及所有在早期阶段深受我打扰的朋友们; 感谢卡伦·达什夫·季洛维奇 (Karen Dashiff Gilovich) 帮我树立了信心; 还有头脑风暴会议中非常有想法的同伴艾伦·阿尔达 (Alan Alda), 他教给了我许多获得创意的方法。虽然我并未遵循他关于如何一气呵成地完成初稿的最好建议, 或许下次我会考虑。

感谢我在康奈尔大学的同事, 特别是理查德·兰德 (Richard Rand), 还有我的系主任蒂姆·希利 (Tim Healey), 感谢他们在我写这本书的过程中提供的鼓励和支持, 以及当我心不在焉时对我的宽容。感谢大家的理解。

我的出版经纪人卡婷卡·马特森 (Katinka Matson) 和约翰·布罗克曼 (John Brockman) 时时处处都给予了我热情的帮助。约翰在听了我的描述后, 一秒钟就想出了书名。卡婷卡在写作过程中的各方面都给了我温和的指导, 从方案制定一直到出版。

一名写作者不会遇见比亥伯龙图书出版团队再棒的出版人了。特别是，助理编辑基拉·赫福德（Kiera Hepford）总是亲切、乐观、高效。艺术总监菲尔·罗斯（Phil Rose）捕捉到了同步难忘而又美丽的精髓，设计了本书英文版本的封面。特别感谢我的编辑威尔·施瓦尔贝（Will Schwalbe），他目光如炬，品位优雅，语感超群，对此书做了多方面的改进，在我最需要鼓励的时候，他对此书永不消退的热情始终激励着我。

感谢家人对我的爱和鼓励，特别是我的父亲，他总是在我的身旁，静静地鼓励、鞭策着我。我的岳母令人难以置信的无私，让我可以长时间工作，无须对忽视我的两个宝贝女儿感到内疚。感谢我的女儿们，蹒跚学步的莉亚把我重新带回了现实，乔安娜出生得恰逢其时。我的妻子卡萝尔给了我无微不至的爱——倾听、阅读、安慰、宽恕，教给我如何创造，如何放松，如何忘记。她慷慨的精神给了我自由的空间，让我肆意徜徉在魂牵梦绕的科学世界中。

最后，感谢所有美国公民，感谢他们的信任和远见卓识。他们通过像国家科学基金会这样的机构支持美国的科研单位，这给了我们可以自由追寻想象力的机会。

我希望读者可以像我们一样，在我们的探索中享受到同样的快乐。

前言 聆听同步的循环之声 / III

SYNC

第一部分

思考同步

01

萤火虫闪烁：同步是必然发生的 / 002

萤火虫同步闪烁的壮观景象是自然界的一大奇观，同时这一现象也是科学界的未解之谜。是谁在“指挥”着成千上万的萤火虫共同跳起这样奇特的舞蹈？科学家通过将萤火虫抽象为“振子”研究发现，生命现象中总是存在一种持续的、节律性的同步。

02

脑电波研究：同步发生的条件 / 033

控制论先驱维纳通过研究脑电波，揭示了同步产生的条件——振子通过彼此之间的“频率牵引”实现同步，这是自然界最基本的自组织机制之一。随后，几位科学家各抒己见，在数学层面解释了生物振子如何同步这一问题。

03

睡眠周期：同步与非同步的斗争 / 064

人体内存在一个生物钟，数百万年的进化使得我们的身体可以自动与昼夜更替协调一致。睡眠周期和昼夜节律同步是大自然给人类的馈赠。这种同步一旦紊乱就会引发严重的问题。科学研究发现了这种规律，但对规律的基础仍一无所知。

SYNC

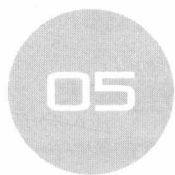
第二部分

发现同步



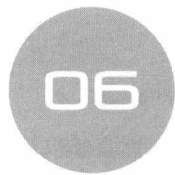
苍茫的宇宙：同步无处不在 / 100

无生命体之间也存在同步现象。同步不依赖于智能、生命和自然选择，它源于最深刻的万物之源：数学和物理定律。同步研究带来了激光、电网和全球定位系统，甚至地球上的水也可能是太空尺度的同步现象所赐。同步是苍茫宇宙的背景声。



量子的合唱：同步无孔不入 / 125

宏大的同步现象可以发生在宇宙这个最大的尺度上，而在物质深处，在量子尺度上发生的同步现象更为惊人 and 反直觉。量子粒子的同步超越了一切宏观现象，超导就是量子领域同步现象的完美应用。



晃动的千禧桥：中间物的弱耦合 / 152

千禧桥开放当日，数以万计兴奋的伦敦市民涌向桥面，人流涌入几分钟后，钢制大桥开始晃动。由于同步引发的事故，千禧桥在开放三天后即被政府关闭。

SYNCE

第三部分

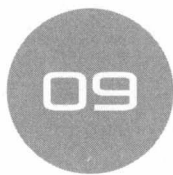
探索同步

**混沌：蝴蝶效应 / 178**

混沌科学是 20 世纪物理学的第三次伟大革命。混沌和同步本质上不是矛盾的，由于混沌同步的存在，同步不再只与节律性有关，与之相关的还有循环、周期和重复。

**三维中的同步 / 207**

三维中的同步形态会呈现出一种螺旋波，螺旋波似乎是有生命的，可以自维持，不需要起搏器。螺旋波连续叠加，会形成卷轴波。科学界对螺旋波和卷轴波的研究兴趣呈爆炸式增长，这项研究最直接的应用是解决心律失常和心脏性猝死问题。

**小世界网络：深层的无尺度结构 / 231**

我们生活在一个小世界网络里，最多通过 6 个人，就可以联系到地球上的每个人。不仅社交网络是小世界网络，互联网、我们的大脑、物种间的食物链、细胞的代谢网络、《财富》1 000 强的董事会，甚至英语的语法结构都是小世界网络。理解小世界网络的意义对我们的生活影响巨大。

**人类社会：从流行到意识产生 / 264**

在心理学和群体行为学领域，人群同步是不可忽视的现象。某种东西的突然流行、传染病的爆发、交通拥堵，甚至意识的形成，都与同步现象有关。这些问题与我们的生活息息相关，科学家正在不断探索，找寻其背后的机理及解决问题的方案。

后记 / 291

译者后记 / 297



HOW ORDER EMERGES FROM CHAOS IN

第一部分

SYNCH

思考同步

THE UNIVERSE, NATURE, AND DAILY LIFE